

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ELABORAÇÃO DE REDE DE TRANSPORTE MULTIMODAL DE
CARGA PARA A REGIÃO AMAZÔNICA SOB O ENFOQUE DE
DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO**

CRISTIANO FARIAS ALMEIDA

ORIENTADORA: YAEKO YAMASHITA

TESE DE DOUTORADO EM TRANSPORTES

PUBLICAÇÃO: T.TD-001A/08

BRASÍLIA/DF: JUNHO/2008

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ELABORAÇÃO DE REDE DE TRANSPORTE MULTIMODAL DE
CARGA PARA A REGIÃO AMAZÔNICA SOB O ENFOQUE DE
DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO**

CRISTIANO FARIAS ALMEIDA

**TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR.**

APROVADA POR:

**YAEKO YAMASHITA, PhD (UnB)
(Orientadora)**

**CARLOS HENRIQUE ROCHA, PhD (UnB)
(Examinador Interno)**

**PASTOR WILLY GONZALES TACO, Dr. (UnB)
(Examinador Interno)**

**JOSÉ ALEX SANT'ANNA, Dr. (UABC)
(Examinador Externo)**

**RUI CARLOS BOTTER, Dr. (USP)
(Examinador Externo)**

DATA: BRASÍLIA, 27 DE JUNHO DE 2008.

FICHA CATALOGRÁFICA

ALMEIDA, CRISTIANO FARIAS

Elaboração de Rede de Transporte Multimodal de Carga para a Região Amazônica sob o Enfoque de Desenvolvimento Econômico. Brasília, 2008.

251 p., 210x297 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Transportes, 2008).

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- | | |
|---|-------------------------|
| 1- Transporte e Desenvolvimento Econômico | 2 - Rede de Transportes |
| 3- Desenvolvimento Econômico Regional | 4 - Teoria dos Grafos |
| 5 – Pólos de Crescimento | 6 - Região Amazônica |
| I- PPGT/ENC/FT/UnB | II- Título (Série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, Cristiano Farias (2008). Elaboração de Rede de Transporte Multimodal de Carga para a Região Amazônica sob o Enfoque de Desenvolvimento Econômico. Tese de Doutorado, Publicação T.TD-008A/08, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 251 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Cristiano Farias Almeida

TÍTULO DA TESE DE DOUTORADO: Elaboração de Rede de Transporte Multimodal de Carga para a Região Amazônica sob o Enfoque de Desenvolvimento Econômico

GRAU/ANO: Doutor/2008

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

Cristiano Farias Almeida
Travessa 31 de Março, 37 - Bairro "São Pio X"
CEP: 68702-120 – Capanema/PA - Brasil

*"O problema não se resolve por si só.
No entanto, contém todos os elementos para a sua solução.
É necessário conhecê-los e utilizá-los no projeto de soluções."*

Waldiney Farias de Almeida

Aos meus pais *Benedito* e *Adelina Almeida*.
Aos meus irmãos *Benedito, Izabel, Dinha, Wal, Cristina, Paulo Sérgio* e *Silvia*.

AGRADECIMENTOS

À professora orientadora Yaeko Yamashita por todo o apoio e orientação dado durante o desenvolvimento da tese. Sinceramente, muito obrigado.

Ao professor José Alex Sant'Anna pela orientação dada durante o período em que estive desenvolvendo a pesquisa no Japão.

Aos colegas André Dantas, Karisa Maia e Dalve Soria pelo apoio dado durante os quatro anos de doutorado no Instituto Tecnológico de Nagoya no Japão.

Aos colegas Alan Silva e Carlos Eduardo pelo auxílio na etapa de análise espacial, e a colega Érika Kneib pela revisão da metodologia. À amiga Júlia Araújo pela revisão gramatical da tese. Aos colegas Fernando Castilho e Higor Guerra pelo auxílio na elaboração da base geográfica necessária ao desenvolvimento da tese.

Aos amigos que conheci nos quatro anos vividos no Japão, em especial Waldomiro Júnior, Ranniery Maia, Amaro Lima, Artur Mattos, Dorival Pedroso, Itzel, Juvy Subere, Phunsz, Alfonso Munoz, Andrzej Rakowski, Duds, Victor, Merlin Calenda e Nicolas Holtzer.

Aos amigos que conheci no retorno a Brasília e que me apoiaram nos momentos finais do doutorado, especialmente André Nunes, Bruna Arruda, Cristiane Vasconcelos, Edcélio Firmino, Ernesto Galindo, Francisco Gildemir, Gizelle Neto, Juliana Gularte, Luciany Seabra, Leandro Rodrigues, Marcelo Queiroz, Marianna Figueredo, Maria Luiza, Rafael Zuin, Reinaldo Estelles, Rejane Ribeiro, Rodrigo Cruz e Tatiára Monteiro.

Aos amigos que mesmo distante nunca deixaram de me apoiar, em especial Bethânia Nascimento, Isabela Queiroz, Janice Souza, Paulo Henrique, Leônidas Damasceno, Júlio Duarte, Patrícia Bassalo, Ricardo Oliveira, Renan Almeida, Diogo e Fillipe Almeida.

À todas as pessoas que direta e indiretamente contribuíram para o desenvolvimento da tese.

Ao ministério da educação do governo japonês e a Capes pelo apoio financeiro.

ELABORAÇÃO DE REDE DE TRANSPORTE MULTIMODAL DE CARGA PARA A REGIÃO AMAZÔNICA SOB O ENFOQUE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO

RESUMO

A relação entre transporte e desenvolvimento econômico vem sendo estudada há anos. No Brasil, especificamente na Região Amazônica, tal iniciativa teve início nos anos 70 com a elaboração de diversos planos e projetos de desenvolvimento econômico, mas que, por diversos fatores como a incompatibilidade dos modelos de planejamento de transportes e planejamento territorial propostos, não se obtiveram resultados esperados. Sob esse aspecto, esta tese tem como principal objetivo desenvolver uma metodologia para a elaboração de rede de transporte multimodal de carga que permita o deslocamento dos produtos de uma região de forma mais eficiente, usando os recursos naturais disponíveis, e que venha a impulsionar o crescimento e o desenvolvimento econômico regional, fundamentada na Teoria dos Pólos de Crescimento e Pólos de Desenvolvimento e na Teoria dos Grafos usada em estudos de redes de transportes. Como resultado, três redes referentes a três cenários distintos – *status quo*, investimento em infra-estrutura de transportes por meio de programas governamentais e cenário estratégico – foram elaboradas e analisadas considerando os custos operacionais de transporte e as suas configurações espaciais. Sob tais aspectos, ao considerar em um dos cenários os investimentos em infra-estrutura e o acréscimo de arcos representando os rios, obteve-se uma rede mais bem estruturada, mas que ainda não cobre todas as sub-regiões da grande Amazônia. Logo, confirma-se a relevância da proposta por comprovar a viabilidade da metodologia, mesmo utilizando as premissas já usadas pelo Estado no que se refere a privilegiar as exportações. Desse modo, verificou-se por meio da metodologia que é possível construir uma rede de transporte mais densa ao se identificar mais pólos de crescimento, o que aumentaria a conectividade, possibilitando a troca mais intensa de fluxos e o desenvolvimento da região.

ELABORATION OF MULTIMODAL CARGO TRANSPORTATION NETWORK FOR THE AMAZON REGION UNDER ECONOMIC DEVELOPMENT APPROACH

ABSTRACT

The relationship between transport and economic development has been studied for years. In Brazil, especially at the Amazon Region, such matter began in the 70s with the elaboration of several plans and projects of economic development. However, due to many factors, such as the incompatibility between the proposed models of transport planning and territorial planning, the expected results were not reached. Under these aspects, the goal of this thesis is to develop a methodology for the construction of a multimodal cargo transportation network that allows an efficient displacement of products in a region. This network was developed using the available natural resources and it stimulates the regional economic growth and development based on the Growth and Development Poles Theory, and Graphs Theory used in network transportation studies. As a result, three networks related to three different scenarios – status quo, investment in transport infrastructure by the governmental programs, and the strategy scenario – have been elaborated and analyzed considering the operational transport costs and their spatial configuration. Under such aspects, considering the investments in infrastructure and the addition of arcs that represent the rivers in one of the scenarios, a better network has been obtained, but it has not covered all the sub regions of the vast Amazon yet. Therefore, it can be affirmed that the proposal is important because the feasibility of the methodology has been proved, despite of using the premises already practiced by the government in favor of the exportations. However, the methodology showed that it is possible to build a denser transportation network if more growth poles are identified, which will yield a greater connectivity allowing a more intense flow exchange generating the region's development.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – APRESENTAÇÃO	1
1.2 – DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	2
1.3 – JUSTIFICATIVA.....	3
1.4 – HIPÓTESES.....	6
1.5 – OBJETIVO.....	6
1.6 – METODOLOGIA DA PESQUISA.....	7
1.7 – ESTRUTURA DA TESE	7
CAPÍTULO 2 – DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO REGIONAL	9
2.1 – APRESENTAÇÃO	9
2.2 – DESENVOLVIMENTO REGIONAL	10
2.2.1 – Conceito de Desenvolvimento Regional.....	10
2.2.2 – Mensuração do Desenvolvimento: Uma Medida Qualitativa.....	11
2.3 – DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO REGIONAL	11
2.3.1 – Conceito de Desenvolvimento Econômico Regional	11
2.3.2 – Desenvolvimento Econômico x Crescimento Econômico.....	12
2.3.3 – Teoria do Desenvolvimento no Contexto Econômico: Breve Histórico	12
2.3.4 – Teorias e Modelos de Desenvolvimento Regional: um Enfoque Econômico .	13
2.3.5 – Teorias e Modelos de Desenvolvimento Regional: um Enfoque Geoeconômico – o Espaço como Unidade Dinâmica.....	15
2.3.5.1 – <i>Espaço e região</i>	15
2.3.5.2 – <i>Perroux e as regiões econômicas: teoria dos pólos de crescimento e pólos de desenvolvimento</i>	19
2.3.5.2.1 – <i>Pólos de crescimento e pólos de desenvolvimento</i>	20
2.3.5.2.2 – <i>Área de influência de um pólo de crescimento e a ação das forças centrípetas e centrífugas</i>	21
2.3.5.2.3 – <i>Eixo de desenvolvimento, nós de rede, zonas de desenvolvimento e áreas de desenvolvimento</i>	22
2.3.5.2.4 – <i>A hierarquia dos pólos</i>	22
2.4 – TRANSPORTE E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO REGIONAL	23
2.4.1 – Transporte e Desenvolvimento Econômico: Relação Recíproca.....	24
2.4.2 – Impactos do Transporte na Economia.....	25
2.4.2.1 – <i>Custo de transporte como determinante de consumo</i>	25
2.4.2.2 – <i>Transporte e localização/distribuição das atividades econômicas</i>	25
2.4.2.3 – <i>Transporte como instrumento de distribuição de renda</i>	26
2.4.2.4 – <i>Transporte e produção</i>	26
2.4.3 – Transporte e Desenvolvimento Econômico: Círculo de Efeitos Virtuosos	27
2.4.4 – Transporte e Desenvolvimento Econômico: Conjunto Necessário de Condições.....	27
2.5 – TÓPICOS CONCLUSIVOS	28
CAPÍTULO 3 – SISTEMA DE TRANSPORTE HIDROVIÁRIO INTERIOR.....	30
3.1 – APRESENTAÇÃO	30
3.2 – SISTEMA DE TRANSPORTE	30
3.2.1 – Componentes de um Sistema de Transporte.....	30

3.2.2 – Multimodalidade e os Subsistemas de Transporte.....	31
3.2.2.1 – Transporte multimodal x transporte intermodal.....	32
3.2.3 – Sistema de Transporte Hidroviário Interior	33
3.2.3.1 – Principais características do STHI.....	35
3.2.3.2 – Elementos constituintes do STHI	35
3.2.4 – Requerimentos de Rios Navegáveis: Critérios	39
3.2.4.1 – Profundidades de rios	40
3.2.4.2 – Largura e alinhamento dos rios.....	41
3.2.4.3 – Velocidade corrente dos rios	42
3.2.4.4 – Instalações de Terminais	42
3.3 – TÓPICOS CONCLUSIVOS	42
CAPÍTULO 4 – REDE DE TRANSPORTES	43
4.1 – APRESENTAÇÃO	43
4.2 – REDE DE TRANSPORTE E SEU ALCANCE SOCIOECONÔMICO.....	43
4.2.1 – Conceito de Redes de Transportes	44
4.2.2 – Importância das Redes de Transportes	45
4.2.3 – Principais Dimensões da Rede de Transportes	45
4.2.3.1 – Dimensão topológica	45
4.2.3.2 – Dimensão cinética.....	46
4.2.3.3 – Dimensão adaptativa	46
4.2.4 – Relações da Rede de Transportes com o Ambiente.....	47
4.2.4.1 – Efeitos da rede de transportes	47
4.3 – TEORIA DOS GRAFOS NO ESTUDO DE REDE DE TRANSPORTES	48
4.3.1 – Representação Gráfica de uma Rede de Transportes.....	49
4.3.2 – Elementos de uma Rede de Transporte: Definições e Notações.....	49
4.3.2.1 – Arcos	49
4.3.2.2 – Nós (vértices)	50
4.3.2.3 – Nós centróides e conectores de centróide.....	50
4.3.2.4 – Cadeia e ciclo	50
4.3.2.5 – Caminho (path)	51
4.3.2.6 – Árvore e árvore de expansão	51
4.3.3 – Tipos de grafos (redes).....	51
4.3.4 – Problemas de Caminho Mínimo	52
4.3.4.1 – Algoritmos de caminho mínimo	52
4.3.4.1.1. Algoritmo de Dijkstra	52
4.3.5 – Medidas de Análises de Redes.....	53
4.3.5.1 – Acessibilidade e centralidade	54
4.3.5.2 – Conectividade e eficiência	54
4.4 – CUSTO DE TRANSPORTE	54
4.4.1 – Custo de Transporte em uma Rede	56
4.4.2 – Custo Direto de Transporte em uma Rota.....	56
4.4.3 – Custos de Transporte em um Arco.....	56
4.5 – TÓPICOS CONCLUSIVOS	60
CAPÍTULO 5 – REGIÃO AMAZÔNICA.....	61
5.1 – APRESENTAÇÃO	61
5.2 – REGIÃO AMAZÔNICA: DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS.....	62
5.2.1 – Definições	62
5.2.2 – Características Geográficas.....	63

5.2.2.2 – <i>População e densidade demográfica</i>	63
5.2.2.3 – <i>Recursos naturais</i>	65
5.2.2.3.1 – <i>Hidrografia</i>	65
5.3 – FASES DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO REGIONAL: UM BREVE PANORAMA HISTÓRICO	66
5.3.1 – O Ponto Inicial (1621 – 1750)	66
5.3.2 – A Exploração Econômica da Região (1750 – 1810).....	67
5.3.3 – A Pobreza da População Amazônida (1810 – 1850)	67
5.3.4 – O Primeiro Grande Ciclo de Crescimento Econômico (1850 – 1910): Dinamismo e Crise.....	67
5.3.5 – O Processo Migratório (1910 – 1960)	68
5.3.6 – O Segundo Grande Ciclo de Crescimento Econômico (1960 – 1994)	68
5.3.7 – Desigualdade da Economia Regional e Preocupação Ambiental (1994 – 1997)	69
5.3.8 – Crescimento e Desenvolvimento Econômico <i>Versus</i> Preservação Ambiental (1997 – 2008).....	69
5.4 – AGÊNCIAS GOVERNAMENTAIS, PLANOS E PROJETOS DE CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO.....	70
5.5 – TÓPICOS CONCLUSIVOS	76
CAPÍTULO 6 – METODOLOGIA PARA A ELABORAÇÃO DE REDE DE TRANSPORTE MULTIMODAL DE CARGA	77
6.1 – APRESENTAÇÃO	77
6.2 – DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA	78
Etapa 1: Definição da Área de Estudo	78
Etapa 2: Diagnóstico da Área de Estudo.....	79
<i>Subetapa 2.1: Diagnóstico regional da infra-estrutura de transportes</i>	81
<i>Subetapa 2.2: Diagnóstico da economia regional</i>	81
Etapa 3: Criação do Banco de Dados Geográfico (BDG).....	82
Etapa 4: Análise da Infra-estrutura de Transportes.....	83
<i>Subetapa 4.1: Análise do subsistema hidroviário interior</i>	84
<i>Subetapa 4.1.1: Análise de Navegabilidade de Rios</i>	84
<i>Subetapa 4.2: Análise do subsistema rodoviário</i>	86
<i>Subetapa 4.3: Análise do subsistema ferroviário</i>	87
<i>Subetapa 4.4: Análise do subsistema portuário</i>	87
Etapa 5: Identificação de Pólos de Crescimento (PC)	88
<i>Subetapa 5.1: Determinação de indústrias motrizes</i>	89
<i>Subetapa 5.2: Identificação de áreas em potencial para Pólos de Crescimento</i>	90
<i>Subetapa 5.2.1: Geração de Mapas Temáticos da Distribuição dos Produtos</i> ... 90	
<i>Subetapa 5.2.2: Análise da Distribuição Espacial dos Produtos a fim de Identificar Áreas em Potencial Para PC</i>	90
<i>Subetapa 5.3: Identificação de Pólos de Crescimento (PC)</i>	90
<i>Subetapa 5.3.1: Geração do Índice Global de Moran (I)</i>	90
<i>Subetapa 5.3.2: Geração do Box Map</i>	91
<i>Subetapa 5.3.3: Geração do Moran Map</i>	92
<i>Subetapa 5.3.4: Confirmação de Áreas em Potencial</i>	92
<i>Subetapa 5.3.5: Identificação de Centros dos PC</i>	92
Etapa 6: Determinação da Rede de Transporte Básica	93
<i>Subetapa 6.1: Determinação de nós</i>	93
<i>Subetapa 6.2: Determinação de arcos</i>	94

<i>Subetapa 6.3: Geração da rede de transporte básica</i>	94
Etapa 7: Determinação da Rede de Transporte Multimodal de Carga.....	95
<i>Subetapa 7.1: Definição de premissas para a determinação da rede de transporte multimodal de carga</i>	95
<i>Subetapa 7.2: Determinação dos custos de transporte</i>	96
<i>Subetapa 7.2.1: Determinação do Custo Operacional de Transporte nos Arcos</i>	97
<i>Subetapa 7.2.2: Determinação do Custo Operacional de Transporte nos Nós (Custo de Transbordo)</i>	97
<i>Subetapa 7.3: Associação de custos de transporte à rede básica – alimentação do banco de dados</i>	98
<i>Subetapa 7.4: Composição de cenários</i>	99
<i>Subetapa 7.4.1: Determinação de rotas de custo mínimo (shortest path)</i>	100
<i>Subetapa 7.5: Representação das redes de transporte multimodal de carga</i>	101
Etapa 8: Avaliação das Redes de Transporte Multimodal de Carga.....	101
CAPÍTULO 7 – ELABORAÇÃO DE REDE DE TRANSPORTE MULTIMODAL DE CARGA PARA A REGIÃO AMAZÔNICA: ESTUDO DE CASO	103
7.1 – INTRODUÇÃO	103
ETAPA 1: DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – REGIÃO AMAZÔNICA.....	103
ETAPA 2: DIAGNÓSTICO.....	104
Subetapa 2.1: Diagnóstico Regional da Infra-estrutura de Transportes	104
Subetapa 2.2: Diagnóstico Econômico Regional.....	109
ETAPA 3: CRIAÇÃO DO BANCO DE DADOS GEOGRÁFICO (BDG)	110
ETAPA 4: ANÁLISE DA INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES.....	111
Subetapa 4.1: Análise do Subsistema Hidroviário Interior.....	112
Subetapa 4.2: Análise do Subsistema Rodoviário	118
Subetapa 4.3: Análise do Subsistema Ferroviário	119
Subetapa 4.4: Análise do Subsistema Portuário	120
ETAPA 5: IDENTIFICAÇÃO DE PÓLOS DE CRESCIMENTO (PC).....	125
Subetapa 5.1: Determinação de Indústrias Motrizes.....	125
Subetapa 5.2: Identificação de Áreas em Potencial para PC	127
<i>Subetapa 5.2.1: Geração de Mapas Temáticos da Distribuição dos Produtos</i>	127
<i>Subetapa 5.2.2: Análise da Distribuição Espacial dos Produtos Para a Identificação de Áreas em Potencial para PC</i>	128
Subetapa 5.3: Identificação de Pólos de Crescimento (PC).....	132
<i>Subetapa 5.3.1: Geração do Índice Global de Moran (I)</i>	132
<i>Subetapa 5.3.2: Geração do Box Map</i>	133
<i>Subetapa 5.3.3: Geração do Moran Map</i>	134
<i>Subetapa 5.3.4: Confirmação de Áreas em Potencial</i>	134
<i>Subetapa 5.3.5: Identificação de Centros dos PC</i>	139
ETAPA 6: DETERMINAÇÃO DA REDE DE TRANSPORTE BÁSICA	140
Subetapa 6.1: Determinação de Nós	140
Subetapa 6.2: Determinação de Arcos	142
Subetapa 6.3: Geração da Rede de Transporte Básica.....	143
ETAPA 7: DETERMINAÇÃO DAS REDES DE TRANSPORTE MULTIMODAL DE CARGA.....	145
Subetapa 7.1: Definição de Premissas para a Determinação da Rede de Transporte Multimodal de Carga	145
Subetapa 7.2: Determinação dos Custos de Transporte.....	147

<i>Subetapa 7.2.1: Determinação do Custo Operacional de Transporte Para os Arcos</i>	148
<i>Subetapa 7.2.2: Determinação do Custo Operacional de Transporte Para os Nós</i> (<i>Custo de Transbordo</i>)	151
Subetapa 7.3: Associação de Custos de Transporte a Rede Básica – Alimentação do Banco de Dados	153
Subetapa 7.4: Composição de Cenários	154
<i>Subetapa 7.4.1: Determinação de Rotas de Custo Mínimo (Shortest Path)</i>	155
ETAPA 8: AVALIAÇÃO DAS REDES DE TRANSPORTE MULTIMODAL DE CARGA	158
CAPÍTULO 8 – ANÁLISES DOS RESULTADOS.....	163
8.1 – APRESENTAÇÃO	163
8.2 – ANÁLISES DOS RIOS NAVEGÁVEIS	163
8.3 – ANÁLISES DOS PÓLOS DE CRESCIMENTO	165
8.3.1 – Análise da Importância dos Pólos de Crescimento	166
8.3.2 – Análise Espacial dos Pólos de Crescimento: Características Morfológicas e Geológicas	167
8.3.2.1 – <i>Pólos de crescimento: madeira</i>	167
8.3.2.2 – <i>Pólos de crescimento: soja</i>	168
8.3.2.3 – <i>Pólos de crescimento: arroz</i>	169
8.3.2.4 – <i>Pólos de crescimento: mandioca</i>	169
8.3.2.5 – <i>Pólos de crescimento: ferro e petróleo</i>	170
8.4 – ANÁLISE DA CONFIGURAÇÃO ESPACIAL DA REDE DE TRANSPORTE BÁSICA	171
8.5 – ANÁLISE DAS REDES DE TRANSPORTE MULTIMODAL DE CARGA	174
8.5.1 – Configuração Geográfica da Rede 1: <i>Status Quo</i>	174
8.5.2 – Configuração Geográfica da Rede 2: Programas Governamentais	175
8.5.3 – Configuração Geográfica da Rede 3: Estratégico	176
8.6 – TÓPICOS CONCLUSIVOS	177
CAPÍTULO 9 – CONCLUSÕES	179
9.1 – APRESENTAÇÃO	179
9.2 – AVALIAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DA PROPOSTA	179
9.3 – LIMITAÇÕES DA PROPOSTA	180
9.4 – CONSTATAÇÕES DOS OBJETIVOS ALCANÇADOS	181
9.5 – ANÁLISES DAS CONSTATAÇÕES DO ESTUDO DE CASO	182
9.6 – RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES	183
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	184
LISTA DE PUBLICAÇÕES.....	196
ANEXO 1.....	198
ANEXO 2.....	216
ANEXO 3.....	217
ANEXO 4.....	219
ANEXO 5.....	220
ANEXO 6.....	222
ANEXO 7	226

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Área, PIB per capita, população, extensão de rios e extensão das rodovias dos Estados da Região Amazônica e dos Estados da Região Sul e Sudeste do Brasil – ano 2003.....	6
Tabela 2.1 – Teorias e modelos de desenvolvimento regional sob o enfoque econômico	14
Tabela 2.2 – Teorias e modelos de desenvolvimento regional sob o enfoque geoeconômico.....	17
Tabela 3.1 – Visão geral dos principais modos de transporte.....	34
Tabela 3.2 – Principais medidas das chatas usadas no Brasil.....	37
Tabela 3.3 – Principais medidas dos rebocadores usados no Brasil.....	37
Tabela 3.4 – Valores de C_{\min}	40
Tabela 4.1 – Principais algoritmos usados na análise de caminho mínimo.	53
Tabela 4.2 – Principais medidas de análise de redes.	55
Tabela 4.3 – Itens de custos fixos e variáveis do veículo de carga para o modo rodoviário.	58
Tabela 4.4 – Itens de custos fixos e variáveis do veículo de carga para o modo hidroviário.	58
Tabela 4.5 – Itens de custos fixos e variáveis do veículo de carga para o modo ferroviário.	58
Tabela 5.1 – Amazônia Brasileira e termos relacionados.....	63
Tabela 5.2 – Principais planos/projetos de desenvolvimento econômico para a Região Amazônica.....	72
Tabela 5.3 – Principais agências responsáveis por fomentação de planos/projetos na Região Amazônica.....	74
Tabela 7.1 – Características dos rios navegáveis na Região Amazônica.....	116
Tabela 7.2 – Características das rodovias implantadas na Região Amazônica.....	118
Tabela 7.3 – Principais ferrovias a serem usadas na elaboração da rede de transporte na Região Amazônica.....	120
Tabela 7.4 – Principais características dos portos marítimos da Região Amazônica.....	120
Tabela 7.5 – Movimentação portuária de cargas nos principais portos da Região Amazônica – ano 2000.....	122
Tabela 7.6 – Curva ABC: valor de produção dos produtos da Região Amazônica – Ano 2000.....	126
Tabela 7.7 – Índices Globais de Moran do valor de produção dos produtos selecionados.	133
Tabela 7.8 – Centros dos PC na Região Amazônica – ano 2000.....	139
Tabela 7.9 – Nós centróides da rede de transporte básica na Região Amazônica.....	142
Tabela 7.10 – Valores de custo fixo e variável para o transporte rodoviário de carga.....	149
Tabela 7.11 – Variáveis suplementares para o transporte rodoviário de carga.....	149
Tabela 7.12 – Valores de custo fixo e variável para o transporte hidroviário interior de carga.....	150
Tabela 7.13 – Variáveis suplementares para o transporte hidroviário interior de carga.....	150
Tabela 7.14 – Tarifas e valores do porto de Porto Velho.....	153
Tabela 7.15 – Tarifas e valores do porto de Manaus.....	153
Tabela 7.16 – Tarifas e valores do porto de Macapá.....	153

Tabela 7.17 – Tarifas e valores dos portos de Belém, Vila do Conde, Marabá, Itaituba, Altamira, Tucuruí e Santarém.....	153
Tabela 7.18 – Tarifas e valores do porto de Itaqui.	153
Tabela 8.1 – Relação entre infra-estrutura de transporte e área dos EUA e Amazônia.	173
Tabela A1.1 – Tipos de dados, problemas e padrões em análise espacial.....	201
Tabela A6.1 – Custo total de rede (C_{tr}) para o cenário 1.....	222
Tabela A6.2 – Custo total de rede (C_{tr}) para o cenário 2.....	223
Tabela A6.3 – Custo total de rede (C_{tr}) para o cenário 3.....	224
Tabela A6.4 – Custo operacional para os arcos suplementares da rede do cenário 3.	225

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Representação da metodologia da pesquisa.	7
Figura 2.1 – Transporte e desenvolvimento econômico: ilustração de um conjunto necessário de condições (Fonte: Araújo, 2006).	28
Figura 3.1 – Sistema de transporte e seus componentes (Fonte: Almeida, 2003a).	31
Figura 3.2 – Sistema de barcaça e reboque (Fonte: Almeida & Sant’Anna, 2005).	36
Figura 3.3 – Sistema de comboio de puxa.	36
Figura 3.4 – Terminal graneleiro em Santarém – PA.	38
Figura 3.5 – Afluente do Rio Amazonas.	39
Figura 3.6 – Representação esquemática de profundidade mínima (hp_{min}) do rio para o deslocamento de embarcações (Fonte Modificada: Yarzon, 2007).	41
Figura 4.1 – Ambiente de interação.	47
Figura 4.2 – Fluxo de transporte em rodovias (a), e sua representação gráfica (b).	49
Figura 4.3 – Representação esquemática de um nó centróide e conectores.	50
Figura 4.4 – (a) Grafo direto; (b) grafo misto; e (c) grafo indireto.	51
Figura 5.1 – Região Amazônica.	64
Figura 5.2 – Região Amazônica: população – ano 2000.	64
Figura 6.1 – Estrutura metodológica para a elaboração da rede de transporte multimodal de carga.	79
Figura 6.2 – Atividades constituintes da etapa de diagnóstico	80
Figura 6.3 – Exemplo de estruturação do BDG.	83
Figura 6.4 – Análise de navegabilidade de rios: sistematização de atividades.	84
Figura 6.5 – Sistematização de ações para a identificação de PC segundo a teoria dos Pólos de Crescimento e Pólos de Desenvolvimento de Perroux.	88
Figura 6.6 – Etapa 6: Identificação de Pólos de Crescimento (PC).	89
Figura 6.7 – Sobreposição de mapas temáticos para a geração da rede de transporte básica.	95
Figura 6.8 – Estrutura do banco de dados alimentado com os custos de transporte operacionais referentes aos arcos e nós.	98
Figura 6.9 – Exemplo de rota de custo mínimo traçado ente os nós 0 e 65.	101
Figura 6.10 – Composição das rotas de custo mínimo para a determinação das redes de transporte multimodal de carga.	102
Figura 7.1 – Delimitação geográfica da Região Amazônica Brasileira.	104
Figura 7.2 – Subsistema portuário e os principais rios da Região Amazônica.	106
Figura 7.3 – Subsistema rodoviário e ferroviário na Região Amazônica.	108
Figura 7.4 – <i>Mapa de área</i> representativa dos 792 municípios da Região Amazônica. ..	111
Figura 7.5 – Calados admissíveis dos rios da Região Amazônica (Fonte: Ministério dos Transportes, 2000; Sant’Anna, 1998, BNDES, 1998; Godoy & Vieira, 2002).	114
Figura 7.6 – Larguras médias dos rios da Região Amazônica (Fonte: Ministério dos Transportes, 2000; Sant’Anna, 1998, BNDES, 1998; Godoy & Vieira, 2002).	115
Figura 7.7 – Rios navegáveis na Região Amazônica.	117
Figura 7.8 – Espacialização das rodovias implantadas na Região Amazônica.	119
Figura 7.9 – Principais portos marítimos e terminais hidroviários localizados na Região Amazônica.	124
Figura 7.10 – Curva ABC do valor de produção dos produtos da Região Amazônica - ano 2000.	126
Figura 7.11 – Distribuição espacial do <i>valor de produção da madeira</i> na Região Amazônica – ano 2000.	128

Figura 7.12 – Distribuição espacial do <i>valor de produção de soja</i> na Região Amazônica – ano 2000.....	129
Figura 7.13 – Distribuição espacial do <i>valor de produção de arroz</i> na Região Amazônica – ano 2000.....	130
Figura 7.14 – Distribuição espacial do <i>valor de produção de mandioca</i> na Região Amazônica – ano 2000.....	130
Figura 7.15 – Distribuição espacial do <i>valor de produção de ferro</i> na Região Amazônica – ano 2000.....	131
Figura 7.16 – Distribuição espacial do <i>valor de produção</i> de petróleo na Região Amazônica – ano 2000.....	131
Figura 7.17 – <i>Box Map</i> da variável <i>valor de produção</i> da madeira na Região Amazônica – ano 2000.....	133
Figura 7.18 – <i>Moran Map</i> da variável <i>valor de produção</i> de madeira na Região Amazônica – ano 2000.....	135
Figura 7.19 – <i>Moran Map</i> da variável <i>valor de produção</i> de soja na Região Amazônica – ano 2000.....	136
Figura 7.20 – <i>Moran Map</i> da variável <i>valor de produção</i> de arroz na Região Amazônica – ano 2000.....	137
Figura 7.21 – <i>Moran Map</i> da variável <i>valor de produção</i> de mandioca na Região Amazônica – ano 2000.....	137
Figura 7.22 – <i>Box Map</i> da variável <i>valor de produção</i> da mandioca na Região Amazônica.	138
Figura 7.23 – Representação gráfica do <i>nó centróide Novo São Joaquim</i>	141
Figura 7.24 – Configuração geográfica da rede de transporte básica na Região Amazônica.	144
Figura 7.25 – Cenário 1: caminho mínimo entre a origem Diamantino e destino Manaus.	156
Figura 7.26 – Cenário 2: caminho mínimo entre a origem Diamantino e destino Santarém	157
Figura 7.27 – Cenário 3: caminho mínimo entre a origem Diamantino e destino Vila do Conde.	157
Figura 7.28 – Rede de transporte multimodal de carga na Região Amazônica – Cenário 1:..	159
Figura 7.29 – Rede de transporte multimodal de carga na Região Amazônica – Cenário 2:..	160
Figura 7.30 – Rede de transporte multimodal de carga na Região Amazônica – Cenário 3:..	161
Figura 8.1 – Usina hidrelétrica de Tucuruí e corredeiras de Santa Isabel.	164
Figura 8.2 – Bancos de areia no rio Araguaia próximo ao município de São Félix do Araguaia (Fonte: Castorino, 2008).	165
Figura 8.3 – Importância dos pólos de crescimento para a elaboração da rede de transporte e para o crescimento e desenvolvimento econômico.	166
Figura 8.4 – Localizações espaciais dos PC na Região Amazônica.	168
Figura A1.1 – (a) Distribuição espacial oriundo do modelo anisotrópico; e (b) distribuição espacial oriundo do modelo isotrópico (Fonte: Camargo <i>et al.</i> , 2001).....	200
Figura A1.2 – (a) Padrões pontuais de eventos, e (b) superfície obtida pela interpolação geostatística dos eventos apresentados na figura A1.2(a) (Fonte: Câmara <i>et al.</i> , 2000a).	202
Figura A1.3 – Padrão de análise espacial de áreas (Fonte: Câmara <i>et al.</i> , 2000b).....	203

Figura A1.4 – Inter-relação entre os quatro grupos de ferramentas da análise espacial (Fonte: Anselin, 1992).	205
Figura A1.5 – Classificação dos setores censitários da Ilha do Governador para os dados de 1991 (Fonte: Carvalho, 1997).....	206
Figura A1.6 – Diagrama de espalhamento de Moran (Fonte: Lopes, 2005).	212
Figura A1.7 – <i>Box Map</i> do índice de exclusão – baixa renda do município do Rio de Janeiro – 1991 (Fonte: Cruz & Barros, 2000).....	213
Figura A1.8 – <i>LISA Map</i> do índice de exclusão – baixa renda do município do Rio de Janeiro – 1991 (Fonte: Cruz & Barros, 2000).....	214
Figura A1.9 – <i>Moran Map</i> do índice de exclusão – baixa renda do município do Rio de Janeiro – 1991 (Fonte: Cruz & Barros, 2000).....	214
Figura A1.10 – Definição de SIG segundo Dantas <i>et al.</i> (1996).....	215
Figura A2.1 – <i>Box Map</i> da variável <i>valor de produção</i> da soja na Região Amazônica – ano 2000.....	216
Figura A2.2 – <i>Box Map</i> da variável <i>valor de produção</i> do arroz na Região Amazônica – ano 2000.....	216
Figura A2.3 – <i>Box Map</i> da variável <i>valor de produção</i> da mandioca na Região Amazônica – ano 2000.....	216
Figura A3.1 – PC na Região Amazônica, produção de <i>madeira</i> como indústria motriz..	217
Figura A3.2 – PC na Região Amazônica, produção de <i>soja</i> como indústria motriz.	217
Figura A3.3 – PC na Região Amazônica, produção de <i>arroz</i> como indústria motriz.	217
Figura A3.4 – PC na Região Amazônica, produção de <i>mandioca</i> como indústria motriz.	218
Figura A3.5 – PC na Região Amazônica, produção de <i>ferro</i> como indústria motriz.....	218
Figura A3.6 – PC na Região Amazônica, produção de <i>petróleo</i> como indústria motriz..	218
Figura A4.1 – Veículo considerado na determinação do custo operacional de transporte rodoviário de carga.	219
Figura A4.2 – Comboio fluvial considerado na determinação do custo operacional de transporte hidroviário interior de carga (Fonte: SILNAVE Navegação S/A).....	219
Figura A4.3 – Composição ferroviária considerada na determinação do custo operacional de transporte ferroviário de carga	219
Figura A5.1 – Investimentos previstos pelo governo brasileiro em infra-estruturas de transportes para a região Norte 2007-2010 (Fonte: Ministério do Planejamento, 2007).	220
Figura A5.2 – Ligações intermodais previstas pelo governo brasileiro para a região Norte 2007-2010 (Fonte: Ministério do Planejamento, 2007).....	220
Figura A5.3 – Investimentos previstos pelo governo brasileiro em infra-estruturas de transportes para a Região Centro-Oeste 2007-2010 (Fonte: Ministério do Planejamento, 2007).	221
Figura A7.1 – Rede 1: <i>Status quo</i>	226
Figura A7.2 – Rede 2: Investimentos em infra-estrutura de transportes a médio prazo – programas governamentais.	227
Figura A7.3 – Rede 3: Investimentos em infra-estrutura de transportes a longo prazo – estratégico.	228

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ADA	Agência de Desenvolvimento da Amazônia.
AHIMOR	Administração das Hidrovias da Amazônia Oriental.
AHITAR	Administração da Hidrovia Tocantins/Araguaia.
ANTAQ	Agência Nacional de Transporte Aquaviário.
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos.
ANTT	Agência Nacional de Transporte Terrestre.
BDG	Banco de Dados Geográficos.
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce.
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.
DNPM	Departamento Nacional de Pesquisa Mineral.
EDA	<i>Exploratory Data Analysis.</i>
EFA	Estrada de Ferro do Amapá.
EFC	Estrada de Ferro Carajás.
EFJ	Estrada de Ferro do Jarí.
EFT	Estrada de Ferro Trombetas.
ESDA	<i>Exploratory Spatial Data Analysis.</i>
ESCAP	<i>Economic and Social Commission for Asian and the Pacific.</i>
EUA	Estados Unidos da América.
FNS	Ferrovias Norte-Sul.
GEIPOT	Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
ICOMI	Indústria e Comércio de Minérios.
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária.
INPA	Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia.
IMAZON	Instituto do Homem e do Meio Ambiente da Amazônia.
IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológica.
MAUP	<i>Modifiable Areal Unit Problem.</i>
MT	Ministério dos Transportes.
OCDE	<i>Organization for Economic Cooperation and Development.</i>

PAC	Plano de Aceleração do Crescimento.
PCN	Projeto Calha Norte.
PD	Pólos de Desenvolvimento.
PDAm	Plano de Desenvolvimento da Amazônia.
PIB	Produto Interno Bruto.
PIN	Programa de Integração Nacional.
PGC	Projeto Grande Carajás.
PND	Plano Nacional de Desenvolvimento.
PNVI	Plano Nacional das Vias Navegáveis Interiores.
PROTERRA	Programa de Redistribuição de Terras.
GIS	<i>Geographic Information System.</i>
SEPLAM	Secretaria do Planejamento do Estado do Amazonas.
SIG	Sistema de Informação Geográfica.
SPVEA	Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia.
STHI	Sistema de Transporte Hidroviário Interior.
SUDAM	Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia.
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste.
TCA	Tratado de Cooperação Amazônica.
VALEC	Engenharia, Construções e Ferrovias S.A.

LISTA DE SÍMBOLOS

CT :	comprimento total da embarcação.
B :	boca da embarcação.
CL :	calado da embarcação.
hp_{\min} :	mínima distância entre o calado da embarcação e o leito do rio.
h :	profundidade do rio.
Sq :	“ <i>Squat</i> ”.
C_{\min} :	distância mínima entre o calado da embarcação e o leito do rio.
$G[N;A]$:	rede constituída por um grupo de N nós e A arcos.
n_i :	nó i .
a_i :	arco i .
IATR	Índice de Acessibilidade Topológica Relativa.
ICM	Índice de Conexão Máxima.
IP	Índice de Prihar.
IZ	Índice de Zagozdón.
Ω :	índice de Stutz.
A_y :	valor da acessibilidade topológica absoluta.
A_* :	valor mínimo de Shimbél da rede considerada.
A^* :	valor máximo de Shimbél da rede considerada.
v :	número de nós da rede considerada.
a :	número de arcos da rede considerada.
γ :	índice <i>gamma</i> de Kansky.
α :	índice <i>alfa</i> de Kansky.
β :	índice <i>beta</i> de Kansky.
η :	índice <i>eta</i> de Kansky.
ι :	índice <i>iota</i> de Kansky.
π :	índice <i>pi</i> de conexão.
Lg :	longitude da rede considerada.
d_i :	longitude total do diâmetro da rede considerada.
C_{tr} :	custos de transportes em uma rede.
C_{ij} :	custo entre os nós i e j .

f_{ij} :	fluxo entre os nós i e j .
C_{rota} :	custo da rota de origem no nó n_r e destino n_{r+1} .
cn_j :	custo de transporte no nó n_j .
ca_i :	custo de transporte no arco a_i .
cfa_i :	custo fixo por dia no arco a_i .
cva_i :	custo variável por quilômetro no arco a_i .
cfv :	custo fixo diário do veículo.
D_i :	comprimento do arco a_i .
Vm :	velocidade média do veículo no arco a_i .
htd :	horas trabalhadas por dia.
cvv :	custo variável do veículo.
coa_i :	custo operacional de transporte no arco a_i por tonelada.
P :	capacidade de carga do veículo.
z_i, z_j :	variáveis aleatórias.
W :	matriz de proximidade espacial.
μ_i :	média móvel espacial.
z_i :	diferença entre o valor do atributo no local i e a média de todos os atributos.
w_{ij} :	pesos atribuídos conforme a relação topológica entre os locais i e j .
I :	Índice Global de Moran.
n :	número de áreas.
C :	Índice de Geary.
y_i :	valor do atributo considerado no local i .
y_j :	valor do atributo considerado no local j .
I_i :	Índice Local de Moran.
$Q1, Q2$:	quadrantes constituintes do diagrama de espalhamento de Moran..
$C_{manuseio}$:	custo de manuseio de carga no nó n_j .
t_p :	taxa portuária i vigente no nó n_j .
T_{1j} :	tarifa portuária de utilização da infra-estrutura hidroviária (R\$/ton);
T_{2j} :	tarifa portuária de utilização da infra-estrutura terrestre (R\$/ton);
Op_j :	serviços de movimentação de carga (R\$/ton).

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 – APRESENTAÇÃO

Países continentais como o Brasil apresentam grandes regiões em desenvolvimento com imensos recursos naturais disponíveis, tais como a Região Amazônica. Esses países, em função de o processo de planejamento não contemplar igualmente todas as regiões, por possíveis falhas na elaboração dos planos, não conseguem atingir níveis de desenvolvimento e crescimento desejáveis. O planejamento adotado, neste caso, reflete-se, em termos de ineficiência, principalmente no planejamento regional e nas suas duas vertentes principais: o planejamento dos transportes e o planejamento territorial (Vasconcelos, 2000).

O planejamento dos transportes define as facilidades necessárias para assegurar o deslocamento de pessoas e produtos, além dos sistemas e modos de transportes que poderiam ser usados em tais deslocamentos, determinando os meios que fornecem as melhores condições de uso. O planejamento territorial é compreendido como um conjunto de diretrizes, políticas e ações desenvolvidas com o objetivo de alcançar o ordenamento e a dinâmica desejada do espaço geográfico. Nesse caso, o planejamento territorial é responsável, entre outros pontos, por definições e análises do uso e ocupação do solo, utilizando conceitos de especialização regional (Kraft *et al.*, 1971; Lopes, 2001).

A ausência de planejamento, especificamente aquele que se preocupa com a identificação no espaço dos centros onde atividades se processam, ocasiona as principais ineficiências encontradas no processo de planejamento regional (Richardson, 1969). Essas ineficiências podem gerar a dispersão de grandes centros e de atividades econômicas no espaço geográfico e, em consequência, ocasionar o desordenamento territorial.

As dispersões, nesse caso, são ocasionadas, principalmente, pela incompatibilidade do uso e ocupação do solo com a infra-estrutura de transportes, o que reflete nos processos ineficientes de desenvolvimento econômico regional (Lopes, 2001). Tal problema poderia ser solucionado por meio da identificação de atividades econômicas predominantes, as quais possibilitariam a identificação de Pólos de Crescimento (Andrade, 1987). Esses pólos propagariam o desenvolvimento econômico por intermédio dos chamados eixos de

desenvolvimento, constituídos, principalmente, pela infra-estrutura de transportes (Perroux, 1964), os quais, juntamente com os pólos, constituiriam uma complexa rede de transporte multimodal, contribuindo para o desenvolvimento econômico regional.

A concepção de uma rede de transporte multimodal que promova os deslocamentos de produtos de forma eficiente e impulse o desenvolvimento econômico de regiões como a Amazônica sustenta-se, basicamente, em duas fundamentações teóricas: a Teoria dos Pólos de Crescimento e Pólos de Desenvolvimento de Perroux; e a Teoria dos Grafos usada em técnicas de elaboração de redes. O uso dessas teorias serve como suporte para a identificação das especificidades e atividades econômicas da Região em estudo e, como consequência, possibilita localizar os principais centros ou pólos de crescimento econômico que necessitam de infra-estrutura de transportes para os deslocamentos.

O principal objetivo deste estudo é desenvolver uma metodologia para a elaboração de rede de transporte multimodal de carga que permita o deslocamento dos produtos de uma região de forma mais eficiente, usando os recursos naturais e de infra-estrutura disponíveis. A metodologia proposta é aplicada ao caso da Região Amazônica, onde são identificados os principais pólos de crescimento econômico, elementos essenciais constituintes da rede de transporte. Em seguida, são coletadas e analisadas as informações quanto à infra-estrutura de transportes, necessárias à configuração das vias de ligação que estruturam a rede, destacando a imensa malha hidrográfica que cobre a Região.

1.2 – DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O Brasil, com 61% de seu território constituído por imensos recursos naturais disponíveis, como os extensos rios e a vasta riqueza geoeconômica, ainda possui índices econômicos insignificantes que não refletem os níveis de crescimento e desenvolvimento tão almejados. Os modelos de desenvolvimento aplicados a países como o Brasil, onde a exploração dos recursos naturais foi efetuada equivocadamente, sem preservar seu ecossistema nem tampouco atingir níveis satisfatórios de desenvolvimento econômico, podem ser considerados como alguns dos principais fatores que ocasionaram as desigualdades regionais e, por conseguinte, a estagnação econômica (Sant'Anna, 1998).

No entanto, o que contribuiu de forma determinante para tal estagnação foi a elaboração, durante anos, de políticas de planejamento regional que não consideraram processos

participativos. Some-se a isso o desconhecimento da área de estudo e, principalmente, a falta de prioridade à integração de modelos de planejamento territorial com o planejamento de transportes adequados a determinadas regiões de características geográficas específicas.

Os modelos de desenvolvimento observados na Região Norte do Brasil refletem a situação descrita acima, principalmente no que se refere à Região Amazônica, que ainda sofre pela escassez de investimentos em áreas como ambiental, econômica e de infra-estrutura, reflexo dos modelos ineficientes de planejamento, os quais não consideraram as especificidades da Região, caracterizadas pela baixa densidade demográfica, grandes distâncias, recursos naturais existentes, entre outras.

Neste contexto, os *recursos naturais* são compreendidos como componentes materiais ou não, da paisagem geográfica que ainda não tenham sofrido importantes transformações pelo trabalho humano, e cuja própria origem é independente do homem, mas aos quais lhes foram atribuídos, historicamente, valores econômicos, sociais e culturais.

Os recursos naturais disponíveis, tais como os rios, são exemplos de como esses componentes geográficos poderiam ser usados de forma mais estruturada, a fim de proporcionar transportes mais eficientes para a Região Amazônica e estimular o crescimento e desenvolvimento econômico regional. Neste caso, entende-se por eficiência a propriedade de uma determinada atividade quando realizada com elevada produtividade, custo reduzido, e com reduzida externalidade negativa (CEFTRU, 2007).

Dessa forma, o problema identificado para o desenvolvimento da pesquisa é: como melhorar os deslocamentos de produtos das regiões aproveitando os recursos naturais e de infra-estrutura disponíveis de forma eficiente a fim de estimular o crescimento e desenvolvimento econômico regional?

1.3 – JUSTIFICATIVA

Quando se pensa na extensão territorial que constitui o Brasil, imagina-se de imediato a sua biodiversidade. De fato, uma das principais imagens que retrata o Brasil internacionalmente é a composição de seus recursos naturais. Tais recursos naturais, no entanto, não recebem a atenção que merecem, seja no que se refere à manutenção de sua biodiversidade, seja na utilização adequada dos meios naturais que ela disponibiliza.

A Região Amazônica, neste contexto, destaca-se, principalmente, por englobar tais características, isto é, possui riqueza natural incomensurável, mas, ao mesmo tempo, apresenta índices de crescimento e desenvolvimento distantes de outras regiões do país, especialmente quando comparados às Regiões Sul e Sudeste, o que, de certa forma, explicitam as desigualdades regionais existentes.

Uma seleção de indicadores de várias ordens mostra a defasagem que existe entre o território ocupado pela Região Amazônica e o seu peso socioeconômico no país: representa em torno de 61% do território brasileiro, 5% do PIB nacional, 9% da população urbana e 14% dos migrantes recentes (ADA, 2007).

Tais desigualdades, quando mantidas, tendem a contribuir para que as interdependências regionais permaneçam ou, até mesmo, se elevem, funcionando como elementos impeditivos ao desenvolvimento e ao crescimento econômico, tanto regional quanto nacional. Por esse motivo, mecanismos que venham contribuir para que sub-regiões menos desenvolvidas alcancem níveis consideráveis de desenvolvimento são fundamentais.

No caso da Região Amazônica, o enfoque deve ser diverso, uma vez que se trata de uma região que se destaca por ser um grande vazio demográfico/econômico, onde está em jogo o interesse nacional de sua integração efetiva às demais áreas do país. Deve-se pensar em uma rede de transportes, cuja concepção para a Região deve se enquadrar na própria concepção da política de desenvolvimento econômico regional, que, certamente, inclui a integração dos subespaços regionais.

Tal política encontra-se estruturada em vários documentos produzidos pelo Governo brasileiro, distribuídos entre os diversos projetos, programas e planos desenvolvidos para a Região, entre os quais se destacam: Polamazônia; Projeto Calha Norte; Programa de Integração Nacional; Programa de Redistribuição de Terras (PROTERRA); I e II Planos Nacionais de Desenvolvimento (PND); I e II Planos de Desenvolvimento da Amazônia (PDAm); Planos Quinquenais da Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA); Programa de Investimentos em Infra-estrutura Física no Eixo Manaus - Boa Vista; Plano Estratégico de Desenvolvimento da Amazônia Legal, do Conselho Nacional da Amazônia Legal; além do Tratado de Cooperação Amazônica (TCA) e seus

documentos subseqüentes, que destacam as políticas de convergência por parte dos países membros do TCA, principalmente sob o aspecto intra-regional (Ministério do Interior, 1975; Ministério do Interior, 1976; Secretaria de Assessoramento da Defesa Nacional, 1990; Ministério do Meio Ambiente, Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1995).

Apesar de tais planos terem sido desenvolvidos com vistas à ocupação territorial e desenvolvimento econômico da Região, pouco se alcançou, devido à incompatibilidade dos modelos de planejamento de transportes e planejamento territorial propostos para a Região. Constata-se, ainda hoje, um subdesenvolvimento, no qual a integração do subespaço intra-regional, com vinculação econômica e social das diferentes sub-regiões, continua dispersa e fragmentada (Siqueira & Filho, 2001; Kampel *et al.*, 2001; Sant'Anna, 1998).

O fortalecimento econômico e a ocupação nas áreas de fronteira ainda são considerados incipientes, e, principalmente a infra-estrutura de transportes da região é ineficiente, sendo que o modo de transporte considerado apropriado aos deslocamentos dos produtos da Região e disponível de forma natural não é aproveitado em seu total potencial, isto é, quase 25 mil quilômetros de vias de navegação subutilizados (Théry & Mello, 2005).

A ineficiente infra-estrutura de transportes e os frágeis índices econômicos, de certa forma, respondem pelos baixos níveis socioeconômicos que ainda caracterizam a Região, comprovando as desigualdades regionais existentes no Brasil. Isso pode ser visualizado ao se comparar alguns índices como PIB per capita, população, e infra-estrutura (extensão de rios navegáveis e de rodovias) entre os Estados que constituem a Região Amazônica e os Estados das Regiões Sul e Sudeste do Brasil, como pode ser verificado na Tabela 1.1.

Neste contexto, identifica-se a necessidade de realizar um estudo voltado à elaboração de uma rede de transporte multimodal de carga na Região Amazônica (transporte multimodal é aquele que vincula o percurso da carga a um único documento de transporte, independente das combinações de meios), privilegiando os seus recursos naturais e de infra-estrutura disponíveis, e que induza o crescimento e desenvolvimento econômico da região a fim de reduzir as desigualdades locais e regionais. No entanto, é importante destacar que nesta tese não são tratados os efeitos ambientais advindos da relação entre transporte e crescimento/desenvolvimento econômico, visto que tal enfoque é considerado

complexo e, por tal motivo, requer uma discussão ampla que vai além dos objetivos definidos para este estudo.

Tabela 1.1 – Área, PIB per capita, população, extensão de rios e extensão das rodovias dos Estados da Região Amazônica e dos Estados da Região Sul e Sudeste do Brasil.

Estado	Área (km ²)	PIB per capita (R\$)	População	Extensão de Rios Navegáveis (km)	Extensão de Rodovias (km)	
					Pavimentada	Não Pavimentada
Rondônia	237.576,16	5.382,00	1.380.952	20.500	13.038,00	1.530,00
Acre	152.581,38	4.522,00	557.882		2.642,60	916,20
Amazonas	1.570.745,68	9.258,00	2.817.253		3.563,60	1.462,80
Roraima	224.298,98	4.694,00	324.397		5.331,90	1.092,80
Pará	1.247.689,51	4.443,00	6.195.965		9.782,00	4.181,10
Amapá	142.814,58	5.764,00	497.032		1.563,50	306,00
Tocantins	277.620,91	3.405,00	1.157.690		283,40	1.591,50
Maranhão	331.983,29	2.380,00	5.657.553		12.577,00	6.908,40
Mato Grosso	903.357,90	8.529,00	2.505.246		11.566,60	4.750,40
Minas Gerais	586.528,29	7.790,00	17.905.125		22.860,70	15.381,40
Espírito Santo	46.077,51	8.916,00	3.097.497	3.180	3.298,10	278,40
Rio de Janeiro	43.696,05	12.795,00	14.392.100		6.073,60	1.104,50
São Paulo	248.209,42	12.782,00	37.035.455		27.453,40	976,80
Paraná	199.314,85	9.993,00	9.564.643		13.735,03	2.083,15
Santa Catarina	95.346,18	11.095,00	5.357.862	600	6.787,80	291,30
Rio Grande do Sul	281.748,53	12.181,00	10.187.841		11.616,00	22.453,80

Fonte: IBGE; DNIT (2003).

1.4 – HIPÓTESES

Para atingir os objetivos descritos, esta tese partirá das seguintes hipóteses:

- A teoria dos pólos de crescimento e desenvolvimento de Perroux permite identificar os nós na elaboração de uma rede de transporte multimodal;
- Os arcos da rede de transporte multimodal baseada na teoria dos grafos podem ser definidos aproveitando os recursos naturais e de infra-estrutura de transportes existentes;
- A rede de transporte multimodal possibilita os deslocamentos dos produtos de uma região de forma eficiente induzindo o seu crescimento e desenvolvimento econômico.

1.5 – OBJETIVO

Considerando as hipóteses apresentadas previamente, o objetivo principal deste estudo é desenvolver uma metodologia para a elaboração de rede de transporte multimodal de carga que possibilite os deslocamentos dos produtos de forma eficiente, usando os recursos naturais e de infra-estrutura disponíveis. Como objetivos específicos, têm-se:

- diagnóstico da infra-estrutura de transportes e da economia da Região Amazônica;
- análise de navegabilidade dos rios da Região Amazônica;

- identificação dos pólos de crescimento (PC);
- análise de custo operacional de transporte de carga;
- determinação de rotas de custo mínimo.

1.6 – METODOLOGIA DA PESQUISA

Visando atingir os objetivos propostos e comprovar a hipótese descrita anteriormente, adotou-se a metodologia constituída por cinco etapas (Figura 1.2), a saber:

- **Etapa 1 – Revisão bibliográfica:** nesta etapa, com o objetivo de dar subsídios teóricos ao desenvolvimento da pesquisa, os principais conceitos são revisados sobre o tema transporte e desenvolvimento econômico, Sistema de Transporte Hidroviário Interior (STHI), rede de transportes, e Região Amazônica;
- **Etapa 2 – Proposta metodológica:** nesta etapa é proposta uma metodologia para a elaboração de rede de transporte multimodal de carga sob o enfoque de desenvolvimento econômico, baseada nos conceitos estudados na revisão bibliográfica;
- **Etapa 3 – Estudo de caso:** nesta etapa, a proposta metodológica é validada por meio da aplicação ao caso da Região Amazônica;
- **Etapa 4 – Análise dos resultados:** nesta etapa são analisados os resultados alcançados com a aplicação da metodologia ao caso da Região Amazônica;
- **Etapa 5 – Conclusões:** na última etapa da metodologia é apresentada a importância e as limitações da proposta, são analisadas as constatações do estudo de caso e são apresentadas sugestões e recomendações para futuros trabalhos relacionados ao tema abordado nesta tese.

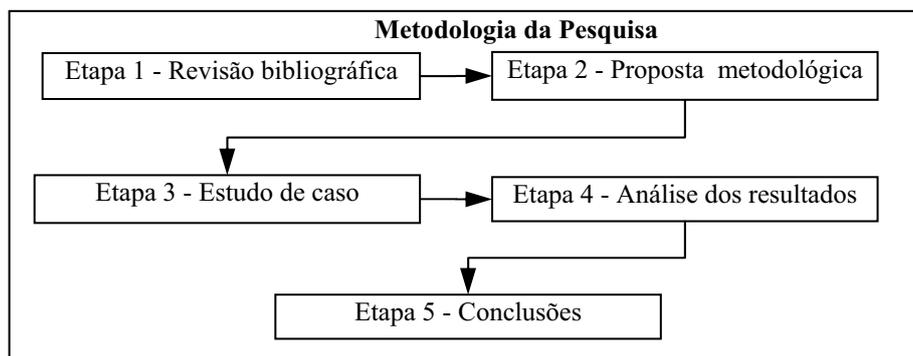


Figura 1.1 – Representação da metodologia da pesquisa.

1.7 – ESTRUTURA DA TESE

Esta tese está dividida em oito capítulos além deste capítulo de introdução. O segundo capítulo apresenta as fundamentações teóricas referentes às Teorias de Desenvolvimento

Econômico Regional; aborda os conceitos de desenvolvimento e crescimento econômico; classifica as teorias de desenvolvimento econômico regional em Teorias Econômicas e Teorias Geoeconômicas; e detalha a Teoria dos Pólos de Crescimento e Desenvolvimento de François Perroux. Apresenta, ainda no Capítulo 2, as fundamentações empíricas a respeito da relação existente entre desenvolvimento econômico e transporte.

No Capítulo 3 são apresentadas as características do Sistema de Transporte Hidroviário Interior (STHI) e seus elementos funcionais, além das principais diferenças existentes entre o STHI e os demais sistemas de transporte.

No quarto capítulo, descreve-se o estudo da teoria dos grafos na elaboração de redes de transportes. Os principais conceitos, notações, terminologias e medidas de análise referentes ao estudo das redes de transporte são apresentados. Ao final do capítulo é introduzida a análise de custos em redes de transporte.

No capítulo 5, são apontadas as principais características da Região Amazônica, assim como suas fases de desenvolvimento e os planos e projetos de crescimento e desenvolvimento econômico elaborados para a região.

No capítulo 6, é apresentada uma metodologia para o desenvolvimento de rede de transportes, onde suas etapas são descritas, detalhadamente, em tópicos estruturados.

No sétimo capítulo, um estudo de caso com aplicação na Região Amazônica é apresentado, seguindo todas as etapas constituintes da metodologia descrita no capítulo 6.

O oitavo capítulo apresenta as principais análises realizadas quanto à aplicação da metodologia, descrita no capítulo 6, e quanto ao estudo de caso realizado na Região Amazônica. Neste caso, destacam-se as análises referentes à identificação dos pólos de crescimento, a análise da infra-estrutura de transporte atual, o custo de transporte e, finalmente, a concepção da rede de transporte multimodal de carga.

No último capítulo, considerações finais e conclusões são colocadas, assim como recomendações para futuros estudos que possam ser realizados sobre o tema proposto.

CAPÍTULO 2 – DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO REGIONAL

2.1 – APRESENTAÇÃO

Por volta da segunda metade do século XX, cientistas sociais, economistas, geógrafos e outros estudiosos começaram a se preocupar, de maneira enfática, com um dos principais problemas que afetavam as sociedades modernas: o desigual desenvolvimento entre as nações e o desigual desenvolvimento entre as várias regiões de um mesmo país.

Vários estudos foram realizados sobre desenvolvimento regional, baseados em certas disciplinas surgidas em países desenvolvidos da Europa e nos Estados Unidos, chamadas, em sua essência, de Ciência Regional, Economia Regional, Geografia Regional e de Organização do Espaço. Entre tais estudos, alguns desenvolvidos por economistas, resultaram em teorias e modelos fundamentalmente econômicos, também chamados de Teorias Econômicas. Os economistas relutavam em aceitar que houvesse regularidade na organização espacial da economia (Richardson, 1969). Quando estudavam além do mundo estático e não-espacial, voltavam para problemas dinâmicos convencionais, nos quais o tempo era a variável importante a ser considerada (Haddad *et al.*, 1989).

Finalmente, percebeu-se que as teorias econômicas e suas concepções não representavam, de forma real, as alterações dinâmicas que ocorrem na economia regional, e não alteravam a situação econômica e de desenvolvimento nas quais as populações dos países pobres se encontravam, levando-se a considerar cada vez mais os problemas de localização e espaço nas análises econômicas regionais (Haddad *et al.*, 1972).

Teorias e modelos que se preocupavam com o desenvolvimento regional surgiram, considerando, além de fatores econômicos, o problema do espaço e a representação das alterações dinâmicas que ocorriam nas regiões em um contexto geoeconômico. Entre tais teorias, destaca-se a Teoria dos Pólos de Desenvolvimento de François Perroux (1964), baseada não só em pesquisas econômicas, mas também no conhecimento histórico e geográfico. Preocupa-se, não apenas com o crescimento da economia, como também com o desenvolvimento, de forma que as porções mais pobres das populações possam receber benefícios sociais para o crescimento e desenvolvimento de suas economias.

Os pressupostos a respeito do Desenvolvimento Econômico Regional são estudados neste capítulo, iniciando as análises pelos conceitos de desenvolvimento e desenvolvimento econômico regional. Prosseguindo, os principais modelos e teorias de desenvolvimento econômico regional são apresentados, os quais são separados em dois grupos. O primeiro compreende as teorias de desenvolvimento sob o enfoque essencialmente econômico; e o segundo é constituído por teorias de caráter econômico e geográfico, com maior destaque para a Teoria dos Pólos de Crescimento e Desenvolvimento de Perroux. Além disso, as relações existentes entre Transporte e Desenvolvimento Econômico são descritas. Para finalizar, são apresentados alguns tópicos conclusivos sobre o capítulo.

2.2 – DESENVOLVIMENTO REGIONAL

Antes de iniciar o estudo sobre desenvolvimento regional, torna-se necessário introduzir alguns elementos importantes. Desse modo, o conceito de desenvolvimento regional e crescimento econômico regional serão apresentados.

2.2.1 – Conceito de Desenvolvimento Regional

“O desenvolvimento pode ser considerado como um processo de aperfeiçoamento em relação a um conjunto de valores ou como uma atitude comparativa com respeito em tais valores. Os valores em questão referem-se a condições ou situações desejáveis pela sociedade de uma determinada região” (Colman & Nixon, 1981).

A taxa ou o nível relativo de desenvolvimento de uma determinada região podem ser considerados conceitos normativos, cuja definição e mensurações dependem dos juízos de valor dos analistas envolvidos e de objetivos de desenvolvimento, o que aplica certo grau de subjetividade na definição de taxa ou nível relativo de desenvolvimento.

Uma série de objetivos para os países em desenvolvimento é identificada: as rendas familiares deveriam ser adequadas de modo a proporcionar subsistência de alimentos, moradia, roupas; todo chefe de família deveria ter possibilidade de emprego; o acesso à educação deveria ser elevado, bem como as proporções de alfabetização (Seers, 1963).

Por outro lado, alguns critérios mais específicos para se estimar o desenvolvimento são adotados, nesse caso, não apenas para um país, mas também para uma região, e apresentados como: racionalidade; aumento da produtividade; elevação nos padrões de

qualidade de vida; igualdade social e econômica; melhora nas instituições e atividades; acesso a tecnologia e informação; consolidação nacional (Myrdal, 1968).

2.2.2 – Mensuração do Desenvolvimento: Uma Medida Qualitativa

É difícil medir níveis comparativos de desenvolvimento, pois há dúvidas consideráveis quanto à possibilidade de obtenção de medidas que indiquem quantas vezes um país ou região é mais desenvolvido do que outro. A causa fundamental da dificuldade de medição do desenvolvimento vincula-se à própria definição de desenvolvimento. Os critérios ou objetivos pelos quais o desenvolvimento há de ser medido são de ordem qualitativa, em que fatores sociais, econômicos, tecnológicos, culturais e políticos estão envolvidos.

O desenvolvimento poderia ser quantificado por índices que representassem, ainda que de forma incompleta, a qualidade de vida dos indivíduos, compreendendo um conjunto de medidas que refletissem alterações econômicas, sociais, políticas e institucionais, tais como: renda per capita, expectativa de vida, mortalidade infantil, fertilidade, educação, analfabetismo, distribuição de renda entre diferentes classes e setores, entre outras.

2.3 – DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO REGIONAL

Antes de apresentar as teorias de desenvolvimento econômico regional, é importante relacioná-las ao desenvolvimento econômico e ao crescimento econômico, assim como às principais diferenças que as caracterizam.

2.3.1 – Conceito de Desenvolvimento Econômico Regional

Como apresentado anteriormente, desenvolvimento regional é um termo suscetível a ser interpretado de várias formas. Sob a ótica econômica, desenvolvimento poderia significar um incremento absoluto do capital ou da produção anual, ocorrida com independência das trocas de população (Robbins, 1974). Por outro lado, o termo desenvolvimento econômico regional pode ser compreendido como um aumento na produção, acompanhado de alterações nas disposições técnicas e institucionais, isto é, mudanças nas estruturas produtivas e na alocação dos insumos, pelos diferentes setores da produção, dentro da região considerada (Kindleberger & Herrick, 1977; Souza, 2005).

Desenvolvimento econômico regional é um processo de aperfeiçoamento em relação a um conjunto de valores desejáveis pela população de uma determinada região. Tal conceito

pode ser considerado normativo, medido de forma distinta pelas diferentes pessoas de uma mesma região (Colman & Nixon, 1981; Lanzana, 2004).

2.3.2 – Desenvolvimento Econômico x Crescimento Econômico

O conceito de desenvolvimento econômico envolve, além de mudanças de caráter quantitativo dos níveis do produto nacional, mudanças qualitativas no modo de vida das pessoas, e modificações que alteram a composição do produto e a alocação dos recursos pelos diferentes setores da economia (Lanzana, 2004; Souza, 2005). Já por crescimento econômico, entende-se como o aumento contínuo do produto nacional, em termos globais ou per capita, ao longo do tempo (Lanzana, 2004; Souza, 2005). Um processo de desenvolvimento econômico é caracterizado pelo surgimento ao longo do tempo de:

- crescimento do bem-estar econômico, medido por indicadores de natureza econômica, tais como: produto nacional total, e produto nacional per capita;
- redução dos níveis de pobreza, desemprego e desigualdade social;
- melhoria das condições de saúde, nutrição, educação, moradia, tecnologia e transporte.

A compreensão e distinção dos conceitos de desenvolvimento e crescimento econômico são determinantes, pois é necessária a análise das teorias econômicas que fundamentaram os modelos de desenvolvimento econômico regional elaborados ao longo dos anos.

2.3.3 – Teoria do Desenvolvimento no Contexto Econômico: Breve Histórico

A economia política nasceu no século XVIII como resposta à necessidade sentida pela burguesia de dispor de uma explicação sistemática dos mecanismos de comércio; construiu o esquema de uma sociedade estritamente econômica, onde os indivíduos, perseguindo seus próprios interesses, impulsionaram o progresso material da sociedade, ocupada apenas em estudar o uso dos recursos em um mundo estático, sem se preocupar com os problemas de desenvolvimento (Duque, 1966).

Durante décadas, vários estudiosos advindos, principalmente, de países ricos da Europa elaboraram teorias e modelos econômicos que pudessem considerar alguns fatores como terra, trabalho, capital e, em alguns casos, a tecnologia, preocupando-se com o crescimento da economia. Depois da crise de 1929, com a quebra da bolsa de Nova York e após a Segunda Guerra Mundial, países como Alemanha, França e Holanda viram-se forçados a

elaborar modelos econômicos que não se preocupassem somente com o crescimento de suas economias, mas também com os padrões de qualidade de vida e igualdade socioeconômica de suas populações.

Não restou outro caminho senão retornar às origens das teorias econômicas para auxiliar na busca de uma nova base conceitual teórica que analisasse os países afetados por crises econômicas passadas e os países emergentes no contexto do capitalismo globalizado, permitindo a retomada dos velhos conceitos e dos modelos de crescimento clássicos, neoclássicos e keynesianos, com suas categorias, como rendimentos crescentes, economias externas, capital humano, tecnologia e outros conceitos menos explorados naquela época.

2.3.4 – Teorias e Modelos de Desenvolvimento Regional: um Enfoque Econômico

As principais teorias e modelos de desenvolvimento econômico regional surgiram após a Segunda Grande Guerra, preocupando-se não mais apenas com o crescimento das nações desenvolvidas assoladas pelas crises econômicas anteriores à guerra e pelas conseqüências da própria guerra. Essas teorias e modelos, no entanto, foram aplicadas em países em vias de desenvolvimento e, em alguns casos, com poucas alterações em suas premissas. É importante destacar que tais teorias e modelos surgiram, basicamente, dos pensamentos teóricos de Ricardo, Smith, Marx, Malthus, Schumpeter, Keynes e Allyn Young, para citar os mais importantes. Por esse motivo, elas podem ser consideradas como de desenvolvimento com fundamentos essencialmente econômicos.

A Tabela 2.1 apresenta as principais teorias e modelos de desenvolvimento regional sob o enfoque econômico. Entre tais teorias e modelos destacam-se: Modelo de Harrod-Domar; Modelo de Mahalanobis; Teoria do Grande Impulso Inicial (*Big Push*) e Crescimento Equilibrado – Rosenstein-Rodan; Teoria sobre o Dualismo Econômico de Lewis; Teoria dos Estágios de Crescimento Econômico de Rostow; e a Teoria de Solow.

Tabela 2.1 – Teorias e modelos de desenvolvimento regional sob o enfoque econômico.

Teorias e Modelos	
Modelo de Harrod-Domar	<p style="text-align: center;">Premissas</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ A mesma teoria foi criada independentemente pelos dois autores – Harrod em 1939 e Domar em 1946. No entanto, em nenhum dos casos os autores estavam preocupados com os países em desenvolvimento. A intenção primordial era explorar as condições para crescimento econômico estável em países desenvolvidos (Colman & Nixon, 1981). ▪ Rosenstein-Rodan (1943), escrevendo sobre a Europa Oriental, sugeriu que os países pobres precisavam de um impulso inicial de investimento industrial. As razões para tal eram, contudo, mais profundas do que a mera necessidade de aumentar o investimento. O argumento era o da não ocorrência de um investimento isolado, em qualquer indústria, ser financeiramente atraente ou bem sucedido, em razão do tamanho insignificante do mercado para seu produto (Colman & Nixon, 1981); ▪ Uma vez ocorrido o impulso inicial, seria criado um mercado de base suficientemente amplo para incentivar investimentos futuros. Em outras palavras, expandir uma economia atrasada requer um volume inicial de investimentos de tal ordem que dificilmente será obtido espontaneamente, o que torna necessário dar saltos qualitativos no volume de recursos requerido, garantindo as condições de desenvolvimento.
Modelo de Mahalanobis	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dentre as mais célebres derivações do modelo de Harrod-Domar está o modelo de Mahalanobis (1955), o qual foi empregado no estabelecimento do nível da renda nacional, metas setoriais para o plano e, considerando-se o fato de o que foi proposto, para se alcançar tais metas, tenha sido implantado pelo estado, pode-se dizer que o modelo teve influência sobre a política econômica, sobretudo no tocante à ênfase dada ao desenvolvimento da indústria pesada (Colman & Nixon, 1981); ▪ No modelo de Mahalanobis, há, de forma geral, as mesmas premissas do modelo de Harrod-Domar, isto é, o produto é função do capital e, quando a economia se encontra em equilíbrio, o produto de qualquer setor será igual ao seu estoque de capital multiplicado pela relação produto-capital.
Teoria de Lewis	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A teoria do dualismo econômico de Lewis surgiu em 1954 devido a um vazio teórico existente no campo do desenvolvimento econômico. Nem as teorias de crescimento do tipo pós-keynesiana para economias industriais consolidadas, nem as teorias clássicas de crescimento em economias ditas agrárias são adequadas à análise do desenvolvimento de economias em países subdesenvolvidos, pois estes não são rurais a ponto de terem toda a sua economia baseada na produção agrícola tradicional (Fei & Ranis, 1966). A teoria sobre o dualismo econômico preocupa-se mais em descrever certos aspectos da transformação estrutural que ocorre a uma economia em desenvolvimento do que em gerar instrumentos colaboradores no planejamento do desenvolvimento.
Teoria de Rostow	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tinha como base a localização de todo e qualquer país em algum ponto da hierarquia de estágio de desenvolvimento, sendo identificados como: estágio 1: sociedade tradicional; estágio 2: de transição, caracterizada como precondição para o deslanche; estágio 3: o deslanche; estágio 4: impulso para a maturidade; estágio 5: estágio de alto consumo de massa (Richardson, 1969).
Teoria de Solow	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Robert Solow é uma das principais figuras da área de Economia do Desenvolvimento. A sua maior contribuição foi o Modelo de Solow-Swan. Um modelo econômico que procura responder, entre outras, a simples pergunta: "por que uns países são mais ricos que outros". Este modelo estuda o crescimento da economia de um país em um longo período. Ele apresentou como fonte de crescimento econômico: a acumulação de capital, o crescimento da força de trabalho e as alterações tecnológicas. Robert Solow preocupou-se em demonstrar que o produto per capita é uma função crescente da razão entre capital e trabalho. A força de trabalho cresce a uma taxa natural, então é necessário uma quantidade de poupança per capita, que deve ser utilizada para equipar os novos trabalhadores com uma quantidade de capital per capita, igual a dos outros trabalhadores (Solow, 1971).

2.3.5 – Teorias e Modelos de Desenvolvimento Regional: um Enfoque Geoeconômico – o Espaço como Unidade Dinâmica

Há tempos que a análise econômica dentro do campo do desenvolvimento regional considera tendências de desagregação das variáveis com que se trabalha. Porém, é necessário que essa desagregação seja conduzida no sentido de privilegiar todas as variáveis, a fim de que as análises atinjam níveis elevados de precisão.

O espaço foi uma das variáveis a receber atenção de desagregação de forma tardia (Lopes, 2001; Santos, 2003), onde, em economia regional, as análises são tais que a explicação dos fatos é apresentada independentemente das coordenadas espaciais de localização. Dessa forma, as funções da oferta e da procura, as propensões ao consumo e ao investimento surgem como grandezas não localizadas, assim como os mercados e as empresas são analisados sem preocupações de localização e dimensão (Haddad *et al.*, 1972).

Um outro exemplo de negligência da variável *espaço* feita pelos economistas se verifica pela definição de *região homogênea*, onde estes a consideram como regiões similares nos níveis de renda per capita. Uma região definida nesses termos é essencialmente destituída de espaço, porque tal definição implica que uma região cresce e declina como um todo antes da renda total se modificar como resultado de influências separadas sobre atividades econômicas localizadas em diferentes centros de uma região (Richardson, 1969).

