

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
CENTRO DE ESTUDOS GERAIS
DEPARTAMENTO DE GEOQUÍMICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

CRISTIANE NUNES FRANCISCO

**SUBSÍDIOS À GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS NO
ÂMBITO MUNICIPAL: O CASO DE ANGRA DOS REIS, RJ**

**NITERÓI
2004**

CRISTIANE NUNES FRANCISCO

**SUBSÍDIOS À GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS NO
ÂMBITO MUNICIPAL: O CASO DE ANGRA DOS REIS, RJ**

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor.

Orientador: Profª Drª CACILDA NASCIMENTO DE CARVALHO

NITERÓI
2004

F818 Francisco, Cristiane Nunes

Subsídios à gestão sustentável dos recursos hídricos no âmbito municipal: o caso de Angra dos Reis, RJ/ Cristiane Nunes Francisco. ____Niterói: [s.n.], 2004.

178f. : il; 30 cm.

Tese (Doutorado em Geociências – Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal Fluminense.

1. Bacia hidrográfica 2. Recursos Hídricos 3. Disponibilidade hídrica 4. Indicadores ambientais 5. Geoprocessamento 6. Geoquímica.
Teses I Título

CDD 551.48
CDU 911.2:556

CRISTIANE NUNES FRANCISCO

**SUBSÍDIOS À GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS NO
ÂMBITO MUNICIPAL: O CASO DE ANGRA DOS REIS, RJ.**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor.

Aprovada em maio de 2004

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. CACILDA NASCIMENTO DE CARVALHO – Orientadora
UFF

Prof. Dr. BASTIAAN ADRIAAN KNOPPERS
UFF

Prof. Dr. MARCOS AURÉLIO VASCONCELOS DE FREITAS
ANA/BSB

Prof. Dr. MARILENE DE OLIVEIRA RAMOS MÚRIAS DOS SANTOS
FGV

Prof. Dr. NELSON FERREIRA FERNANDES
UFRJ

Prof. Dr. PATRICIA FLORIO MOREIRA TURCQ
UFF

NITERÓI
2004

A “coisinha” mais linda do mundo, José Gabriel.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus amigos, Cacilda e Fernando, que não perderam a capacidade de sorrir nem de se indignar pelas injustiças do nosso querido Brasil, pelos dias de longas conversas.

Aos colegas do Departamento de Análise Geoambiental da UFF, que viabilizaram o meu afastamento para conclusão doutorado, em especial, aos amigos Ladjane, Edson, Jefferson e Lygia.

Aos professores e funcionários do Departamento de Geoquímica, por terem possibilitado a realização deste trabalho.

Aos técnicos da Prefeitura de Angra dos Reis, pela atenção prestada às nossas visitas técnicas, em especial, Miguel, Alex, Beto, Eliézer e Fabiano, do SAEE, e Cássio, Carlos e Angelik, da Secretaria de Planejamento.

À engenheira Lygia (CPRM-RJ), por ter me facilitado a dar os primeiros passos no desenvolvimento do trabalho.

À engenheira Simone Gleizer, pela atenção prestada à solicitação de informações e às minhas dúvidas sobre Angra dos Reis.

Aos meus orientandos e ex-orientandos, por serem pessoas bacanas e que me animam a continuar a fazer a minha parte, em especial Luciana, Paulo, Gustavo, Luciano, Gisele e Fernanda.

Ao Sr. Francisco José (Gerente Porto de Angra), Sr. Elias (BRASFELS) e Sr. José Carlos (TEBIG), pela atenção prestada durante nossa visita técnica.

Ao meu marido, Nilton, meu maior fã e incentivador, pela paciência, carinho, companheirismo e amor.

Aos meus irmãos, Vera e Sérgio, por ter dado o maior presente da minha vida, José Gabriel.

Aos meus pais, Alda e Antonio, por terem começado toda a história.

E a José Gabriel que vai continuá-la....

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi elaborar análises prospectivas sobre recursos hídricos, no âmbito municipal, baseadas em três vertentes: o balanço entre a situação de disponibilidade e demanda hídricas, a dinâmica demográfica e o arcabouço legal pertinente. Pretendeu-se, com isto, gerar informações técnicas sobre os recursos hídricos em pequenas bacias hidrográficas, que auxiliem na tomada de decisões e na adequação às mudanças advindas da implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, entre elas a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos. Angra dos Reis, como estudo de caso, justifica-se por ser representativo de outros municípios de médio porte, com dominante vocação turística, localizados na área litorânea entre o sul do estado do Rio de Janeiro e Santa Catarina, servidos por pequenas bacias hidrográficas.

O trabalho foi dividido em três etapas: avaliação da disponibilidade hídrica; avaliação da demanda hídrica; e análise da capacidade de suporte das regiões hidrográficas. Sistema de Informações Geográficas (SIG) foi utilizado em todas etapas. Os resultados colocam Angra dos Reis em uma posição confortável em termos de disponibilidade de recursos hídricos. Menos de 10% da disponibilidade, correspondendo a 50% da $Q_{7,10}$, é consumida pela população, residente e de turistas, e pelos principais empreendimentos econômicos. A avaliação por regiões hidrográficas, porém, permitiu identificar a desigual distribuição espacial de população e das águas superficiais: as bacias formadas por rios federais concentram cerca de 60% da disponibilidade e 15% da demanda atual, enquanto 50% da população são abastecidas por bacias com menos de 5% da disponibilidade.

A avaliação da capacidade de suporte das regiões hidrográficas demonstrou que as regiões Mambucaba, Ariró e Bracuí podem desempenhar a função de exportadoras hídricas, enquanto as outras são auto-suficientes ou importadoras. As regiões Centro e Japuiba já encontram-se em situação crítica. Dos parâmetros analisados, o mais restrito é a qualidade hídrica, apresentando um indicador de suporte sete vezes menor do que o da disponibilidade hídrica. O cruzamento entre os indicadores de suporte e as tendências demográficas demonstrou que, considerando a manutenção da taxa de crescimento demográfico atual, o indicador de qualidade hídrica seria superado em 2010. Considerando taxa de crescimento acima de 5% a.a., próximo a 2020, o indicador de ocupação urbana seria superado. Em nenhum dos cenários de crescimento analisados, o indicador de disponibilidade hídrica foi superado.

ABSTRACT

The objective of this work was to analyse water resources projections, at the municipal level, based in three aspects: the balance between water availability and demand, demographic dynamics and legislation. It was intended to generate technical information on water resources in small watersheds to assist the decision makers to implement the changes that occurred with the National Water Resources Policy, among them the design of the Water Resource Plans. The selection of Angra dos Reis choice for a case study is justified by the intention to turn this work representative of other medium size municipalities, located in the coast zone, between the south of the Rio de Janeiro and Santa Catarina states, with dominant tourist vocation, crossed by small watersheds, with short and steep watercourses and torrential flows.

The work was divided in three parts: (1) water availability evaluation; (2) water demand evaluation; and (3) analysis of the hydrographic regions sustainability. The Geographical Information Systems (GIS) were used at all parts. The results place Angra dos Reis in a good situation in terms of water resources availability. Less than 10% of the water availability, which corresponds to 50% of the $Q_{7,10}$, is consumed by the resident and tourist population, and by the main economic activities. The evaluation by hydrographic regions, however, identified an unequal distribution of population and water resources: the basins formed by federal rivers concentrate about 60% of availability and 15% of the current demand, while 50% of the population is supplied by basins with less than 5% of the availability, .

The evaluation of the hydrographic regions sustainability showed that the Mambucaba, Ariró and Bracuí regions can play the role of water exporters, while the others are self-sufficient or water importers. The Centro and Japuíba regions already are in a critical situation. Among the sustainability parameters analyzed, water quality is the most critical. This indicator is seven times smaller than water availability. The comparison between sustainability indicators and the demographic trends demonstrated that the water quality indicator would be exceeded in 2010, if the current population growth rate are maintained. Considering an increasing of annual population growth rate, above 5%, the available areas to the urban occupation will be exceeded in 2020. In the analyzed growth scenarios, the water availability indicator is not exceeded.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.1: Localização do município de Angra dos Reis, RJ, f.17
- Figura 2.1: Disponibilidade hídrica *per capita* das regiões hidrográficas do Brasil – 2000, f.35
- Figura 2.2: Balanço entre demanda e disponibilidade hídrica nas regiões hidrográficas do Brasil – 2000, f.36
- Figura 2.3: Principais bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro, f.38
- Figura 3.1: Localização da área de estudo, f.44
- Figura 3.2: Regiões hidrográficas da faixa continental do município Angra dos Reis, RJ, f.45
- Figura 3.3: Fluxograma das etapas gerais da pesquisa, f.47
- Figura 3.4: Estações Pluviométricas da bacia de drenagem contribuinte à baía da Ilha Grande, f.51
- Figura 3.5: Interpoladores utilizados para geração das isoietas, f.52
- Figura 3.6 : Fluxograma das etapas da regionalização de vazões, f.54
- Figura 3.7: Estações fluviométricas da bacia de drenagem contribuinte à Ilha Grande, f.55
- Figura 3.8: Exemplo de inconsistência de um cotograma, f.58
- Figura 3.9: Fluxograma da geração de indicadores das bacias hidrográficas, f.62
- Figura 3.10: Fluxograma da estimativa de demanda hídrica, f.64
- Figura 3.11: Fluxograma da avaliação da capacidade de suporte das regiões hidrográficas, f.66
- Figura 4.1: Principais unidades geomorfológicas da bacia de drenagem contribuinte à baía da Ilha Grande, f. 70
- Figura 4.2: Modelo digital de elevação das bacias hidrográficas que atravessam a faixa continental de Angra dos Reis, f.71
- Figura 4.3: Mapa de uso e cobertura do solo das bacias hidrográficas que atravessam a faixa continental de Angra dos Reis, f.71
- Figura 4.4: Bacias hidrográficas que atravessam a faixa continental de Angra dos Reis, f. 73
- Figura 4.5: Características morfométricas e fisiográficas das bacias hidrográficas que atravessam a faixa continental de Angra dos Reis., f.74
- Figura 4.6: Perfil longitudinal de rios típicos que cortam a faixa continental de Angra dos Reis, f. 75
- Figura 4.7: Total pluviométrico anual da bacia de drenagem contribuinte à baía da Ilha Grande, f.76
- Figura 4.8: Isoietas da estação chuvosa e menos chuvosa da bacia de drenagem contribuinte à baía da Ilha Grande, f.77
- Figura 4.9: Taxa de crescimento demográfico por distritos, mun. de Angra dos Reis, f.79
- Figura 4.10: Distribuição da população no estado do Rio de Janeiro, f. 82
- Figura 4.11: Taxa média geométrica de crescimento demográfico das regiões de planejamento do estado do Rio de Janeiro, f.82
- Figura 4.12: Evolução da população da faixa continental do município de Angra dos Reis, f. 83
- Figura 4.13: Declividade da faixa continental de Angra dos Reis, f. 86
- Figura 4.14: Mapa de uso e cobertura do solo da faixa continental de Angra dos Reis, f. 87
- Figura 4.15: Restrições ao uso e ocupação do solo da faixa continental de Angra dos Reis, f.90
- Figura 4.16: Plano Diretor em vigência. Faixa continental de Angra dos Reis, f.93
- Figura 4.17: Plano Diretor em estudo. Faixa continental de Angra dos Reis, f.94

- Figura 4.18: Sistemas de abastecimento de água da faixa continental de Angra dos Reis, f. 95
- Figura 4.19: Fotos de alguns sistemas de abastecimento de água de Angra dos Reis, f. 98
- Figura 5.1: Análise de grupamento com indicadores de vazão média das estações da sub-bacia 59, f. 101
- Figura 5.2: Correlações entre área das bacias contribuintes às estações fluviométricas e (a) vazão específica, (b) coeficiente de variação da Q_{mlt} , (c) razão entre Q_{mlt} e Q_{50} e (d) coeficiente de escoamento, f.102
- Figura 5.3: Análise de grupamento com indicadores de vazão mínima das estações da sub-bacia 59, f.103
- Figura 5.4: Correlações entre área das bacias contribuintes às estações e (a) a vazão mínima específica (q_7); (b) a razão entre Q_7 e Q_{mlt} ; (c) razão entre a Q_{95} e a Q_{mlt} ; e (d) coeficiente de escoamento da Q_7 (C_7), f.104
- Figura 5.5: Distribuições empíricas de probabilidade de Q média anual adimensionalizada, f. 105
- Figura 5.6: Curva de probabilidade regional de $Q_{média}$ adimensionalizada, f.106
- Figura 5.7: Distribuições empíricas de probabilidades de Q_7 anual adimensionalizada, f.107
- Figura 5.8: Curva de probabilidade regional de Q_7 anual adimensionalizada, f. 107
- Figura 5.9: Curvas de permanência das estações da BIG, geradas na aplicação de equações exponenciais com base nos valores observados, f.112
- Figura 5.10: Disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas que cortam a faixa continental de Angra dos Reis, f.115
- Figura 6.1: Histograma do volume de água per capita distribuído dos estados brasileiros, f.118
- Figura 6.2: Histograma da renda per capita dos estados brasileiros, f.118
- Figura 6.3: Regressão entre a renda e volume de água distribuída dos estados brasileiros, f.119
- Figura 6.4: Distribuição da população por região hidrográfica na faixa continental de Angra dos Reis, f.121
- Figura 6.5: Histograma dos domicílios ocupados nos municípios fluminenses, f.121
- Figura 6.6: Contagem de veículos na Semana Santa de 2002, f.123
- Figura 6.7: Distribuição de turistas na faixa continental de Angra dos Reis, f.124
- Figura 6.8: Demanda hídrica dos principais empreendimentos econômicos de Angra dos Reis, f.128
- Figura 6.9: Demanda hídrica total das regiões hidrográficas de Angra dos Reis, f.130
- Figura 6.10: Balanço entre disponibilidade e demanda hídrica atual. Angra dos Reis, f.133
- Figura 7.1: Classificação das regiões hidrográficas segundo a capacidade de suporte hídrico, f.149
- Figura 7.2: Taxas de crescimento demográfico ajustadas a funções correspondendo ao período de 1940 a 2000, 149
- Figura 7.3: População ajustada a funções correspondendo ao período de 1940 a 2000, f.152
- Figura 7.4: Cenários de sustentabilidade dos recursos hídricos, f.153

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1:	Demanda hídrica per capita segundo tipo de edificação, f.25
Tabela 2.2:	Demanda hídrica doméstica <i>per capita</i> , f.26
Tabela 2.3:	Demanda hídrica da atividade turística de acordo com meios de hospedagem, f. 27
Tabela 2.4:	Demanda hídrica industrial segundo sua tipologia, f.28
Tabela 2.5:	Padrões de escassez hídrica segundo <i>Falkenmar</i> , f.32
Tabela 2.6:	Distribuição dos indicadores de disponibilidade hídrica pelos continentes, f.34
Tabela 2.7 :	Principais sistemas de abastecimento de água do estado do Rio de Janeiro, f. 40
Tabela 3.1:	Principais inconsistências a pesquisar nas séries de cotas fluviométricas, f. 57
Tabela 4.1:	Cruzamento entre o mapa de uso e cobertura do solo e o mapa de declividade, f. 85
Tabela 4.2:	Restrições legais ao uso e ocupação do solo na faixa continental de Angra dos Reis, f. 89
Tabela 5.1:	Indicadores de vazão média das estações fluviométricas da sub-bacia 59, f. 101
Tabela 5.2:	Indicadores de vazão mínima das estações fluviométricas da sub-bacia 59, f. 103
Tabela 5.3:	Q média adimensional da bacia de drenagem contribuinte à baía da Ilha Grande, f. 106
Tab. 5.4:	Q ₇ , adm adimensional da bacia de drenagem contribuinte à baía da Ilha Grande, f. 108
Tabela 5.5:	Características fisiográficas das bacias contribuintes às estações fluviométricas, f. 108
Tabela 5.6:	Resultado das regressões com a vazão média, f. 120
Tabela 5.7:	Desvios entre as Q _{mlt} observadas e a previstas, f. 120
Tabela 5.8:	Resultado das regressões da Q ₇ , f. 121
Tabela 5.9:	Desvios entre as Q ₇ observadas e a previstas, f. 121
Tabela 5.10:	Resultado das regressões da Q ₅₀ , f. 122
Tabela 5.11:	Desvios entre a Q ₅₀ observadas e as previstas, f. 123
Tabela 5.12:	Resultado da regressões da Q ₉₅ , f. 123
Tabela 5.13:	Desvios entre as Q ₉₅ observadas e as previstas, f. 123
Tabela 5.14:	Vazão específica regionalizada das bacias hidrográficas da faixa continental de Angra dos Reis, f. 124
Tabela 6.1:	Produção de água tratada pelo sistema do TEBIG, f. 126
Tabela 6.2:	Estimativa de consumo hídrico TEBIG segundo produção de água potável mensal, f. 127
Tabela 6.3:	Estimativa de consumo hídrico do TEBIG segundo número de funcionários e produção, f.127
Tabela 6.4:	Demanda hídrica total da faixa continental de Angra dos Reis, f.129
Tabela 7.1:	População equivalente à disponibilidade hídrica. Faixa continental de Angra dos Reis, f. 137
Tabela 7.2:	Classificação de águas doces segundo Resolução n.º 20/86 do CONAMA, f. 138
Tabela 7.3:	Relação entre vazões do corpo receptor e do efluente segundo o enquadramento a classe de uso do CONAMA 020/86 e a eficiência do tratamento na eliminação da DBO do esgoto <i>in natura</i> , f. 140
Tabela 7.4:	População equivalente segundo a eficiência do tratamento do efluente e a classe de uso do corpo. Faixa continental de Angra dos Reis, f. 141

- Tabela 7.5: Área urbana e sem restrições legais à ocupação urbana. Faixa continental de Angra dos Reis, f. 142
- Tabela 7.6: Densidade demográfica dos principais núcleos urbanos da faixa continental de Angra dos Reis, f.143
- Tabela 7.7: Densidade demográfica dos principais núcleos turísticos da faixa continental de Angra dos Reis, f. 143
- Tabela 7.8: Zonas residenciais e turísticas propostas Plano Diretor em estudo de Angra dos Reis, f.144
- Tabela 7.9: Densidade demográfica de zonas unifamiliares, com base no Plano Diretor em estudo. Angra dos Reis, f. 144
- Tabela 7.10: Densidade demográfica das zonas com residências multifamiliares, com base no Plano Diretor em estudo. Angra dos Reis, f. 145
- Tabela 7.11: População equivalente à disponibilidade de áreas à ocupação urbana, f. 146
- Tabela 7.12: Balanço entre disponibilidade hídrica e demanda futura expressos em termos de população equivalente. Faixa continental de Angra dos Reis, f. 148

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 BASE TEÓRICA	19
2.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA: QUANTIDADE E QUALIDADE.....	21
2.2 DEMANDA HÍDRICA	24
2.3 ASPECTOS LEGAIS SOBRE AS ÁGUAS NO BRASIL	28
2.4 RECURSOS HÍDRICOS NO MUNDO E NO BRASIL.....	32
2.5 RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	37
3 METODOLOGIA.....	43
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	43
3.2 ETAPAS GERAIS DA PESQUISA	45
3.3 GEOPROCESSAMENTO DE DADOS SÓCIO-AMBIENTAIS	48
3.4 ESTIMATIVA DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	52
3.4.1 Levantamento e análise de consistência dos dados hidrológicos.....	54
3.4.2 Avaliação da homogeneidade hidrológica regional	59
3.4.3 Construção da curva de probabilidade adimensional.....	60
3.4.4 Geração da equação regional entre as características fisiográficas e pluviométricas e a vazão.....	61
3.4.4 Método de regionalização da curva de permanência	63
3.5 ESTIMATIVA DA DEMANDA HÍDRICA.....	63
3.6 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPORTE DAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS	65
4 CARACTERIZAÇÃO SÓCIO-AMBIENTAL DE ANGRA DOS REIS.....	69
4.1 FISIOGRAFIA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE ANGRA DOS REIS.....	69
4.2 REGIME PLUVIOMÉTRICO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DA BAÍA DE ILHA GRANDE.....	75
4.3 ASPECTOS DEMOGRÁFICOS DE ANGRA DOS REIS.....	77
4.3.1 Histórico da Ocupação do Território Angrense	77
4.3.2 Evolução Demográfica em Angra dos Reis	79
4.3.3 Tendências Demográficas em Angra dos Reis	81
4.4 ASPECTOS SOBRE O USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DE ANGRA DOS REIS	85
4.4.1 Restrições Legais ao Uso e Ocupação do Solo em Angra dos Reis.....	88
4.5 ASPECTOS SOBRE O USO DAS ÁGUAS EM ANGRA DOS REIS.....	94

5 DISPONIBILIDADE HÍDRICA DE ANGRA DOS REIS	100
5.1 BACIA CONTRIBUINTE À BAÍA DA ILHA GRANDE COMO REGIÃO HIDROLOGICAMENTE HOMOGÊNEA	100
5.2 CURVA DE PROBABILIDADE ADIMENSIONAL	105
5.2.1 Curva de probabilidade da vazão média anual adimensionalizada	105
5.2.2 Curva de probabilidade da q_7 anual adimensionalizada	106
5.3 EQUAÇÃO REGIONAL ENTRE AS CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS E A VAZÃO	108
5.3.1 Equação regional da vazão média.....	109
5.3.2 Equação regional da vazão mínima (Q_7)	110
5.4 REGIONALIZAÇÃO DA CURVA DE PERMANÊNCIA	111
5.5 AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE ANGRA DOS REIS.....	114
 6 DEMANDA HÍDRICA DE ANGRA DOS REIS.....	117
6.1 DEMANDA HÍDRICA DA POPULAÇÃO RESIDENTE DE ANGRA DOS REIS.....	117
6.2 DEMANDA HÍDRICA DA POPULAÇÃO DE TURISTAS DE ANGRA DOS REIS.....	120
6.3 DEMANDA DOS PRINCIPAIS EMPREENDIMENTOS ECONÔMICOS DE ANGRA DOS REIS	124
6.4 DEMANDA HÍDRICA TOTAL E DAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS	128
6.5 BALANÇO ENTRE DISPONIBILIDADE E DEMANDA HÍDRICA DAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS	132
 7 CAPACIDADE DE SUPORTE DAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS DE ANGRA DOS REIS.....	135
7.1 POPULAÇÃO EQUIVALENTE E DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	135
7.2 POPULAÇÃO EQUIVALENTE E QUALIDADE DA ÁGUA EM ANGRA DOS REIS.....	138
7.3 POPULAÇÃO EQUIVALENTE E DISPONIBILIDADE DE ÁREAS OCUPAÇÃO URBANA.....	141
7.4 CLASSIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPORTE DAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS.....	146
7.5 CENÁRIOS DE SUSTENTABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS DE ANGRA DOS REIS.....	150
7.6 DISCUSSÃO A CERCA DOS VALORES DA POPULAÇÃO EQUIVALENTE.....	153
 8 CONCLUSÕES	156
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	159
ANEXOS	167

1 INTRODUÇÃO

No século XX, o consumo mundial de água cresceu a uma taxa superior à do crescimento demográfico; enquanto o consumo hídrico aumentou sete vezes, a população cresceu quatro vezes. Um dos fatores que provocou maior consumo de água foi o aumento em cinco vezes da área irrigada (GLEICK, 2000). Atualmente, mais de 1 bilhão de pessoas não têm acesso suficiente à água para consumo doméstico e estima-se que, em 2025, haverá 5,5 bilhões de pessoas vivendo em áreas com moderada ou séria falta d'água (ONU, 1997 *apud* DEMANBORO *et al.* 1999)¹.

O Brasil, por outro lado, apresenta cerca de 20% do total mundial de água doce e está entre os países mais ricos em água doce no mundo (ANA, 2004). Porém a desigual distribuição espacial dos recursos hídricos e da população, associada à deficiência do saneamento que afeta a qualidade das águas comprometendo a sua disponibilidade, fazem com que algumas áreas apresentem um quadro de escassez hídrica.

O potencial hídrico do estado do Rio de Janeiro, por exemplo, é de 30 km³/ano, o que resulta em uma disponibilidade *per capita* de 2,2 mil m³/hab.ano (REBOUÇAS, 2002). Este valor corresponde a cerca de duas vezes a quantidade mínima considerada como razoável pela ONU, e coloca o estado em sétimo lugar entre os de menor disponibilidade no país, atrás dos estados do Nordeste e do Distrito Federal (SETTI, 2001).

Diante do quadro de escassez hídrica, de degradação dos recursos hídricos e do difícil acesso de parte da população a este recurso, os princípios de utilização da água vêm sofrendo mudanças fundamentais, criando um novo paradigma onde é reconhecido o imperativo de gerenciar os recursos naturais finitos, entre eles a água.

Programas de conservação da água vêm sendo implantados mesmo em regiões onde ainda não há escassez hídrica, pois permitem atender às necessidades com poucos recursos,

¹ ONU. *Critical Trends, Global Change and Sustainable Development*. New York, 1997.

menos destruição dos ecossistemas e custos mais baixos. A tendência é a adoção de projetos de pequena escala, onde as soluções técnicas, institucionais e econômicas possam ser controladas localmente, com a participação de organizações não-governamentais, indivíduos, organizações independentes de pesquisa e outros parceiros envolvidos no gerenciamento das decisões sobre água. Mudanças mais rápidas nas políticas em todo mundo ainda não foram efetivadas devido às estruturas econômicas e institucionais que encorajam a ineficiência no uso da água (GLEICK, 2000).

A gestão dos recursos hídricos no país é emblemática desta nova postura: recursos institucionais, com o marco histórico do advento da Lei n.º 9433/97, criaram o arcabouço legal da gestão moderna do recurso água, com visíveis rebatimentos, nos diversos níveis de gerência, desde a criação da ANA até a participação comunitária nos Comitês de Bacias. Os comitês, formados por representantes da sociedade civil e do poder público, funcionam como “parlamento de águas”, onde são tomadas as decisões no âmbito de cada bacia hidrográfica, baseadas em um novo modelo de planos de recursos hídricos, que seja: “participativo, com diagnósticos multidisciplinares, sintéticos, objetivos, com recursos de comunicação ao público, suporte em sistemas de informações sobre recursos hídricos, ... para permitir a escolha da alternativa pelos comitês” (ANA, 2003).