Ao levar em consideração o fator *espaço* na análise do desenvolvimento econômico regional, por meio da existência de interações espaciais das atividades e dos atores no quadro regional, foram desenvolvidos alguns modelos e teorias que, neste estudo, são considerados como geoeconômicos. No entanto, antes de apresentar essas teorias e modelos, será caracterizada a variável *espaço* dentro do contexto regional.

2.3.5.1 – Espaço e região

O homem há muito tempo acostumou-se a dividir o local onde habita, seguindo as diferentes características que constituem o espaço e considerando os aspectos oriundos da influência das condições naturais e do aproveitamento do espaço. Por outro lado, são utilizadas formas imprecisas para designar porções do espaço, como: área, região e zona. Tais designações são aceitas por estarem associadas a formas e aspectos físicos que caracterizam as diversas partes do espaço que diferenciam as paisagens. Sobre essas

paisagens, as diversificações orientadas pelas condições naturais e pela atuação do homem se sobrepuseram com o tempo, devido às contingências históricas e políticas, às divisões administrativas, às fronteiras separando países, estados, municípios (Andrade, 1987).

A divisão político-administrativa, definindo áreas de menor ou maior expressão territorial, contribuiu para caracterizar certas porções, provocando novas delimitações quanto à ordenação do espaço, adoção de línguas e costumes. Isso levou os estudos geográficos a não se preocuparem com a explicação dos fatores que modelam as paisagens, tomando como unidade do espaço as divisões político-administrativas e ignorando os fatores naturais, demográficos e econômicos sobre a formação do espaço (Santos, 2003).

À medida que estudiosos da economia regional começaram a fazer indagações em novos campos de investigação, provocando a necessidade de determinação do fator *espaço* como elemento significativo a ser considerado no planejamento e desenvolvimento econômico regional, vem-se reconhecendo cada vez mais que os problemas de localização e espaço merecem análises próprias. Neste contexto, são apresentados na Tabela 2.2 os principais pressupostos teóricos relacionados ao desenvolvimento econômico regional que consideram o fator *espaço*. Maior ênfase é dada à Teoria dos Pólos de Crescimento e Pólos de Desenvolvimento, proposta por Perroux, por ser a base teórica considerada nesta tese.

Tabela 2.2 – Teorias e modelos de desenvolvimento regional sob o enfoque geoeconômico (continua).

Teorias e Modelos	Premissas
Teoria de Ricchieri	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Em 1920, Ricchieri procurou conceituar uma região natural geográfica, a qual seria largamente aceita e orientaria a primeira divisão regional aplicada oficialmente no Brasil (Andrade, 1987). Em seu estudo, Ricchieri admitia a existência de três tipos de regiões: a “região elementar”, baseada em um só fenômeno, podendo ser geológico, hidrográfico, climático ou botânico; a “região geográfica complexa”, compreendendo áreas sobre as quais se superpunham várias regiões elementares; e a “região integral”, formada por um conjunto de regiões complexas.
Teoria de Cholley	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Em meados do século XX, um professor francês chamado Cholley, impressionado com a insegurança com que os estudiosos franceses empregavam o termo <i>região</i>, se referindo neste caso, aos aspectos estritamente físicos, tentou conceituar o termo, levando em consideração dois fatores não utilizados por seus pares (Andrade, 1987). Segundo Cholley, para se caracterizar as regiões geográficas, era necessário considerar os domínios físicos, como estrutura, relevo, hidrografia e clima; os domínios biológicos, nesse caso a vegetação e fauna; finalmente, a organização do grupo feito pelo homem. (Andrade, 1987).
Teoria de François Perroux: Teoria dos Pólos de Crescimento e Pólos de Desenvolvimento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baseado em observações, Perroux desenvolveu a Teoria dos Pólos de Desenvolvimento, a qual o crescimento econômico não se faz de forma difusa por todo o espaço de um país, ou cobrindo as várias partes de uma região, mas se manifesta em certos pontos, que Perroux chama de pólos de crescimento com intensidades variáveis, daí se propagando por diversos canais com efeitos terminais distintos sobre a economia (Andrade, 1987; Haddad & Schwartzman, 1972).
Modelo de Reilly	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uma variação do modelo gravitacional foi proposta por Reilly - um dos pioneiros no uso de tal modelo na análise de centros e suas áreas de influência -, para determinar divisões geográficas entre áreas tributárias de <i>shopping-centers</i>. Nesse caso, Reilly determinou um ponto <i>x</i> no espaço, entre dois centros <i>i</i> e <i>j</i>, cujas áreas de influências eram iguais. Tal modelo é também chamado de <i>Lei de Reilly</i> (Richardson, 1969).
Teoria de Von Thünen: Atividades da Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Quando se refere à análise da localização da atividade agrícola, associa-se a esta o nome Johann-Heinrich von Thünen, que corresponde às primeiras análises e preocupações manifestadas acerca da influência da distância, portanto dos transportes, na organização espacial dentro da economia regional. O trabalho principal de von Thünen foi publicado em 1826 e pretendia indicar, de um lado, a explicação da formação dos preços dos produtos agrícolas e, de outro, as leis que associam as variações nos preços aos padrões espaciais de utilização do solo (Andrade, 1987).
Teoria de Weber	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Por ter sido Weber um dos primeiros teóricos da localização espacial a tratar da aglomeração e sua essência, a sua análise merece destaque. Weber analisou a aglomeração principalmente em função do que Hoover denominou <i>economias de localização</i> - economias de escala que são externas a firma mais intensa a indústria. Por esse motivo que alguns autores preferem definir a teoria de Weber como sendo de localização da indústria (Richardson, 1969).
Teoria de Hoover	<ul style="list-style-type: none"> ▪ É indispensável apresentar o trabalho de Hoover, que imprimiu ao modelo de Weber maior realismo, dispensando a hipótese de custos de transporte diretamente proporcionais à distância e ao peso, e admitindo-os variáveis de acordo com as distâncias, a carga e a sua composição e passando a considerar também os fatores institucionais frequentemente influentes nas decisões locais (Lopes, 2001). Hoover distinguiu dentro do fator custos, os aspectos relacionados à localização, ao transporte e à produção, incluindo nos primeiros as matérias-primas e a distribuição do produto final e tratando as forças de aglomeração e os fatores institucionais como determinantes dos custos de produção (Lopes, 2001).

Tabela 2.2 – Teorias e modelos de desenvolvimento regional sob o enfoque geoeconômico.

Teorias e Modelos	Premissas
Teoria de Lösch: Teoria da Organização das Regiões	<ul style="list-style-type: none">▪ August Lösch é um dos principais teóricos da localização, o qual em seus estudos desenvolveu críticas às teorias de Weber. Para Lösch (1957), nem a minimização de custos, nem a maximização de receitas leva à localização ótima, o que é possível pela maximização dos lucros. Lösch criou a teoria sobre sistemas de cidades. Por exemplo, imagina-se inicialmente uma planície homogênea na qual a população se distribui igualmente por todo o território e se ocupa do cultivo de um produto agrícola qualquer, para autoconsumo. Vários outros territórios começam a produzir sob uma concorrência perfeita, passando os centros produtores a competir entre si pelo suprimento da maior área possível (equilíbrio geral). No final do processo, cada centro deverá atender a uma região circular de igual área (subcentros). A conformação circular das regiões não leva à exaustão total do território, razão pela qual não é uma solução estável, a estabilidade é conseguida por uma conformação hexagonal, à semelhança de uma colméia. Entretanto, diferentes produtos apresentam diferentes economias de escala e diferentes custos de transporte. Como resultado final chega-se a uma rede de centros (cada qual com sua importância, de acordo com a sua produção) (Haddad, 1989; Lösch, 1957). <p>Na tentativa de localização dos equipamentos terciários, que Christaller desenvolveu a teoria dos lugares centrais com que se propôs justificar a dimensão, a distribuição e o número de centros, realizando suas análises com apoio nos princípios reguladores da procura e oferta, considerando que a explicação resultará da forma como a maximização do lucro vier a conciliar-se com a minimização do esforço ou custo (Lopes, 2001). Ao construir seu modelo, Christaller recorreu a certos pressupostos e hipóteses, como:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ a população se distribui no espaço de forma homogênea, e considera esse mesmo espaço como <i>isotrópico</i>. Em consequência, a ocupação humana ocorreria segundo um padrão triangular que garante a existência de distâncias iguais entre os compradores mais próximos;▪ a oferta localiza-se espacialmente num sistema de pontos: lugares centrais;▪ a procura dos bens e serviços oferecidos nesses pontos é assegurada pela população que neles vive e pela da região complementar (ou tributária) deste;▪ os bens e serviços são de níveis de importância variáveis, avaliáveis a partir da frequência com que são necessários, e, em princípio, consideram de ordem mais elevada os que mais raramente são procurados;▪ a ordem dos bens e serviços oferecidos num centro está associada à própria ordem de importância do centro para cuja medida propõe o conceito de <i>centralidade</i>;▪ um centro desempenhando funções de ordem superior desempenha também as de ordem inferior.

2.3.5.2 – Perroux e as regiões econômicas: teoria dos pólos de crescimento e pólos de desenvolvimento

Sobre o ponto de vista econômico, François Perroux (1964) admite que o espaço possa ser encarado sob três óticas: i) o espaço econômico como conteúdo de um plano; ii) o espaço econômico como um campo de forças; e iii) o espaço econômico como um conjunto homogêneo. Como conseqüências surgem, então, três tipos de regiões econômicas: a região plana, a região polarizada e a região homogênea (Haddad *et al.*, 1972; Clemente & Higachi, 2000).

A região homogênea, conhecida dos geoeconomistas, corresponde ao espaço contínuo em que cada uma das partes que o constituem apresenta características que a aproximam uma das outras (Boudeville, 1961; Clemente & Higachi, 2000). O conceito de espaço como conteúdo de plano dá origem ao de região de planejamento. Neste contexto, uma empresa, um órgão público, ou qualquer outro agente econômico, possui sua região de planejamento que influencia suas decisões e é afetada por estas. Os planos de desenvolvimento regional são exemplos típicos de delimitação de região de planejamento pelo setor público (Clemente & Higachi, 2000).

A região polarizada resulta da interdependência existente entre várias áreas, às vezes, pertencentes a regiões homogêneas diversas, devido à influência comercial das aglomerações urbanas (Andrade, 1987; Haddad *et al.*, 1972; Clemente & Higachi, 2000).

O poder de atração que uma cidade exerce em torno da área que a cerca, resultado das relações comerciais que realiza com as áreas ou outras cidades, provoca a formação de áreas de influência e, conseqüentemente, de regiões polarizadas. A economia, por meio do comércio, é por excelência a atividade regionalizante e, em função dela, se estende o raio de ação dos centros das cidades (Santos, 1953). Por esse motivo, se ampliam ao seu redor as vias de transportes, pelas quais também se aumenta a sua força de atração.

Observa-se a importância dispensada pelos geógrafos ao núcleo urbano como sendo polarizador, e à rede de transportes como fator de expansão, de influência dessa função polarizadora. Em função desse mecanismo, surgem e, por meio dele, se formam os centros regionais e de polarização. Essa conceituação regional de Perroux (1964) vem sendo aceita

e empregada por economistas, geógrafos e sociólogos desde que se tem tentado aplicar a sua teoria de pólos de crescimento e pólos de desenvolvimento ao planejamento regional.

2.3.5.2.1 – Pólos de crescimento e pólos de desenvolvimento

Durante anos, geógrafos, ao desenvolverem estudos sobre a ciência regional, apontaram freqüentemente em uma região os pontos que determinam o crescimento econômico e o desenvolvimento, as cidades ou áreas espaciais economicamente mais dinâmicas. Baseado em observações, Perroux desenvolveu a Teoria dos Pólos de Crescimento e Pólos de Desenvolvimento, a qual o crescimento econômico não se faz de forma difusa por todo o espaço de um país, ou cobrindo as várias partes de uma região, mas se manifesta em certos pontos chamados de pólos de crescimento com intensidades variáveis, daí se propagando por diversos canais com efeitos terminais distintos sobre a economia (Andrade, 1987).

O pólo de crescimento aparece devido ao surgimento de uma indústria motriz, sendo esta a indústria que realiza a separação dos fatores da produção, provoca a concentração de capitais sob um mesmo poder e decompõe as tarefas e a mecanização. A indústria motriz tem, durante dado período, um crescimento mais elevado do seu produto que o crescimento médio do produto nacional. Esse crescimento não é permanente, mas se faz sentir por certo período de tempo, após o qual sofre um decréscimo elevado (Perroux, 1964).

A indústria motriz, em sua ação de ponto de atração para a mão-de-obra e produtora de um ou de uma série de produtos, dinamiza a vida regional, atraindo outras indústrias e criando a aglomeração populacional que estimulará o desenvolvimento das atividades agrícolas nas áreas fornecedoras de alimentos e de matérias-primas, além de desenvolver a formação de atividades terciárias (Andrade, 1987). Surge, assim, o que Perroux chama de complexo industrial, caracterizado pela presença de uma indústria-chave. Dentre as indústrias do complexo, é considerada indústria-chave aquela que proporciona um crescimento superior das vendas de outros produtos em relação ao próprio crescimento de suas vendas. As indústrias-chave são quase sempre aquelas que produzem matérias-primas, energia, transporte, entre outros (Andrade, 1987).

Embora Perroux tenha desenvolvido sua teoria em função da indústria, decorrente do fato de ser a economia moderna liderada pela atividade econômica industrial e de viver e

realizar seus estudos em países industrializados, ele estende a função motriz às atividades primárias, tais como exploração mineral, extração vegetal e produção agrícola.

Em resumo, pode-se dizer que, para Perroux (1964), o pólo é o centro econômico dinâmico de uma região, de um país ou de um continente, e que o seu crescimento se faz sentir sobre a região que o cerca, pois este cria fluxos da região para o centro e refluxos do centro para a região. O desenvolvimento regional estará, desse modo, sempre ligado ao desenvolvimento do seu pólo.

Como observado anteriormente, há diferenças conceituais entre desenvolvimento e crescimento. No pólo de desenvolvimento há a combinação de mudanças sociais e culturais de uma população que a tornam apta a fazer crescer, cumulativamente e de forma contínua, seu produto real. Por outro lado, no pólo de crescimento ocorre um aumento do produto global e da renda per capita.

2.3.5.2.2 – Área de influência de um pólo de crescimento e a ação das forças centrípetas e centrífugas

Como a Teoria dos Pólos de Desenvolvimento foi concebida em um país desenvolvido e nele aplicado, surge a dúvida quanto à dificuldade de aplicação de tal teoria em países em desenvolvimento. Neste caso, poder-se-ia supor que a ausência de uma rede de infraestrutura urbana e as deficiências de vias de transportes e de comunicações dificultariam a formação dos pólos, em consequência dos problemas que criariam aos fluxos regionais e à formação de suas áreas de influência que surgem, basicamente, pela ação de dois conjuntos importantes de forças de interação espacial: centrípetas e centrífugas.

De acordo com Perroux (1964), a área de influência de um determinado pólo (região polarizada) está na dependência da intensidade da ação das forças centrípetas – que fazem convergir para o pólo – e das forças centrífugas – que afastam do pólo, atenuando o seu poder de atração. Assim, para se formar e expandir a sua área de influência, o pólo necessita acelerar a sua força centrípeta (de atração) a fim de reduzir a ação das forças centrífugas. Por outro lado, quando o pólo perde a sua dinamicidade, a força centrífuga passa a deslocar para os pólos vizinhos as áreas marginais em que sua influência se faz sentir com menor intensidade. O pólo, logo, tem a sua área de influência razoavelmente

extensa, conforme a quantidade e a qualidade dos equipamentos industriais e de serviços que possui e a estrutura de transportes e comunicações disponíveis.

2.3.5.2.3 – Eixo de desenvolvimento, nós de rede, zonas de desenvolvimento e áreas de desenvolvimento

Ligados ao conceito de pólo existem outros, como o de eixo de desenvolvimento, nós de rede, zonas de desenvolvimento e áreas de desenvolvimento.

O pólo de desenvolvimento não existe como uma unidade isolada, mas está ligado à sua região pelos canais por onde se propagam os fluxos (Perroux, 1964). Ocorre que, para Perroux, o desenvolvimento de um conjunto de territórios e de sua população só é obtido pela propagação dos efeitos dos pólos de desenvolvimento. Essa propagação realizada por um caminho que liga dois pólos dá origem ao que se chama de eixo de desenvolvimento, destacando que o eixo não é apenas uma estrada. Deve haver um conjunto de atividades que indicam orientações determinadas de desenvolvimento territorial e dependem da capacidade de investimento. Os eixos de desenvolvimento pressupõem a presença de outros bens complementares, como energia, crédito e tecnologia.

Os nós de rede surgem nos pontos em que dois eixos de desenvolvimento se cruzam. Aliás, a posição favorável ao desenvolvimento de cidades ocorre até onde existe o cruzamento de duas simples estradas, mesmo quando estas não constituem eixos de desenvolvimento (Andrade, 1987). As zonas de desenvolvimento são resultados da concentração geográfica das indústrias, devido aos efeitos da complementação. A presença de determinadas indústrias em um local favorável provoca a formação de infra-estrutura e atrai outras indústrias que lhes serão complementares. A aglomeração de indústrias eleva a renda total e per capita e funciona como elemento de atração de imigrantes (Andrade, 1987).

Complementando, tem-se o conceito de áreas de desenvolvimento, considerado por Perroux (1964) como o conjunto de elementos que engloba os pólos simples ou complexos, as zonas de desenvolvimento e os eixos de desenvolvimento.

2.3.5.2.4 – A hierarquia dos pólos

A hierarquia dos pólos refere-se à classificação conforme a extensão da área de influência para regiões polarizadas. Essa hierarquia mostra que os pólos não são elementos isolados

dominando posições delimitadas no espaço, ao contrário, os pólos se organizam girando uns em torno dos outros, atraindo e sendo atraídos (Andrade, 1987). Cada pólo tem sua área de influência cujo limite está conectado ao traçado das vias de transportes e de comunicações, exercendo maior força de atração nas áreas que lhes são mais próximas.

Em consonância com a hierarquização dos pólos, há a classificação dos centros de polarização feita por Rochefort, onde existe uma ligação permanente entre o potencial dos serviços terciários de uma cidade e a sua importância industrial. Nesse caso, a vinculação é considerada dinâmica em dois sentidos: a expansão da indústria proporciona a multiplicação dos serviços; a presença de serviços variados atrai novas indústrias.

Baseado no conceito previamente descrito, Rochefort divide os centros de polarização em cinco tipos, considerando, para isso, sua importância e sua área de influência:

- **locais:** muito numerosos em cada região e dispoem de área de influência confinada nas suas imediações por serem constituídos somente por comércio de gêneros alimentícios, escolas primárias, armazéns, farmácias, etc.;
- **sub-regionais:** apresentam características de vida regional, estendendo sua área de influência sobre vários centros locais por estarem dotados de serviços de uso corrente, como médicos especializados e escolas secundárias;
- **de pequena região:** constituem o arcabouço da vida de relações por possuírem serviços bem diversificados, como comércio variado, equipamento bancário, etc.;
- **de grande região:** além dos serviços existentes nos centros precedentes, possuem universidades, grande hospital, teatro, consultoria, etc.;
- **nacionais:** abrangem funções de direção com influência em todo o país, como a direção dos serviços públicos, direção dos bancos nacionais, etc.

2.4 – TRANSPORTE E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO REGIONAL

Avanços em infra-estrutura de transportes melhoram a acessibilidade quando medida em termos de tempo de viagem ou custo de transporte, e a acessibilidade é um elemento determinante do desenvolvimento econômico regional (Banister, 1998). A interface entre infra-estrutura de transporte e desenvolvimento econômico tem amplas ramificações que vão além da proposta básica do transporte de deslocar bens e pessoas (Rigolon & Piccinini, 1997; Eberts, 2000; Ferraz, 2008).

Considerando o transporte essencial na operação de uma economia de mercado, muito necessita ainda ser compreendido sobre os caminhos pelos quais um sistema de transporte possa melhorar a produtividade da economia, reduzindo as desigualdades regionais tanto de renda quanto de emprego e, como consequência, produzir o desenvolvimento na economia regional. Por esse motivo, torna-se necessário conhecer a relação existente entre transporte, especialmente a sua infra-estrutura, e desenvolvimento econômico.

2.4.1 – Transporte e Desenvolvimento Econômico: Relação Recíproca

A clara identificação da relação recíproca entre expansão do transporte e desenvolvimento econômico é mérito especial de Voigt (1960), com particular ênfase nas forças específicas do transporte na formação de uma estrutura econômica sólida (Hofmeier, 1973). Baseado nas considerações de Voigt, Heizen (1967) desenvolveu um modelo de descrição dos efeitos do sistema de transporte na estrutura econômica de diferentes áreas, com especial consideração às condições em países em desenvolvimento.

Os resultados de Heizen (1967) são sínteses razoáveis dos mais importantes conceitos existentes relacionados ao papel do transporte no desenvolvimento econômico. Em tal modelo, Heizen distinguiu quatro estágios do transporte e desenvolvimento econômico:

- fase inicial, sem nenhum sistema de transporte eficiente;
- fase seguinte, com a introdução de ferrovias como modo de transporte eficiente;
- fase posterior, com a introdução de transporte rodoviário como mais eficiente, e;
- finalmente, a fase de intervenção do setor público no setor de transporte como um resultado da diferenciação espacial de desenvolvimento.

Os impactos da infra-estrutura de transportes não podem ser negligenciados, pois afetam a economia diretamente, quando se considera a mudança na acessibilidade e, indiretamente, quando se consideram os seus efeitos multiplicadores (Rigolon & Piccinini, 1997; Araújo, 2006). No primeiro caso, a acessibilidade revela o potencial de uma região em termos de capacidade tanto de fluxo de mercadorias e pessoas. No segundo, a infra-estrutura de transportes tende a afetar os setores mais dinâmicos da economia que, por meio dos efeitos multiplicadores, propaga-se em termos de geração de renda e de emprego (Resende, 2003).

Nesse contexto, verifica-se a incidência de alguns impactos do transporte na economia, o que afeta o desenvolvimento tanto econômico como social. Impactos diretos, como a localização das atividades econômicas, e indiretos, como a distribuição de renda, aumento do consumo e produção, serão tratados a seguir com maiores detalhes.

2.4.2 – Impactos do Transporte na Economia

Conforme visto anteriormente o transporte é um indutor de crescimento e desenvolvimento econômico, desempenhando papel essencial na economia regional, o qual é traduzido em termos de produção, distribuição espacial e consumo de riquezas. Além disso, o transporte interfere na distribuição de renda entre membros de uma sociedade (Kawamoto, 1994). Esses fatores justificam, portanto, a análise dos impactos do transporte na economia.

2.4.2.1 – Custo de transporte como determinante de consumo

Transporte é claramente um fator de fundamental importância em toda e qualquer atividade econômica, e o custo de transporte é considerado uma das mais significantes variáveis no preço de mercado de um determinado bem (Hoyle, 1973).

A teoria do consumidor demonstra que quanto maior for o preço de um determinado bem no mercado, menor será a quantidade consumida do mesmo bem comum. Tal situação ocorre em função de o preço se tornar inviável para quem tem salário baixo, mas, à medida que o preço aumenta ainda mais, vai se tornando insuportável também para quem tem salário mais elevado (Kawamoto, 1994). Nessas circunstâncias, o fator espacial por meio da distância é importante, pois quando se analisa a importação de um bem de outra região, o preço comercializado no mercado é o preço na região de origem mais o custo de transporte, entre outros custos. O transporte desempenha papel de grande relevância no consumo de um dado produto comercializado em uma região, principalmente quando se verifica que o custo total de transporte, como outros, é a soma de uma parcela do custo que independe da distância e de outra que varia com a distância transportada do produto.

2.4.2.2 – Transporte e localização/distribuição das atividades econômicas

Para os estudiosos de geografia, a importância do transporte surge de seu papel como um dos principais fatores que afetam a localização e distribuição de atividades econômicas (Hoyle, 1973). Supondo que a tecnologia e o mercado consumidor em uma determinada região sejam fixos e que o local de produção desse bem seja variável, a dificuldade nessa

situação seria determinar o que poderia ser mais vantajoso economicamente: produzir próximo ao mercado consumidor ou próximo à origem da matéria-prima. A resposta é bastante complexa, pois a localização das atividades depende de vários fatores.

A localização de uma dada atividade depende, além do mercado consumidor e do mercado fornecedor de insumos, da localização da mão-de-obra, do preço de transporte, e dos efeitos fiscais na logística. De maneira geral, os baixos preços do transporte fazem com que seja possível encontrar produtos fabricados a distâncias relevantes. Tais produtos são indiretamente trocados por bens produzidos no local e consumidos pela população de outras regiões, o que permite a especialização na produção, de acordo com as características da região, baixando o preço final e, conseqüentemente, beneficiando a população (Kawamoto, 1994).

2.4.2.3 – Transporte como instrumento de distribuição de renda

Com a inserção de facilidades de transporte, regiões de difícil acesso podem reduzir seus isolamentos geográficos e, por conseguinte, redistribuir o capital que poderia ser usado no processo de deslocamento da produção de determinados bens, para o usufruto social. Tal situação pode ser traduzida da seguinte forma:

“Supõem-se uma fábrica de carroça localizada em uma vila isolada de centros mais desenvolvidos. Um dado fabricante detém o monopólio da produção de carroças que são vendidas aos humildes lavradores a preço elevado, muito mais do que o custo de produção. O Estado, percebendo o isolamento do vilarejo, resolve construir uma rodovia ligando-o a uma cidade maior, onde existem diversos fabricantes de carroças, que passam a competir no mercado do vilarejo. O ambiente de competição proporciona redução no preço de carroças, beneficiando os lavradores. O fabricante local, por sua vez, terá de fixar um preço de no máximo igual a dos concorrentes se desejarem manter-se no mercado. Claramente observa-se a redução considerável nos lucros do fabricante local, o que ocasiona a transferência de uma parcela significativa do lucro do produtor local para os lavradores. Estes pagarão menos pelas carroças e passarão a dispor de maior renda para ser usada em outras atividades” (Kawamoto, 1994).

2.4.2.4 – Transporte e produção

Os efeitos do transporte na produção de bens e na economia regional são os mais simples de serem identificados. Qualquer fábrica que produz determinado bem necessita de insumos e mão-de-obra, isso quer dizer que ambos precisam ser deslocados de seus locais de origem para os locais de produção, e os bens produzidos dos locais de produção até os

locais de consumo, isto é, sem transporte não há produção nem consumo, e, conseqüentemente, ocorre uma desaceleração do processo econômico regional. Essa cadeia de dependência pode ser explicitada por meio de três principais efeitos que o transporte causa no processo de produção em regiões isoladas: baixo custo de produção; aumento do preço do produto; e incentivo ao investimento (ESCAP, 2001).

2.4.3 – Transporte e Desenvolvimento Econômico: Círculo de Efeitos Virtuosos

Melhorias no setor de transporte podem servir como um catalisador que fomenta um círculo virtuoso de desenvolvimento econômico. A redução dos preços dos insumos e a melhoria nos preços do produtor conduzem à melhoria na rentabilidade da agricultura e produção industrial, criando um incentivo no acréscimo do rendimento. Ao mesmo tempo, maiores acessos aos fundos de investimento permitem a expansão da capacidade requerida, possibilitam que produtores expandam a produção de acordo com o incentivo e facilitam o aperfeiçoamento da tecnologia de produção (ESCAP, 2001).

Economia de escala combina com melhorias em produtividade de forte capital para favorecer melhoria marginal e fornecer impulso adicional para os investimentos. Aumento em nível de produção traz consigo demanda acrescida ao serviço de transporte, favorecendo o rendimento e incentivando maiores investimentos no próprio transporte. Isso conduz a melhoria na frequência e escala larga de unidade de produção (embarcação no caso do transporte hidroviário), fornecendo uma base para o próximo círculo de melhorias na agricultura e produção manufatureira das regiões servidas (ESCAP, 2001).

2.4.4 – Transporte e Desenvolvimento Econômico: Conjunto Necessário de Condições

Investimento em transporte poderá ser revertido em desenvolvimento econômico se três condições existirem simultaneamente: condições econômicas, condições de investimento e, finalmente, as condições político-institucionais. No trabalho desenvolvido por Banister & Berechman (2001), os autores chegaram a tal conclusão por meio da avaliação de investimento em transporte e da promoção do crescimento econômico, questionando se o investimento em transporte promove o crescimento econômico em nível local e regional. A Figura 2.1. apresenta, de forma sistemática, as relações entre as três condições, econômica (1), de investimento (2), e político-institucional (3).

Em países desenvolvidos, com boa infra-estrutura de transportes, mais investimentos nesse setor não resultarão em crescimento econômico. Neste caso, tais investimentos atuam como um complemento de outras importantes condições (Banister & Berechman, 2001).

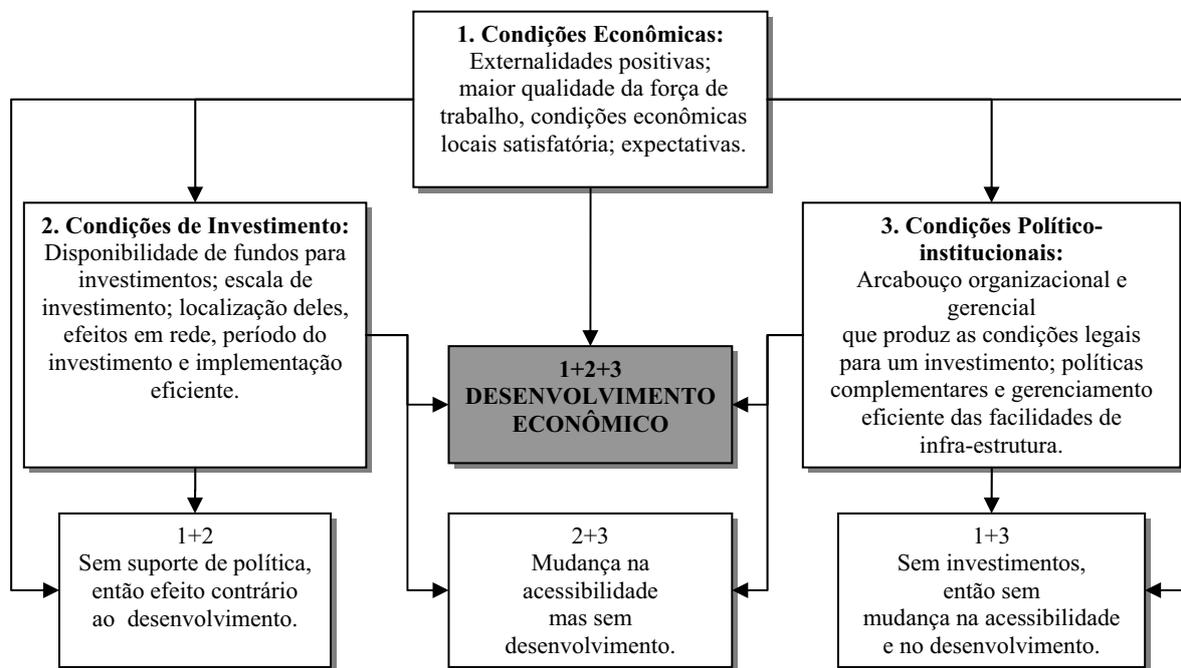


Figura 2.1 – Transporte e desenvolvimento econômico: ilustração de um conjunto necessário de condições (Fonte: Araújo, 2006).

As condições econômicas ilustram bem o fato de que não adianta implantar uma nova rodovia, por exemplo, se não existirem economias de aglomeração, mercado de trabalho, produtos e condições político-institucionais. Quando existem apenas os investimentos e as condições político-institucionais, a atratividade de uma localização particular poderia mudar (caixa 2+3), mas isso seria apenas a redistribuição de um desenvolvimento já existente. Se apenas as condições de investimentos e econômicas estão presentes (caixa 1+2), os efeitos dos investimentos sobre o desenvolvimento econômico poderiam não ocorrer pela ausência de suporte político ou por conflitos no uso do sistema de transporte.

2.5 – TÓPICOS CONCLUSIVOS

- O desenvolvimento pode ser considerado como um processo de aperfeiçoamento em relação a um conjunto de valores ou como uma atitude comparativa com relação a tais valores. Os valores em questão, referem-se a condições ou situações desejáveis pela sociedade de uma determinada região.

- A diferença entre crescimento e desenvolvimento aponta que o crescimento não conduz automaticamente à igualdade nem à justiça sociais, pois não leva em consideração nenhum outro aspecto da qualidade de vida a não ser o acúmulo de riquezas, que se faz nas mãos apenas de alguns indivíduos da população. O desenvolvimento preocupa-se com a geração de riquezas e sua distribuição, a fim de melhorar a qualidade de vida da população.
- No estudo do desenvolvimento econômico regional, são definidos dois grupos de teorias e modelos. O primeiro essencialmente econômico, que se preocupa com análises do ponto de vista estático e considerando como principais variáveis desagregadas o trabalho, o capital e a terra. No segundo, encontram-se as teorias que consideram além dos fatores econômicos, as variáveis geográficas, destacando-se o fator espacial por meio da distância.
- Dentre as principais teorias e modelos de desenvolvimento econômico regional destacam-se: o modelo de Harrod-Domar; o modelo de Mahalanobis, considerado uma derivação do modelo anterior; a teoria do grande impulso inicial (*big push*) e crescimento equilibrado; teoria sobre dualismo econômico de Lewis; e, finalmente, a teoria dos estágios de crescimento econômico de Rostow.
- Com relação às teorias e modelos de desenvolvimento regional que neste trabalho definem-se como geoeconômico, destacam-se: a Teoria do Pólo de Desenvolvimento e Pólo de Crescimento; o Modelo Gravitacional; a Teoria de von Thünen e a localização das atividades agrícolas; Teoria de Weber; Teoria de Hoover; e, por fim, a Teoria dos Lugares Centrais de Christaller e a localização dos equipamentos terciários.
- Baseado em observações, Perroux desenvolveu a Teoria dos Pólos de Crescimento e Pólos de Desenvolvimento, na qual o crescimento econômico não se faz de forma difusa por todo o espaço de uma região, mas se manifesta em certos pontos chamados de pólos de crescimento com intensidades variáveis, daí se propagando por diversos canais com efeitos terminais distintos sobre a economia.
- Em regiões que possuem economias não consolidadas, as melhorias em infra-estrutura de transporte impulsionam o desenvolvimento econômico.
- Alguns impactos na economia surgem da relação existente entre transporte e desenvolvimento econômico, entre os quais destacam-se: custo de transporte como determinante de consumo, impactos na localização/distribuição das atividades econômicas, e os impactos do transporte na produção econômica.
- Para que ocorra desenvolvimento econômico por meio dos efeitos da implantação ou melhoria em transporte é necessário um conjunto de condições: condições econômicas; condições de investimento, e condições político-institucionais.

CAPÍTULO 3 – SISTEMA DE TRANSPORTE HIDROVIÁRIO INTERIOR

3.1 – APRESENTAÇÃO

Neste capítulo, o Sistema de Transporte Hidroviário Interior (STHI), devido à importância que representa para o desenvolvimento deste trabalho, será caracterizado. Serão apresentados os principais elementos que constituem o STHI, assim como os principais critérios de navegabilidade necessários na determinação de hidrovias. No entanto, antes de se estudar o STHI, convém destacá-lo dentro do contexto de um sistema, conforme será apresentado a seguir.

3.2 – SISTEMA DE TRANSPORTE

Durante anos, vários autores propuseram diversos conceitos sobre o termo *sistema*. Entre as definições existentes, a definição proposta por Bertalanffy *et al.* (1976) é a mais simples. Os autores afirmam que sistema é uma interação ordenada de alguns elementos. Outra definição descreve um sistema como sendo um grupo de partes inter-relacionadas, chamadas componentes, os quais desempenham algumas funções a fim de alcançar objetivos comuns (Khisty, 1990).

Dentro de cada sistema, existe um grupo de idéias, informações e objetivos que devem ser tratados de forma ordenada. Um exemplo é o sistema de transporte constituído por vias, veículos, terminais, e o plano operacional, considerados a base da infra-estrutura de qualquer modo de transporte.

As funções de um sistema de transporte são definidas pela área geográfica na qual está inserido, e onde todo tipo de deslocamento é realizado. Por isto, a análise das variáveis inseridas no espaço geográfico e referentes ao sistema de transporte torna-se complexa.

3.2.1 – Componentes de um Sistema de Transporte

Um sistema de transporte não se desenvolve por si só, muito menos é considerado auto-suficiente, o que o torna dependente de alguns fatores e elementos intrínsecos ao mesmo, como forma de proporcionar seu funcionamento dinâmico e eficiente (Almeida, 2001). Os

principais elementos que constituem um sistema de transporte são: veículos, vias, terminais e plano de operação (Figura 3.1).

- **Veículo:** componente responsável pelo deslocamento de pessoas e cargas de maneira eficiente e segura, por meio das vias de acesso. Exemplo: carros, navios, trens, etc.;
- **Via:** um dos principais componentes de um sistema de transporte, pois, por meio dela, são executados os deslocamentos dos veículos, seja rodoviário, aeroviário ou hidroviário e ferroviário. Além disso, uma de suas principais funções é unir dois ou mais pontos (Khisty, 1990). Exemplo: estradas, hidrovias, aerovias, canalizações, etc.;
- **Terminal:** é o elemento do sistema de transporte onde se observa a conexão e integração com os demais modos de transporte (Morlok, 1978). Exemplo: aeroportos, portos, terminais de ônibus, estacionamentos, etc.;
- **Plano de Operação:** conjunto de facilidades e procedimentos usados para se obter um funcionamento adequado e eficaz do sistema (Almeida, 2003a).

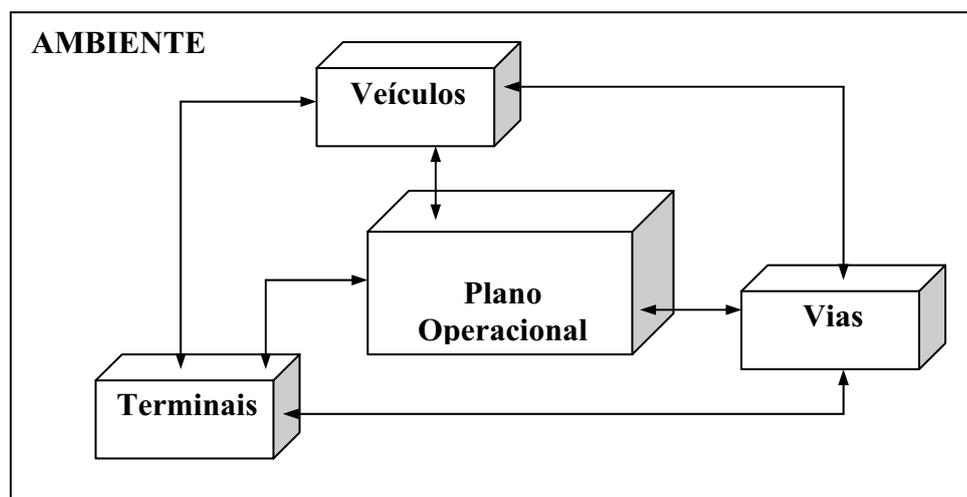


Figura 3.1 – Sistema de transporte e seus componentes (Fonte: Almeida, 2003a).

Alguns autores consideram o ambiente, o usuário, e algumas facilidades ou elementos físicos como componentes do sistema. Os principais exemplos são: o pessoal operacional, considerado junto ou não ao plano de operação; e as interseções, incluídas nas vias.

3.2.2 – Multimodalidade e os Subsistemas de Transporte

Inevitavelmente, os planejadores e engenheiros de transporte devem considerar as inter-relações e funções dos diferentes modos de transporte, já que as relações físicas entre os

diferentes modos são necessárias para permitir o desempenho apropriado de suas funções no sistema como um todo (Owen, 1965). Isso não é necessário apenas porque não se pode determinar a solução ótima dos problemas de transporte sem compreender o desempenho e a capacidade de todo o sistema, mas é apropriado também porque muitas ferramentas e técnicas usadas no planejamento e operação têm, pelo menos, algum grau de aplicabilidade em outros sistemas (Peters, 1982).

Cada subsistema de transporte possui características específicas que o distingue dos outros. Não há modo de transporte que possa ser usado sem nenhuma restrição em determinadas situações. A estrutura regional, os tipos de cargas, o fluxo de tráfego, as características da demanda, entre outros, tornam difícil a escolha do melhor modo de transporte para cada situação encontrada. A importância em conhecer perfeitamente as características de cada subsistema, assim como suas funções, desempenho e, principalmente, a inter-relação entre elas, surge como uma forma de determinar qual modo é mais apropriado que outro em termos de benefícios para a região.

Nenhum modo de transporte é melhor do que outro. Sua opção segue os objetivos logísticos, que articulam a multimodalidade a fim de alcançar a eficiência, eficácia e redução dos custos da cadeia logística. No que se refere à longa distância, é por meio da combinação de, pelo menos, dois modos que a economia de transporte pode ser alcançada, surgindo o conceito de transporte multimodal.

3.2.2.1 – Transporte multimodal x transporte intermodal

Dentro do estudo da multimodalidade, é importante apresentar brevemente o conceito de transporte multimodal, assim como transporte intermodal, pois ambos possuem definições distintas, embora, sob o aspecto operacional, os dois termos consideram o uso sucessivo de dois ou mais modos de transportes para realizar o deslocamento coordenado de cargas de uma origem até um determinado destino.

No Brasil, assim como na Europa, o transporte multimodal é definido como aquele que vincula o percurso da carga a um único documento de transporte, independente das combinações de meios, como, por exemplo, ferroviário e marítimo. Já o transporte intermodal é definido como o transporte de um determinado tipo de carga que utiliza mais

de um modo; porém, a cada operação de transbordo a responsabilidade e o conhecimento da carga são transferidos entre os transportadores (Demaria, 2004).

Nos Estados Unidos existe apenas o conceito de transporte intermodal, definido como o deslocamento feito por mais de um modo de transporte, considerando várias operações intermediárias de transbordo realizadas entre os modos envolvidos, e com a responsabilidade de um único prestador de serviços por meio de um único documento.

Neste contexto, observa-se que a principal diferença entre o transporte multimodal e intermodal se refere ao caráter contratual de como o serviço de transporte de carga será executado, sendo que, sob o ponto de vista operacional, ambos consideram o uso de mais de um modo de transporte no deslocamento de cargas. É adotado nesta tese o termo transporte multimodal sem se preocupar com a discussão contratual do serviço de transporte a ser prestado, mas com a operação conjunta e seqüencial dos diferentes modos de transportes considerados, assim como com a utilização dos modos de transportes mais adequados no deslocamento de cargas.

Quanto à escolha do modo de transporte mais apropriado, na realidade, a prática demonstra que o que definirá a utilização de cada modo é a estrutura geográfica da região e, conseqüentemente, as facilidades de transporte a serem requeridas. A Tabela 3.1 proporciona uma visão geral dos principais modos de transportes e suas características quanto ao transporte de carga. Neste estudo, o STHI é considerado principal modo de transporte a ser usado no desenvolvimento da pesquisa. Por esse motivo, a infra-estrutura desse modo, as características inerentes e elementos constituintes serão analisados em detalhes a seguir.

3.2.3 – Sistema de Transporte Hidroviário Interior

O Sistema de Transporte Hidroviário Interior é definido como o tipo de transporte realizado por meio de rios, lagos, baías ou estuários localizados no interior do continente (PNVI, 1993). A navegação nos rios pode ser desenvolvida em condições naturais com poucos melhoramentos ao longo de seus percursos ou por canais artificiais. Essa característica determina a principal diferença existente entre o STHI e outro tipo de sistema de transporte, tal como o marítimo.

Tabela 3.1 – Visão geral dos principais modos de transporte.

Sistema	Característica	Mobilidade	Eficiência	Modo	Serviço de carga
Rodoviário	Usuários têm acesso direto a uma estrada ou rua. Roteamento direto limitado pelo uso do terreno e do solo.	As velocidades são limitadas por fatores humanos e por limites de velocidade. A capacidade por veículo é baixa, mas muitos veículos estão disponíveis.	Geralmente não é elevada como considera segurança, energia, e alguns custos.	Caminhão Ônibus Automóvel Bicicleta	Urbano, local, rural a processar e centros de mercado. Transportes pequenos; recipientes. Pacote (urbano). Itens pessoais apenas. Insignificante.
Ferrovário	Limitado por grande investimento na estrutura. Também restringido pelo terreno.	A velocidade e a capacidade podem ser mais elevadas do que para o modo rodoviário.	Geralmente elevada, mas os custos de mão-de-obra podem resultar na eficiência de baixo custo.	Estradas de ferro Tráfego de trilho	Interurbano. Em geral transporte a granel e acima do tamanho; contêiner. Nenhum.
Aéreo	Os custos de construção de aeroporto reduzem a acessibilidade. Oportunidade excelente para o roteamento direto.	As velocidades são as mais elevadas, mas a capacidade por veículos é limitada.	Razoavelmente baixa quando considerado o uso de energia. Segurança variável.	Transportadores aéreos Aviação geral	Carga de alto valor agregado em longas distâncias; contêiner. Menor.
Hidroviário Interior	Roteamento direto e acessibilidade limitada pela disponibilidade de canais navegáveis e de portos seguros.	Baixa velocidade. Muito elevada capacidade por veículo.	Muito elevada: baixo custo, baixo uso de energia. Segurança variável.	Navios Barcaças <i>Hovercraft</i>	Carga a granel, especialmente petróleo; contêiner. Carga a granel, especialmente petróleo; contêiner. Menor.
Sistema de fluxo contínuo	Limitado a poucas rotas e pontos de acesso	Baixa velocidade. Alta capacidade.	Geralmente elevada: baixos custos de uso de energia.	Dutos Correias Cabos	Líquidos, gases, e pastas em transporte longo e curto. Manuseio de materiais a granel. Manuseio de materiais em terreno irregular.

Fonte: Harmburger & Kell (1998).

3.2.3.1 – Principais características do STHI

O STHI possui características que o distingue dos outros sistemas de transporte. Observa-se que os principais fatores que o diferenciam estão diretamente relacionados aos elementos via e veículo. O primeiro elemento, que em alguns casos já está definido, necessita de poucas intervenções para melhorar seu potencial. O segundo elemento é definido de acordo com as características do primeiro, ou seja, os aspectos morfológicos do rio, tipo e quantidade de carga são fatores que definirão os tipos de veículos a serem usados. Assim, as principais características do STHI são:

- quando potencialmente navegável, o rio requer baixo investimento para a melhoria de suas condições naturais de forma a torná-lo uma hidrovia;
- produz menor impacto ao meio ambiente quando comparado a qualquer modo de transporte terrestre (Costa, 2004);
- pelas grandes extensões que constituem a via, os custos de mantê-la em condições de navegabilidade diminuem com o aumento do fluxo de tráfego (Costa, 2004);
- ferro, óleo, areia e cascalho, grãos, automóveis e outros produtos de grandes volumes podem, usualmente, ser transportados com menor custo por rios do que por outro modo de transporte (Hennes & Ekse, 1955; Kraft *et al*, 1971; Katz *et al.*, 1982);
- vantagens em manusear um grande volume de carga (Kraft *et al*, 1971).

3.2.3.2 – Elementos constituintes do STHI

O STHI, assim como qualquer sistema de transporte, é constituído por alguns elementos básicos. Considerando o transporte de carga, os elementos que constituem o STHI e que serão tratados nesta seção são: veículos, terminais, operação e vias.

a) Veículos: embarcações

Os veículos hidroviários são constituídos por uma tecnologia diferenciada, pois as embarcações deslocam-se por um caminho fluido, a água. Basicamente, existem três tipos de veículos hidroviários classificados de acordo com o tipo de objeto a ser transportado: embarcação para pessoas, embarcação para carga e embarcação mista. Neste estudo, apenas embarcação para transporte de carga é analisada, pois é foco relevante no desenvolvimento da pesquisa.

Como, em geral, as profundidades dos canais dos rios interiores não são elevadas, grande parte das cargas é transportada em extensas barças de calados rasos movendo-se em grupos de reboques (Figura 3.2). Além disso, há dois tipos de sistemas de reboques: comboios de empurra, os quais são designados para empurrar chatas à frente destes; e os comboios de puxa (Figura 3.3), que geralmente puxam as chatas por um cabo de aço (Katz *et al.*, 1982). Basicamente, o tipo de água determina qual método será usado.

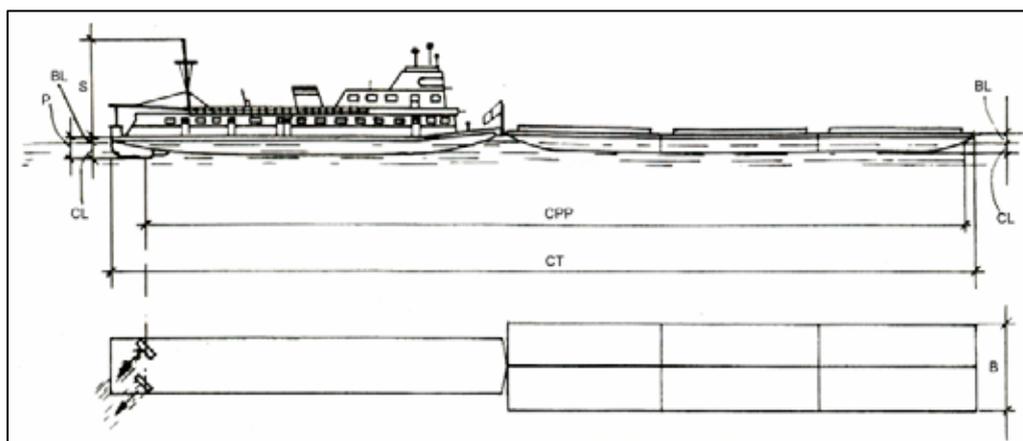


Figura 3.2 – Sistema de barcaça e reboque (Fonte: Almeida & Sant’Anna, 2005).



Figura 3.3 – Sistema de comboio de puxa.

Na maioria das hidrovias, que são relativamente calmas e protegidas por bancos de areia, o rebocador é usado por operações de comboios de empurra. Ademais, em hidrovias onde o vento, a onda e as ações da maré separariam um comboio de embarcações rigidamente juntas, o sistema de comboio de puxa é usado em seu lugar (Katz *et al.*, 1982). Com relação às chatas, essas podem variar de tamanho e forma, dependendo do tipo de carga a

ser transportada. Chata projetada por simples reboques com um rodo no fim de ambos cria um grande rastro e perda de eficiência quando rebocado em múltiplas unidades.

As medidas geométricas relevantes para o projeto da infra-estrutura de hidrovias são: comprimento total (*CT*), boca (*B*) e finalmente o calado (*CL*), conforme a Figura 3.2. Enquanto o comprimento total e boca são valores fixos, o calado varia com o carregamento da embarcação. As principais medidas das chatas e rebocadores usados nos rios brasileiros estão sumarizadas nas Tabelas 3.2 e 3.3.

Tabela 3.2 – Principais medidas das chatas usadas no Brasil.

Comprimento (m)	Boca (m)	Calado (m)	Capacidade (t)
40 ^(a)	10	1,00	253,75
40 ^(a)	10	1,50	423,75
50 ^(b)	8	1,50	525,00
60 ^(c)	8	1,80	650,00
40 ^(d)	10	2,00	570,00
40 ^(e)	11	2,50	723,30
60 ^(f)	8	2,50	900,00
60 ^(e)	11	2,50	1245,00

Fonte: (a), (d) e (e) Padovezi, 2003. (b), (c) e (f) AHIMOR, 2003.

Tabela 3.3 – Principais medidas dos rebocadores usados no Brasil.

Comprimento (m)	Boca (m)	Calado (m)
18 ^(a)	8	1,00
20 ^(b)	5	1,50
20 ^(c)	8	1,50
20 ^(d)	6	1,80

Fonte: (a) Padovezi, 2003. (b), (c) e (d) AHIMOR, 2003.

b) Terminais: portos

O terminal é o segundo elemento componente do sistema de transporte, no qual se processa a entrada e saída de passageiros e cargas em seu interior, cujo processo requer um espaço físico, conjunto de equipamentos e normas que regulamentem tais atividades (Almeida, 2001). O terminal é o elemento do sistema de transporte (Figura 3.4), onde se dá a interface entre dois ou mais modos, ou entre duas diferentes rotas do mesmo modo, no qual há arranjos especiais para facilitar a transferência entre serviços distintos (Morlok, 1978).

O terminal é considerado um elemento essencial no STHI, pois, por seu intermédio são executadas não somente atividades de embarque/desembarque de passageiros e cargas, mas

outras tarefas como a relação existente entre o usuário do serviço e o próprio serviço ofertado. Por essa razão, seu desempenho determina a aceitabilidade do serviço.



Figura 3.4 – Terminal graneleiro em Santarém – PA.

Entre as principais atividades executadas nos terminais, destacam-se:

- embarque e desembarque de passageiros ou cargas;
- acomodação de passageiros ou cargas desde o momento da chegada até a partida;
- documentação de viagem (venda de passagens, reservas);
- acomodação e manutenção de veículos;
- acomodação de passageiros e cargas dentro de grupos específicos.

c) Operação

A operação no STHI é definida como a execução de medidas consideradas necessárias à consecução dos deslocamentos de pessoas e bens. Quando se pensa em operação, deve-se imaginar de imediato uma integração sistêmica e funcional das atividades que se deseja executar. Atividades como embarque/desembarque dos passageiros; travessia e atracação das embarcações; manutenção dos veículos e equipamentos do terminal; treinamento de todo o pessoal envolvido na operação devem ser priorizadas. Porém, tais atividades não podem ser executadas isoladamente, isto é, os elementos constituintes do sistema devem estar integrados, de forma a proporcionar um produto final eficiente e que possa atender às necessidades dos usuários do STHI.

d) Vias: rios

As vias são facilmente identificadas como os rios, os quais já se encontram formados (Figura 3.5). No entanto, em muitos casos, essas vias em seu estado natural não são consideradas ideais de tráfego ou hidrovias. Rochas isoladas, árvores caídas e outras obstruções são consideradas barreiras perigosas. O rio para ser considerado uma hidrovia deve possuir adequadas características de navegabilidade, tais como: profundidade mínima de água e velocidade do fluxo corrente, mínima largura e favorável alinhamento do rio.



Figura 3.5 – Afluente do Rio Amazonas.

3.2.4 – Requerimentos de Rios Navegáveis: Critérios

O simples fato da existência de rios não significa que exista, de igual forma, navegação. É comum rios em seu estado natural possuírem barreiras ao tráfego de embarcações. Os rios precisam de intervenções necessárias à navegabilidade. A navegabilidade, em alguns casos, pode ser alcançada por meio da regulação do fluxo em eclusa, dragagem, estabilização de bancos ou remoção de troncos de árvores. Alguns rios, em seus estados naturais fornecem apropriadas condições para o deslocamento de embarcações, nesses casos, é necessário analisar o tipo de embarcação a ser usado.

Não existem critérios específicos de navegabilidade e, na análise final, os critérios econômicos possuem o poder de controle (Linsley & Franzini, 1964). Existem fatores físicos com influência no custo do transporte hidroviário: profundidade mínima, largura e alinhamento do rio, tempo de atracação, velocidade corrente do rio e as instalações necessárias do terminal (Linsley & Franzini, 1964; Wheeler, 1893). Tais critérios são definidos de acordo com o padrão da embarcação a ser usada.

No entanto, vale ressaltar que para a determinação de navegabilidade de um determinado trecho de rio é necessário considerar outros fatores como a análise de batimetria e o regime hidrológico do rio. Tais aspectos são importantes para a especificação de uma hidrovia.

3.2.4.1 – Profundidades de rios

A profundidade de um determinado rio deve ser suficiente para que exista o deslocamento seguro de uma determinada embarcação. As chatas não podem ser carregadas a ponto de seus calados excederem as mínimas profundidades (hp_{min}). O hp_{min} é definido como a mínima distância que deve existir entre o calado da embarcação e o leito do rio (Padovezi, 2003). O hp_{min} deve ser igual à profundidade do rio, menos o calado da embarcação e menos o *squat* – leve depressão na superfície da água que ocorre devido ao movimento da embarcação. A Equação (3.1) expressa a definição do hp_{min} .

$$hp_{min} = h - CL - Sq \quad (3.1)$$

Onde hp_{min} : mínima distância entre o calado da embarcação e o leito do rio em metros;

h : profundidade do rio em metros;

CL : calado da embarcação em metros;

Sq : *Squat* em metros.

Todavia hp_{min} deve ser maior ou igual que C_{min} ($hp_{min} \geq C_{min}$), onde C_{min} é a mínima distância existente entre o calado da embarcação e o leito do rio, para que a embarcação possa deslocar-se em velocidade de cruzeiro (Padovezi, 2003). A Tabela 3.4 apresenta os valores de C_{min} para rios com diferentes tipos de leitos, de acordo com o IPT (1989).

Tabela 3.4 – Valores de C_{min} .

Tipos de leitos	C_{min} (metro)
Lodoso	0,30
Arenoso	0,50
Rochoso	1,00

Fonte: IPT (1989).

Outra formulação a respeito de hp_{min} foi proposta no Brasil. Neste caso, é definida como a mínima altura da água que permite o tráfego de embarcações em baixa velocidade e em trechos críticos, durante o período de menores níveis de água (águas baixas) (IPT, 1989). Especificamente, para rios da bacia Amazônica de leito arenoso, foi definido $hp_{min} =$

0,50m. Na Figura 3.6 é apresentado o esquema de profundidade mínima (hp_{min}) de rios para o deslocamento de embarcações.

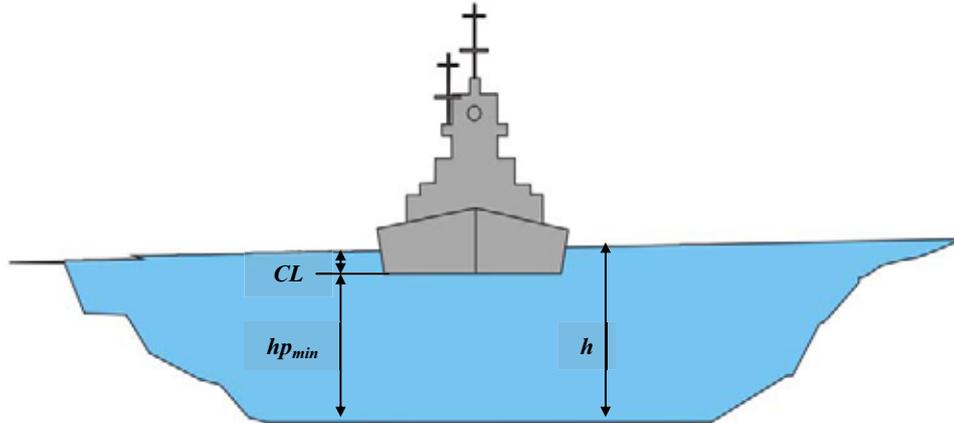


Figura 3.6 – Representação esquemática de profundidade mínima (hp_{min}) do rio para o deslocamento de embarcações (Fonte Modificada: Yarzon, 2007).

3.2.4.2 – Largura e alinhamento dos rios

O número de chatas em rebocadores e o tempo de trânsito dependem de alinhamento, largura e velocidade corrente do rio. A largura de um canal requerido para navegação, embora seja considerada um tópico de menor importância que a profundidade, também requer considerações, pois rios que possuem canal de navegação de pequenas larguras restringem o deslocamento de determinadas embarcações. Em tais situações é difícil manobrar um longo rebocador de pesadas chatas carregadas em um canal menos largo que o próprio rebocador. Como exemplo prático de largura de canal de navegação pode-se citar o rio Mississippi, que apresenta uma largura mínima de 91,44m (Linsley & Franzini, 1964). Para cargas de 1,5 mil toneladas registradas requer é necessário um amplo canal de aproximadamente 70m (Wheeler, 1893).

Da mesma forma que a largura, o alinhamento também é considerado fator importante na determinação da navegabilidade de um rio, pois trechos de rios altamente sinuosos aumentam o comprimento em excesso da distância de linha de ar, a qual o rebocador da chata deve percorrer, dificultando o deslocamento do rebocador. Em rios bastante sinuosos, comboios muito extensos necessitam ser desmembrados, acarretando custos adicionais à operação de transporte.

3.2.4.3 – Velocidade corrente dos rios

A velocidade da maioria dos rebocadores em águas calmas é por volta de 6mph ou 2,75m/segundo. Velocidades correntes na ordem de 0,92m/segundo ou 1,22m/segundo representam uma substancial redução na velocidade para limites de reboques contra a correnteza, ou, mais especificamente, em ton-milhas percorridos por H.P.-hora (Linsley & Franzini, 1964).

3.2.4.4 – Instalações de Terminais

Visto que os carregamentos ou descarregamentos em rebocadores e chatas são contínuos enquanto o comboio está em um terminal, instalações que permitem rápidas transferências de cargas efetivamente reduzem o tempo perdido e os custos. Instalações de terminais, assim, são importantes fatores na economia de projetos de navegação (Wheeler, 1893).

Na realidade, pode-se notar a dificuldade em estimar critérios exatos para determinar a navegabilidade de rios. Talvez isso ocorra em decorrência da ausência de grandes estudos e pesquisas sobre o assunto. Contudo, por considerar que profundidade, largura e alinhamento estão diretamente ligados às características de rios em seus estados naturais, essas variáveis são consideradas, neste estudo, os principais requerimentos de navegabilidade de rios para o transporte de carga.

3.3 – TÓPICOS CONCLUSIVOS

- O Sistema de Transporte Hidroviário Interior é definido como o tipo de transporte realizado por meio de rios, lagos, baías ou estuários localizados no interior do continente.
- Para que um rio seja considerado navegável, é necessário obedecer a alguns critérios, tais como: profundidade mínima, largura e alinhamento do rio.
- Por considerar que a profundidade, largura e alinhamento estão diretamente ligados com as características de rios em seus estados naturais, tais variáveis são consideradas neste estudo como os principais requerimentos de navegabilidade para o transporte de carga.

CAPÍTULO 4 – REDE DE TRANSPORTES

4.1 – APRESENTAÇÃO

O estudo de rede de transportes surgiu pela necessidade de se determinar espacialmente pontos na geografia urbana suficientemente adequados a prestação de serviços, como distribuição de água, energia elétrica e transporte. No início, as redes de tais serviços eram definidas como técnicas, nas quais o que interessava eram as análises de fluxos, que basicamente caracterizavam a distribuição de bens e pessoas pelas redes (Dupuy, 1998).

Com o desenvolvimento da sociedade, acompanhado de um significativo crescimento populacional e conseqüente explosão urbana, viu-se a necessidade de se estender tais análises a um campo mais amplo. As atenções não mais se voltavam a análises técnicas de fluxos materiais pelas redes apenas, mas também à relação espacial que tais redes possuem com o ambiente geográfico no qual estão inseridas.

Este capítulo tem como objetivo estudar redes de transportes sob uma visão socioeconômica. Para isso, é fundamental identificar a relação entre a rede e o meio em que esta se insere, a fim de compreender a forma como esses elementos interagem e identificar o resultado de tal relação.

O conceito de rede de transportes é proposto; posteriormente, o alcance socioeconômico de uma rede é apresentado por meio das dimensões que a caracteriza. Compreendidas tais dimensões, analisam-se as relações existentes entre a rede e o meio de interação. Em uma segunda etapa, a teoria dos grafos nos estudos de rede de transportes é introduzida, a fim de representar graficamente uma dada rede de transporte e identificar matematicamente os tipos de rede e as principais medidas de análise. O custo de transporte é inserido no contexto da teoria dos grafos e, finalmente, alguns tópicos conclusivos são apresentados.

4.2 – REDE DE TRANSPORTE E SEU ALCANCE SOCIOECONÔMICO

A história de desenvolvimento das redes surgiu pela necessidade de distribuição de alguns serviços, como saneamento, energia elétrica, água e, por último, transporte. Tais redes, na grande maioria, tinham formatos reticulares e, no início, foram classificadas como redes técnicas urbanas, pois eram responsáveis apenas pela distribuição adequada desses serviços

em ambientes urbanos onde existia maior concentração populacional, sendo, portanto, analisada por meio de fluxos materiais (Dupuy, 1998).

Com o incremento populacional e conseqüente aumento da demanda por esses serviços, houve a necessidade de se estender as análises para um campo mais amplo, surgindo o que os estudiosos chamam de conceito moderno de rede. Os pontos fundamentais que o caracterizam se sustentam não apenas pelas análises de fluxos matérias, mas também pelas suas dimensões principais, que responde a questões do por que construir uma rede, e *como* será a estrutura de tal rede. Isso, de certa forma, será responsável pela determinação do alcance socioeconômico de uma rede de transportes para uma determinada região.

O conceito de rede moderna, por meio de suas principais dimensões, torna possível identificar a relação que esta possui com o ambiente onde se insere, além do levantamento e análise dos efeitos socioeconômicos que surgem dessa relação, o que dá uma nova representação da importância no desenvolvimento de rede.

4.2.1 – Conceito de Redes de Transportes

Existem vários conceitos de rede de transportes. A grande maioria se refere a uma estrutura matemática constituída por características físicas. Entre eles, destaca-se o conceito proposto por Teodorovic (1986), que define uma rede de transportes, sob o enfoque técnico, como um conjunto de nós e arcos, nos quais deslocamentos são realizados.

O que reforça tal conceito é a descrição proposta por Laird (2003), na qual uma rede de transporte é visualizada em termos físicos como a representação de infra-estrutura de transporte, constituída por ligações físicas interconectadas como conexões fornecidas em nós, tais como paradas de ônibus, aeroportos e portos.

As redes de transporte não são definidas somente pela existência de infra-estrutura física, mas por uma visão mais ampla, a qual é apresentada e usada nesta tese. Assume-se uma rede de transporte como uma estrutura física constituída por elementos de um sistema de transporte e por elementos abstratos como desejos, ações, relações existente entre a infra-estrutura de transporte e o meio onde se insere. O grau do relacionamento entre estes dois elementos definirá a intensidade das alterações geográficas que ocorrerão no meio.

4.2.2 – Importância das Redes de Transportes

A importância em se desenvolver uma rede de transportes vai além do simples fato de otimizar deslocamentos por vias que constituem um dado sistema de transporte. Um dos aspectos relevantes que reflete a importância da rede refere-se à capacidade de organização regional que esta proporciona. Uma vez confirmada tal assertiva, observa-se que as redes de transportes são importantes por constituírem o sistema arterial da organização regional, influenciando em sua estrutura e possibilitando a circulação dos fluxos de bens, de pessoas e de informações (Pons & Bey, 1991).

Um ponto importante diz respeito à estrutura econômica de uma região. Nesse caso, as redes de transportes são elementos fundamentais para ligar as economias regionais aos mercados produtores e consumidores, gerando oportunidades de crescimento (Lakshman *et al.*, 2003). Ainda segundo os mesmos autores, o desenvolvimento de uma rede de transportes permite regiões alcançarem recursos naturais e mercados consideráveis, por meio da integração de sub-regiões.

4.2.3 – Principais Dimensões da Rede de Transportes

Para se compreender a nova visão de rede de transportes proposta e, em consequência, se identificar as relações entre a estrutura da rede e o ambiente, é necessário apontar alguns fatores relevantes, isto é, as *dimensões da rede de transportes* (Dupuy, 1998).

4.2.3.1 – Dimensão topológica

A topologia é compreendida como um conjunto de características e relações entre objetos espaciais que não se alteram em função de modificações no sistema de coordenadas (Teixeira, 2003). A dimensão topológica, diferentemente da visão tecnocrata de *malha* apreciada por urbanistas ortodoxos, surge pela primeira vez por meio de Ildefons Cerda, em 1860, e seu *Plano Cerda* de extensão da cidade de Barcelona, apesar de outros estudiosos do fim do século XIX também terem estudado tal dimensão (Dupuy, 1998).

O que caracteriza a dimensão topológica de uma rede é a busca do ideal onipresente e das suas relações imediatas (Dupuy, 1998). A topologia deve assegurar à relação com o entorno, a conexão máxima direta ou múltipla acima das diferentes barreiras e limites que existem. A rede, assim, favorecerá a abertura do espaço quer seja urbano quer seja regional e, conseqüentemente, proporcionará a descentralização.

4.2.3.2 – Dimensão cinética

A segunda dimensão da rede, em relação à sua significação territorial, é cinética. A rede, assim, segundo a dimensão cinética, define de uma só vez o espaço e o tempo e estabelece entre esses uma nova relação baseada na circulação, fluxo, velocidade, que tende a ser instantânea ao tempo real. Portanto, dentro da dimensão cinética o que mais interessa é o tempo decorrido e não a distância (Riboud, 1981).

A relação tempo/espaço tem papel fundamental na dimensão cinética de uma rede, o que, de certa forma, define, em uma dada situação, que modo de transporte torna-se mais adequado, resultando, assim, no tipo de deslocamento que se propõe efetuar. A rede é sempre o lugar onde ocorrem as mutações e a relação existente entre tempo e espaço (Dupuy, 1998). A dimensão cinética da rede de transporte está fortemente ligada à dimensão topológica, tanto como a dimensão adaptativa que é analisada, como segue.

4.2.3.3 – Dimensão adaptativa

Uma rede de transportes capaz de se adaptar ao tempo, evoluir para facilitar as relações que se tem feito necessárias às vontades dos agentes e às modificações do entorno do sistema regional. Esse é o ideal que se propõe obter com a visão de uma rede moderna (Dupuy, 1998). As alterações socioeconômicas que ocorrem em uma região são dinâmicas e necessitam ser acompanhadas de mudanças na estrutura física, principalmente no que se refere aos sistemas de transportes. Uma rede de transportes deve ser adaptativa a fim de garantir uma estrutura capaz de corresponder às alterações que ocorrem no ambiente.

A dimensão adaptativa parece, finalmente, fazer referência às possibilidades de modificações na natureza ou na estrutura das relações oferecidas. Em curto prazo, a rede deve permitir o uso máximo das relações possíveis em cada instante, e, em longo prazo, tolerar adaptações morfológicas maiores, por criação de novas relações, devido ao surgimento no ambiente de novos pontos suscetíveis a conexão (Dupuy, 1998).

O mais importante a ser observado na identificação das dimensões que constituem uma rede de transportes é a capacidade de determinar a natureza das relações existentes entre a rede e o ambiente, e o grau de alteração que esses elementos sofrerão mutuamente.

4.2.4 – Relações da Rede de Transportes com o Ambiente

As redes de transportes deveriam ser observadas e analisadas num ambiente mais amplo, interagindo com entidades de naturezas diversas, influenciando-as e sendo influenciadas. A esse ambiente, Ferreira (2006) chamou de ambiente de transporte. No entanto, por considerar que tais entidades não dizem respeito apenas à entidade rede, mas sim a um conjunto maior de forças, será adotada a denominação *ambiente de interação* (Figura 4.1).

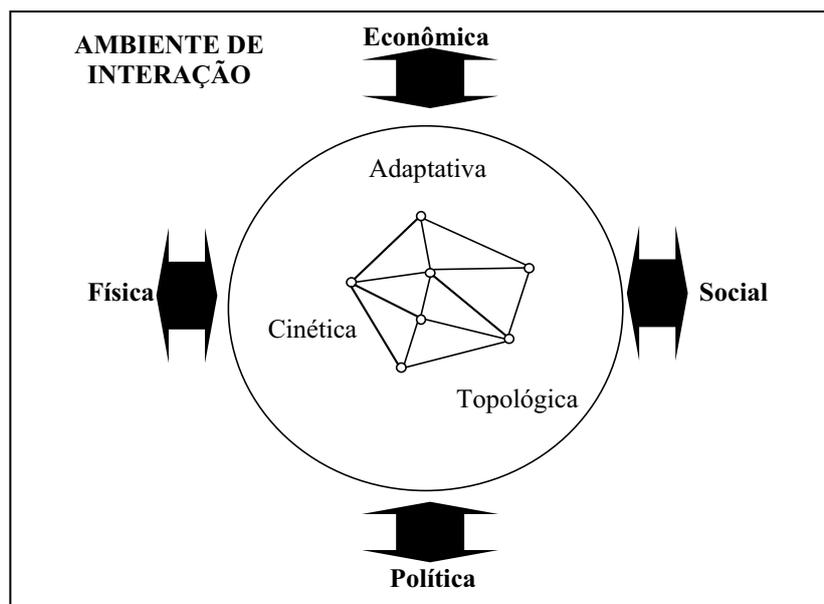


Figura 4.1 – Ambiente de interação.

Esse ambiente se caracteriza, principalmente, por interagir com a rede de transportes por meio das dimensões (topológica, cinética e adaptativa) apresentadas previamente, produzindo alterações de naturezas distintas: econômica, social, política e física. Tais alterações possuem características específicas que produzem maiores efeitos no meio e na própria rede. Esses efeitos são denominados efeitos da rede de transporte.

4.2.4.1 – Efeitos da rede de transportes

As alterações que resultam da relação entre a rede de transportes e o meio de interação podem produzir efeitos mais amplos tanto na rede quanto no meio, induzindo e afetando a procura em bases intermodais e melhorando a confiabilidade e a qualidade do serviço de transportes (OCDE, 2003). Todas essas respostas comportamentais podem ter efeitos negativos via a interação entre condições de transporte, economia e uso do solo. Os efeitos relacionados à rede de transportes são categorizados em três grupos: efeitos diretos e efeitos indiretos, além dos efeitos econômicos (Mackie *et al.*, 2001). As diferenças entre

tais categorias podem ser ilustradas por meio de um exemplo referente à construção de uma nova rodovia (inserção de um novo arco na rede), podendo conduzir a:

- **efeitos diretos da rede de transportes:** alterações no número de viagens, distância percorrida, tempo de viagem e outros que resultam de mudanças no comportamento da viagem (mudanças de rota, modo, tempo, e destino). Tais mudanças são estimuladas diretamente pela alteração em custo generalizado de viagem e acessibilidade, introduzidas pela iniciativa de transporte;
- **efeitos econômicos da rede de transportes:** as mudanças na acessibilidade e custos induzidos pela iniciativa de transporte afetarão o uso do solo, padrões de produção de mercados. Migrações de pessoas e firmas ocorrerão, e novos desenvolvimentos residenciais e comerciais podem acontecer. Tais alterações, também chamadas de impactos mais amplos da economia, são, na realidade, efeitos econômicos da rede de transportes, importantes na compreensão dos efeitos indiretos;
- **efeitos indiretos da rede de transportes:** os impactos mais amplos da economia ou efeitos econômicos da rede de transportes introduzirão um padrão distinto de tomada de decisão em transportes. Tais alterações têm impactos na rede de transportes e induzem mudanças na demanda, distância percorrida e outros. Essas mudanças são conhecidas como efeitos indiretos da rede de transportes.

4.3 – TEORIA DOS GRAFOS NO ESTUDO DE REDE DE TRANSPORTES

A Teoria dos Grafos pode ser utilizada em estudos morfométricos de rede e constitui um tipo de análise explicativa que permite conhecer, em função de dados parciais, quais aspectos a estrutura de uma determinada rede ou seu desenvolvimento possui (Pons & Bey, 1991). Quanto à aplicação dessa teoria às análises de transporte, permite, em função das propriedades topológicas e de sua conectividade, identificar problemas geográficos a partir das relações existentes entre o meio ambiente e a rede de transportes (Haggett, 1976). Conectividade k (G) de um grafo G [N ; A] é o menor número de nós (vértices) cuja remoção desconecta G ou o reduz a um único vértice (Netto, 1996).

Os termos da teoria dos grafos usados no campo do transporte podem ser relacionados com objetos geográficos reais, nos quais nós e arcos podem representar características específicas desses objetos. Como exemplo, os terminais podem ser representados por nós; assim como rodovias, hidrovias, ferrovias, por arco. A teoria dos grafos destaca-se como

uma importante ferramenta no auxílio a solução de problemas encontrados no campo do transporte, tais como: capacidade de via e rota de caminho mínimo (Almeida *et al.*, 2003b).

4.3.1 – Representação Gráfica de uma Rede de Transportes

A representação de um dado sistema de transportes, sob o enfoque da teoria dos grafos, é associada ao conceito usual atribuído a rede de transportes, expressa pela visão técnica apresentada no subitem 4.2.1. Neste caso, uma rede de transporte é constituída por nós e arcos, na qual os nós são considerados importantes pontos no espaço e os arcos são ligações físicas entre os nós. A Figura 4.2a representa rodovias com seus respectivos fluxos. Essas rodovias são representadas graficamente na Figura 4.2b por meio de uma rede de transporte constituída, basicamente, por arcos e nós.

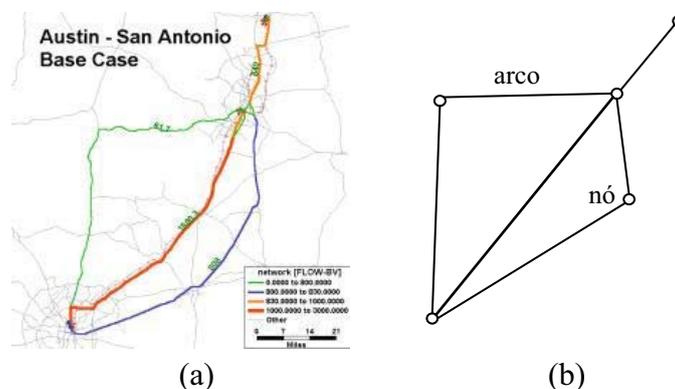


Figura 4.2 – Fluxo de transporte em rodovias (a), e sua representação gráfica (b).