As exigências da lei têm sido atendidas por recursos humanos cada vez mais capacitados, enquanto os bancos de dados e as informações já adquiridos anteriormente são organizados e divulgados e as novas bases de dados hidrometeorológicos são instrumentadas, visando a criação de um sistema de informações hidrológicas, seguindo os princípios da Agenda-21: “O desenvolvimento de bancos de dados interativos, métodos de previsão e modelos de planejamento econômico adequados à tarefa de gerenciar recursos hídricos de uma maneira eficiente e sustentável exigirão a aplicação de técnicas novas tais como sistemas de informação geográfica e sistemas especialistas para reunir, assimilar, analisar e exibir informações multissetoriais e otimizar a tomada de decisões.” (Cap. 18: Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos).

Para Gleick (2000), “o planejamento dos recursos hídricos em uma sociedade democrática deve conter mais do que simplesmente uma decisão sobre o projeto que pode ser construído ou avaliação do esquema mais vantajoso sob uma estreita perspectiva econômica. O planejamento deve fornecer informações que auxiliam as pessoas a julgarem sobre as necessidade e os desejos que podem ser satisfeitos.”

Entre as informações que devem ser disponibilizadas na gestão dos recursos hídricos estão as questões ligadas à quantidade e à qualidade da água, pois, conhecendo o quanto há de

recurso, pode-se estabelecer as prioridades de uso, conforme é colocado pela Agenda-21: “O manejo integrado dos recursos hídricos baseia-se na percepção da água como parte integrante do ecossistema, um recurso natural e bem econômico e social cujas quantidade e qualidade determinam a natureza de sua utilização.”

Os esforços de gerência dos recursos naturais servem a essa nova ética: o uso criterioso do recurso, que considera sua finitude e particularidades, e preserva a qualidade e a quantidade, sujeitando-o à capacidade de suporte do meio ambiente - um conhecimento que continua desafiando o ser humano (COLBY, 1991).

Os municípios brasileiros, principalmente os da região Sudeste, com população entre 100 mil a 500 mil habitantes apresentaram na última década uma taxa de crescimento demográfico de 3% a.a., enquanto a taxa apresentada pelas principais capitais ficou em torno de 0,88% a.a. (IBGE, 2002a). Os municípios deste tipo passam então a necessitar de mais informações sobre recursos hídricos, na medida em que: 1) as soluções para atender a nova demanda devem ser adotadas por municípios cujos recursos econômicos e humanos são limitados (TUCCI, 2000a); e 2) a legislação federal e estadual não contemplam os municípios com responsabilidade político-administrativa sobre seus corpos d'água (MILARÉ, 2000). Diante deste quadro, as pequenas bacias localizadas no Domínio Tropical Atlântico sofrem impacto crescente, tanto para atender à demanda de água dessas cidades, como pela própria expansão urbana, que acarreta em ocupação, quase sempre, desordenada.

Em compensação, as pequenas bacias de drenagem podem, em geral, apresentar soluções típicas à satisfação destas demandas. Em particular, as pequenas bacias costeiras do Domínio Tropical Atlântico, localizadas em encostas vegetadas, que apresentam elevada produtividade e excelente qualidade hídrica. As vantagens comparativas desta condição natural têm rebatimentos de ordem ambiental, econômica e social, já que propiciam a economia de recursos com tratamento e recuperação de águas para abastecimento.

Assim, face ao acima exposto, justifica-se a necessidade de estudos que avaliem a situação de disponibilidade e demanda hídricas dentro de uma perspectiva de sustentabilidade do recurso, valendo-se do estímulo decorrente da nova legislação, para dar suporte à gestão destes recursos em municípios de médio porte, que vêm apresentando um acelerado crescimento demográfico nas últimas décadas.

O objetivo deste trabalho é elaborar análises prospectivas sobre recursos hídricos, no âmbito municipal, baseadas na capacidade de suporte dos recursos hídricos, considerando três vertentes: o balanço entre a situação de disponibilidade e demanda hídricas, a dinâmica demográfica e o arcabouço legal pertinente. Pretende-se, com isto:

- gerar informações técnicas sobre os recursos hídricos em pequenas bacias hidrográficas costeiras, que auxiliem (1) na adequação às mudanças advindas da implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, entre elas a elaboração dos planos de recursos hídricos e a outorga do direito de uso da água, bem como (2) na tomada de decisão dos mais diversos fóruns deliberativos - comitês de bacia, prefeituras e lideranças da sociedade em geral;
- expressar as informações técnicas de forma facilitada e sintetizada através de indicadores que possam ser comparados entre si, e que sejam acessíveis aos diferentes agentes que participam das tomadas de decisão;
- desenvolver metodologia reprodutível e adaptativa, acessível ao técnico municipal, com uso de ferramentas de geoprocessamento, para geração de subsídios e instrumental que auxiliem na gestão sustentável dos recursos hídricos.

A área de estudo é a faixa continental do município de Angra dos Reis (Fig.1), situado no sul fluminense, atravessado pela Serra do Mar, com 82% do seu território cobertos pela Floresta Pluvial Atlântica. Com cerca de 120 mil habitantes, Angra dos Reis vem apresentando, desde a década de 1950, taxa de crescimento demográfico acima de 3% a.a. (CIDE, 2002). No período de férias e feriados prolongados, a população do município aumenta com o fluxo turístico típico das cidades litorâneas da região sudeste.

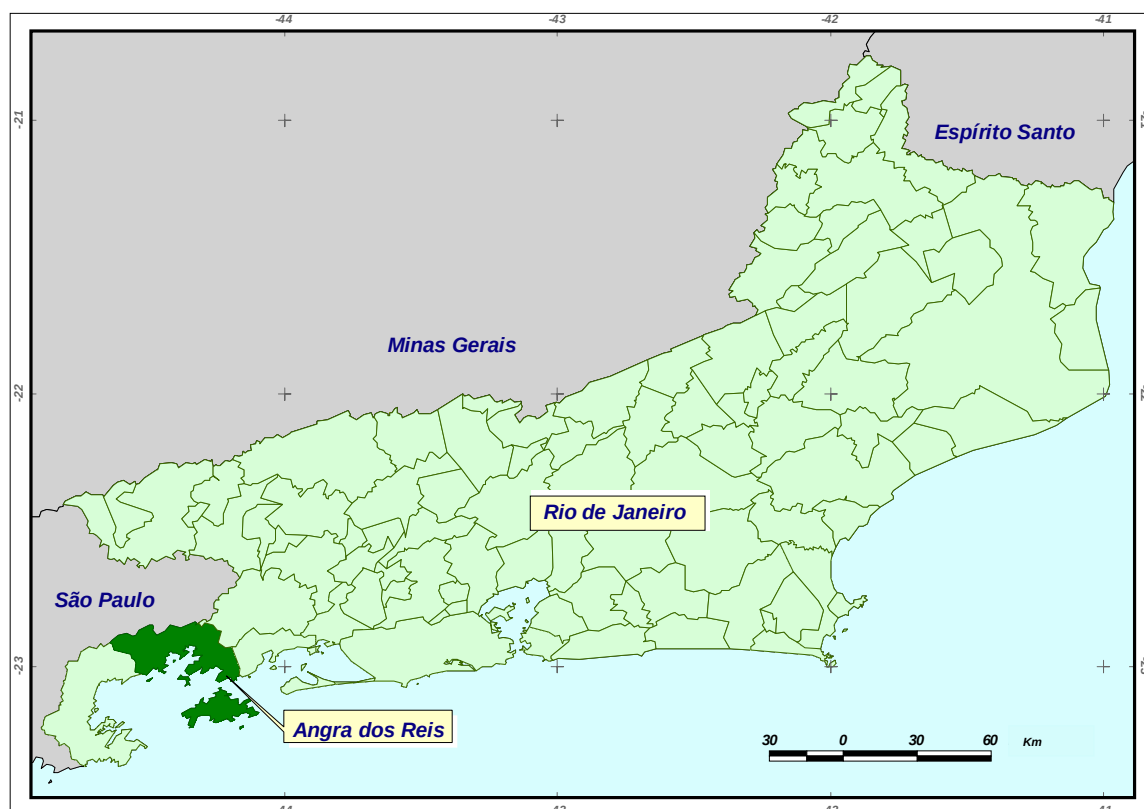


Figura 1.1: Localização do município de Angra dos Reis, RJ.

A escolha do município de Angra dos Reis para estudo de caso justifica-se, então, pela intenção de tornar este trabalho, respeitadas as suas características típicas inalienáveis, representativo de outros municípios de médio porte, com crescimento demográfico acelerado e com dominante vocação turística, localizados na área litorânea do Domínio Tropical Atlântico, servidos por pequenas bacias hidrográficas, com cursos d'água curtos, íngremes e de regime torrencial.

Ao lado disso, a manutenção da taxa de crescimento demográfica do município, a ocupação desordenada do solo, principalmente, das encostas, com degradação da Mata Atlântica, e o tratamento ineficiente dos esgotos, atendendo apenas 44% da população e provocando a poluição dos rios e praias próximas às áreas urbanas, afetam as condições ambientais responsáveis pelo *superávit* hídrico no município. A elaboração de um plano de gestão dos recursos hídricos neste município é urgente, tanto para atender às demandas atuais e futuras da população, quanto para preservar este recurso natural indispensável.

O segundo capítulo define os conceitos fundamentais que são utilizados em todo trabalho, a problemática dos recursos hídricos em diferentes escalas espaciais de análise e os aspectos legais da gestão das águas no Brasil. O terceiro capítulo contém a metodologia utilizada e está subdividido de acordo com as etapas do desenvolvimento do trabalho. A caracterização sócio-ambiental da área de estudo está contida no capítulo 4. Os resultados do trabalho são discutidos nos capítulos 5, 6 e 7, que correspondem, respectivamente: à avaliação de disponibilidade hídrica, à avaliação da demanda hídrica e à análise da capacidade de suporte das regiões hidrográficas. Este último capítulo representa a síntese do trabalho pois, além de conter as informações obtidas nas etapas anteriores, incorpora outras variáveis fundamentais à gestão sustentável dos recursos hídricos: a dinâmica demográfica e a legislação referente à quantidade e à qualidade da água, e ao uso e ocupação do solo.

2 BASE TEÓRICA

O conceito seminal deste trabalho é o desenvolvimento sustentável: para as nações mais pobres ele significa um processo difuso e duradouro de desenvolvimento econômico; difuso para que atinja a maioria da sociedade, e duradouro, para incluir as futuras gerações. Condição necessária para ser duradouro, é que seja ambientalmente sustentável (CARVALHO *et al.*, 2001). A busca por este ideal é uma tarefa dinâmica e multidisciplinar, que precisa considerar os efeitos sinérgicos das peculiaridades físicas, geoecológicas, culturais, econômicas, sociais, históricas e tecnológicas que definem o espaço onde as pessoas vivem (SANTOS, 1996). A dimensão tecnológica, ela mesma multidimensional, representa a capacidade do homem como agente transformador. Ela é função dos recursos humanos, do capital social, dos recursos naturais trocáveis, das características físicas e químicas que se adequam, ou não, às técnicas existentes, em diversos níveis.

Assim, no nosso modelo conceitual, o desenvolvimento sustentável pode ser representado por uma pirâmide de base triangular, em que os Recursos Humanos, os Recursos Institucionais e os Recursos Construídos representam os vértices do plano horizontal, todos eles apoiando-se no ápice e nas arestas dos Recursos Naturais, que funcionam como fonte e abrigo do que está na base da pirâmide. Objetiva-se assim representar a mudança de paradigma necessária ao desenvolvimento sustentável, em que o homem reconhece o imperativo de gerenciar os Recursos Naturais finitos, entre eles a água.

O termo desenvolvimento sustentável foi introduzido em 1980 em uma publicação denominada *Estratégia Mundial para Conservação*, elaborada em conjunto pelos seguintes organismos: União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN), programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e Fundo Mundial para a Natureza (WWF). Em 1987, a Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), em seu relatório *Nosso Futuro Comum*, reconheceu a necessidade de um desenvolvimento sustentável e de uma equidade internacional. A Conferência da Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Rio-92, ratificou a necessidade do desenvolvimento sustentável nos

acordos firmados entre os chefes de estados. Entre estes acordos está a Agenda-21, assinada por 170 países, que estabelece um conjunto de diretrizes voltadas ao desenvolvimento sustentável, e dedica um capítulo à proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos enfocando a busca da sustentabilidade no uso desse bem (ANA, 2003).

O desenvolvimento sustentável apresenta como objetivo “melhorar a qualidade de vida humana dentro dos limites da capacidade de suporte dos ecossistemas”. Entende-se como capacidade de suporte “a capacidade de um ecossistema suportar organismos saudáveis e, ao mesmo tempo, manter a produtividade, adaptabilidade e capacidade de renovação” (UICN *et al.* 1991). O princípio da sustentabilidade implica, assim, na utilização dos recursos renováveis a taxas iguais ou inferiores a sua regeneração, ou seja, se um sistema utiliza recursos acima da taxa de reposição ou da capacidade de assimilação natural, não há garantia de sustentabilidade (FERRÃO, 1998).

A avaliação da capacidade de suporte é uma tarefa difícil, pois significa conhecer a complexidade do funcionamento dos ecossistemas para identificar os limites, de suportar as alterações advindas das ações antrópicas, de cada organismo que o compõe. Porém, a dificuldade em se obter este conhecimento pode ser contornada estabelecendo uma relação entre a oferta do recurso natural (disponibilidade) e a quantidade que pode ser retirada (demanda). De acordo com UICN (1991), esta é uma questão difícil, mas há limites:

“nos impactos que os ecossistemas e a biosfera como um todo podem tolerar, sem causar uma deterioração arriscada. Os limites variam de região para região e os impactos dependem do número de pessoas presentes em cada região e da quantidade de alimento, água, energia e matérias-primas que cada uma dessas pessoas utiliza ou desperdiça ... Políticas que tragam um equilíbrio entre capacidade da natureza e quantidade de pessoas, e tipos de vida, devem ser desenvolvidas simultaneamente a tecnologias que aumentem essa capacidade através de sua cuidadosa administração.” (UICN *et al.*, 1991).