4.3.2 – Elementos de uma Rede de Transporte: Definições e Notações

A proposta deste item é fazer uma breve descrição dos mais relevantes aspectos da teoria dos grafos que são aplicados ao estudo de rede de transportes. Portanto, elementos, terminologias e algumas definições relacionados à teoria são apresentados. As terminologias e notações usadas neste estudo não são estritas ou excludentes. As notações mais utilizadas no campo do transporte foram selecionadas. O símbolo $G [N; A]$, a qual designa uma rede de transporte contendo um grupo de nós definidos por N e um grupo de arcos entre esses nós, definidos por A .

4.3.2.1 – Arcos

As ligações em uma rede de transportes são chamados arcos, e a notação (n_i, n_j) representa o arco “ a ” que conecta o nó $n_i \in N$ ao nó $n_j \in N$ (Teodorovic, 1986). Arcos podem representar facilidades de transporte (rodovias, hidrovias, ferrovias, rios) ou fluxos

(pessoas, produtos, informações). Cada arco é tipicamente associado a uma impedância que afeta o fluxo. A unidade de medida da impedância depende da natureza da rede e do fluxo no arco. Impedância pode representar tempo, custo ou outra medida.

4.3.2.2 – Nós (vértices)

Os nós representam a interseção de arcos. Em um sistema de transporte os nós usualmente representam pontos estratégicos no espaço geográfico, tal como, terminais, cidades, centros regionais, centros produtores, centros geradores ou atratores de demanda (Sheffi, 1985).

4.3.2.3 – Nós centróides e conectores de centróide

Os centróides são nós onde se originam e se destinam viagens (Sheffi, 1985). Alguns autores consideram o centróide como um tipo de nó que armazenam e representam, em um ponto, dados relativos a uma determinada área. Os nós centróides são fundamentais para representar a conexão entre uma dada zona e a rede existente.

Uma vez definido o grupo de centróides, as linhas de desejos sobre a rede podem ser expressas em termos de matriz origem-destino. A Figura 4.3 apresenta uma zona de tráfego envolvida por quatro vias de duplo sentido. O nó localizado no meio da zona é o centróide e está conectado à rede rodoviária por arcos chamados de “conectores de centróides” (Sheffi, 1985).

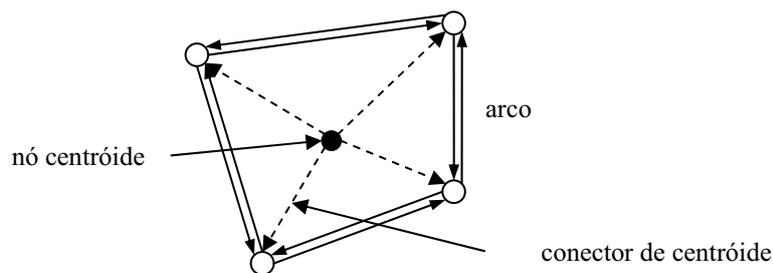


Figura 4.3 – Representação esquemática de um nó centróide e conectores.

4.3.2.4 – Cadeia e ciclo

Uma cadeia é uma seqüência qualquer de arcos adjacentes que conectam dois nós. Matematicamente a cadeia é definida como uma sucessão de arcos (a_1, a_2, a_3, \dots) em que o arco a_i está ligado ao arco a_{i-1} por um extremo e ao arco a_{i+1} pelo outro extremo. Um ciclo é uma cadeia que começa e termina no mesmo nó (Potts & Oliver, 1972).

4.3.2.5 – Caminho (*path*)

Um caminho é uma cadeia onde todos os arcos possuem a mesma orientação, ou seja, é a seqüência de arcos diretos conduzidos de um determinado nó a outro (Sheffi, 1985).

4.3.2.6 – Árvore e árvore de expansão

Árvore é um grafo conexo sem ciclos, sendo que, um grafo $G [N;A]$ é dito conexo se existir pelo menos uma cadeia ligando cada par de nós deste grafo G (Potts & Oliver, 1972). Uma árvore de expansão é uma árvore que conecta todos os nós da rede sem ciclos permitidos (Taha, 2003).

Os estudos relacionados à árvore de expansão são importantes nas aplicações em transportes, principalmente na solução de problemas referentes a caminhos mínimos em redes. O caminho mínimo de uma origem para todos os nós da rede, assumidos conectados, juntos formam árvores de expansão (Potts & Oliver, 1972).

4.3.3 – Tipos de grafos (redes)

A orientação de um grafo determina um tipo de relação entre seus arcos, que é justamente a relação de acessibilidade (Ferreira, 2006). Os grafos, segundo a orientação de seus arcos, são classificados em: diretos ou orientados; indiretos ou não-orientados; e mistos.

Um *grafo direto* $G [N; A]$ é definido como um grupo finito N de elementos não ordenados e um grupo A de pares ordenados de elementos de N (Figura 4.4(a)). Pode-se, de igual forma, denotar um grafo direto por n e a os números de elementos nos conjuntos N e A , respectivamente. Quando um determinado grafo ou rede possui arcos diretos e indiretos é chamado *grafo misto* ou rede mista. A Figura 4.4(b) é um exemplo de grafo misto.

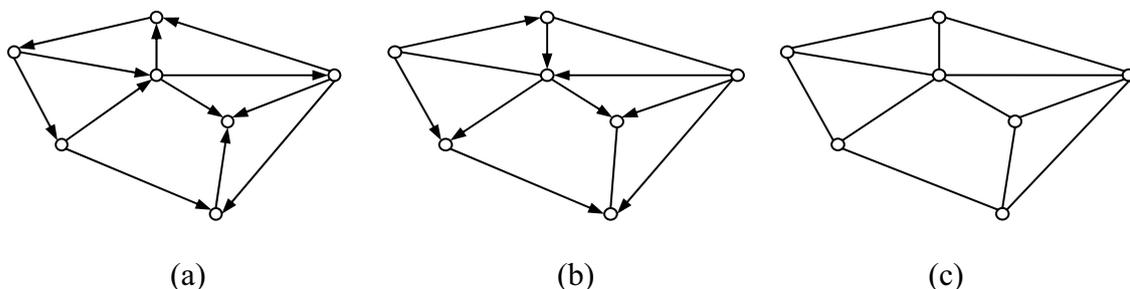


Figura 4.4 – (a) Grafo direto; (b) grafo misto; e (c) grafo indireto.

Em um *grafo indireto* $[N; A]$, os elementos de A são pares não ordenados de elementos de N , e são denotados por (i, j) ou (j, i) . Nos grafos indiretos (Figura 4.4(c)), os arcos são indiretos e setas não são necessárias em suas representações (Potts & Oliver, 1972).

4.3.4 – Problemas de Caminho Mínimo

Uma vez descritas as principais características da Teoria dos Grafos, passa-se a estudar um dos problemas mais comuns existentes no campo dos transportes, e que pode ser analisado por meio da Teoria dos Grafos, a identificação de caminhos mínimos.

A importância do caminho como subestrutura de grafo, por um lado, e a definição de distância associada ao valor mínimo de um caminho, por outro, conferem a classe de problemas de minimização de caminhos uma posição de relevo na teoria, tanto pela diversidade de situações nas quais esses problemas são encontrados, como pela sua colocação como etapa obrigatória em qualquer situação cujo estudo exija o conhecimento das distâncias em um grafo (Netto, 1996).

4.3.4.1 – Algoritmos de caminho mínimo

Uma ferramenta importante usada na solução de problemas de caminhos mínimos é o algoritmo. Durante anos, diversos algoritmos foram desenvolvidos buscando solucionar vários problemas relacionados a teoria dos grafos. Devido à importância que tal problema remete ao desenvolvimento desta tese, são apresentados justamente os algoritmos que tratam deste problema (Tabela 4.1), com maior destaque ao algoritmo de Dijkstra.

4.3.4.1.1. Algoritmo de Dijkstra

O algoritmo de Dijkstra é o mais usado para cálculo de caminho de custo mínimo entre nós de um grafo e, na prática, o mais empregado. O mecanismo básico de funcionamento do algoritmo é o seguinte. Escolhido um nó como raiz da busca, este algoritmo calcula o custo mínimo deste nó para todos os demais nós do grafo.

O algoritmo pode ser usado sobre grafos orientados, ou não, e admite que todos os arcos possuam pesos não negativos (nulo é possível). Essa restrição é perfeitamente possível no contexto de redes de transportes, onde os arcos representam normalmente distâncias, tempos médios de percurso ou outro tipo de custo.

Tabela 4.1 – Principais algoritmos usados na análise de caminho mínimo.

Algoritmos	Características
Algoritmo de Dijkstra	O algoritmo de Dijkstra, cujo nome se origina de seu inventor, o cientista da computação Edsger Dijkstra, soluciona o problema do caminho mais curto em grafo dirigido com arestas de peso não negativo. Um exemplo prático de problema que pode ser resolvido pelo algoritmo de Dijkstra é: alguém precisa se deslocar de uma cidade para outra. Para isso, ela dispõe de várias estradas, que passam por diversas cidades. Qual delas oferece uma trajetória de menor caminho?
Algoritmo de Bellman-Ford	O Algoritmo de Bellman-Ford é um algoritmo de busca de caminho mínimo em um dígrafo ponderado, ou seja, cujas arestas têm peso, inclusive negativo. O algoritmo de Bellman-Ford é normalmente usado apenas quando existem arestas de peso negativo.
Algoritmo de Dantzig	Este algoritmo constrói progressivamente um subconjunto de vértices, os quais se conhecem o caminho mínimo a partir da origem, usando a cada iteração o conjunto vigente como base múltipla para a busca de novos itinerários que levem aos sucessores externos. Em cada iteração, todos os vértices que apresentarem valores mínimos serão incluídos no conjunto.
Algoritmo de Floyd-Warshall	Na ciência da computação, o algoritmo de Floyd-Warshall (às vezes chamado de algoritmo de Warshall) resolve o problema de calcular o caminho mais curto entre todos os pares de vértices em um grafo orientado e valorado (com peso).
Algoritmo Cascata	O conceito de algoritmo cascata envolve um mecanismo que admita o uso dos valores atualizados dentro da própria iteração na qual foram obtidos, sempre que isso se torna necessário. Assim, os “alongamentos” de caminhos (em número de arcos) trazidos pelo algoritmo podem ser acelerados, com o que se pode esperar obter o resultado final com menor esforço; isso, no entanto, não pode ser garantido, o que explica a pouca difusão do algoritmo, se comparado, por exemplo, com o de Floyd.

Fonte: Netto (1996).

Poderão existir aplicações onde os arcos apresentam pesos negativos, nestes casos o algoritmo não funcionará corretamente. No primeiro caso, considera-se uma matriz de valores. Nesse caso, o conjunto de nós se encontra a cada interação, particionado em dois:

- **F** (fechado), contendo os nós para os quais já se conhece um caminho mínimo;
- **A** (aberto), contendo os nós para os quais ainda não se conhece um caminho mínimo.

Em cada interação, um nó será transferido de **A** para **F**. Inicia-se atribuindo o valor zero à origem e usando “estimativas pessimistas” para as distâncias da origem aos demais nós.

4.3.5 – Medidas de Análises de Redes

Algumas medidas de análise são necessárias para identificar deficiências que podem ocorrer na estrutura de uma determinada rede de transportes. Entre tais medidas destacam-se (Pons & Bey, 1991): a acessibilidade e centralidade, conectividade e eficiência.

4.3.5.1 – Acessibilidade e centralidade

As medidas de acessibilidade e centralidade são utilizadas para hierarquizar os nós de uma determinada rede de transporte (Ferreira, 2006). O número máximo de associação da rede é denominado “diâmetro do grafo” e pode alcançar vários nós de uma única vez (Pons & Bey, 1991). Entre os índices de acessibilidade existentes, destacam-se: índice de acessibilidade topológica absoluta ou índice de Shimbel; índice de acessibilidade topológica relativa ou índice de Stuz; índice de centralidade topológica média.

4.3.5.2 – Conectividade e eficiência

As medidas de conexão permitem calcular o grau de conexão recíproca entre os diferentes nós (Pons & Bey, 1991). Os índices de conexão são interessantes quando se analisa através do tempo o quanto o incremento das ligações tem estreita relação com a demanda de novas linhas. Os índices que determinam o grau de conexão das redes são múltiplos, entre os quais se destacam: conexão máxima; índice de Prihar; índice de Zagozdon; índice ciclomático; índice gamma, alfa, beta, eta e iota de Kansky. A Tabela 4.2 apresenta as principais medidas de análise de rede, considerando a acessibilidade, centralidade, conectividade e eficiência.

4.4 – CUSTO DE TRANSPORTE

Custos são medidas monetárias dos sacrifícios financeiros com os quais uma organização ou uma pessoa têm de arcar a fim de atingir seus objetivos. Grande parte das análises em transporte refere-se ao custo operacional que é definido como o total dos dispêndios financeiros necessários para a operação de transporte de uma carga de uma origem a um destino, computados do ponto de vista do cliente do transporte, e é uma medida composta de todos os fatores que são relevantes na tomada de decisão (UFRS, 1998).

Geralmente, os mais significantes componentes do custo operacional são os *custos diretos*, relacionados diretamente com o produto ou serviço, ou seja, referem-se aos insumos diretamente alocados nas atividades produtivas (Faria & Costa, 2005) como taxas, combustível consumido, entre outros, e os *custos indiretos*, os quais são caracterizados pela não apropriação diretamente a cada tipo de bem ou função de custo no momento de sua ocorrência. Os custos indiretos são apropriados aos portadores finais mediante o emprego de critérios pré-determinados e vinculados a causas correlatas. Os custos indiretos não serão analisados no presente estudo.

Tabela 4.2 – Principais medidas de análise de redes.

Medidas de Análise	Índices	Equação	Variáveis Envolvidas	Características
Acessibilidade e Centralidade	Índice de acessibilidade topológica absoluta (IATA) ou Índice de Shimbrel	Matriz de acessibilidade topológica da rede.	número de conexões entre nós diretos.	<ul style="list-style-type: none"> Medida relativa de maior ou menor facilidade de acesso que um ponto no espaço tem em relação e estrutura da rede; Tais índices indicam o nível hierárquico, por meio da centralidade dos pontos (nós) que constituem a rede.
	Índice de Acessibilidade Topológica Relativa (IATR) ou Índice de Stutz	$\Omega = \frac{A_y - A_*}{A^* - A_*} \cdot 100 \quad (4.1)$	Índice de Shimbrel.	
	Índice de Centralidade Topológica Média (ICTM)	$ICTM = IATA / (v - 1) \quad (4.2)$	índice de Shimbrel;	
	Índice de Conexão Máxima (ICM)	$ICM = \lceil v(v-1)/2 \rceil \quad (4.3)$	número de nós da rede.	
	Índice de Prihar (IP)	$IP = \lceil v(v-1)/2 \cdot a \rceil \quad (4.4)$	número de nós da rede;	
	Índice de Zagzdon (IZ)	$IZ = (v^2 - v) - (a/2/v) \quad (4.5)$	número de arcos da rede.	
	Número Ciclomático (NC)	$NC = [a - (v-1)] \quad (4.6)$	número de nós da rede;	
	Índice Gamma de Kansky (γ)	$\gamma = \lceil a/3(v-2) \rceil \quad (4.7)$	número de arcos da rede.	
	Índice Alfa de Kansky (α)	$\alpha = NC/2v - 5 \quad (4.8)$	número de nós da rede;	
	Índice Beta de Kansky (β)	$\beta = (a/v) \quad (4.9)$	número de arcos da rede.	
Conectividade e Eficiência	Índice Eta de Kansky (η)	$\eta = (Lg/a) \quad (4.10)$ $\eta = (F/v) \quad (4.11)$ $\eta = (Lg/v) \quad (4.12)$	número de nós da rede;	
	Índice Iota de Kansky (ι)	$\iota = Lg/v_1 \quad (4.13)$ $\iota = Lg/F \quad (4.14)$	número de arcos da rede;	
	Índice Pi de Conexão (π)	$\pi = Lg/di \quad (4.15)$	longitude total da rede;	
			nós estimados da rede.	longitude total do diâmetro da rede;
			longitude total da rede;	longitude total do diâmetro da rede.

Ao se trabalhar apenas com os custos diretos de movimentação de uma mercadoria, são determinados níveis de referência (valores de fretes) para a utilização de rotas. Com isso, é possível avaliar diferentes rotas e descobrir qual oferece menor custo direto, admitindo-se uma qualidade semelhante entre os serviços oferecidos pelas diversas rotas.

4.4.1 – Custo de Transporte em uma Rede

O custo de transporte em uma rede C_{tr} é definido como a soma dos custos diretos referentes aos arcos e aos nós que constituem esta mesma rede (Potts & Oliver, 1974). A Equação (4.16) traduz de forma matemática o custo de transporte em uma rede.

$$C_{tr} = \sum_{(i,j)} c_{ij} (f_{ij}) \quad (4.16)$$

Onde C_{tr} : custo de transporte em uma rede;
 f_{ij} : fluxo de transporte entre os nós i e j ;
 c_{ij} : custo direto entre os nós i e j .

4.4.2 – Custo Direto de Transporte em uma Rota

Em geral, o custo direto de transporte de uma determinada rota é a soma dos custos diretos referentes aos arcos considerados com os custos de travessias nos nós (custo de transbordo) conforme é denotado pela Equação (4.17).

$$C_{rota} = \sum_{i=1}^I ca_i + \sum_{j=1}^J cn_j \quad (4.17)$$

Onde C_{rota} : custo direto de transporte de uma rota de origem ao destino;
 ca_i : custo de transporte no arco a_i ;
 cn_j : custo de transporte no nó n_j .

4.4.3 – Custos de Transporte em um Arco

Dentro de uma representação de rede de transportes, uma forma de associar custo aos arcos pode ser em termos de deslocamento ou restrição de capacidade e operação, especialmente a restrição associada a técnicas disponíveis e condições do sistema viário, as quais são representadas pelos arcos. A notação do custo de arco é, em geral, uma função do fluxo do arco (Potts & Oliver, 1972).

O fluxo considerado neste estudo refere-se ao transporte de carga, no qual o custo operacional de transporte de carga é considerado como custo direto a ser analisado no deslocamento de veículos de carga por meio dos arcos da rede. Considerando o esquema de separação usual em custos fixos e custos variáveis, os quais são utilizados com frequência pelos transportadores de carga (Filho & Gameiro, 2001), o custo de transporte no arco é definido como pela Equação (4.18).

$$ca_i = cfa_i + cva_i \quad (4.18)$$

Onde ca_i : custo de transporte no arco a_i ;
 cfa_i : custo fixo por dia no arco a_i ;
 cva_i : custo variável por quilômetro no arco a_i .

Torna-se importante formalizar as definições de custos fixos e variáveis, que por vezes são utilizados de maneira incorreta. A classificação de custo fixo e variável é feita sempre em relação a algum parâmetro de comparação. Normalmente, em uma empresa são considerados itens de custos fixos aqueles que independem do nível de atividade, e itens de custos variáveis aqueles que aumentam de acordo com o crescimento do nível de atividade. Sob a visão de um transportador, a classificação é feita em relação à distância percorrida (Fonte: Lima, 1994).

Todos os custos que ocorrem de maneira independente ao deslocamento do veículo são considerados fixos e os custos que variam de acordo com a distância percorrida são considerados variáveis. O conceito de fixo e variável, neste estudo, estará sempre relacionado à distância percorrida. As Tabelas 4.3, 4.4 e 4.5 apresentam os principais itens que constituem os custos fixos e variáveis do veículo para o transporte de carga executado pelos modos rodoviário, hidroviário e ferroviário, respectivamente.

Vale ressaltar duas considerações importantes relacionadas ao conceito de custo fixo e variável. A primeira é que esse conceito só faz sentido em análises de curto prazo, uma vez que em longo prazo a capacidade pode ser variável. Por exemplo, em longo prazo pode-se adquirir ou vender determinados ativos, como também é possível contratar ou demitir pessoal, alterando a estrutura de custos fixos. Pode-se dizer que em longo prazo todos os custos são variáveis. A segunda consideração é que um custo variável pode se tornar fixo à medida que um dado nível de serviço é afetado. Neste caso, se uma empresa de ônibus se

compromete a oferecer uma determinada frequência de viagens, necessariamente todos os custos variáveis dessas viagens se tornam independentes do número de passageiros ou de qualquer outra variável. Então, esses custos passam a ser considerados fixos.

Tabela 4.3 – Itens de custos fixos e variáveis do veículo de carga para o modo rodoviário.

Custos (R\$)	Itens
Custo Fixo do Veículo (<i>cfv</i>)	Depreciação do veículo (DV)
	Remuneração de capital (RC)
	Salário de motorista (SM)
	Salário de oficina (SO)
	Licenciamento do veículo (LV)
	Seguro do veículo (SV)
	Seguro de responsabilidade civil facultativo (SRCF)
	Administração (AD)
Custo Variável do Veículo (<i>cvv</i>)	Peças, acessórios e materiais de oficina (PAMO).
	Combustível (C)
	Óleo lubrificante (OL)
	Pneus, câmaras e recauchutagens (PCR)
	Lavagem e lubrificação (LL)

Fonte: Lima (1994); Kawamoto (1994).

Tabela 4.4 – Itens de custos fixos e variáveis do veículo de carga para o modo hidroviário.

Custos (R\$)	Itens
Custo Fixo do Veículo (<i>cfv</i>)	Depreciação da embarcação (DE)
	Remuneração de capital (RC)
	Salários da tripulação (ST)
	Salário de oficina (SO)
	Alimentação da tripulação embarcada (ATE)
	Taxas e vistorias (TV)
	Seguro da embarcação (SE)
	Seguro de responsabilidade civil facultativo (SRCF)
Custo Variável do Veículo (<i>cvv</i>)	Administração (AD)
	Combustível (CO)
	Óleo lubrificante (OL)

Fonte: Padovezi (2003).

Tabela 4.5 – Itens de custos fixos e variáveis do veículo de carga para o modo ferroviário.

Custos (R\$)	Itens
Custo Fixo do Veículo (<i>cfv</i>)	Depreciação de locomotivas e vagões (DLV)
	Salário de pessoal (SP)
	Manutenção de locomotivas (ML)
	Salário de oficina (locomotivas e de vagões) (SO)
Custo Variável do Veículo (<i>cvv</i>)	Peças, acessórios e materiais de oficina (PAMO)
	Combustível (CO)
	Óleo lubrificante (OL)

Fonte: Kawamoto (1994).

Feita as devidas considerações a respeito de custo fixo e variável, volta-se à equação 4.18 a fim de determinar as equações dos respectivos custos. Nesse caso, os custos fixo e variável no arco (a_i) podem ser descritos pelas equações (4.19) e (4.18) respectivamente.

$$cfa_i = \frac{cfv}{Vm \cdot htd} \cdot D_i, \text{ e} \quad (4.19)$$

$$cva_i = cvv \cdot D_i \quad (4.20)$$

Onde cfa_i : custo fixo de transporte no arco a_i (R\$);
 cfv : custo fixo diário do veículo (R\$);
 D_i : comprimento do arco a_i (km);
 Vm : velocidade média do veículo no arco a_i (km/h);
 htd : horas trabalhadas por dia (h);
 cva_i : custo variável por quilômetro no arco a_i (R\$);
 cvv : custo variável do veículo (R\$).

Substituindo as equações (4.19) e (4.20) na equação (4.18), tem-se a Equação (4.21).

$$ca_i = \frac{cfv}{Vm \cdot htd} \cdot D_i + cvv \cdot D_i \quad (4.21)$$

Dividindo o custo de transporte em um determinado arco pela capacidade de carga do veículo (P) a ser usado no transporte de carga, tem-se a equação (4.22).

$$\frac{ca_i}{P} = \frac{\left(\frac{cfv}{Vm \cdot htd} \cdot D_i \right) + (cvv \cdot D_i)}{P} \quad (4.22)$$

Sendo $coa_i = \frac{ca_i}{P}$, e substituindo-a na Equação (4.22), tem-se a Equação (4.23) que expressa o custo operacional de transporte por tonelada deslocada através dos arcos da rede considerada.

$$coa_i = \frac{\left(\frac{cfv}{Vm \cdot htd} + cvv \right)}{P} \cdot D_i \quad (4.23)$$

Onde coa_i : custo operacional de transporte no arco a_i por tonelada (R\$/ton);
 cfv : custo fixo operacional do veículo de carga (R\$);
 D_i : comprimento do arco a_i (km);

V_m :	velocidade média do veículo de carga no arco a_i (km/h);
htd :	horas trabalhadas por dia (h);
cvv :	custo variável operacional do veículo de carga (R\$);
P :	capacidade de carga do veículo a ser usado no transporte de carga.

O custo operacional de transporte por tonelada no arco a_i (coa_i) é uma representação matemática dos custos associados ao deslocamento de cargas pelos arcos de uma rede de transporte, nos quais são incluídos os custos que variam diretamente com a distância (D_i). Outros custos que são função do nível de serviço (custos indiretos) podem ser associados ao coa_i , mas não é esse o caso estudado nesta tese.

4.5 – TÓPICOS CONCLUSIVOS

- O conceito de rede moderna, por meio de suas principais dimensões, torna possível identificar a relação que possui com o ambiente onde a mesma está inserida, possibilitando a identificação e análise dos efeitos socioeconômicos que extravasam essa relação, o que, proporciona uma nova representação da importância no desenvolvimento de rede.
- A importância em se desenvolver uma determinada rede de transportes vai além do simples fato de otimizar deslocamentos por vias físicas que constituem um dado sistema de transporte. Um dos aspectos relevantes que reflete a importância da rede diz respeito à capacidade de organização e desenvolvimento regional que essa proporciona.
- Para se compreender a nova visão de rede de transportes proposta neste estudo, e, em consequência, identificar as relações entre a estrutura de tal rede e o ambiente envolto, torna-se necessário identificar alguns fatores relevantes, que Dupuy (1998) chamou de dimensões da rede de transportes: cinética, topológica e adaptativa.
- A teoria dos grafos é utilizada em estudos morfométricos de rede e constitui um tipo de análise explicativa que permite conhecer, em função de dados parciais, quais aspectos a estrutura de uma determinada rede ou seu desenvolvimento possui.
- O custo de transporte em uma rede C_{tr} é definido como a soma dos custos diretos referentes aos arcos e aos nós que constituem esta mesma rede (Potts & Oliver, 1974). Com relação ao custo referente à rota, ele é definido como único em uma rota, tal como uma cadeia ou caminho de origem para um destino. O fluxo considerado neste estudo refere-se ao transporte de carga, onde o custo operacional de transporte de carga é usado na análise no deslocamento através dos arcos da rede.

CAPÍTULO 5 – REGIÃO AMAZÔNICA

5.1 – APRESENTAÇÃO

Historicamente a Região Amazônica desempenhou importante papel no desenvolvimento do Brasil, especialmente durante o período colonial. Foi quando os recursos naturais tais como os rios, foram usados intensamente pelos portugueses com o propósito de alcançar grandes distâncias e ocupar territorialmente a região, com o objetivo final de manter a soberania territorial.

A exploração da região, com o passar dos anos tornou-se mais ativa, sem considerar, no entanto, a sustentabilidade nas ações empregadas e a importância que a Amazônia deveria representar para o país, apesar dos vários planos, programas e projetos de crescimento e desenvolvimento econômico que foram elaborados durante décadas, mas que não foram capazes de obter os resultados desejados.

Tais resultados não foram alcançados, dentre outras causas, devido os planos e projetos terem sido desenvolvidos por técnicos e especialistas que desconheciam a realidade da região, agravando-se ainda mais ao ser ignorada a participação da população local durante o processo de elaboração.

Todo esse descaso com a Região Amazônica contribui para a sua estagnação socioeconômica, e o que pode ser ainda pior, em alguns casos, agrava as desigualdades socioeconômicas existentes entre as regiões norte e sul do Brasil. Neste caso, torna-se importante conhecer profundamente a Região Amazônica sob os mais variados aspectos, que dizem respeito principalmente às características geográficas específicas e que estão relacionadas aos processos históricos de desenvolvimento econômico.

O objetivo deste capítulo é apresentar, sob o enfoque geoeconômico, o principal objeto de estudo desta tese, a Região Amazônica, a fim de definir um cenário de desenvolvimento regional que possa ser alcançado com a elaboração de uma rede de transporte multimodal de carga para a região. Dessa forma, as principais características da Região Amazônica, tais como os recursos naturais, assim como as suas fases de desenvolvimento e os principais projetos, planos e programas de desenvolvimento econômico são introduzidos.

5.2 – REGIÃO AMAZÔNICA: DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS

Nos últimos anos várias pesquisas foram desenvolvidas sobre a Região Amazônica; porém existem várias lacunas de conhecimento ainda sobre tal região, ou seja, tanto os recursos naturais disponíveis quanto o real potencial de desenvolvimento existente na Região Amazônica ainda são pouco conhecidos. Nesse contexto, apresentar a definição de Região Amazônica e descrever suas características físicas torna-se apropriada.

5.2.1 – Definições

Em 1953, através da Lei 1.806, de 06.01.1953, (criação da SPVEA), foram incorporados à Amazônia Brasileira, o Estado do Maranhão (oeste do meridiano 44°), o Estado de Goiás (norte do paralelo 13° de latitude sul atualmente Estado de Tocantins) e Mato Grosso (norte do paralelo 16° latitude Sul). Com esse dispositivo legal, a Amazônia Brasileira passou a ser chamada de *Amazônia Legal*, fruto de um conceito político e não de um imperativo geográfico, o qual surgiu com a necessidade do governo de planejar e promover o desenvolvimento da região (ADA, 2007).

A área de abrangência da Amazônia Legal corresponde em sua totalidade aos Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e, parcialmente, o Estado do Maranhão (a oeste do meridiano de 44°) (ADA, 2007).

Além do termo *Amazônia Legal*, existem alguns outros termos estabelecidos por decretos-lei, conforme pode ser visto na Tabela 5.1. No entanto, torna-se importante ressaltar que os termos *Amazônia*, *Amazônia Legal* e *Região Amazônia* são similarmente usados. Porém, optou-se por utilizar, neste estudo, o termo *Região Amazônica*, o qual é de uso comum na bibliografia técnica. Sendo que, a Região Amazônica considerada nesta tese diz respeito a porção brasileira.

Um ponto que merece destaque diz respeito ao Estado do Maranhão, que apesar de seu total território não constituir legalmente a Região Amazônica, neste trabalho, considera-se o Estado inteiro como parte constituinte da região, isto porque, admite-se que qualquer decisão política que venha a ser tomada, envolverá seu território como um todo e não apenas parte deste.

Tabela 5.1 – Amazônia brasileira e termos relacionados.

Termo	Criação	Área de Abrangência
Amazônia Brasileira	Em 1953, através da Lei Nº. 1.806, de 06.01.1953 (criação da SPVEA).	Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima.
Amazônia Legal	Em 1966, pela Lei Nº. 5.173 de 27.10.1966 (extinção da SPVEA e criação da SUDAM).	Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do Maranhão (oeste do meridiano de 44°).
Amazônia Ocidental	Decreto-Lei Nº. 291 de 28.02.1967.	Amazonas, Acre, Rondônia e Roraima.
Amazônia Oriental		Pará, Maranhão, Amapá, Tocantins e Mato Grosso.
Amazônia Continental		Brasil, Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Venezuela, República da Guiana, Suriname e Guiana Francesa.

Fonte: ADA, 2007.

5.2.2 – Características Geográficas

Entre as peculiaridades que a região Amazônica apresenta destacam-se, a baixa densidade demográfica, o que ainda reflete a baixa ocupação territorial, e a grande quantidade de recursos naturais disponíveis, seja para a exploração de atividades econômicas, seja no uso da imensa malha hidrográfica caracterizada pelos extensos rios navegáveis apropriados aos deslocamentos (Théry, 1999).

5.2.2.1 – Território

A região Amazônica Brasileira descrita nesse trabalho cobre uma área 5.217.423 km², equivalente a aproximadamente 61% do território brasileiro e quase nove vezes o território francês. Tal região, conforme visto no subitem 5.2.1, compreende a totalidade da região Norte, a maior parte da região Centro-oeste e parte da região Nordeste no Estado do Maranhão (ADA, 2007). A Região Amazônica é constituída por 792 municípios que formam nove Estados (Figura 5.1).

5.2.2.2 – População e densidade demográfica

No ano de 1993, a população da Região Amazônica era de aproximadamente 8 milhões de habitantes, equivalente a 7% da população total do Brasil. Em 2000, ano que foi realizado o último censo populacional, registrou-se um contingente de 12,9 milhões de habitantes, enquanto a população brasileira atingiu um contingente de 169,8 milhões de habitantes, sendo a população da Região Amazônica equivalente a 7,6% da população brasileira (IBGE, 2000). Quanto à densidade demográfica, a Região Amazônica apresenta um índice de 2 hab/km² enquanto o Brasil possui 17,18 hab/km² (IBGE, 2000). Este dado demonstra que a ocupação territorial da região ainda é considerada baixa.



Figura 5.1 – Região Amazônica.

No que se refere à diferença populacional entre o campo e a cidade, observou-se que nos anos 90 houve uma forte tendência de concentração populacional nos centros urbanos, neste caso, a taxa da população regional ficou registrada entre 59% e 69.7% (IBGE, 2000). Os Estados que apresentam grandes concentrações urbanas dentro da região são: *Amapá* (89%), *Roraima* (76%), *Tocantins* (74%) e *Amazonas* (74%). Com relação ao Estado do *Amazonas*, este concentra sua população em sua capital *Manaus*, o mesmo ocorrendo com os Estados de *Roraima*, *Mato Grosso*, *Maranhão* e *Pará*, conforme pode ser visto na Figura 5.2.

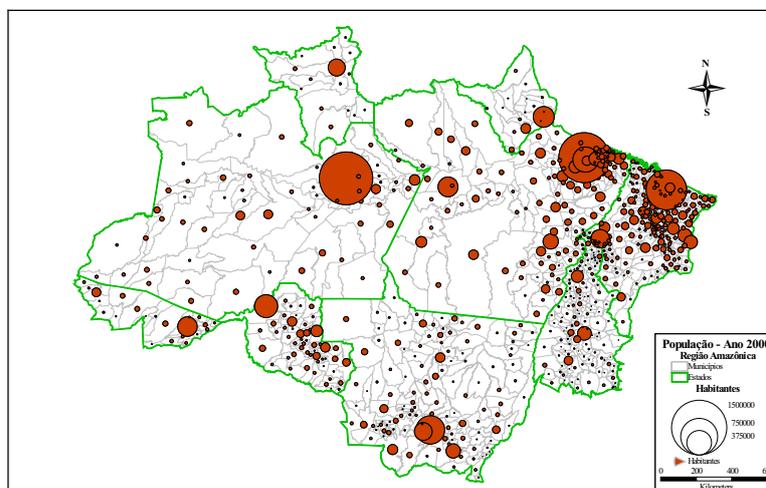


Figura 5.2 – Região Amazônica: população – ano 2000.

5.2.2.3 – Recursos naturais

Os recursos naturais são caracterizados pela presença da Floresta Amazônica localizada em todos os Estados que constituem a região. É possível encontrar uma grande variedade de recursos naturais, tais como inúmeras espécies de árvores, plantas, minerais, entre outros.

Neste contexto, os rios da região se destacam, principalmente, por possuir características físicas específicas como as grandes extensões, larguras, e profundidades, as quais são apropriadas ao desenvolvimento de algumas atividades econômicas, como pesca, ecoturismo, produção de energia, e principalmente o transporte regional de pessoas e produtos através de correntes fluviais.

As condições naturais da Região Amazônica, especialmente as grandes extensões dos rios navegáveis e as características morfológicas do solo inapropriadas ao desenvolvimento de transporte terrestre, contribuem para que o sistema de transporte hidroviário interior seja o ponto de referência básica ao desenvolvimento de uma rede de transporte na Região Amazônica (Sant'Anna, 1998).

5.2.2.3.1 – Hidrografia

Do ponto de vista hidrográfico, a Região Amazônica é constituída basicamente pela bacia do rio Amazonas a qual representa um quinto (1/5) de toda água doce do mundo (INPA, 2003). Os rios são apoiados pelos períodos de chuva e estes são considerados praticamente os únicos meios de transportes da grande maioria das comunidades locais. Existem mais de 20 mil km de vias fluviais ligando comunidades distantes na região. No contexto descrito previamente, o Rio Amazonas destaca-se principalmente por ser o segundo mais extenso rio do mundo (extensão total de aproximadamente 6.515km dos quais 3.600km estão no Brasil), e o primeiro em volume de água. Sua vazão média é da ordem de 109 mil m³/s no período de poucas chuvas (junho a novembro), e 190 mil m³/s no período chuvoso (dezembro a maio) (INPA, 2003).

Apesar de a Bacia Amazônica desempenhar papel importante no deslocamento de pessoas e produtos, outra bacia hidrográfica localizada na mesma região é de igual forma considerada importante. Em apropriadas condições de navegabilidade, os rios da Bacia do Tocantins poderiam propiciar excelentes meios de transportes, conectando a Região

Amazônica com o centro do Brasil, constituindo uma extensa e útil rede de transporte hidroviário. Ambas, a bacia Amazônica e do Tocantins são constituídas por muitos rios, sendo que os seguintes são considerados os principais:

- **Bacia Amazônica:** Amazonas, Solimões, Javari, Juruá, Tarauacá, Embira, Parú, Jarí, Guamá, Capim, Purús, Acre, Madeira, Mamoré, Guaporé, Tapajós, Xingu, Içá, Japurá, Nhamundá, Negro, Branco, Trombetas e Uatumã;
- **Bacia do Tocantins:** Tocantins, Araguaia e Mortes.

Ainda com relação ao ecossistema, observa-se que diversos problemas ambientais afetam a Região Amazônica, entre as quais o desmatamento da floresta e a ocupação territorial desordenada são considerados por muitos estudiosos como os mais importantes, mas que de certa forma, estes e os demais problemas existentes estão totalmente ligados. Neste estudo o desmatamento e a ocupação desordenada da região não serão tratados em detalhes, por compreender que tais aspectos merecem análises aprofundadas.

5.3 – FASES DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO REGIONAL: UM BREVE PANORAMA HISTÓRICO

Uma das características importantes que merece ser apresentada e analisada de forma sucinta, diz respeito as fases de desenvolvimento econômico regional da Região Amazônica. Embora esteja além da intenção desta tese repetir a história do desenvolvimento econômico da Região Amazônica, torna-se necessário reconstituí-la. Isso permite compreender todo o processo de desenvolvimento econômico transcorrido pela região até chegar a situação atual em que se encontra a mesma, possibilitando, dessa forma, fazer inferências necessárias a elaboração de um cenário positivo de desenvolvimento econômico regional.

Logo, esse subitem tem como objetivo descrever brevemente as fases cronológicas de desenvolvimento econômico regional pelo qual a Região Amazônica passou. Vale ressaltar que tais fases foram caracterizadas por fatores específicos de relevância econômica.

5.3.1 – O Ponto Inicial (1621 – 1750)

A Região Amazônica entrou na economia brasileira principalmente pela exploração de seus recursos naturais, a qual teve seu início por volta de 1621. O início de

desenvolvimento surgiu pela criação em 1621, do *Estado do Maranhão e Grão-Pará*, cuja capital foi estabelecida na cidade de São Luiz, hoje sede do governo Maranhense. Durante esse período o Estado do Maranhão e Grão-Pará constituíam-se pelo atual Estado do Maranhão e por parte do território paraense (Gomes & Vergolino, 1995).

5.3.2 – A Exploração Econômica da Região (1750 – 1810)

A exploração econômica da Região Amazônica teve seu início real por volta de 1750, por meio do estabelecimento de uma companhia comercial sustentada pelo Império Português. Os recursos financeiros tiveram fontes de emissão de estoque, os quais foram adquiridos pelos ricos comerciantes portugueses, tais como os grandes fazendeiros. Através de tal companhia, o governo português obteve um grande ganho advindo da Região Amazônica, isso foi possível pelo estabelecimento e manutenção de um permanente fluxo de mercadorias entre a Amazônia e Portugal.

Durante essa fase, a ocupação territorial da região foi problemática, isso devido as dificuldades de penetração interior e sobrevivência na floresta. Inicialmente pequenas vilas e cidades surgiram próximas ao litoral, tal como Belém, e posteriormente outras cidades surgiram no interior, tais como Santarém e Manaus (Siqueira & Filho, 2001). Basicamente, o processo de ocupação interior seguiu os cursos dos rios, a população se fixou em áreas acessíveis pelas vias fluviais, especialmente em algumas áreas próximas aos grandes rios tais como o Amazonas, Negro, Madeira, Solimões, Tocantins, entre outros.

5.3.3 – A Pobreza da População Amazônica (1810 – 1850)

As informações e dados estatísticos sobre os indicadores econômicos neste período são escassos, o pouco que se sabe é que a economia paraense foi caracterizada pela pobreza de sua população. Neste período, houve uma grande diferença econômica entre os Estados paraense e maranhense, enquanto o Maranhão obteve um grande dinamismo econômico devido a exploração de algodão, o Pará esteve estagnado (Gomes & Vergolino, 1995).

5.3.4 – O Primeiro Grande Ciclo de Crescimento Econômico (1850 – 1910): Dinamismo e Crise

Apenas na segunda metade do século passado a economia da Amazônia começou a mostrar os primeiros sinais de dinamismo, devido a dois importantes eventos. O primeiro foi o especialização de seringueiras, e o advento da vulcanização da borracha iniciado por

Haywarden em 1831, e finalizado por Goodyear em 1844. O segundo grande evento foi a criação da Companhia de Navegação do Norte sob responsabilidade de Irineu Evangelista de Souza, também conhecido por Barão de Mauá. Na realidade, esta foi a primeira companhia de navegação do Brasil.

A combinação destes dois fatores estimulou a economia da Amazônia por um longo período de tempo, precisamente até o final da Primeira Guerra Mundial, quando a produção de látex na região decresceu seguida por estagnação, isso devido a competição comercial entre o látex produzido na Amazônia e o látex produzido no sudeste Asiático, este último com custos inferiores.

5.3.5 – O Processo Migratório (1910 – 1960)

A procura pelo látex durante o “Ciclo da Borracha” se deu principalmente pelo processo migratório que ocorreu na direção da Região Amazônica, especialmente de origem nordestina, e teve como uma das conseqüências os conflitos sociais entre a população local e os imigrantes. Tais fatores contribuíram para que o Estado brasileiro anexasse parte dos territórios bolivianos e peruanos junto ao território nacional, tendo como resultado a criação do então território do Acre, hoje Estado do Acre (Siqueira & filho, 2001).

Na segunda metade do século XX um novo estágio de ocupação da região foi identificado, estimulada principalmente por políticas governamentais de integração nacional. A implantação de alguns projetos de infra-estrutura tais como a construção da Rodovia Belém-Brasília iniciou uma nova fase populacional na região e estimulou um novo ciclo de expansão regional.

5.3.6 – O Segundo Grande Ciclo de Crescimento Econômico (1960 – 1994)

A implantação da Zona Franca de Manaus iniciada no final dos anos 60 promoveu a industrialização e o processo de crescimento econômico, e contribuiu para o segundo grande ciclo de expansão da Região Amazônica (Siqueira & Filho, 2001). No mesmo período, deu-se prosseguimento a implantação de grandes projetos de infra-estrutura iniciada na etapa anterior, neste caso, a Rodovia Transamazônica se destacou, principalmente por estimular uma cadeia migratória para a região. Entre 1960 e 1995 o PIB da região aumentou em uma proporção de doze vezes, enquanto o PIB nacional aumentou seis vezes, isso comparado à fase de crescimento anterior (Gomes & Vergolino, 1995).

5.3.7 – Desigualdade da Economia Regional e Preocupação Ambiental (1994 – 1997)

Entre os anos de 1994 e 1997 a região foi caracterizada pela ausência de estabilidade econômica, ou seja, entre 1994 e 1997 a economia regional viveu fase de crescimento e decréscimo. Neste período, enquanto a taxa média de crescimento anual da região atingiu índice negativo (-1,17%), o país alcançou a taxa de 3,00%. Em 1997, a região registrou o PIB de R\$ 38,2 bilhões, equivalente a somente 4,42% do PIB brasileiro (Siqueira & Filho, 2001).

Os impactos negativos causados nas populações e no meio ambiente, juntamente com os vários eventos ocorridos na Região Amazônica geraram fortes críticas no Brasil e no exterior e, conseqüentemente, ajudaram a tornar a região foco de inúmeras discussões em fóruns internacionais. Entre os principais questionamentos acerca dos pressupostos das políticas de desenvolvimento para a Região Amazônica, destacam-se os efeitos ambientais negativos causados por tais políticas.

Em função de tais impactos, algumas iniciativas foram tomadas, principalmente na segunda metade da década de 1980, com o propósito específico de tentar corrigir erros passados causados pelas políticas de desenvolvimento. Embora estas iniciativas tenham sido auspiciosas, a mudança efetiva de comportamento em relação ao meio ambiente somente foi notada nos anos 1990 (Serra & Fernández, 2004).

5.3.8 – Crescimento e Desenvolvimento Econômico *Versus* Preservação Ambiental (1997 – 2008)

No final da década de 1990, o foco ambiental da Amazônia ganhou maiores proporções, principalmente depois que foram constatados os efeitos ambientais que poderiam ocorrer no planeta, em decorrência do uso insustentável dos recursos naturais da região.

Com a estabilização econômica do Brasil e a necessidade de se alcançar índices maiores de crescimento econômico, surge o embate entre crescimento/desenvolvimento econômico e a preservação ambiental, a qual nortearia a elaboração e implantação de projetos de desenvolvimento para o país, e especialmente para Amazônia.

Neste contexto, surgiram discordâncias técnicas entre órgãos federais responsáveis, de um lado pela elaboração de projetos de infra-estrutura, e de outra pela concessão de licença ambiental para a execução de tais projetos. Isso pode ser observado no caso da construção de usinas hidrelétricas do Rio Madeira (Santo Antonio e Jirau).

5.4 – AGÊNCIAS GOVERNAMENTAIS, PLANOS E PROJETOS DE CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO

Durante anos, vários planos e projetos voltados ao crescimento e desenvolvimento econômico da Amazônia foram elaborados e implantados, entre os quais, destacam-se o Programa de Integração Nacional (PIN), o Programa de Redistribuição de Terras (PROTERRA), Plano de Desenvolvimento da Amazônia (PDA), POLAMAZÔNIA, o Tratado de Cooperação Amazônica (TCA), o Projeto Grande Carajás (PGC), o Projeto Calha Norte.

Algumas agências governamentais foram criadas com o objetivo de fomentar e auxiliar na definição de diretrizes necessárias à elaboração e implantação dos grandes planos/projetos para a Região Amazônica. Dentre tais agências, destacam-se a Superintendência do Plano de Valorização Econômico da Amazônia (SPVEA), a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), e a Agência de Desenvolvimento da Amazônia (ADA). As Tabelas 5.2 e 5.3 apresentam os principais planos/projetos de desenvolvimento econômico para a Amazônia e a agências responsáveis pela fomentação de projeto na região, respectivamente.

De maneira geral, cada plano ou projeto elaborado para a Região Amazônica foi concebido em função dos objetivos e finalidades definidos previamente, que em muitos casos não foram alcançados na prática, conforme pode ser visto na Tabela 5.2.

Dentre as principais causas do insucesso dos planos e projetos concebidos, destaca-se a não participação da população local no processo de elaboração, sendo na maioria dos casos, os planos e projetos desenvolvidos por técnicos e especialistas que desconheciam a realidade da região, tendo como uma das conseqüências, a incompatibilidade dos modelos de planejamento de transportes e planejamento territorial propostos para a Região Amazônica.

Vendo pela ótica acima descrita, observa-se que em determinados momentos não se pensou no transporte como indutor do crescimento e desenvolvimento econômico, ou o crescimento econômico como gerador de demanda por transportes. Neste último caso, o crescimento econômico desempenhando o papel de financiador de infra-estrutura de transportes auto-sustentável. Em função da incompatibilidade dos modelos propostos, inúmeras falhas ocorreram, como pode ser visto especificamente, na coluna “críticas” da Tabela 5.2 a seguir, para cada plano/projeto proposto.

Torna-se importante destacar que este capítulo tem como objetivo fazer uma descrição da Região Amazônica, incluindo suas características físicas, as agências governamentais, e planos/projetos de crescimento e desenvolvimento econômico, considerados importantes para a compreensão do processo histórico de desenvolvimento da região. Neste sentido, vale ressaltar que este capítulo não esgota o assunto, considerando-o complexo, principalmente, por se tratar de uma região caracterizada pela suas peculiaridades.

Tabela 5.2 – Principais planos/projetos de desenvolvimento econômico para a Região Amazônica (continua).

Planos/Projetos	Criação	Objetivos	Ações Específicas	Críticas
Programa de Integração Nacional (PIN)	Decreto-Lei nº 1.106 de 16/06/1970.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Promover a integração física, econômica e cultural da Amazônia com o restante do país; ▪ Promover a ocupação humana; ▪ Promover o desenvolvimento econômico. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A curto prazo, proporcionar imediatas oportunidades de emprego aos trabalhadores desempregados; ▪ A médio e longo prazos, orientar assentamentos planejados e espontâneos ao longo da Transamazônica, com o objetivo de aliviar as pressões populares e tensões sociais; ▪ Considerações de segurança e soberania nacional. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limitação da ação da SUDENE, retardando o processo de industrialização regional; ▪ Construção de rodovia iniciada sem qualquer análise detalhada de custo-benefício ou estudo de viabilidade econômica; ▪ Dúvida na ligação física entre o nordeste e a Amazônia, quando haviam áreas mais adequadas a colonização agrícola.
Programa de Redistribuição de Terras (PROTERRA)	Decreto-Lei nº 1.178 de 01/06/1971.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Promover a ocupação humana; ▪ Facilitar a aquisição de terra; ▪ Melhorar as condições do trabalhador rural; ▪ Promover a agroindústria na Amazônia e no Nordeste. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reorientar estratégias anteriores de desenvolvimento regional, baseada na industrialização via substituição de importação; ▪ Corrigir problemas de programas anteriores no sentido de atacar as principais fontes de pobreza rural da Amazônia: a desigual distribuição da propriedade da terra e sua ineficiente utilização. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uma vez que o programa seria administrado pelo Ministério da Agricultura – por meio do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) – o papel da SUDENE e SUDAM na execução da política regional foi reduzido.
Plano de Desenvolvimento da Amazônia (PDAm)	Criado em 1972 juntamente com o I Plano Nacional de Desenvolvimento (I PND).	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Promover a integração física, econômica e cultural da Amazônia com o restante do país; ▪ Promover a ocupação humana; ▪ Promover o desenvolvimento econômico. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Promover a colonização da rodovia Transamazônica e Santarém-Cuiabá por imigrantes nordestinos: assentar 60.000 famílias ao longo da Transamazônica e Santarém-Cuiabá e 10.000 famílias em outras áreas; ▪ Vincular o desenvolvimento do nordeste a ocupação da Amazônia; ▪ Priorizar a agricultura e pecuária; ▪ Levantamento dos recursos naturais executado pelo Projeto Radam, o qual ficou incumbido de elaborar o primeiro inventário sistemático de minerais, solos e vegetação. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Falta de coordenação estratégica nas ações de assentamento de famílias na região amazônica, principalmente no que se refere a ausência de suporte financeiro e técnico as famílias assentadas para que pudessem desenvolver sua atividades agropecuárias.

Fonte: Ministério do Interior do Brasil (1975); Ministério do Interior do Brasil (1976).

Tabela 5.2 – Principais planos/projetos de desenvolvimento econômico para a Região Amazônica.

Planos/Projetos	Criação	Objetivos	Ações Específicas	Críticas
Programa de Pólo Agropecuários e Agrominerais da Amazônia (POLAMAZÔNIA)	Decreto-Lei nº 74.067 de 29/09/1974.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Promover a ocupação humana; ▪ Promover e integrar o desenvolvimento econômico. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estabelecer quinze pólos de desenvolvimento em áreas selecionadas, nos quais os investimentos seriam canalizados para a infra-estrutura: conceder incentivos fiscais a fim de estimular as atividades voltadas à exportação em benefício das empresas privadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso equivocado do conceito de pólos de desenvolvimento, onde se privilegiou os investimentos por meio de incentivos (fiscais, subsídios) sem um modelo de planejamento regional que os integrasse com o planejamento de transportes.
Tratado de Cooperação Amazônica (TCA)	Assinado em 3 de julho de 1978.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cumprir importante papel político na aproximação entre os países-partes, identificados por uma problemática comum relacionada com o desenvolvimento e a conservação ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Competência exclusiva dos países da região no desenvolvimento e proteção da Amazônia; ▪ Soberania nacional na utilização e conservação de recursos naturais; ▪ Cooperação regional como meio de facilitar a realização dos dois objetivos anteriores; ▪ Equilíbrio e a harmonia entre a proteção ecológica e o desenvolvimento econômico; Absoluta igualdade entre as partes. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apesar de o tratado contemplar em seu documento final, várias ações conjuntas dos países membros, não se avançou muito na implantação de tais ações, devido a escassa troca de informações entre tais países; ▪ O rápido crescimento do Brasil fez ressurgir entre os vizinhos amazônicos o fantasma do expansionismo brasileiro.
Projeto Grande Carajás (PGC)	Criado em 1979.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aproveitar ao máximo os recursos econômicos da região; Promover o desenvolvimento econômico. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produzir minérios em escala industrial para o abastecimento do mercado internacional. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausência de diretrizes que coordenassem de forma estratégica e sustentável as ações de exploração mineral e preservação ambiental.
Projeto Calha Norte (PCN)	Decreto-Lei nº 018/85 de 19/06/1985.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Promover o desenvolvimento econômico de toda a área; ▪ Promover a integração da área ao restante do País; ▪ Garantir a soberania nacional. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Incremento de relações bilaterais com os países que fazem fronteira a região das calhas; ▪ Aumento da presença militar na área; ▪ Intensificação das campanhas de recuperação dos marcos limitrofes; ▪ Definição de uma política indígena adequada para a região; ▪ Ampliação da infra-estrutura viária; ▪ Aceleração da produção de energia elétrica; ▪ Interiorização dos pólos de desenvolvimento econômico. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ As maiores críticas ao PCN se fundamentam em suas consequências sobre as populações indígenas das áreas de sua influência. O cerne da questão é o paradoxo entre a existência de grandes riquezas e a impossibilidade legal de explorá-las, visto que as áreas indígenas que estavam sujeitas a sofrerem ampliação, proposta pelo PCN, coincidiam com regiões onde se teriam descoberto ricas jazidas minerais.

Fonte: Ministério do Interior do Brasil (1975); Ministério do Interior do Brasil (1976).

Tabela 5.3 – Principais agências responsáveis por fomentação de planos/projetos na Região Amazônica (continua).

Agências	Criação	Objetivos Estratégicos	Focos de Atuação	Observações
Superintendência do Plano de Valorização Econômico da Amazônia (SPVEA)	Decreto-Lei nº 1.806 de 06/01/53	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Promover o desenvolvimento auto-sustentado da economia e o bem-estar social da região amazônica, de forma harmônica e integrada na economia nacional. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Realização de programas de pesquisas e levantamento do potencial econômico da Região, como base para a ação planejada à longo prazo; ▪ Definição dos espaços econômicos suscetíveis de desenvolvimento planejado, com a fixação de pólos de crescimento capazes de induzir o desenvolvimento de áreas vizinhas; ▪ Formação de grupos populacionais estáveis, tendente a um processo de auto-sustentação; ▪ Adoção de política migratória para a Região, com aproveitamento de excedentes populacionais internos e contingentes selecionados externos; ▪ Incentivo e amparo à agricultura, à pecuária e à piscicultura como base de sustentação das populações regionais; ▪ Adoção de intensiva política de estímulos fiscais, creditícios, e outros. 	
Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM)	Decreto-Lei nº 5.173 de 27/10/66	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Planejar, coordenar, promover a execução e controlar a ação federal na Região Amazônica, tendo em vista o desenvolvimento regional; ▪ Formular, catalisar, mobilizar, induzir, viabilizar iniciativas e recursos voltados para o desenvolvimento da Amazônia. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plano estratégico traçado pelos militares para promover o desenvolvimento e a ocupação da Região Amazônica, diminuindo as desigualdades sociais e regionais e integrando a região ao restante do país. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Criada durante a ditadura militar em substituição à SPVEA. No dia 2 de maio de 2001, foi assinada uma medida provisória que extinguiu a Sudam - sigla que, ao longo dos anos, tornou-se sinônimo de corrupção, improbidades administrativas e alvo de cobiça de políticos, que se beneficiaram do dinheiro público destinado à implantação de projetos de desenvolvimento social e econômico da Região Amazônica; ▪ Em agosto de 2003 é anunciada a recriação da SUDAM.

Fonte: ADA (2008).

Tabela 5.3 – Principais agências responsáveis pela fomentação de planos/projetos na Região Amazônica.

Agências	Criação	Objetivos Estratégicos	Focos de Atuação	Observações
Agência de Desenvolvimento da Amazônica (ADA)	Medida Provisória nº 2.157-5, de 24/08/01.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gerar, catalisar e difundir o conhecimento global sobre a Amazônica; ▪ Propor políticas e ações de interesse para o desenvolvimento regional; ▪ Buscar fontes alternativas de financiamento, inclusive no nível internacional; ▪ Atuar como fonte de informação sobre oportunidades de investimentos na Amazônica; ▪ Desenvolver marketing institucional e da Amazônica, como marca global. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Planejamento e coordenação estratégica; ▪ Informação e conhecimento; ▪ Competitividade econômica e integração regional; ▪ Inclusão social. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Criada para substituir a SUDAM em decorrência das inúmeras denúncias de corrupção que envolviam o órgão. Esta decisão foi tomada após várias críticas quanto à eficiência desta autarquia, passando a ser a responsável pelo gerenciamento dos programas relativos à Região Amazônica; ▪ A ADA foi criada sem a dimensão da antiga Superintendência (SUDAM), com menos autonomia e maior fiscalização dos projetos.

Fonte: ADA (2008).

5.5 – TÓPICOS CONCLUSIVOS

- A Amazônia é considerada uma das principais regiões naturais que ainda possuem imensos recursos disponíveis. Suas características principais são: a baixa densidade demográfica; a presença de extensos rios navegáveis; e a densa floresta tropical.
- A Região Amazônica, ao longo de sua história, apresentou momentos de elevado e baixo crescimento econômico, mas sempre sofreu pelos baixos índices de desenvolvimento.
- Vários planos/projetos de crescimento e desenvolvimento econômico foram concebidos e implantados na Região Amazônica, mas falharam em atingir seus objetivos. Dentre os planos/projetos, destacam-se: o Programa de Integração Nacional (PIN), o Programa de Redistribuição de Terras (PROTERRA), Plano de Desenvolvimento da Amazônia (PDA), POLAMAZÔNIA, o Tratado de Cooperação Amazônica (TCA), o Projeto Grande Carajás (PGC), o Projeto Calha Norte, e mais recentemente alguns programas nacionais.
- Agências governamentais foram criadas com objetivos principais de planejamento e coordenação estratégica de ações voltadas ao desenvolvimento econômico regional.
- Dentre as principais causas de insucesso dos planos e projetos concebidos para a Região Amazônica, destaca-se a não participação da população local no processo de elaboração, sendo na maioria dos casos, os planos e projetos desenvolvidos por técnicos e especialistas que desconheciam a realidade da região, tendo como uma das conseqüências, a incompatibilidade dos modelos de planejamento de transportes e planejamento territorial propostos para a Região Amazônica.

CAPÍTULO 6 – METODOLOGIA PARA A ELABORAÇÃO DE REDE DE TRANSPORTE MULTIMODAL DE CARGA

6.1 – APRESENTAÇÃO

O estudo das relações entre as redes de transportes e atividade econômica pode ser abordado segundo duas perspectivas. A primeira destaca qual é a rede de intercâmbios comerciais por meio da qual se estabelecem as relações entre centros produtores e consumidores. A segunda analisa a estrutura espacial de tal rede e a função que desempenha nos sistemas de transportes. É evidente que esta análise pode ser feita do ponto de vista regional, analisando o papel da rede de transporte no desenvolvimento econômico de determinadas áreas geográficas e, do ponto de vista internacional, aplicando o enfoque à análise simultânea de todos os territórios (Pons & Bey, 1991).

Ambos os níveis de análise são complementares e todos os sistemas de transportes conformam redes que estruturam espaços regionais, nacionais e internacionais. Dentro da estrutura regional, o desenvolvimento econômico dependerá basicamente da localização de alguns fatores, tais como trabalho, recursos naturais e atividades econômicas; assim como uma adequada infra-estrutura de transportes, a qual pode conduzir a vantagens competitivas na região (Alonso, 1973). Observa-se, no entanto, a necessidade de se confrontar as características geográficas da região a ser desenvolvida e a infra-estrutura de transporte já existente, a fim de auxiliar na estruturação de uma rede de transportes que atenda as necessidades de desenvolvimento da região.

A análise geoeconômica da região, dentro do contexto de planejamento territorial, de um lado, e a infra-estrutura de transportes do ponto de vista de planejamento dos transportes, de outro, são os elementos que fundamentam a estruturação de uma rede de transportes que estimule o desenvolvimento econômico regional. A Teoria dos Pólos de Crescimento e Pólos de Desenvolvimento, discutida no capítulo 2, unida a Teoria dos Grafos, apresentada no capítulo 3, são as bases teóricas que sustentam a proposta metodológica para o desenvolvimento da rede de transporte.

Neste capítulo, uma proposta metodológica para construção de rede de transporte multimodal de carga é proposta, usando a ferramenta de análise espacial, na qual

possibilita integrar os conceitos da Teoria dos Pólos de Crescimento e Pólos de Desenvolvimento com as técnicas de elaboração de rede de transportes baseado na teoria dos grafos. A proposta metodológica é descrita a seguir.

6.2 – DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

A metodologia para a elaboração de uma rede de transporte multimodal de carga é constituída por oito etapas (Figura 6.1). Na metodologia proposta, os nós da rede são definidos pela Teoria dos Pólos de Crescimento e Pólos de Desenvolvimento de Perroux, e pela Teoria dos Grafos, os quais são as bases teóricas que subsidiam a elaboração física da rede de transporte multimodal. Para tal, as seguintes etapas são apresentadas: definição da área de estudo; diagnóstico da área de estudo; criação do banco de dados geográfico; análise da infra-estrutura de transportes; identificação de pólos de crescimento; determinação da rede de transporte básica; determinação das redes de transporte multimodal de carga; e avaliação das redes de transporte multimodal de carga.

Etapa 1: Definição da Área de Estudo

A definição da área de estudo é importante, pois delimita o espaço geográfico onde são realizadas as análises, e delinea o processo de definição e coleta de dados a serem usados em tais análises. Neste trabalho, a área de estudo é definida como sendo uma região. Assim, uma região pode ser uma área geográfica que forme uma unidade em virtude de determinadas características semelhantes.

As áreas de estudo delimitadas geograficamente, geralmente são envoltas por outras regiões, que possuem relações e interações umas com as outras, devido suas fronteiras serem permeáveis. Como essas relações são muito intensas, conseqüentemente não são perfeitamente conhecidas, o que torna complexas as análises realizadas na área de estudo.

Apesar de admitir a existência das relações entre a área de estudo e seu entorno, neste trabalho, a fim de facilitar a identificação, avaliação da distribuição, e concentração de fenômenos, como a geração e atração de viagens e a fluidez viária, considera a área de estudo um sistema fechado, onde as relações entre os fenômenos são conhecidas e manipuláveis.

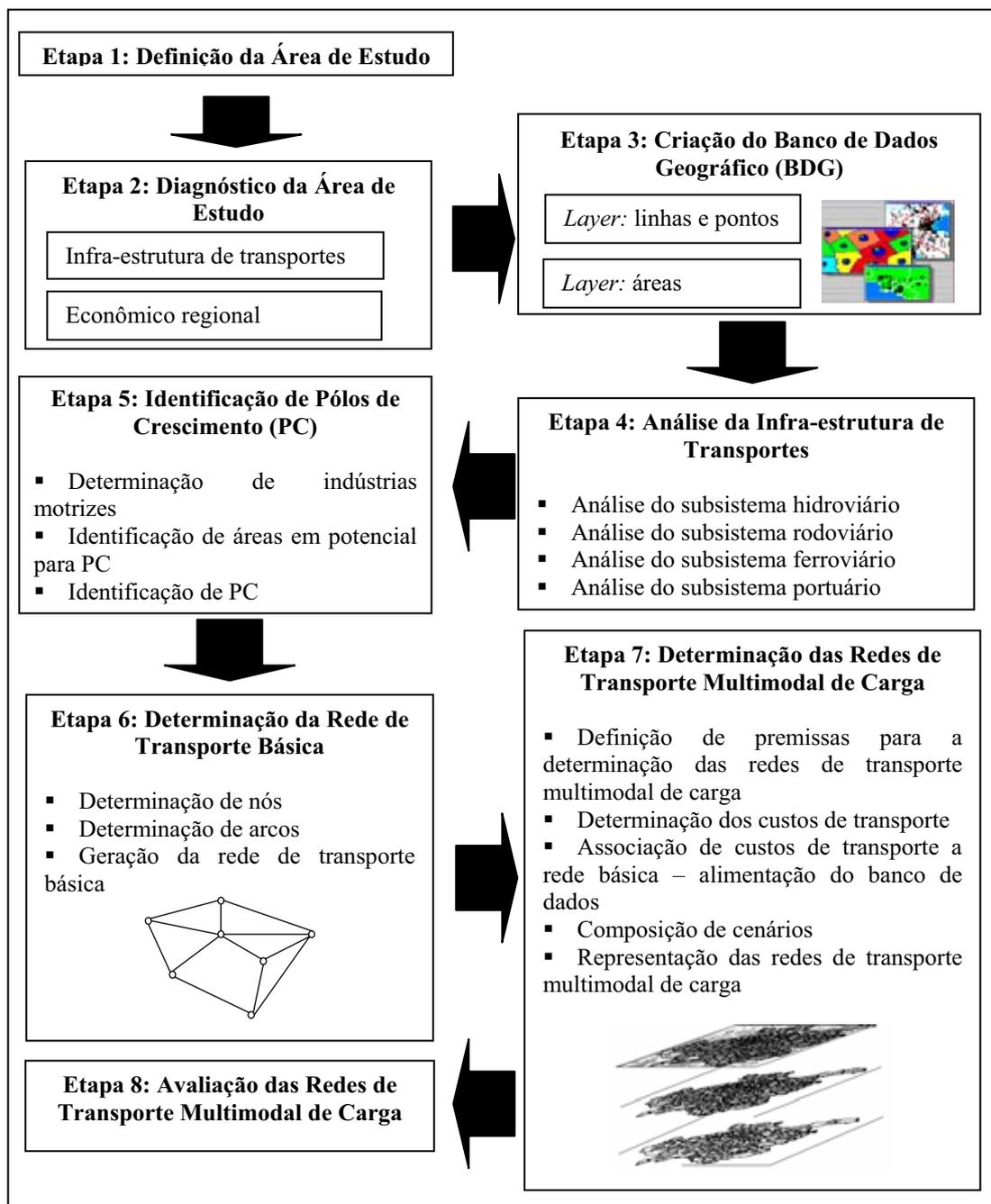


Figura 6.1 – Estrutura metodológica para a elaboração da rede de transporte multimodal de carga.

Etapa 2: Diagnóstico da Área de Estudo

É definido como a análise das características e/ou do comportamento de um ou mais eventos ou elementos de mercado (produtos, insumos) com base no levantamento de informações a respeito dos eventos ou elementos. Qualquer que seja a área de conhecimento, o diagnóstico é caracterizado pelas seguintes atividades:

- Definição e conhecimento (*efetivo* ou *em confirmação*) sobre um determinado evento ou elemento, ao momento do seu exame;
- Levantamento de dados e/ou informações a respeito de um determinado evento ou elemento;
- Descrição dos aspectos de um evento ou elemento a serem avaliados pelo examinador ou pesquisador;
- Avaliação sobre a característica, a composição, o comportamento, a natureza etc. do evento ou elemento, com base nos dados e/ou informações destes obtidos.

Com base nas definições acima apresentadas, nesta etapa metodológica é realizado um diagnóstico da área de estudo. Assim, quatro atividades são feitas na seguinte ordem: definição dos elementos; levantamento de dados e/ou informações a respeito dos elementos; descrição dos elementos; e finalmente a avaliação sobre a característica, a composição, o comportamento, e a natureza dos elementos diagnosticados (Figura 6.2).

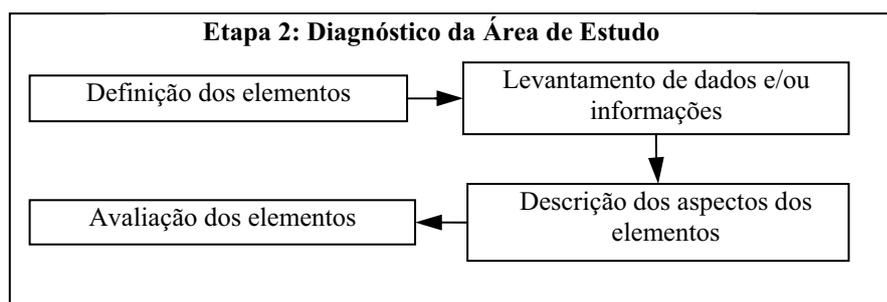


Figura 6.2 – Atividades constituintes da etapa de diagnóstico.

Com a definição e conhecimento dos elementos é possível indicar os principais aspectos a serem levantados, descritos e avaliados quanto às condições atuais dos elementos inseridos na área de estudo. Feito isso, são levantados dados e/ou informações dos elementos a serem diagnosticados, pois permitem descrever os aspectos mais relevantes a serem avaliados. Finalmente, com a descrição dos aspectos inerentes aos elementos, estes são avaliados, permitindo identificar os seus principais problemas e que afetam a área de estudo. Essa etapa da metodologia é importante, pois o sucesso das etapas subsequentes será atingido em função do diagnóstico a ser executado. Os elementos a serem diagnosticados e os dados e/ou informações a serem coletados, e que são necessários a elaboração da rede podem ser encontradas nas subetapas 2.1 e 2.2.

Subetapa 2.1: Diagnóstico regional da infra-estrutura de transportes

A infra-estrutura de transporte atual é diagnosticada com base no estudo desenvolvido por Almeida *et al.* (2004a), considerando os principais subsistemas de transportes existentes. Para tais subsistemas, importantes dados relacionados aos aspectos físicos das vias são coletados, a fim de analisar suas condições atuais quanto ao transporte de carga. Alguns pontos merecem destaque no desenvolvimento desta tarefa:

- para o transporte hidroviário, com o intuito de analisar a navegabilidade dos rios a serem usados na elaboração da rede, os rios localizados na região de estudo e suas principais características físicas tais como: nome, comprimento, alinhamento, largura média, e profundidade no período referente a 90% do ano, são coletados.
- para o transporte rodoviário são coletadas informações das rodovias federais e estaduais e suas características relacionadas a: código; aspecto técnico (projetada, planejada, e em operação); aspecto físico (pavimentada, em pavimentação, leito natural); condição atual da via; velocidade média; e finalmente, extensão.
- para o transporte ferroviário são coletadas informações relacionadas as: ferrovias existentes e em operação; suas ligações; empresas concessionárias; tipos de vias; bitolas, raios de curvatura; veículos usados no transporte de carga (capacidade); sistema de tração de veículos; velocidade média; principais produtos transportados .
- para o subsistema portuário são coletadas informações quanto a: nome; tipo (marítimo, terminal hidroviário); área construída; profundidade e comprimento do cais; embarcação tipo; área instalada; e a movimentação de cargas, especificação e quantificação.

Subetapa 2.2: Diagnóstico da economia regional

Esta subetapa consiste do diagnóstico da área de estudo quanto a sua economia, a fim de compreender a dinâmica dessa economia e possuir elementos que possibilitem fazer previsões de curto e longo prazo, os quais podem intervir e induzir o desenvolvimento. As informações coletadas nesta subetapa são usadas para a criação de um banco de dados geográfico e georreferenciado. Informações são coletadas sobre:

- principais atividades econômicas desenvolvidas na área de estudo. Tais atividades têm como objetivo identificar as indústrias motrizes que determinam os PC, segundo a Teoria dos Pólos de Crescimento e Desenvolvimento;

- principais produtos produzidos na área de estudo. Uma vez identificadas às atividades econômicas desenvolvidas, são determinados os produtos de maiores valores econômicos da região referentes a essas atividades. Para as atividades minerais, são determinados os seus respectivos produtos produzidos, assim como as atividades florestais e agrícolas;
- quantidade em toneladas e valores de produção em R\$ dos principais produtos da área de estudo. Por meio de tais dados é feita a classificação dos produtos de maiores valores de produção e que são usados para determinar os PC, conforme será visto na subetapa 4.1;
- os locais de produção dentro da área de estudo. Este dado é importante, pois possibilita a distribuição espacial da variável valor de produção, que é usada juntamente com as ferramentas da análise espacial para identificar os PC.

Etapa 3: Criação do Banco de Dados Geográfico (BDG)

Nesta etapa, são descritos os procedimentos para a criação do banco de dados geográficos. Tem como objetivo determinar um sistema que possa reunir todos os dados e/ou informações necessários para a elaboração da rede de transportes. Os dados e/ou informações usadas na criação do BDG são georreferenciadas, isto é, assumem suas posições geográficas reais, por isso, é possível representar espacialmente as características geográficas da região em estudo, e servir como base a futuras análises espaciais. São adotados alguns procedimentos para a criação do BDG, os quais são descritos como:

- estudo da disponibilidade e análise das informações geográficas a serem inseridas na modelagem de dados. Entre tais informações, destacam-se as oriundas da etapa de caracterização da infra-estrutura de transportes e da economia regional, assim como da base digitalizada da região em estudo;
- estruturação do BDG, a fim de organizar todas as informações disponíveis, para que futuras análises possam ser executadas. Tal estruturação refere-se à modelagem do banco de dados provenientes da caracterização, por meio da indexação de tabelas, criação de mapas temáticos, organização dos dados em índices e categorias de acordo com os tipos de informações, e a associação dos mapas temáticos às categorias de forma a sistematizar e facilitar a recuperação dos dados digitais. A Figura 6.3 apresenta um exemplo de como as informações estão disponíveis no BDG;
- georreferenciamento da base digitalizada, pois a análise da distribuição das atividades no ambiente regional só será possível caso todas as informações do sistema estejam localizadas espacialmente por meio de um sistema de coordenadas geográficas.

Os mapas temáticos a serem criados são constituídos por:

- *linhas e pontos* representando os subsistemas de transporte com suas respectivas características físicas (atributos), previamente coletadas e analisadas na subetapa de diagnóstico da infra-estrutura de transportes;
- *áreas* (polígonos) representando os municípios produtores onde as atividades econômicas são desenvolvidas, tanto quanto as informações (atributos) relacionadas aos valores de produção e à quantidade produzida, também coletados na subetapa de diagnóstico da economia regional.

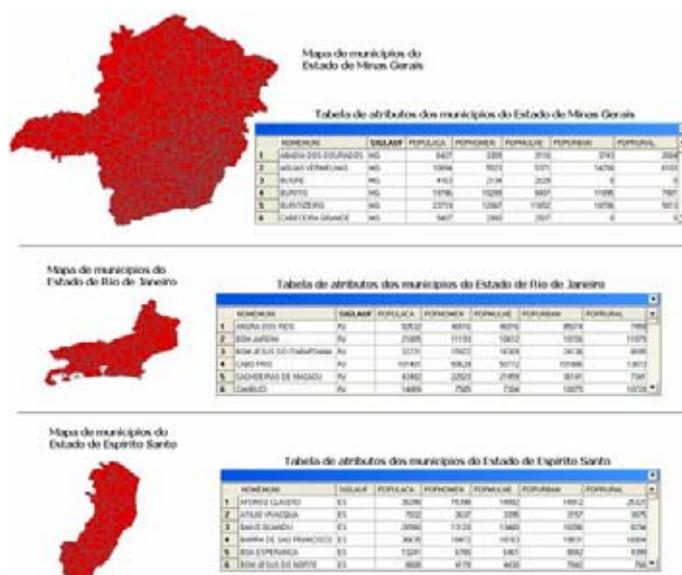


Figura 6.3 – Exemplo de estruturação do BDG.

Etapa 4: Análise da Infra-estrutura de Transportes

O PC não existe como uma unidade isolada, mas está ligado à sua região pelos canais por onde se propagam os fluxos. Assim, para Perroux, o desenvolvimento de um conjunto de territórios só é obtido pela propagação dos efeitos dos pólos de crescimento. Essa propagação realizada por um caminho que liga dois pólos dá origem ao que se chama de *eixo de desenvolvimento*, destacando que o eixo não é apenas uma via, mas que, além disso, deve haver todo um conjunto de atividades que indicam orientações determinadas de desenvolvimento territorial e dependem da capacidade de investimento.

A infra-estrutura de transportes pode ser considerada, segundo a teoria de Perroux, como o meio físico por onde se propagam os efeitos de crescimento e desenvolvimento oriundos dos pólos, e por isso, são elementos importantes a serem considerados na elaboração de uma rede de transportes voltada ao crescimento e desenvolvimento econômico regional.