A abordagem da sustentabilidade de espaços territoriais é uma tarefa ainda mais difícil, principalmente para regiões que dependem de outras para serem abastecidas de alimentos e energéticos, pois há dificuldade em estimar a demanda pelo recurso natural. Esta inter-dependência é tanto maior quanto maior for a escala espacial de análise, por exemplo, um país tende a ser mais auto-sustentável em recursos do que uma pequena bacia hidrográfica. De forma simplificada, pode-se dizer que um espaço territorial é sustentável “se ele for capaz de manter o equilíbrio entre a ‘oferta’ e a ‘demanda’ por recursos naturais” (MARIOTONI & DEMANBORO, 2000), conceitos que serão definidos nos próximos itens.

2.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA: QUANTIDADE E QUALIDADE

A disponibilidade hídrica pode ser definida como o total da vazão originária de uma bacia hidrográfica, constituída tanto pelo volume de água captado pela sociedade para os usos consuntivos, ou seja, aqueles que consomem água para o seu desenvolvimento, quanto pelo volume mantido no curso d'água para a manutenção da sustentabilidade do próprio sistema ou para atender aos usos não consuntivos (CRUZ, 2001) .

Os novos paradigmas que norteiam a gestão dos recursos hídricos enfatizam, como condição de disponibilidade hídrica, a ligação indissociável entre quantidade e qualidade (LANNA, 1997). A influência da qualidade da água na disponibilidade se dá tanto pela impossibilidade da captação de água para determinados fins, devido ao seu elevado grau de contaminação, quanto pela necessidade de manutenção de um certo volume de água no corpo d'água para a diluição de poluentes (CRUZ, 2001).

A disponibilidade hídrica, utilizada como base para emissão da outorga de direito de uso de recursos hídricos, além dos fatores referentes à qualidade, deve considerar também a parcela “vinculada a uma certa garantia, compatível com a responsabilidade intrínseca do outorgante frente aos direitos concedidos aos usuários junto à outorga (CRUZ, 2001).

A reconstituição da vazão natural, informação básica para avaliação dos aspectos quantitativos e qualitativos da água, é uma tarefa difícil, devido: (1) às transformações que as atividades antrópicas causam à superfície do solo, afetando “as condições de permeabilidade, as características hidráulicas e o processo de separação dos escoamentos”; e (2) à deficitária rede de monitoramento e ao desconhecimento do regime histórico da demanda hídrica no Brasil. Assim, “a reconstituição de um fluviograma atual sem interferência das intervenções históricas”, além de um procedimento difícil, apresenta muitas incertezas (CRUZ, 2001). Em bacias hidrográficas com elevado uso consuntivo, deve-se ser estabelecido um marco zero, que consiste na disponibilidade remanescente, excluídos os usos já existentes (SILVEIRA, 1998 *apud* CRUZ, 2001)¹ .

Na avaliação da disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica, sob o aspecto quantidade, devem ser consideradas a vazão média e a vazão mínima. A primeira corresponde à disponibilidade hídrica máxima, pois é a maior vazão que pode ser regularizada,

¹ SILVEIRA, G. L.; ROBAINA, A. D.; GIOTTO, E.; DEWES, R. (1998). Outorga para uso dos recursos hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 3, nº 3, Jul/Set., 1998, p. 5-16.

estabelecendo os limites superiores do uso da água de um manancial, para diferentes finalidades (TUCCI, 2002).

A vazão mínima ocorre durante a estiagem e está vinculada a períodos críticos de oferta de água, condicionando o atendimento da demanda. A vazão mínima estatística é expressa por um valor, duração e probabilidade de ocorrência. O valor corresponde à média da vazão de estiagem na duração considerada, e a probabilidade de ocorrência é fornecida pela distribuição estatística que melhor se ajusta a esta variável. Pode-se substituir a probabilidade de ocorrência pelo seu inverso, o período de retorno em anos, que corresponde ao tempo médio em que a variável pode ser menor ou igual ao valor considerado (SILVEIRA & SILVEIRA, 2001).

Os indicadores de vazão mínima mais utilizados em projetos e emissão de outorga são a $Q_{7,10}$ e a Q_{95} . O primeiro corresponde à vazão mínima anual com 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno. O segundo é calculado com base na curva de permanência de vazões, função hidrológica que fornece a frequência com que um determinado valor de vazão é igualado ou superado num período, sendo o valor da vazão associado ao tempo de permanência. A Q_{95} , por exemplo, corresponde a um patamar inferior de vazão que tem probabilidade de ser excedida, “permanece”, em 95% do tempo (TUCCI, 2002; SILVEIRA & SILVEIRA, 2001). Tendo como base a Política Nacional de Recursos Hídricos, a portaria n.º 307/2002 da SERLA estabelece 50% da $Q_{7,10}$ como base de emissão da outorga de direito de uso de recursos hídricos de domínio do estado do Rio de Janeiro.

A importância de adotar-se um indicador de vazão mínima como critério de disponibilidade hídrica decorre do fato de que a quantidade de água disponível deve ser suficiente para atender aos momentos de maior demanda. Além disso, a vazão também deve ser suficiente para a manutenção dos ecossistemas, denominada vazão ecológica ou de preservação ambiental. As estimativas deste valor dependem de estudos multidisciplinares eco-hidrológicos, e passam por decisões técnicas e políticas permeadas de conflitos e incertezas, e vêm sendo, até agora, substituídas por estimativas estatísticas (SILVEIRA & SILVEIRA, 2001).

No caso de escassez ou ausência de estações fluviométricas nos locais onde necessitam-se avaliar a disponibilidade hídrica, pode-se usar métodos indiretos que fazem estimativa de vazão em locais sem dados. Estes métodos tornam-se fundamentais na medida em que há uma pequena rede de monitoramento fluviométrico no Brasil, principalmente, para bacias hidrográficas menores do que 300 km² (TUCCI, 2000a).

Os métodos utilizados para a estimativa de vazão em locais sem dados ou com dados escassos são: (1) interpolação – baseia-se em referenciais de seções hidrológicas que possuam informações, utilizando-se a proporção de área, proporção de vazões ou regressão entre vazões e outra variável para a transferência de informações; (2) modelos chuva-vazão – realizam um balanço hídrico em que as entradas são as chuvas e a evapotranspiração potencial e as saídas são expressas pelas vazões e estimativas de evapotranspiração; (3) estimativas de vazões por amostragem - são baseadas em métodos que aproveitam as informações contidas em pequenas amostras de vazões realizadas durante a estiagem para caracterização do decaimento das vazões; e (4) regionalização hidrológica (CRUZ, 2001; SILVEIRA & SILVEIRA, 2001).

Sob o aspecto de qualidade hídrica, as grandes alterações de natureza ecológica que ocorrem em um corpo d'água que recebe esgotos não correspondem, necessariamente, à introdução de elementos letais, mas à introdução de excesso de matéria orgânica, que leva à proliferação de microorganismos e, conseqüentemente, a demanda de oxigênio (DO), podendo atingir uma taxa que inviabilize a existência de outros seres vivos. Assim, a DO pelos contaminantes é um dos principais parâmetros para medir impactos em planos de manejo hídrico, pois a presença de oxigênio dissolvido é fundamental para manter a vida aquática e a qualidade estética da água (BRANCO, 1983).

A DO pode ser interpretada como uma medida bruta da concentração de materiais oxidáveis presentes em uma amostra de água, representando, assim, a carga potencialmente poluidora para um corpo receptor (BRANCO, 1983). A DBO, demanda bioquímica de oxigênio, mede a quantidade de oxigênio usado no metabolismo de matéria orgânica biodegradável, uma mistura de espécies químicas solúveis e insolúveis, inclusive sulfetos e ferro ferroso, cujo produto final é, principalmente, dióxido de carbono, amônia e água (TCHOBANOGLIOUS, 1987). Comumente, a oxidação dos compostos nitrogenados é inibida durante as análises em laboratório, de modo que a DBO considere somente a demanda carbonácea, enquanto a DBO causada pela nitrificação é medida em separado (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1976).

Para haver um equilíbrio entre o consumo e a produção de oxigênio, é necessário que a quantidade de matéria orgânica lançada em um corpo d'água seja proporcional a sua vazão ou volume, ou seja, à disponibilidade de oxigênio dissolvido. A concentração de oxigênio dissolvido em um rio depende da sua temperatura e pressão; em geral, um rio situado ao nível do mar e com a temperatura média de 20°C possui, no máximo, 9 mg/L de oxigênio. Os esgotos domésticos possuem uma DBO em torno de 200 a 300 mg/L (BRANCO, 1983).

Os rios também apresentam a capacidade de recuperação do oxigênio, autodepuração, através do ar atmosférico e da atuação de vegetais clorofilados presentes na massa d'água (BRANCO, 1983). A concentração populacional pode fazer com que o volume de esgoto produzido seja superior à capacidade de autodepuração dos corpos d'água; assim, o tratamento do esgoto, antes de lançá-lo nos corpos d'água, é condição fundamental para a manutenção da qualidade da água. O tratamento de esgoto pode reduzir a DBO entre 75 e 95%, dependendo do processo utilizado; em um tratamento convencional, a redução está entre 85 e 95% (METCALF & EDDY, 1981).

2.2 DEMANDA HÍDRICA

Demanda de água corresponde à “quantidade de água requerida para várias utilizações, durante determinado período, condicionadas por fatores econômicos e sociais” (ANEEL, 1998). A produção agrícola é a atividade que mais utiliza água, cerca de 70% da água captada no mundo destina-se a esta atividade. O restante da água captada destina-se ao consumo industrial, correspondendo a 20%, e os outros 10% destinam-se ao abastecimento humano (SETTI, 2001). No Brasil, seguindo o padrão mundial, a agricultura também é a atividade que mais consome água, representando 56% da demanda total. O uso doméstico, rural e urbano, é o segundo, correspondendo a 27%, acompanhado pela atividade industrial (12%) e a dessedentação animal (5%) (ANA, 2003).

Para o abastecimento de água de uma cidade, os principais fatores que influenciam na quantidade de água distribuída pelos sistemas de abastecimento são: a) clima; b) padrão de vida; c) hábitos da população; d) sistemas de fornecimento (presença ou não de hidrômetro); e) qualidade da água; f) custo da água; g) pressão na rede de abastecimento, entre outros (GOMES, 2002), .

As perdas de água que ocorrem no sistema são outro fator que deve ser considerado para quantificação do volume de água distribuída. As perdas denominadas físicas, ou reais, correspondem a vazamentos e ao uso da água durante a operação e manutenção do sistema e durante a reparação de avarias. As perdas denominadas não físicas, ou aparentes, correspondem ao volume de água consumido, mas não medido, como: (a) a água utilizada para manutenção dos equipamentos urbanos pelos órgãos públicos, como a rega de praças; (b) a água desviada clandestinamente; (c) os erros de leitura devido a deficiência do leiturista ou do aparelho; e outros (GOMES, 2002; SNIS, 2001; REVISTA BIO, 2003).

No Brasil, as perdas de distribuição, expressas como relação entre volume consumido e disponibilizado, registradas pelas companhias de abastecimento, são da ordem de 45%, variando entre 17% a 69% (SNIS, 2001). Para Lanna (2001), as maiores perdas podem estar relacionadas ao menor índice de hidrometração: as cinco companhias que apresentam índices de hidrometração acima de 98%, apresentam os menores índices de perdas, enquanto as companhias com os três piores índices de hidrometração, abaixo de 32%, apresentam os maiores índices de perdas (SNIS, 2001).

Pesquisa realizada em Minas Gerais com 96 municípios constatou que a renda *per capita* e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) são os fatores que apresentam maior correlação com o consumo *per capita*. Para municípios acima de 100 mil habitantes, ganham importância fatores relacionados à logística de abastecimento como a porcentagem de domicílios hidrometrados e o valor da tarifa (FERNANDES NETO *et al*, 2003).

A demanda *per capita* urbana mundial varia com a grau de urbanização e dos serviços públicos de água. Em muitas grandes cidades modernas do mundo, a captação *per capita* é da ordem de 300 a 600 L/dia. No fim do século XX, era esperado o crescimento da captação nos países industrializados europeus e norte-americanos, passando para 500 a 800 L/dia. Entretanto, nos países agrícolas da Ásia, África e América Latina, a captação está em torno de 50 a 100 L/dia *per capita*, podendo alcançar valores entre 10 a 40 L/dia em regiões com insuficiência de recursos hídricos (SHIKLOMANOV, 1998).

Um estudo feito por Oliveira *et al.* (2003), com base em consulta bibliográfica a manuais de engenharia, demonstrou que demanda *per capita* nas áreas urbanas varia entre 100 a 400 L/dia, segundo o tipo de edificação (Tab.2.1). Considerando apenas os consumos domésticos, segundo Gomes (2002), o valor varia entre 100 a 200 L/dia (Tab. 2.2).

Tabela 2.1: Demanda hídrica *per capita* segundo tipo de edificação.