Esta etapa metodológica tem como objetivo, identificar, dentro das infra-estruturas de transportes, as vias de transportes a serem usadas para alocação de viagens, identificando assim, os arcos que irão constituir a rede. Além disso, as análises a serem feitas nas infra-estruturas de transporte permitem identificar os principais “gargalos” que afetam a fluidez viária. Análises distintas são feitas para cada subsistema de transporte, conforme são descritas nas subetapas 4.1, 4.2, 4.3, e 4.4 a seguir.

Subetapa 4.1: Análise do subsistema hidroviário interior

Para o subsistema hidroviário, o qual merece destaque nesta metodologia, a identificação das vias a serem usadas como arcos da rede é alcançada por meio da análise de navegabilidade dos rios localizados na área de estudo. A estrutura, representada pela Figura 6.4, apresenta de forma sistematizada as atividades que constituem a análise de navegabilidade dos rios, as quais são descritas detalhadamente a seguir.

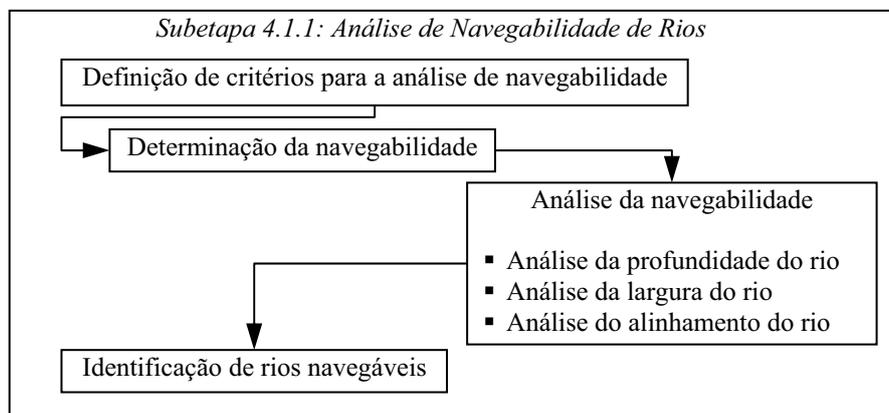


Figura 6.4 – Análise de navegabilidade de rios: sistematização de atividades.

Subetapa 4.1.1: Análise de Navegabilidade de Rios

A análise de navegabilidade de rios é a ferramenta utilizada para identificar as vias que serão usadas na configuração dos arcos hidroviários da rede de transporte. Para analisar a navegabilidade dos rios, algumas atividades devem ser executadas de forma sistemática

(Figura 6.4): definição de critérios; determinação da navegabilidade; análise de navegabilidade e identificação de rios navegáveis.

▪ **Definição de critérios para a análise de navegabilidade:** o objetivo deste item é definir os critérios a serem usados na análise de navegabilidade de rios. Entre todos os critérios existentes, serão escolhidos aqueles que representam fielmente as especificidades da área de estudo. Neste caso, os requerimentos de navegabilidade que estão ligados intrinsecamente com as características físicas das vias são considerados: profundidade mínima; largura; e o alinhamento. Sendo que, a determinação da navegabilidade será feita dividindo cada rio em trechos, segundo suas profundidades, ou seja, um rio que ao longo de sua extensão apresente diferentes profundidades, sua navegabilidade será determinada dividindo tal rio em trechos com profundidades semelhantes.

▪ **Determinação da navegabilidade:** uma vez definidos os critérios necessários nos procedimentos de análise, o próximo passo é calcular as variáveis que representam tais critérios. A primeira variável a ser calculada é a **profundidade mínima** dos rios, usando, neste caso, a Equação (3.1) reproduzida nesta seção.

$$hp_{\min} = h - CL - Sq \quad (3.1)$$

Onde hp_{\min} : mínima distância entre o calado da embarcação e o leito do rio em metros;

h : profundidade do rio em metros;

CL : calado da embarcação em metros;

Sq : “Squat” em metros.

No caso da largura, serão identificados os valores das **larguras dos rios** existentes na região, a fim de compará-las posteriormente com um valor padrão de uma hidrovia conhecida e em plena operação. Desta forma, será possível identificar os trechos de rios que apresentam largura mínima impeditiva ao deslocamento de embarcações. Com relação ao **alinhamento**, esta variável será usada para classificar visualmente, por meio de suas características físicas, os trechos de rios em regular, sinuoso, muito sinuoso, segundo a literatura técnica.

▪ **Análise de navegabilidade:** uma vez determinada a navegabilidade dos rios, seus específicos requerimentos são analisados, ou seja, para cada variável determinada anteriormente são feitas análises que correspondem aos seus respectivos requerimentos. Três principais análises são realizadas: profundidade mínima, largura e alinhamentos dos rios. Quanto ao primeiro requerimento, é identificada, para cada trecho de rio, a sua profundidade mínima durante 90% do período total do ano, e o seu calado máximo permitido para o tráfego de embarcações. Para cada trecho de rio, a condição representada pela Equação (6.1) deve ser respeitada. O calado máximo ($CL_{máx}$) de cada embarcação deve ser menor ou igual à profundidade mínima de cada trecho de rio analisado.

$$CL_{máx} \leq h_{\min} \quad (6.1)$$

No que se refere ao requerimento largura, sua análise é feita usando um padrão de largura de uma hidrovia como parâmetro de comparação. O rio *Mississipi* com sua largura padrão de 91,44m é o parâmetro (Linsley & Franzini, 1964). As larguras mínimas dos rios, para serem considerados navegáveis, devem ser maiores ou iguais a 91,44m (Equação (6.2)).

$$L_{\min} \geq 91,44 \quad (6.2)$$

Com relação ao alinhamento, esse será analisado considerando dados empíricos quanto ao grau de alinhamento que os rios possuem, ou seja, são identificados e classificados os rios em: regular, sinuoso, e muito sinuoso (Ministério dos Transportes, 2000).

▪ **Identificação de rios navegáveis:** nessa atividade são identificados os rios navegáveis. Tal identificação serve para determinar as vias e suas respectivas capacidades, as quais constituem alguns arcos da rede de transporte básica. A identificação dos rios navegáveis é feita obedecendo às condições de navegabilidade anteriormente apresentadas. Com todos os dados georreferenciados dos respectivos requerimentos, a identificação de rios navegáveis com o uso de um *software* de SIG permite, por meio de suas ferramentas, selecionar os rios e trechos navegáveis na área de estudo.

Subetapa 4.2: Análise do subsistema rodoviário

Com relação ao subsistema rodoviário, a sua análise é feita para identificar os trechos rodoviários em condição de trafegabilidade e que poderiam servir às viagens geradas pelos PC. Uma vez criado um mapa temático para o subsistema rodoviário, constituído pelas informações obtidas na etapa de diagnóstico da infra-estrutura de transportes, este mapa é usado para identificar as rodovias trafegáveis. Neste caso, utilizam-se dois critérios: o

aspecto técnico (projetada, planejada, em operação); e o aspecto físico (pavimentada, em pavimentação, leito natural) da rodovia.

As rodovias a serem consideradas para a alocação de viagens são aquelas que estão implantadas, podendo ser pavimentada, em pavimentação ou em leito natural. Considera-se um valor de velocidade média distinto para cada tipo de rodovia (pavimentada ou em leito natural) . Tais valores de velocidade são definidos em conformidade com empresas de transporte rodoviário de carga que operam na área de estudo.

Subetapa 4.3: Análise do subsistema ferroviário

O objetivo da análise a ser feita no subsistema ferroviário é identificar as estradas de ferro que atualmente estão em operação de transporte de carga, e quais os principais produtos escoados por tais ferrovias. Assim, é possível identificar os trechos ferroviários e suas respectivas capacidades que constituem os arcos da rede básica. Essa atividade é simples, visto que os dados levantados durante a subetapa de diagnóstico e que constituem o BDG, possibilitam identificar, por meio da plataforma SIG, as ferrovias em operação.

Subetapa 4.4: Análise do subsistema portuário

O porto desempenha papel fundamental dentro da estrutura espacial onde o mesmo está inserido, principalmente pelo desenvolvimento de atividades econômicas que atingem sua área de influência (*hinterland*), em decorrência de várias outras atividades desenvolvidas no porto. Assim, dependendo do dinamismo econômico que emerge do porto e se expande até seu *hinterland*, o mesmo pode ser considerado como um PC, e por este motivo é considerado elemento fundamental na elaboração de uma rede de transporte multimodal de carga, isso, no entanto, sem entrar no mérito das atividades operacionais características do subsistema portuário.

Uma vez identificados espacialmente os portos na área de estudo, são feitas análises quanto as suas capacidades e as respectivas movimentações de cargas. Os principais objetivos da análise a ser efetuada no subsistema portuário são: identificar quais portos possuem conexão com os demais modos de transporte, e quais os produtos movimentados nos portos marítimos e nos terminais hidroviários, e conseqüentemente os destinos de tais produtos. A análise portuária é essencial para a composição das alternativas, as quais definirão as rotas de custo mínimo que por sua vez determinarão a rede de transporte multimodal de carga.

Como as informações relacionadas à capacidade e movimentação portuária estão armazenadas no BDG, a análise do subsistema portuário não é dispendiosa e de certo modo facilitada pelo uso do SIG, que permite a qualquer momento, usando a ferramenta de seleção, a rápida identificação dos portos e seus atributos.

Etapa 5: Identificação de Pólos de Crescimento (PC)

O objetivo desta etapa metodológica é identificar os PC que determinam os nós da rede de transportes. Após ser diagnosticada a área de estudo, do BDG ser criado, e ser analisada a infra-estrutura de transportes, passa-se a identificar os PC na região em estudo. A realização desta etapa é sustentada pela Teoria dos Pólos de Crescimento e Pólos de Desenvolvimento elaborada por Perroux, onde o pólo é o centro econômico dinâmico de uma região, e que o seu crescimento se faz sentir sobre a região que o cerca, pois essa cria fluxos da região para o centro e refluxos do centro para a região, conforme descrito no Capítulo 2 desta tese.

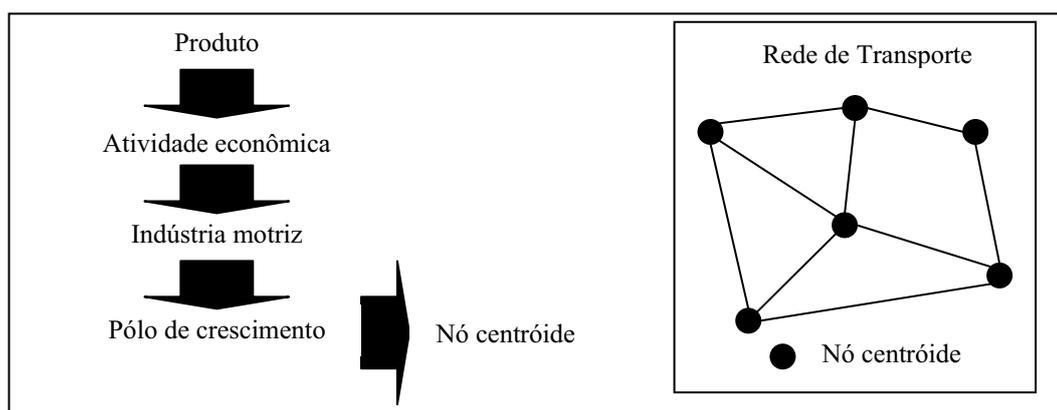


Figura 6.5 – Sistematização de ações para a identificação de PC segundo a teoria dos Pólos de Crescimento e Pólos de Desenvolvimento de Perroux.

A importância da realização desta etapa metodológica pode ser visualizada por meio da estrutura apresentada na Figura 6.5. Nesta figura os nós centróides que constituirão a rede de transportes multimodal são determinados pelos PC, estes por sua vez são identificados em função das principais atividades econômicas desenvolvidas na área de estudo, as quais são identificadas pela indústria motriz, e assim sucessivamente, segundo a Teoria dos Pólos de Crescimento e Pólos de Desenvolvimento.

A região polarizada resulta da observação das relações existentes entre várias áreas pertencentes a regiões homogêneas, e as ferramentas estatísticas da análise espacial permitem identificar regiões homogêneas que possuem distribuição homogênea de uma determinada variável. Logo, utilizam-se as ferramentas de análise espacial (vide ANEXO 1) na identificação de PC. As atividades que constituem esta etapa conforme a Figura 6.6 são: determinação de indústrias motrizes; identificação de áreas em potencial para PC, e identificação de PC.

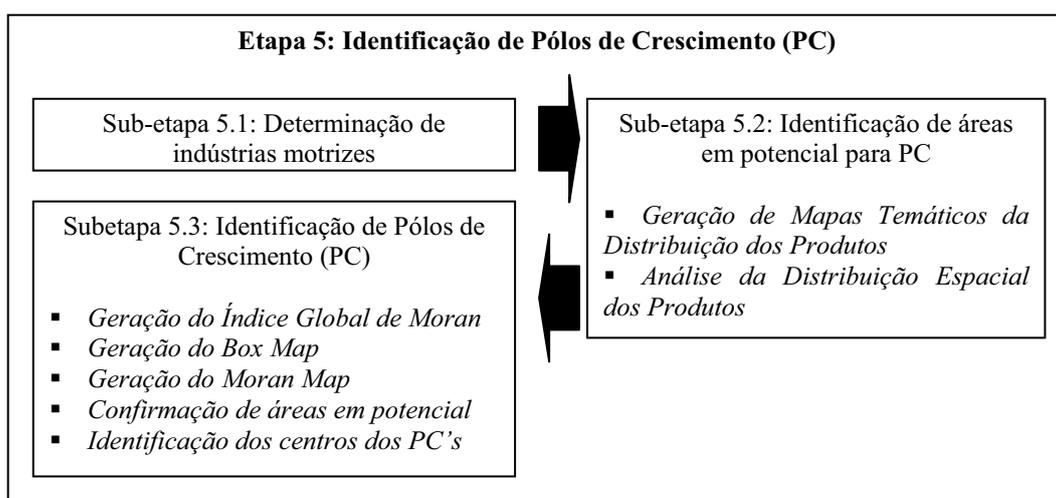


Figura 6.6 – Etapa 6: Identificação de Pólos de Crescimento (PC).

Subetapa 5.1: Determinação de indústrias motrizes

A determinação das indústrias motrizes é a primeira e talvez a mais importante atividade a ser executada dentro da Etapa 5, pois em função destas é que se torna possível identificar os PC. Assim, a determinação de tais indústrias é feita por meio da classificação econômica dos produtos identificados na etapa de diagnóstico econômico da região. A classificação desses produtos segue os critérios adotados na determinação da Curva ABC.

A curva ABC é um método de classificação de informações, usado na administração, e que serve para identificar os itens de maior importância ou impacto, os quais são normalmente em menor número (Carvalho, 2002). Neste caso, aos itens mais importantes de todos, segundo a ótica do valor, ou da quantidade, dá-se a denominação de itens da classe A, aos intermediários, itens da classe B, e aos menos importantes, itens da classe C.

A experiência demonstra que poucos itens, de 10% a 20% do total, são da classe A, enquanto uma grande quantidade, em torno de 50%, é da classe C e 30% a 40%, são da

classe B. Neste estudo, os produtos que se encontram nas classes A e B são usados para identificar os PC, pois dentro destas se localizam os produtos de importância econômica elevada e intermediária da área de estudo.

Subetapa 5.2: Identificação de áreas em potencial para Pólos de Crescimento

O objetivo desta atividade é localizar, dentro da área de estudo, áreas em potencial para a identificação de PC, utilizando, para isso, as técnicas de análise espacial em áreas, as quais permitem identificar padrões homogêneos de distribuição da variável utilizada. Alguns passos devem ser seguidos durante o processo de identificação de tais áreas, os quais são: geração de mapas temáticos da distribuição da variável escolhida no espaço; e análise da distribuição espacial da variável para a identificação de áreas em potencial para PC.

Subetapa 5.2.1: Geração de Mapas Temáticos da Distribuição dos Produtos

Um mapa temático de padrão de área (vide ANEXO 1) é gerado para cada produto que foi definido na subetapa de diagnóstico da economia regional. Na geração dos mapas será utilizado um *software* de SIG que permite manipular e analisar dados representados em área. Esses dados, por sua vez, são os valores de produção dos produtos considerados.

Subetapa 5.2.2: Análise da Distribuição Espacial dos Produtos a fim de Identificar Áreas em Potencial Para PC

Feita a geração dos mapas temáticos da distribuição dos produtos considerados, realiza-se a análise exploratória preliminar referente a tal distribuição, com o objetivo de identificar as áreas que concentram os maiores valores de produção. Tais áreas são definidas como áreas em potencial, as quais serão confirmadas ou rejeitadas estatisticamente como pólos.

Subetapa 5.3: Identificação de Pólos de Crescimento (PC)

Esta atividade é responsável pela identificação dos PC dentre as diversas áreas em potencial detectadas na subetapa 5.2. Os PC são identificados conforme a realização seqüencial das seguintes atividades: geração do Índice Global de Moran; geração do Box Map; geração do Moran Map; confirmação de áreas em potencial; e identificação de centros dos PC.

Subetapa 5.3.1: Geração do Índice Global de Moran (I)

O Índice Global de *Moran* é um indicador de autocorrelação espacial, que permite mostrar como os valores da variável estão correlacionados no espaço. Tal indicador é usado nesta etapa metodológica para estimar a dependência do valor observado de um atributo em uma área, em relação aos valores dessa mesma variável em localizações vizinhas. De forma mais clara, pode-se dizer que tal índice mostra a existência de certo grau de homogeneidade entre áreas vizinhas quanto à ocorrência de um determinado evento, que pode ser social, cultural ou econômico. O Índice Global de Moran (I) é determinado pela Equação (A1.2) (vide ANEXO 1), e reproduzida nesta seção.

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (\text{A1.2})$$

Onde I : Índice Global de Moran;
 n : número de áreas;
 z_i : diferença entre o valor do atributo no local i e a média de todos os atributos;
 z_j : diferença entre o valor do atributo dos vizinhos do local i e a média de todos os atributos;
 w_{ij} : pesos atribuídos conforme a relação topológica entre os locais i e j .

Usando um *software* de SIG é gerado o I para cada produto considerado, feito isso, passa-se a verificar a dependência espacial da variável entre os objetos. O Índice Global de Moran varia entre -1 a +1. Neste caso, valores próximos de zero indicam a inexistência de autocorrelação espacial significativa entre os valores dos objetos e seus vizinhos. Valores positivos do índice indicam autocorrelação espacial positiva, ou seja, o valor do atributo de um objeto tende a ser semelhante aos valores dos seus vizinhos. Por sua vez, valores negativos do índice indicam autocorrelação negativa.

Subetapa 5.3.2: Geração do Box Map

O *Box Map* é definido como um mapa temático bidimensional, no qual cada polígono indica seu quadrante no diagrama de espalhamento (vide ANEXO 1). O *Box Map*, neste estudo, é gerado por um *software* de SIG, assim, para cada produto é gerado um *Box Map*.

A geração do *Box Map* tem como objetivo verificar visualmente como se comporta a variável entre os objetos (áreas produtoras) vizinhos. Em outras palavras, o *Box Map*

permite identificar geograficamente e visualmente as áreas que possuem padrões homogêneos de distribuição da variável analisada, podendo ser positivos ou negativos, sem, no entanto, especificar aquelas áreas que se destacam, dentro de cada região homogênea, por possuir os valores mais significativos.

Subetapa 5.3.3: Geração do Moran Map

Finalmente, nesta subetapa o *Moran Map* é gerado, com o objetivo de determinar as áreas significativas estatisticamente a 95% com distribuição normal, ou seja, o *Moran Map* permite realizar a atividade que o *Box Map* não é capaz, que é identificar aquelas áreas que se destacam, dentro de cada região homogênea, por possuir os valores mais significativos, e que representam os PC da área de estudo. Maiores detalhes são mostrados no ANEXO 1.

No *Moran Map* são identificadas as regiões consideradas significativas, para níveis de significância estatística maiores ou iguais a 95%. As demais regiões são classificadas como “não significativas”. O *Moran Map* é gerado por um *software* de SIG, logo, para cada produto é gerado um *Moran Map*.

Subetapa 5.3.4: Confirmação de Áreas em Potencial

Uma vez os *Moran Map* dos produtos gerados, estes são usados para confirmar quais áreas em potencial são pólos. Neste caso, comparam-se os mapas de distribuição da variável com os *Moran Map* constituídos pelas áreas significativas estatisticamente. São confirmados como pólos somente aquelas áreas que são significativas estatisticamente como “*High-High*”, isto é, tanto o objeto (área produtora) quanto o seu vizinho são significativos estatisticamente.

Subetapa 5.3.5: Identificação de Centros dos PC

Ao determinar as áreas significativas ou os pólos de cada produto, gera-se um mapa para cada produto com a identificação destes pólos. Nestes mapas, as áreas significativas são agrupadas em *clusters* (grupo de coisas ou atividades semelhantes que se desenvolvem conjuntamente). Esse procedimento facilita a identificação, dentro de cada *cluster*, do município que representará o pólo, definido de acordo com o valor da variável, ou seja, o município que tiver o maior valor dentro de seu *cluster* é selecionado para representar o seu respectivo pólo, e conseqüentemente é considerado um nó da rede.

Etapa 6: Determinação da Rede de Transporte Básica

Uma vez realizada a análise da infra-estrutura de transporte e identificados os PC, torna-se possível determinar uma rede de transporte preliminar, a qual, neste estudo, é chamada de rede básica. A rede de transporte básica é definida pela infra-estrutura disponível na região, onde os PC são considerados.

Esta etapa é considerada atividade prévia a ser executada antes do desenvolvimento da rede de transporte multimodal de carga. A definição da rede básica é feita ao se determinar os nós (centróides e nós de conexão) e os arcos. A determinação destes elementos está ligada à realização das etapas metodológicas quatro e cinco, isto é, a definição dos nós é feita em função da identificação dos PC e análise portuária, assim como os arcos da infra-estrutura de transportes, conforme será descrito nas subetapas 6.1 e 6.2.

Subetapa 6.1: Determinação de nós

A determinação dos nós é feita por meio da sobreposição dos mapas temáticos referentes aos PC e portos. Como para cada produto analisado existe um grupo de pólos, os mapas de cada produto juntamente com o mapa dos portos são sobrepostos. Todos os mapas são de padrões pontuais, por este motivo, o resultado final da determinação de nós é um mapa constituído por pontos. A atividade de sobreposição de mapas temáticos (*overlap thematic map*) é feita usando um *software* de SIG.

É necessário distinguir dois tipos de nós que constituem a rede de transporte básica, *nós centróides* e *nós de conexão*, os quais possuem características diferentes e, conseqüentemente, desempenham papéis distintos na estrutura da rede:

- os centros geométricos dos municípios representativos dos PC são definidos como os *nós centróides*, os quais concentram demanda (atividades econômicas predominantes) e, conseqüentemente, geram e atraem viagens;
- alguns portos são importantes na estrutura da rede, pois desempenham papel importante na estrutura econômica regional, além de funcionar como centro de atração de viagens, e neste caso são também *nós centróides*;
- com relação aos *nós de conexão*, esses são definidos na estrutura básica da rede como *nós intermediários*, já que os mesmos desempenham a função de conexão, ligando duas ou

mais vias (arcos), e apoiando os nós centróides. Vale ressaltar que os nós de conexão, são gerados durante a determinação dos arcos, conforme será visto a seguir.

Subetapa 6.2: Determinação de arcos

O objetivo desta atividade é determinar os arcos que constituem a estrutura básica da rede de transportes. A determinação dos arcos é executada usando um *software* de SIG, por meio da operação de sobreposição de mapas temáticos (*overlap thematic map*). Os mapas sobrepostos são dos subsistemas de transporte (hidroviário, ferroviário, rodoviário) analisados na Etapa 4. Finalmente, como produto da definição dos arcos, é criado um mapa temático constituído por linhas. Para compreender o processo de determinação dos arcos é necessário descrever passo a passo as atividades que constituem essa subetapa:

- usando um *software* de SIG, um arquivo geográfico é criado contendo exatamente todos os atributos que constituem os mapas temáticos de arcos;
- a base de dados dos arquivos dos arcos, definidos anteriormente, é importada para um novo arquivo a ser manipulado no *software*;
- gera-se um único arquivo geográfico constituído por linhas com atributos distintos, dependendo do modo de transporte. No momento em que este novo arquivo constituído por linhas é gerado, são gerados também alguns pontos que conectam tais linhas, esses pontos são denominados como *nós de conexão*;
- uma vez gerada a rede, faz-se a verificação topológica da mesma. Essa atividade é de suma importância, pois permite identificar falhas, tais como a falta de conectividade, que podem ocorrer entre os arcos.

Subetapa 6.3: Geração da rede de transporte básica

O objetivo desta atividade é obter a representação geográfica da rede de transporte básica, onde serão alocadas as viagens geradas pelos PC, a fim de avaliar as alternativas das rotas a serem definidas na Etapa 7. Alguns pontos são apresentados abaixo no processo de geração da rede de transporte básica:

- são construídos os mapas temáticos de padrões pontuais representando os nós, e padrões lineares que representam os arcos;

- utiliza-se a técnica de sobreposição de mapas temáticos por meio de um *software* de SIG. Os mapas temáticos sobrepostos são constituídos de nós que representam os PC e os portos, e arcos, que representam os rios navegáveis, rodovias e ferrovias (Figura 6.7);
- uma vez sobrepostos os mapas temáticos, têm-se a representação geográfica da rede de transporte básica. A Figura 6.7 exemplifica a sobreposição de mapas temáticos de padrões pontuais (PC e portos) e lineares (rios navegáveis, rodovias e ferrovias).

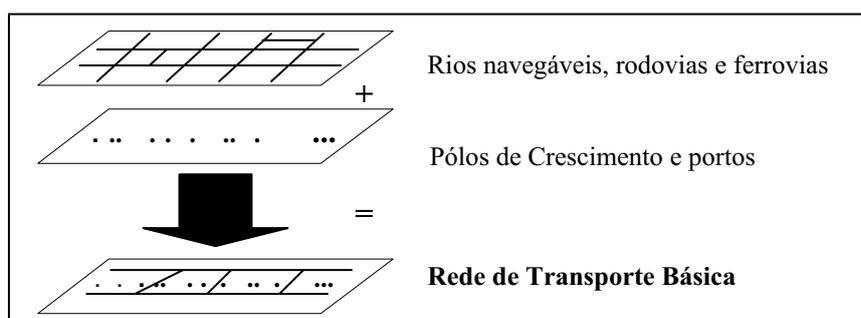


Figura 6.7 – Sobreposição de mapas temáticos para a geração da rede de transporte básica.

Etapa 7: Determinação da Rede de Transporte Multimodal de Carga

Após determinada a rede de transporte básica a etapa seguinte é a determinação da rede de transporte multimodal de carga. Esta etapa é fundamentada na Teoria dos Grafos (Capítulo 4), que permite representar graficamente a infra-estrutura de transportes e alguns pontos estratégicos localizados em uma determinada área, e em função disso, avaliar alternativas que possibilitem a determinação de rotas de custo mínimo.

Com o propósito de determinar a rede de transporte multimodal, algumas atividades necessitam ser realizadas de forma seqüencial: definição de premissas para a determinação da rede de transporte multimodal; determinação dos custos de transporte; associação dos custos de transporte à rede básica – alimentação do banco de dados; composição de cenários; e a representação das redes de transporte multimodal de carga. Todas estas atividades são descritas detalhadamente a seguir.

Subetapa 7.1: Definição de premissas para a determinação da rede de transporte multimodal de carga

Esta atividade tem como objetivo definir premissas para a determinação da rede de transporte multimodal de carga. Tais premissas têm como função delinear as demais atividades que se sucedem durante o processo de desenvolvimento da Etapa 7 da proposta metodológica. As premissas definidas são:

- a rede a ser considerada é representada por um grafo direto (rede orientada);
- os centros geométricos dos municípios representativos dos PC, devido suas características de geração e atração de viagens, são considerados como *nós centróides*;
- o critério de definição de rotas de caminhos mínimos que constituirão as redes considera pares de origem/destino, onde as origens são os PC e os destinos são os portos. As capitais estaduais também funcionarão como origens ou destinos;
- para cada PC é definida uma rota de custo mínimo de transporte. Neste caso, todos os arcos que constituem a rede de transporte básica são considerados na avaliação de alternativas para a determinação dos caminhos mínimos, que, em conjunto, determinarão a rede de transporte multimodal de carga;
- os portos marítimos localizados na região de estudo, por desempenharem a função de portos de exportação de produtos, são considerados de igual forma *nós centróides*, neste caso, atraem as viagens geradas pelos PC;
- são definidos alguns veículos de carga a serem considerados no cálculo do custo operacional de transporte para os arcos. Juntamente com tais veículos, algumas de suas características são de iguais formas determinadas, entre as quais se destacam: os itens que constituem os custos fixos (cfv) e variáveis (cvv) dos veículos, capacidade de carga (P) e velocidade média (Vm) dos veículos, e o comprimento (D_i) da via;
- os veículos de carga, a serem usados na determinação do custo operacional para os arcos, e suas respectivas especificidades, são definidos em função das características físicas das vias que foram determinadas na da análise da infra-estrutura de transportes.

Subetapa 7.2: Determinação dos custos de transporte

Para a definição da rede de transporte multimodal de carga é importante identificar e analisar as rotas que possuem custo mínimo de transporte, neste caso, torna-se necessário determinar os custos que serão usados em tal análise. Dois tipos de custos são calculados nesta subetapa, um relacionado aos arcos (custo operacional de transporte), e o outro relacionado aos nós (custo de transbordo), pois a soma dos dois determinará o valor do custo total de transporte referente ao deslocamento de carga de uma determinada origem até um destino pré-definido, conforme apresentado na Equação (6.3).

$$C'_{rota} = \sum_{i=1}^I coa_i + \sum_{j=1}^J cn_j \quad (6.3)$$

Onde C'_{rota} : custo direto de transporte da rota de uma origem a um destino;
 coa_i : custo operacional de transporte no arco a_i por tonelada (R\$/ton);
 cn_j : custo operacional de transporte no nó n_j por tonelada (R\$/ton);

Subetapa 7.2.1: Determinação do Custo Operacional de Transporte nos Arcos

Para um determinado arco a_i de extensão D_i é associado um determinado valor que representa o custo operacional de transporte coa_i no arco a_i . Esse custo é determinado por meio da Equação (4.23) reproduzida nesta seção, onde os dados usados no cálculo são coletados de empresas transportadoras que operam dentro da área de estudo.

$$coa_i = \frac{\left(\frac{cfv}{Vm \cdot htd} + cvv \right)}{P} \cdot D_i \quad (4.23)$$

Onde coa_i : custo operacional de transporte no arco a_i por tonelada (R\$/ton);
 cfv : custo fixo operacional do veículo de carga (R\$);
 D_i : comprimento do arco a_i (km);
 Vm : velocidade média do veículo de carga no arco a_i (km/h);
 htd : horas trabalhadas por dia (h);
 cvv : custo variável operacional do veículo de carga (R\$);
 P : capacidade de carga do veículo a ser usado no transporte de carga.

Como, para cada modo de transporte existe um custo operacional distinto, os custos associados aos arcos são determinados em função do modo de transporte específico que o arco representa. Assim, para um dado arco que representa um trecho de rio navegável é determinado o seu custo, considerando as especificidades de cada via.

Subetapa 7.2.2: Determinação do Custo Operacional de Transporte nos Nós (Custo de Transbordo)

A determinação do custo operacional de transporte nos nós (custo de transbordo) leva em consideração a existência de terminal de transferência de carga. Neste caso, o terminal pode representar um porto marítimo e/ou terminal fluvial, ou outro tipo de terminal que conecte dois modos de transportes terrestres onde há transferência de carga.

No primeiro caso, considera-se como custo de transbordo, o custo de manuseio de carga no terminal mais as taxas portuárias vigentes específicas de cada porto marítimo ou terminal fluvial. No segundo caso, considera-se somente o custo de manuseio de carga no terminal. As equações 6.4 e 6.5 representam os custos de transbordo para os dois casos de terminais.

$$cn_j = \begin{cases} c_{manuseio} + \sum_{i=1}^n tp_i & \Rightarrow \text{porto} \\ c_{manuseio} & \end{cases} \quad \begin{matrix} (6.4) \\ (6.5) \end{matrix}$$

Onde cn_j : custo operacional de transporte no nó n_j ;

$c_{manuseio}$: custo de manuseio de carga no nó n_j ;

tp_i : taxa portuária i vigente no nó n_j .

Subetapa 7.3: Associação de custos de transporte à rede básica – alimentação do banco de dados

Uma vez os custos de transporte, referentes aos arcos e aos nós, tenham sido determinados, passa-se a atividade de associação dos mesmos a rede de transporte básica. O objetivo desta subetapa é alimentar com os custos determinados na subetapa 7.2, o banco de dados georreferenciado da rede de transporte básica.

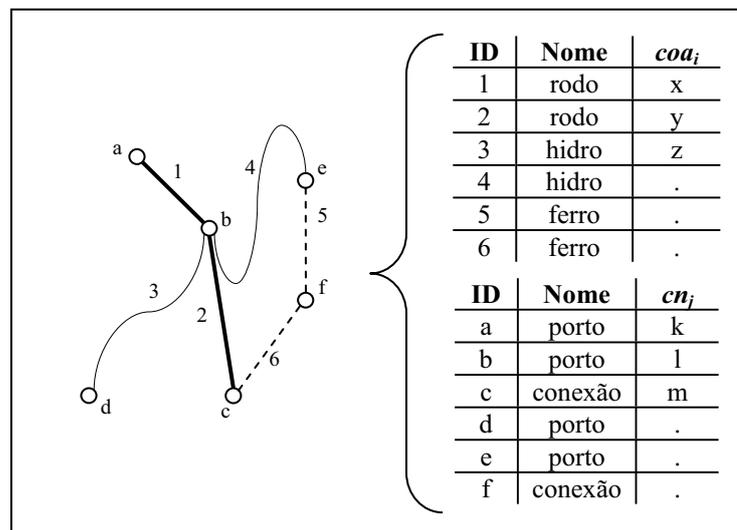


Figura 6.8 – Estrutura do banco de dados alimentado com os custos de transporte operacionais referentes aos arcos e nós.

A associação ou inserção de custos ao banco de dados da rede básica é feita utilizando um software de SIG, devido à facilidade em manipular dados. A Figura 6.8 representa

esquemáticamente a estrutura do banco de dados alimentado com os custos de transporte operacionais referentes aos arcos e nós.

Subetapa 7.4: Composição de cenários

Uma vez associado o custo de transporte aos arcos, passa-se a composição de cenários usando a rede de transporte básica. Vale ressaltar que os cenários compostos consideram alterações na infra-estrutura de transportes. São compostas três redes alternativas, uma para cada cenário distinto considerado, como segue:

- **cenário 1 – Situação Atual (*status quo*):** a primeira rede alternativa refere-se ao *status quo* no que diz respeito à infra-estrutura de transportes, considerando a rede de transporte básica como a estrutura base, na qual são realizadas as análises de custo. Neste caso, não há alteração quanto à localização dos pólos de crescimento;
- **cenário 2 – Investimentos em Infra-estrutura de Transportes a Médio Prazo – Programas Governamentais:** a segunda rede alternativa leva em consideração os investimentos em infra-estrutura de transporte a serem realizadas na área de estudo durante médio prazo. Neste caso, dentro da estrutura da rede de transporte básica, algumas alterações são consideradas, conforme os investimentos previstos para a área de estudo, os quais são listados como: pavimentação e implantação de trechos rodoviários; aumento na capacidade portuária; construção de trechos ferroviários; e conexão entre os diferentes modos de transportes por meio de construção de terminais;
- **cenário 3 - Investimentos em Infra-estrutura de Transportes a Longo Prazo – Estratégico:** a terceira e última rede alternativa refere-se a uma situação mais otimista quanto aos investimentos a longo prazo em infra-estrutura de transporte da região em estudo. Tomando como base o cenário (2), pressupõem-se alterações ainda mais ousadas na estrutura da rede, a saber: conexão de nós centróides por meio da inserção de arcos na estrutura da rede; admissão de longos trechos de rios como navegáveis, permitindo assim, acréscimo na extensão total da rede de transporte por meio de inserção de arcos; além de construção de terminais ao longo dos trechos de tais rios.

Os cenários, anteriormente descritos têm como objetivo verificar o impacto dos investimentos em infra-estrutura de transportes incidentes na estrutura da rede de transporte básica, e identificar qual dos cenários apresenta a rede de transporte multimodal de carga de menor custo de transporte operacional.

As redes alternativas a serem definidas, uma para cada cenário específico, serão determinadas em função das rotas de custo mínimo (*shortest path*), isto é, um conjunto de rotas de custos mínimos constituirá cada rede alternativa referente ao seu respectivo cenário. Por esse motivo, torna-se necessário identificar as rotas que possuem os custos mínimos (*shortest path*) entre pares O/D por meio da análise de custo operacional de transporte, conforme é descrito na subetapa 7.4.1 a seguir.

Subetapa 7.4.1: Determinação de rotas de custo mínimo (shortest path)

Cada rede alternativa proposta anteriormente é constituída por um conjunto de rotas de custo mínimo (caminhos mínimos), definidos em função de pares origem/destino, no qual cada PC é representado por uma origem e cada porto por um destino. Como, em cada pólo é produzido um determinado produto, a identificação do destino desse produto é feita por reconhecimento do porto que embarcou e/ou desembarcou tal produto.

Todas as possibilidades de rotas são consideradas na identificação das rotas de custo operacional total mínimo. Se a análise de movimentação portuária indicar que um determinado porto atrai um dado produto, mas que seu custo é superior a uma outra rota alternativa que leve a um diferente porto de capacidade suficiente, esta rota alternativa é considerada.

Os pares O/D com menores custos operacionais de transporte são determinados e, conseqüentemente, as rotas de custo mínimo - as quais constituem a rede de transporte multimodal - são definidas. A Figura 6.9 exemplifica uma rota de custo mínimo entre um par O/D. Na determinação das rotas de custo mínimo são somados os custos operacionais de transporte de todos os arcos que constituem cada rota, incluindo os custos de transbordo, desde a sua origem (PC) até o seu destino (porto), conforme a Equação (6.4).

Vale ressaltar que os pares O/D não são excludentes, ou seja, há a possibilidade, no futuro de haver alterações nos padrões de distribuição das variáveis que são responsáveis pela determinação dos PC, assim como as variáveis que são usadas na análise de custo. Neste caso, um porto que atualmente poder ser o destino de viagens geradas por um pólo, em análises futuras poderá ser o destino de outro pólo distinto. Como resultado desta atividade, tem-se um conjunto de rotas de custo mínimo para cada cenário proposto. Tais

rotas são usadas, conseqüentemente na determinação de três diferentes redes de transporte de carga, conforme é descrito no item a seguir.

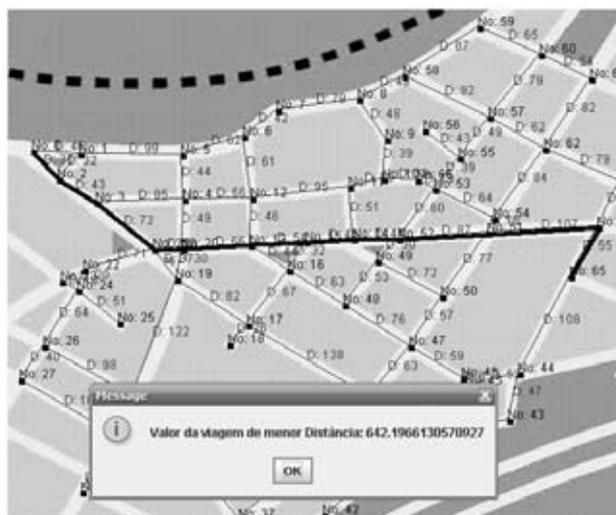


Figura 6.9 – Exemplo de rota de custo mínimo traçada ente os nós 0 e 65.

Subetapa 7.5: Representação das redes de transporte multimodal de carga

Como atividade final que compõe a Etapa 7 desta proposta metodológica, têm-se as representações de três distintas redes de transporte multimodal de carga. As Redes de Transporte Multimodal de Carga são, na realidade, os produtos das composições das rotas de custos mínimos, calculadas para cada PC que constitui cada um dos três cenários. A Figura 6.10 representa graficamente as composições de rotas de custo de transporte operacional mínimo para a elaboração de uma rede de transporte correspondente a um determinado cenário.

A representação da rede é feita usando as rotas de caminhos mínimos determinadas para cada PC, ou seja, por meio da sobreposição dos mapas temáticos de cada rota. Um grafo direto é determinado, como resultado da sobreposição dos mapas, o qual representa uma rede de transporte multimodal de carga com custo de transporte operacional mínimo, servindo como vias de transportes de cargas dentro da estrutura regional da área de estudo.

Etapa 8: Avaliação das Redes de Transporte Multimodal de Carga

Como etapa final do método, tem-se a avaliação das redes de transporte multimodal. A avaliação da rede de cada cenário é executada por meio da análise de custo total da mesma,

a fim de identificar qual cenário possui a rede de transporte multimodal de carga de menor custo total.

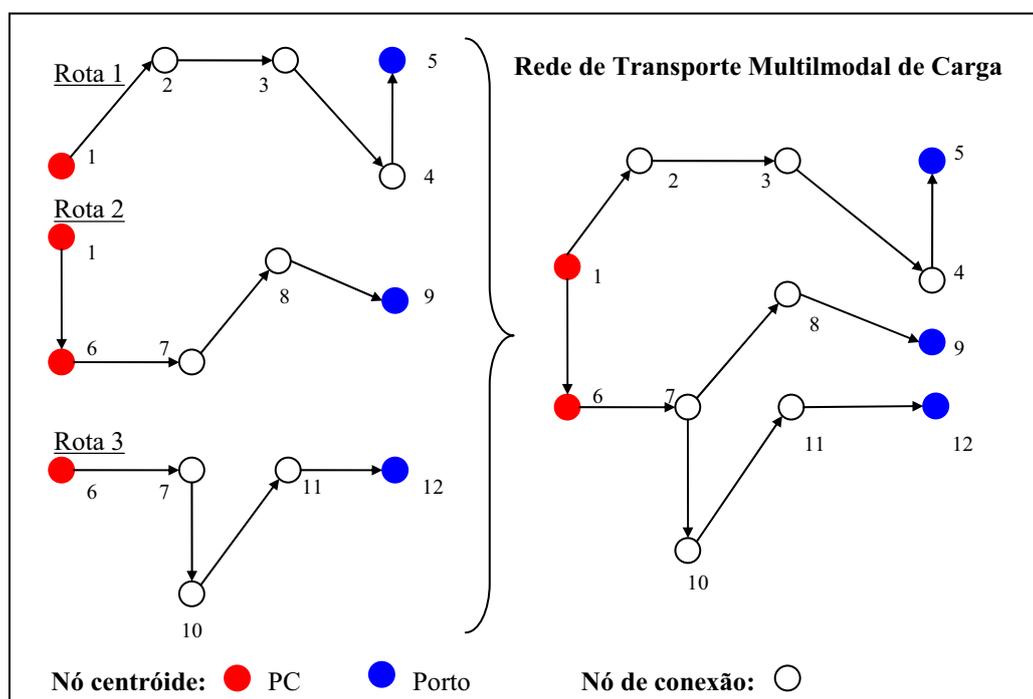


Figura 6.10 – Composição das rotas de custo mínimo para a determinação das redes de transporte multimodal de carga.

Para avaliar as redes, alguns pontos necessitam ser apresentados:

- É utilizada uma matriz O/D de custo como parâmetro de avaliação da rede de transporte. Um *software* de SIG permite calcular facilmente tal matriz;
- A matriz O/D de custo é constituída de linhas e colunas representadas pelos nós centrais (PC e portos) da rede, em seu interior, é preenchido com o valor do custo total de cada rota entre os nós centrais. A soma dos valores de cada linha da matriz permite identificar o custo total de transporte de um determinado nó com relação aos demais;
- Por meio do custo de transporte de cada rede é possível determinar qual cenário possui a rede de menor custo;
- A rede servirá como instrumento de decisão às políticas de promoção de crescimento e desenvolvimento econômico regional que poderá ser aplicada à área de estudo.

CAPÍTULO 7 – ELABORAÇÃO DE REDE DE TRANSPORTE MULTIMODAL DE CARGA PARA A REGIÃO AMAZÔNICA: ESTUDO DE CASO

7.1 – INTRODUÇÃO

Nesse capítulo uma rede de transporte multimodal de carga foi elaborada para a Região Amazônica, com um estudo de caso utilizando a metodologia proposta no capítulo anterior. A realização do estudo de caso foi possível utilizando informações disponíveis principalmente por empresas privadas e órgãos governamentais e não-governamentais, como: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA); Instituto do Homem e do Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON); Ministério dos Transportes (MT); Secretaria de Planejamento do Estado do Amazonas (SEPLAM); Agência de Desenvolvimento da Amazônia (ADA); Companhia Vale do Rio Doce (CVRD); uma empresa de transporte rodoviário e outra de transporte hidroviário de cargas em operação na Região Amazônica.

Neste capítulo, a proposta metodológica é aplicada em um estudo de caso voltado a Região Amazônica, obedecendo às etapas definidas no capítulo anterior: definição da área de estudo; diagnóstico; criação do banco de dados geográfico; análise da infra-estrutura de transportes; identificação de pólos de crescimento; determinação da rede de transporte básica; determinação das redes de transporte multimodal de carga; e avaliação das redes de transporte. Finalmente, alguns tópicos conclusivos sumarizam o estudo de caso.

ETAPA 1: DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – REGIÃO AMAZÔNICA

Como primeira etapa metodológica tem-se a definição da área de estudo, que neste caso é a Região Amazônica, a qual foi descrita em detalhes no Capítulo 6 desta tese. Portanto, nesta etapa é novamente apresentada a definição da Região Amazônica, sem maiores discussões, além de sua delimitação geográfica, na qual serão desenvolvidas todas as atividades de elaboração e análise das redes de transporte de carga.

Conforme visto no capítulo 6, os termos *Amazônia*, *Amazônia Legal* e *Região Amazônica* são similarmente usados. Optou-se por adotar, nesse estudo, o termo *Região Amazônica*, o

qual é de uso comum na bibliografia técnica. A Região Amazônica analisada nesse trabalho se refere unicamente à porção brasileira, a qual cobre uma área de 5.217.423 km². A região compreende a totalidade da região Norte, a maior parte da região Centro-oeste e parte da região Nordeste no Estado do Maranhão (ADA, 2007). A Figura 7.1 apresenta a delimitação geográfica da Região Amazônica considerada no estudo, a qual é constituída por 792 municípios que formam nove Estados.

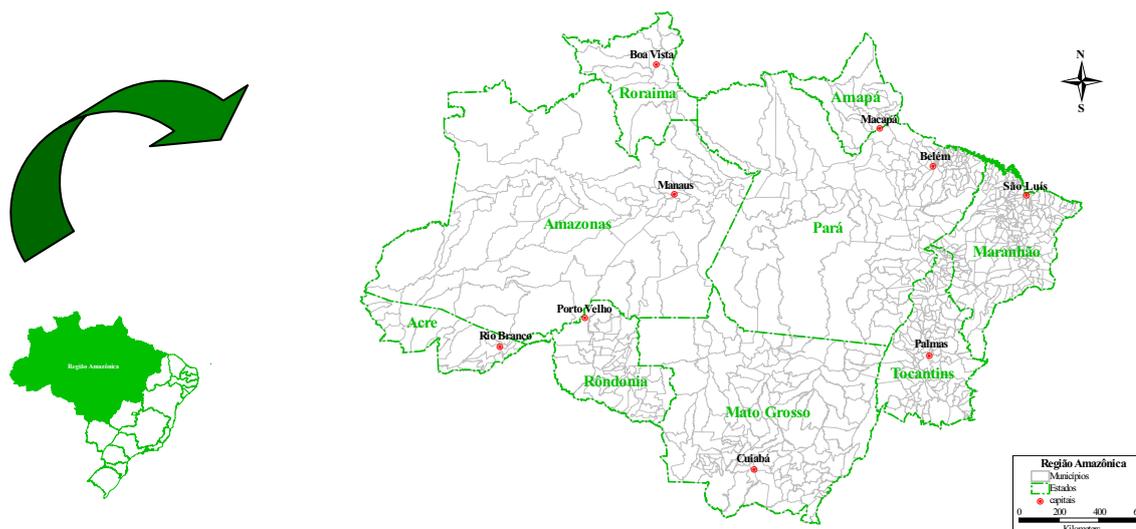


Figura 7.1 – Delimitação geográfica da Região Amazônica Brasileira.

ETAPA 2: DIAGNÓSTICO

A fim de desenvolver uma rede de transporte multimodal de carga na Região Amazônica, torna-se necessário realizar um diagnóstico completo a respeito da infra-estrutura de transportes e da economia regional, o qual permite identificar os principais gargalos e potencialidades existentes na região quanto aos aspectos de transporte e economia, conforme será apresentado a seguir.

Subetapa 2.1: Diagnóstico Regional da Infra-estrutura de Transportes

As facilidades de transporte na Região Amazônica estão sendo consolidadas gradualmente, ainda não estando completas, e seu desenvolvimento depende do dinamismo espacial oriundo da economia regional. Entretanto, a infra-estrutura de transportes existente, e a proposta para sua expansão e melhoria devem ser orientadas, dentro de parâmetros da configuração estrutural que se pretende apresentar, isto é, no contexto do desenvolvimento de uma rede de transporte multimodal de cargas.

No entanto, é necessário conhecer a situação atual da infra-estrutura de transportes da região, para em um segundo momento fazer uma análise das condições de uso e identificar a necessidade de sua expansão, com o propósito finalístico de subsidiar o desenvolvimento de uma rede de transporte multimodal de carga. Portanto, os principais subsistemas de transportes localizados na Região Amazônica e a situação atual, são apresentados a seguir.

a) Subsistema de transporte hidroviário interior

Sob ponto de vista hidrográfico, a Região Amazônica é constituída basicamente pela bacia do rio Amazonas, a qual representa um quinto (1/5) de toda água doce do mundo (INPA, 2003). Os rios são apoiados pelos períodos de chuva, e estes são considerados praticamente os únicos meios de transportes da grande maioria das comunidades locais. Existem mais de 20 mil km de vias fluviais ligando comunidades distantes na região.

Neste contexto, o Rio Amazonas destaca-se, principalmente, por ser o segundo mais extenso rio do mundo (extensão total de aproximadamente 6.515km dos quais 3.600km estão localizados em território Brasileiro), e o primeiro em volume de água (INPA, 2003). Apesar de a Bacia Amazônica desempenhar um papel importante no deslocamento de pessoas e bens, outra bacia hidrográfica localizada na mesma região é de igual forma importante. Os rios da Bacia do Tocantins, em apropriadas condições de navegabilidade, poderiam propiciar excelentes meios de transporte, conectando a Região Amazônica com o centro do Brasil, constituindo uma extensa rede de transporte hidroviário. Ambas, a bacia Amazônica e do Tocantins são constituídas por vários rios, e são apresentados a seguir:

- **Bacia Amazônica:** os principais rios constituintes da bacia Amazônica e identificados nesta etapa são: *Amazonas, Solimões, Javari, Juruá, Tarauacá, Embira, Parí, Jarí, Guamá, Capim, Purús, Acre, Madeira, Mamoré, Guaporé, Tapajós, Xingu, Içá, Japurá, Nhamundá, Negro, Branco, Trombetas e Uatumã.*
- **Bacia do Tocantins:** os principais rios constituintes da bacia do Tocantins, e identificados nesta etapa são: *Tocantins, Araguaia e Mortes.* A Figura 7.2 representa a Região Amazônica e os principais rios que formam as bacias Amazônica e do Tocantins.

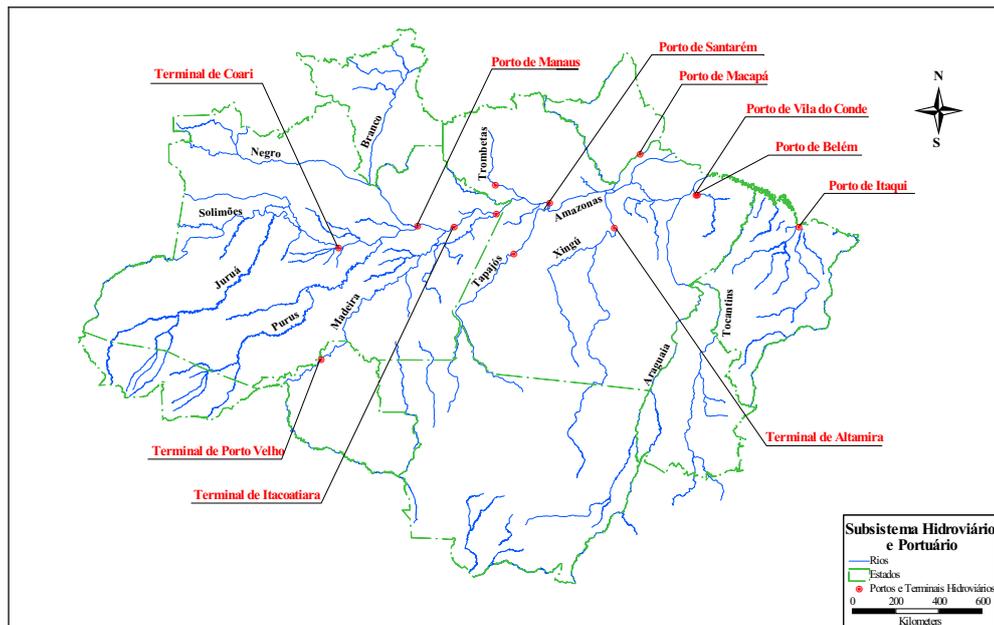


Figura 7.2 – Subsistema portuário e os principais rios da Região Amazônica.

b) Subsistema portuário

A vasta rede hidroviária e a costa Atlântica da Região Amazônica são servidas por um subsistema portuário, que no momento presente atende razoavelmente aos fluxos existentes. De acordo com as características técnicas e a importância que ocupam na movimentação regional de cargas e passageiros, pode-se distinguir as instalações portuárias em dois grupos, as principais (portos marítimos) e as instalações menores (terminais hidroviários), além das instalações rudimentares (Almeida *et al.*, 2004b). A Figura 7.2 apresenta os principais portos marítimos e terminais hidroviários na Região Amazônica.

- **Instalações portuárias principais (portos marítimos):** as instalações portuárias principais são em número de seis, sendo quatro delas às margens ou nas proximidades do rio Amazonas/Solimões, e duas na costa marítima. Os portos marítimos são os seguintes: porto de Manaus (AM), porto de Belém (PA), porto de Santarém (PA), porto de Vila do Conde (PA), porto de Macapá (AP) e o porto de Itaquí/Ponta da Madeira (MA).
- **Instalações portuárias menores (terminais hidroviários):** além dos portos principais caracterizados anteriormente, outras instalações portuárias foram construídas na Amazônia para atender à crescente movimentação de cargas, às conexões rodo-hidroviárias, e como apoio a programas sociais. Dentre tais portos, alguns merecem destaque, a saber: terminais de Tabatinga, Coari, Itacoatiara e Parintins, no Estado do Amazonas; terminal de Porto

Velho em Rondônia; terminais de Itaituba, Altamira, Tucuruí, Marabá, e Óbidos no Estado do Pará; e o terminal de Caracaraí em Roraima (GEIPOT, 1997; Almeida *et al.*, 2004b).

▪ **Instalações rudimentares:** existem na Amazônia outras instalações portuárias com características rudimentares, as quais são identificadas neste item, mas que não serão utilizadas no desenvolvimento da rede. Não há administração específica, movimentam pequenas cargas e possuem como instalações fixas, um trapiche ou uma rampa acoplado a um flutuante. Adequam-se a essas características, os seguintes portos: Humaitá, Manicoré, Barcelos, Carauari-Gavião, Silves, Oriximiná, Alenquer, Monte Alegre, Prainha, Abaetetuba, Cametá, Baião, Mocajuba e Soure. Além dessas instalações rudimentares, podem ser ainda relacionados outros atracadouros naturais, que operam em condições precárias, atendendo as comunidades de maneira incipiente: Benjamim Constant, São Paulo de Olivença, entre outros (GEIPOT, 1997).

c) Subsistema rodoviário

O subsistema rodoviário da Região Amazônica foi concebido com o papel de complementar o subsistema hidroviário, e tem como objetivo assegurar a construção de vias alimentadoras estaduais e municipais (Almeida *et al.*, 2004b). Um importante ponto a ser destacado refere-se às poucas rodovias existentes, devido, principalmente, às condições geológicas do solo da região, as quais não são consideradas apropriadas à construção de rodovias devido à baixa resistência (Pessoa, 2004). Grande parte das rodovias está em péssima condição de uso, o que ocasiona dificuldades no fluxo de veículos, e torna as ligações interruptas entre os pontos distantes da região.

Podem-se identificar as rodovias presentes na Região Amazônica em três grupos: as rodovias federais, estaduais e municipais (Almeida *et al.*, 2004b). A Figura 7.3 apresenta as rodovias e ferrovias existentes na Região Amazônica.

▪ **Rodovias federais:** a rede rodoviária sob responsabilidade federal na Amazônia é de aproximadamente 25,90 mil km de extensão. Tais rodovias possuem as melhores condições físicas. Alguns trechos não permitem tráfego de veículos, e outros ainda estão na etapa de projeto. As principais rodovias são: Belém-Brasília (BR-153/226/010/316); Transamazônica (BR-230); Perimetral Norte (BR-210/307); Cuiabá-Porto Velho (BR-364); Porto Velho-Rio Branco-Boqueirão da Esperança (BR-364); Abunã/Guajará-Mirim (BR-425); Rio Branco-Brasiléia-Assis Brasil (BR-317); Cuiabá-Santarém (BR-163/230);

Porto Velho-Manaus (BR-319); Manaus-Santa Elena (BR-174); Macapá-Oiapoque (BR-156); Humaitá-Lábrea (BR-230); Brasília-Manaus (BR-080); Belém-Teresina (BR-010/316); Brasília-Jataí-Cuiabá (BR-060/364/163); e Brasília-Aragarças-Cuiabá (BR-070/364) (Almeida *et al.*, 2004b).

▪ **Rodovias estaduais e municipais:** a extensão das rodovias sob responsabilidade dos Estados na Região é de 71,10 mil km, dos quais 8,97 mil km são pavimentados. No tocante às rodovias municipais, existem apenas 1,04 mil km pavimentados (DNIT, 2003). O objetivo de tais rodovias é apoiar as rodovias federais, e conectar as pequenas comunidades aos centros econômicos. Alguns Estados da região têm desenvolvido, nos últimos anos, um programa de rodovias vicinais, a fim de conectar áreas de exploração agropecuária com as rodovias arteriais, garantindo aos agricultores o acesso aos mercados em função dos quais se desenvolve sua atividade produtiva.

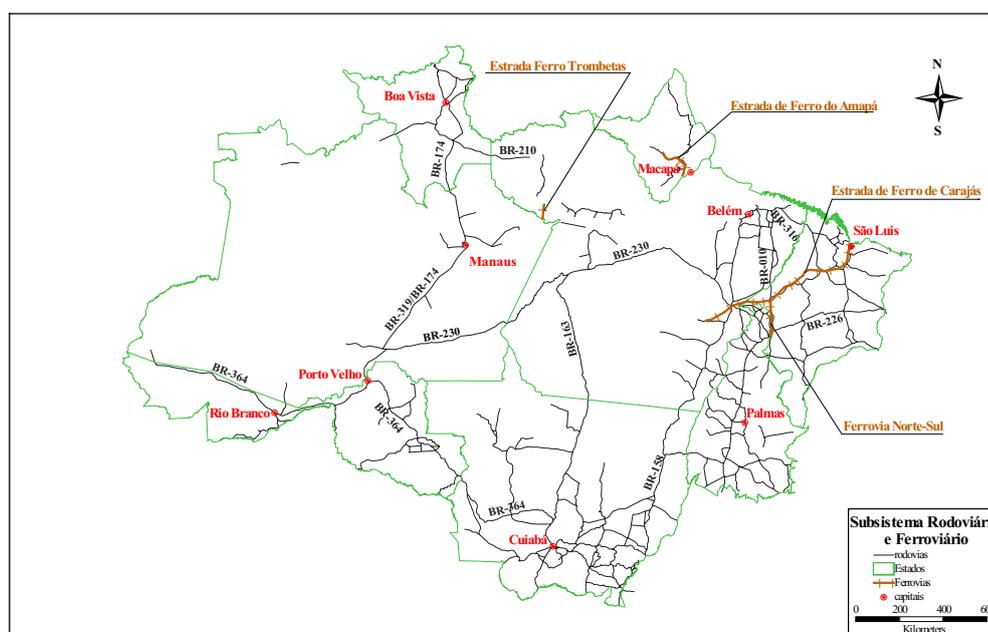


Figura 7.3 – Subsistemas rodoviário e ferroviário na Região Amazônica.

d) Subsistema ferroviário

A característica básica das ferrovias da Região Amazônica é a estanqueidade, decorrente do seu próprio objetivo, que é atender o escoamento de grandes volumes de minérios, transportando-os das minas aos portos. O subsistema ferroviário da Região Amazônica conta com quatro estradas de ferro em operação, e uma em atividade parcial (Figura, 7.3): Estrada de Ferro Amapá (EFA); Estrada de Ferro Jarí (EFJ); Estrada de Ferro Trombetas (EFT); Estrada de Ferro Carajás (EFC); Ferrovia Norte-Sul (FNS) (ANTT, 1997).

Subetapa 2.2: Diagnóstico Econômico Regional

A economia da Região Amazônica é sustentada pelo desenvolvimento de atividades econômicas predominantes, especificamente atividades minerais, florestais e agrícolas. Tais atividades se desenvolvem principalmente pela exploração e/ou beneficiamento de alguns produtos característicos. Os vinte principais produtos que sustentam a economia da Região Amazônica podem ser classificados dentro dos respectivos grupos de atividades:

a) Atividades Minerais

As atividades minerais são caracterizadas pela extração e/ou beneficiamento de uma variedade enorme de minerais, entre os quais se destacam: minério de ferro, petróleo, minério de alumínio, caulim, gás natural, estanho, bauxita, calcário e cromo. Sendo o minério de ferro e o petróleo, os dois principais produtos minerais que movimentam atualmente a economia da Região Amazônica. Grande parte destes produtos tem como destino final os Estados Unidos, China e Japão.

b) Atividades Florestais

O desenvolvimento de atividades florestais na Região Amazônica é caracterizado pela extração e/ou beneficiamento principalmente de madeira e látex. A madeira é considerada um dos principais produtos que sustenta a economia atual da região, já o látex foi por muitos anos a base de exportação de produtos da Região Amazônica, principalmente no chamado “Primeiro Grande Ciclo de Crescimento Econômico” (1850-1910). Grande parte destes produtos tem como destino final o comércio exterior, principalmente os Estados Unidos, a Europa e o Japão.

b) Atividades Agrícolas

Quanto ao desenvolvimento de atividades agrícolas na Região Amazônica, pode-se afirmar que se caracteriza principalmente pela produção de nove culturas, a saber: soja, arroz, mandioca, algodão, milho, café, pimenta-do-reino, e feijão. Dentre estes, maior destaque econômico é dado à soja, ao arroz e à mandioca, pela importância que tais culturas têm para a economia da região. A soja produzida na Região Amazônica contribui para que o Brasil seja atualmente o segundo maior exportador deste produto. O arroz produzido na região além de exportado tem as demais regiões do Brasil como destino. No que se refere à

mandioca, este produto se caracteriza por ser um dos principais itens da alimentação regional da Amazônia, sendo que grande parte da produção é consumida na própria região.

Na elaboração do diagnóstico econômico, foram usados dados e informações coletadas de diversas fontes, entre os quais, destacam-se: Secretaria de Planejamento do Estado do Amazonas (1993); IBGE (2001a) e IBGE (2001b) com as pesquisas relacionadas à produção agrícola municipal e extração vegetal do ano de 2000; e o Departamento Nacional de Produção Mineral (2001) com a pesquisa mineral referente ao ano de 2000. Com tais dados foi possível identificar os produtos que atingem os maiores valores de produção, e as atividades econômicas mais importantes da Região Amazônica. Tais atividades foram usadas para identificar as indústrias motrizes que determinaram os PC.

Vale ressaltar, que o motivo da escolha da variável *valor de produção* como dado usado na determinação das indústrias motrizes, deu-se devido expressar a produção de um dado produto em termos monetários, considerando para isso, as condições geográficas da região e da atividade produtora. O valor de produção pode estar representado pela receita ou valor das vendas ou do produto ou serviço prestado, durante um determinado período.

ETAPA 3: CRIAÇÃO DO BANCO DE DADOS GEOGRÁFICO (BDG)

Um banco de dados geográficos foi construído, usando o Sistema de Informação Geográfica, por meio do *software* TransCAD. Tal banco é constituído por informações coletadas na etapa de diagnóstico. O TransCAD permite ao usuário manipular três tipos de mapas temáticos: um definido por pontos; outro definido por linhas; e finalmente um definido por áreas. Neste estudo, os três tipos de mapas temáticos foram criados:

- *mapas temáticos de pontos* representando o subsistema portuário, constituído pelos portos marítimos e terminais hidroviários, e suas principais características físicas (atributos), tais como: docas, pontes e píers de atracação e acostagem; área instalada e capacidade de armazéns e edificações; largura e profundidade de cais, bacias de evolução, e canal de acesso. Além disso, a quantidade movimentada das principais cargas, referente ao ano de 2000, constitui o banco de dados;
- *mapas temáticos de linhas* representando os rios da bacia *Amazônica* e do *Tocantins*, e as suas principais características, tais como: nome, período de águas baixas e altas, comprimento, largura e profundidade. Outros *mapas* tipo linhas também são criados, neste

caso, referem-se às rodovias e ferrovias. Com relação às rodovias, o BDG é constituído pelas seguintes informações: nome; pavimento; velocidade média; condições físicas; e extensão de rodovias federais e estaduais. Já com relação às ferrovias, as quatro ferrovias existentes e em operação são representadas por outro *mapa* tipo linha, as quais são associadas a seus principais atributos, referentes a: empresas concessionárias; tipos de vias; bitolas, raios de curvatura; veículos usados no transporte de carga (capacidade); sistema de tração de veículos; velocidade média; principais produtos transportados;

- Um *mapa temático de áreas* representando os 792 municípios que constituem a Região Amazônica é criado (Figura 7.4). Um *mapa* é criado para cada produto identificado na etapa de diagnóstico em um total de vinte (soja, madeira, ferro, petróleo, mandioca, arroz, algodão, milho, banana, café, pimenta-do-reino, feijão, minério de alumínio, caulim, gás natural, estanho, bauxita, calcário, cromo e látex). A cada um dos vinte *mapas temáticos* são associadas informações quanto a valor de produção dos municípios onde tais atividades econômicas são desenvolvidas, e quantidade produzida.

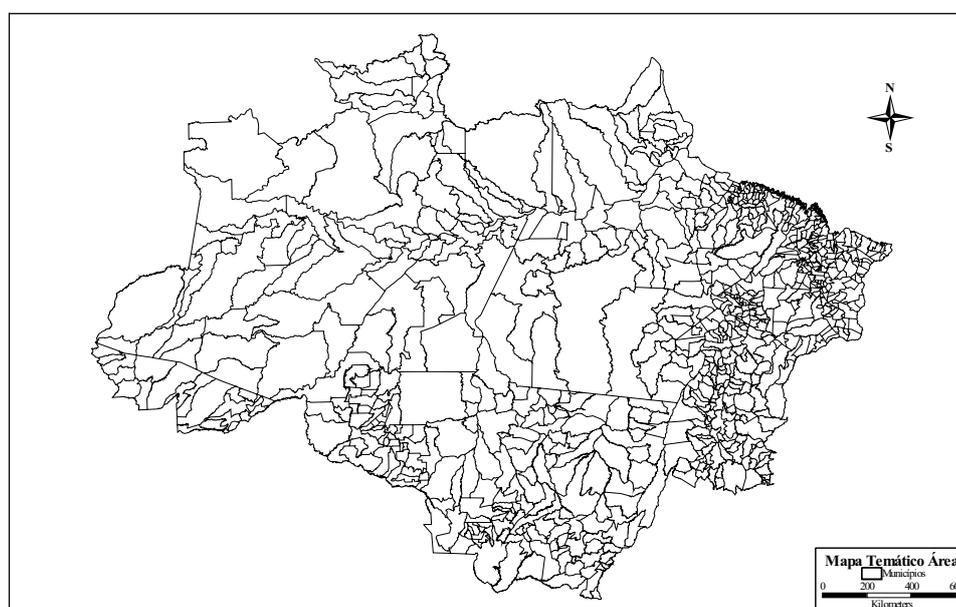


Figura 7.4 – *Mapa de área* representativa dos 792 municípios da Região Amazônica.

ETAPA 4: ANÁLISE DA INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES

A infra-estrutura de transportes, segundo a Teoria dos PC, pode ser compreendida como os meios físicos, por onde os efeitos de crescimento e/ou desenvolvimento oriundo dos pólos são irradiados, neste caso, chamados de eixos de desenvolvimento quando unem dois pólos. A infra-estrutura de transportes, sob o enfoque da Teoria dos Grafos, pode ser traduzida por um conjunto de arcos e nós, que constituirão uma dada rede de transportes.

As análises, assim, realizadas na infra-estrutura de transportes da Região Amazônica foram necessárias, pois por meio destas foram identificadas às linhas de desejo a serem usadas na definição dos arcos que constituem a rede de transporte básica. Além disso, foi possível por meio da realização de tais análises, identificar os principais “gargalos” e/ou locais de impedância que afetariam os fluxos de veículos e conseqüentemente o transporte de cargas.

Como cada modo de transporte tem sua peculiaridade, análises distintas foram realizadas para cada subsistema de transportes. Assim, alguns fatores foram considerados na execução das análises, entre estes, destacam-se: análise de navegabilidade de rios (subsistema hidroviário); análise de utilização das rodovias para o deslocamento dos veículos de carga; análise de movimentação de cargas nos portos e ferrovias.

Subetapa 4.1: Análise do Subsistema Hidroviário Interior

Critérios de navegabilidade foram usados para analisar o subsistema hidroviário interior na Região Amazônica. Dessa forma, identificaram-se os rios ou trechos de rios navegáveis na região, e as respectivas capacidades das vias quanto ao deslocamento de veículos de carga. Seguindo a metodologia proposta por Almeida & Sant’Anna (2005), as etapas que constituem a análise de navegabilidade são: definição de critérios; determinação da navegabilidade; análise de navegabilidade; e identificação de rios navegáveis. É importante destacar que a unidade de análise da navegabilidade dos rios são trechos que possuem profundidades semelhantes, ou seja, os rios foram divididos em trechos de mesma profundidade e assim analisados. Todas as atividades são descritas a seguir.

Subetapa 4.1.1: Definição de critérios para a análise de navegabilidade

Entre os critérios de navegabilidade existentes na literatura técnica, foram escolhidos os chamados “critérios clássicos” e que estão ligados intrinsecamente com as características físicas das vias, a saber: profundidade mínima; largura; e, finalmente, o alinhamento.

Subetapa 4.1.2: Determinação da navegabilidade

Uma vez definidos os critérios necessários aos procedimentos de análise, o próximo passo foi determinar a navegabilidade, ou seja, calcular as variáveis que representam tais critérios. A primeira variável a ser calculada foi as *profundidades mínimas* dos rios, usando, neste caso, a equação (3.1) reproduzida aqui.

$$hp_{\min} = h - CL - Sq \quad (3.1)$$

Tendo os valores das profundidades dos rios armazenados no banco de dados, conforme apresentado na Etapa 2, e as informações de calados de embarcações em operação nos rios brasileiros, foram determinados os hp_{\min} para os trechos de rios da Região Amazônica que foram especificados na etapa de diagnóstico.

No caso da variável *largura*, foram usados dados das larguras médias dos trechos de rios que constituem o banco de dados, a fim de compará-las posteriormente com o valor de 91,44m, padrão da hidrovia do *Rio Mississipi*. Com relação ao *alinhamento*, esta variável foi determinada por meio de consulta empírica em relatórios técnicos e pesquisas realizadas nos rios da Região Amazônica, onde foi possível identificar três tipos de alinhamentos: regular; sinuoso; e muito sinuoso (Almeida & Sant'Anna, 2005).

Subetapa 4.1.3: Análise de navegabilidade

Uma vez determinada a navegabilidade dos rios, isto é, definidas as variáveis referentes aos critérios de navegabilidade, seus requerimentos foram analisados. Logo, três principais análises foram realizadas: análise da profundidade mínima; análise da largura; e análise do alinhamento dos rios. Cada uma dessas análises é descrita a seguir.

a) Profundidade Mínima dos Rios

A primeira análise foi realizada com as *profundidades* dos rios constituintes das bacias Amazônicas e do Tocantins, com o objetivo de determinar os calados admissíveis das embarcações que podem ser utilizadas de forma segura. Considerando $hp_{\min} = C_{\min} = 0,50m$ (leitos arenosos, especificamente para rios da bacia Amazônica) e para reduzidas velocidades das embarcações ($Sq \cong 0$) (IPT, 1980), obteve-se a Equação (7.1) para determinar tais calados.

$$CL = h - 0,50 \quad (7.1)$$

Neste estudo, foi definido 1,00m como valor máximo de calado admissível, o qual é o menor valor de calado das embarcações que trafegam nos rios do Brasil conforme demonstram as tabelas 3.2 e 3.3 no Capítulo 3.

Analisando a Figura 7.5, observa-se que a grande maioria dos calados calculados para os rios da Região Amazônica são maiores que o máximo estabelecido (1,00m), o que é

possível afirmar que em tais rios, embarcações com calados superiores a 1,00 podem trafegar normalmente. Entre tais rios, destacam-se: *Baía do Marajó* (10,0m), *Canal do Norte* (9,5m), *Solimões* (4,0m), trecho (1) do *Tocantins* (4,5m), trecho (1) do rio *Tapajós* (5,0m), trecho (1) do *Xingu* (5,3m), *Amazonas* (6,5m), trecho (1) do rio *Trombetas* (6,5m).

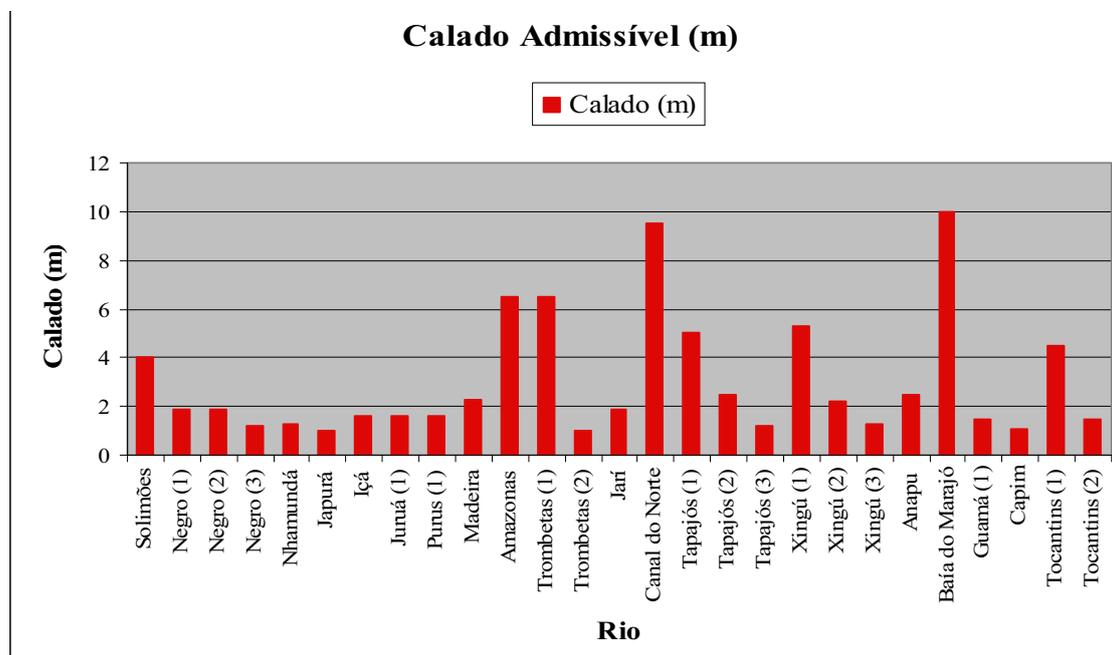


Figura 7.5 – Calados admissíveis dos rios da Região Amazônica (Fonte: Ministério dos Transportes, 2000; Sant’Anna, 1998, BNDES, 1998; Godoy & Vieira, 2002).

Os trechos de rios que permitem deslocamento de embarcações com calados até 1,00m são: *Japurá* e o trecho (2) do rio *Trombetas*. Vale destacar que os rios *Amazonas* e *Solimões*, considerados os rios principais da rede hidrográfica da região Amazônica, permitem o deslocamento de embarcações de elevados calados, 6,50m e 4,00m respectivamente. A Tabela 7.1 apresenta os rios e trechos de rios navegáveis na Região Amazônica, considerando os calados admissíveis.

b) Análise das larguras médias dos rios

Com relação à largura média, os mínimos valores identificados foram de 500m, com exceção do trecho (1) do rio *Juruá* com 150m, e rio *Capim* com 300m. O tráfego de algumas embarcações, especialmente no rio *Juruá*, pode sofrer interrupções dependendo do comprimento total (CT) do comboio. Contudo, estes rios ainda possuem adequadas larguras para se construir canais a partir do momento em que se compara com mínima largura de 91,44m encontrada no rio *Mississippi*. Vale destacar que, em alguns rios e trechos

de rios não foi possível analisar a suas larguras, por não dispor de dados suficientes, encontram-se nesta situação os seguintes rios: trecho (2) do rio *Branco*; *Uatumã*, *Japurá*, *Jari*, trechos (2) e (3) do rio *Tapajós*; trecho (5) do rio *Xingu*; e o rio *das Mortes*.

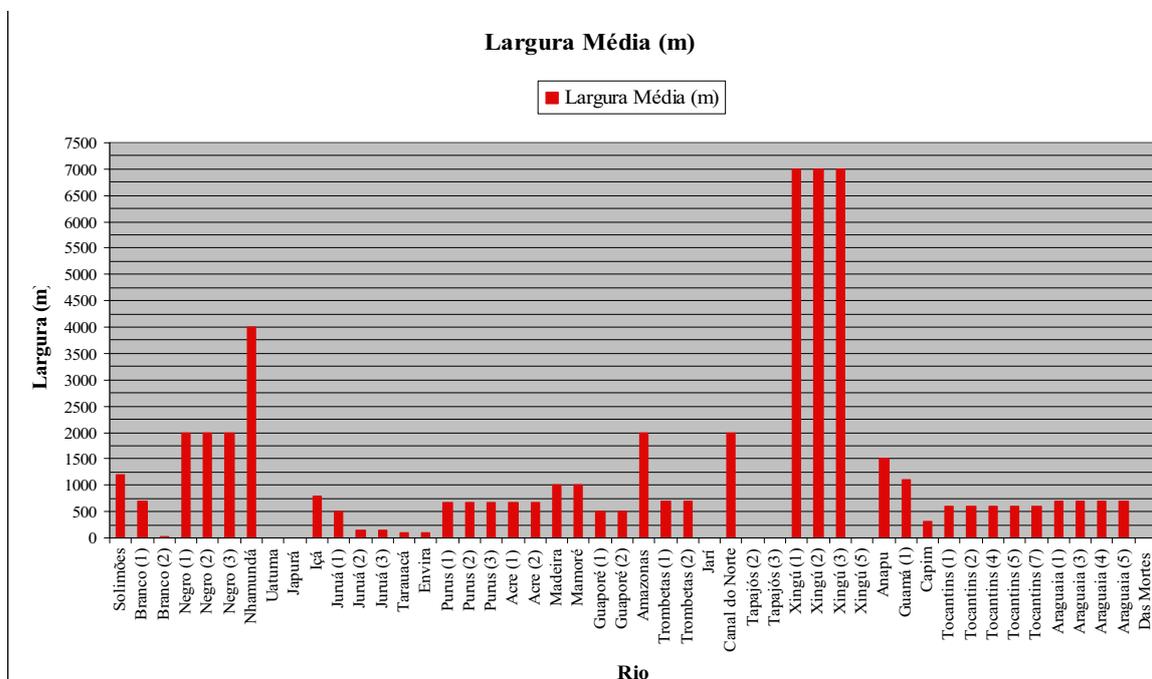


Figura 7.6 – Larguras médias dos rios da Região Amazônica (Fonte: Ministério dos Transportes, 2000; Sant’Anna, 1998, BNDES, 1998; Godoy & Vieira, 2002).

Sob o ponto de vista de largura, os principais rios da Região Amazônica analisados nesse estudo não apresentam problemas, isto é, as larguras não produzem restrições de navegabilidade. A Figura 7.6 mostra a variação das larguras médias dos principais rios da Região Amazônica. A maior parte do rio *Xingu* (trechos 1, 2, 3) destaca-se por possuir largura média de 7.000m, o rio *Amazonas* com largura média de 2.000m, o rio *Solimões* com largura média de 1.250m, a *Baía do Marajó* (55.000m), *Canal do Norte* (2.000m), e a grande maioria dos demais rios com larguras médias de aproximadamente 750m.

c) Análise dos alinhamentos dos rios

A análise dos alinhamentos dos rios foi possível, basicamente pela identificação dos rios que possuem inúmeras curvas acentuadas ao longo de seus trajetos, conforme podem ser visto na Tabela 7.1. Informações de autores como Godoy & Vieira (2002) sobre as condições dos rios tais como a sinuosidade, foram usadas em vez de raios de curvaturas que seriam mais adequados. Desta forma, segundo Almeida & Yamashita (2007), os rios

que possuem acentuadas curvas (sinuosidade) e que necessitam de maiores análises em função do alinhamento são *Japurá*, *Juruá*, *Purús* e *Içá*. Apesar de apresentarem tais características, os mesmos foram considerados navegáveis neste estudo.

Subetapa 5.1.4: Identificação de rios navegáveis

Pelas análises das três variáveis (profundidade, largura e alinhamento), foi possível identificar os rios e trechos de rios localizados na Região Amazônica que são navegáveis, e possuem adequadas condições para alocar tráfegos de determinados tipos de embarcações. Os rios e trechos de rios navegáveis são: *Içá*, *Solimões*, *Purús*, *Juruá*, *Japurá*, *Negro*, *Madeira*, *Nhamundá*, *Trombetas*, *Tapajós*, *Amazonas*, *Jarí*, *Xingu*, *Anapu*, *Canal do Norte*, *Baía do Marajó*, *Guamá* e *Capim*. A Figura 7.7 apresenta destacado em linhas vermelhas, os rios navegáveis na Região Amazônica. A Tabela 7.1 sumariza os mesmos rios de acordo com os critérios utilizados na análise de navegabilidade.

Tabela 7.1 – Características dos rios navegáveis na Região Amazônica.

Trechos	Comprimento (km)	Largura Média (m)	Calado admissível (m)	Alinhamento
Solimões	1.620	1.210	4,00	Regular
Negro (1 e 2)	801	2.000	1,90	Regular
Negro (3)	270	2.000	1,90	Regular
Nhamundá	155	4.000	1,30	Regular
Japurá	721	(*)	1,00	Sinuoso
Içá	358	800	1,60	Sinuoso
Juruá (1)	1.650	500	1,60	Sinuoso
Purus (1)	1.688	670	1,60	Sinuoso
Madeira	1.100	1.000	2,30	Regular
Amazonas	1.488	2.000	6,50	Regular
Trombetas (1)	120	700	6,50	Regular
Trombetas (2)	140	700	1,00	Regular
Jarí	110	(*)	1,90	Regular
Tapajós (1)	170	18.000	5,00	Regular
Tapajós (2)	110	(*)	2,50	Regular
Tapajós (3)	47	(*)	1,20	Regular
Xingu (1)	58	7.000	5,30	Regular
Xingu (2)	115	7.000	2,20	Regular
Xingu (3)	63	7.000	1,30	Regular
Guamá (1)	160	1.100	2,50	Regular
Anapu (1 e 2)	142	1.500	2,50	Regular
Canal do Norte	301	2.000	9,50	Regular
Baía do Guajará	110	55.000	10,00	Regular
Capim	120	300	1,10	Regular
Tocantins (1)	60	600	4,50	Regular
Tocantins (2)	190	600	1,50	Regular

(*) – Dado não disponível. (1, 2 e 3) – Trechos de rios.

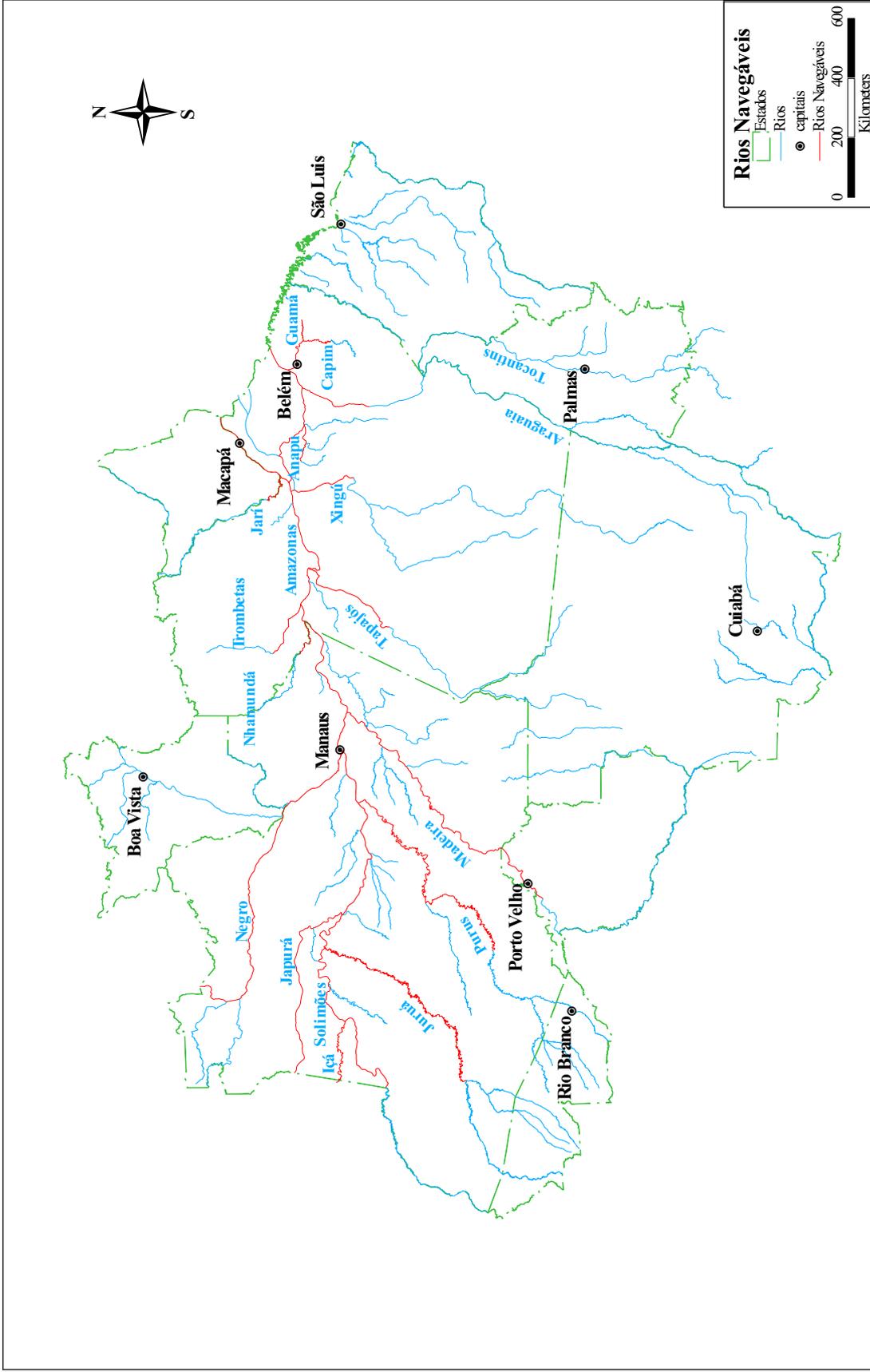


Figura 7.7 – Rios navegáveis na Região Amazônica.

Subetapa 4.2: Análise do Subsistema Rodoviário

Com relação ao subsistema rodoviário, a situação atual das rodovias (projetada, planejada, implantada) e características físicas (pavimentada, leito natural, em pavimentação) foram fatores fundamentais na análise das rodovias. Consideraram-se, assim, dentre todas as rodovias existentes na Região Amazônica, somente as rodovias implantadas.

Ao analisar as rodovias implantadas na região, verificou-se um índice muito baixo de rodovias/km², isto é, existe 1 km de rodovia para cada 58,4 km² de área (DNIT, 2003). Os Estados que possuem as maiores extensões de rodovias são: Maranhão (19.485,40km); Mato Grosso (16.317,00km); Rondônia (14.568,00km); e Pará (13.963,10km) (Tabela 7.2).

Tabela 7.2 – Características das rodovias implantadas na Região Amazônica.

Estado	Rodovias Implantadas	
	Não Pavimentadas (km)	Pavimentadas (km)
Rondônia	13.038,0	1.530,0
Acre	2.642,6	916,2
Amazonas	3.563,6	1.462,8
Roraima	5.331,9	1.092,8
Pará	9.782,0	4.181,1
Amapá	1.563,5	306,0
Tocantins	283,4	1.591,5
Maranhão	12.577,0	6.908,4
Mato Grosso	11.566,6	4.750,4
Total	60.348,6 (73,6%)	22.739,2 (27,4%)

Fonte: DNIT (2003).

Com exceção do Estado do Pará, os Estados que possuem as maiores quantidades de rodovias são desprovidos de grandes recursos hídricos. Mesmo no Pará, a maioria das rodovias encontra-se nas regiões nordeste e sudeste, onde não existem tantos rios (Figura 7.8). Já nos demais Estados e até mesmo em algumas áreas do Pará o solo é menos resistente dificultando e encarecendo a construção de rodovias (Pessoa, 2004).

A Tabela 7.2 apresenta uma visão geral do subsistema rodoviário na Região Amazônica a ser usada no desenvolvimento da rede de transporte multimodal de carga. Do total de rodovias implantadas na região, apenas 27,4% são pavimentadas, e 73,6% são não pavimentadas. Isso demonstra que, a grande maioria das rodovias que são usadas para definir os arcos da rede de transporte está em leito natural, proporcionando uma velocidade média para o deslocamento dos veículos de carga em torno de 30 km/h, segundo

informações de empresas transportadoras rodoviárias de carga. A Figura 7.8 apresenta a localização das rodovias implantadas na Região Amazônica, na qual se podem visualizar espacialmente os números apresentados na Tabela 7.2.

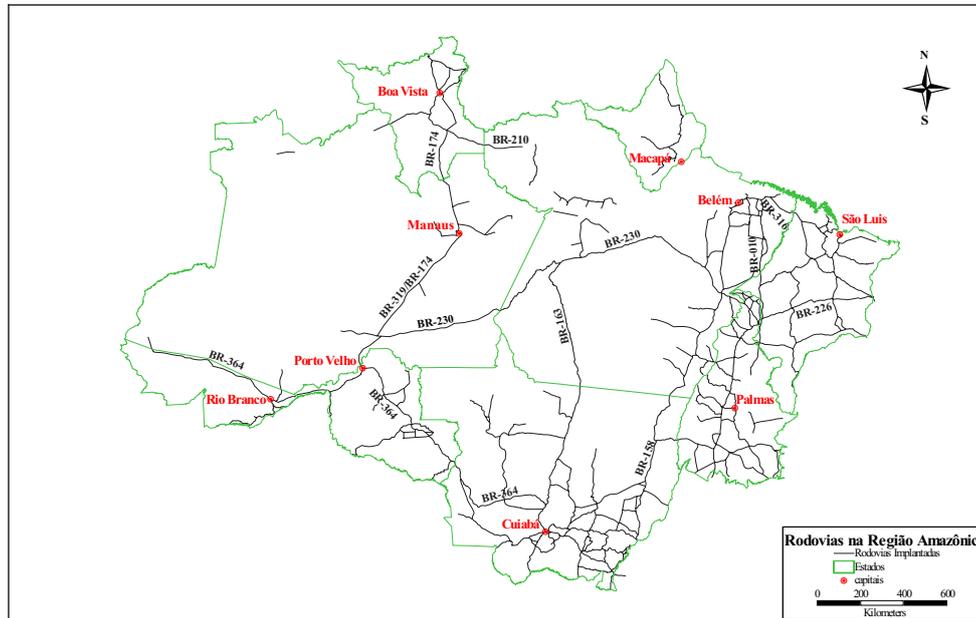


Figura 7.8 – Espacialização das rodovias implantadas na Região Amazônica.

Subetapa 4.3: Análise do Subsistema Ferroviário

Dentre as poucas ferrovias existentes na Região Amazônica, quatro são consideradas importantes no desenvolvimento da rede de transporte básica, a *Estrada de Ferro de Carajás (EFC)* e a *Ferrovias Norte-Sul* (Figura 7.3). A primeira encontra-se em pleno funcionamento, ligando a mina de ferro de Carajás ao porto de Itaqui/Ponta da Madeira no Maranhão, utilizada basicamente no transporte de minérios da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD). Quanto a Ferrovias Norte-Sul, esta possui apenas um trecho de 226 km em funcionamento, ligando os municípios Maranhenses de Estreito (Porto Franco) e Açailândia onde se encontra com a Estrada de Ferro de Carajás. A Ferrovias Norte-Sul, sob responsabilidade da VALEC S.A., está em processo contínuo de implantação.

As demais ferrovias, tais como a *Estrada de Ferro Amapá (EFA)* e a *Estrada de Ferro Trombetas (EFT)* são igualmente consideradas no desenvolvimento da rede de transporte. Com uma extensão de 194 km, a *Estrada de Ferro do Amapá (EFA)* encontra-se em baixa operação de carga, sendo caracterizada hoje mais pelo transporte de passageiros. Com relação à *Estrada de Ferro Trombetas*, esta opera basicamente no escoamento de bauxita

das minas da Mineração Rio do Norte (Serra do Saracã, município de Oriximiná), ao Porto Trombetas, em um total de apenas 30 km, ou seja, uma operação bem concentrada dentro do território de um único município. A Tabela 7.3 apresenta as ferrovias atualmente em operação, as quais serão usadas no desenvolvimento da rede de transporte.

Tabela 7.3 – Principais ferrovias a serem usadas na elaboração da rede de transporte na Região Amazônica.

Ferrovia	Concessionária	Extensão (km)	Interconexão Ferroviária	Interconexão Portuária
EFC	CVRD	892	Ferrovia Norte-Sul (Açailândia-MA)	Terminal da Ponta da Madeira (Itaqui-MA)
Norte-Sul	VALEC S.A	226	Estrada de Ferro de Carajás (Açailândia-MA)	Não existe
E.F.Amapá	ICOMI	194	Não existe	Porto de Santana – AM
Trombetas	Mineração Rio do Norte	30	Não existe	Porto Trombetas – PA

Fonte: ANTT (1997).

Subetapa 4.4: Análise do Subsistema Portuário

Quanto aos portos localizados na região, estes foram analisados segundo a capacidade e a movimentação de cargas existente, o que permitiu a classificação dos portos em *marítimos* e *terminais hidroviários*, a identificação dos principais produtos movimentados em tais portos, e as origens e destinos dos respectivos produtos. Os portos e terminais hidroviários analisados (Figura 7.9) são:

a) Portos marítimos: porto de Manaus (AM), porto de Belém (PA), porto de Santarém (PA), porto de Vila do Conde (PA), porto de Macapá (AP), porto Trombetas (PA), e o porto de Itaqui/Ponta da Madeira (MA). A Tabela 7.4 apresenta as principais características dos portos marítimos localizados na Região Amazônica.

Tabela 7.4 – Principais características dos portos marítimos da Região Amazônica.

Porto	Canal de Acesso (m)		Bacia de Evolução		Cais (m)		Área Instalada (m²)
	Largura	Profund.	Largura	Profund.	Profund.	Compr.	
Vila do Conde	3.200	9	(*)	(*)	(*)	543	20.500
Belém	90	9-10	500	7-9	2,5-9,2	1.935	22.864
Santarém	1.800	15	1.500	15	10-16	520	10.400
Trombetas	400	11,6	700	11,6	9,5-11,6	100	(*)
Manaus	500	35	1.260	35	35-45	2.226	34.000
Macapá	500-800	10	(*)	(*)	(*)	260	24.570
Itaqui	1.800	30	1.000	14	9-11	710	170.000

Fonte: Ministério dos Transportes (2006). (*) – Dado não disponível.

b) Terminais hidroviários: de Coari, Itacoatiara e Parintins, no Estado do Amazonas; de Porto Velho em Rondônia; terminais de Itaituba e Altamira no Estado do Pará. Na Tabela 8.5 encontram-se as movimentações de cargas dos terminais hidroviários localizados na Região Amazônica, os quais são usados na elaboração da rede de transporte, juntamente com os portos marítimos.

Ao analisar os dados da Tabela 7.5, percebe-se que existem movimentações concentradas de determinadas cargas em portos ou terminais hidroviários específicos. Alguns casos merecem destaque, como por exemplo:

- **Porto de Vila do Conde:** grande movimentação de minerais extraídos no município de Oriximiná, com destaque para a alumina, o alumínio e a bauxita;
- **Porto de Belém:** grande movimentação de bauxita, celulose e GLP, além da madeira produzida em Portel e municípios próximos;
- **Porto de Santarém:** elevada movimentação de madeira;
- **Porto de Manaus:** movimentação de madeira, petróleo e derivados, além da soja em grãos;
- **Porto de Macapá:** elevada movimentação de cavaco de madeira e casca de pinus;
- **Porto de Itaquí/Ponta da Madeira:** grande movimentação de produtos minerais extraídos e beneficiados na Serra dos Carajás, entre os quais, destacam-se o minério de ferro, ferro gusa, alumínio, alumina, bauxita, além da soja e derivados de petróleo;
- **Porto de Porto Velho:** grande movimentação de soja, produzida principalmente no Estado do Mato Grosso, além do arroz, também produzida no Estado do Mato Grosso, e a farinha de mandioca.

Além da movimentação de cargas acima descrita, percebe-se que em alguns outros terminais hidroviários existem carregamento e descarregamento de importantes produtos, mas que por indisponibilidade de dados não foi possível identificar a quantidade movimentada. Neste caso, pode-se citar: terminal hidroviário de Itacoatiara que movimenta soja e madeira; terminal hidroviário de Coari que movimenta derivados de petróleo e gás natural; terminal de Parintins que movimenta carga geral; e o terminal hidroviário de Itaituba, onde existem carregamentos e descarregamentos de madeira, entre outros.

Tabela 7.5 – Movimentação portuária de cargas nos principais portos da Região Amazônica – Ano 2000 (continua).

Porto	Produto	Cais Público						Fora do Cais									
		Longo Curso (t)			Cabotagem (t)			Fluvial (t)			Longo Curso (t)			Cabotagem (t)			
		Impor.	Expor.	Desem.	Emb.	Desem.	Emb.	Desem.	Emb.	Desem.	Emb.	Impor.	Expor.	Desem.	Emb.	Desem.	Emb.
Vila do Conde ¹	Alumina	8.127	811.078		62.825												
	Alumínio		360.238														
	Madeira		12.037														
	Hidrato de alumina		51.960														
	Bauxita			4.116.553													
Belém ¹	Madeira		513.487		1.150	8.731					2.947				9.590		
	Arroz (beneficiado)			1.577													
	GLP	81.992		69.019		38.772											
	Bauxita											3.969.367				7.189.379	
	Celulose											272.000				10.818	10.256
Santarém ¹	Casca de pinus																
	Madeira		82.746			74.748										53.493	
	Arroz			172													
	Farinha de mandioca																
	Soja																
Trombetas ¹	Bauxita																
	Arroz			5.987													
Manaus ¹	Madeira	17	13.044	170	1.850												
	Petróleo											171.770		1.524.701		254.037	
	Derivados de petróleo											1.072.527		339.965		272.419	
	Soja (em grão)											905.066					
Itacoatiara ²	Soja																
	Madeira																
Macapá ¹	Cavaco de madeira		607.966														
	Casca de Pinus																

Fonte: Antaq (2006). (*) – Dado não disponível. (¹) porto marítimo, (²) terminal hidroviário.

Tabela 7.5 – Movimentação portuária de cargas nos principais portos da Região Amazônica – Ano 2000.

Porto	Produto	Cais Público						Fora do Cais											
		Longo Curso (t)			Cabotagem (t)			Fluvial (t)			Longo Curso (t)			Cabotagem (t)			Fluvial (t)		
		Impor.	Expor.	Desem.	Desem.	Emb.	Emb.	Desem.	Emb.	Emb.	Impor.	Expor.	Desem.	Emb.	Emb.	Desem.	Emb.	Emb.	
Itaquí ¹	Minério de ferro		4.051.843					4.051.843											
	Minério de manganês		491.018					491.018											
	Ferro gusa		1.532.850					1.532.850											
	Soja		559.987					559.987											
	Alumínio		292.370					292.370											
	Derivados de petróleo	2.419.563	37.301	794.588				3.214.151	1.546.989										
	Petróleo					1.506.388													
	Carvão/coque										273.981								
	Bauxita															3.048.623			
	Alumina													246.741					
Porto Velho ²	Farinha de mandioca								659										
	Soja em grãos																		
	Madeira																		
	Arroz																		
	Óleo de soja																		
Coari ²	Gás natural																		
	Petróleo																		
Altamira ²	Derivados de petróleo																		
	Carga geral																		
Itaituba ²	Madeira																		

Fonte: Antaq (2006). (*) – Dado não disponível. (¹) porto marítimo, (²) terminal hidroviário.

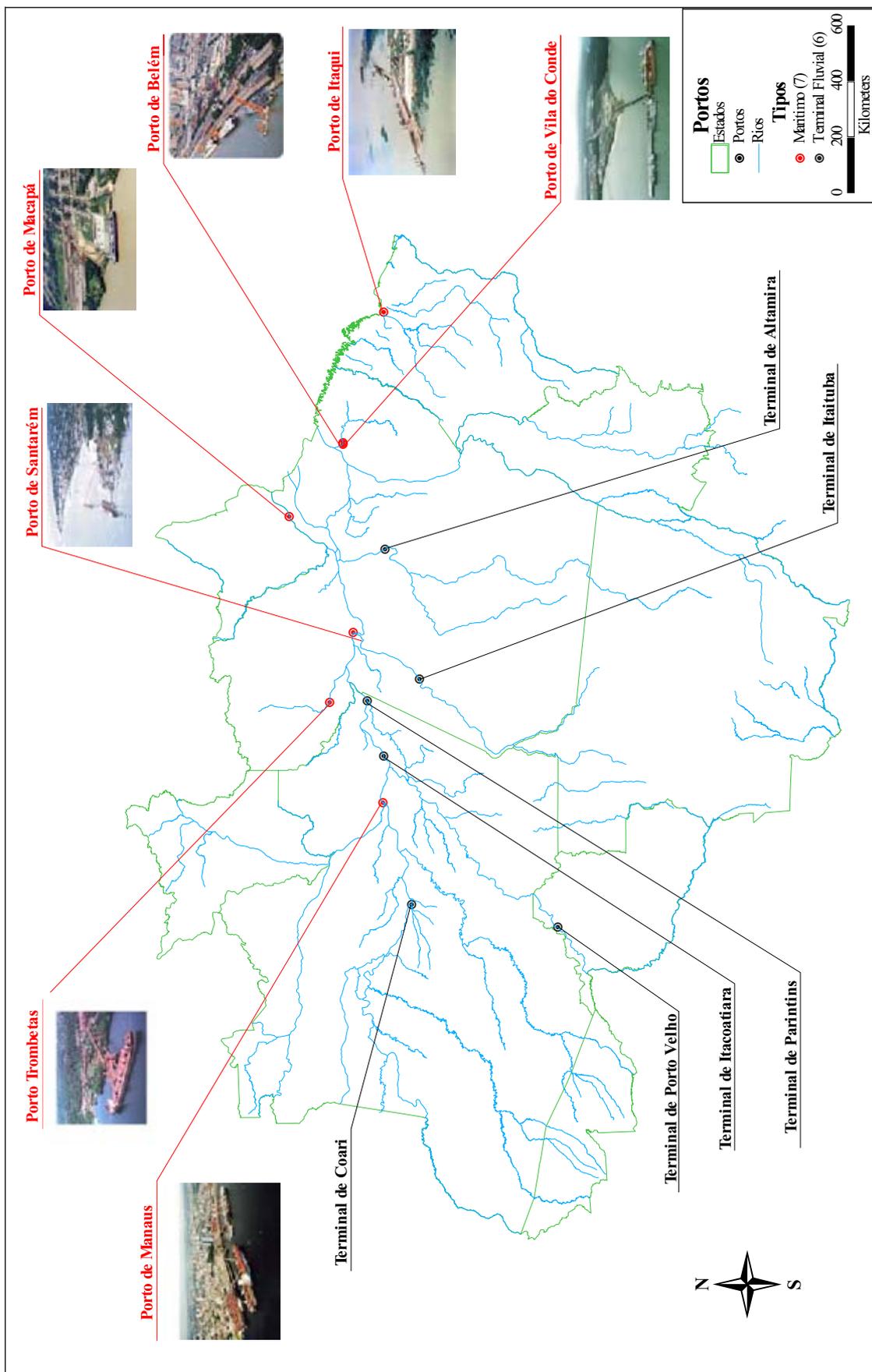


Figura 7.9 – Principais portos marítimos e terminais hidroviários localizados na Região Amazônica.

ETAPA 5: IDENTIFICAÇÃO DE PÓLOS DE CRESCIMENTO (PC)

A identificação dos Pólos de Crescimento na Região Amazônica foi realizada por meio de três Subetapas principais: determinação das indústrias motrizes; identificação de áreas em potencial para PC; e finalmente a identificação de PC. É importante destacar que cada Subetapa é constituída por outras atividades.

As Subetapas que constituem esta etapa foram elaboradas utilizando as bases teóricas que constituem a Teoria dos Pólos de Crescimento e Pólos de Desenvolvimento, e as ferramentas estatísticas da Análise Espacial (para maiores detalhes ver ANEXO 1). A integração destes dois fundamentos tornou possível a identificação dos PC, elemento importante para identificar os nós da rede de transporte multimodal de carga na Região Amazônica. As atividades que constituem esta etapa são descritas a seguir.

Subetapa 5.1: Determinação de Indústrias Mtrizes

A primeira atividade, e talvez a mais importante a ser executada nesta etapa metodológica, é a determinação das indústrias motrizes. Considerando a estrutura da Figura 6.3, a qual traduz as ações que fundamentam a base da Teoria dos Pólos de Crescimento e Pólos de Desenvolvimento, parte-se da identificação dos produtos produzidos na Região Amazônica para se identificar as atividades econômicas existentes, e como consequência determinar as indústrias motrizes, que serão fundamentais para a identificação dos PC.

Para a identificação dos produtos e das atividades econômicas, foi preciso coletar os valores de produção dos produtos mais produzidos na região, analisá-los, e determinar, por meio da Curva ABC, quais são considerados economicamente mais importantes. Aos itens mais importantes, segundo a ótica do valor, dá-se a denominação de itens da classe A, aos intermediários, itens da classe B, e aos menos importantes, itens da classe C (Pereira, 1999). A experiência mostra que poucos itens, de 10% a 20% do total, são da classe A, enquanto uma grande quantidade, em torno de 50%, é da classe C e 30% a 40%, são da classe B (Pereira, 1999).

A Tabela 7.6 apresenta a lista dos vinte produtos analisados, segundo os valores de produção em (R\$). As linhas em destaque apresentam os produtos mais importantes (classes A e B) em termos de valor de produção, isso segundo demonstra a Curva ABC (Figura 8.10). A classificação por classes é apresentada como:

- Classe A = 4, 20% dos produtos representam 54,33% do valor total da produção na Região Amazônica, exigindo assim uma atenção maior com tais produtos;
- Classe B = 6, 30% dos produtos representa 13,23% do valor total da produção na Região Amazônica, exigindo assim uma atenção mediana com tais produtos;
- Classe C = 10, 50% dos produtos representa 32,44% do valor total da produção na Região Amazônica, exigindo assim menos atenção para com este produto.

Tabela 7.6 - Curva ABC: valor de produção dos produtos da Região Amazônica - Ano 2000 (Fonte: IBGE, 2001a; IBGE, 2001b; DNPM, 2001; INPA, 2003).

Produtos	Valor de Produção (R\$)	Valor de Produção Acumulado	% Sobre o Valor Total Acumulado	Classificação Ordenada
Soja	2.283.324.000,00	2.898.288.980,00	27,22883062	1
Ferro	1.351.064.014,00	4.249.352.994,00	39,92	2
Arroz	797.524.000,00	5.046.876.994,00	47,41	3
Petróleo	735.902.790,00	5.782.779.784,00	54,3280302	4
Mandioca	714.826.000,00	6.497.605.784,00	61,04367388	5
Madeira	693.594.000,00	7.191.199.784,00	67,55984728	6
Algodão	607.811.000,00	7.799.010.784,00	73,27010698	7
Milho	497.470.000,00	8.296.480.784,00	77,94373561	8
Banana	483.161.000,00	8.779.641.784,00	82,48293413	9
Alumínio	436.997.218,00	9.216.639.002,00	86,58843337	10
Caulim	306.290.482,00	9.522.929.484,00	89,46596964	11
Café	305.857.000,00	9.828.786.484,00	92,33943343	12
Gás Natural	289.828.980,00	10.118.615.464,00	95,06231727	13
Pimenta-do-Reino	140.897.000,00	10.259.512.464,00	96,38601569	14
Feijão	106.804.000,00	10.366.316.464,00	97,38941737	15
Estanho	101.772.424,00	10.468.088.888,00	98,34554842	16
Bauxita	67.782.073,00	10.535.870.961,00	98,98234709	17
Calcário	52.005.590,00	10.587.876.551,00	99,47092895	18
Latex	35.149.000,00	10.623.025.551,00	99,8011466	19
Cromo	21.166.338,00	10.644.191.889,00	100	20

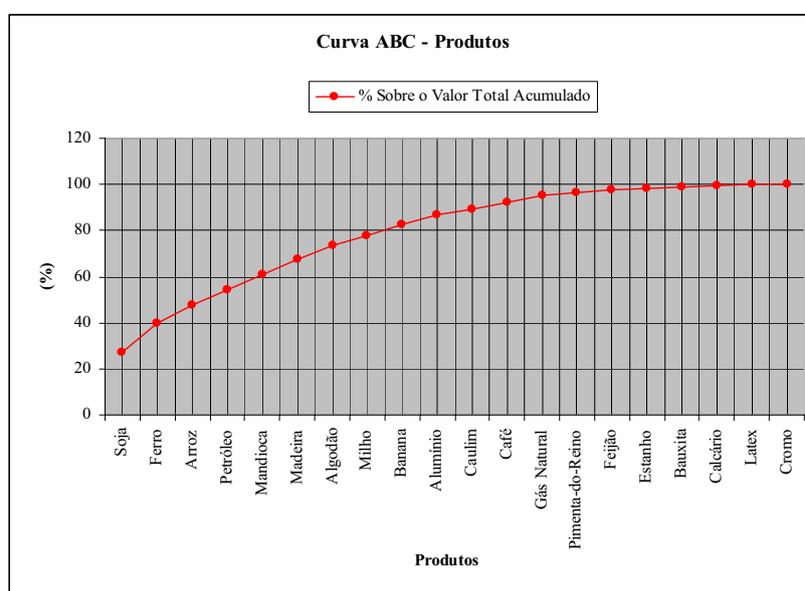


Figura 7.10 – Curva ABC do valor de produção dos produtos da Região Amazônica - ano 2000.

Os produtos, portanto, mais importantes economicamente para a Região Amazônica, e que merecem maior atenção são, nesta ordem: soja, ferro, arroz, petróleo, mandioca e madeira.

As atividades de extração e produção de tais produtos foram usadas para determinar as indústrias motrizes que nortearam a identificação dos PC na Região Amazônica.

Segundo Perroux, o pólo de crescimento surge em função de um complexo industrial e que se caracteriza pela presença de uma indústria motriz ou indústria-chave. As indústrias motrizes são quase sempre aquelas que produzem matérias-primas, transporte, entre outros, e estendem suas funções às atividades industriais, e também as atividades primárias, tais como exploração mineral, extração vegetal e produção agrícola.

Sendo assim, os produtos economicamente mais importantes identificados na Região Amazônica se caracterizam por constituir atividades tanto primárias quanto industriais, e produzem matérias-primas e transporte, gerando assim complexos industriais conexos. Logo, as indústrias motrizes determinados na Região Amazônica são de produção de soja, arroz e mandioca, e extração e/ou beneficiamento de ferro, petróleo e mandioca.

Subetapa 5.2: Identificação de Áreas em Potencial para PC

Uma vez identificadas as indústrias motrizes referentes a extração e/ou beneficiamento de soja, ferro, arroz, petróleo, mandioca e madeira, passa-se a identificação de áreas em potencial para PC, e o que vem ser tais áreas em potencial. Na realidade, as áreas em potencial são porções do espaço dentro da Região Amazônica, representadas pelos municípios que em primeira análise, possuem os maiores valores de produção produzidos pelas indústrias motrizes determinadas na subetapa 5.1. Para identificar as áreas em potencial é necessário executar duas atividades: geração de mapas temáticos da distribuição dos produtos que movem a indústria motriz; e análise da distribuição espacial dos produtos a fim de identificar áreas em potencial.

Subetapa 5.2.1: Geração de Mapas Temáticos da Distribuição dos Produtos

Usando os mapas temáticos tipo área, criados na Etapa (2), foram obtidos seis mapas, um para cada produto (soja, ferro, arroz, petróleo, mandioca e madeira) determinado na etapa anterior. Nos mapas de cada produto são incluídas as áreas de produções e os seus respectivos valores de produção, pois estes são usados para editar os mapas de distribuição. Deste modo, gerou-se um mapa de distribuição espacial dos valores de produção para cada produto. Realizaram-se análises espaciais em tais mapas, com o propósito de identificar espacialmente grupos de municípios que possuem os maiores valores de produções.

Subetapa 5.2.2: Análise da Distribuição Espacial dos Produtos Para a Identificação de Áreas em Potencial para PC

Depois que os seis mapas temáticos referentes aos valores de produção de soja, ferro, arroz, petróleo, mandioca e madeira foram gerados, deu-se início as análises da distribuição espacial dos produtos a fim de identificar as áreas em potencial.

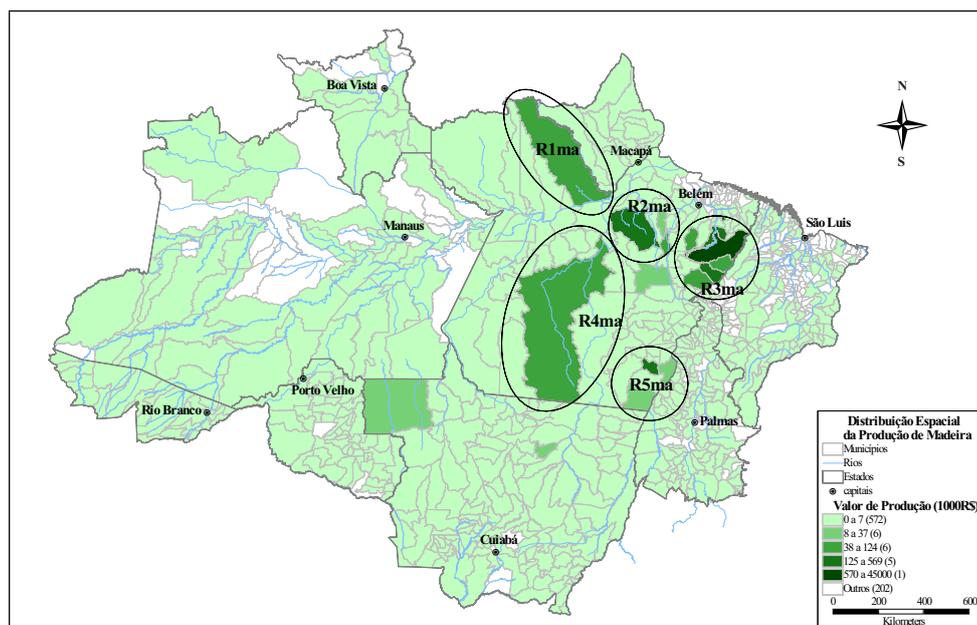


Figura 7.11 – Distribuição espacial do *valor de produção da madeira* na Região Amazônica – ano 2000.

Na Figura 7.11 acima, observam-se cinco regiões delimitadas (R1ma, R2ma, R3ma, R4ma, R5ma), que possuem os maiores valores de produção da madeira. Percebe-se que, apesar da produção de madeira estar distribuída em quase toda a Região Amazônica, os maiores valores de produção estão localizados no Estado do Pará (regiões Sul, Sudeste, extremo Norte e Centro-oeste), mostrando sua especificidade para com tal atividade econômica. Essas regiões, em uma primeira análise, podem ser consideradas potencialmente como PC. Todavia, se faz necessário confirmar, por meio das técnicas de análise espacial, e validar, por meio da estatística espacial, se tais áreas podem ser consideradas como PC.

Observações semelhantes quanto à confirmação de áreas em potencial foram constatadas aos demais produtos. Assim, torna-se possível validar, por meio da estatística espacial, se as áreas em potencial identificadas nos mapas de distribuição destes produtos podem ser os

PC. As Figuras 7.12, 7.13, 7.14, 7.15 e 7.16 apresentam as distribuições espaciais dos valores de produção da soja, arroz, mandioca, ferro e petróleo respectivamente.

Ao analisar a Figura 7.12, observam-se duas regiões (R1so e R2so), constituídas por municípios das regiões Sul e Sudoeste de Mato Grosso, e que possuem os maiores valores de produção de soja, o que confirma a especificidade do Estado quanto à produção de soja.

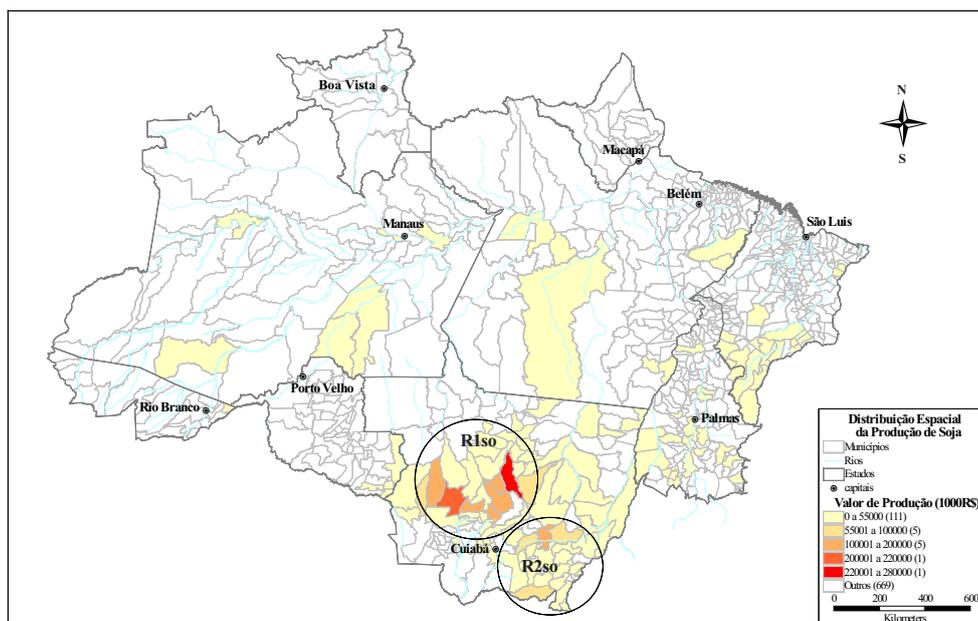


Figura 7.12 – Distribuição espacial do *valor de produção de soja* na Região Amazônica – ano 2000.

Quanto à produção de arroz, verifica-se que tal atividade está presente em quase toda a Região Amazônica, com exceção da região Noroeste e Centro do Estado do Amazonas, além de poucos municípios localizados no Norte do Pará e Amapá (Figura 7.13).

No entanto, ao analisar cuidadosamente o mapa na Figura 7.13, observam-se três regiões delimitadas e que se caracterizam por possuírem os maiores valores de produção de arroz, a primeira localizada na região central de Mato Grosso (R1Ar), a segunda no Sul do Pará (R2Ar), e a terceira, localizada no Sudoeste de Tocantins (R3Ar). Dentre as três regiões citadas, a região R1Ar apresenta o maior valor de produção.

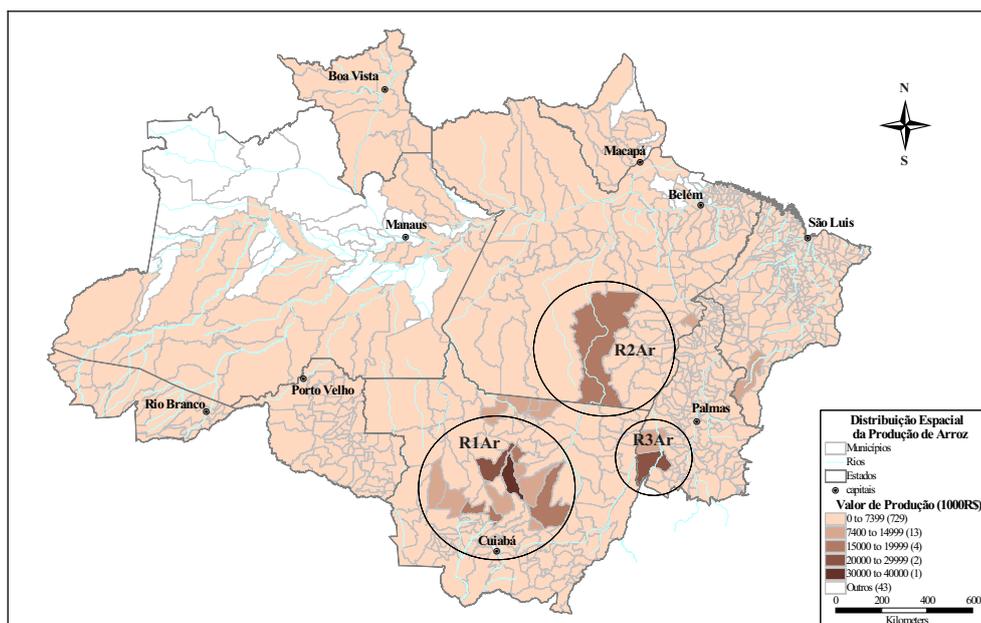


Figura 7.13 – Distribuição espacial do *valor de produção de arroz* na Região Amazônica – ano 2000.

Com relação à produção de mandioca, definitivamente observa-se a forte presença desta atividade na Região Amazônica (Figura 7.14). Apenas seis municípios em toda região não produzem mandioca. No entanto, percebe-se que as sub-regiões que possuem os maiores valores de produção estão localizadas no Estado do Acre (R1mn), Amazonas (R2mn e R3mn), e Pará (R4mn, R5mn e R6mn).

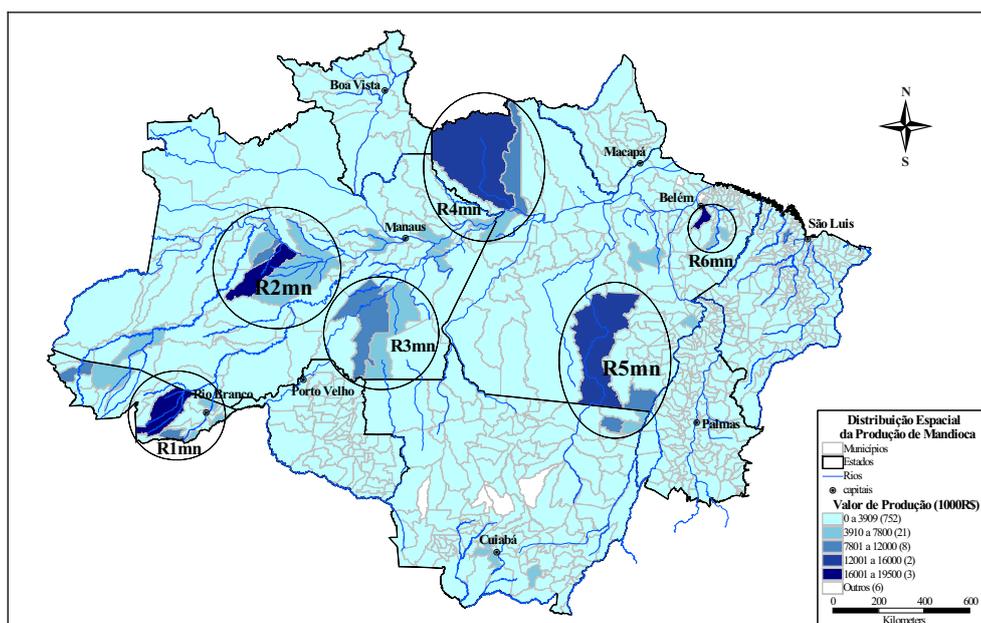


Figura 7.14 – Distribuição espacial do *valor de produção de mandioca* na Região Amazônica – ano 2000.

As Figuras 7.15 e 7.16 apresentam as distribuições espaciais dos valores de produção dos dois últimos produtos, ferro e petróleo respectivamente. Observam-se as produções bem localizadas de ambos os produtos, o ferro na Serra dos Carajás (R1mf), no Estado do Pará, e o petróleo no município de Coarí (R1pe) no Amazonas.

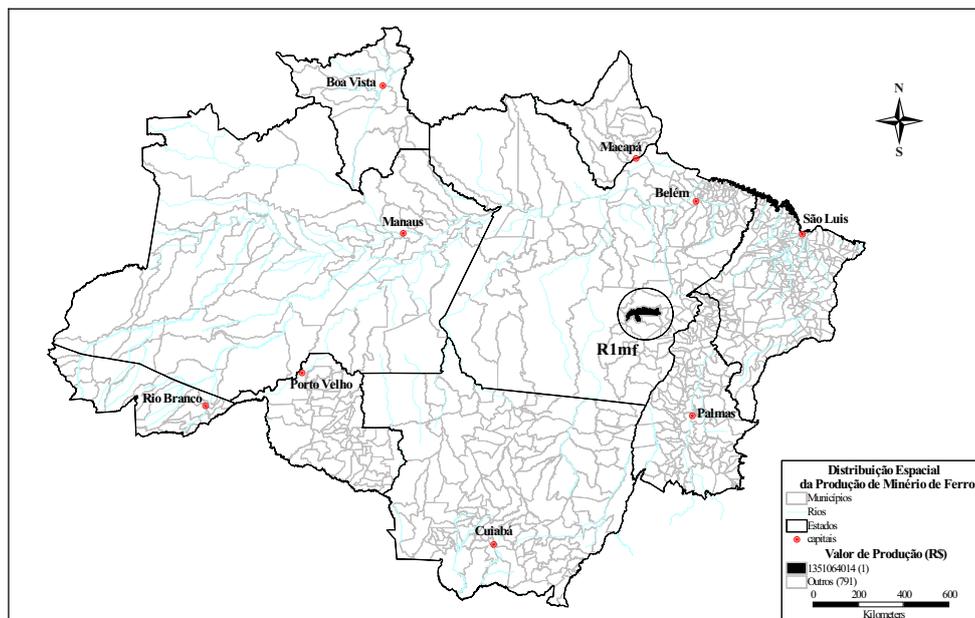


Figura 7.15 – Distribuição espacial do *valor de produção de ferro* na Região Amazônica – ano 2000.

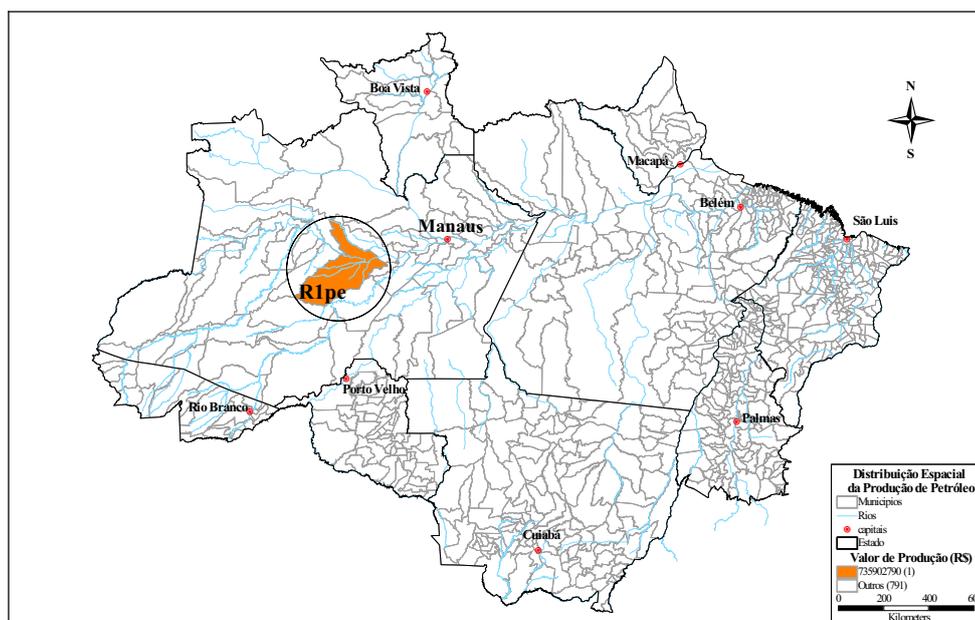


Figura 7.16 – Distribuição espacial do *valor de produção de petróleo* na Região Amazônica – ano 2000.

Subetapa 5.3: Identificação de Pólos de Crescimento (PC)

A etapa de confirmação das áreas em potencial para a identificação de PC, vale-se das ferramentas da estatística espacial, seus índices e mapas que auxiliam na tomada decisão. Isto porque, apesar de serem identificadas as áreas em potencial dos produtos em cada mapa, foi necessário confirmar, por meio da estatística espacial, quais destas áreas compreendem os PC. Para se confirmar tais áreas foi preciso realizar algumas atividades: determinação do Índice Global de Moran para identificar a existência ou não da dependência espacial da produção e o padrão de agregação da produção; Geração do *Box Map* para identificar a relação espacial dos municípios produtores; e Geração do *Moran Map* para identificar os municípios estatisticamente representativos que confirmarão as áreas em potencial; confirmação de áreas em potencial; e identificação de centros dos PC.

Subetapa 5.3.1: Geração do Índice Global de Moran (I)

O primeiro índice que se determinou foi o Índice Global de Moran, que expressa o grau de homogeneidade ou heterogeneidade da área estudada, ou em outras palavras, a dependência espacial entre os municípios produtores. O *I* permite verificar a significância dos produtos na região analisado por meio do nível de homogeneidade espacial dos municípios produtores. Esse valor foi determinado por um *software* livre (TerraView) que possui o ferramental de estatística espacial. O primeiro índice calculado foi para o *produto madeira*, que obteve um valor 33% (Tabela 7.7), indicando que a região possui dependência espacial, porém baixo grau de homogeneidade, ou seja, são poucas as áreas que possuem mesmo padrão de agregação.

Tabela 7.7 – Índices Globais de Moran do valor de produção dos produtos selecionados.

Produto	Índice Global de Moran (%)
Madeira	33
Soja	41
Arroz	40
Mandioca	27

Quanto aos demais produtos, executaram-se os mesmos processos de cálculo do Índice Global de Moran. A Tabela 7.7 apresenta os Índices Globais de Moran para os produtos considerados, os valores de tais índices demonstram que a dependência espacial entre os municípios é positiva no que diz respeito à produção de madeira, soja, arroz e mandioca, pois os valores determinados são acima de zero.

Vale ressaltar que, para os produtos ferro e petróleo, não foram determinados os Índices Globais de Moran, visto que ambos são produzidos apenas nos municípios de Parauapebas e Coari respectivamente, e por esse motivo, torna-se desnecessário analisar estatisticamente a autocorrelação espacial entre estes municípios e os seus vizinhos, ou seja, não é necessário comprovar as áreas em potencial para tais produtos. Sendo, portanto, clara as suas significâncias no processo de identificação dos PC na Região Amazônica.

Subetapa 5.3.2: Geração do Box Map

Nesta subetapa, geraram-se os *Box Map* dos seis produtos, de modo a se determinar como as áreas que representam os municípios produtores da região em estudo estão se relacionando entre si, como exemplo tem-se a Figura 7.17 referente ao produto madeira.

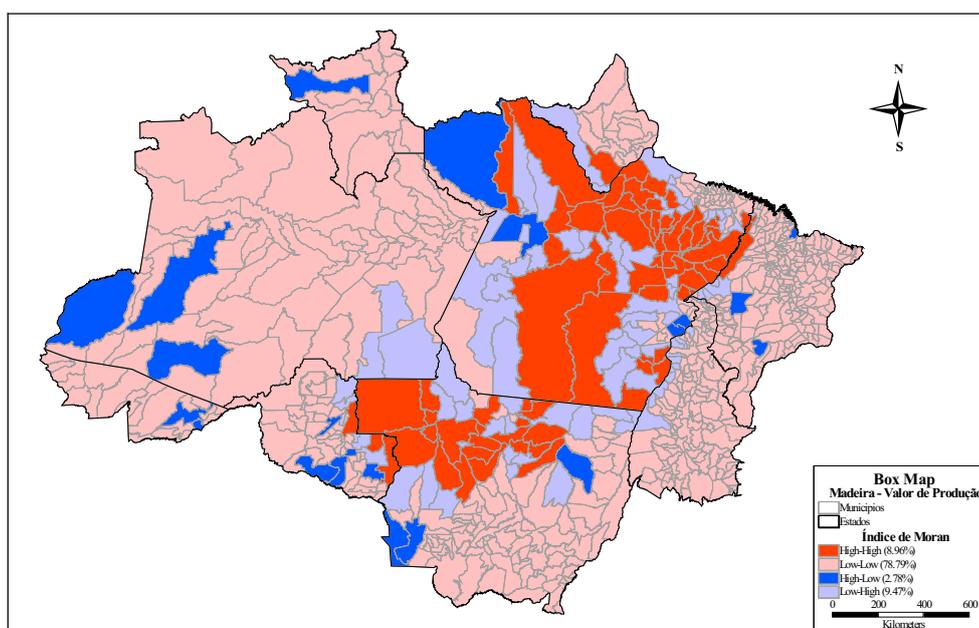


Figura 7.17 – *Box Map* da variável *valor de produção* da madeira na Região Amazônica – ano 2000.

Ao analisar a Figura 7.17 é possível notar que existe um aglomerado de áreas bem definido com mesmo padrão de homogeneidade. Observa-se ainda que as áreas agregadas de cor vermelha são as que se relacionam mais fortemente (*High-High*), devido os valores altos dos atributos, o que coincidem com as áreas em potencial anteriormente identificadas para a madeira (Figura 7.11). As áreas em vermelho, constituídas por municípios, indicam que tais municípios e seus vizinhos possuem o mesmo padrão de elevado valor de produção,

mostrando assim ser um pólo de produção, ultrapassando os limites dos municípios. Ainda na Figura 7.17 observam-se muitas áreas de cor rosa (*Low-Low*), as quais representam municípios que possuem baixos valores de produção, neste caso, tais áreas se relacionam fortemente, mas com padrões semelhantes de valores de produção reduzidos.

Os *Box Map* dos demais produtos foram de igual forma, gerados, os quais podem ser visualizados no ANEXO 2. Em tais mapas foram executadas análises semelhantes ao do produto madeira, de modo a se determinar como as áreas das regiões em estudo estão se relacionando entre si, e fazer uma análise prévia dos padrões de agregação dos municípios.

Subetapa 5.3.3: Geração do Moran Map

O *Moran Map* é gerado, com o objetivo de determinar as áreas significativas estatisticamente a 95% de confiança considerando uma distribuição normal, ou seja, o *Moran Map* permite identificar aqueles municípios que se destacam, dentro de cada região homogênea, por possuir os valores mais significativos, e que representam os PC da Região Amazônica. Por meio do *Moran Map* se observa mais claramente as relações geográficas e as semelhanças entre os municípios no que se refere ao valor de produção, e que traduzem visualmente as ações de atração ou repulsão dos PC, segundo as suas bases teóricas.

Subetapa 5.3.4: Confirmação de Áreas em Potencial

Ao analisar o valor de produção da madeira, o *Moran Map* da Figura 7.18 confirma quais municípios representados em cor vermelha na Figura 7.17 se destacam das demais. Assim, é possível confirmar estatisticamente quais municípios são PC quanto à atividade de produção de madeira.

As áreas em vermelho do *Moran Map* da Figura 7.18 possuem forte correlação e são significativos (*High-High*), enquanto que os demais, na Figura 7.17, não possuem tal padrão, por estarem em uma região de instabilidade, isto é, ora possuem valores de produção elevados, mas de vizinhos com baixos valores de produção (*High-Low*), ora possuem baixos valores de produção, mas de vizinhos com elevados valores de produção (*Low-High*). Não identificando assim, grandes áreas de produção homogêneas que possam ser confirmadas como áreas em potencial.

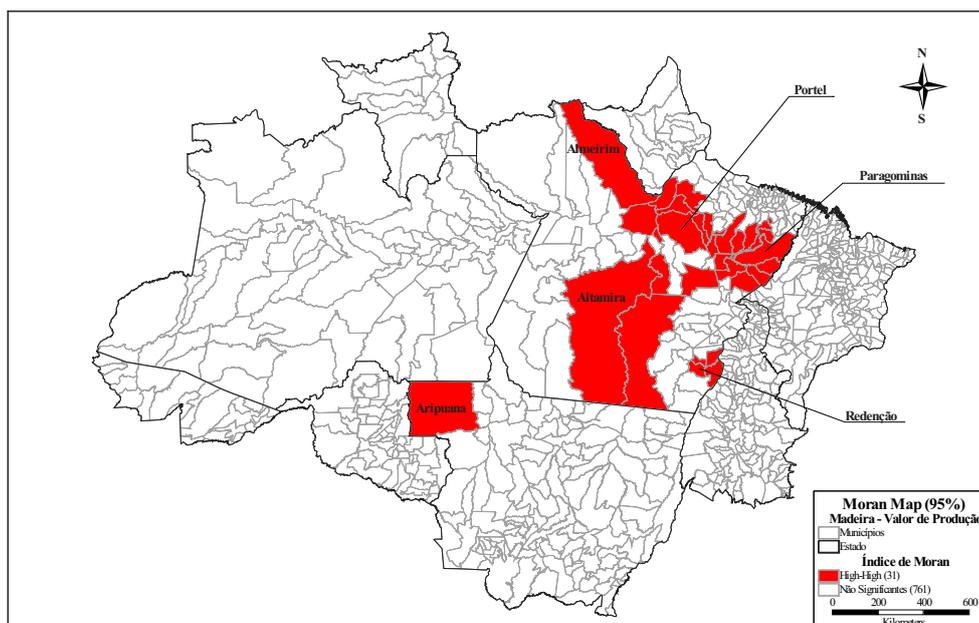


Figura 7.18 – *Moran Map* da variável *valor de produção* de madeira na Região Amazônica – ano 2000.

Nota-se que algumas das áreas, mas nem todas, inicialmente delimitadas como possíveis PC (Figura 7.11), coincidem com as áreas significantes, identificadas no mapa da Figura 7.18. Conclui-se que, a simples visualização da distribuição espacial da variável referente aos valores de produção de madeira não são suficientes para a identificação das áreas que constituem os PC, ou seja, é necessário se valer da estatística espacial para isto.

O município de Aripuanã identificado na Figura 7.18 como significativo é um exemplo que merece destaque, pois este município, a princípio, não foi identificado como área em potencial (Figura 7.11), mas quando se gerou o *Box Map*, observou-se que este município, juntamente com seus vizinhos possui padrão elevado de autocorrelação positiva (*High-High*). O *Moran Map* da Figura 7.18 confirmou estatisticamente que o município de Aripuanã é um PC.

A Figura 7.18 apresenta alguns *clusters* constituídos por municípios de valores de produção de madeira significantes. Tais *clusters* são usados para identificar os PC na Região Amazônica sob o enfoque de valor de produção de madeira. Uma outra observação na Figura 7.18 que merece destaque é a identificação de alguns municípios que possuem elevados valores de produção de madeira, os quais são: *Paragominas* (R\$44.975.000); *Redenção* (R\$34.722.000); *Portel* (R\$33.750.000); *Dom Eliseu* (R\$31.853.000); *Baião*

(R\$25.110.000); *Almeirim* (R\$22.440.000); *Tailândia* (R\$24.000.000); *Altamira* (R\$18.399.000); e *Aripuana* (R\$13.088.000). Este último município, situado no extremo oeste de Mato Grosso, destaca-se mais pela significância estatística obtida em relação aos municípios vizinhos, o que lhe garantiu a condição de pólo.

Finalmente, para os demais produtos foram gerados os *Moran Map*, a fim de identificar as áreas que são significativas a 95% de confiança e em conseqüência, confirmar quais áreas em potencial constituem os PC. As Figuras 7.19, 7.20 e 7.21 representam os *Moran Map* do valor de produção de soja, arroz e mandioca respectivamente.

No caso da soja, arroz e mandioca, alguns pontos merecem destaque. A primeira observação é quanto à presença, nos *Moran Map*, de alguns poucos municípios na cor azul, isso indica que tais municípios apresentam valores de produção elevados, mas que esta característica não passa para os seus vizinhos, isto é, os vizinhos destes municípios não apresentam padrões homogêneos quanto ao valor de produção. Estes municípios não são considerados estatisticamente como PC. Assim, tais municípios são definidos e comprovados, por meio da estatística espacial, como futuros PC, que podem surgir em decorrência de políticas que venham promover o crescimento dessa indústria motriz.

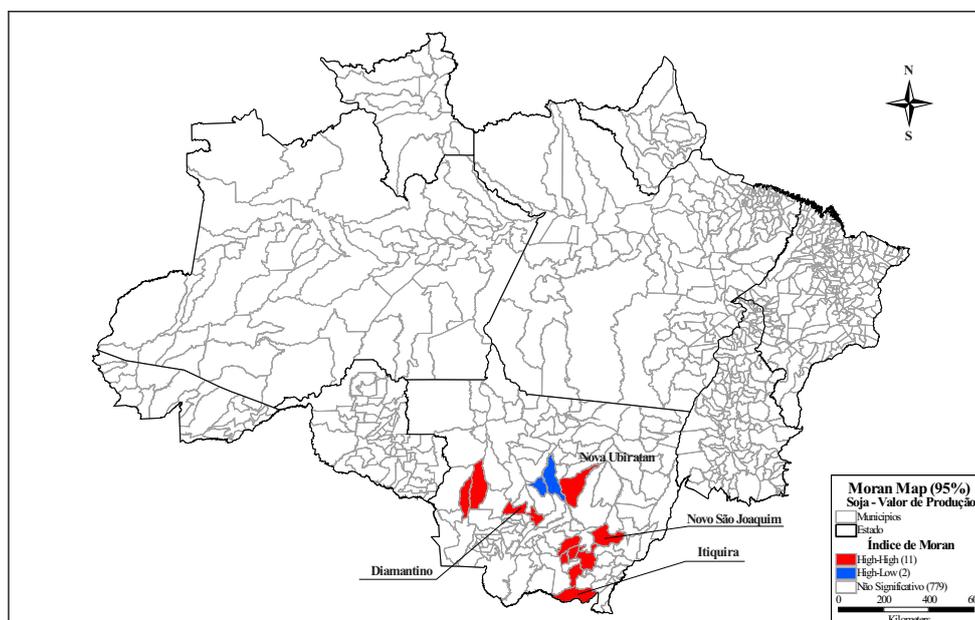


Figura 7.19 – *Moran Map* da variável *valor de produção* de soja na Região Amazônica – ano 2000.

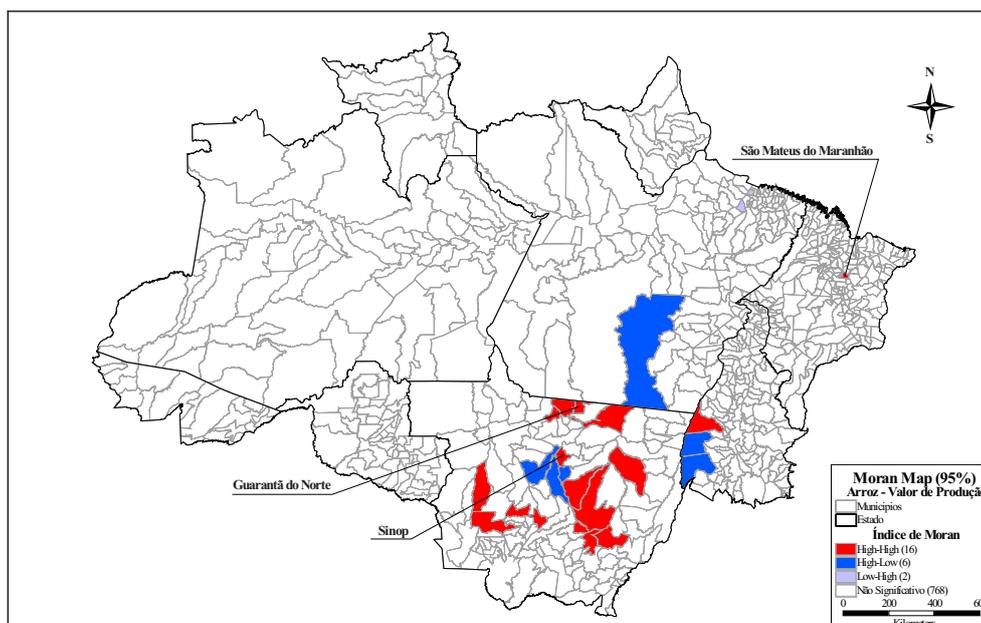


Figura 7.20 – Moran Map da variável *valor de produção* de arroz na Região Amazônica – ano 2000.

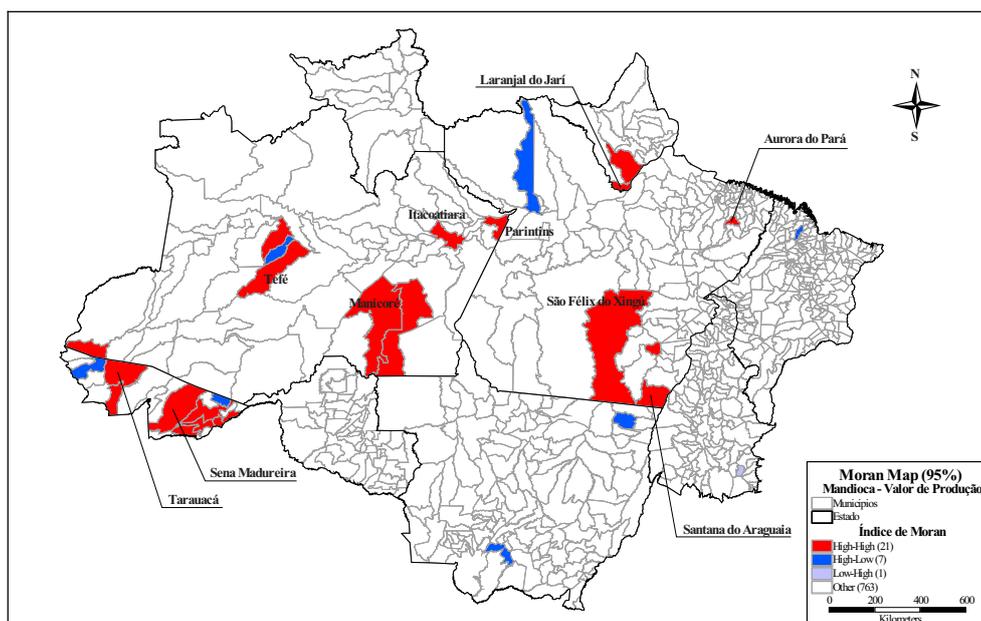


Figura 7.21 – Moran Map da variável *valor de produção* de mandioca na Região Amazônica – ano 2000.

A segunda observação diz respeito à confirmação das áreas em potencial identificadas nos mapas de distribuição da variável *valor de produção* dos produtos soja, arroz e mandioca. Neste caso, toma-se o produto *mandioca* como exemplo. Na Figura 7.14 percebem-se que as áreas em potencial estão localizadas no Acre (R1mn), Amazonas (R2mn e R3mn), e Pará (R4mn, R5mn e R6mn). Dentre estas áreas, somente a área R4mn não é confirmada,

e, quatro diferentes áreas surgem como regiões significativas estatisticamente, conforme mostra a Figura 7.21: a sub-região envolta do município de Tarauacá no Acre, Tefé no Amazonas, e Laranjal do Jarí no Amapá; os municípios de Itacoatiara e Parintins no Amazonas; e o município de Aurora do Pará.

Estas diferenças que surgiram entre as áreas em potencial e as áreas significativas podem ser facilmente compreendidas ao analisar o *Box Map* do valor de produção da mandioca (Figura 7.22). Ao analisar a Figura 7.22, verifica-se que as áreas em volta dos municípios de Tarauacá, Tefé, Laranjal do Jarí, Itacoatiara, Parintins, e Aurora do Pará, possuem padrões (*High-High*) semelhantes de valor de produção, sendo que além destes, todos os demais municípios destacados em vermelho no *Moran Map* da Figura 7.21 se sobressaem dos demais, sendo estes, portanto, os municípios significativos estatisticamente e que são os PC quanto à produção de mandioca na Região Amazônica.

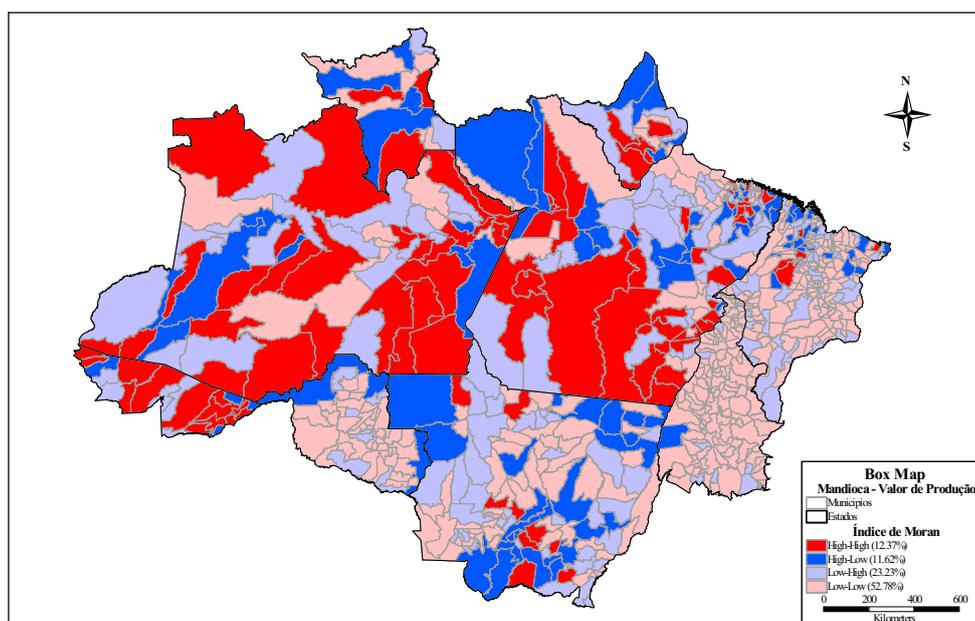


Figura 7.22 – *Box Map* da variável *valor de produção* da mandioca na Região Amazônica.

Da mesma forma como foram analisadas a *madeira* e a *mandioca*, os municípios destacados em vermelho (*High-High*) nas Figuras 7.19 e 7.20 possuem forte correlação espacial e são significativos, enquanto que os demais não possuem tal padrão, por estarem em uma região de instabilidade. Dentre os municípios em vermelho, alguns merecem destaque, devido os elevados valores que estes possuem quanto à produção de produtos.

Subetapa 5.3.5: Identificação de Centros dos PC

Uma vez gerados os Índices Global de Moran dos produtos selecionados, gerados os mapas (*Box e Moran*), confirmadas as áreas em potencial, o próximo passo foi identificar os centros dos PC de cada produto. Isto foi feito, obedecendo aos seguintes critérios:

- utilização dos *Moran Map* gerados para os produtos selecionados, pois estes mapas apresentam os grupos de municípios significativos estatisticamente. No mapa de cada produto, identificaram-se os grupos de municípios (*clusters*) que constituíram os PC;
- para cada *cluster*, determinou-se um município representativo de seu PC;
- a seleção do município que representasse cada PC foi feita em função do maior valor de produção, isto é, o município, dentro de seu *cluster*, que possui o maior valor de produção representa o seu respectivo PC.

Tabela 7.8 – Centros dos PC na Região Amazônica – Ano 2000.

Centros de PC	Indústria Motriz	Valor de Produção (1000R\$)
Paragominas	Madeira	44.975
Portel	Madeira	33.750
Almeirim	Madeira	22.440
Altamira	Madeira	18.399
Redenção	Madeira	34.722
Aripuanã	Madeira	13.088
Campos de Júlio	Soja	79.200
Diamantino	Soja	139.392
Nova Ubiratã	Soja	50.953
Novo São Joaquim	Soja	99.492
Diamantino	Arroz	16.051
Sinop	Arroz	15.360
Guarantã do Norte	Arroz	8.026
Pium	Arroz	3.346
São Mateus do Maranhão	Arroz	3.240
Paranatinga	Arroz	18.212
Tarauacá	Mandioca	7.117
Sena Madureira	Mandioca	18.360
Tefé	Mandioca	19.500
Manicoré	Mandioca	6.874
Itacoatiara	Mandioca	6.840
Parintins	Mandioca	5.927
Laranjal do Jarí	Mandioca	1.964
Aurora do Pará	Mandioca	3.780
São Félix do Xingu	Mandioca	15.369
Parauapebas	Ferro	1.351.064
Coari	Petróleo	735.903

No ANEXO 3 estão os PC dos produtos, madeira, soja, arroz, mandioca, ferro, e petróleo (um pólo), seguindo os critérios acima descritos. Observa-se que para cada PC é indicado

um município que o representa. Esta informação é importante no momento de se determinar as rotas de custo mínimo (*shortest path*) que constituirão a rede de transporte multimodal de carga. A Tabela 7.8 apresenta os PC identificados na Região Amazônica, os seus respectivos municípios representativos (centros), e a indústria motriz que caracterizam cada pólo, para o ano de 2000.