Edificação	Consumo <i>per capita</i> (L/hab.dia)
Residências populares	120 – 150
Residência de médio valor	150
Residência luxo	300 – 400
Apartamento	200
Apartamento luxo (por dormitório)	300 – 400
Apto. luxo (por dormitório de empregada)	200

Fonte: Oliveira *et al.* (2003)

Tabela 2.2: Demanda hídrica doméstica *per capita*.

Uso	Consumo L/hab. dia
Bebida e cozinha	10 a 20
Lavagem de roupa	10 a 20
Banho e lavagens de mão	25 a 55
Instalações sanitárias	15 a 25
Outros usos	15 a 30
Perdas e desperdícios	25 a 50
Total	100 a 200

Fonte: Gomes (2002)

O Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, baseado nas informações fornecidas por prestadores de serviços de água e esgotamento sanitário em todo o país, constatou que o consumo médio *per capita* é 140 L/hab.dia, variando entre 50 L/hab.dia e 220 L/hab.dia, correspondendo, respectivamente, à Companhia de Saneamento do Amazonas – COSAMA, e à Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro – CEDAE (SNIS, 2002).

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, através de levantamento realizado junto às prefeituras municipais e empresas contratadas para a prestação de serviços de saneamento básico nos 5,5 mil municípios, conclui que o volume médio *per capita* de água distribuída é de 260 L/hab.dia no Brasil, variando entre 360 L/hab.dia, para a região Sudeste, e 170 L/hab.dia, para o Nordeste (IBGE, 2002).

O Plano Nacional de Recursos Hídricos considerou como demanda urbana *per capita* o valor de 225 L/hab.dia para a região hidrográfica do litoral do Rio de Janeiro, onde está inserido o município de Angra dos Reis (ANA, 2003).

Embora os valores encontrados na literatura sejam utilizados com certa frequência, inclusive para dimensionamento de obras de engenharia, há necessidade de aferição, pois, segundo Oliveira *et al.* (2003), ao longo das três últimas décadas eles vêm sendo reeditados automaticamente e citados por outros autores. Ainda segundo o mesmo autor, em função das dificuldades em se estabelecer parâmetros, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) não recomenda o emprego de qualquer valor, mas sim que o projetista recorra à concessionária para obter o valor estimado do consumo de água *per capita*, de acordo com a NBR 5.626/98 - Instalação Predial de Água Fria.

Em relação ao setor turístico, a demanda hídrica *per capita* varia entre 90 a 600 L/hab.dia, de acordo com o tipo de hospedagem; aquelas destinadas à população de renda mais elevada apresentam maior consumo (Tab. 2.3).

Tabela 2.3: Demanda hídrica da atividade turística de acordo com meios de hospedagem.

Local	Tipo	Demanda (L/leito.dia)	Fonte
Ilhas Canárias	Consumo associado	600	Hernández-Suárez (2003)
Ilhas Canárias	Hotel cinco estrelas	460	Hernández-Suárez (2003)
RMRJ	Hotel c/ três ou mais estrelas	300	Plano Diretor da RMRJ (Rios, 1998 <i>apud</i> Setti, 2000)
Ilhas Canárias	Consumo direto	280	Hernández-Suárez (2003)
Ilhas Canárias	Hotel quatro estrelas - praia	280	Hernández-Suárez (2003)
Ilhas Canárias	Hotel quatro estrelas	230	Hernández-Suárez (2003)
	Apartamento de férias	227	Salvato, 1982 <i>apud</i> Tomaz (2000)
Porto Alegre	Hotel	200	Qasim, Syed (1984) <i>apud</i> Tomaz (2000)
Porto Alegre	Acampamento férias	190	Qasim, Syed (1984) <i>apud</i> Tomaz (2000)
Porto Alegre	Alojamento de verão	190	Qasim, Syed (1984) <i>apud</i> Tomaz (2000)
	Hotel de férias	189	Salvato (1982) <i>apud</i> Tomaz (2000)
	Hotel	189	Metcalf, Eddy (1991) <i>apud</i> Tomaz (2000)
RMRJ	Hotel inferior a três estrelas	200	Plano Diretor da RMRJ (Rios <i>apud</i> Setti, 2000)
Ilhas Canárias	Hotel três estrelas	160	Hernández-Suárez (2003)
Porto Alegre	Hotel	141	Qasim, Syed (1984) <i>apud</i> Tomaz (2000)
Porto Alegre	Acampamento	133	Qasim, Syed (1984) <i>apud</i> Tomaz (2000)
	Acampamento comum	113	Metcalf, Eddy (1991) <i>apud</i> Tomaz (2000)
Ilhas Canárias	Hotel duas estrelas	90	Hernández-Suárez (2003)

Nas Ilhas Canárias, onde já é feita a dessalinização para obtenção de água potável, utiliza-se o valor de 280 L/leito.dia, porém, quando se consideram os consumos associados às atividades diretamente relacionadas ao turismo, este valor dobra, sendo utilizado o valor de 600 L/leito.dia para fins de planejamento (HERNÁNDEZ-SUÁREZ, 2003). O Plano Diretor da RMRJ considera 900 L/quarto.dia para hotéis acima de três estrelas; para hotéis abaixo, o valor corresponde a 500 L/quarto.dia (RIOS, 1998 *apud* SETTI, 2000)².

O Comitê das Bacias do Litoral Norte de São Paulo, área contígua à região hidrográfica da Ilha Grande, considerou, para o que chamou de cenário pessimista, a demanda *per capita* de 450 L/hab.dia, incluindo as perdas, tanto para população fixa quanto flutuante. Para o cenário denominado otimista, o valor correspondeu a 200 L/hab.dia (IPT, 2003).

No processo industrial, a água, nos seus diversos estados físicos, apresenta uma grande diversidade de funções, podendo ser usada como: (a) matéria-prima e reagente; (b) solvente; (c) lavagem de gases e sólidos; (d) veículo de suspensão de materiais; (e) em operações envolvendo transmissão de calor; (f) agente de resfriamento de massas reagentes; (g) agente de aquecimento; e (h) fonte de energia. A disponibilidade de dados precisos sobre o consumo industrial é muito restrita, devido, entre outros, ao receio de ações, tanto das agências

ambientais quanto das empresas fornecedoras, principalmente, no momento em que está em implementação a cobrança da água (SILVA & SIMÕES, 2002).

A variação do consumo de água no processo industrial, em empresas do mesmo segmento e, inclusive, entre unidades da mesma empresa, também dificulta a consolidação dos dados. Esta variação ocorre devido a: (a) utilização de processos tecnológicos distintos; (b) diferenças de equipamentos, procedimentos operacionais e escala de produção; (c) dificuldade em discriminar o consumo específico de cada segmento, em função da verticalização do complexo industrial; e (d) diferenças nas condições ambientais do local das unidades industriais (SILVA & SIMÕES, 2002).

Na literatura, verifica-se que o consumo de água pode ser estimado tendo como referência: o volume de água necessário para produzir uma determinada quantidade de mercadorias, o número de funcionários da unidade produtiva ou o tipo de indústria (Tab. 2.4). A seleção de um, ou outro parâmetro, dependerá da disponibilidade dos dados.

Tabela 2.4: Demanda hídrica industrial segundo sua tipologia.

Tipologia	Demanda (m³)	Referência	Fonte
Laminação de aço	83	t de aço	Barth, 1987 apud Setti (2000)
Refinação do petróleo	290	barril refinado	
Indústria têxtil	1.000	t de tecido	
Couro-curtumes	55	t de couro	
Papel	250	t de papel	
Saboarias	2	t de sabão	
Usinas de açúcar	75	t de açúcar	
Fábrica de conservas	20	t de conserva	
Laticínios	2	t de produto	
Cervejaria	20	t de cerveja	
Lavanderia	10	t de roupa	
Matadouros	3	animal abatido	
Pequenos e médios consumidores industriais	0,15	empregado	Plano Diretor da RMRJ (Rios, 1998 apud Setti, 2000)
Grandes consumidores industriais	0,55		
Indústria metalúrgica básica	0,385	empregado	LNEC apud Tomaz (2000)
Indústria transformadora diversa	0,488		
Maquinária e equipamentos	0,086		
Valor médio das indústrias	2.920		

2.3 ASPECTOS LEGAIS SOBRE AS ÁGUAS NO BRASIL

O marco legal na gestão dos recursos hídricos no Brasil é o Código de Águas, estabelecido pelo Decreto Federal n.º 24.643/1934, instituído no momento em que o Brasil passava de uma economia agrária para uma economia urbano-industrial e necessitava da

² RIOS, J.L.P. O Plano Diretor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. 21 Congresso da AIDIS. ABES, 1988.

produção de energia hidrelétrica para movimentar este setor (LACORTE, 1994 *apud* LEAL, 1998)³.

Segundo Leal (1998), apesar do código ser antigo, ele estabeleceu aspectos importantes e conceitos atuais sobre a gestão das águas, como:

- A aplicação do princípio de usuário-pagador: no parágrafo 2º do artigo 36, é definido que “o uso da águas pode ser gratuito ou retribuído”.
- A necessidade de preservação das condições da água pelo usuário de montante perante os usuários de jusante, colocada no Título III, que regulamenta o aproveitamento das águas comuns.
- O regime de outorga, estabelecido pelo artigo 43, definindo que “as águas públicas não podem ser derivadas para as aplicações da agricultura, da indústria e da higiene sem a existência de concessão administrativa”.
- A definição do uso prioritário da água para o abastecimento público: no artigo 36 fica estabelecida a “preferência da derivação para o abastecimento das populações”.
- A defesa do aproveitamento múltiplo das águas, colocada pelo artigo 51, estabelecendo que “em regulamento administrativo se disporá sobre as condições de derivação, de modo a conciliarem quanto possível os usos a que as águas se prestam”.

Vários desses princípios são bastante atuais, porém não foram aplicados por falta de uma regulamentação específica. Para Leal e La Rovere (1997) isso mostra que uma legislação adequada é fundamental, mas não suficiente para estabelecer determinadas práticas, sendo necessário também um quadro institucional e uma situação política que possibilite sua regulamentação e aplicação.

A Constituição Federal de 1988 muito pouco alterou o Código das Águas. Uma das poucas modificações foi a extinção do domínio privado da água, previsto em alguns casos, e o domínio municipal. A Constituição de 1988 estabelece apenas dois domínios para os corpos d'água: (1) domínio da União, para rios e lagos que banhem mais de um estado, ou que sirvam de fronteira entre essas unidades, ou de fronteira entre o Brasil e países vizinhos, ou deles provenham ou para eles se estendam e (2) domínio estadual, para os corpos d'água que se situem exclusivamente em um estado (MMARH, 1997).

³ LACORTE, Ana Castro. Gestão de recursos hídricos e planejamento territorial: as experiências brasileiras no gerenciamento de recursos hídricos. Dissertação de mestrado. IPPUR/UFRJ, Rio de Janeiro. 1994.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, prevista na Constituição de 1988, foi instituída pela Lei n.º 9.433 em janeiro de 1997. Com essa política, o Brasil passou a adotar instrumentos de gestão já implementados em outros países, como França e Alemanha, e que vêm sendo incentivados por acordos internacionais.

No artigo 1º da Lei das Águas, como é conhecida, são estabelecidos os princípios básicos: (1) a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, (2) o uso múltiplo das águas, (3) o reconhecimento da água como um bem natural limitado, (4) reconhecimento do valor econômico da água e (5) gestão descentralizada e participativa.

No artigo 5º, ficam estabelecidos instrumentos para viabilizar a aplicação dos princípios da lei. São eles: (1) Planos de Recursos Hídricos, (2) outorga de direito de uso dos recursos hídricos, (3) cobrança pelo uso da água, (4) enquadramento dos corpos d'água em classes de uso e (5) Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos.

Os Planos de Recursos Hídricos das bacias hidrográficas são planos diretores que visam fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos. Neste planos devem estar definidas as prioridades de uso, as metas desejáveis de qualidade das águas e os programas de investimentos a serem suportados com a cobrança e outras fontes de financiamento (ANA, 2003a). Estes planos serão elaborados por bacia hidrográfica, por estado e para o país, devendo ter conteúdo mínimo, segundo o artigo 7º da Lei das Águas, destacando:

- “I - diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos;
- II - análise de alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo;
- III - balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais;
- ...
- VIII - prioridades para outorga de direitos de uso de recursos hídricos;
- IX - diretrizes e critérios para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos”

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos é um instrumento pelo qual o usuário recebe uma autorização para fazer uso da água, concedida pelo Poder Público federal ou estadual, dependendo do domínio ao qual pertença o corpo d'água. Segundo MMARH (1997), este instrumento disciplina o uso dos recursos hídricos e constitui-se, assim, no elemento central de controle para o seu uso racional.

As condições de escassez em quantidade e qualidade de água motivaram a adoção da cobrança de água, que deixou de ser um bem livre e passou a ter um valor econômico. Mais do que um instrumento para gerar receita, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos induz

mudanças na economia da água, pela redução de perdas e pela gestão com justiça ambiental, pois cobra-se de quem usa ou polui (ANA, 2003a).

O enquadramento dos corpos de água em classes, estabelecido de acordo com a legislação ambiental (Portaria CONAMA nº 20/1986), tem como objetivo assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes (ANA, 2003a).

O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, concebido como uma rede de banco de dados e informações cuja alimentação está a cargo de entidades públicas, tem como princípios básicos a descentralização da obtenção e produção de dados e informações, a coordenação unificada do sistema e o acesso aos dados e informações garantido à sociedade (ANA, 2003a).