ETAPA 6: DETERMINAÇÃO DA REDE DE TRANSPORTE BÁSICA

Dando prosseguimento, nesta etapa uma rede de transporte básica é determinada para a Região Amazônica. Tal rede é de fundamental importância na medida em que é a base, constituída pela infra-estrutura de transporte existente e o pólos de crescimento, onde são alocadas as viagens geradas e compostos os cenários, os quais definirão a rede de transporte multimodal de cargas na Região Amazônica.

Na realidade, a determinação da rede de transporte básica, seguindo a seqüência lógica das etapas constituintes do método, é consequência das demais atividades executadas anteriormente, isto é, o diagnóstico, identificação de PC e análises da infra-estrutura de transporte, são etapas são fundamentais na determinação da rede de transporte básica. No entanto, nesta etapa, três importantes atividades foram executadas para se definir a rede de transporte básica: determinação de nós; determinação de arcos e geração da rede de transporte básica.

Subetapa 6.1: Determinação de Nós

A primeira atividade executada nesta etapa foi à determinação dos nós, neste caso, foi necessário distinguir dois tipos de nós, *centróides* e *de conexão*. O primeiro foi determinado em função dos PC, identificados na Etapa (3), e dos portos marítimos, analisados na Etapa (5). Os *nós de conexão* são definidos juntamente com os arcos quando interceptam os arcos que ligam os centróides, criando assim, os nós de conexão.

a) Nós centróides

Dentro de cada *cluster*, que constitui os PC, é identificado o município que possui o maior valor de produção e é servido pela infra-estrutura de transporte existente, o qual é definido como o *nó centróide* de seu respectivo *cluster*. Esta operação foi executada para todos os *clusters* dos PC identificados na Região Amazônica.

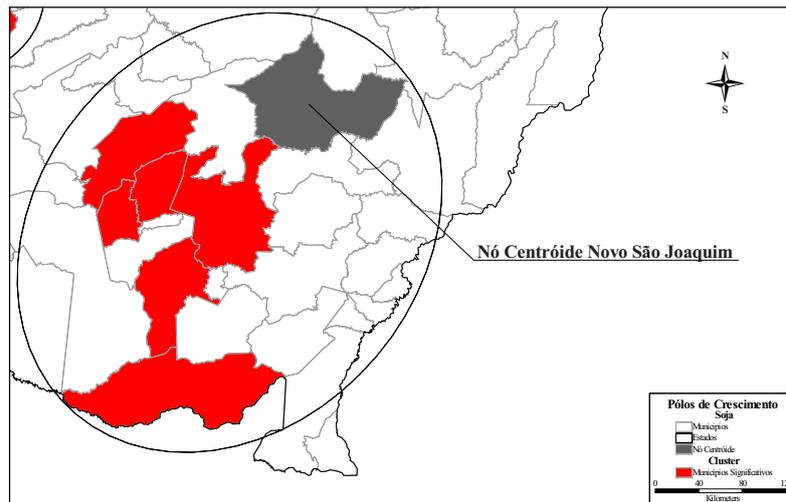


Figure 7.23 – Representação gráfica do *nó centróide Novo São Joaquim*.

Os nós centróides desempenham o papel de concentradores de produção de seus respectivos pólos e conseqüentemente geram viagens. A Figura 7.23 apresenta uma imagem ampliada do *cluster* que constitui o pólo Novo São Joaquim, caracterizado pela indústria motriz de produção de soja. Por meio da Figura 7.23, observa-se que dentro do pólo Novo São Joaquim foi identificado o município de mesmo nome como o nó centróide, por ser o município que apresenta o maior valor de produção.

Seguindo a mesma operação, foram determinados para todos os PC os seus respectivos nós centróides, perfazendo um total de vinte e seis que são: *Almeirim, Altamira, Aripuanã, Aurora do Pará, Campos de Júlio, Coari, Diamantino, Garantã do Norte, Itacoatiara, Laranjal do Jarí, Manicoré, Nova Ubitatã, Novo São Joaquim, Paragominas Paranatinga, Parauapebas Parintins, Portel, Pium, Redenção, São Félix do Xingu, São Mateus do Maranhão, Sena Madureira, Sinop, Tarauacá, e Tefé*, conforme a Tabela 7.9.

Além dos centros dos pólos, há mais um elemento importante considerado na determinação dos nós centróides, os portos marítimos, os quais desempenham papel fundamental, funcionando como centros atratores de viagens geradas pelos pólos, e onde é executada uma série de atividades econômicas decorrentes das funções desempenhadas pelos portos dentro da suas respectivas área de influências.

b) Nós de conexão

Dentro da estrutura da rede de transporte, os pontos de interseção entre dois diferentes arcos do mesmo subsistema de transporte, ou pontos de interseção entre diferentes subsistemas de transportes, funcionando como terminal intermodal, são definidos, neste trabalho, como *nós de conexão*, os quais foram determinados juntamente com os arcos. A Tabela 7.9 apresenta as principais características dos *nós centróides (pólos e portos)*, os quais são considerados como nós principais na estrutura da rede básica.

Tabela 7.9 – Nós centróides da rede de transporte básica na Região Amazônica.

Nó	Tipo	Característica
Almeirim	Centróide	Geração de viagens
Altamira	Centróide	Geração de viagens
Aripuanã	Centróide	Geração de viagens
Aurora do Pará	Centróide	Geração de viagens
Campos de Júlio	Centróide	Geração de viagens
Barcarena (Vila do Conde)	Centróide (Porto)	Atração de viagens
Belém	Centróide (Porto)	Atração de viagens
Coari	Centróide	Geração de viagens
Diamantino	Centróide	Geração de viagens
Guarantã do Norte	Centróide	Geração de viagens
Itacoatiara	Centróide	Geração de viagens
Laranjal do Jarí	Centróide	Geração de viagens
Macapá	Centróide (Porto)	Atração de viagens
Manaus	Centróide (Porto)	Atração de viagens
Manicoré	Centróide	Geração de viagens
Nova Ubiratã	Centróide	Geração de viagens
Novo São Joaquim	Centróide	Geração de viagens
Paragominas	Centróide	Geração de viagens
Paranatinga	Centróide	Geração de viagens
Parauapebas	Centróide	Geração de viagens
Parintins	Centróide	Geração de viagens
Pium	Centróide	Geração de viagens
Portel	Centróide	Geração de viagens
Redenção	Centróide	Geração de viagens
Santarém	Centróide (Porto)	Geração e atração de viagens
São Félix do Xingu	Centróide	Geração de viagens
São Luis (Itaqui)	Centróide (Porto)	Atração de viagens
São Mateus do Maranhão	Centróide	Geração de viagens
Sena Madureira	Centróide	Geração de viagens
Sinop	Centróide	Geração de viagens
Tarauacá	Centróide	Geração de viagens
Tefé	Centróide	Geração de viagens

Subetapa 6.2: Determinação de Arcos

A determinação dos arcos que constituem a rede básica foi realizada utilizando as vias de transporte identificadas na etapa de análise da infra-estrutura de transportes, isto é, os rios navegáveis, as rodovias implantadas e as ferrovias em operação na Região Amazônica que ligam os PC, formam assim a estrutura da rede com os seus respectivos nós e arcos. No

entanto, torna-se importante destacar alguns pontos que foram considerados importantes na determinação dos arcos:

- Na análise da infra-estrutura de transporte, cada subsistema de transporte foi analisado em um mapa temático distinto. Feito isso, os mapas temáticos foram exportados para o *software* ArcGIS, onde foi criada uma nova e única estrutura geográfica, constituída por *arcos* (rios navegáveis, rodovias implantadas e ferrovias) e *nós de conexão*;
- Os *nós de conexão* dentro da nova estrutura geográfica desempenham a função de conexão entre arcos, que podem ser do mesmo modo de transporte ou de modos distintos;
- Um único mapa temático, constituído pelos arcos e nós de conexão, foi criado como resultado final da realização desta subetapa.

Subetapa 6.3: Geração da Rede de Transporte Básica

Como atividade final constituinte da Etapa (6), tem-se a geração da rede de transporte básica através de um mapa temático constituído por arcos e nós. A geração da rede foi executada por meio da técnica de sobreposição de mapas temáticos (*overlap thematic maps*), utilizando dois mapas distintos, um constituído por *nós centróides* e o outro por *arcos e nós de conexão*. A Figura 7.24 apresenta a configuração geográfica da rede de transporte básica gerada para a Região Amazônica, a qual é constituída por arcos e nós. Ao fazer uma análise prévia na rede de transporte básica, pode-se apontar o seguinte:

- como mostra a legenda ao lado da rede, os arcos estão diferenciados de acordo com o modo de transporte: rios navegáveis em linhas azuis, rodovias implantadas em linhas pretas, e ferrovias em linhas marrons;
- os nós principais (centróides e portos) possuem simbologias distintas. Neste caso, os centróides são identificados por pequenos círculos de cor vermelha, e os portos em triângulos verdes;
- percebe-se que três nós (Coari (6), Itacoatiara (9), Parintins (17)) desempenham papéis duplos na rede básica, isto é, são nós centróides e portos;
- grande parte das rodovias está localizada nos Estados de Mato Grosso, Tocantins e Maranhão, e os rios navegáveis no Estado do Pará e Amazonas. Isto demonstra a relação de complemento entre os dois modos de transporte na Região Amazônica.

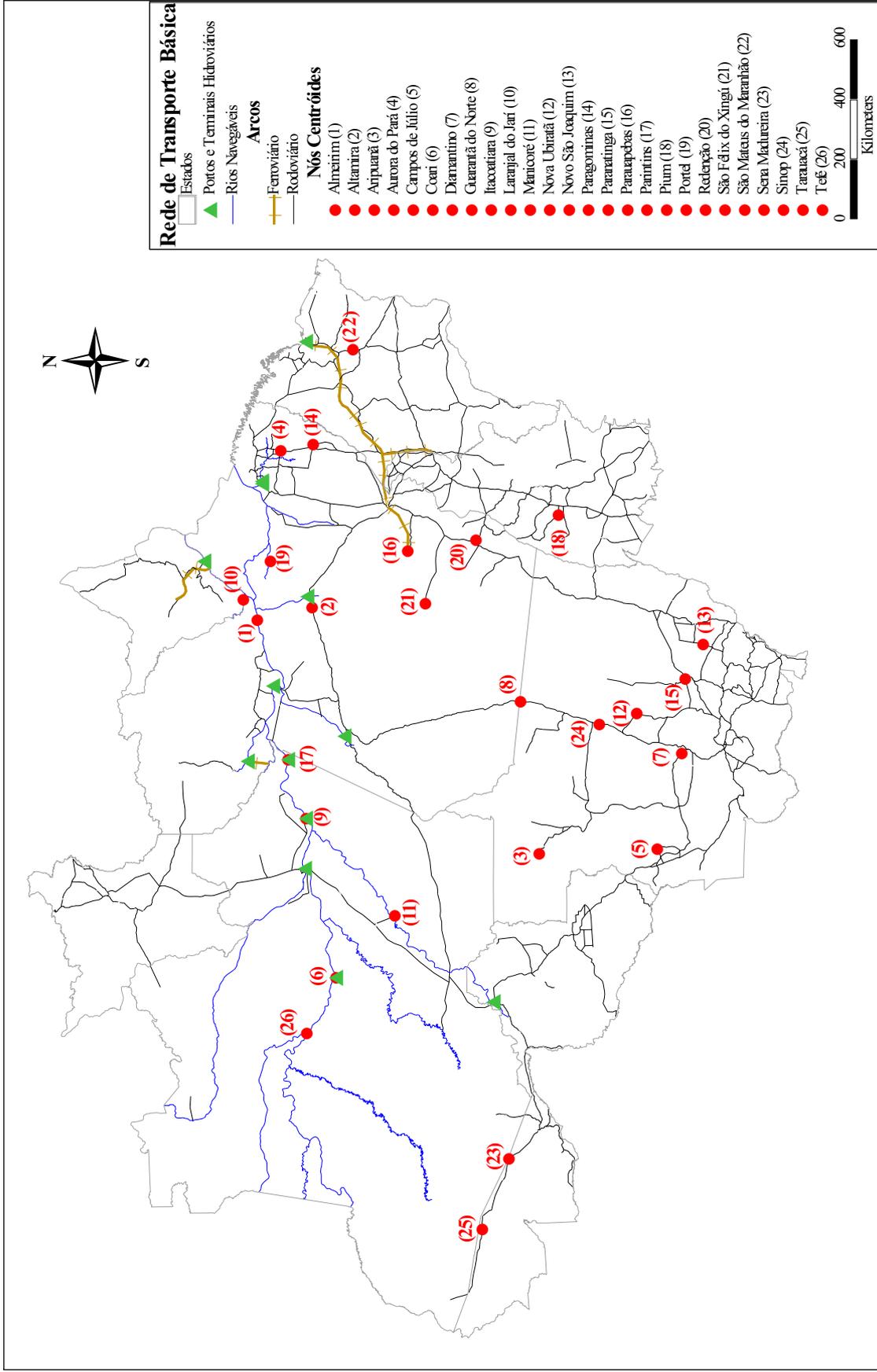


Figura 7.24 – Configuração geográfica da rede de transporte básica na Região Amazônica.

ETAPA 7: DETERMINAÇÃO DAS REDES DE TRANSPORTE MULTIMODAL DE CARGA

Após ter sido determinada a rede de transporte básica, sua estrutura foi usada para desenvolver uma rede de transporte multimodal de carga na Região Amazônica. Assim como a Etapa 6, esta etapa metodológica é fundamentada na Teoria dos Grafos.

Assim, custos operacionais de transporte foram associados aos arcos e aos nós da rede básica, com o propósito de definir rotas de caminhos mínimos (*shortest path*) entre os nós centróides e os portos de exportação, e entre os nós centróides e as capitais estaduais, este último caso a ser aplicado para os nós centróides representativos dos PC referentes à produção de mandioca. Ao final, três redes de transporte multimodal de carga são elaboradas por meio da sobreposição das rotas de caminhos mínimos.

Algumas atividades foram realizadas para a determinação das três redes de transporte multimodal de carga, a saber: definição de premissas para a determinação da rede de transporte multimodal de carga; determinação dos custos de transporte; associação de custos de transporte à rede básica – alimentação do banco de dados; composição de cenários; e, finalmente, representação das redes de transporte multimodal de carga.

Subetapa 7.1: Definição de Premissas para a Determinação da Rede de Transporte Multimodal de Carga

A primeira atividade a ser realizada nesta etapa metodológica é a definição de algumas premissas que foram assumidas como diretrizes para determinar as redes de transporte multimodal de carga. As premissas definidas foram:

- a rede que foi considerada é representada por um grafo direto;
- os nós centróides, devido as suas características geoeconômicas, são os nós onde as viagens são geradas;
- foi definida uma rota de custo mínimo para cada PC. Neste caso, todos os arcos que constituem a rede de transporte básica foram considerados na determinação dos caminhos mínimos, que, em conjunto, determinaram a rede de transporte multimodal de carga;
- no caso dos nós que representam os PC referentes a indústria motriz de extração e produção de mandioca, estes nós consideram as capitais estaduais como destinos na análise de custo de transporte. Isso devido ao diagnóstico econômico indicar que a maior parte da

produção de mandioca é consumida na própria região, e como a população da região se concentra nas capitais, parte-se do pressuposto que as capitais poderiam representar os destinos de viagens geradas por tais nós centróides, tudo isso unida a dificuldade em se estimar com maior precisão o destino da produção de mandioca;

- os portos marítimos localizados na região de estudo, por desempenhar a função de porto de exportação de produtos, foram considerados os nós destinos das viagens geradas pelos nós centróides que representam os PC. No entanto, vale ressaltar que a movimentação de cargas (produtos) nos portos e as capacidades dos mesmos auxiliaram a identificação das origens das viagens geradas pelos nós centróides;
- não foi considerada a interrupção do tráfego viário em função de problemas climáticos que ocorrem na Região Amazônica, a não ser no caso dos rios, mas que de certa forma, tal peculiaridade já foi levada em consideração durante a identificação dos rios navegáveis, realizada na etapa de análise da infra-estrutura de transportes;
- são criados três cenários que representem situações distintas (*status quo*, investimentos em infra-estrutura de transportes, e estratégica) e que são fundamentais para a elaboração das três redes, uma para cada cenário, as quais são avaliadas considerando o custo de transporte operacional total de cada rede;
- nas análises de custos para a determinação das rotas de caminhos mínimos são considerados os custos operacionais nos arcos e nos nós (transbordo);
- as rotas de custo mínimo foram consideradas de capacidade potencialmente ilimitada, neste caso, não foram considerados congestionamentos;
- foram identificados alguns veículos de carga a serem considerados no cálculo do custo operacional de transporte. Juntamente com tais veículos, algumas de suas características foram identificadas, a saber: itens que constituem os custos fixos (cfv) e variáveis (cvv) dos veículos; capacidade de carga (P); velocidade média (Vm); comprimento (D_i) da via;
- os veículos de carga usados na análise de custo, e suas respectivas especificidades, foram definidos em função das características físicas das vias de transporte, estas por sua vez foram determinadas na etapa da análise da infra-estrutura de transportes;
- para o transporte rodoviário foi considerado na análise de custo uma carreta composto pela frota de uma empresa rodoviária de carga, com sede na Região Metropolitana de Belém e que atua no transporte de minerais, entre outras cargas, na Região Amazônica. A capacidade de carga dessa carreta é de 30 toneladas;

- as velocidades médias (V_m) desenvolvidas pela carreta tipo entre dois nós da rede foram consideradas como: 60km/h em trechos de rodovias pavimentadas e 30km/h em trechos de rodovias em leito natural. A velocidade média e os demais parâmetros operacionais foram definidos de acordo com a empresa transportadora;
- para o transporte hidroviário interior foi considerado na análise de custo um tipo de sistema de comboio de empurra, composta pela frota de uma empresa de navegação, com sede em Belém e que opera no transporte de carga geral, minerais, carretas, madeiras, entre outras cargas, na Região Amazônica. A capacidade máxima de carga desse sistema de comboio é de 2.200 toneladas, e foi definido em função das restrições de navegabilidade requeridas pelos rios;
- a velocidade média (V_m) desenvolvida pelo sistema de comboio de empurra entre dois nós da rede foi considerada em 11,10km/h (6 nós). A velocidade média e os demais parâmetros operacionais foram definidos de acordo com a empresa transportadora;
- para o transporte ferroviário foi considerado na análise de custo um tipo de sistema de comboio ferroviário, composta pela frota da Companhia Vale do Rio Doce, que opera principalmente no transporte de minerais, entre outras cargas, na Ferrovia de Carajás. A capacidade de carga desse sistema é de 6.480 toneladas, e sua velocidade média (V_m) é de 45km/h. A velocidade média e os demais parâmetros operacionais foram definidos segundo Fajardo (2001);
- vale ressaltar que os parâmetros operacionais dos veículos de carga usados para a determinação do custo operacional de transporte não são restritos, e variam segundo a tecnologia veicular considerada na análise logística;
- as demais características de todos os veículos de carga descritos acima e que foram usados na cálculo do custo operacional de transporte são apresentados no ANEXO 4.

Subetapa 7.2: Determinação dos Custos de Transporte

Relatado os devidos pressupostos, passou-se a atividade de determinação dos custos de transporte, etapa considerada importante para as análises de caminhos mínimos, os quais permitiram a determinação das rotas que constituem as redes de transporte na Região Amazônica. Para isso, foram considerados dois custos, conforme a Equação (6.3) reproduzida aqui, os custos operacionais de transporte nos arcos e os custos de transbordo. Ambos foram calculados como segue.

$$C'_{rota} = \sum_{i=1}^I coa_i + \sum_{j=1}^J cn_j \quad (6.3)$$

Onde C'_{rota} : custo direto de transporte da rota de uma origem a um destino;
 coa_i : custo operacional de transporte no arco a_i por tonelada (R\$/ton);
 cn_j : custo operacional de transporte no nó n_j por tonelada (R\$/ton);

Subetapa 7.2.1: Determinação do Custo Operacional de Transporte Para os Arcos

Para o cálculo do custo operacional de transporte nos arcos, utilizou-se a Equação (4.23) reproduzida nesta seção, adotando um esquema de separação usual em custos fixos e custos variáveis, os quais são utilizados com frequência pelos transportadores de carga.

$$coa_i = \frac{\left(\frac{cfv}{Vm \cdot htd} + cvv \right)}{P} \cdot D_i \quad (4.23)$$

Onde coa_i : custo operacional de transporte no arco a_i por tonelada (R\$/ton);
 cfv : custo fixo operacional do veículo de carga (R\$);
 D_i : comprimento do arco a_i (km);
 Vm : velocidade média do veículo de carga no arco a_i (km/h);
 htd : horas trabalhadas por dia (h);
 cvv : custo variável operacional do veículo de carga (R\$);
 P : capacidade de carga do veículo a ser usado no transporte de carga.

Como a rede básica é constituída por arcos que representam rodovias, rios e ferrovias, para cada um destes modos de transporte foram definidos um veículo de carga, e para cada tipo de veículo foram coletados os valores correspondentes aos custos fixos e variáveis. Estes valores foram coletados em empresas transportadoras que operam na Região Amazônica, considerando os veículos apresentados nos pressupostos e descritos no ANEXO 4.

a) Transporte Rodoviário

Uma carreta tipo de capacidade de carga de 30 toneladas foi considerada na análise de custo. As especificações deste veículo estão no ANEXO 4. Os itens que constituem os custos fixos (cfv) e variáveis (cvv) para o transporte rodoviário foram determinados de acordo com Kawamoto (1994) e Lima (1994), e os seus respectivos valores foram coletados juntamente com a empresa rodoviária transportadora de carga. A Tabela 7.10 apresenta os valores dos itens de custo fixo expresso em (R\$/mês), e variável expresso em (R\$/km) para o transporte rodoviário de carga. Além disso, foram coletadas juntamente

com a empresa transportadora, outras informações suplementares, como a capacidade de carga do veículo e a quantidade de horas trabalhadas por dia pelo motorista (Tabela 7.11).

Tabela 7.10 – Valores de custo fixo e variável para o transporte rodoviário de carga.

Custo	Item	Valores
Custo Fixo do Veículo (<i>cfv</i>) (R\$/mês)	Depreciação do veículo (DV)	2.078,64
	Remuneração de capital (RC)	2.993,25
	Salário de motorista (SM)	2.590,00
	Salário de oficina (SO)	555,00
	Licenciamento do veículo (LV)	302,35
	Seguro do veículo (SV)	1.330,33
	Seguro de responsabilidade civil facultativo (SRCF)	166,29
	Administração (AD)	1.050,00
	Total dos custos fixos (R\$/mês)	11.065,86
Custo Variável do Veículo (<i>cvv</i>) (R\$/km)	Peças, acessórios e materiais de oficina (PAMO).	0,30
	Combustível (O)	0,91
	Óleo lubrificante (OL)	0,01
	Pneus, câmaras e recauchutagens (PCR).	0,33
	Lavagem e lubrificação (LL)	0,04
	Total dos custos variáveis (R\$/km)	1,59

Tabela 7.11 – Variáveis suplementares para o transporte rodoviário de carga.

Variáveis	Valores
Capacidade de carga do veículo (<i>P</i>)	30 (ton)
Horas trabalhadas por dia (<i>htd</i>)	8
Dias úteis trabalhados por mês	24

Substituindo os dados acima na Equação (4.24), obtêm-se, para trechos em que a velocidade média é de 60 km/h (rodovias pavimentadas) e de 30 km/h (leito natural), obtiveram-se as seguintes expressões de custo operacional de transporte rodoviário em um determinado arco (a_i):

- Para: $V_m = 60 \text{ km/h} \Rightarrow coa_i = 0,085 \text{ R\$/T.km} \cdot D_i$. Neste caso, o arco (a_i) considerado representa um determinado trecho de rodovia pavimentada;
- Para $V_m = 30 \text{ km/h} \Rightarrow coa_i = 0,117 \text{ R\$/T.km} \cdot D_i$. Neste caso, o arco (a_i) considerado representa um determinado trecho de rodovia em leito natural.

Uma observação a ser feita diz respeito às expressões acima calculadas, ou seja, quanto melhor a condição da via, maior será a velocidade operacional e conseqüentemente menor será o custo de transporte nesta via.

b) Transporte Hidroviário Interior

Um comboio de empurra de capacidade de carga de 2.200 toneladas foi considerado na análise de custo. As especificações deste comboio estão no ANEXO 4. Os itens que constituem os custos fixos (*cfv*) e variáveis (*cvv*) para o transporte hidroviário foram determinados de acordo com Padovezi (2003), e os seus respectivos valores foram coletados juntamente com a empresa hidroviária transportadora de carga. A Tabela 7.12 apresenta os valores dos itens de custo fixo expresso em (R\$/mês), e variável expresso em (R\$/km) para o transporte hidroviário de carga. Além de disso, foram coletados juntamente com a empresa transportadora, outras informações suplementares, como a capacidade de carga do veículo e a quantidade de horas trabalhadas por dia pela tripulação (Tabela 7.13).

Tabela 7.12 – Valores de custo fixo e variável para o transporte hidroviário interior de carga.

Custo	Item	Valores
Custo Fixo do Veículo (<i>cfv</i>) (R\$/mês)	Depreciação da embarcação (DE)	2.000,00
	Remuneração de capital (RC)	4.500,00
	Salários da tripulação (ST)	17.491,94
	Salário de oficina (SO)	6.650,28
	Alimentação da tripulação embarcada (ATE)	5.000,00
	Taxas e vistorias (TV)	1.700,00
	Seguro da embarcação (SE)	1.285,60
	Seguro de responsabilidade civil (SRC)	12.006,37
	Administração (AD)	14.007,43
	Total dos custos fixos (R\$/mês)	64.641,62
Custo Variável do Veículo (<i>cvv</i>) (R\$/km)	Combustível (CO)	24,42
	Óleo lubrificante (OL)	0,56
	Total dos custos variáveis (R\$/km)	24,98

Tabela 7.13 – Variáveis suplementares para o transporte hidroviário interior de carga.

Variáveis	Valores
Capacidade de carga (<i>P</i>)	2.200
Horas trabalhadas por dia (<i>htd</i>)	24
Dias úteis trabalhados por mês	24

Substituindo os dados das Tabelas 7.12 e 7.13 na Equação (4.24), obtêm-se, para o deslocamento da embarcação com velocidade média de 11,10 km/h, a seguinte expressão de custo de transporte hidroviário de carga em um determinado arco (a_i):

- Para: $V_m = 11,10 \text{ km/h} \Rightarrow \text{coa}_i = 0,016 \text{ R\$/T.km} \cdot D_i$. Neste caso, o arco (a_i) considerado representa um determinado trecho de rio navegável;

O valor acima calculado foi usado para alimentar o banco de dados, associando o mesmo aos arcos que representam rios navegáveis.

c) Transporte Ferroviário

Para a análise do custo de transporte ferroviário, devido a indisponibilidade de dados, por parte das empresas operadoras de transporte de carga ferroviário, desagregados em itens que compõem os custos fixos e variáveis, foram as equações (7.2) e (7.3) e valores de custo operacional já compostos, e de acordo com produto a ser transportado:

- Para grãos (soja e arroz): $coa_i = 0,038R\$/T.km \cdot D_i$

(7.2)

- Para ferro: $coa_i = 0,043R\$/T.km \cdot D_i$ (7.3)

Tais valores, em vigor desde outubro de 2005, foram fornecidos pela Companhia Vale do Rio Doce, operadora de transporte de carga na Estrada de Ferro de Carajás (EFC) (ANTT, 2005). Vale ressaltar, neste caso, a dificuldade em se obter os valores dos custos fixos e variáveis discriminados em itens, como foi obtido nos casos do transporte rodoviário e hidroviário, mas que de certa forma, os valores acima apresentados para os produtos soja, arroz e ferro são considerados satisfatórios para a composição dos cenários e determinação de rotas de custo mínimo.

Subetapa 7.2.2: Determinação do Custo Operacional de Transporte Para os Nós (Custo de Transbordo)

Além dos custos operacionais de transporte apresentados anteriormente para os três modos (rodoviário, hidroviário e ferroviário), um outro custo importante a ser usado na análise de caminho mínimo é o Custo de Transbordo Multimodal. O custo de transbordo multimodal é considerado, neste estudo, como o custo de transferência de cargas entre os diferentes modos de transportes, sendo analisados, neste caso, os modos rodoviário, hidroviário e ferroviário. Para a determinação do custo de transbordo, alguns pontos são apresentados:

- os portos marítimos e terminais hidroviários identificados e analisados na subetapa 5.4, e que constituem a rede de transporte básica são: Manaus (AM), Belém (PA), Santarém (PA), Vila do Conde (PA), Macapá (AP), Itaquí (MA), Porto Velho (RO),

Marabá (PA), Itaituba (PA), Altamira (PA), e Tucuruí (PA). Sendo que alguns outros serão considerados quando da análise de custo para o Cenário 3;

- o custo de transbordo determinado levou em consideração a especificidade de cada porto marítimo e terminal hidroviário, isto é, para cada porto identificado e analisado, foi determinado um valor específico para o custo de transbordo;
- o tipo de carga manuseada foi também considerada na determinação dos custos de transbordo ;
- o custo de transbordo foi determinado usando a Equação (7.4). Apesar de saber que existe uma série de tarifas cobradas nos portos, optou-se por usar duas tarifas apenas, de utilização da infra-estrutura hidroviária (T_1) e de utilização da infra-estrutura terrestre (T_2), pois são as únicas tarifas encontradas para todos os portos considerados na análise;

$$cn_j = T_{1j} + T_{2j} + Op_j \quad (7.4)$$

Onde cn_j : custo de transporte no nó n_j ;

T_{1j} : tarifa portuária de utilização da infra-estrutura hidroviária (R\$/ton);

T_{2j} : tarifa portuária de utilização da infra-estrutura terrestre (R\$/ton);

Op_j : serviços de movimentação de carga (R\$/ton).

- quanto ao valor correspondente aos serviços de movimentação de carga (Op), também conhecido como manuseio, adotou-se o valor de 3,00 R\$/ton para todos os portos e produtos considerados na análise, não considerando a especificidade do porto e nem da carga manuseada. A adoção específica deste valor (3,00 R\$/ton) se justifica por dois motivos. O primeiro diz respeito à extrema dificuldade em obtenção de dados de manuseio de cargas específicos de cada porto e para cada produto, pois na grande maioria dos casos, este serviço é executado por operadores privados, os quais não disponibilizam os valores, somente em caso de negociação, e neste caso, tais valores variam de acordo com a quantidade de carga manuseada *in loco*. Segundo, com a dificuldade em se obter tais dados, optou-se por usar uma média dos valores de manuseio disponibilizado pelo Relatório Técnico da Antaq (2006), considerando todos os produtos movimentados nos portos e terminais hidroviários da Região Amazônica, e que fazem parte de tal relatório. Neste caso, o valor encontrado foi de 3,00 (R\$/ton);
- no caso de transbordo em um terminal que não seja hidroviário ou porto, o custo de transbordo considerado é somente a parcela referente ao manuseio de carga (Op).

As Tabelas 7.14, 7.15, 7.16, 7.17 e 7.18 apresentam as tarifas e valores cobrados nos portos, os quais foram usados na determinação dos custos de transbordo para cada porto constituinte da rede de transporte básica.

Tabela 7.14 – Tarifas e valores do porto de Porto Velho (Fonte: Antaq, 2007).

Carga/Navegação		T_1 (R\$/ton)	T_2 (R\$/ton)	Op (R\$/ton)	cn (R\$/ton)
Granel	Longo Curso	-	-	-	-
Sólido	Nav. Interior	0,81	0,67	3,00	4,48
Carga Geral	Longo Curso	-	-	-	-
(unitizada)	Nav. Interior	0,81	0,67	3,00	4,48

Tabela 7.15 – Tarifas e valores do porto de Manaus (Fonte: Antaq, 2007).

Carga/Navegação		T_1 (R\$/ton)	T_2 (R\$/ton)	Op (R\$/ton)	cn (R\$/ton)
Granel	Longo Curso	2,80	1,18	3,00	6,98
Sólido	Nav. Interior	1,13	1,18	3,00	5,31
Carga Geral	Longo Curso	2,80	1,18	3,00	6,98
(unitizada)	Nav. Interior	1,13	1,18	3,00	5,31
Granel	Longo Curso			1,80(*)	1,80
Líquido	Nav. Interior			1,80(*)	1,80

(*) Terminal REMAN (Petrobrás) no porto de Manas: carga e descarga de petróleo em R\$/m³.

Tabela 7.16 – Tarifas e valores do porto de Macapá (Fonte: Antaq, 2007).

Carga/Navegação		T_1 (R\$/ton)	T_2 (R\$/ton)	Op (R\$/ton)	cn (R\$/ton)
Granel	Longo Curso	0,71	2,56	3,00	6,27
Sólido	Nav. Interior	0,18	2,56	3,00	5,74
Carga Geral	Longo Curso	0,71	2,56	3,00	6,27
(unitizada)	Nav. Interior	0,18	2,56	3,00	5,74

Tabela 7.17 – Tarifas e valores dos portos de Belém, Vila do Conde, Marabá, Itaituba, Altamira, Tucuruí e Santarém (Fonte: Antaq, 2007).

Carga/Navegação		T_1 (R\$/ton)	T_2 (R\$/ton)	Op (R\$/ton)	cn (R\$/ton)
Granel	Longo Curso	1,47	3,14	3,00	7,61
Sólido	Nav. Interior	0,17	3,14	3,00	6,31
Carga Geral	Longo Curso	1,47	2,56	3,00	7,03
(unitizada)	Nav. Interior	0,17	2,56	3,00	5,73

Tabela 7.18 – Tarifas e valores do porto de Itaquí (Fonte: Antaq, 2007).

Carga/Navegação		T_1 (R\$/ton)	T_2 (R\$/ton)	Op (R\$/ton)	cn (R\$/ton)
Granel	Longo Curso	1,55	1,51	3,00	6,06
Sólido	Nav. Interior	-	-		
Carga Geral	Longo Curso	1,55	1,51	3,00	6,06
(unitizada)	Nav. Interior	-	-		

Subetapa 7.3: Associação de Custos de Transporte a Rede Básica – Alimentação do Banco de Dados

Conforme visto na Subetapa anterior, os custos operacionais de transporte foram determinados para os arcos e nós. No primeiro caso, o custo operacional no arco (coa_i) foi

determinado em função da extensão da via ou distância do arco (D_i), assim, obtiveram-se as seguintes expressões:

a) Transporte Rodoviário

- $V_m = 60\text{km/h} \Rightarrow \text{coa}_i = 0,085\text{R}\$/\text{T.km} \cdot D_i$. O arco (a_i) considerado representa um determinado trecho de rodovia pavimentada;
- $V_m = 30\text{km/h} \Rightarrow \text{coa}_i = 0,117\text{R}\$/\text{T.km} \cdot D_i$. O arco (a_i) considerado representa um determinado trecho de rodovia em leito natural.

b) Transporte Hidroviário Interior

- $V_m = 11,10\text{km/h} \Rightarrow \text{coa}_i = 0,016\text{R}\$/\text{T.km} \cdot D_i$. O arco (a_i) considerado representa um determinado trecho de rio navegável.

c) Transporte Ferroviário

- Para grãos (soja e arroz): $\text{coa}_i = 0,038\text{R}\$/\text{T.km} \cdot D_i$;
- Para ferro: $\text{coa}_i = 0,043\text{R}\$/\text{T.km} \cdot D_i$.

No caso dos custos de transbordo, estes foram determinados sem ser expressos em função de outra variável. Assim, tanto as expressões determinadas para os modos de transporte específicos quanto os valores calculados exclusivamente para cada porto, foram usados para alimentar o banco de dados, associando, por meio das ferramentas de SIG (*software* TransCAD), os primeiros aos arcos que representam rodovias pavimentadas, rodovias em leito natural, rios navegáveis, ferrovias, e os valores calculados para os nós onde há transbordo que representam os portos ou terminais hidroviários.

Subetapa 7.4: Composição de Cenários

Uma vez calculados e definidos todos os custos operacionais necessários, passa-se a realização da atividade de composição dos cenários. Neste estudo de caso, três cenários foram compostos, e conseqüentemente, três redes de transporte multimodal de carga foram elaboradas, uma para cada cenário. O principal aspecto que diferenciou os três cenários diz respeito as modificações na infra-estrutura de transportes da Região Amazônica.

A composição dos três cenários possibilitou realizar análises de custo de transporte para os pares O/D, resultando em rotas de caminhos de custos mínimos, os quais foram usados para a elaboração das três redes de transporte multimodal de carga que conseqüentemente terão estruturas e custos totais distintos.

a) Cenário 1: Situação Atual (*status quo*)

Neste primeiro cenário, considerou-se a situação atual e real da infra-estrutura de transportes existente na Região Amazônica. Assim, este cenário possibilita ter uma visão real da situação atual da Região Amazônica quanto aos deslocamentos dos principais produtos por meio da infra-estrutura de transporte existente.

b) Cenário 2: Investimentos em Infra-estrutura de Transportes a Médio Prazo – Programas Governamentais

Para este cenário, foram consideradas modificações na infra-estrutura de transportes da Região Amazônica, de acordo com programas governamentais que previram investimentos em infra-estruturas voltados para todos os modos de transporte (rodoviário, hidroviário interior, ferroviário e portuário). No ANEXO 5, são apresentadas as ações, os setores de transportes, e os locais específicos que receberão tal investimento.

c) Cenário 3: Investimentos em Infra-estrutura de Transportes a Longo Prazo – Estratégico

O terceiro e último cenário composto considera tanto os investimentos dos programas quanto, o que se chama de estratégia de ação para a Região Amazônica que nada mais é do que pressuposição de total navegabilidade dos rios Araguaia e Tocantins, permitindo a conexão por meio hidroviário de toda a Região Amazônica com a região central do Brasil.

Assim, considerando a rede básica elaborada na Etapa 6, foram determinadas rotas de custos operacionais de transporte mínimos entre os pares O/D para os três cenários descritos acima, obtendo-se um conjunto de rotas que ao final constituirão as estruturas das três redes de transporte multimodal de carga. Essa atividade é descrita a seguir.

Subetapa 7.4.1: Determinação de Rotas de Custo Mínimo (Shortest Path)

Conforme descrito no capítulo 4, a determinação de caminhos mínimos em uma rede de transportes é um dos mais importantes problemas estudados pela Teoria dos Grafos que

utiliza os algoritmos de caminhos mínimos, e nesta subetapa, a Teoria dos Grafos, por meio do algoritmo de *Dijkstra*, é aplicado para as rotas de custos operacionais mínimos.

A determinação das rotas de custo operacionais de transporte mínimos entre pares O/D foi a atividade que permitiu construir as três redes de transporte, uma para cada cenário descrito anteriormente. A determinação das rotas foi executada usando os valores dos custos operacionais calculados nas subetapas 7.2.1 e 7.2.2, e o TransCAD, um software de SIG que possui, em sua base ferramental e operacional, o *algoritmo de Dijkstra* para a determinação de caminhos mínimos entre determinados pares O/D.

Não é objetivo nesta subetapa metodológica descrever como se caracteriza o mecanismo operacional do TransCAD na determinação de caminhos mínimos. No entanto, é importante destacar graficamente a forma como o TransCAD apresenta tais caminhos. Neste caso, optou-se por apresentar os caminhos mínimos determinados para o exemplo de viagens originadas no pólo Diamantino (produção de soja e arroz), o qual teve como destinos os portos de Manaus, Santarém e Vila do Conde, correspondentes ao cenário 1 (Figura 7.25), cenário 2 (Figura 7.26) e cenário 3 (Figura 7.27) respectivamente.

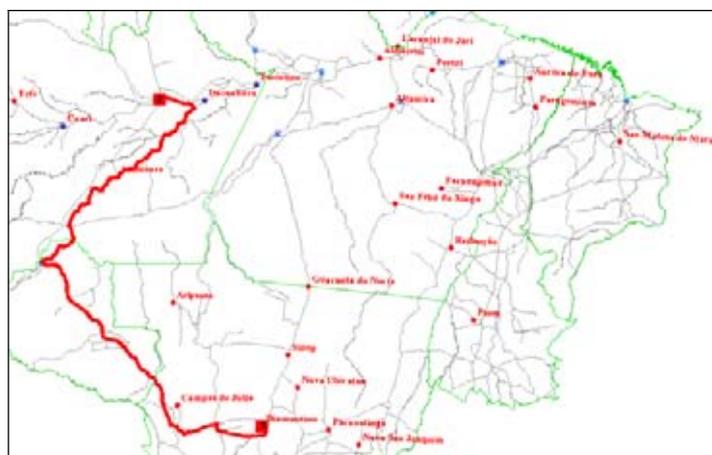


Figura 7.25 – Cenário 1: caminho mínimo entre a origem Diamantino e destino Manaus.

Optou-se por demonstrar tal exemplo por ter sido um caso interessante de determinação de caminhos mínimos na Região Amazônica, na medida em que os destinos apresentaram caminhos com custos operacionais de transporte diferentes. Isto significa dizer que, a rota determinada para o par Diamantino/Manaus (Figura 7.25), o qual possui o menor custo

operacional no cenário 1, não é a mesma para os cenários 2 e 3. Para estes dois últimos casos foram identificados destinos e rotas diferentes de custos mínimos.

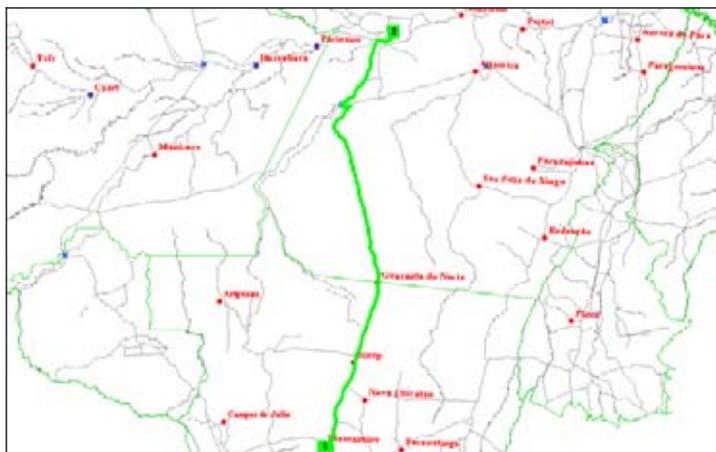


Figura 7.26 – Cenário 2: caminho mínimo entre a origem Diamantino e destino Santarém.

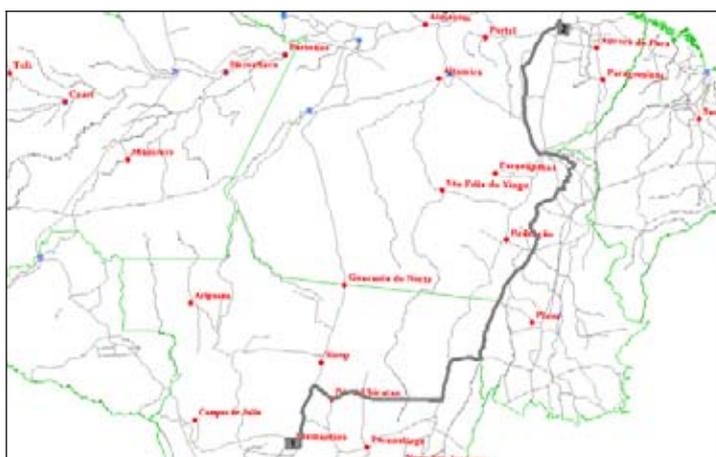


Figura 7.27 – Cenário 3: caminho mínimo entre a origem Diamantino e destino Vila do Conde.

A mesma operação foi executada para os demais PC (origens) que constituem os três cenários, considerando dois ou mais destinos na análise dos caminhos mínimos, possibilitando, assim, analisar diferentes rotas, e identificar aquelas que possuem custos menores. As Tabelas A6.1, A6.2 e A6.3 no ANEXO 6 apresentam os custos totais das rotas entre os pares O/D analisados para a determinação das três redes de transporte multimodal de carga: cenário 1; cenário 2; e cenário 3.

Subetapa 7.4: Representação das Redes de Transporte Multimodal de Carga

Finalmente, nesta subetapa foram determinadas as três redes de transporte multimodal de carga, uma para cada cenário (*status quo*, programas governamentais, e estratégico) analisado. Cada rede foi composta pelas rotas de custo mínimo, as quais foram identificadas para cada pólo de desenvolvimento, representado por um nó centróide.

Assim, ao analisar as Tabelas A6.1, A6.2 e A6.3 apresentadas no ANEXO 6, observa-se que para cada origem (PC) foram considerados mais de um destino (porto) diferente, em alguns casos chegando a um total de seis, e conseqüentemente, obtiveram-se rotas distintas e custo operacionais de igual forma diferentes para tais rotas. Ao final, foram identificadas as rotas que constituem cada rede, compostas pelos menores custos operacionais de transporte, destacados em negrito nas Tabelas A6.1, A6.2 e A6.3.

As redes determinadas para os cenário 1, cenário 2 e cenário 3 estão representadas pelas Figuras 7.28, 7.29 e 7.30 respectivamente. No ANEXO 7 estão as representações gráficas, das três redes de transporte elaboradas para Região Amazônica. Vale ressaltar que não foram consideradas as capacidades dos arcos na análise de caminho mínimo, devido a complexidade na determinação das capacidades dos arcos representativos dos modos de transporte considerados na elaboração da rede.

ETAPA 8: AVALIAÇÃO DAS REDES DE TRANSPORTE MULTIMODAL DE CARGA

Finalmente a última etapa da proposta metodológica que é a avaliação das redes de transporte multimodal de carga. Para a avaliação das redes, considerou-se o custo total de cada rede, o que possibilitou identificar qual das redes possui o menor custo operacional total de transporte. Por meio do TransCAD foi possível calcular o custo total de transporte usando a matriz O/D. Os custos totais de transporte calculados para as três redes são:

a) Cenário 1: Situação Atual

O custo total da rede de transporte multimodal de carga para o cenário 1 calculado foi de: $C_{tr} = 1.915,02$ R\$/ton (Tabela A6.1).

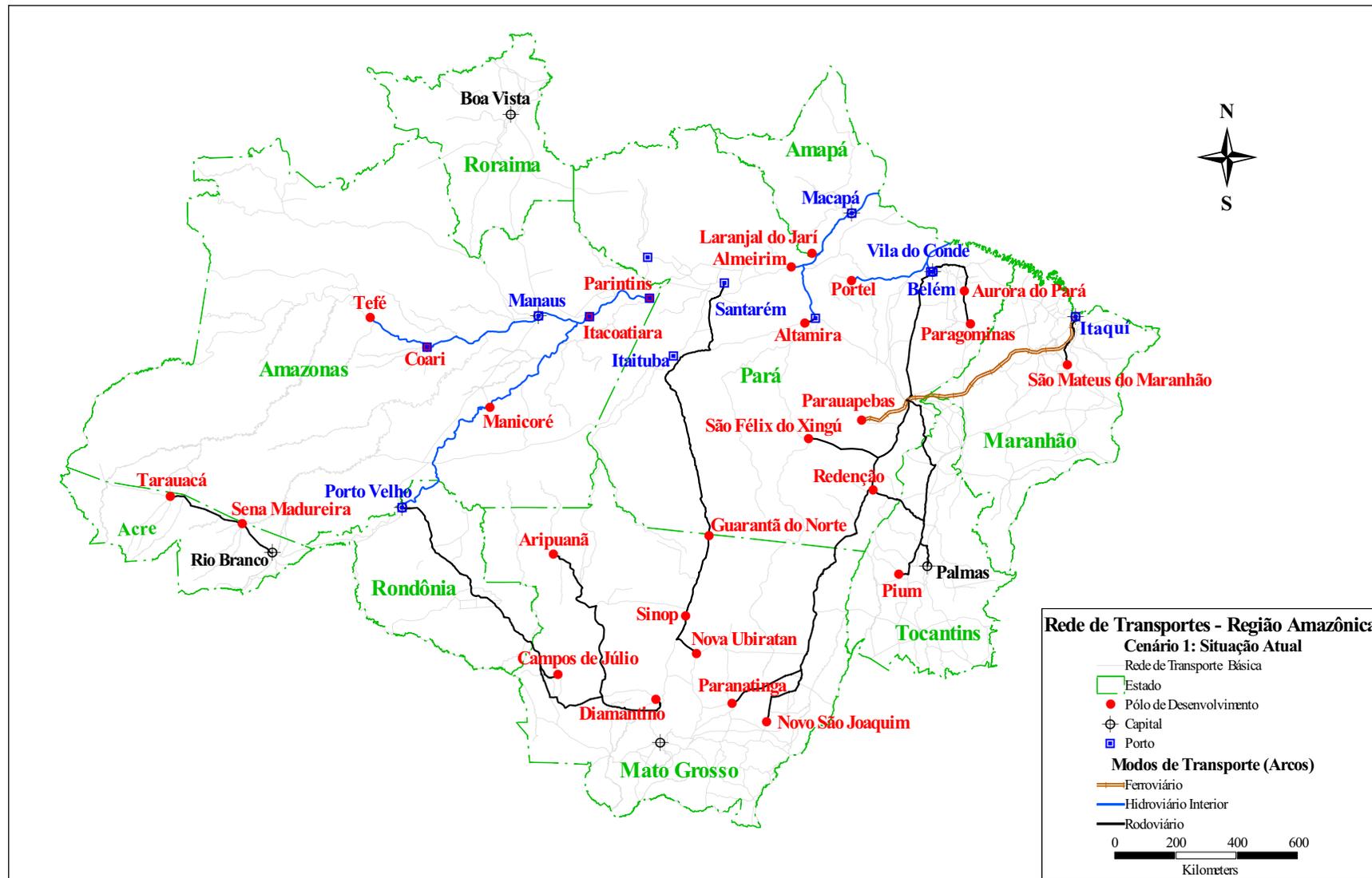


Figura 7.28 – Rede de transporte multimodal de carga na Região Amazônica – Cenário 1.

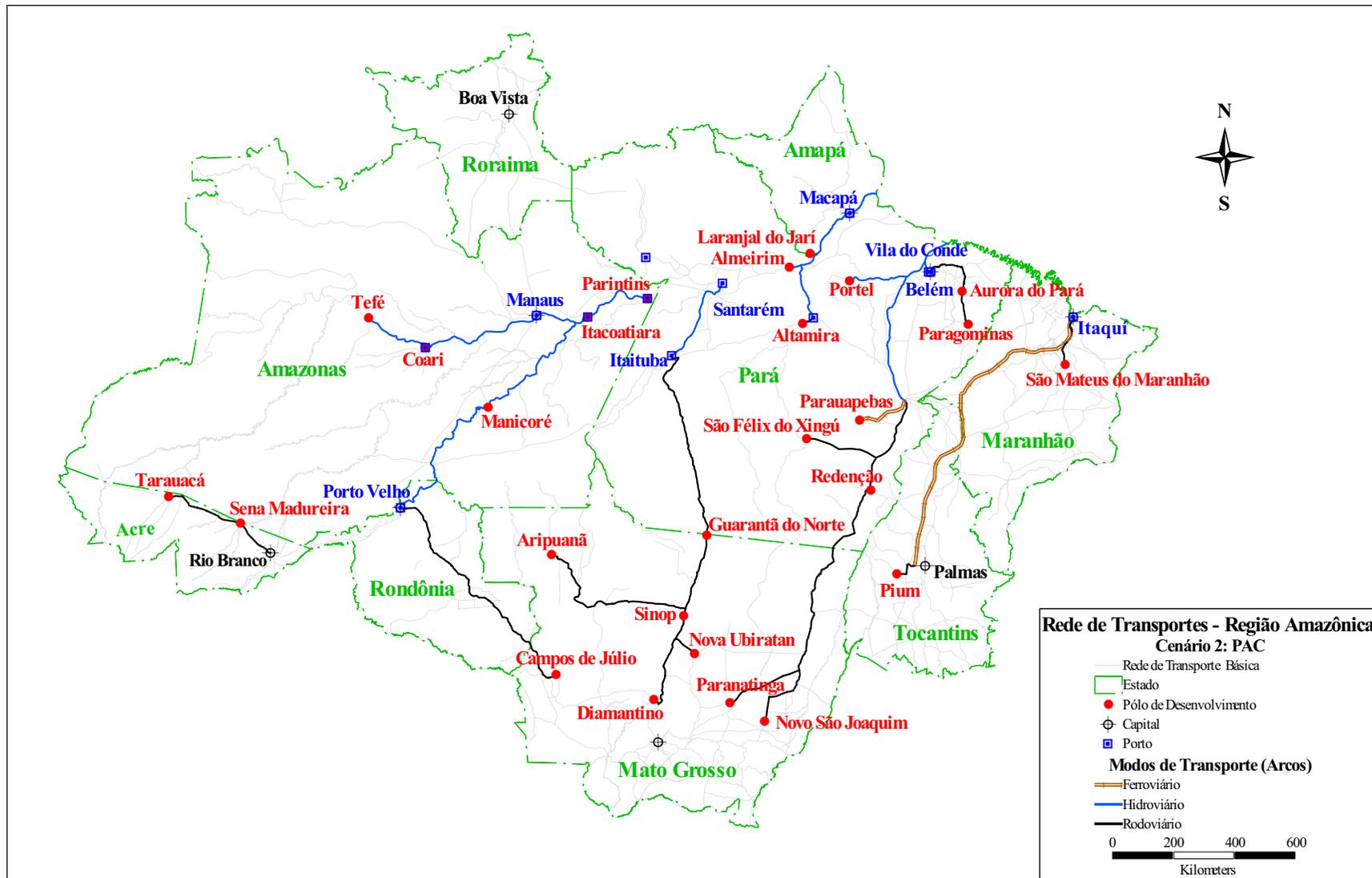


Figura 7.29 – Rede de transporte multimodal de carga na Região Amazônica – Cenário 2.

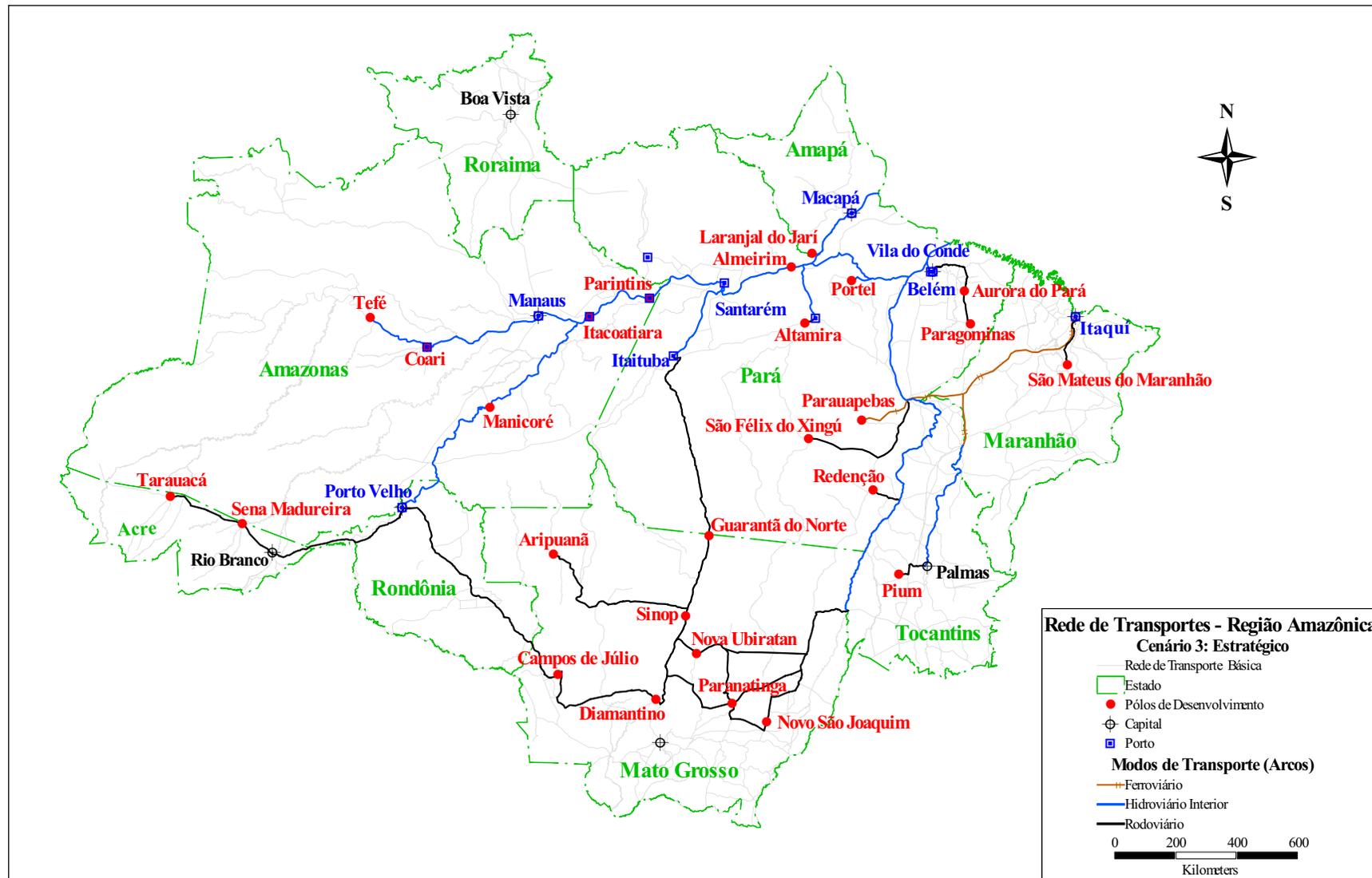


Figura 7.30 – Rede de transporte multimodal de carga na Região Amazônica – Cenário 3.

b) Cenário 2: Investimentos em Infra-estrutura de Transportes a Médio Prazo

O custo total da rede de transporte multimodal de carga para o cenário 2 calculado foi de:
 $C_{tr} = 1.548,38$ R\$/ton (Tabela A6.2).

c) Cenário 3: Investimentos em Infra-estrutura de Transportes a Longo Prazo

O custo total da rede de transporte multimodal de carga para o cenário 3 calculado foi de:
 $C_{tr} = 1.662,10$ R\$/ton (Tabela A6.3).

Comparando os custos totais determinados para as três redes, observa-se que a rede do cenário 1 possui o maior custo, seguido da rede do cenário 3, e em último, a rede do cenário 2. Estes valores obtidos indicam que os investimentos em infra-estrutura reduzem os custos operacionais no transporte de carga. Neste caso, um ponto merece destaque, e diz respeito a rede do cenário 3, pois nesta, o subsistema de transporte hidroviário interior é considerada fundamental em sua estrutura. Tendo os rios Araguaia e Tocantins como alternativas de deslocamento de carga.

Apesar de a rede do cenário 3, entre todas, possuir maior quantidade de arcos que representem rios, os quais possuem menores custos operacionais de transporte, seu custo total é maior do que o custo total da rede 2. Isso ocorreu particularmente por que na rede do cenário 3 foram acrescentados onze arcos que traduzem os investimentos de construção de infra-estrutura para conectar os sub-grafos que surgiram, constituindo uma rede de transporte multimodal de carga onde todos os pólos estariam conectados. Tais sub-grafos podem ser identificados nas redes das Figuras 7.28 (cenário 1) e 7.29 (cenário 2).

A Tabela A6.4 referente a rede determinada para o cenário 3 apresenta os onze arcos acrescentados, os quais contribuíram para que o custo total de transporte da rede fosse alterada, tendo inicialmente um custo total de 1.415,65 R\$/ton, e chegando a 1.662,10 R\$/ton. Demais análises foram feitas nas três redes, no entanto, estas serão apresentadas e discutidas com maiores detalhes no Capítulo 8.

CAPÍTULO 8 – ANÁLISES DOS RESULTADOS

8.1 – APRESENTAÇÃO

Neste capítulo são analisados os resultados alcançados com a aplicação da metodologia ao caso da Região Amazônica na determinação de uma rede de transporte multimodal de carga. A fim de facilitar as análises dos resultados, este capítulo foi estruturado em função dos elementos que foram fundamentais na elaboração da rede de transporte multimodal. Assim sendo, no item 8.2 são apresentadas as análises referentes aos rios navegáveis, infraestrutura principal que constitui a rede de transportes. No item 8.3 são descritas as principais análises realizadas quanto à distribuição espacial dos PC identificados na Região Amazônica. No item 8.4 é feita a análise da configuração espacial da rede de transporte básica proposta no estudo de caso. No item 8.5 é discutida a rede de transporte multimodal de carga. Finalmente, no item 8.6 são apresentados os tópicos conclusivos.

8.2 – ANÁLISES DOS RIOS NAVEGÁVEIS

A primeira análise refere-se aos rios navegáveis identificados na Região Amazônica, pois, neste caso, os rios são considerados recurso natural e de infraestrutura de transporte disponível na região, e que devem ser usados de maneira sustentável de modo a possibilitar transportes mais eficientes.

Conforme visto no capítulo anterior, a Região Amazônica é constituída pela bacia do rio Amazonas, na qual se constatou que é praticamente o único meio de transporte da grande maioria das comunidades locais. Além da Bacia Amazônica, outra bacia hidrográfica localizada na mesma região e de igual importância é a Bacia do Tocantins. Em apropriadas condições de navegabilidade, ambas propiciam excelentes meios de transporte, conectando a Região Amazônica com o centro do Brasil, constituindo uma extensa rede de transporte. No entanto, muitos trechos dos rios da região não podem ser considerados navegáveis, quando alguns critérios técnicos clássicos de navegabilidade são considerados.

Neste estudo, para a identificação dos rios navegáveis na Região Amazônica foram considerados, entre os diversos critérios de navegabilidade existentes na literatura, conforme visto no Capítulo 3, aqueles ligados intrinsecamente às características físicas das vias, como: profundidade mínima; largura; e o alinhamento.

Sendo analisados mais de 20 mil km de rios localizados na região, e levando em conta os três critérios apresentados anteriormente, observou-se que aproximadamente 11,87 mil km de vias são navegáveis durante 90% do ano, o que demonstra diferença dos valores apresentados por órgãos oficiais do Governo, que consideram muitos trechos de rios navegáveis, mesmo quando apresentam obstáculos à navegabilidade, tais como rochas isoladas, bancos de areias, quedas d'água, entre outras impedâncias.

Exemplos da situação acima descrita podem ser observados nos rios Araguaia e Tocantins. No rio Araguaia existem obstáculos naturais como as corredeiras de Santa Isabel (Figura 8.1) e bancos de areia próximos ao município de São Félix do Araguaia (Figura 8.2), que impossibilitam a navegabilidade do rio durante o período de “águas baixas” (junho a novembro), quando a profundidade máxima de grande parte do rio chega a 0,70m.

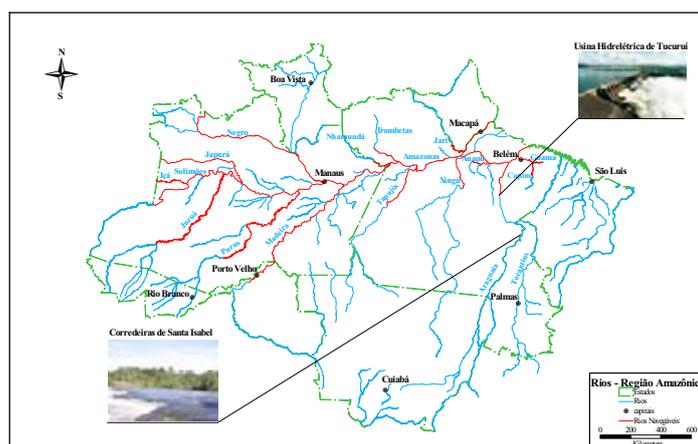


Figura 8.1 – Usina hidrelétrica de Tucuruí e corredeiras de Santa Isabel.

O tráfego de algumas embarcações de grandes dimensões só é possível durante o período de “águas altas” (dezembro a maio). Neste caso, a profundidade mínima de maior parte do rio chega a 2,50m. No caso do rio Tocantins, a usina hidrelétrica de Tucuruí (Figura 8.1) é um dos principais obstáculos à navegabilidade.

De todo modo, ao analisar a Figura 7.7 (Capítulo 7), verifica-se que, mesmo considerando as condições naturais dos rios da Região Amazônica, identificaram-se longos trechos de rios navegáveis, em um total de 11.867 km, que podem ser integrados aos demais modos de transporte com o propósito de construir uma extensa e complexa rede de transporte multimodal importante ao deslocamento de produtos da região.



Figura 8.2 – Bancos de areia no rio Araguaia próximo ao município de São Félix do Araguaia (Fonte: Castorino, 2008).

Pode-se verificar ainda por meio da Figura 7.7 que existem longos trechos de rios dentro da região que não são navegáveis. Estão localizados principalmente em áreas onde não existem outras modalidades de transporte, confirmando, assim, a falta de opção em transporte, levando a identificar a necessidade de investimentos para tornar os rios ou trechos de rios navegáveis.

Obviamente que, com investimentos em infra-estrutura de transporte hidroviário na Região Amazônica, podem-se obter maiores extensões de vias navegáveis, possibilitando alcançar vários benefícios, entre os quais se destacam: maior integração entre as sub-regiões que constituem a região; maior integração entre a Região Amazônica e as demais regiões do Brasil; ocupação territorial e defesa da soberania nacional; redução dos custos operacionais de transporte; maior crescimento e desenvolvimento econômico da população local; transporte mais seguro e menos agressivo ao meio ambiente.

8.3 – ANÁLISES DOS PÓLOS DE CRESCIMENTO

As análises dos PC foram feitas sob duas óticas. A primeira, e talvez a mais importante, se refere à importância dos PC na elaboração de uma rede de transportes. Caso contrário não haveria nem crescimento, nem desenvolvimento econômico. Em decorrência da importância dos PC, analisaram-se os pólos sob a ótica da distribuição espacial. Neste

segundo caso, foram analisadas espacialmente as localizações geográficas dos PC, com o propósito de compreender como as localizações dos pólos podem influenciar a estrutura espacial da rede de transporte dentro da Região Amazônica, ressaltando a importância da relação existente entre os PC e as infra-estruturas de transportes.

8.3.1 – Análise da Importância dos Pólos de Crescimento

Segundo a Teoria dos Pólos de Crescimento e Pólos de Desenvolvimento elaborada por Perroux (1964), o crescimento econômico não se faz de forma difusa por todo o espaço de um país, ou cobrindo as várias partes de uma região, mas se manifesta em certos pontos, chamados de pólos de crescimento, daí se propagando por diversos canais com efeitos terminais distintos sobre a economia (Figura 8.3).

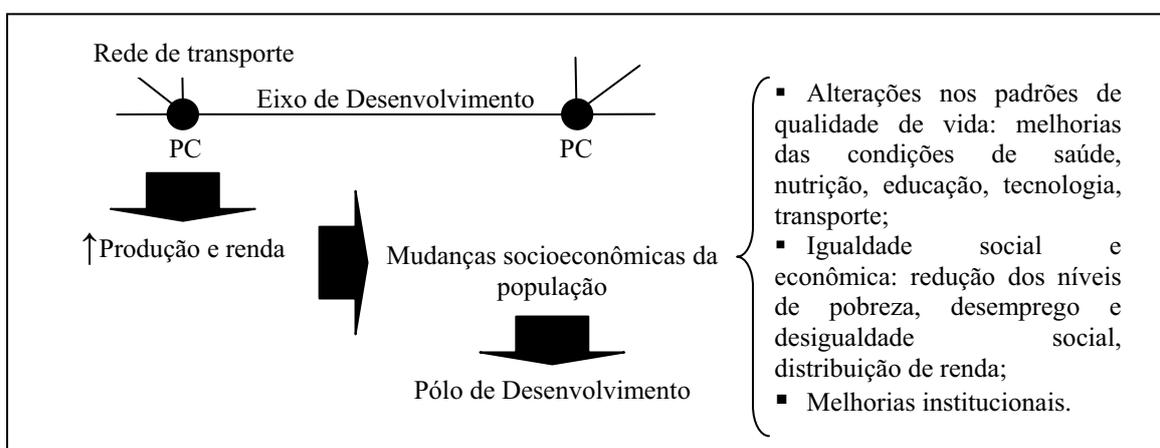


Figura 8.3 – Importância dos PC para a elaboração da rede de transporte e para o crescimento e desenvolvimento econômico.

Com alterações socioeconômicas inerentes às populações, tais como mudanças nos padrões de qualidade de vida e melhorias institucionais, os PC passam a sofrer mudanças de ordem social, ocasionando o surgimento dos pólos de desenvolvimento, conforme visto na Figura 8.3. Além disso, Perroux verificou que o pólo de desenvolvimento não existe como uma unidade isolada, mas está ligado à sua região pelos canais por onde se propagam os fluxos.

Ocorre que o desenvolvimento de um conjunto de territórios e de sua população só é obtido pela propagação dos efeitos dos PC. Essa propagação, realizada por um caminho que liga dois pólos, dá origem ao que se chama de *eixo de desenvolvimento*, destacando que o eixo não é apenas uma estrada, mas que, além disso, deve haver um conjunto de atividades que indicam orientações determinadas de desenvolvimento territorial e

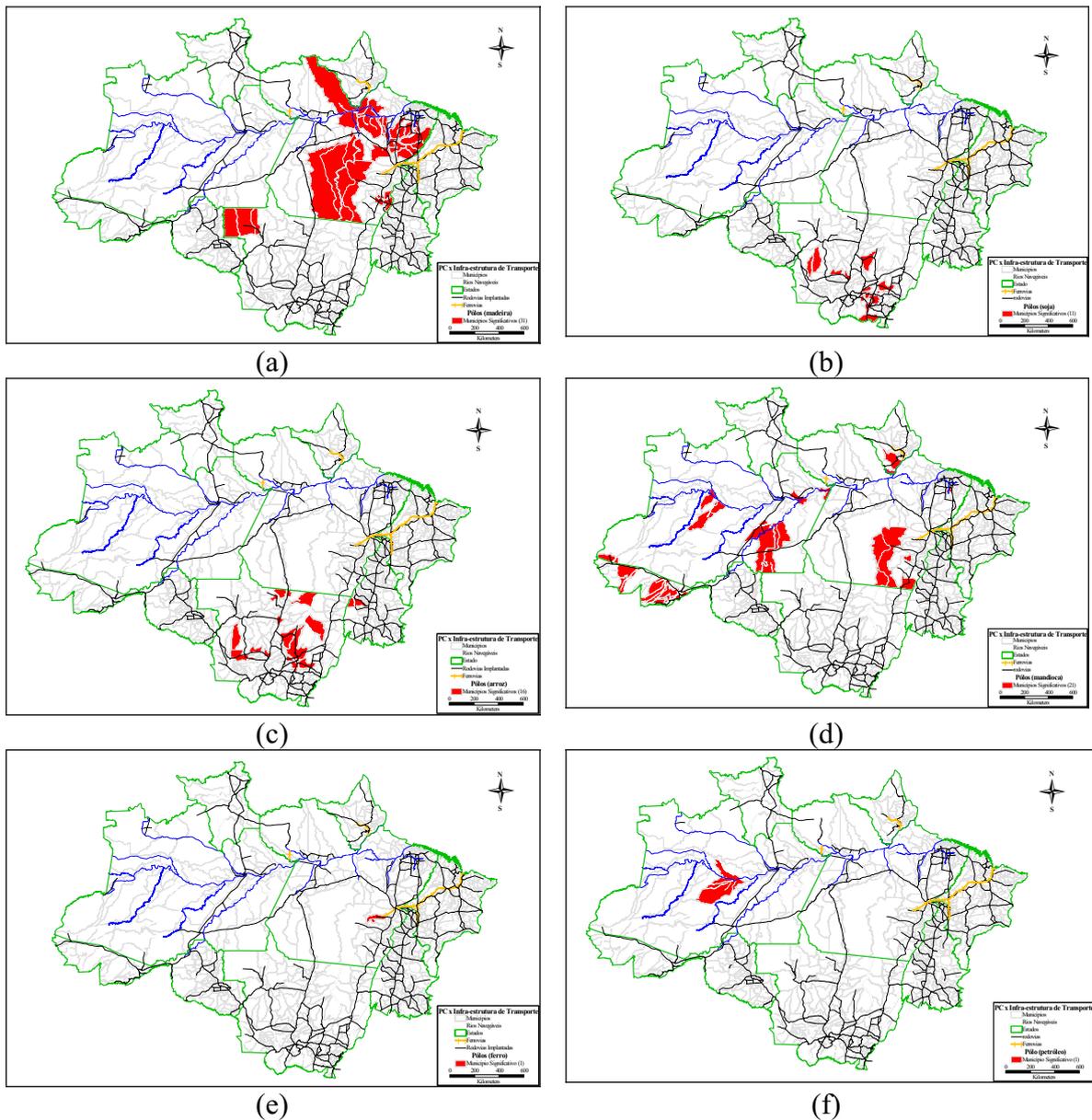


Figura 8.4 – Localizações espaciais dos PC na Região Amazônica.

A produção de madeira permite identificar alguns grandes pólos na parte leste da região. Conclui-se, dessa forma, que, somente com tais pólos não é possível desenvolver uma rede bem estruturada na Região Amazônica, sendo necessários outros pólos para a elaboração de uma rede que impulse o crescimento e desenvolvimento econômico.

8.3.2.2 – Pólos de crescimento: soja

Quanto ao produto *soja*, observa-se que os pólos estão localizados estritamente no Mato Grosso (Figura 8.4b). A soja caracteriza-se como atividade consolidada e predominante do Estado do Mato Grosso, apesar de pesquisas recentes mostrarem o avanço da fronteira agrícola, principalmente o plantio de soja, nos demais Estados da Região Amazônica, tal

ANEXO 4



Veículo rodoviário 2S3, semi-reboque com um eixo de tração simples no cavalo mecânico e eixo tandem triplo na carreta, com capacidade para 30 toneladas úteis.

Figura A4.1 – Veículo considerado na determinação do custo operacional de transporte rodoviário de carga.



Comboio fluvial R 1x2, constituído por:

- 1 empurrador de 720 HP de potência;
- 2 chatas de capacidade de carga de 1.100ton cada, com total de 2.200 toneladas úteis.

Figura A4.2 – Comboio fluvial considerado na determinação do custo operacional de transporte hidroviário interior de carga (Fonte: SILNAVE Navegação S/A).



Composição ferroviária da EFNS e EFC tipo L4 – 100, constituído por:

- 4 locomotivas de 3.000 HP;
- 70 vagões de 90ton de capacidade;
- 3 vagões de 60ton de capacidade;
- Capacidade total de carga de 6.480ton.

Figura A4.3 – Composição ferroviária considerada na determinação do custo operacional de transporte ferroviário de carga.

ANEXO 5

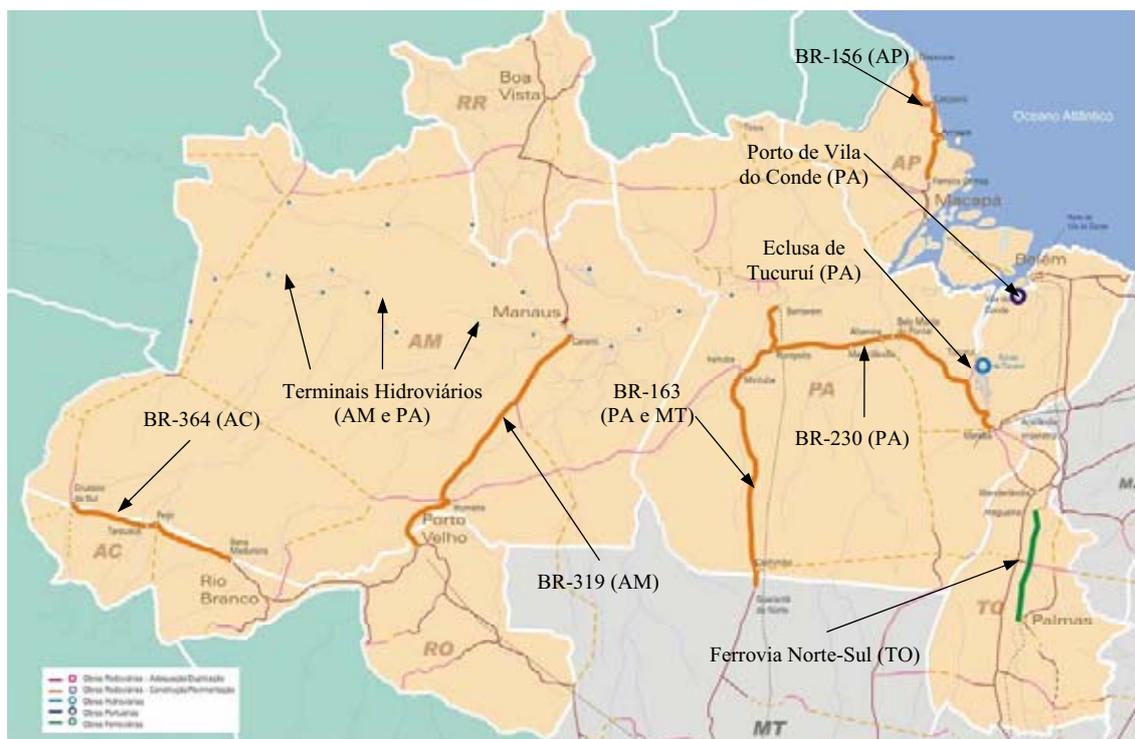


Figura A5.1 – Investimentos previstos pelo governo brasileiro em infra-estruturas de transportes para a região Norte 2007-2010 (Fonte: Ministério do Planejamento, 2007).