Pelo Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SNGRH, também criado pela Lei da Águas, fica estabelecido um arranjo institucional claro, baseado em uma gestão compartilhada do uso da água. São os seguintes organismos que integram o sistema: (1) Conselho Nacional de Recursos Hídricos, (2) Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados; (3) Comitês de Bacia hidrográfica, (4) Agências da Água e (5) órgãos dos poderes públicos, cujas competências se relacionem com a gestão dos recursos hídricos.

Os comitês de bacias hidrográficas são um tipo de organização inteiramente nova na administração dos bens públicos no Brasil. Destinados a agir como “parlamento das águas da bacia” pois são o fórum de decisão no âmbito de cada bacia hidrográfica, são compostos por representantes dos usuários, do poder público, da sociedade civil organizada e dos demais níveis de governo (MMARH, 1997). Até maio de 2004, já haviam sido criados sete comitês de bacias hidrográficas com rio principal de domínio federal: rio Paraíba do Sul, rios Pomba e Muriaé, rio São Francisco, rio Doce, rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, rio Paranaíba, e rio Verde Grande (CNRH, 2004)

As Agências da Água, também um novo tipo de organismo, correspondem à parte técnica dos respectivos comitês que estão vinculados a elas e têm como atribuição gerir os recursos oriundos da cobrança pelo uso da água. Enquanto as agências têm o papel de secretarias executivas de um comitê ou de um grupo de comitês, estes últimos são órgãos consultivos com jurisdição sobre uma bacia ou um conjunto de bacias contíguas (MMARH, 1997).

A Constituição Federal de 1988 e as Constituições Estaduais de 1989 possibilitaram que os estados também elaborassem sua própria legislação sobre recursos hídricos. As leis estaduais devem seguir os princípios da lei federal, porém podem detalhar aspectos

específicos e criar seus próprios sistemas de gestão com diferentes estruturas institucionais (LEAL, 1998).

A Política Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro foi instituída em agosto de 1999, pela Lei n.º 3.239, quando também foi criado o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A lei estadual do Rio de Janeiro segue os mesmos fundamentos e diretrizes da lei federal, porém expande sua abrangência para as águas subterrâneas.

2.4 RECURSOS HÍDRICOS NO MUNDO E NO BRASIL

Um dos indicadores de disponibilidade hídrica mais utilizados baseia-se no conceito de estresse hídrico, desenvolvido por *Malin Falkenmark*, que considera o volume mínimo de água *per capita* necessário para manutenção da qualidade de vida, em regiões moderadamente desenvolvidas, situadas em zonas áridas. Baseado no pressuposto de que 100 L/hab.dia (36,5 m³/ano) representa o requisito mínimo, para as necessidades domésticas e a manutenção de um nível adequado de saúde, e na experiência dos países desenvolvidos eficientes no uso da água, que requerem entre 5 a 20 vezes este volume para as atividades econômicas, foram definidos padrões de escassez hídrica (Tab. 2.5) (BENEVIDES; BEEKMAN, 1995). Padrões aceitos internacionalmente consideram a disponibilidade hídrica entre 1 mil e 2 mil m³/hab.ano como potencial escassez e a disponibilidade inferior a 1 mil m³ hab./ano como escassez real (GLEICK, 1993 *apud* DEMANBORO *et al.*, 1999)⁴.

Tabela 2.5: Padrões de escassez hídrica segundo *Falkenmark*.

Classe	Situação
Próximo a 1.700 m ³ /hab.ano	Sinal de alerta, somente ocasionalmente tenderá a sofrer problemas de falta d'água.
Entre 1.700 a 1.000 m ³ /hab.ano	Estresse hídrico é periódico ou ocorre com regularidade.
Entre 1.000 a 500 m ³ /hab.ano	Crônica escassez de água, afetando o desenvolvimento econômico, o bem estar e saúde.
Inferior a 500 m ³ /hab.ano	Escassez absoluta.

Estudos mais refinados estabelecem padrões com base na razão entre a retirada de água e a disponibilidade hídrica anual. Uma razão menor do que 10% indica pequenos problemas de gerenciamento de recursos. A faixa entre 10 a 20% indica que a disponibilidade hídrica está se tornando um fator limitante e serão necessários investimentos futuros. Uma razão maior do que 20% indica a necessidade de gerenciamento, tanto do suprimento, quanto

da demanda, e que medidas devem ser tomadas para solucionar os conflitos de uso e assegurar a sustentabilidade hídrica (ONU, 1997 *apud* DEMANBORO *et al.* 1999)⁵.

Atualmente, a nível global, não há um quadro de escassez hídrica. Considerando a descarga nos rios de todo o mundo, somente 11% deste volume é consumido e estima-se que estejam disponíveis 6 mil a 7 mil m³/ano *per capita*, seis a sete vezes a quantidade mínima considerada como razoável pela ONU (REBOUÇAS, 2002).

Apesar da relativa disponibilidade, estima-se que atualmente há mais de 1 bilhão de pessoas sem água suficiente para atender ao consumo doméstico. Enquanto nos países do Oriente Médio e norte da África, a disponibilidade hídrica *per capita* é abaixo de 200 m³/hab.ano, podendo ser praticamente nula, como no Kuwait, outros países apresentam taxas muito superiores ao padrão mínimo. Nove países, com maior disponibilidade de água doce, concentram 60% do total mundial, sendo o Brasil o líder da lista (REBOUÇAS, 2002).

O que ocorre é que a água, a população e o desenvolvimento econômico e humano são desigualmente distribuídos no planeta. O fator dominante na distribuição da demanda de água no mundo está relacionado ao nível de desenvolvimento alcançado pela população e a importância das atividades de irrigação. (REBOUÇAS, 2002).

Além destes fatores, nos últimos 25 a 30 anos, no mundo inteiro, verificam-se, a nível local, enormes mudanças antropogênicas no ciclo hidrológico de rios e lagos, afetando a qualidade e a quantidade de água disponível (SHIKLOMANOV, 1998). No mundo, menos de 4% dos esgotos domésticos têm tratamento adequado, antes de serem lançados nos corpos d'água (BAKKES *et al.*, 1997 *apud* SALATI *et al.* 2002)⁶. No Brasil, 33% dos domicílios fazem coleta de esgoto e apenas 35% do volume do esgoto coletado são tratados, o restante é lançado *in natura* nos rios, lagoas e mares (IBGE, 2002b).

A análise da distribuição da disponibilidade e demanda de água pelos continentes (Tab. 2.6) foi feita com base nos indicadores (1) disponibilidade *per capita*, relação entre as condições naturais de disponibilidade hídrica e a demografia, e (2) a relação entre demanda e disponibilidade hídrica. Verifica-se que o maior produtor de água é o continente sul-americano, seguido pela Ásia, que apresenta uma baixa disponibilidade hídrica *per capita*, devido à grande concentração populacional. A Oceania, ao contrário, apresenta uma alta

⁴ GLEICK, Peter H. *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*, New York: Oxford University Press. 1993.

⁵ ONU. *Critical Trends, Global Change and Sustainable Development*. New York, 1997.

⁶ BAKKES, J; VAN WOERDEN, J. *et al.* The Future of the Global Environment: A Model-based Analysis Supporting UNEP's First Global Environment Outlook. In: *Netherlands Institute of Public Health and the Environment (RIVM) and United Nations Environment. Programme (UNEP)*, UNEP/DEIA/TR/97-1. Nairobi, 1997.

disponibilidade hídrica, em função da pequena população, e não por condições naturais de produção abundante. Já a baixa disponibilidade *per capita* da África é devido à conjugação de fatores naturais e populacionais. Nos países industrializados europeus e norte-americanos, a disponibilidade hídrica *per capita* não é o fator limitante e, sim, o alto consumo hídrico derivado do desenvolvimento econômico e humano, expresso na elevada relação entre retirada e disponibilidade hídrica, variando entre 10 a 40%. Apenas a Ásia apresenta esta relação mais elevada, mas isto é função da concentração de 61% da população mundial em seu território.

Tabela 2.6 Distribuição dos indicadores de disponibilidade hídrica pelos continentes.

Região	População no Ano 2000		Disponibilidade <i>per capita</i>	Retirada/ Disponibilidade
	(milhões)	(%)	(mil m ³ /ano) (1)	(%)
África	790	13	4	<10 a 40
Europa	726	12	7,7	10 a 40
América do Norte	305	5	17	10 a 40
América Sul/Central	508	8	25	<10
Ásia	3678	61	4	20 a 40
Oceania	30	1	33	<10
Mundo	6037	100	7	-

Fonte: DEMANBORO *et al.*, 1999

Recentemente, foi criado pelo Centro para Ecologia e Hidrologia (*Wallingford*, Reino Unido – www.nwl.ac.uk) um índice que mede a escassez de água, *Water Poverty Index* (WPI), que estabelece uma medida do desempenho do setor de águas nos países, de modo holístico, incluindo os diversos aspectos relacionados à gestão das águas e combinando dados sociais e físicos. O índice considera cinco componentes (SULLIVAN, 2002; LAWRENCE *et al.*, 2003) : (1) Recursos – disponibilidade hídrica superficial e subterrânea; (2) Acessibilidade – acesso à água potável, ao saneamento e irrigação, de acordo com a necessidade estimada; (3) Capacidade – renda per capita, taxa de mortalidade, taxa de matrícula escolar e índice de distribuição de renda; (4) Uso – volume de água utilizado para o uso doméstico, industrial e agrícola; e (5) Meio ambiente – qualidade da água, manejo e leis ambientais, capacidade de informação e biodiversidade.

O WPI foi calculado para 147 países, a metade dos que obtiveram os melhores resultados são países desenvolvidos ou muito desenvolvidos, como Finlândia, Canadá, Islândia e Noruega que obtiveram os melhores índices. O Brasil ficou em 50ª posição, porém no índice de estresse hídrico, *Falkenmark*, o Brasil situa-se na 20ª posição.

Apesar de mais de 50% do território brasileiro apresentarem disponibilidade hídrica acima de 10 mil m³/hab.ano, caracterizando um país rico em termos de recursos hídricos (Fig. 2.1) e estando entre os 25 países com maior disponibilidade *per capita* do mundo, apresenta locais com estresse hídrico.

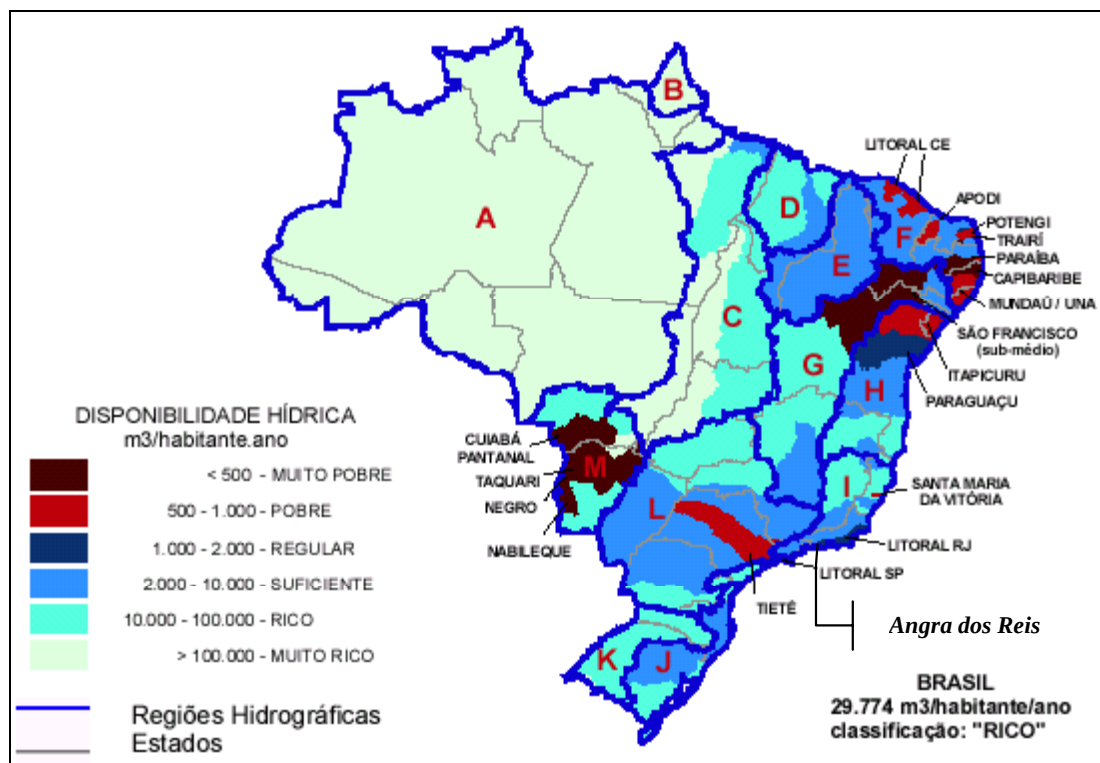


Figura 2.1: Disponibilidade hídrica *per capita* das regiões hidrográficas do Brasil – 2000.

Fonte: ANA (2003)

Observa-se que as áreas de menor disponibilidade, com exceção do Nordeste e Pantanal, onde há fatores naturais que afetam a disponibilidade, estão relacionadas à elevada concentração demográfica, acarretando em forte demanda hídrica e comprometimento da qualidade dos corpos d'água, o que tem gerado situações de escassez e de conflitos entre usuários, nos últimos 30 anos (ANA, 2003).

Apesar da baixa vazão específica do Pantanal, são registrados poucos conflitos pelo uso da água, devido à ocupação rarefeita (ANA, 2003). Já no Nordeste, o baixo desenvolvimento econômico e social aliado às condições hídricas desfavoráveis, combinando alta evapotranspiração, baixa precipitação e, em muitas regiões, solos desfavoráveis, fazem desta região uma área de grande conflito que compromete seriamente as condições de vida do nordestino. (TUCCI *et al.*, 2000). Em algumas áreas do Nordeste, como no litoral da Paraíba, vale do São Francisco e Capibaribe (PE), a disponibilidade hídrica é abaixo de 500 m³/hab.ano. Há outras, localizadas ao longo do litoral nordestino, onde este valor está entre 500 e 1.000 m³/hab.ano (ANA, 2003).

As principais cidades brasileiras já apresentam condições críticas de sustentabilidade hídrica, devido à forte demanda de água, ao excesso de cargas de poluição e à ocorrência de enchentes, que contaminam os mananciais. A região metropolitana de São Paulo apresenta disponibilidade entre 500 a 1.000 m³/hab.ano e já importa grande parte da água da bacia do rio Piracicaba, estando praticamente sem opções de novos mananciais (ANA, 2003; TUCCI, 2000a). A região metropolitana de Recife apresenta disponibilidade hídrica abaixo de 500 m³/hab.ano e é abastecida pelo aquífero Beberibe; a perfuração desordenada de poços já provoca rebaixamento do nível freático e problemas de intrusão salina. Merece também destaque a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), abastecida pela transposição de águas do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu, com disponibilidade entre 1.000 a 2.000 m³/hab.ano. (TUCCI *et al.*, 2000; ANA, 2003).

A relação entre demanda e disponibilidade é de apenas 3%, porém, nas bacias do Nordeste, principalmente próximo ao litoral, a demanda corresponde a mais de 70% da disponibilidade, devido à estiagem e à concentração populacional. O litoral do Rio de Janeiro, a baixada Santista e a bacia do rio Tietê, onde está localizada a região metropolitana de São Paulo, apresentam também mais de 70% da sua disponibilidade comprometida, em função da alta densidade demográfica e da deterioração da qualidade da água (ANA, 2003) (Fig. 2.2).

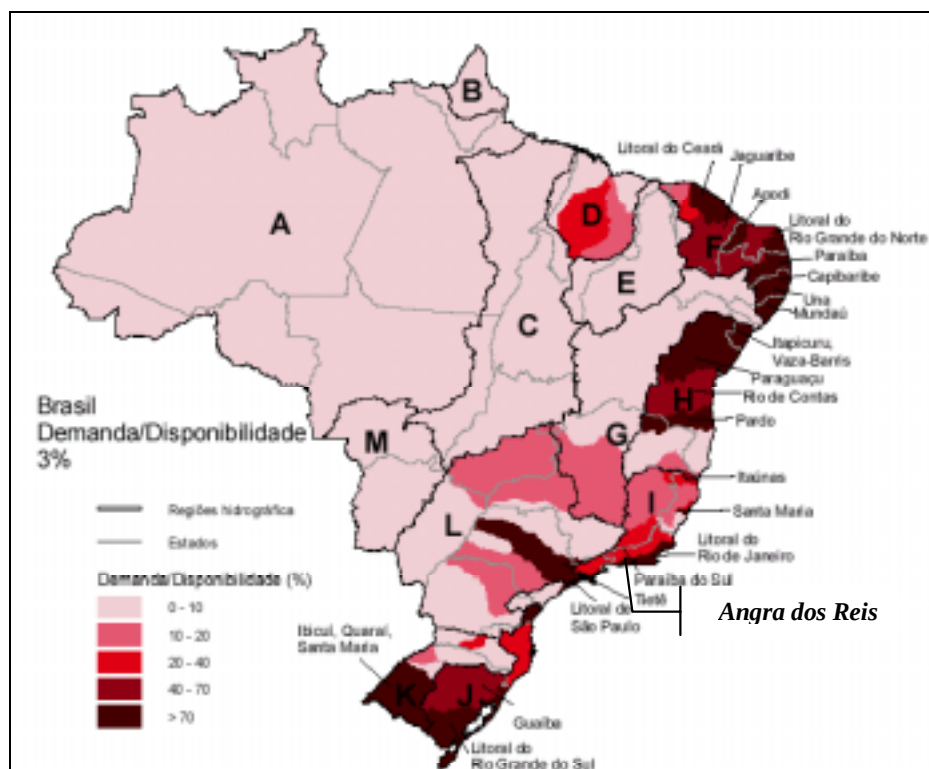


Figura 2.2: Balanço entre demanda e disponibilidade hídrica nas regiões hidrográficas do Brasil .
Fonte: ANA (2003).

As demandas industriais estão concentradas na bacia do Tietê, onde esta atividade consome 39% da demanda total, e nas bacias costeiras do Sudeste, principalmente, no Paraíba do Sul e no litoral do Rio de Janeiro, com consumo industrial próximo a 20%. Embora este valor possa ser considerado baixo, essas áreas merecem atenção especial no que se refere à preservação e recuperação da qualidade das águas (ANA, 2003).

Assim como a distribuição de água é não uniforme no espaço, ela não é distribuída igualmente entre as classes sociais, sendo um reflexo das desigualdades sociais. No Brasil, segundo Rato e Macedo (1997), 38% das famílias que ganham até 2 salários mínimos não têm acesso aos serviços públicos de abastecimento de água. Já para as famílias com renda acima de 10 salários, este percentual é menor do que 1%, ou seja, o atendimento está concentrado na população que apresenta mais capacidade de pagar pelo serviço.

2.5 RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

O baixo potencial hídrico do estado do Rio de Janeiro, apresentado como uma das justificativas para este estudo no início do capítulo, e a relação elevada entre demanda e disponibilidade, correspondendo a cerca de 70%, indicam que investimentos significativos no setor de abastecimento de água são urgentes no estado (ANA, 2003).

A distribuição da disponibilidade hídrica *per capita* fluminense, como ocorre em outras escalas já analisadas, é função (1) da distribuição dos recursos hídricos, que, por sua vez, está relacionada à distribuição de chuvas e à disposição do relevo no território, e (2) da população, que está concentrada na RMRJ, onde residem mais de 10 milhões de habitantes.

A Serra do Mar, que atravessa longitudinalmente o estado do Rio de Janeiro, é o grande divisor de águas deste estado e separa a drenagem natural em duas principais vertentes: a do rio Paraíba do Sul e a vertente Atlântica (Fig. 2.3).

A vertente Atlântica, onde está localizada a área de estudo, corresponde a 40% do território fluminense e concentra cerca de 80% da população do estado, apresentando taxa de urbanização de 98%. Como o divisor de águas está próximo ao litoral, não há formação de uma grande bacia hidrográfica, mas a presença de dezenas de bacias, com área inferior a 2,2 mil km², que nascem na Serra do Mar e deságuam nas lagoas costeiras e baías ou, diretamente, no oceano Atlântico. Em geral, estas bacias apresentam uma grande amplitude altimétrica e canal de drenagem de pequena extensão. O alto curso possui grande declividade, e observa-se uma abrupta ruptura de declive no encontro dos canais com as planícies costeiras, predominantemente, de pequenas extensões.

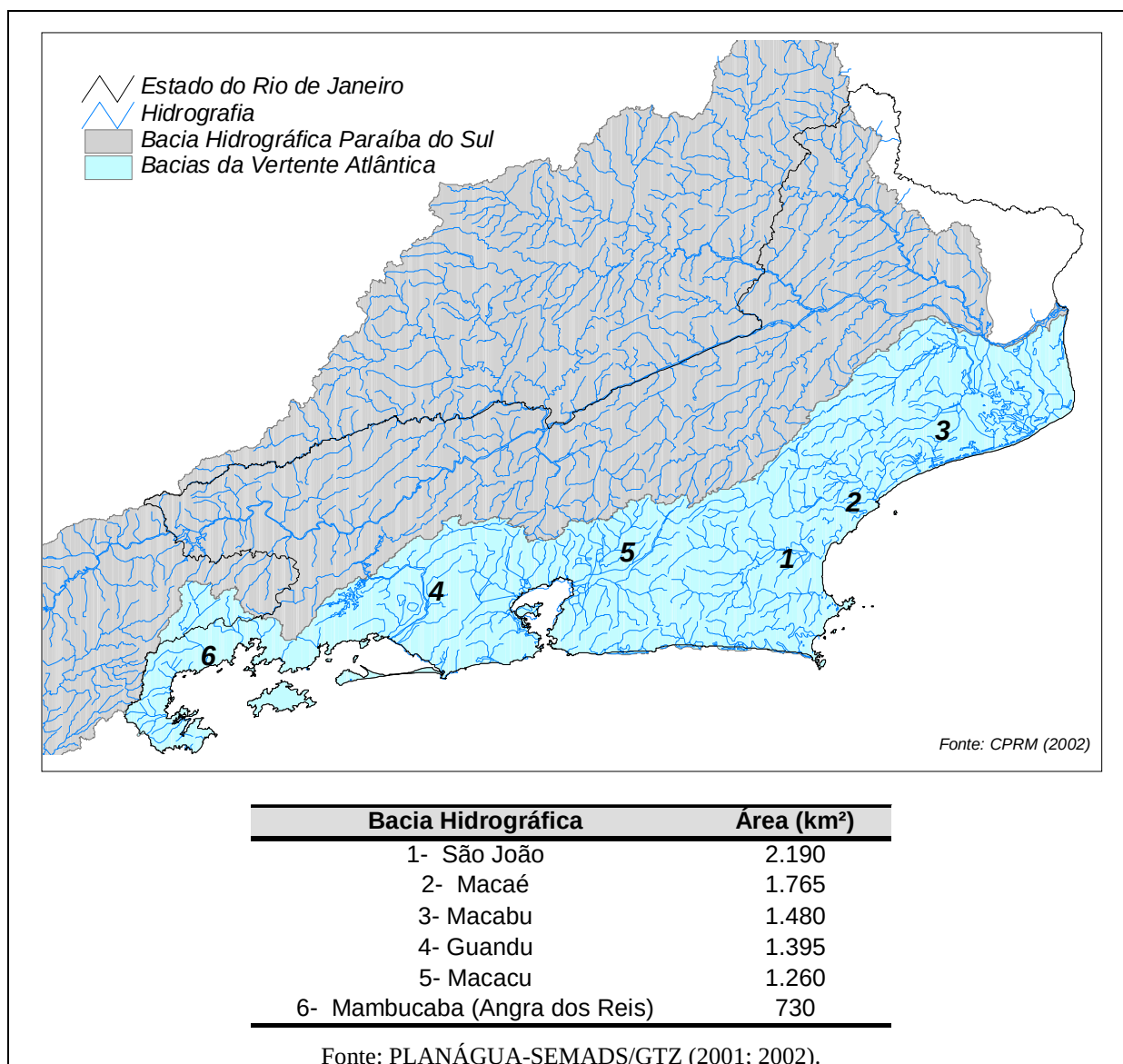


Figura 2.3: Principais bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro.

O paralelismo das escarpas da Serra do Mar ao litoral, opondo-se frontalmente à direção das frentes polares, aliado às elevadas altitudes, que ultrapassam 1.000 m, fazem com que a vertente Atlântica possua índice pluviométrico anual acima de 2.000 mm. No sul do estado e na área contígua no estado de São Paulo, onde a Serra do Mar aproxima-se do litoral, o índice pluviométrico passa dos 2.500 mm. Na Baixada Litorânea, entre a Lagoa de Araruama e o estado do Espírito do Santo, onde esta escarpa está mais afastada do litoral, encontra-se a região menos chuvosa do estado, com índice pluviométrico anual inferior 1.000 mm (NIMER, 1989). Em função das condições climáticas especiais da área, a vegetação presente no Pontal de Cabo Frio é considerada uma disjunção fitogeográfica mais meridional da estepe tropical (caatinga) no Brasil (SANTOS *et al*, 1987).

Contrastando com a vertente Atlântica, o vale do Paraíba do Sul, situado no reverso da Serra do Mar e com a presença de um rio de grande porte comparado com os demais rios fluminenses, apresenta pluviometria anual bem mais modesta, variando entre 750 a 1.000 mm, além de apresentar maior irregularidade (NIMER, 1989). Como exemplo da irregularidade das chuvas interferindo no regime de vazão dos rios, podem ser citados dados do rio Paraíba do Sul: próximo à sua foz, a vazão máxima média, nos meses de dezembro a março, é de 2,1 mil m³/s, já nos meses de julho a outubro, a vazão mínima média é 99 m³/s (PLANÁGUA-SEMADS/GTZ, 2001).

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul é a maior do estado, ocupando 57% do território fluminense, sendo responsável pelo abastecimento de cerca de 11 milhões de habitantes residentes entre os municípios de Campos e Resende (PLANÁGUA-SEMADS/GTZ, 2001). O rio Paraíba do Sul é de domínio federal, pois atravessa três estados: Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais. Em território fluminense, esta bacia é formada por inúmeras sub-bacias cujas nascentes estão no reverso da Serra do Mar e são responsáveis pelo abastecimento dos municípios serranos.

Apesar da escarpa da Serra do Mar apresentar um elevado índice pluviométrico e serem cobertas por Mata Atlântica, resultando em um ambiente de alta produtividade hídrica, na vertente Atlântica a relação entre demanda e disponibilidade corresponde a 109% (ANA, 2003), devido à alta concentração demográfica e à reduzida área das bacias hidrográficas. Por isto, tornou-se necessário utilizar água transposta do rio Paraíba do Sul para abastecer o município do Rio de Janeiro e parte da baixada fluminense.