Figura A5.2 – Ligações intermodais previstas pelo governo brasileiro para a região Norte 2007-2010 (Fonte: Ministério do Planejamento, 2007).

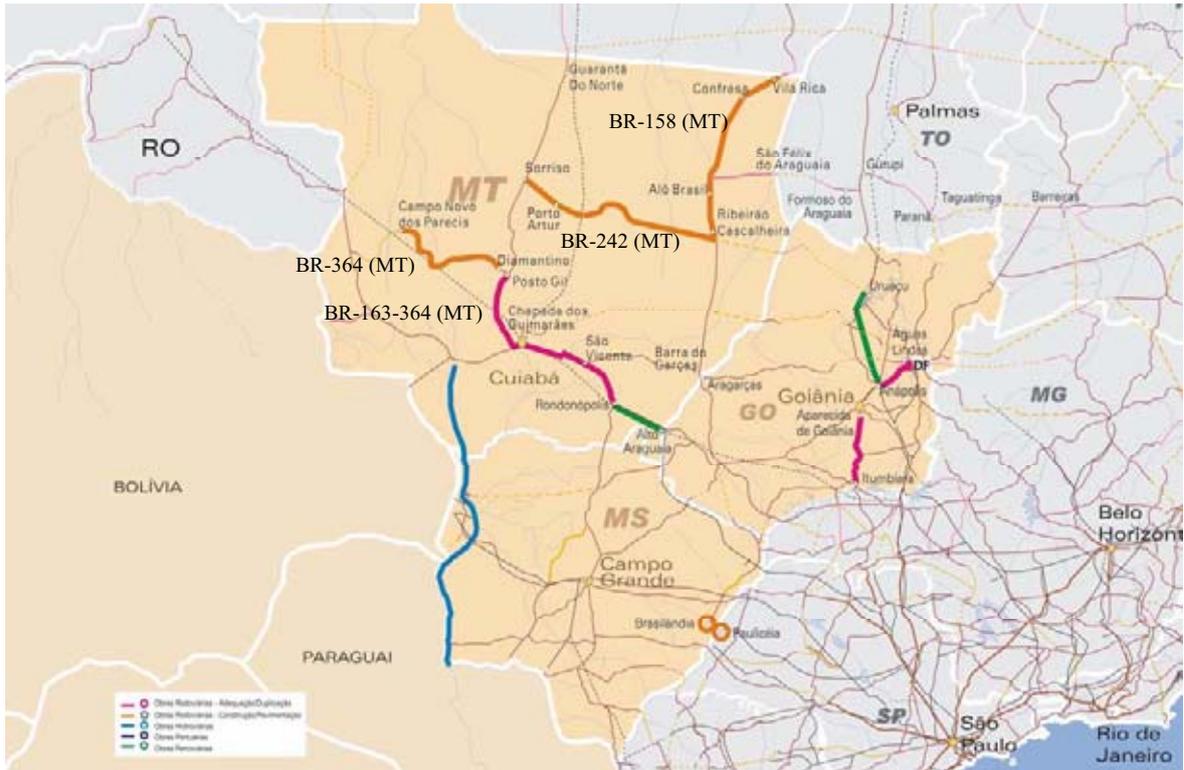


Figura A5.3 – Investimentos previstos pelo governo brasileiro em infra-estruturas de transportes para a região Centro-Oeste 2007-2010 (Fonte: Ministério do Planejamento, 2007).

ANEXO 6

Tabela A6.1 – Custo total de rede (C_{tr}) para o cenário 1.

Produto	Alternativas		Custos (R\$/ton)				
	Origem (PD)	Destino (Porto)	Arco	Transbordo	Total		
M a d e i r a	Paragominas	Vila do Conde	26,49	5,73	32,21		
		Belém	26,38	5,73	32,11		
	Portel	Vila do Conde	5,11	5,73	10,84		
		Belém	5,21	5,73	10,94		
	Almeirim	Macapá	9,12	5,74	14,86		
		Vila do Conde	9,31	5,73	15,04		
	Altamira	Belém	9,41	5,73	15,14		
		Macapá	4,72	5,74	10,46		
		Santarém	13,1	11,46	24,56		
		Vila do Conde	16,68	11,46	28,14		
	Redenção	Belém	16,78	11,46	28,24		
		Macapá	11,73	11,47	23,2		
		Santarém	69,51	11,46	80,97		
		Vila do Conde	68,06	5,73	73,79		
	Aripuana	Belém	68,61	5,73	74,34		
		Macapá	67,23	11,47	78,7		
		Manaus	187,08	9,79	196,87		
		Santarém	194,5	9,79	204,29		
S o j a	Campos de Júlio	Vila do Conde	208,65	9,79	218,44		
		Belém	208,75	9,79	218,54		
		Manaus	94,26	9,79	104,05		
		Santarém	101,67	10,79	112,46		
	Diamantino	Vila do Conde	115,83	10,79	126,62		
		Itaqui	168,77	19,85	188,62		
		Manaus	139,2	9,79	148,99		
		Santarém	146,61	10,79	157,4		
	Nova Ubirata	Vila do Conde	160,77	10,79	171,56		
		Itaqui	202,34	9,06	211,4		
		Manaus	167,05	9,79	176,84		
		Santarém	161,58	6,31	167,89		
	Novo São Joaquim	Vila do Conde	175,74	12,62	188,36		
		Itaqui	193,56	9,06	202,62		
		Manaus	179,51	11,62	191,13		
		Santarém	167,69	12,62	180,31		
	A r r o z	Diamantino	Vila do Conde	157,22	12,62	169,84	
			Belém	157,32	12,62	169,94	
Itaqui			154,32	9,06	163,38		
Manaus			139,2	9,79	148,99		
Sinop		Santarém	146,61	10,79	157,4		
		Vila do Conde	160,77	10,79	171,56		
		Belém	160,87	10,79	171,66		
		Itaqui	202,34	9,06	211,4		
Guaranta do Norte		Manaus	156,24	11,62	167,86		
		Santarém	144,41	6,31	150,72		
		Vila do Conde	158,58	12,62	171,2		
		Belém	158,68	12,62	171,3		
Pium		Itaqui	209,85	9,06	218,91		
		Manaus	127,05	11,62	138,67		
		Santarém	115,23	6,31	121,54		
		Vila do Conde	129,39	12,62	142,01		
São Mateus do Maranhão		Belém	129,49	12,62	142,11		
		Itaqui	182,32	15,37	197,69		
	Manaus	110,28	11,62	121,9			
	Santarém	98,45	12,62	111,07			
Paranatinga	Vila do Conde	87,98	12,62	100,6			
	Belém	88,09	12,62	100,71			
	Itaqui	85,09	9,06	94,15			
	Manaus	94,19	20,68	114,87			
M a n d i o c a	Parauapebas	Santarém	82,37	20,68	103,05		
		Belém	83,09	6,31	89,4		
	Sena Madureira	Itaqui	15,27	6,06	21,33		
		Manaus	175,99	9,79	185,78		
	Taraucá	Santarém	172,47	12,62	185,09		
		Vila do Conde	162	12,62	174,62		
		Belém	162,1	12,62	174,72		
		Itaqui	159,11	9,06	168,17		
	Ferro	Parauapebas	Vila do Conde	37,8	12,62	50,42	
	P e t r ó l e o	Itaqui	38,44	6,06	44,5		
		Coari	Manaus	6,76	1,8	8,56	
		Taraucá	Porto Velho	90,66	3	93,66	
			Manaus	110,22	9,79	120,01	
		Sena Madureira	Rio Branco	47,69	3	50,69	
			Porto Velho	59,66	3	62,66	
		M a n d i o c a	Tefé	Manaus	79,21	9,79	89
				Rio Branco	16,69	3	19,69
			Manicoré	Manaus	10,56	5,31	15,87
Porto Velho				9,78	4,48	14,26	
Itacoatiara			Manaus	9,77	5,31	15,08	
			Manaus	3,04	5,31	8,35	
Pantins			Manaus	7,07	5,31	12,38	
			Macapá	3,47	5,74	9,21	
Laranjal do Jan			Belém	9,68	5,73	15,41	
			Belém	16,87	5,73	22,6	
São Félix do Xingú		Macapá	85,62	11,47	97,09		
		Belém	77,54	11,46	89		
	Palmas	69,43	3	72,43			
		Itaqui	74,54	9,06	83,6		

Tabela A6.2 – Custo total de rede (C_r) para o cenário 2.

Produto	Alternativas		Custos (R\$/ton)				
	Origem (PD)	Destino (Porto)	Arco	Transbordo	Total		
Madeira	Paragominas	Vila do Conde	26,48	5,73	32,21		
		Belém	26,38	5,73	32,11		
	Portel	Vila do Conde	5,11	5,73	10,84		
		Belém	5,21	5,73	10,94		
		Macapá	9,12	5,74	14,86		
	Almeirim	Vila do Conde	9,31	5,73	15,04		
		Belém	9,41	5,73	15,14		
		Macapá	4,72	5,74	10,46		
	Altamira	Santarém	11,84	11,46	23,3		
		Vila do Conde	15,05	11,46	26,51		
		Belém	15,15	11,46	26,61		
	Redenção	Macapá	10,46	11,17	21,93		
		Santarém	48,76	11,46	60,22		
		Vila do Conde	38,28	11,46	49,74		
	Aripuana	Belém	38,38	11,46	49,84		
		Macapá	46,47	11,47	57,94		
		Manaus	166,64	11,04	177,68		
	Soja	Campos de Júlio	Santarém	154,82	11,46	166,28	
			Vila do Conde	160,96	11,46	172,42	
			Belém	169,08	11,46	180,54	
Diamantino		Manaus	94,26	9,79	104,05		
		Santarém	101,67	10,79	112,46		
		Vila do Conde	115,83	10,79	126,62		
Nova Ubirata		Itaqui	148,01	16,85	164,86		
		Manaus	127,88	11,62	139,5		
		Santarém	116,05	12,62	128,67		
Novo São Joaquim		Vila do Conde	130,21	12,62	142,83		
		Itaqui	162,39	18,68	181,07		
		Manaus	113,11	11,62	124,73		
Arroz		Diamantino	Santarém	101,29	12,62	113,91	
			Vila do Conde	115,44	12,62	128,06	
			Itaqui	137,56	9,06	146,62	
		Sinop	Manaus	148,95	11,62	160,57	
			Santarém	137,12	12,62	149,74	
			Vila do Conde	126,65	12,62	139,27	
		Ferro	Novo São Joaquim	Belém	126,75	12,62	139,37
				Itaqui	135,74	9,06	144,8
	Manaus			127,88	11,62	139,5	
	Diamantino		Santarém	116,05	12,62	128,67	
			Vila do Conde	130,22	12,62	142,84	
			Belém	130,32	12,62	142,94	
	Sinop		Itaqui	162,39	18,68	181,07	
			Manaus	98,62	11,62	110,24	
			Santarém	86,8	12,62	99,42	
	Guaranta do Norte		Vila do Conde	100,96	12,62	113,58	
			Belém	101,06	12,62	113,68	
			Itaqui	133,13	18,68	151,81	
	Pium		Manaus	75,06	11,62	86,67	
			Santarém	63,22	12,62	75,84	
Vila do Conde			77,38	12,62	90		
São Mateus do Maranhão	Belém		77,48	12,62	90,1		
	Itaqui		109,56	18,68	128,24		
	Manaus		69,65	14,62	84,27		
Paranatinga	Santarém		57,83	15,62	73,45		
	Vila do Conde		47,36	15,62	62,98		
	Belém	47,46	15,62	63,08			
Paranatinga	Itaqui	50,81	9,06	59,87			
	Manaus	73,44	14,62	88,06			
	Santarém	61,61	15,62	77,23			
Paranatinga	Belém	51,24	15,62	66,86			
	Itaqui	15,27	6,06	21,33			
	Manaus	146,33	11,62	157,95			
Paranatinga	Santarém	134,5	12,62	147,12			
	Vila do Conde	131,45	12,62	144,07			
	Belém	131,55	12,62	144,17			
Ferro	Parauapebas	Itaqui	140,53	9,06	149,59		
		Vila do Conde	17,04	12,62	29,66		
Petróleo	Coari	38,44	6,06	44,5			
Madeira	Tarauacá	Manaus	6,76	1,8	8,56		
		Porto Velho	77,62	3	80,62		
		Manaus	97,17	9,79	106,96		
	Sena Madureira	Rio Branco	34,65	3	37,65		
		Porto Velho	55,1	3	58,1		
		Manaus	74,65	9,79	84,44		
	Tefé	Rio Branco	12,13	3	15,13		
		Manaus	10,56	5,31	15,87		
		Porto Velho	9,78	4,48	14,26		
	Manicoré	Manaus	9,77	5,31	15,08		
		Manaus	3,05	5,31	8,36		
		Manaus	7,07	5,31	12,38		
	Itacoatiara	Manaus	3,47	5,74	9,21		
		Manaus	9,58	5,73	15,31		
		Belém	16,87	5,73	22,6		
	Pantins	Macapá	64,87	11,47	76,34		
		Belém	56,78	11,46	68,24		
		Palmas	69,43	3	72,43		
	Laranjal do Jari	Itaqui	74,54	9,06	83,6		

Tabela A6.3 – Custo total de rede (C_r) para o cenário 3.

Produto	Alternativas		Custos (R\$-ton)			
	Origem (PD)	Destino (Porto)	Arco	Transbordo	Total	
M a d e i r a	Paragominas	Vila do Conde	26,48	5,73	32,21	
		Belém	26,38	5,73	32,11	
	Portel	Vila do Conde	5,11	5,73	10,84	
		Belém	5,21	5,73	10,94	
		Macapá	9,12	5,74	14,86	
	Almeirim	Vila do Conde	9,31	5,73	15,04	
		Belém	9,41	5,73	15,14	
		Macapá	4,72	5,74	10,46	
	Altamira	Santarém	11,84	11,46	23,3	
		Vila do Conde	15,05	11,46	26,51	
		Belém	15,15	11,46	26,61	
	Redenção	Macapá	10,46	11,47	21,93	
		Santarém	36,5	11,46	47,96	
		Vila do Conde	26,02	11,46	37,48	
	Aruana	Belém	26,12	11,46	37,58	
		Macapá	34,21	11,47	45,68	
		Manaus	166,64	11,04	177,68	
		Santarém	154,82	11,46	166,28	
		Vila do Conde	168,78	11,46	180,24	
	S o j o a	Campos de Júlio	Belém	168,88	11,46	180,34
Manaus			94,26	9,79	104,05	
Santarém			101,76	10,21	111,97	
Diamantino		Vila do Conde	115,83	10,79	126,62	
		Itaquí	148,01	16,85	164,86	
		Manaus	127,88	11,62	139,5	
Nova Ubirata		Santarém	116,05	12,62	128,67	
		Vila do Conde	111,23	12,62	123,85	
		Itaquí	129,1	18,68	147,78	
Novo São Joaquim		Manaus	104,54	11,62	116,16	
		Santarém	92,71	12,62	105,33	
		Vila do Conde	82,24	12,62	94,86	
A r o z		Diamantino	Itaquí	100,11	18,68	118,79
			Manaus	102,72	11,62	114,34
			Santarém	90,9	12,62	103,52
		Vila do Conde	80,43	12,62	93,05	
		Belém	80,53	12,62	93,15	
A r o z		Sinop	Itaquí	98,29	18,68	116,97
			Manaus	127,88	11,62	139,5
			Santarém	116,05	12,62	128,67
	Guaranta do Norte	Vila do Conde	111,23	12,62	123,85	
		Belém	111,33	12,62	123,95	
		Itaquí	129,1	18,68	147,78	
	Pium	Manaus	98,62	11,62	110,24	
		Santarém	86,79	12,62	99,41	
		Vila do Conde	96,73	12,62	109,35	
	São Mateus do Maranhão	Belém	96,83	12,62	109,45	
		Itaquí	114,6	18,68	133,28	
		Manaus	75,05	11,62	86,67	
Paranatinga	Santarém	63,22	12,62	75,84		
	Vila do Conde	77,38	12,62	90		
	Belém	77,48	12,62	90,1		
Parauapebas	Itaquí	109,56	18,68	128,24		
	Manaus	60,72	24,24	84,96		
	Santarém	48,9	25,24	74,14		
Petróleo	Vila do Conde	38,43	25,24	63,67		
	Belém	38,53	25,24	63,77		
	Itaquí	41,88	18,68	60,56		
Coiari	Manaus	73,43	14,62	88,05		
	Santarém	61,61	15,62	77,23		
	Belém	51,24	15,62	66,86		
Taruacá	Itaquí	15,27	6,06	21,33		
	Manaus	107,51	11,62	119,13		
	Santarém	95,68	12,62	108,3		
Sena Madureira	Vila do Conde	85,21	12,62	97,83		
	Belém	85,31	12,62	97,93		
	Itaquí	103,08	18,68	121,76		
Tefé	Vila do Conde	17,04	12,62	29,66		
	Itaquí	38,44	6,06	44,5		
	Manaus	6,76	1,8	8,56		
M a n d i o c a	Taruacá	Porto Velho	77,62	3	80,62	
		Manaus	97,17	9,79	106,96	
		Rio Branco	34,65	3	37,65	
	Sena Madureira	Porto Velho	55,1	3	58,1	
		Manaus	74,65	9,79	84,44	
		Rio Branco	12,13	3	15,13	
	Manicoré	Manaus	10,56	5,31	15,87	
		Porto Velho	9,78	4,48	14,26	
		Manaus	9,77	5,31	15,08	
	Iltacoatiara	Manaus	3,05	5,31	8,36	
		Manaus	7,07	5,31	12,38	
		Macapá	3,47	5,74	9,21	
Laranjal do Jari	Belém	9,58	5,73	15,31		
	Belém	16,87	5,73	22,6		
	Macapá	64,87	11,47	76,34		
Aurora do Pará	Belém	56,78	11,46	68,24		
	Palmas	65,48	3	68,48		
	Itaquí	74,54	9,06	83,6		

Tabela A6.4 – Custo operacional para os arcos suplementares da rede do cenário 3.

Origem	Destino	<i>coa_i</i>
Rio Branco	Porto Velho	42,97
Paranatinga	Nova Ubiratan	33,22
Nova Ubiratan	Diamantino	28,99
Novo São Joaquim	Paranatinga	24,77
Nova Ubiratan	Sinop	14,49
Diamantino	Paranatinga	43,23
Campos de Júlio	Diamantino	40,18
Almeirim	Santarém	4,85
Portel	Almeirim	6,55
Açailândia	Marabá	7,2
Total		246,45

ANEXO 7

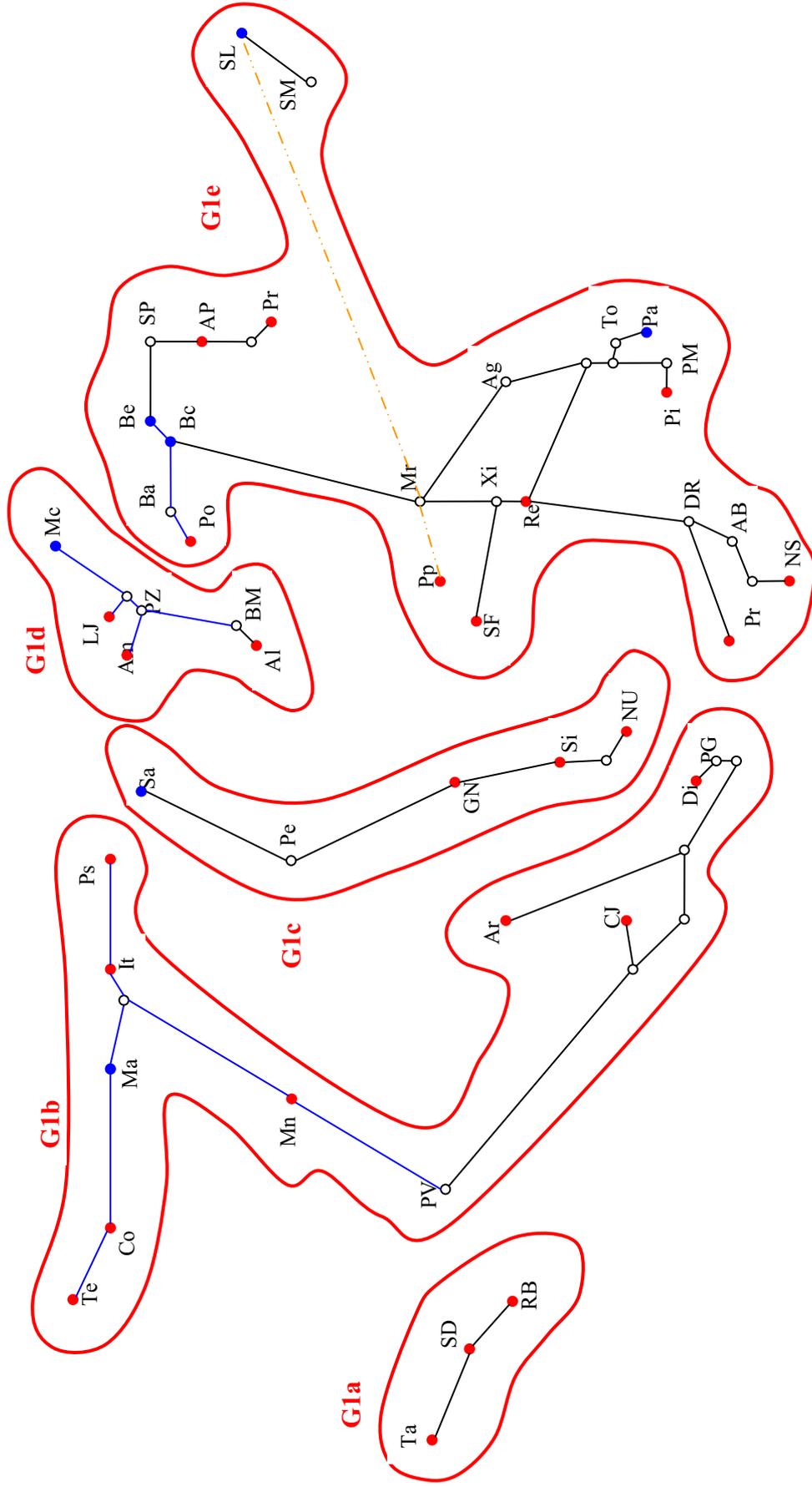


Figura A7.1 – Rede 1: Status quo.

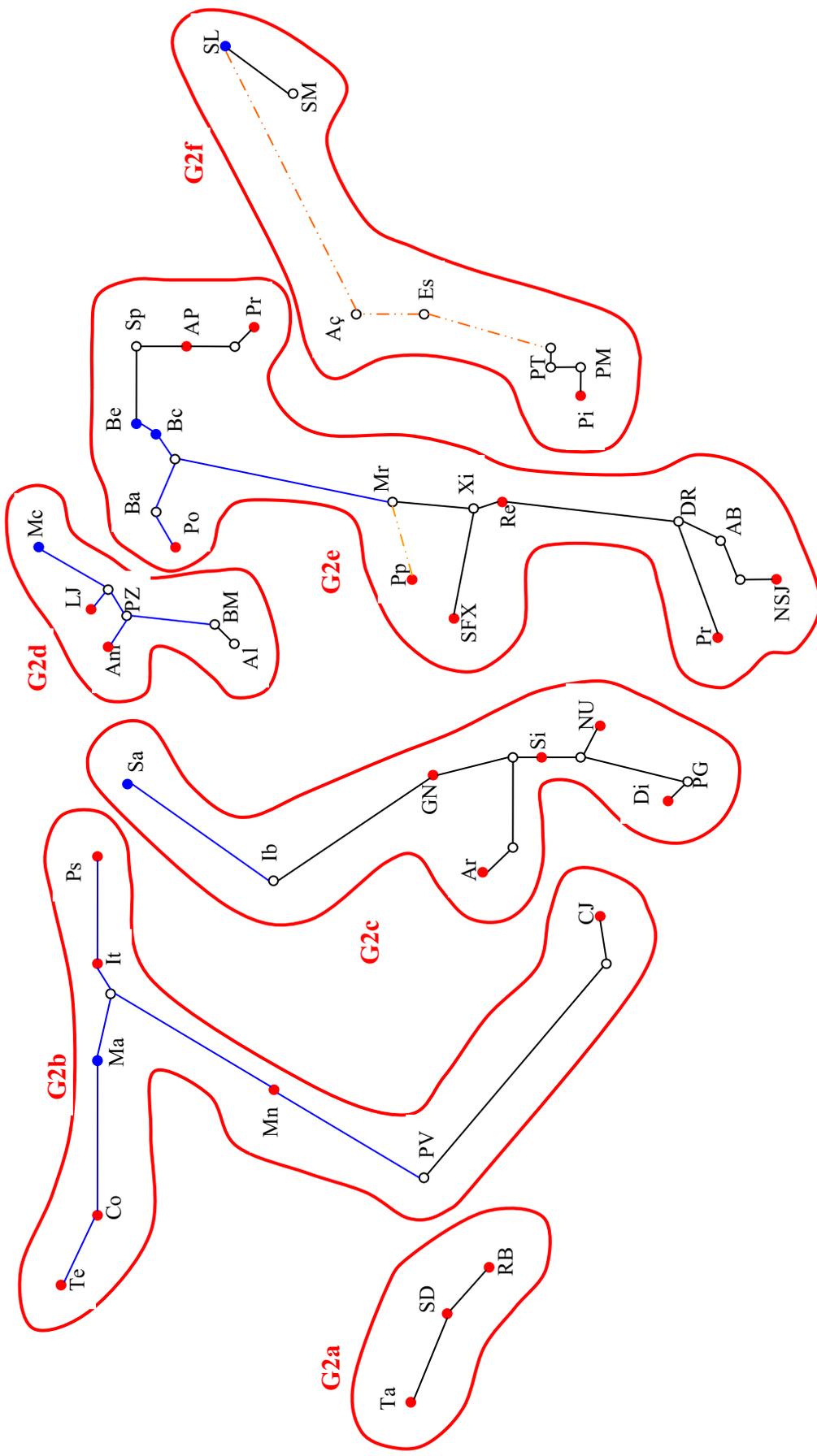


Figura A7.2 – Rede 2: Investimentos em infra-estrutura de transportes a médio prazo – programas governamentais.

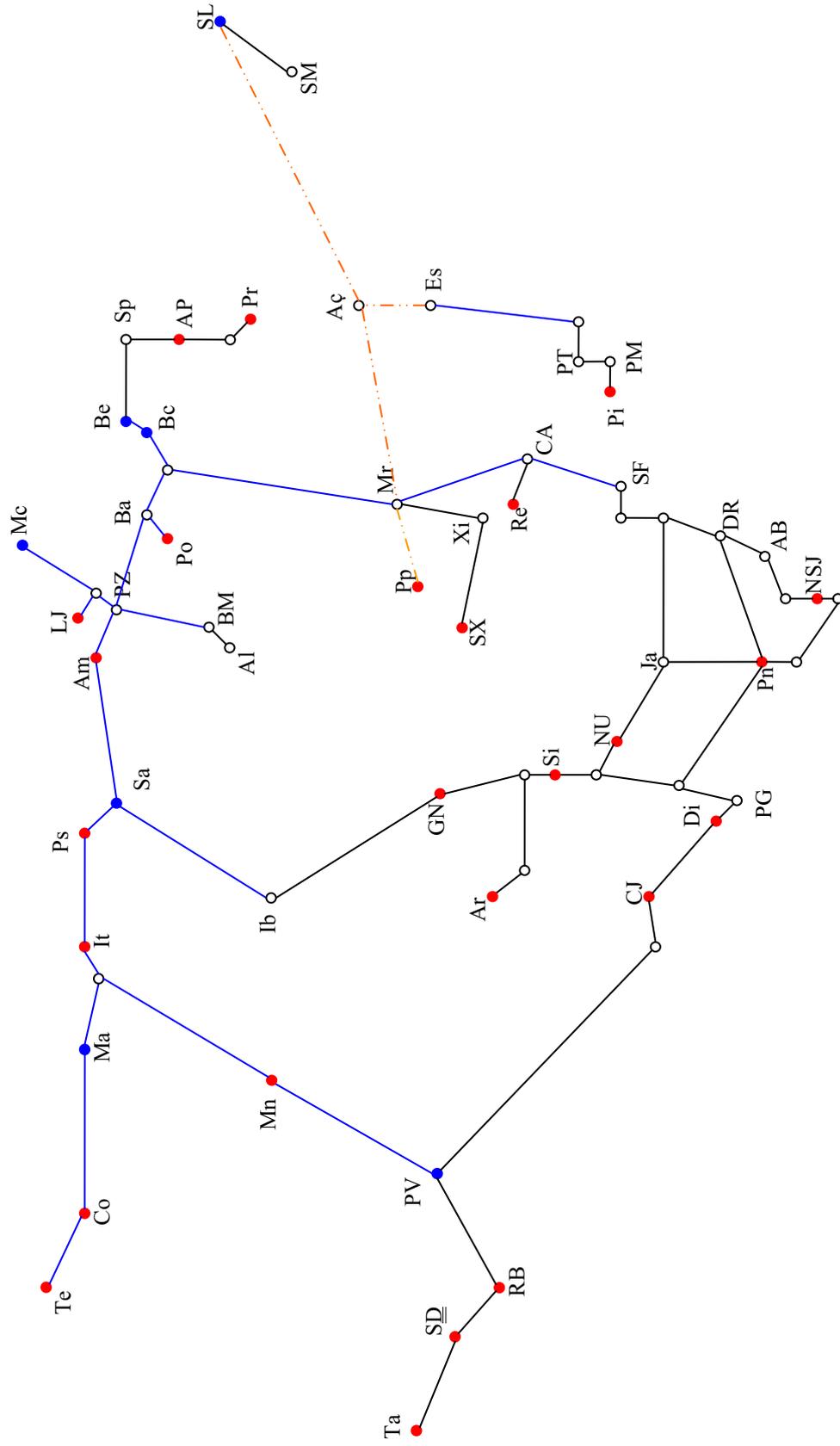


Figura A7.3 – Rede 3: Investimentos em infra-estrutura de transportes a longo prazo – estratégico.

Legenda:

———— Rodovias

———— Rios navegáveis

----- Ferrovias

● Nós centróides: pólo de crescimento (geração)

● Nós centróides: porto (atração)

○ Nós de ligação

AB	Água Boa	Pa	Palmas
Aç	Açailândia	Pe	Pederneiras
Ag	Araguaína	PG	Posto Gil
Al	Altamira	Pi	Pium
Am	Almeirim	PM	Pug Mil
AP	Aurora do Pará	Pn	Paranatinga
Ar	Aripuanã	Po	Portel
Ba	Bagre	Pp	Parauapebas
Bc	Barcarena	Pr	Paragominas
Be	Belém	Ps	Parintins
BM	Belo Monte	PT	Paraíso do Tocantins
CA	Conceição do Araguaia	PV	Porto Velho
CJ	Campos de Júlio	PZ	Porto de Moz
Co	Coari	RB	Rio Branco
Di	Diamantina	Re	Redenção
DR	Dona Rosa	Sa	Santarém
Es	Estreito	SD	Sena Madureira
GN	Guarantã do Norte	SF	São Félix do Araguaia
It	Itacoatiara	SX	São Félix do Xingu
Ib	Itaituba	Si	Sinop
Ja	Jatobá	SL	São Luis
LJ	Laranjal do Jarí	SM	São Mateus do Maranhão
Ma	Manaus	SP	Santa Maria do Pará
Mc	Macapá	Ta	Tarauacá
Mn	Manicoré	Te	Tefé
Mr	Marabá	To	Tocantínia
NJ	Novo São Joaquim	Xi	Xinguara
NU	Nova Ubiratã		

como o Maranhão. As sub-regiões no Estado do Mato Grosso que apresentam as maiores concentrações da produção da soja são: centro, sul, e sudoeste.

A produção de soja permite construir uma rede de transporte bem estruturada para o Estado do Mato Grosso, mas que não estimula e não sustenta o crescimento e desenvolvimento econômico da região como um todo. Conclui-se, dessa forma, que somente com tais pólos não é possível construir uma rede bem estrutura e que cubra toda a Região Amazônica.

8.3.2.3 – Pólos de crescimento: arroz

O Estado de Mato Grosso, mais uma vez, apresenta-se como concentrador de alguns pólos, neste caso, relacionado ao produto *arroz* (Figura 8.4c). Uma exceção a essa regra é o pólo Pium, localizado no Estado de Tocantins. Os PC referentes ao produto arroz estão localizados em algumas poucas sub-regiões do Mato Grosso: centro, norte, e sudoeste. Ao se comparar as Figuras 8.4b e 8.4c, observa-se que há alguns municípios em comum que produzem soja e arroz. Estes estão localizados na região sudoeste do Estado do Mato Grosso. Tal observação confirma que essas duas culturas agrícolas constituem atividades econômicas predominantes em tal Estado.

Como os locais de produção de arroz são similares aos da soja, suas análises são semelhantes, ou seja, com a produção de arroz é possível construir uma rede de transporte bem estruturada para o Estado do Mato Grosso, mas somente este produto não estimula o crescimento e desenvolvimento econômico da região. Conclui-se que somente com tais pólos não é possível desenvolver uma rede que cubra toda a Região Amazônica.

8.3.2.4 – Pólos de crescimento: mandioca

No que se refere ao produto *mandioca*, seus respectivos pólos concentram-se principalmente nos Estados onde os produtos soja e arroz não são predominantes, ou seja, Acre, Amazonas, Amapá, Pará e Maranhão (Figura 8.4d). Tal observação demonstra a existência de certo equilíbrio locacional de culturas agrícolas na Região Amazônica. As sub-regiões que concentram os PC referentes ao produto mandioca são: sul do Pará; sul do Amapá; centro do Maranhão; grande parte do Estado do Acre; e sub-regiões centro, sul e nordeste do Estado do Amazonas.

dependem da capacidade de investimento. Assim, o conjunto de elementos constituído pelos eixos de desenvolvimento e pelos PC forma uma rede de transportes.

Logo, quando não existe PC, é necessário estimular, por meio de incentivos (investimento e/ou financiamento) o seu surgimento e, em seqüência, dos pólos de desenvolvimento, com o objetivo de gerar o desenvolvimento econômico e não simplesmente o crescimento concentrado em capitais, como ainda ocorre nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. Conclui-se, portanto, que os PC desempenham papel fundamental no crescimento e desenvolvimento econômico regional.

8.3.2 – Análise Espacial dos Pólos de Crescimento: Características Morfológicas e Geológicas

Pode-se afirmar que a localização espacial dos PC pode ser compreendida ao analisar as características geográficas (morfológica e geológica) da Região Amazônica. Assim, para a compreensão das localizações espaciais dos PC dentro da Região Amazônica, foi necessário avaliar separadamente os PC referentes a cada produto, pois, assim, são consideradas as características morfológicas e geológicas dos pólos. Os fatos que podem explicar as razões pelas quais os PC estão localizados na Região Amazônica, conforme é apresentado na Figura 8.4, são:

- para a produção agrícola e florestal, as características morfológicas do solo, as quais são adequadas para o cultivo de determinadas culturas;
- para a extração mineral, as características geológicas que definem a localização de minerais específicos.

8.3.2.1 – Pólos de crescimento: madeira

Os primeiros pólos analisados referem-se ao produto *madeira*. Ao utilizar a ferramenta da estatística espacial para identificar os PC, observou-se que o resultado para a madeira mostrou que os pólos estão localizados principalmente no Estado do Pará, com exceção do Pólo Aripuanã no Estado de Mato Grosso (Figura 8.4a). Essas observações confirmam a extração da madeira como uma das atividades econômicas predominantes no Pará. As sub-regiões no Estado do Pará que apresentam as maiores concentrações da extração da madeira, conforme mostra a Figura 8.4a, são: Marajó, sul, sudeste, e sudoeste.

A produção de mandioca apresenta distribuição um pouco mais homogênea dos pólos na região, permitindo desenvolver uma rede de transporte que estimule o crescimento e desenvolvimento econômico da Região Amazônica como um todo. Neste caso, conclui-se que talvez fosse necessário estimular ainda mais a produção da mandioca em tais pólos ou em áreas em potencial como forma de contribuir para a elaboração de uma rede de transporte estruturada e sustentável e que cobrisse grande parte da região.

8.3.2.5 – Pólos de crescimento: ferro e petróleo

Verificou-se que as características geológicas da região determinaram as localizações espaciais dos PC referentes à produção de *ferro* e extração de *petróleo*, pois, em ambos, as produções são totalmente concentradas em dois municípios. A produção de ferro é concentrada unicamente no Pólo Parauapebas (PA), onde está localizada a mina de ferro de Carajás. O mesmo ocorre com a extração de petróleo, a qual é executada no Pólo Coari (AM). As Figuras 8.4e, 8.4f apresentam as localizações espaciais dos PC relacionados ao ferro e petróleo respectivamente. Sendo assim, tanto os PC sustentados pela produção de ferro quanto de petróleo são concentrados em apenas dois municípios, sendo questionável o quanto uma rede de transporte estruturada somente pelos pólos de tais produtos poderia estimular o crescimento e desenvolvimento econômico regional.

Após as análises, constatou-se que a localização dos PC na Região Amazônica apresenta configuração que obedece às características morfológicas e geológicas da região, mas que também sofre efeitos de fatores econômicos advindos da necessidade de o país produzir cada vez mais *commodities*, principalmente grãos e minerais, com o propósito de manter o saldo da balança comercial em nível superavitário, o que ocasiona profundas mudanças no uso e ocupação do território amazônico. Todas essas mudanças são passíveis de ocorrer quando se elaboram planos de desenvolvimento que não prevêm os mais diversos fatores.

Assim, as análises dos PC sustentados pela produção de madeira, soja, arroz, ferro e petróleo possibilitaram identificar alguns grandes pólos (Figura 8.4), concentrados em áreas específicas de acordo com as características morfológicas e geológicas da região. No entanto, tais pólos, de forma isolada, não permitem construir uma rede de transportes sustentável na Região Amazônica. Por esse motivo, conclui-se que em uma região grande como a Amazônia são necessários vários pólos para a elaboração de uma rede de transporte

bem estruturada que estimule o crescimento e desenvolvimento econômico por meio de troca de fluxos econômicos.

Para que haja interação (fluxo) entre os PC, há necessidade de atração e complementaridade das funções dos municípios que definem os pólos. A essência da rede é que todos os pólos e suas áreas de influência cresçam sem competição predatória. Assim, a região como um todo cresce e se desenvolve. Cada pólo se mostra consolidado em uma determinada atividade econômica, logo o conjunto de todos os pólos se complementa. Tal assertiva pode ser confirmada quando se analisa globalmente os pólos de crescimento dentro da estrutura da rede básica (Figura 7.24).

8.4 – ANÁLISE DA CONFIGURAÇÃO ESPACIAL DA REDE DE TRANSPORTE BÁSICA

As análises realizadas no item anterior, de certo modo, contribuíram para a análise espacial da rede de transporte básica, principalmente, porque os PC são partes constituintes da rede de transporte básica, uma vez que os mesmos são elementos que definiram os nós centróides. Portanto, analisar a distribuição espacial dos PC possibilitou compreender a configuração espacial que a rede de transporte básica tomou na Região Amazônica.

Se, por um lado os PC definiram os nós, por outro, os arcos foram definidos pelos rios, ferrovias e rodovias implantadas. Logo, da mesma forma que os PC, esses elementos desempenharam papel fundamental na configuração geográfica da rede de transporte. A Figura 8.4 apresenta a configuração da rede de transporte básica na Região Amazônica, constituída pelos arcos e nós centróides.

Ao analisar a Figura 7.24, percebe-se que ainda existem imensas áreas a serem ocupadas e três grandes sub-regiões concentradoras de grande parte da infra-estrutura de transporte: nordeste do Pará e Tocantins; centro-sul e sudeste do Mato Grosso; e as áreas próximas aos rios Amazonas-Solimões, Xingu, Tapajós, Madeira, Purus e Juruá).

Nas sub-regiões onde se concentra grande parte da infra-estrutura de transportes, as relações da infra-estrutura com o meio são mais intensas, confirmando a tese de que o grau do relacionamento entre esses dois elementos definirá a intensidade das alterações geográficas que ocorrerão no meio. Nas demais sub-regiões seria necessário o incentivo às

políticas de introdução de PC a fim de torná-las mais dinâmicas, conectando-as com as demais sub-regiões por meio de vias de transporte, gerando crescimento e desenvolvimento para a grande Região Amazônica e não apenas para algumas sub-regiões.

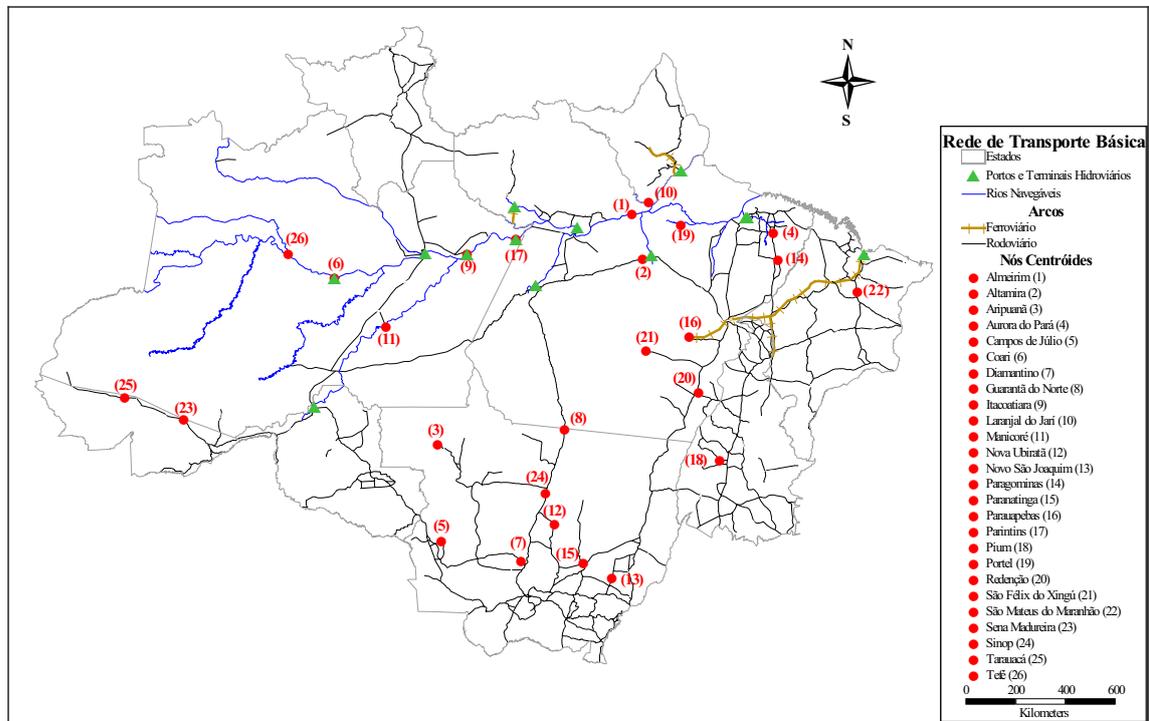


Figura 7.24 – Rede de transporte básica na Região Amazônica.

Na Figura 8.4, observa-se ainda uma importante característica, a de complementaridade entre os subsistemas de transporte. Na maioria dos casos, os arcos que representam as rodovias complementam os hidroviários, não havendo, na estrutura da rede, sobreposição de arcos representando diferentes modos alternativos de transportes. Vale ressaltar que essa complementaridade poderia ser muito bem estruturada se os recursos naturais disponíveis, tais como os rios, fossem aproveitados em sua total potencialidade. Neste caso, não seria necessária a construção de rodovias e/ou ferrovias, sistemas de transportes de elevado valor de implantação e manutenção, em locais onde já existem vias naturais de acesso, possibilitando a conexão entre os PC e evitando a concorrência entre modos.

Quanto ao modo de transporte terrestre na região, estudos desenvolvidos no Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília sobre o solo da Região Amazônica demonstram que algumas áreas da região apresentam baixa resistência do solo, dificultando e encarecendo a implantação de rodovias. Entre tais estudos, destaca-se a

dissertação de mestrado desenvolvida por Pessoa (2004) a respeito da região de Urucu no Estado do Amazonas.

A sobreposição de modos pode ser visualizada claramente ao analisar o caso da Estrada de Ferro Carajás e as rodovias BR-222/BR-135, que ligam Açailândia ao Porto de Itaquí. Um outro exemplo é o caso do Rio Madeira e da BR-319, que ligam Porto Velho ao Rio Amazonas (Figura 8.4). Neste último caso, nota-se que a construção da BR-319 no trecho citado foi feita paralelamente ao Rio Madeira, sendo privilegiado o modo rodoviário em detrimento da via navegável, disponível e navegável em 90% do ano. Outro caso emblemático se refere a BR-230, construída paralelamente ao Rio Amazonas.

Além disso, outro aspecto que deve ser analisado quanto à rede de transporte básica da Região Amazônica é a reduzida quantidade de vias de transporte que a constitui. Para uma região que cobre uma área de 5.217.423 km², equivalente a aproximadamente 61% do território brasileiro (52% do território canadense e 56% do território norte-americano), o fato de haver somente 83.087 km de rodovias, 1.342 km de ferrovias e 11.867 km de rios navegáveis, é considerado, do ponto de vista logístico, insuficiente para impulsionar o crescimento e desenvolvimento econômico. Tal assertiva pode ser observada quando se comparam as extensões de ferrovias, rodovias e hidrovias por área existente na Região Amazônica com as extensões de mesma infra-estrutura de transportes por área existentes nos Estados Unidos (país continental e desenvolvido) (Tabela 8.1).

Tabela 8.1 – Relação entre infra-estrutura de transporte e área dos EUA e Amazônia.

País/Região	Ferrovias/área (km)	Rodovias/área (km)	Hidrovias/área (km)	Áreas (km²)
EUA	0,0173	0,6773	0,0044	9.372.610
Região Amazônica	0,0003	0,0159	0,0023	5.217.423

Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2006).

Conforme pode ser observado na Tabela 8.1, os Estados Unidos possuem quase duas vezes mais hidrovias por área do que a Região Amazônica, valor considerado relativamente expressivo, visto que os Estados Unidos não detêm o potencial hidroviário que a Região Amazônica possui. Quando se analisam as extensões ferroviárias e rodoviárias dos EUA e da Região Amazônica, a disparidade é ainda maior.

8.5 – ANÁLISE DAS REDES DE TRANSPORTE MULTIMODAL DE CARGA

A importância em se desenvolver uma rede de transportes vai além do simples fato de otimizar deslocamentos por vias que constituem um dado sistema de transporte. Um dos aspectos relevantes que reflete a importância da rede refere-se à capacidade de organização regional que esta proporciona. Confirmando tal assertiva, observa-se que as redes de transportes são importantes por constituírem o sistema arterial da organização espacial da região, influenciando em sua estrutura e possibilitando a circulação dos fluxos de bens, pessoas e informações, e produzindo, como consequência, o crescimento e desenvolvimento econômico (Pons & Bey, 1991).

Um ponto importante diz respeito à estrutura econômica de uma região. Nesse caso, as redes de transportes são elementos fundamentais para ligar as economias regionais aos mercados produtores e consumidores, gerando oportunidades de crescimento (Lakshman *et al.*, 2003). O desenvolvimento de uma rede de transportes permite regiões alcançarem recursos naturais e mercados consideráveis, por meio da integração de sub-regiões.

Os aspectos acima descritos resumem alguns fatores que traduzem a importância em se construir uma rede de transportes. As análises matemáticas que geralmente são feitas ao estudo dos grafos não esgotam todas as conclusões que se almeja obter, principalmente quando um dos objetivos é compreender de que forma uma dada região pode ser organizada geograficamente por meio da configuração espacial da rede de transporte.

Por esse motivo, neste item são analisadas as três redes de transportes sob o ponto de vista estrutural, como forma de verificar as suas configurações espaciais, inseridas no contexto geográfico da Região Amazônica. Isso possibilitará identificar o potencial de organização territorial da região ou, em alguns casos, como está estruturada a rede de transportes na Região Amazônica.

8.5.1 – Configuração Geográfica da Rede 1: *Status Quo*

A rede que representa a situação atual da rede de transportes na Região Amazônica quanto ao menor custo operacional de transporte demonstra certo grau de desarticulação, pois, na realidade, é constituída por cinco sub-redes desconectadas: G1a; G1b; G1c; G1d; G1e (Figura A7.1), materializando a desintegração espacial que a rede de transportes apresenta para a situação atual na Região Amazônica. Essa situação ocasiona a falta de acessibilidade

e conectividade entre as diversas localidades da região, provocando, por sua vez, ineficiência nos transportes e no processo de integração dos subespaços geográficos que constituem a Região Amazônica.

Ao analisar separadamente as cinco sub-redes que constituem a rede na situação atual, observa-se que duas se destacam – G1b e G1e – por cobrirem extensos territórios e por serem constituídas pelas maiores quantidades de PC, oito no grafo G1b e dez no grafo G1e. O grafo G1b cobre a região central e sul do Estado do Amazonas, na altura do rio Amazonas/Solimões e Madeira, o Estado de Rondônia, a região central e noroeste de Mato Grosso. Os PC que constituem tal grafo são: Tefé, Coari, Itaquatiara, Parintins, Manicoré, Campos de Júlio, Aripuanã e Diamantina. Além desses, há o porto de Manaus e o terminal hidroviário de Porto Velho.

O grafo G1e cobre a região nordeste, sul e sudeste do Pará, nordeste e sul do Maranhão, a região sudeste do Mato Grosso, e o Tocantins. Os PC que constituem tal grafo são: Portel, Aurora do Pará, Paragominas, Parauapebas, São Félix do Xingu, Redenção, Pium, Paranatinga, e Novo São Joaquim, além dos portos de Belém, Barcarena, e Itaquí.

8.5.2 – Configuração Geográfica da Rede 2: Programas Governamentais

A segunda rede, que traduz os investimentos em infra-estruturas de transporte previstos por programas governamentais na Região Amazônica, apresenta desarticulação estrutural da rede de transportes, pois é caracterizada por possuir cinco sub-redes remanescentes da rede 1, e desconectadas uns dos outros: G2a; G2b; G2c; G2d; G2e; e G2f (Figura A7.2).

Tal situação demonstra que, apesar de serem previstos grandes investimentos em infra-estrutura de transportes para a Região Amazônica, pelo menos um importante fator não foi considerado, a integração sub-regional da grande Amazônia, isto é, ainda persiste a ineficiência do planejamento territorial e de transportes no que se refere à integração dos subespaços da região, ocasionando, além da falta de acessibilidade e conectividade entre as diversas localidades, uma situação ainda pior quando se comparam as redes 1 e 2, pois a primeira, que era constituída por cinco sub-redes, passa a se subdividir ainda mais, sendo constituída agora por seis sub-redes desconectadas umas das outras.

Ao analisar as seis sub-redes que constituem a rede 2, observa-se que existem quatro sub-redes que se destacam por cobrirem extensos territórios: G2b, G2c, G2e e G2f. Neste caso, as sub-redes G2b, G2c e G2e são constituídas pelas maiores quantidades de PC, seis, cinco e oito respectivamente.

A sub-rede G2b cobre a região central e sul do Estado do Amazonas, na altura do rio Amazonas/Solimões e Madeira, o Estado de Rondônia, e uma pequena porção da região noroeste de Mato Grosso. Os PC que constituem tal grafo são: Tefé, Coari, Itaquatiara, Parintins, Manicoré, Campos de Júlio. Além desses, há o porto de Manaus e o terminal hidroviário de Porto Velho. A sub-rede G2b, que na rede 2 (G1b) cobria maiores extensões territoriais, com os investimentos em infra-estrutura de transportes perdeu área de cobertura, principalmente no Estado do Mato Grosso.

A sub-rede G2c cobre a região noroeste do Pará e a região norte, central e noroeste do Mato Grosso. Os PC que constituem tal sub-rede são: Garantã do Norte, Aripuanã, Sinop, Nova Ubiratan, e Diamantina, além do porto de Santarém.

A sub-rede G2e cobre a região nordeste, sul e sudeste do Pará e a região sudeste do Mato Grosso. Os PC que constituem tal sub-rede são: Portel, Aurora do Pará, Paragominas, Parauapebas, São Félix do Xingu, Redenção, Paranatinga, e Novo São Joaquim. Além desses, existem os portos de Belém e Barcarena. Sua sub-rede correspondente na rede 1 (G1e) perdeu a cobertura da região nordeste e sul do Maranhão e do Estado do Tocantins.

8.5.3 – Configuração Geográfica da Rede 3: Estratégico

Neste subitem é analisada a sub-rede que representa a situação aqui chamada de estratégica (Figura A7.3), onde são considerados os investimentos em infra-estrutura de transporte previstos por programas governamentais e a inserção de alguns arcos e nós na estrutura da rede 2. Neste caso, um grafo mais robusto e eficiente em termos de integração sub-regional é obtido, pois as sub-regiões que antes estavam desconectadas, na configuração geográfica da rede 3 são integradas em uma única e extensa rede de transportes.

Vale ressaltar que a elaboração das três redes (1, 2 e 3) é feita considerando a política de exportação que o país ainda adota. Por esse motivo, as redes 1 e 2 apresentam sub-redes desconectadas, trazendo benefícios às áreas de influências de tais sub-redes, levando-se a

concluir que tais políticas estimulam a elaboração de redes desconectadas que não privilegiam o crescimento e desenvolvimento econômico de toda a Região Amazônica.

Assim, constatou-se que tanto a situação atual quanto a de investimentos em infra-estrutura não possibilitaram a elaboração de uma rede de transportes que integre os subespaços da região, provocando, como conseqüência, o surgimento de estruturas territoriais desarticuladas e ocasionando crescimento e desenvolvimento econômico desequilibrado, em que algumas sub-regiões são privilegiadas em detrimento de outras.

Apesar de a rede 3 apresentar melhor estrutura espacial quando comparada às redes 1 e 2, esta ainda não cobre todas as sub-regiões que constituem a grande Região Amazônica, pois a política adotada ainda é de exportação. Conclui-se que o estímulo à conexão de sub-redes por meio de investimentos em PC, principalmente em áreas com potencial econômico regional, mas ainda não atendidas, possibilitaria construir uma rede de transporte densa que impulse troca de bens, informações, conhecimento e outros benefícios à população local, gerando crescimento e desenvolvimento econômico regional.

8.6 – TÓPICOS CONCLUSIVOS

- Neste capítulo são apresentadas as análises dos resultados alcançados com a aplicação do método ao estudo de caso da Região Amazônica. Quatro principais análises foram feitas, referentes a: rios navegáveis, distribuição espacial dos PC, configuração espacial da rede de transporte básica e redes de transporte multimodal de carga.
- Com as análises dos rios navegáveis, constatou-se que existem 11.867km de vias navegáveis durante 90% do período do ano, ao contrário do que os órgãos oficiais governo divulgam em seus relatórios.
- As análises realizadas quanto à distribuição espacial dos PC permitiram constatar que as características geológicas e morfológicas do solo da região foram determinantes para a localização dos PC dentro da estrutura regional da Amazônia, mas que tais localizações podem sofrer alterações espaciais em função das atividades econômicas.
- Quanto às análises realizadas na configuração espacial da rede de transporte básica, observou-se a existência de complementaridade entre os subsistemas de transportes que os constituem, mas que não é aplicado em sua total estrutura, ou seja, existe, em muitos casos, a concorrência entre modos de transportes, reflexo dos ineficientes planos de desenvolvimento elaborados para a região.

- Tanto a rede 1 quanto a rede 2 não possibilitaram a elaboração de uma rede de transportes que integre as sub-regiões da Amazônia, provocando o surgimento de estruturas territoriais desarticuladas, e ocasionando crescimento e desenvolvimento econômico desequilibrados, onde algumas sub-regiões são privilegiadas em detrimento de outras. As áreas cobertas espacialmente pela rede poderão obter tais benefícios.
- Apesar de a rede 3 apresentar melhor estrutura espacial, esta ainda não cobre todas as sub-regiões que constituem a grande Região Amazônica, pois a política adotada ainda é de exportação voltada para o benefício da nação. Logo, o estímulo à conexão de sub-redes por meio de investimentos em PC, principalmente em áreas com potencial econômico regional mas ainda não atendidas, possibilitaria construir uma rede de transporte densa que impulse a troca de bens, informações, conhecimento e outros benefícios à população local, gerando crescimento e desenvolvimento econômico regional com sustentabilidade e preservando a floresta amazônica.

CAPÍTULO 9 – CONCLUSÕES

9.1 – APRESENTAÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as conclusões finais do estudo desenvolvido, abordando os pontos que merecem maior destaque. Este capítulo é sistematizado em quatro tópicos, além deste. Inicialmente é avaliada a importância da proposta e a seguir são apresentadas suas limitações. Em seguida, no item 9.4, as análises das constatações do estudo de caso são descritas e, finalmente, no item 9.5, algumas sugestões e recomendações para futuros trabalhos relacionados ao tema abordado nesta tese são apresentadas.

9.2 – AVALIAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DA PROPOSTA

Apesar de terem sua relevância no contexto internacional, os estudos elaborados sobre transporte e desenvolvimento econômico no Brasil ainda são poucos, principalmente quando voltados à Região Amazônica, cuja maioria dos grandes estudos foi desenvolvida na década de 70. No entanto, observa-se que, cada vez mais, há necessidade de se realizar estudos e projetos alternativos que possibilitem uma melhor compreensão do papel do transporte no crescimento e desenvolvimento econômico regional.

No desenvolvimento desta tese, quatro elementos foram priorizados, o transporte (infra-estrutura), o desenvolvimento econômico, a análise espacial, e a área de estudo (Região Amazônica). Tais elementos foram incorporados e consolidados dentro da proposta metodológica. Por esse motivo, avaliar de que forma o transporte, o desenvolvimento econômico e as ferramentas da análise espacial foram trabalhados dentro da Região Amazônica é, de certa forma, avaliar a importância da metodologia proposta por meio de sua validação.

Assim sendo, pode-se afirmar que a proposta é importante porque a metodologia é viável, mesmo utilizando as premissas já usadas pelo Estado no que se refere a privilegiar as exportações, refletindo na identificação de sub-regiões não atendidas pela rede de transporte. No entanto, por meio da metodologia proposta é possível construir uma rede de transporte mais densa ao se identificar PC em áreas ainda não atendidas, aumentando a conectividade e desenvolvendo a região.

Assim, construir uma rede de transporte na Região Amazônica que impulse o desenvolvimento econômico e, como consequência, reduza as desigualdades socioeconômicas existente entre a Amazônia e o restante do Brasil, é imprescindível por se tratar da primeira iniciativa real com tal enfoque. Desconsiderar o potencial econômico da região e seus vastos recursos naturais como elementos fundamentais na elaboração de tal rede é um erro que foi repetidamente cometido durante anos na elaboração de políticas, planos e projetos de desenvolvimento econômico voltados a região, que desconsideram a relação existente entre transporte e crescimento/desenvolvimento econômico.

Ao se estudar a relação entre transporte e crescimento/desenvolvimento econômico foi possível desenvolver uma rede de transporte multimodal para a Região Amazônica, baseada na Teoria dos Pólos de Crescimento e Pólos de Desenvolvimento de Perroux e na Teoria dos Grafos para o estudo de rede de transportes. Como resultados foram identificados alguns pontos que permitiram avaliar a importância da proposta, a saber:

- é possível desenvolver uma metodologia para a elaboração de rede de transporte multimodal de carga a partir de pesquisas científicas não onerosas que permitem alcançar resultados consistentes;
- a metodologia proposta considera algumas teorias que visam ao crescimento e desenvolvimento econômico regional na viabilização da infra-estrutura de transportes;
- o uso de ferramentas como a análise espacial no desenvolvimento da proposta permite manipular várias informações contribuindo para a tomada de decisão;
- a metodologia proposta privilegia e aproveita em seu potencial os recursos naturais e de infra-estrutura disponíveis;
- a rede de transporte multimodal de carga proposta é considerada relevante, o que pode ser observado por meio dos resultados alcançados e comprovados pelas análises realizadas;
- com a validação da proposta, pode-se afirmar que a metodologia pode ser aplicada a qualquer região;
- com a aplicação da proposta metodológica é possível identificar os principais gargalos existentes na rede e testar propostas de desenvolvimento de mais PC.

9.3 – LIMITAÇÕES DA PROPOSTA

Feita a avaliação da metodologia para a elaboração da rede de transporte multimodal de carga, tornou-se necessário apresentar algumas delimitações, a saber:

- dificuldade de obtenção de dados e informações que reflitam as características socioeconômicas e de infra-estrutura específicas da região, por se tratar de uma área em desenvolvimento e repleta de problemas;
- devido à escassez de dados que representassem fielmente a economia da região, optou-se por usar o dado de valor de produção para determinar as indústrias motrizes que caracterizaram os PC;
- dificuldade na elaboração de uma proposta metodológica que considere os impactos ambientais relevantes, em função da complexidade de sua mensuração;
- quanto a delimitação da área de estudo, optou-se por considerar a Região Amazônica como um sistema fechado, em que as características da região são conhecidas e mais fáceis de manipular, tornando o processo de análise mais simplificado;
- falta de ferramentas acessíveis e não onerosas que possibilitem manipular e analisar tais dados, importantes para o alcance dos resultados;
- a utilização das ferramentas estatísticas da análise espacial na identificação dos PC é viável, desde que se utilize dados socioeconômicos desagregados em áreas de menor dimensão possível, tornando o resultado mais preciso.

9.4 – CONSTATAÇÕES DOS OBJETIVOS ALCANÇADOS

Com o desenvolvimento da tese foi possível constatar os seguintes objetivos alcançados, a saber:

- o principal objetivo alcançado foi o desenvolvimento da metodologia para a elaboração de uma rede de transporte multimodal de carga, cuja viabilidade foi validada por meio da aplicação ao caso da Região Amazônica, podendo ser aplicada a qualquer região;
- é possível que a rede de transporte multimodal de carga construída na Amazônia seja revertida em desenvolvimento econômico para a própria região, desde que existam simultaneamente as condições apresentadas no subitem 2.4.4, isto é, condições econômicas, de investimento e político-institucionais. No caso da Região Amazônica, as condições econômicas foram consideradas quando se usou os PC para a determinação dos nós da rede de transporte;
- os recursos naturais disponíveis, tais como os rios navegáveis, foram aproveitados na elaboração da rede de transporte multimodal de carga na Região Amazônica;

- a rede de transportes elaborada para a Região Amazônica tem restrições devido à política de exportação adotada pelo país, mas ao se adotar uma política de desenvolvimento que privilegie toda a região, será possível identificar mais PC que possibilitem expandir a rede para sub-regiões antes não atendidas.

9.5 – ANÁLISES DAS CONSTATAÇÕES DO ESTUDO DE CASO

Algumas constatações foram possíveis de ser analisadas com relação ao estudo de caso realizado, a saber:

- a Região Amazônica ainda é sustentada por atividades econômicas ligadas diretamente aos recursos naturais específicos, tais como a extração de madeira, produção de minério de ferro e petróleo, e produção de soja, arroz e mandioca;
- a Região Amazônica ainda possui um sistema de transportes precário, principalmente por privilegiar modos inadequados em detrimento de outros, tais como o transporte hidroviário interior, que, por possuir custos de transportes menores, causar menos impacto ao meio ambiente, e estar disponível, torna-se o modo de transporte mais atraente. Neste caso, são necessárias algumas intervenções razoáveis para o modo se tornar mais competitivo;
- de acordo com estudos desenvolvidos pelo Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília, algumas áreas da Região Amazônica possuem baixa resistência do solo dificultando a construção de infra-estrutura de transportes terrestres como rodovias e ferrovias, confirmando a importância de se aproveitar os recursos hidroviários disponíveis na região em sua total potencialidade para a conexão de sub-regiões, o que possibilitaria maior troca de fluxo entre estas;
- as redes de transporte multimodal de carga elaboradas para os três cenários permitiram constatar que, mesmo com investimentos em infra-estrutura de transportes, não é possível obter uma rede de transportes que integre os subespaços da região, provocando o surgimento de estruturas territoriais desarticuladas e ocasionando crescimento desequilibrado, onde algumas sub-regiões são privilegiadas em detrimento de outras;
- somente com a rede 3 é que se obteve uma estrutura mais conectada, mesmo que, neste caso, o custo total da rede seja o mais elevado entre todos os demais.

9.6 – RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES

Finalmente, depois de realizadas as análises e constatações a respeito da rede de transporte multimodal de carga elaborada para a Região Amazônica, as limitações da proposta e os objetivos alcançados, listam-se sugestões que poderão servir para futuros trabalhos relacionados ao tema abordado, a saber:

- elaboração de uma rede de transporte que integre a Região Amazônica com o resto do país e com os demais países que constituem a Região Amazônica continental (sistema aberto);
- inserção de mais pólos potenciais para que a rede se torne mais densa, a fim de impulsionar o crescimento e desenvolvimento econômico em todas as sub-regiões que constituem a grande Região Amazônica;
- análise do método de definição de PC com o método usado pelo IBGE na definição de regiões, macro-regiões e micro-regiões;
- análise de sensibilidade de custo de transporte;
- análise da rede de transporte, considerando aspectos logísticos como inserção de novos terminais, tempo de transbordo e nível de serviço;
- análise de capacidade e vulnerabilidade da rede de transportes;
- análise de acessibilidade, centralidade e conectividade da rede de transporte, usando os índices apresentados nos itens 4.3.5.1 e 4.3.5.2 desta tese;
- desenvolvimento de uma rede de transporte multimodal de carga que considere a demanda futura e, conseqüentemente, as alterações dinâmicas que podem ocorrer na estrutura espacial;
- implementação da proposta da rede de transporte multimodal de carga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADA – Agencia de Desenvolvimento da Amazônia (2007) *Amazônia Legal*. Disponível: < http://www.ada.gov.br/index.php?option=com_content&task=section&id=9&Itemid=47 >. Acesso em 2008.
- AHMED, R.; HISSAIN, M. (2001) *Development Impacto of Rural Infrastructure in Bangladesh*, International Food Policy Research Institute, Research Report 83.
- ALMEIDA, C. F. (2001). *Contribuição ao Dimensionamento de Terminais Hidroviários Urbanos de Passageiros*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, Brasil.
- ALMEIDA, C. F.; SANT'ANNA, J. A.; YAMAMOTO, K. (2003a) *Contribucion Para el Dimensionamiento de Terminales de Hidrovias Urbanas de Pasajero*, Journal of the Pan-American Institute of Naval Engineering (IPEN), n°. 28, ISSN 1011-5951, Havana, Cuba.
- ALMEIDA, C.F.; SANT'ANNA, J.A.; YAMAMOTO, K. (2003b) *Transport Network Development at Amazon Region: under Economic Growth Approach*, Anais do Infrastructure Planning, Japan Society of Civil Engineering (JSCE), vol. 28, Toyohashi, Japan.
- ALMEIDA, C. F.; SANT'ANNA, J. A.; YAMASHITA, Y.; YAMAMOTO, K. (2004a) *Development of Transport Network to Economic Growth at Amazon Region*, Proceedings of the 10th World Conference on Transport Research (WCTR'04), Istanbul, Turkey.
- ALMEIDA, C. F.; YAMAMOTO, K.; SANT'ANNA, J. A. (2004b) *Proposta de Rede de Transportes para a Região Amazônica*, 20^o Congresso Nacional de Transporte Marítimo, Construção Naval e Offshore, Anais da Sociedade Brasileira de Engenharia Naval (SOBENA), Rio de Janeiro, Brasil.
- ALMEIDA, C. F.; SANT'ANNA, J. A. (2005) *Estudo de Navegabilidade dos Rios da Região Amazônica para o Transporte de Carga*, 4^o Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior, Anais do 4^o SOBENA Hidroviário 2005 (SOBENA), Belém, Brasil.
- ALMEIDA, C.F. & YAMASHITA, Y. (2007) *Analysis of Navigability of the Rivers at Amazon Region for the Development of Inland Water Cargo Transportation*

- Network*, 11th World Conference on Transport Research (WCTR), Anais do “World Conference in Transport Research Society” (WCTRS), Berkeley, USA.
- ALONSO, W. (1964) *Location and Land Use: Towards a General Theory of Land Rent*. Harvard University Press.
- ALONSO, W. (1973) *Markets and Planning Regions for Transportation*, in DeSALVO, J. S. (1973) *Perspectives on Regional Transportation Planning*, Lexington Books, pp. 177-227, Massachusetts, USA.
- AMAZONAS (1993) *Competitividade Estrutural da Zona Franca de Manaus e outras atividades da Amazônia Ocidental dentro da Estratégia da Logística Integrada*. Secretaria de Estado do Planejamento e Articulação com Municípios. Manaus – AM, Brasil, 81p.
- ANDRADE, M. C. (1987) *Espaço, Polarização & Desenvolvimento – Uma Introdução a Economia Regional*. Editora Atlas, 5^a. ed., São Paulo, Brasil.
- ANSELIN, L. (1992) *Spatial data analysis with GIS: An Introduction to Application in the Social Science*. Technical Report 92-10 – National Center for Geographic Information and Analysis. University of Califórnia – Califórnia, USA. Available in: < http://www.ncgia.ucsb.edu/Publications/Tech_Reports/92/92-10.pdf >. Acesso em: 2006.
- ANSELIN, L.; BAO, S. (1997) *Exploratory Spatial Data Analysis Linking SpaceStat and ArcView*. In: Fischer, M.M. & Getis, A. *Recent Developments in Spatial Analysis*. New York: Springer.
- ANTAQ – Agência Nacional de Transporte Aquaviário (2006) *Acompanhamento Permanente dos Preços e do Desempenho Operacional dos Serviços Portuários: atualização dos indicadores de desempenho e preços dos serviços portuários nos principais portos brasileiros*. Relatório Técnico, Brasília, Brasil.
- ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres (1997) *Concessões Ferroviárias*. Brasília, Brasil. Disponível em: < <http://www.antt.gov.br/concessaofer/concessionariasfer.asp> >. Acesso em: 2007.
- ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres (2005) *EFC/EFVM Tabela Tarifária*. Disponível em: < <http://www.antt.gov.br/concessaofer/concessionariasfer.asp> >. Acesso em: 2007.
- ARAÚJO, M. P. (2006) *Infra-estrutura de transporte e desenvolvimento regional: uma abordagem de equilíbrio geral inter-regional*. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, Brasil.

- BAILEY, T. C.; GATRELL, A. C. (1995) *Interactive Spatial Data Analysis*. Harlow: Longman.
- BANISTER, D. (1998) *Transport Policy and the Environment*, E & FN Spon, London, England and New York, USA.
- BANISTER, D.; BERECHMAN, Y. (2001) *Transport Investment and the Promotion of Economic Growth*. *Journal of Transport Geography*, Pergamon, v.9, N^o.3, p. 209-218.
- BEENHAKKER, H. L. (2001) *Issues in Agricultural Marketing Strategy and Pricing Policy*, The World Bank, Discussion Paper, Transportation Issues Series N^o. TRP7.
- BERTALANFFY, L.; ANOHIN, P. K.; RAPOPORT, A.; MACKENZIE, W. J. M.; THOMPSON, J. D. (1976) *Teoria dos Sistemas*. Translation of “*The Social Sciences: problems and orientations*”, Instituto de Documentação Editora Getúlio Vargas – FGV. 1^a ed., pp. 1-14. Rio de Janeiro, Brasil.
- BIVAND, R. (1998) *A Review of Spatial Statistics Techniques for Location Studies*. Department of Geography, Norwegian School of Economics and Business Administration. Available in: < <http://www.nhh.no/geo/gib/gib1998/gib09-3/lund.pdf> >. Acesso em: 2006.
- BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento (1998) *Transporte na Região Amazônica*. Cadernos de Infra-estrutura: fatos-estratégias. Editora AI/GESIS. Brasil.
- BOUDEVILLE, J. R. (1961) *Lês espaces économiques*. Paris, Presses Universitaires de France. Paris, France.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. G.; FUCKS, S. D.; CARVALHO, M. S. (2000a) *Análise Espacial e Geoprocessamento*. In: *Análise Espacial de Dados Geográficos*, eds. Fucks, S.D.; Carvalho, M. S.; Câmara, G.; Monteiro, A.M.V. – Divisão de Processamento de Imagens – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/> >. Acesso em: 2006.
- CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S.; CRUZ, O. G.; CORREA, V. (2000b) *Análise Espacial de Áreas*. In: *Análise Espacial de Dados Geográficos*, eds. Fucks, S.D.; Carvalho, M. S.; Câmara, G.; Monteiro, A.M.V. – Divisão de Processamento de Imagens – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil. Em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/> >. Acesso em: 2006.
- CAMARGO, E. C. G.; FELGUEIRAS, C. A.; MONTEIRO, A. M. V. (2001) *A Importância da Modelagem da Anisotropia na Distribuição Espacial de Variáveis*

- Ambientais Utilizando Procedimentos Geoestatísticos*, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil.
- CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. (2000) *Análise Espacial de Superfícies*. Em: *Análise Espacial de Dados Geográficos*, eds. Fucks, S.D.; Carvalho, M. S.; Câmara, G.; Monteiro, A.M.V. – Divisão de Processamento de Imagens – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/> >. Acesso em: 2006.
- CARVALHO, J. M. C. (2002) *Logística*. 3ª ed. Lisboa: Edições Silabo, Brasil.
- CARVALHO, M. S. (1997) *Aplicação de Métodos de Análise Espacial na Caracterização de Áreas de Risco a Saúde*. Tese de Doutorado em Engenharia Biomédica, COOPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- CASTORINO, A. B. (2008) *Dragagem e Derrocamento no Rio Araguaia*, Relatório Técnico, Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes – DNIT, Administração das Hidrovias do Tocantins e Araguaia – AHITAR, Brasília, Brasil.
- CEFTRU – Centro de Formação de Recursos Humanos em Transporte (2007) *Relatório da Base de Fundamentos e Critérios para a Avaliação, Aperfeiçoamento e Desenvolvimento de Indicadores*, Ministério dos Transportes – MT, Universidade de Brasília – UnB, Brasília, Brasil.
- CHOLLEY, A. (1951) *La Géographie*. Guide de l'étudiant. Press Universitaires de France, Paris, France.
- CHOU, Y. (1996) *Exploring Spatial Analysis in Geographic Information Systems*. On Word Press, Santa Fé, New México, USA.
- CLEMENTE, A.; HIGACHI, H. Y. (2000) *Economia e Desenvolvimento Regional*. Editora Atlas S.A., São Paulo, Brasil.
- COLMAN, D.; NIXSON, F. (1981) *Desenvolvimento Econômico: uma Perspectiva Moderna*. Tradução (de) *Economics of Change in Less Developed Countries*, Maria Célia Ramalho Pinto Guedes. Editora da Universidade de São Paulo, Brasil.
- COSTA, L. S. S. (2004) *As Hidrovias Interiores no Brasil*. 3ª. Edição. FENAVEGA, Rio de Janeiro, Brasil.
- CREIGHTLEY, C. D. (1993) *Transport and Economic Performance: a Survey of Economic Performance*, World Bank, Washington, p8. USA.
- CRUZ, C. B. M.; BARROS, R. S. (2000) *Análise do padrão de distribuição espacial do índice de equidade sócio-econômica no município do Rio de Janeiro*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Rio de Janeiro, Brasil.

- DANTAS, A.; TACO, P.; YAMASHITA, Y. (1996) *Sistemas de Informação Geográfica: O Estudo do Estado da Arte*, X Congresso da Associação Nacional de Ensino e Pesquisa - ANPET, vol. 1, Brasília, Brasil.
- DEMARIA, M. (2004) *O Operador de Transporte Multimodal como Fator de Otimização Logística*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (2003) *Plano Nacional de Viação – 2003*. Brasília, Brasil. Disponível em: < <http://www.dnit.gov.br> >. Acesso em: 2007.
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral (2001) *Anuário Mineral Brasileiro – 2001*. Brasília, Brasil.
- DUPUY, G. (1998) *El Urbanismo de las Redes: Teorias y métodos*. Colégio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Oikos-Tau, S.L. Industrias gráficas y editorial, Barcelona, Espana.
- DUQUE, L. A. R. (1966) *Lecturas sobre la Teoría Económica del Desarrollo*. Biblioteca de Ciencias Económicas. Editorial Gredos, S. A. Madrid, Espana.
- EBERTS, R. (2000) *Understanding the Impact of Transportation on Economic Development*. Disponível em: < <http://nationalacademies.org/trb/publications> > Acesso em 2006.
- ERYUSLU, N. E. (1994) *Under Kell Requirements for Large Vessels in Shallow Waterways*. 28th International Navigation Congress – PIANC, Section II, vol. 2, p.17-26, Seville, France.
- ESCAP – Economic and Social Commission for Asian and the Pacific (2001) *Review of Development in Transport in Asian and the Pacific*, New York, USA.
- FAJARDO, A.P.C. (2001) *Estudo do Transporte da Soja Produzida nos Estados do Pará e Mato Grosso – Análise de Alternativas*, Dissertação de Mestrado em Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), Engenharia Oceânica, XI, 207 p., Rio de Janeiro, Brasil.
- FARIA, C.; COSTA, M. F. G. (2005) *Gestão de Custos Logísticos*. Editora Atlas S. A., São Paulo, Brasil.
- FEI, J. C.; RANIS, G. (1966) *Agrarianism, Dualism and Economic Development*. Chapter 1. In: Adelman and Thorbecke.
- FERRAZ, J. C. (2008) *Crescimento Econômico: a Importância da Estrutura Produtiva e da Tecnologia*, BNDES Setorial Texto para Discussão no. 45, Rio de Janeiro, Brasil.

- FERREIRA, E. O. (2006) *Desenvolvimento de Sistema de Indicadores de Avaliação da Infra-Estrutura Rodoviária no Contexto do Desenvolvimento Regional*. Dissertação de Mestrado em Transportes, Universidade de Brasília (UnB), Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Transportes (PPGT), Brasília, Brasil.
- FILHO, J. V. C.; GAMEIRO, A. H. (2001) *Sistemas de Gerenciamento de Transportes*. 1ª Edição, Editora Atlas, São Paulo, Brasil.
- FONSECA, J. C. P. (2004) *Brasil rural, Brasil urbano: população Quo vadis?* Disponível em: < <http://www.telebrasil.org.br/imprensa/artigos.asp?m=442> > Acesso em: 2006.
- FURTADO, C. (1954) *Capital Formation and Economic Development*. In: Agarwala e Singh.
- GEIPOP – Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (1997) *Anuário Estatístico dos Transportes – 1997*. Brasília, Brasil.
- GODOY, P. R. C. & VIEIRA, A. P. (2002) *Hidrovias Interiores*. Ministério dos Transportes do Brasil. Departamento de Vias Navegáveis. Brasília, Brasil.
- HADDAD, P. R.; FERREIRA, C. M. C.; BOISIER, S.; ANDRADE, T. A. (1989) *Economia Regional: Teorias e Métodos de Análise*. Banco do Nordeste do Brasil S.A. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE, Série Estudos Econômicos e Sociais, v. 36, 694p., Fortaleza, Brasil.
- HADDAD, P. R.; FERREIRA, C. M. C.; LODDER, C. A.; TOLOSA, H. C.; SCHICKLER, S. (1972) *Planejamento Regional: métodos e aplicação ao caso brasileiro*. Instituto de Planejamento Econômico e Social – IPEA/INPES, Monografia no. 8, 246p., Rio de Janeiro, Brasil.
- HADDAD, P. R.; SCHWARTZMAN, J. (1972) *Teoria dos Pólos de Desenvolvimento: Um Estudo de Caso*. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da UFMG - CEDEPLAR, Monografia no. 7, 246p., Belo Horizonte, Brasil.
- HAGGETT, P. (1976) *Análisis locacional em geografia humana*. Gustavo Gili, Madrid, España.
- HARMBURGER, W. S.; KELL, J. H. (1984) *Fundamentals of Traffic Engineering*. 11 Edition, University of California, Institute of Transportation Studies. pp. 14-4, Berkeley, California, USA.
- HEIZEN, W. (1967) *Der Verkehrssektor in der Entwicklungspolitik – unter besonderer Berücksichtigung des afrikanischen Raumes*, Munich, Germany.

- HENNES, R. G.; EKSE, M. I. (1955) *Fundamentals of Transportation Engineering*. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, Toronto, London.
- HENRIQUE, C. S. (2004) *Diagnóstico Espacial da Mobilidade e da Acessibilidade dos Usuários do Sistema Integrado de Transporte de Fortaleza*. Dissertação de Mestrado – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.
- HIRSCHMAN, A. O. (1958) *The Strategy of Economic Development*. Yale University Press.
- HOFMEIER, R. (1973) *Transport and Economic Development in Tanzânia: with particular reference to roads and road transport*. Weltforum Verlag, München.
- HOYLE, B. S. (1973) *Transport and Development*. The MacMillan Press Ltd. London, England.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2000) *Censo Populacional Brasileiro – 2000*. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Rio de Janeiro, Brasil.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2001a) *Produção Agrícola Municipal: Culturas Temporárias e Permanentes – 2000*. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Rio de Janeiro, Brasil.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2001b) *Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – 2000*. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Rio de Janeiro, Brasil.
- INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (2003). Brasília, Brasil. Disponível em: < <http://www.inpa.gov.br> > Acesso em 2006.
- IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica (1989) *Projeto de Embarcações para o Transporte Interior de Passageiros e Cargas: Metodologia e Critérios*. Manual do Usuário, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Rio de Janeiro, Brasil.
- KAMPEL, S.A.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (2001) *Análise Espacial do Processo de Urbanização da Amazônia*, Programa de Ciência e Tecnologia para Gestão de Ecossistemas Ação "Métodos, modelos e geoinformação para a gestão ambiental", Relatório Técnico, Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasília, Brasil.
- KATZ, H. (1982) *Water Transportation*. Transportation and Traffic Engineering Handbook, Institute of Transportation and Traffic Engineering. Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

- KAWAMOTO, E. (1994) *Análise de Sistemas de Transporte*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2^a. Edição, São Paulo.
- KHISTY, C. J. (1990). *Transportation Engineering: an introduction*. Washington State University, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- KINDLEBERGER, C. H.; HERRICK, B. (1977) *Economic Development*, Economics Handbook Series, McGraw-Hill Companies. 3rd Edition, 397 pp, USA.
- KRAFT, G.; MEYER, J. R.; VALETTE, J. P. (1971) *The Role of Transportation in Regional Economic Development*. Lexington Books, Massachusetts, USA.
- LAKSHMANAN, T. R.; SUBRAMANIAN, U.; ANDERSON, W. P.; LÈUTIR, F. (2001) *Integration of Transport and Trade Facilitation*. The World Bank, Washington. USA.
- LAI, J. J.; MACKIE, P. J.; NELLTHORP, J.; BURGESS, A.; RENES, G.; BRÖCKER, J.; OOSTERHAVEN, J. (2003) *Development of a Methodology for the Assessment of Network Effects in Transport Networks*. Competitive and Sustainable Growth Program, IASON – Integrated Appraisal of Spatial Economics and Network Effects of Transport Investments and Policies, Version 2.2, TNO Inro., Delft, Netherlands.
- LANZANA, A. E. T. (2004) *O Setor Externo da Economia Brasileira*. Em: PINHO, D. B; VASCONCELLOS, M. A. S. (2004) *Manual de Economia*, Editora Saraiva 5^a. edição, São Paulo, Brasil.
- LIMA, M. P. (1994) *O Custeio do Transporte Rodoviário*, Brasília, Brasil. Disponível em: < <http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-busca.htm?fr-custeio.htm> > Acesso em: 2004.
- LINSLEY, R. K.; FRANZINI, J. B. (1964) *Water Resources Engineering*. McGraw-Hill, New York, London.
- LOPES, A. S. (2001) *Desenvolvimento Regional – Problemática, Teorias e Modelos*. 5^a. edição. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal.
- LOPES, S. B. (2005) *Efeitos da Dependência Espacial em Modelos de Previsão de Demanda por Transporte*. Dissertação de Mestrado – Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Brasil.
- LÖSCH, A. (1957) *Teoría Económica Espacial*. Librería “El Ateneo” Editorial Florida 340, Córdoba, Buenos Aires, Argentina.
- MACKIE, P. J.; NELLTHORP, J.; KIEL, J.; SCHADE, W.; NOKKALA, M. (2001) *IASON Project Assesment Baseline*. IASON (Integrated Appraisal of Spatial Economic and Network Effects of Transport Investment and Policies) Deliverable 1. Funded by 5th Framework RTD Programme. TNO Inro, Delft, Nertherlands.

- MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. (1991) *Geographical Information Systems: principles*, vol. 1, pp. 9-11, Logman Scientific & Technical, England.
- MAHALANOBIS, P. C. (1955) *The Approach of Operational Research to Planning in Índia*. In: Sankhya: The Indian Journal of Statistics, vol. 16, parts 1 and 2.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (2006) *Produção e Demanda de Transporte na Hidrovia Araguaia - Tocantins*, Seminário sobre as Hidrovias Araguaia e Tocantins, Brasil.
- MINISTÉRIO DO INTERIOR (1975) *Programa de Pólos Agropecuários e Agro Minerais da Amazônia (POLAMAZÔNIA): Síntese*, Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), Belém, Brasil.
- MINISTÉRIO DO INTERIOR (1976) *II Plano de Desenvolvimento da Amazônia: Detalhamento do II Plano Nacional de Desenvolvimento (1975-1979)*, Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), Belém, Brasil.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE DOS RECURSOS HIDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL (1995) *Política Nacional Integrada para a Amazônia Legal: Documentação Básica*, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Brasil.
- MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO (2007) *Programa de Aceleração do Crescimento – PAC*. Brasília, Brasil. Disponível em: < http://www.planejamento.gov.br/noticias/conteudo/noticias_2007/070122_pac.htm > Acesso em: 2007.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES DO BRASIL (2000) *Relatório Estatístico Hidroviário*. Departamento de Hidrovias Interiores, Brasília, Brasil.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES DO BRASIL (2006) *Relatório Estatístico Portuário*. Brasília, Brasil.
- MORLOK, E. K. (1978) *Introduction to Transportation Engineering and Planning*.
- MYRDAL, G. (1968) *Asian Drama: An Inquiry into the Poverty of Nations*. Allen Lane (London), Pantheon (New York), USA.
- NETTO, P.O.B. (1996) *Grafos: Teoria, Modelos, Algoritmos*. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, Brasil.
- NEVES, M. C.; RAMOS, F. R.; CAMARGO, E. C. G.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. (2000) *Análise Exploratória Espacial de Dados Sócio-Econômicos de São Paulo*, Anais do GIS Brasil 2000. Disponível em: < http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/marcos_gisbrasil2000.pdf >. Acesso em: 2006

- NURKSE, R. (1952) *Problems of Capital Formation in Underdeveloped Countries*. Blackwell Ed, London, England.
- OCDE – Organization for Economic Co-Operation and Development (2003) *Impact of Transport Infrastructure Investment on Regional Development*. Organization for Economic Co-Operation and Development.
- OPENSHAW, S. (1991) *Developing Appropriate Spatial Analysis Methods for GIS*, In: Geographical Information Systems – Volume 1: Principles, eds. MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. – Longman Scientific & Technical – Essex, England.
- OWEN, W. (1965) *Immobility: Barrier to Development*. Transportation and Economic Development Journal, Highway Research Board, 44th Annual Meeting, pp. 1-9. Washington USA.
- PADOVEZI, C. D. (2003) *Conceito de Embarcações Adaptadas a Via Aplicado a Navegação Fluvial no Brasil*. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo, Brasil.
- PARKER, H. D. (1988) *The unique qualities of a geographic information system: a commentary*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, pp. 1547-1549.
- PEREIRA, M. (1999) *O Uso da Curva ABC nas Empresas*. Disponível em: < <http://kplus.cosmo.com.br/materia.asp?co=5&rv=Vivencia> >. Acesso em: 2006.
- PERROUX, F. (1964) *L'économie du XXeme siècle*. 2 ed. Paris, Press Universitaires de France, France.
- PESSOA, F. H. C. (2004) *Análises dos Solos de Urucu para Fins de Uso Rodoviário*. Dissertação de Mestrado, Publicação no. G. DM-117-A/04, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 151 p., Brasil.
- PETERS, H. J. (1982) *Transportation and Society*. Transportation and Traffic Engineering Handbook, Institute of Transportation and Traffic Engineering. Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- PNVI – Plano Nacional das Vias Navegáveis Interiores (1993) *Hidrovias: Estradas para Sempre*. MT - Portobrás, Departamento de Vias Navegáveis, Brasília, Brasil.
- POLAK, J.; HEERTJE, A. (1993) *European Transport Economics*. Blackwell Publishers, Oxford, United Kingdom & Cambridge, USA.
- PONS, J. M. S.; BEY, J. M. P. (1991) *Geografia de Redes y Sistemas de Transporte*. Editora Sintesis S.A., Madrid, España.

- POTTS, R. B.; OLIVER, R. M. (1972) *Flows in Transportation Networks*, Academic Press, Inc., New York, USA.
- PRESTON, J. (2001) *Integrating Transport with Socio-Economic Activity: a Research Agenda for the New Millennium*. *Jornal of Transport Geography*, Pergamont, vol. 9, Nº. 1, p. 13-24.
- QUEIROZ, M. (2003) *Análise Espacial dos Acidentes de Trânsito do Município de Fortaleza*, Dissertação de Mestrado – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.
- RESENDE, M. F. C. (2003) *Troca Intertemporal Entre Economias Desenvolvidas e em Desenvolvimento*, Texto para Discussão no. 201, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG/Cedeplar, Minas Gerais, Brasil.
- RIBOUD, J. (1981) *La Ville Heureuse*, Editions du Moniteur, Paris, França.
- RICHARDSON, H. W. (1969) *Elements of Regional Economics*. Penguin Books Inc. Middlesex, England.
- RIETVELD, P.; NIJKAMP, P. (1993) *Transport and Regional Development*. In POLAK, J.; HEERTJE, A. (1993) *European Transport Economics*. Blackwell Publishers, Oxford, United Kingdom & Cambridge, USA.
- RIGOLON, F. J.; PICCININI, M. S. (1997) *O Investimento em Infra-estrutura e a Retomada do Crescimento Econômico Sustentado*, BNDES Setorial Texto para Discussão no. 63, Rio de Janeiro, Brasil.
- ROBBINS, L. (1974) *Teoría del Desarrollo Económico en la Historia del Pensamiento Económico*. Editorial Ariel, S. A., Esplugues de Llobregat, Barcelona, Espana.
- ROSENSTEIN-RODAN, P. N. (1943) *Problems of Industrialisation of Eastern and South-Eastern Europe*. In: *Economic Journal*, vol. 53. Reproduzido em Meier, 1970.
- SANT'ANNA, J. A. (1998) *Rede Básica de Transporte da Amazônia*. IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, Brasil.
- SANTOS, M. (2003) *Economia Espacial: Criticas e Alternativas*. 2 ed., Editora da Universidade de São Paulo – EDUSP, São Paulo, 2003.
- SANTOS, M. (1953) *Os Estudos Regionais e o Futuro da Geografia*. Tese de Concurso, Salvador, Brasil.
- SEERS, D. (1963) *The Limitations of the Special Case*. In: *Bulletin of Oxford Institute of Economics and Statistics*, vol. 25, Nº. 2.
- SECRETARIA DE AVALIAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS (2000) *Calha Norte*. Ministério da Defesa, Brasília, Brasil.

diz: todas as coisas são parecidas, mas as coisas mais próximas se parecem mais que coisas mais distantes (Câmara *et al.*, 2000a). De maneira geral, a maior parte das ocorrências naturais ou sociais no espaço apresenta entre si relações que dependem da distância, o que pode ser comprovado pelo fato de que se existir poluição em um dado trecho de rio, há grande probabilidade que locais próximos a essa amostra estejam de igual forma poluídos.

1.1.2 – Autocorrelação espacial

A expressão computacional do conceito de dependência espacial, introduzida anteriormente é a *autocorrelação espacial* (Câmara *et al.*, 2000a; Henrique, 2004). Essa medida pode ser entendida como o grau de influência ou relação que uma determinada variável tem em relação si mesma. A autocorrelação espacial pode ser mensurada, utilizando diferentes indicadores baseados na variação da dependência espacial a partir da comparação entre os valores de uma amostra e de seus vizinhos.

Torna-se necessário distinguir dois tipos de autocorrelação, *positiva* e *negativa*. O primeiro caracteriza-se quando a ocorrência de um dado evento influencia para que outros eventos semelhantes aconteçam em seu entorno, o que implica em distribuição aglomerada de eventos (Henrique, 2004). A autocorrelação negativa surge quando a ocorrência de um evento dificulta ou impede a ocorrência de outros eventos ao seu redor (Teixeira, 2003).

1.1.3 – Estacionariedade e isotropia

Dois importantes conceitos no estudo da análise espacial dizem respeito à *estacionariedade* e *isotropia*. Para melhor compreensão destes dois conceitos, torna-se necessário, em primeiro lugar, introduzir o que vem ser os efeitos de 1ª e 2ª ordens.

Os principais conceitos estatísticos que definem a estrutura espacial dos dados relacionam-se aos efeitos de 1ª e 2ª ordem. Efeito de 1ª ordem é a média do processo no espaço, e o efeito de 2ª ordem é a covariância entre as áreas s_i e s_j (Câmara *et al.*, 2000a). Sendo assim, denomina-se processo estacionário quando se observa constante os efeitos de 1ª e 2ª ordem em toda a região estudada, não apresentando, dessa forma tendência.

Para um processo espacialmente estacionário, a relação entre dois valores observados irá depender somente do vetor de separação entre eles. Se essa relação depender exclusivamente da distância, isto é, se o processo variar uniformemente em todas as

- SEPLAM – Secretaria de Planejamento do Estado do Amazonas (1993) *Competitividade Estrutural da Zona Franca de Manaus e outras atividades da Amazônia Ocidental dentro da Estratégia da Logística Integrada*. Manaus, Brasil.
- SHEFFI, Y. (1985) *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*. Massachusetts Institute of Technology, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- SILVA, A. R. (2006) *Avaliação de Modelos de Regressão Espacial para Análise de Cenários do Transporte Rodoviário de Cargas*, Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Transportes, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasil.
- SIQUEIRA, T. V.; FILHO, N. F. S. (2001) *Desenvolvimento Regional no Brasil: Tendências e Novas Perspectivas*. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v. 8, n. 16, p. 79-118, Brasil.
- SOLOW, R.M. (1970) *Growth Theory: an Exposition*. Oxford University Press. Great Britain.
- SOUZA, N. J. (2005) *Desenvolvimento Econômico*. Editora Atlas S.A., 5ª. Edição revisada, São Paulo, Brasil.
- STEENBRINK, P. A. (1974) *Optimization of Transport Network*, John Wiley & Sons Publication, Bristol, England.
- TAAFFE, E. J.; GAUTHIER, H. L.; O'KELLY M. E. (1996) *Geography of Transportation*. 2ª. ed., Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall, New York, USA.
- TAHA, H. A. (2003) *Operations Research: an Introduction*, Pearson Education, Inc., University of Arkansas, vol. 7, pp. 213-288, USA.
- TEIXEIRA, G. L. (2003) *Uso de Dados Censitários para Identificação de Zonas Homogêneas para Planejamento de Transportes Utilizando Estatística Espacial*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 151p., Brasil.
- TEODOROVIC, D. (1986) *Transportation Networks: a quantitative treatment*, University of Belgrade, Gordon and Breasch Science Publishers S.A., Belgrade, Serbia.
- THÉRY, H. (1999) *Configurações Territoriais na Amazônia*. Cadernos do NAPIAm, n° 03, Núcleo de Apoio as Políticas Integradas para a Amazônia, Brasília, Brasil.
- THÉRY, H.; MELLO, N. A. (2005) *Atlas do Brasil: Disparidades e Dinâmicas do Território*. Edusp, Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

- UFRS (1998) *Avaliação do Impacto de Concessões nas Rodovias do Rio Grande do Sul*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS), Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Laboratório de Sistemas de Transportes, Porto Alegre, Brasil.
- UNWIN, A. (1996) *Geary's Contiguity Ratio*. *Economic and Social Review*, 27, pp. 145-551.
- VANNESTE, O. (1971) *The Growth Pole Concept and the Regional Economic Policy*. College of Europe, Bruges. Belgium.
- VASCONCELLOS, E. A. (2000) *Transporte Urbano nos Países em Desenvolvimento: reflexões e propostas*. 3 ed. Editora Annablume, São Paulo, Brasil.
- VOIGT, F. (1960) *The Importance of the Transport System for Economic Development Processes*. Addis Abada, United Nations Economic Commission for Africa, E/CN.14/CAP/39.
- WHEELER, W. H. (1893) *Tidal Rivers: their Hydraulics, Improvement, and Navigation*, Longmans' Civil Engineering Series. London, England.
- WINGO, L. (1961) *Transportation and Urban Land*. New York, USA. In: LOPES, A. S. (2001) *Desenvolvimento Regional – Problemática, Teorias e Modelos*. 5ª. edição. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal.
- YARZON, F. (2007) *Hidrovia Paraguai-Paraná*. Seminário Hidrovia Paraguai-Paraná. Administração da Hidrovia do Paraguai – AHIPAR, Brasil.

LISTA DE PUBLICAÇÕES

- **Artigos publicados em revistas internacionais**
Almeida, C.F.; Sant'Anna, J.A. & Yamamoto, K. *Contribucion para el Dimensionamiento de Terminales de Hidrovias Urbanas de Pasajeros*, "Journal of the Pan-American Institute of Naval Engineering" (IPEN), No 28, ISSN 1011-5951, Havana, Cuba, 2003.
 - **Artigos publicados em anais de conferências**
Almeida, C.F.; Yamashita, Y; Araújo, C. E. *Identificação de Pólos de Crescimento para a Construção de uma Rede de Transportes: o Caso da Região Amazônica*, "15th Pan-American Conference of Traffic & Transportation Engineering" (PANAM), Cartagena de Indias, Colombia, 2008.
- Almeida, C.F. & Yamashita, Y. *Analysis of Navigability of the Rivers at Amazon Region for the Development of Inland Water Cargo Transportation Network*, 11th World

Conference on Transport Research (WCTR), Anais do “World Conference in Transport Research Society” (WCTRS), Berkeley, USA, 2007.

Almeida, C.F & Sant’Anna, J.A. *Estudo de Navegabilidade dos Rios da Região Amazônica para o Transporte de Carga*, 4th Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior, Anais da “Sociedade Brasileira de Engenharia Naval” (SOBENA), Belém, Brasil, 2005.

Almeida, C.F.; Yamamoto, K. & Sant’Anna, J.A. *Proposta de Rede de Transportes para a Região Amazônica*, 20th Congresso Nacional de Transporte Marítimo, Construção Naval e Offshore, Anais da “Sociedade Brasileira de Engenharia Naval” (SOBENA), Rio de Janeiro, Brasil, 2004.

Almeida, C.F.; Sant’Anna, J.A. & Yamamoto, K. *Queuing Theory Models in Urban Passenger Water Transportation Terminals*, 5th International Conference on Marine Technology and Transportation (Marine Technology V), Proceedings of “Wessex Institute of Technology”, Szczecin, Poland, 2003.

Almeida, C.F.; Sant’Anna, J.A. & Yamamoto, K. *Contribucion para el Dimensionamiento de Terminales de Hidrovias Urbanas de Pasajeros*, 18th Pan-American Congress of Naval Engineering (COPINAVAL), Anais do “Pan-American Institute of Naval Engineering” (IPEN), No 28, ISSN 1011-5951, Havana, Cuba, 2003.

Almeida, C.F.; Yamashita, Y. & Bartoli, S.P. *Metodologia para Distribuição Espacial de Viagens Urbanas com a Utilização do Sistema de Informações Geográficas e Sensoriamento Remoto*, Anais do “11th Latin-American Congress of Urban and Public Transportation” (CLATPU), Havana, Cuba, 2001.

▪ **Resumos em anais de conferências**

Almeida, C.F.; Yamashita, Y.; Lavor, G. & Yamamoto, K. *Análise de Pólos Geradores de Transporte para Definição de Rede de Transporte Hidroviário: o Caso da Região Amazônica*, Anais do “13th Pan-American Conference of Traffic & Transportation Engineering” (PANAM), Albany, New York, EUA, 2004.

Almeida, C.F.; Sant’Anna, J.A.; Yamashita, Y. & Yamamoto, K. *Development of Transport Network to Economic Growth at Amazon Region*, Anais do “World Conference in Transport Research” (WCTR), Istanbul, Turkey, 2004.

Almeida, C.F.; Sant’Anna, J.A. & Yamamoto, K. *Transport Network Development at Amazon Region: under Economic Growth Approach*, Anais do “Infrastructure Planning, Japan Society of Civil Engineering” (JSCE), vol. 28, Toyohashi, Japão, 2003.

ANEXO 1

1 – ANÁLISE ESPACIAL

Análise espacial é considerada por muitos autores como um sub-campo da geografia e da ciência regional que desenvolve e aplica técnicas quantitativas ao estudo de eventos que variam com a localização, tipicamente, mas não exclusivamente, no espaço geográfico. Pode-se conceituar, assim, análise espacial como sendo um processo de apresentação, manipulação, análise, inferência e estimação de dados espaciais, os quais podem ser definidos como qualquer tipo de evento que possa ser caracterizado no espaço em função de um determinado sistema de coordenadas, absoluta ou relativa (Anselin, 1992).

A idéia central neste campo é incorporar o espaço à análise desejada. Realizar essa incorporação constitui um grande desafio para a solução de questões importantes existentes em várias áreas do conhecimento, seja na saúde, geologia, agronomia, transportes.

A essência da análise espacial é mensurar entidades, propriedades e relacionamentos, considerando a localização espacial do fenômeno em estudo de maneira explícita (Câmara *et al.*, 2000a). As características de uma entidade em um dado local tal como índice de violência, taxa de mortalidade, taxa de acidentes, incidência de doenças, podem ser influenciadas cada uma direta ou indiretamente pela proximidade da entidade em cada localização. Isso conduz para a compreensão de quatro conceitos básicos (dependência espacial, autocorrelação espacial, estacionariedade e isotropia), que de certa forma darão as diretrizes a serem seguidas no processo de análise espacial.

1.1 – Conceitos Básicos em Análise Espacial

No estudo de análise espacial, alguns conceitos básicos devem ser absorvidos, a fim de se compreender de forma mais clara os processos e ferramentas que constituem a análise espacial. Os principais conceitos inerentes à análise espacial e que serão apresentados neste trabalho são: *dependência espacial*, *autocorrelação espacial*, *estacionariedade* e *isotropia*.

1.1.1 – Dependência espacial

Um conceito importante na análise de fenômenos espaciais diz respeito à *dependência espacial*. O conceito de dependência espacial tem origem na primeira lei da geografia que

direções, diz-se que o processo é isotrópico (Teixeira, 2003). Por sua vez, se o processo variar diferentemente em função da direção de observação, diz-se que o processo é anisotrópico (Teixeira, 2003; Câmara *et al.*, 2000a; Bivand, 1998).

As Figuras A1.1a e A1.1b apresentam as distribuições espaciais do teor de argila oriundos do modelo anisotrópico e isotrópico respectivamente, analisado por Camargo *et al.*, (2001).

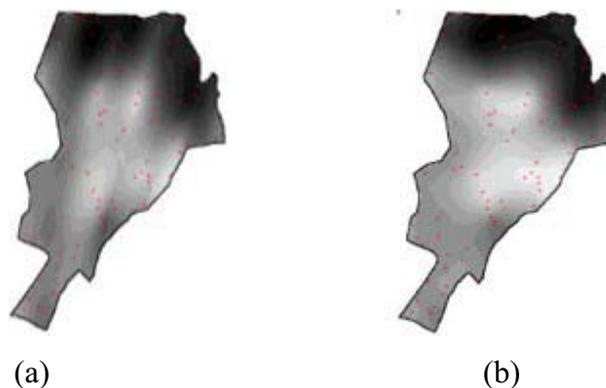


Figura A1.1 – (a) Distribuição espacial oriundo do modelo anisotrópico; e (b) distribuição espacial oriundo do modelo isotrópico (Fonte: Camargo *et al.*, 2001).

1.2 – Padrões de Análise Espacial: Taxonomia

As observações dos dados, dentro do campo de análise espacial, podem ser classificadas e estudadas em três grupos distintos, segundo o padrão de como os respectivos dados estão distribuídos no espaço geográfico. A taxonomia mais utilizada para analisar os padrões de dados no espaço considera: análise de padrões pontuais, análise de superfícies e análise de áreas (Henrique, 2004; Teixeira, 2003; Bivand, 1998; Câmara *et al.*, 2000a).

Além dos padrões de análise acima apresentados, pode-se incluir a análise de rede, que alguns autores consideram especialmente importante no campo dos transportes (Chou, 1996; Openshaw, 1991). A tabela A1.1, a seguir, apresenta um quadro resumo dos quatro tipos de análises de padrões espaciais existentes e que serão descritos posteriormente.

1.2.1 – Análise de padrões pontuais (*point patterns*)

A análise de padrões pontuais diz respeito à localização de eventos e às respostas a questões sobre a distribuição de tais localizações, especificamente se essas estão aglomeradas (*clusters*), aleatoriamente ou regularmente distribuídas (Bivand, 1998). Na análise de padrões pontuais vale ressaltar que os eventos são representados por pontos

localizados no espaço e os atributos são alocados apenas nesses pontos de ocorrência do evento, como no caso de ocorrência de acidentes de trânsito (ver Tabela A1.1).

Tabela A1.1 – Tipos de dados, problemas e padrões em análise espacial.

Padrões	Tipos de Dados	Exemplos	Problemas Típicos
Análise de padrões pontuais	Eventos localizados	Ocorrência de acidentes de trânsito	Determinação de padrões e agregamentos
Análise de superfícies	Amostras de campo e matrizes	Depósitos minerais	Interpolação e medidas de incerteza
Análise de rede	Linhas e atributos	Fluxo materiais	Caminho mínimo
Análise de áreas	Polígonos e atributos	Dados censitários	Regressão e distribuições conjuntas

Fonte modificada: Câmara *et al.* (2000a).

Na análise de padrões pontuais, os eventos localizados no espaço representam elementos adimensionais, nos quais as dimensões são irrelevantes em relação ao espaço estudado (Teixeira, 2003). A Figura A1.2a apresenta as localizações espaciais de amostras coletadas em campo, exemplificando os padrões pontuais de tais eventos.

1.2.2 – Análise de superfícies (análise geoespacial)

Os atributos e variáveis observados, no caso da análise de superfícies, são analisados de forma contínua no espaço, sendo representados por uma superfície. Nesse caso, admite-se uma variação contínua do atributo analisado com o intuito de se identificar a intensidade da ocorrência do evento e a variabilidade espacial das observações (Henrique, 2004). Tal variabilidade ou a forma de distribuição de dados no espaço é medida pela isotropia.

De uma maneira geral, os dados de superfícies estão disponíveis na forma de amostras pontuais, e para serem utilizados efetivamente em um ambiente de geoprocessamento, necessitam de um procedimento de interpolação, para gerar uma representação na forma de grade regular (Camargo *et al.*, 2000). Os modelos que objetivam gerar superfícies a partir de procedimentos de interpolação, de forma geral, representam a variável em estudo como uma combinação da variabilidade em larga e pequena escala, para tanto, pode-se tomar três grandes abordagens (Teixeira, 2003): modelos determinísticos de efeitos locais; modelos determinísticos de efeitos globais; e modelos estatísticos de efeitos globais (*Krigagem*).

Os estudos mais comuns de análise de superfícies referem-se a casos de mapas de uso do solo, incidência de poluição, temperatura entre outros. Para estudos mais detalhados sobre

análise de superfícies assim como procedimentos de interpolação ver Anselin (1992), Camargo *et al.* (2000) e Teixeira (2003). A Figura A1.2b apresenta a análise de superfície para uma determinada distribuição espacial, neste caso foi usado um tipo de interpolação geoestatística na obtenção da superfície para todo o espaço analisado.

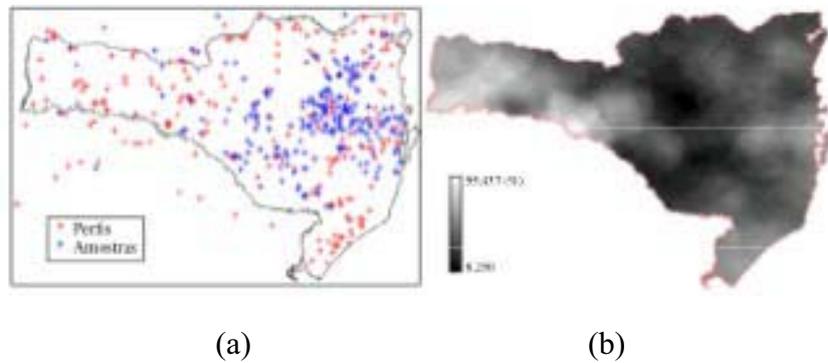


Figura A1.2 – (a) Padrões pontuais de eventos, e (b) superfície obtida pela interpolação geoestatística dos eventos apresentados na figura A1.2(a) (Fonte: Câmara *et al.*, 2000a).

1.2.3 – Análise de redes

A análise de redes é utilizada basicamente quando os objetos em estudo são entidades lineares, ou quando o objeto de análise é o fluxo entre regiões, os quais compreendem grande parte dos estudos em transporte como otimização de trajetórias e localização de equipamentos urbanos e regionais. Nesses tipos de análises utilizam-se linhas para representar feições dos mapas que são bastante estreitas para serem mostradas por áreas, como exemplo os rios e rodovias, ou que teoricamente não tem espessura (Teixeira, 2003).

Na análise de redes, alguns pontos devem ser avaliados, em primeiro lugar, a estrutura, englobando a complexidade e conectividade, as quais são caracterizadas pela quantidade de nós e arcos; em seguida avalia-se a topologia, impedância, e acessibilidade. A topologia é um elemento crítico na caracterização do sistema, pois se distingue pela conectividade entre nós e existência de restrições de fluxo nos arcos. A impedância varia em função do problema a ser analisado. A distância, o tempo e o custo de viagem são fatores que tipificam a rede, pode-se considerar outros atributos de impedância. A acessibilidade da rede indica a facilidade de se deslocar a partir de um determinado nó para qualquer outro.

1.2.4 – Análise de áreas (*lattice data*)

A análise de áreas torna-se mais vantajosa se estudada quando não se possui as localizações exatas de eventos no espaço, nesse caso, trabalha-se com os dados agregados em subáreas definidas dentro do espaço total, em polígonos regulares ou não (Teixeira, 2003). Como exemplos destacam-se os setores censitários, distritos ou zonas de tráfego, onde se pressupõe na análise a homogeneidade intrazonal dos dados. A Figura A1.3 apresenta um mapa temático com a mortalidade infantil do município do Rio de Janeiro, em 1994, o qual está dividido em 148 bairros, cada um expressa o número de óbitos de menores de um ano por mil nascidos vivos.

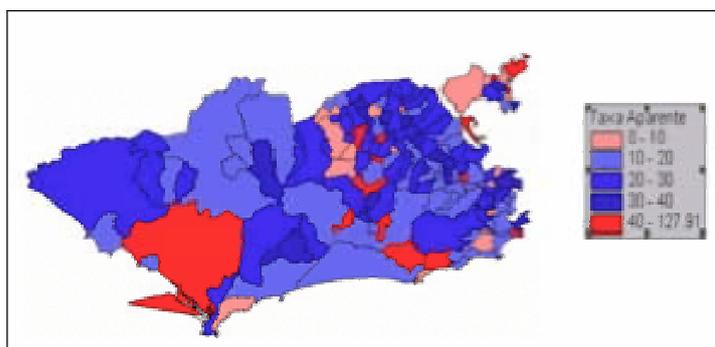


Figura A1.3 – Padrão de análise espacial de áreas (Fonte: Câmara *et al.*, 2000b).

Em muitos dos estudos envolvendo dados de área, os valores agregados são a única fonte disponível, porém o objeto de estudo refere-se a características e relacionamentos individuais. No entanto, ao se usar dados agregados em áreas, permite-se a possível ocorrência de algumas restrições, dessas a mais importante diz respeito ao Problema da Unidade da Área Modificável (*Modifiable Area Unit Problem – MAUP*). O que se observa é que esse problema surge em decorrência de dois principais fatores, devido ao chamado efeito de escala, envolvendo a agregação de pequenas unidades de áreas grandes, e as alterações em suas fronteiras, denominados efeitos de zoneamento (Bivand, 1998).

Os problemas do nível de agregação se referem à tendência, dentro de um sistema de unidades de áreas modificáveis, de se obter diferentes resultados para um mesmo conjunto de áreas quando a informação é agrupada em distintos níveis de resolução espacial.

No caso dos efeitos de zoneamento, esse é mais perceptível no campo dos transportes, especificamente na definição de zonas de tráfego. As zonas de tráfego tendem a ser muito extensas para corresponder a setores censitários, ou obedecer a separadores físicos como

rodovias ou rios. No entanto, principalmente em países em desenvolvimento, percebe-se que uma mesma zona de tráfego engloba conjuntamente um bairro de classe alta e uma favela. Como a zona é estudada em termos da média dos valores socioeconômicos, um baixo número de domicílios apresentando padrão econômico muito elevado ou muito baixo (valores extremos) causa distorções significativas no valor médio da zona analisada, comprometendo a qualidade dos resultados alcançados (Teixeira, 2003).

Apesar dos problemas apresentados quanto à utilização de dados agregados em áreas, percebe-se que essa ainda é a mais usual forma de obtenção e análise de dados sócio-econômicos. É fundamental que o técnico responsável pelas análises tenha conhecimento de tais problemas, a fim de que os resultados não sejam subestimados e nem superestimados. Devido à importância da análise espacial em áreas no desenvolvimento deste trabalho, posteriormente será dado maior ênfase a este tipo de análise.

1.3 – Ferramentas de Análise Espacial

As ferramentas de análise espacial na realidade são grupos de procedimentos e ferramentas matemáticas, que tem como objetivo definir etapas necessárias à compreensão e à solução de problemas oriundos da distribuição de eventos no espaço. A classificação mais comum de tais ferramentas foi proposta por Anselin (1992), agrupadas em quatro tipos (Figura A1.4): seleção, manipulação, análise exploratória de dados e, a análise confirmatória.

1.3.1 – Seleção

A seleção é a ferramenta mais simples da análise espacial, pois engloba os processos mais comuns de consulta a banco de dados, incluindo os procedimentos ordinários de amostragem e agrupamento de dados e a apresentação dos mesmos em mapas temáticos.

1.3.2 – Manipulação

A ferramenta de manipulação compreende os procedimentos usados na determinação de novos dados espaciais oriundos de dados anteriores, e os quais estão localizados em simples ou múltiplas camadas. Vale ressaltar as diferenças existentes entre análises em uma única camada e camadas múltiplas.

As análises realizadas em simples camada são denominadas análises horizontais, pois tais procedimentos alteram apenas os dados horizontalmente, e referem-se às operações de

manipulação, seleção e classificação de entidades (Chou, 1996). As operações em múltiplas camadas, chamadas de operações verticais, possibilitam a manipulação de dados organizados em camadas distintas proporcionando análise de dados verticalmente. Nesse caso, destacando-se as análises de sobreposição de *layers* (*overlay*), agregação de dados, correlação espacial, e análise de proximidade (*buffers*) (Chou, 1996; Teixeira, 2003).

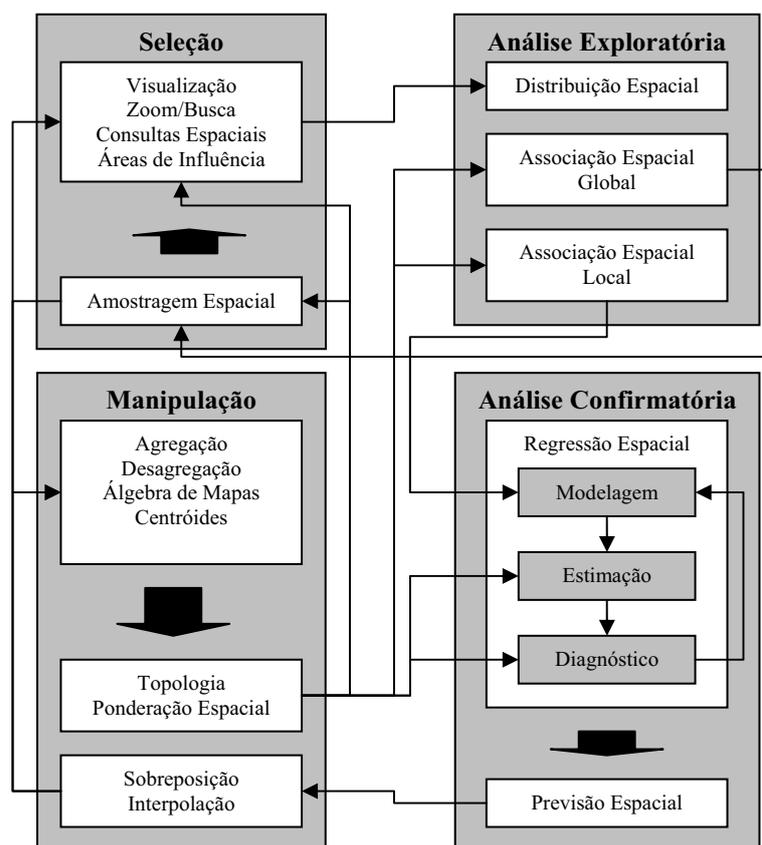


Figura A1.4 – Inter-relação entre os quatro grupos de ferramentas da análise espacial (Fonte: Anselin, 1992).

1.3.3 – Análise exploratória de dados espaciais (ESDA)

A análise exploratória de dados espaciais é definida na literatura como sendo uma ferramenta constituída por um conjunto de técnicas que são necessárias para descrever e visualizar distribuições espaciais, identificar situações atípicas (*outliers*), descobrir padrões de associação espacial, agrupamento de valores semelhantes (*clusters*) e sugerir regimes espaciais (Anselin & Bao, 1997).

Na análise exploratória, algumas características são importantes, dentre as quais, destacam-se: as técnicas utilizadas, as quais são geralmente visuais; as alterações efetuadas sobre os dados originais que são escassos; e os métodos usados que são descritivos e não

confirmatórios; além disso, por meio da análise exploratória, pode-se identificar padrões, definir hipóteses e estimar modelos espaciais.

1.3.4 – Análise confirmatória

Este campo da análise espacial engloba os processos quantitativos de modelagem, estimação e validação imprescindíveis à análise de elementos espaciais, no qual se destacam as ferramentas da estatística e economia espacial (Teixeira, 2003).

2 – ANÁLISE ESPACIAL DE ÁREAS (LATTICE DATA)

Este item tem por objetivo discutir os métodos de análise espacial de dados associados a áreas constituídas por polígonos. Este tipo de análise ocorre frequentemente quando se estuda eventos agregados por bairros, setores censitários, municípios, Estados de federação e regiões, não se dispondo da localização exata dos eventos, mas sim, de um valor agregado por área (Cruz & Barros, 2000). No Brasil, a grande maioria dos dados censitários coletados é fornecida em áreas onde tais dados são agregados.

A maneira mais comum de apresentação de dados agregados por áreas é por meio de mapas multicoloridos, representando o padrão espacial do fenômeno analisado. A Figura A1.5 apresenta a distribuição espacial dos setores censitários da Ilha do Governador no Rio de Janeiro segundo o resultado da classificação socioeconômica para os dados de 1991.

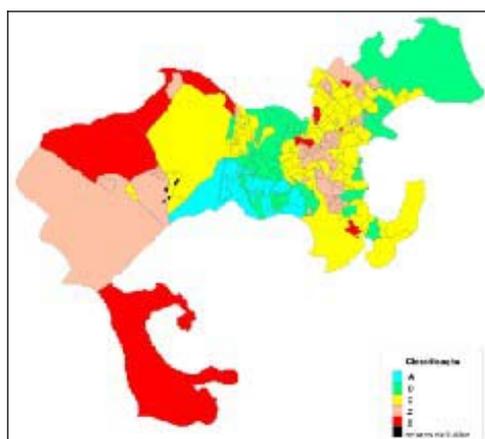


Figura A1.5 – Classificação dos setores censitários da Ilha do Governador para os dados de 1991 (Fonte: Carvalho, 1997).

Ao analisar a Figura A5 várias inferências podem ser realizadas, no entanto, para que isso seja feito é necessário que o usuário da ferramenta SIG execute operações muito além da

simples visualização do mapa, tornando possível tecer considerações referentes ao padrão da distribuição, tendências de agregação dos dados, entre outros.

Para que tais inferências sejam possíveis, torna-se necessário identificar um conjunto de técnicas e ferramentas da análise espacial de dados agregados por áreas. A hipótese mais comum é supor que as áreas são diferentes e que cada área tem uma característica inerente, implicando, do ponto de vista estatístico, que cada área apresenta uma distribuição de probabilidade distinta das demais, o que muitos autores denominam de modelo espacial discreto (Câmara *et al.*, 2000b).

2.1 – Modelos de Distribuição de Dados

A definição do modelo de distribuição dos dados a serem analisados é tarefa importante a ser executada, pois em função do modelo é que todo o processo de análise espacial dos dados será efetuado. Entre os modelos existentes, destacam-se: de variação espacial discreta e variação espacial contínua.

O modelo de distribuição mais usado para dados de área é o modelo de variação espacial discreta (Câmara *et al.*, 2000e). Nesse caso, considerando a existência de um processo estocástico Z_i , $i = 1, \dots, n$, onde Z_i é a realização do processo espacial na área i e n é o total de áreas A_i . O objetivo da análise, assim, é determinar uma aproximação para a distribuição conjunta de variáveis aleatórias $Z = \{Z_1, \dots, Z_n\}$, estimando sua distribuição.

A alternativa à hipótese de variação espacial discreta é supor que o fenômeno estudado apresenta continuidade espacial, constituindo uma superfície, denominado modelo espacial contínuo. Nesse caso, as áreas são consideradas apenas um suporte para coleta de dados, e o modelo de distribuição desconsidera os limites de área (Câmara *et al.*, 2000b).

2.2 – Análise Exploratória de Dados (*Exploratory Data Analysis* – EDA) em Áreas

A análise exploratória de dados em áreas consiste em ferramentas estatísticas descritivas e gráficas, com a intenção de detectar padrões nos dados aplicáveis a objetos área e sugerir hipóteses por meio da imposição de um mínimo de estrutura possível. O processo da EDA em áreas pode ser executado utilizando algumas técnicas e ferramentas, que serão abordadas a seguir, entre as quais se destacam a visualização de dados, gráficos de médias e medianas, e a análise de autocorrelação espacial.

2.2.1 – Visualização de dados espaciais

A maneira mais comum e intuitiva de análise exploratória é a visualização de dados nos mapas. Alguns autores enfatizam a visualização como um primeiro passo necessário em todo o processo de análise espacial de dados, simplesmente porque a posição particular dos valores dos atributos em um mapa induz processos associativos no analista, desenhando sobre analogias possível informação prioritária (Bivand, 1998).

A maioria dos SIG's permite a visualização de dados por meio de três métodos distintos de corte da variável, o que induz a visualização de diferentes aspectos: intervalos iguais, percentis, e desvios padrões (Câmara *et al.*, 2000b).

- O método de intervalos iguais é usado dividindo os valores máximos e mínimos pelo número de classes. No entanto, se a variável possui uma distribuição muito concentrada em um dos lados, este corte deixa um número muito reduzido de áreas nas classes do lado mais longo da distribuição resultando em um desequilíbrio na coloração das áreas;
- O uso da técnica de percentis obriga a alocação dos polígonos em quantidades iguais de cores, porém com resultado negativo, pode esconder diferenças significativas em valores extremos e dificultar a identificação de áreas críticas (Câmara *et al.*, 2000e). Neste método, o número das classes determina a definição técnica do mapa: quartil se forem quatro classes (25%), quintil se forem cinco classes (20%), decil se forem 10 classes (10%), etc. (Henrique, 2004);
- O método do desvio padrão, onde a distribuição da variável é mostrada em gradações de cores distintas para valores acima e abaixo da média, fazendo a distribuição da variável parecer normal. Este método não é muito realista na análise de dados socioeconômicos em países de elevadas desigualdades sociais (Câmara *et al.*, 2000b). Para maiores exemplos de técnicas de visualização de dados socioeconômicos ver Unwim (1996).

2.2.2 – Gráficos de médias e medianas

Os gráficos de médias e medianas permitem explorar simultaneamente a presença de tendência (não-estacionariedade de primeira ordem) e não-estacionariedade de segunda ordem, onde a variância e covariância entre vizinhos se mantêm constante (Câmara *et al.*, 2000b). Além disso, permite identificar a flutuação das medidas ao longo de duas direções, sugerindo a presença de valores extremos quando a diferença entre essas é alta, e certa

tendência ao longo de uma direção quando os valores variam suavemente. A construção dos gráficos é possível utilizando as coordenadas dos centróides das áreas, aproximando-as regularmente a fim de montar uma matriz. Posteriormente, determinam-se as médias e medianas do indicador ao longo das linhas e colunas da matriz.

2.2.3 – Análise de autocorrelação espacial

Uma etapa importante na análise exploratória de áreas é identificar a estrutura de autocorrelação espacial que pode descrever da melhor forma os dados, a fim de estimar a magnitude da autocorrelação entre as áreas. As ferramentas usadas neste caso são: os indicadores globais de autocorrelação espacial, os indicadores locais de autocorrelação espacial e, o mapa de espalhamento de Moran. Estes dois últimos são utilizados quando se dispõe de um grande número de áreas, oriundo de escalas espaciais detalhadas.

2.2.3.1 – Matrizes de Proximidade Espacial (W)

O estudo da dependência espacial de dados em áreas requer a compreensão de um elemento considerado chave: o conceito de matriz de proximidade espacial (W). Tal matriz estima a variabilidade espacial de dados de áreas, sendo uma ferramenta útil na descrição do arranjo espacial dos objetos estudados (Bailey & Gatrell, 1995; Lopes, 2005). A matriz de proximidade é estocástica e quadrada, onde o elemento w_{ij} representa uma medida de proximidade espacial entre os polígonos i e j (Neves *et al.*, 2000). Na matriz W ($n \times n$) cada elemento w_{ij} representa uma medida de proximidade entre A_i e A_j , sendo A_i e A_j as zonas em análise. O valor W pode ser baseado em alguns fatores de adjacência:

- $w_{ij} = 1$, o centróide de A_i está a uma determinada distância de A_j , caso contrário $w_{ij} = 0$;
- $w_{ij} = 1$, se A_i compartilha um lado comum com A_j ; caso contrário $w_{ij} = 0$;
- $w_{ij} = l_{ij}/l_i$, onde l_{ij} é o comprimento da fronteira entre A_i e A_j e l_i é o perímetro de A_i .

Na fase de análise exploratória, torna-se útil normalizar as linhas que constituem a matriz de proximidade, de forma que a soma dos pesos de cada linha seja igual à unidade, isso simplifica vários cálculos de índice de autocorrelação espacial (Câmara *et al.*, 2000b).

2.2.3.2 – Média Móvel Espacial

A média móvel espacial, também conhecida como vetor de médias ponderadas ou médias dos valores dos vizinhos, é uma medida importante para a determinação da tendência

espacial (Lopes, 2005). Essa média pode ser calculada a partir dos elementos w_{ij} da matriz normalizada de proximidade espacial W , e calculada pela equação A1.1.

$$\mu_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} z_j}{\sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (\text{A1.1})$$

Onde μ_i : média móvel espacial;
 z_i : diferença entre o valor do atributo no local i e a média de todos os atributos;
 w_{ij} : pesos atribuídos conforme a relação topológica entre os locais i e j .

2.2.3.3 – Indicadores Globais de Autocorrelação Espacial: Índice de Moran e Geary

Os indicadores globais de autocorrelação espacial permitem avaliar um aspecto importante na análise exploratória, ou seja, esses mostram como os valores estão correlacionados no espaço. Tais indicadores visam estimar a dependência do valor observado de um atributo em uma área em relação aos valores dessa mesma variável em localizações vizinhas (Henrique, 2004). Neste contexto, dois indicadores se destacam na determinação da autocorrelação espacial global: Índice Global de Moran (I) e o Índice de Geary (C).

Uma maneira de mensuração da autocorrelação espacial é por meio do Índice Global de Moran (I), onde leva em consideração somente o primeiro vizinho do evento e que é determinado pela equação A1.2.

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (\text{A1.2})$$

Onde I : índice Global de Moran;
 n : número de áreas;
 z_i : diferença entre o valor do atributo no local i e a média de todos os atributos;
 z_j : diferença entre o valor do atributo dos vizinhos do local i e a média de todos os atributos;
 w_{ij} : pesos atribuídos conforme a relação topológica entre os locais i e j .

O Índice Global de Moran fornece uma medida geral da associação espacial existente no conjunto dos dados, seu valor varia entre -1 e $+1$ (Neves *et al.*, 2000). Valores próximos

de zero indicam a inexistência de autocorrelação espacial, significativa entre os valores dos objetos e seus vizinhos. Valores positivos do índice indicam autocorrelação espacial positiva, isto é, o valor do atributo de um objeto tende a ser semelhante aos valores dos seus vizinhos. Por sua vez, valores negativos do índice indicam autocorrelação negativa.

Além do Índice Global de Moran, existe uma outra forma de identificar a autocorrelação espacial entre os dados analisados, neste caso, tem-se o Índice de Geary (C). A principal diferença entre ambos os índices é a forma como se considera os eventos no espaço para a determinação dos índices, isto é, enquanto o C de Geary (Equação A1.3) usa a diferença entre os pares, o I de Moran considera a diferença entre cada ponto e a média global.

$$C = \frac{(n-1) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - y_j)^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n y_i^2} \quad (\text{A1.3})$$

Onde C : Índice de Geary;
 n : número de áreas;
 y_i : valor do atributo considerado no local i ;
 y_j : valor do atributo considerado do local j ;
 w_{ij} : pesos atribuídos conforme a relação topológica entre os locais i e j .

2.2.3.4 – Indicador Local de Autocorrelação Espacial (Estatística LISA)

Conforme visto anteriormente, os indicadores globais de autocorrelação espacial produzem uma única medida como medida da associação espacial para todo o grupo de dados analisado, o que de certa forma é bastante útil para caracterizar toda a região de estudo. Em alguns casos é necessário verificar, em uma escala mais detalhada, a autocorrelação dos dados localmente. Neste caso, são usados os indicadores locais de autocorrelação, os quais produzem um valor específico para cada objeto, permitindo a identificação de agrupamentos de objetos com valores de atributos semelhantes (*clusters*), objetos anômalos (*outliers*) e de mais de um regime espacial. Um dos indicadores locais mais usados é o Índice Local de Moran, a Equação (A1.4) apresenta suas representações.

$$I_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (\text{A1.4})$$

Onde I_i : índice local de Moran para o objeto i ;
 z_i : diferença entre o valor do atributo no local i e a média de todos os atributos;
 w_{ij} : pesos atribuídos de acordo com a conexão entre os locais i e j .

Torna-se necessário observar que existem possíveis variações para a Equação (A1.4). Em todo caso, a significância estatística do uso do Índice Local de Moran é computada de forma semelhante à situação do índice global. Após determinado o índice para cada área, permuta-se aleatoriamente o valor das demais áreas, até a obtenção de uma pequena distribuição para a qual é possível determinar os parâmetros de significância.

2.2.3.5 – Diagrama de Espalhamento de Moran

O Diagrama de Espalhamento de Moran é um gráfico bidimensional dividido em quatro quadrantes (Figura A1.6), que permite analisar o comportamento da variabilidade e dependência espacial. O diagrama é construído com base nos valores normalizados, no eixo das abscissas encontram-se os valores normalizados (Z) e no eixo das ordenadas têm-se as médias dos vizinhos (W_z) (Câmara *et. al.*, 2000b).

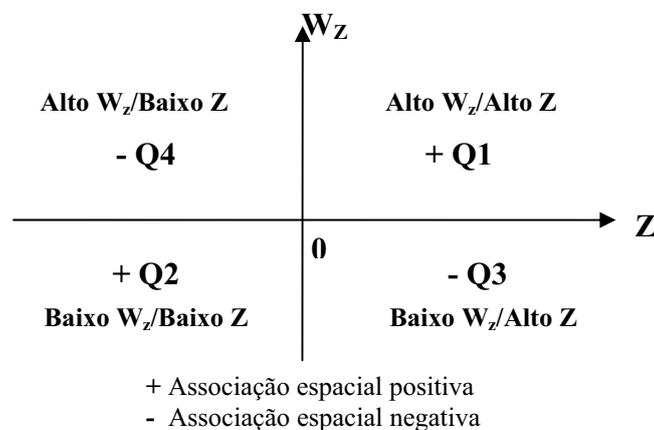


Figura A1.6 – Diagrama de espalhamento de Moran (Fonte: Lopes, 2005).

O mecanismo de funcionamento do diagrama baseia-se na comparação dos valores normalizados do atributo em uma área com a média dos seus vizinhos. Os quadrantes que constituem o diagrama são interpretados da seguinte forma:

- Q1 (valores positivos, médias positivas) e Q2 (valores negativos, médias negativas): indica pontos de associação espacial positiva, no sentido que uma localização possui vizinhos com valores semelhantes;

- Q3(valores positivos, médias negativas) e Q4 (valores negativos, médias positivas): indica pontos de associação espacial negativa, no sentido que uma localização possui vizinhos com valores distintos.

A análise do Diagrama de Espalhamento permite identificar a presença de valores extremos (*outliers*), que não seguem o mesmo padrão de dependência espacial que a grande maioria das outras observações (Henrique, 2004). Tais valores são identificados no diagrama como sendo os pontos extremos e se localizam nos quadrantes Q3 e Q4.

2.2.3.6 – *Box Map* ou *Moran Scatterplot*

Uma outra maneira de apresentar o Diagrama de Espalhamento de Moran pode ser por meio do *Box Map*, que é definido como um mapa temático bidimensional, no qual cada polígono indica seu quadrante no diagrama de espalhamento. Os quadrantes são representados por cores diferentes para facilitar a identificação. A Figura A1.7 apresenta o *Box Map* do índice de exclusão para o município do Rio de Janeiro no ano de 1991. Nesta figura observa-se o padrão de distribuição das áreas de agrupamentos altos (AA) e baixos (BB) e as áreas de transição (AB e BA) que podem ou não ser atípicas.

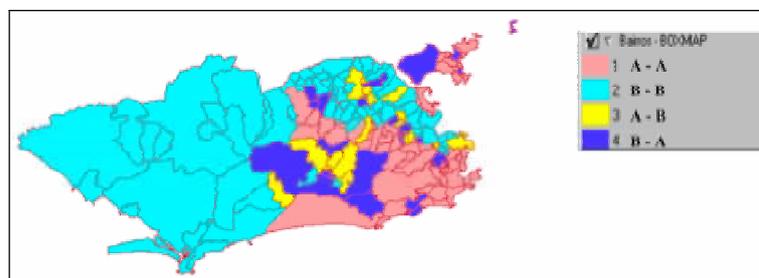


Figura A1.7 – *Box Map* do índice de exclusão – baixa renda do município do Rio de Janeiro – 1991 (Fonte: Cruz & Barros, 2000).

2.2.3.7 – *LISA Map*

O *LISA Map* é utilizado para localizar as regiões estatisticamente significantes calculadas pelos índices locais de associação espacial (Silva, 2006). Essas regiões possuem dinâmica espacial específica e por este motivo merecem análise detalhada. Na geração do *LISA Map*, os índices são geralmente classificados em: não significativos, com significância de 99,9%, 99% e 95%. A Figura A1.8 apresenta um exemplo do *LISA Map*, neste caso, para o índice de exclusão do município do Rio de Janeiro, no ano de 1991.

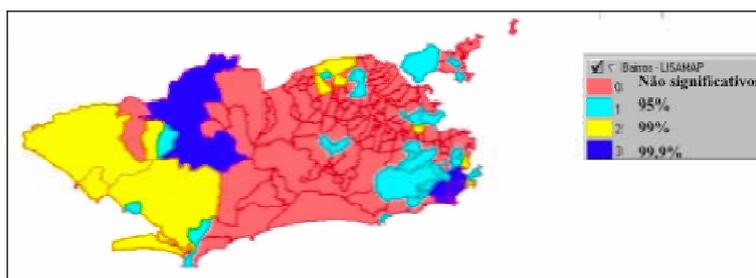


Figura A1.8 – *LISA Map* do índice de exclusão – baixa renda do município do Rio de Janeiro – 1991 (Fonte: Cruz & Barros, 2000).

2.2.3.8 – *Moran Map*

Igualmente ao *LISA Map*, no *Moran Map* são identificados unicamente as regiões para os quais os valores de LISA foram considerados significativos, ou seja, para níveis maiores ou iguais a 95%, porém, classificados em quatro grupos, de acordo com os quadrantes aos quais pertençam os gráficos de espalhamento (Queiroz, 2003; Lopes, 2005). As demais regiões são classificadas como “sem significância”. A Figura A1.9 apresenta o *Moran Map* do índice de exclusão do município do Rio de Janeiro, para o ano de 1991.

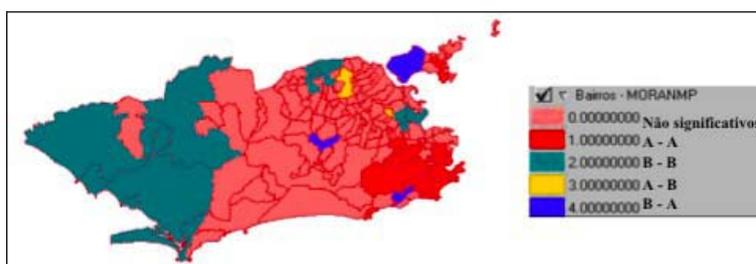


Figura A1.9 – *Moran Map* do índice de exclusão – baixa renda do município do Rio de Janeiro – 1991 (Fonte: Cruz & Barros, 2000).

3 – SIG E ANÁLISE ESPACIAL: UMA VISÃO INTEGRADA

Coleta e análise extensiva de dados têm sido responsável por restrições no uso de metodologias tradicionais no desenvolvimento de modelos de transportes. Além disso, diversas variáveis, tais como a distribuição espacial de atividades econômicas na estrutura regional e avaliação do potencial do desenvolvimento econômico, não foram devidamente incorporadas aos modelos de planejamento de transportes. Assim, de acordo com a dinâmica regional, em alguns modelos é necessário haver um enfoque mais realístico que permita avaliação constante do desenvolvimento regional.

Desenvolvimentos computacionais, neste contexto, vêm apoiar uma nova perspectiva em análises em transportes para o tratamento espacial e manipulação, isto é, SIG que obtém, estoca, trata, analisa e apresenta dados espaciais e não espaciais (Parker, 1988; Maguire *et al.*, 1991). Entre as diversas aplicações do SIG, destacam-se o estudo do planejamento de transportes dentro da estrutura regional e a análise do uso do solo em extensas regiões.

O SIG pode ser compreendido como sendo um tipo de sistema de informação constituída por banco de dados, usuário e tecnologia, a qual permite realizar análise espacial, armazenamento, manipulação, visualização, operação de dado tabular e a simulação de diversos cenários a fim de obter nova informação (Dantas *et al.*, 1996). A Figura A1.10 exemplifica a definição de SIG proposta por Dantas *et al.* (1996), nesta, destaca-se o processo de análise espacial como uma das principais características que distingue o SIG dos demais sistemas de informação existentes (Chuo, 1996). Isso permite a compreensão mais detalhada da relação existente entre SIG e análise espacial.

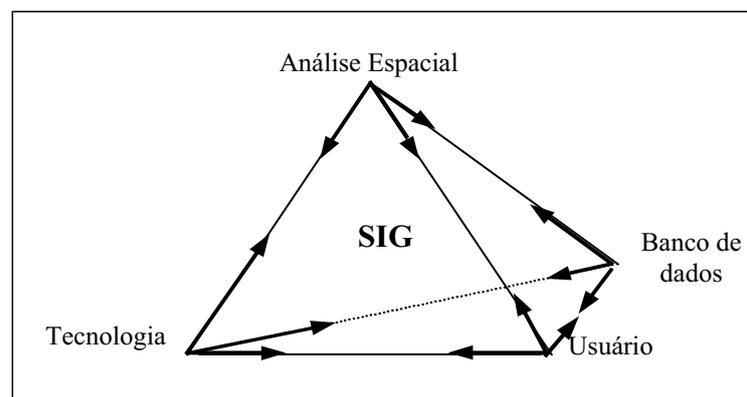


Figura A1.10 – Definição de SIG segundo Dantas *et al.* (1996).

A ligação entre SIG e análise espacial é considerada como um importante aspecto no desenvolvimento do próprio SIG, dentro de uma ferramenta de pesquisa para explorar e analisar relacionamentos espaciais (Anselin, 1992). O poder de um SIG no auxílio em análise de dados espaciais recai na sua estrutura de banco de dados georrelacional e na combinação de informações de valor e localização. A ligação entre esses permite a rápida computação de várias características do arranjo espacial de dados, tal como a estrutura contínua entre observações, a qual é essencial *input* dentro da análise espacial de dados. Observa-se que as principais contribuições do emprego das técnicas de análise espacial em ambiente SIG, apresentam-se no fato de permitir analisar espacialmente a organização e associação de diversos tipos de variáveis no processo de planejamento de transportes.

ANEXO 2

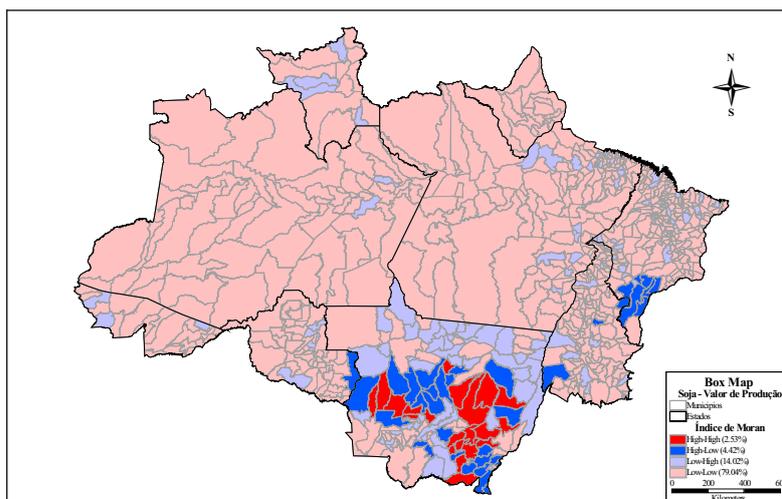


Figura A2.1 – Box Map da variável valor de produção da soja na Região Amazônica – ano 2000.

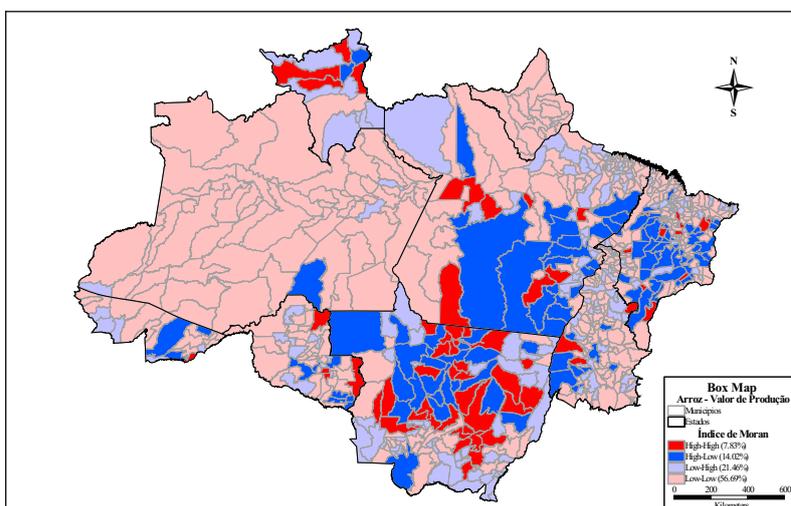


Figura A2.2 – Box Map da variável valor de produção do arroz na Região Amazônica – ano 2000.

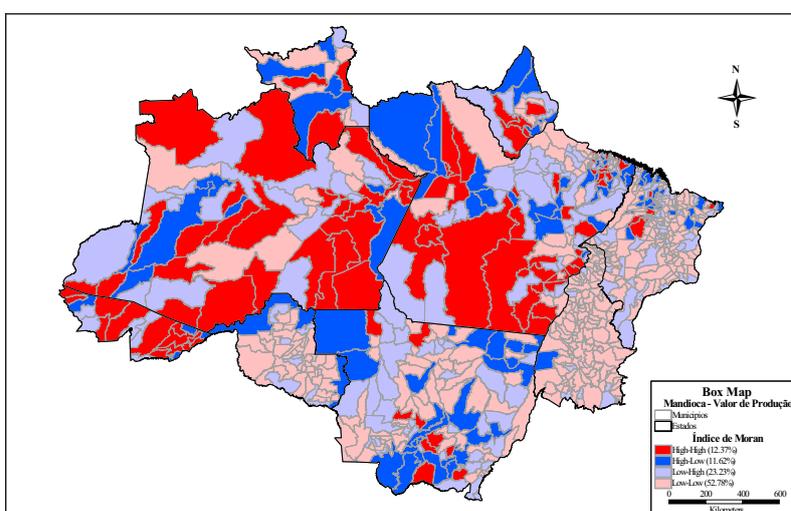


Figura A2.3 – Box Map da variável valor de produção da mandioca na Região Amazônica – ano 2000.

ANEXO 3

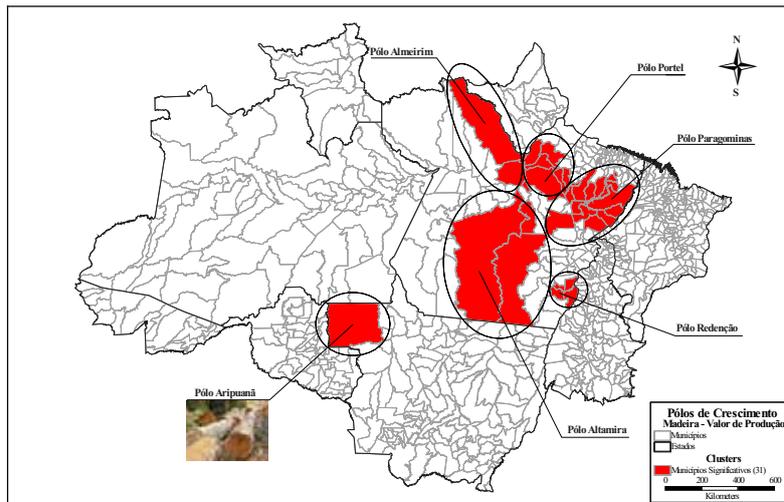


Figura A3.1 – PC na Região Amazônica, produção de *madeira* como indústria motriz.

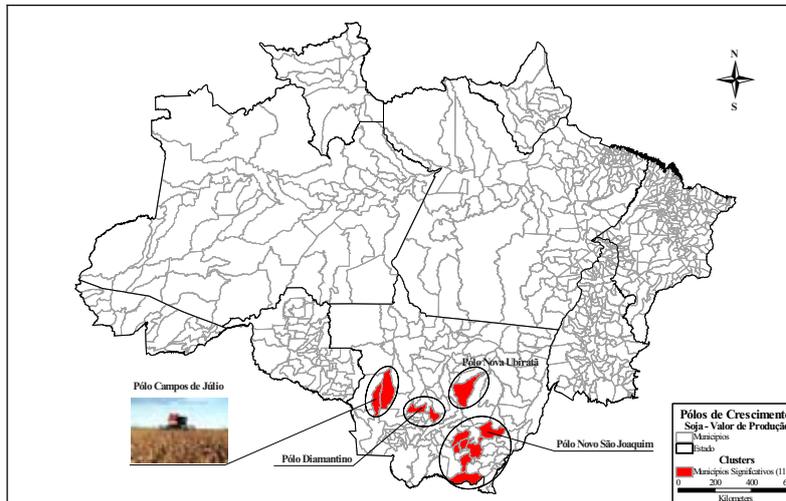


Figura A3.2 – PC na Região Amazônica, produção de *soja* como indústria motriz.

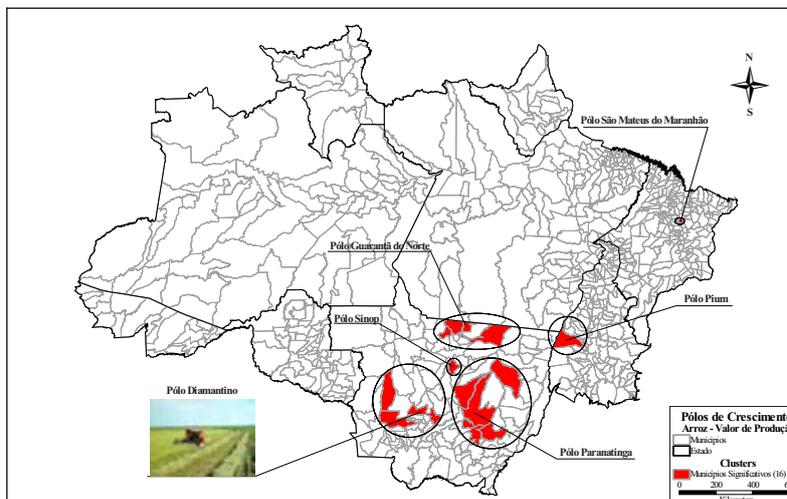


Figura A3.3 – PC na Região Amazônica, produção de *arroz* como indústria motriz.

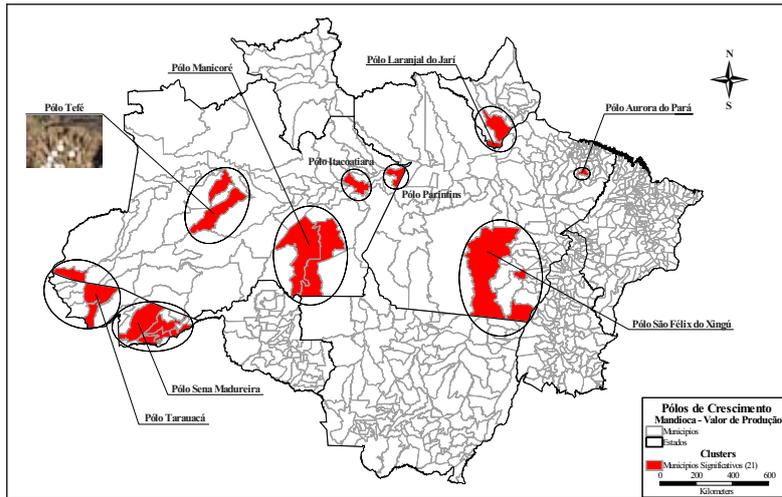


Figura A3.4 – PC na Região Amazônica, produção de *mandioca* como indústria motriz.

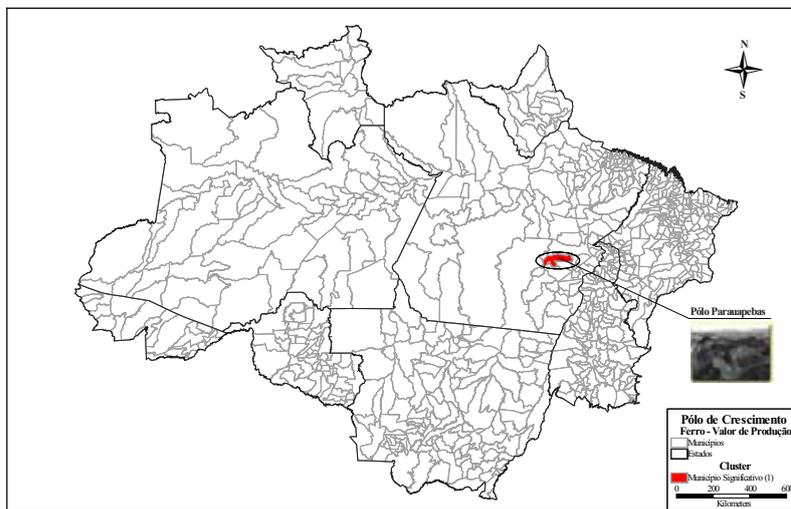


Figura A3.5 – PC na Região Amazônica, produção de *ferro* como indústria motriz.

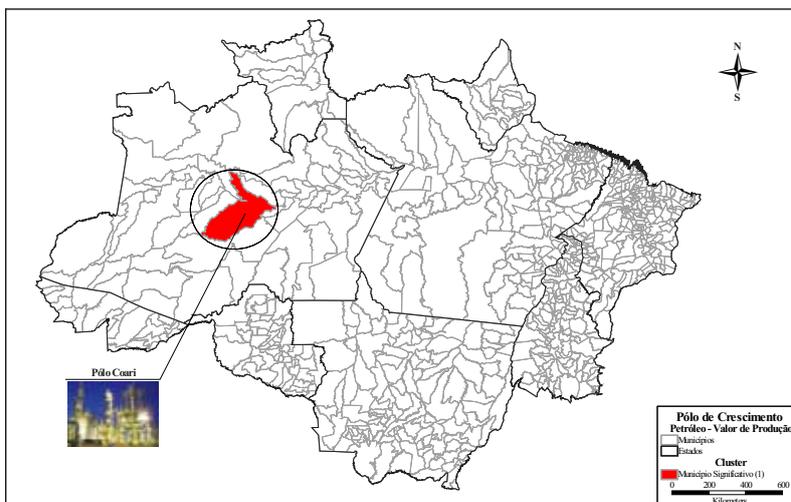


Figura A3.6 – PC na Região Amazônica, produção de *petróleo* como indústria motriz.