Os três maiores sistemas de abastecimento do estado do Rio de Janeiro situam-se nessa região hidrográfica - Guandu, Imunana-Laranjal e Juturnaíba, os dois primeiros atendem à maioria dos municípios da RMRJ e, o último, a Região dos Lagos (Tab. 2.7). O restante dos municípios, correspondendo a 17% da população fluminense, são abastecidos por sistemas menores, com captação em bacias de pequeno porte, geralmente com boa qualidade de água, ou em rios de grande porte, como o Paraíba do Sul e o Muriaé, onde a qualidade da água está comprometida.

O principal sistema de abastecimento de água do estado é o Guandu, cuja capacidade de atendimento é de 9,6 milhões de habitantes (CIDE, 2002), abastecendo a Baixada Fluminense e a cidade do Rio de Janeiro, região onde há a maior demanda hídrica do estado, devido à concentração demográfica. Localizado na vertente Atlântica, o rio Guandu apresenta vazão média original de apenas 3,2 m³/s, necessitando receber vazão do rio Paraíba do Sul para atender à demanda do sistema. São desviados, em condições ideais, 120 m³/s para o rio

Guandu, sendo que a vazão média distribuída para o abastecimento é de 40 m³/s (SELLES, 2002).

Tabela 2.7 - Principais sistemas de abastecimento de água do estado do Rio de Janeiro.

Manancial	Capacidade diária de atendimento ⁽¹⁾		Municípios abastecidos
	mil habitantes	%	
Rio Guandu	9 600	62	Rio de Janeiro e Baixada Fluminense
Canal Imunana	1 500	10	Niterói, São Gonçalo, Itaboraí
Ribeirão das Lajes (Represa)	1 200	8	Rio de Janeiro e Baixada Fluminense
Lagoa de Juturnaíba	500	3	Araruama, Saquarema, Silva Jardim, Cabo Frio, Armação dos Búzios, Arraial do Cabo, São Pedro da Aldeia, Iguaba Grande
Outros	2 619	17	-

⁽¹⁾ Capacidade = Vazão (m³/dia) / Consumo per capita (m³/hab.dia). Utilizado o valor de consumo *per capita* de 300 litros/hab.dia para a Região Metropolitana e 200 litros/hab.dia para as demais regiões.

Fonte: CIDE (2002)

A cidade do Rio de Janeiro e a Baixada Fluminense também são abastecidas por Ribeirão das Lajes, além de outros mananciais menores, formando pequenos sistemas de abastecimento. A represa de Ribeirão das Lajes tem capacidade de atendimento de 1,2 milhão de habitantes com uma vazão média distribuída de 5 m³/s (CIDE, 2002).

A bacia do rio Macacu, com um total de 1,2 mil km², é responsável, através do sistema Imunana-Laranjal, pelo abastecimento dos municípios de São Gonçalo, Niterói e Itaboraí, atendendo a uma população de 1,5 milhão de habitantes (CIDE, 2002), ou seja, 8% da população total do estado.

Os municípios da Região dos Lagos, localizados na Baixada Litorânea, têm disponibilidade hídrica insuficiente, devido ao baixo índice pluviométrico, sendo necessário o aproveitamento de um manancial fora da região para atender à demanda do abastecimento urbano. São abastecidos pela lagoa de Juturnaíba, localizada na bacia do rio São João, com uma área de 2,2 mil km². Este sistema distribui em média uma vazão de 1,3 m³/s, atendendo uma população de aproximadamente 490 mil habitantes (CIDE, 2002), que durante verão e feriados quase quadruplica (PLANÁGUA- SEMADS/GTZ, 2001).

A potencial situação de escassez hídrica do estado é agravada pela poluição do seu principal manancial, o rio Paraíba do Sul. Segundo o Comitê para Integração da Bacia do Paraíba do Sul (CEIVAP), toda a bacia recebe 1 bilhão de litros de esgoto sem tratamento por dia, além dos lançamentos industriais tóxicos e de resíduos sólidos (PLANÁGUA- SEMADS/GTZ, 2001).

A disponibilidade hídrica do rio Guandu, deduzindo a demanda atual, é de apenas 54 m³/s, e já está no seu limite, pois é necessário que permaneça a vazão de, pelo menos, 50m³/s para impedir que a cunha salina atinja o interior do canal (SELLES, 2002). Este quadro é agravado pela demanda reprimida, já que a população de alguns bairros e localidades da RMRJ não é atendida adequadamente pela atual estrutura de abastecimento de água (RIOS & BERGER, 2002).

Alternativas são apontadas para o aumento do volume de água distribuída do sistema Guandu, entre elas medidas que visem a diminuição do desperdício e perda de água, que são avaliadas em 44% do volume distribuído para a RMRJ (RIOS & BERGER, 2002). Também é apontado como alternativa o aumento da vazão de transposição de águas para o rio Guandu, um tema bastante polêmico, pois: (1) segundo Cláudio Serrichio, o rio Paraíba do Sul já não apresenta vazão suficiente para atender esta nova demanda (informação verbal)⁷; e (2) segundo o Dr. Jander Duarte, a tentativa de aumentar a retirada de água do Paraíba do Sul pode abrir nova discussão sobre a transposição da bacia, o que foi acertado através de leis federais, que acordaram a operação do sistema elétrico e o uso das águas para jusante (informação verbal)⁸.

Nos últimos anos, durante o período de estiagem, o abastecimento de água dos municípios situados ao longo do rio Paraíba do Sul vem tornando-se problemático, principalmente no trecho entre a transposição para o rio Guandu e a confluência do rio Paraíba. A escassez de chuvas não só afeta a quantidade de água, como a sua qualidade, devido à menor diluição dos poluentes, atingindo inclusive o abastecimento de água do sistema Guandu. A CEDAE anunciou que, caso a estiagem do ano de 2003 se prolongasse, poderia haver risco de racionamento de água, provocado pela menor disponibilidade hídrica e pelo excesso de poluição que impediria o seu tratamento (CEDAE, 2003).

As bacias de menor porte tornam-se, assim, fundamentais para o abastecimento de água no estado do Rio de Janeiro. Deve-se destacar que, majoritariamente, estes cursos d'água são de domínio estadual, o que facilita a sua gestão, na medida que as decisões são tomadas na esfera estadual de poder. Porém, há a necessidade de estudos sobre o comportamento hidrológico de pequenas bacias hidrográficas para, entre outros pontos, avaliar a sua real

⁷ Comunicação pessoal do coordenador do CEIVAP, Claudio Serrichio, durante o seminário A Gestão da Água do Estado do Rio de Janeiro, realizado no Clube de Engenharia, Rio de Janeiro, em 18 de setembro de 2002.

⁸ Comunicação pessoal do Dr. Jander Duarte (UFRJ), no Seminário Bacia Hidrográfica do Rio Guandu. Problemas e Soluções, realizado na UFRJ, Seropédica, RJ, em 05 de março de 2002. Transcrição do seminário em Cd-rom.

disponibilidade hídrica, principalmente, durante o período de estiagem. De acordo com Tucci (2000a), o monitoramento de bacias de pequeno porte praticamente não é feito no Brasil.

Ao lado dos problemas ocasionados pela concentração populacional em áreas com disponibilidade hídrica reduzida, a precariedade dos sistemas de abastecimento, como ocorre em Angra dos Reis, e a ocupação urbana desordenada das pequenas bacias, problema encontrado nas grandes e pequenas cidades brasileiras, são fatores que não devem ser negligenciados e serão abordados neste trabalho.

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Angra dos Reis é formado por uma parte insular, que corresponde a 23% do seu território, e por uma faixa continental, com área de 620 km², onde se concentra o estudo (Fig. 3.1). Ao norte, está localizado o Planalto da Bocaina, onde nascem as três maiores bacias hidrográficas da região: Mambucaba, Bracuí e Ariró. Ao sul, a baía da Ilha Grande recebe os rios que drenam a faixa continental e insular. Este município junto com Parati fazem parte da macroregião ambiental da bacia de drenagem contribuinte à baía da Ilha Grande, criada pelo Decreto Estadual 26.058/00.

Para a estimativa da disponibilidade hídrica, além da faixa continental do município de Angra dos Reis, foi incluído parte do território de municípios limítrofes, onde situam-se o alto curso das três maiores bacias que atravessam a área em estudo, perfazendo um total de 1,36 mil km². Estes municípios são Parati, Cunha, São José do Barreiro e Bananal, os três últimos situados em território paulista

Foram delimitadas 17 bacias hidrográficas, a partir das cartas plani-altimétricas, escala 1:50.000, e das imagens do sistema orbital LANDSAT 7, utilizadas como base para a estimativa da disponibilidade hídrica.

As bacias foram agrupadas em regiões hidrográficas (Fig. 3.2), que passaram a corresponder à unidade territorial de análise utilizada no restante do trabalho. As regiões hidrográficas são compostas por uma ou mais bacias hidrográficas agregadas, no caso de bacias vizinhas apresentarem planícies costeiras contíguas ou da bacia apresentar área inferior a 10 km². Assim, das bacias hidrográficas iniciais, restaram 11 regiões hidrográficas restritas à faixa continental do município de Angra dos Reis. Elas foram classificadas em três grupos quanto à área da bacia hidrográfica principal inserida na região hidrográfica e/ou

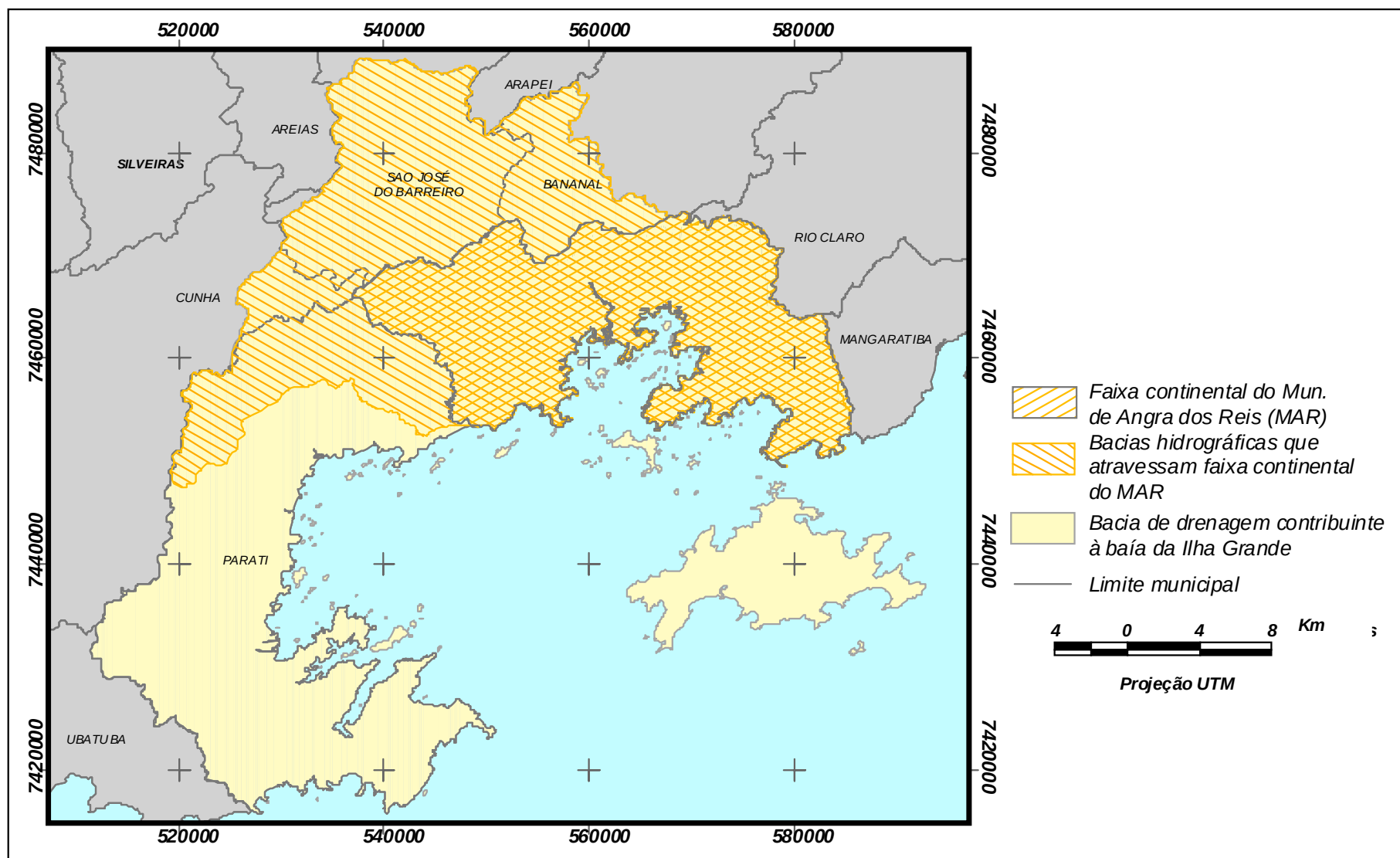


Figura 3.1: Localização da área de estudo.

ao domínio do rio principal: (A) bacias hidrográficas variando entre 740 e 60 km² e rios principais de domínio federal; (B) bacias hidrográficas entre 60 e 20 km² e rios de domínio estadual; e (C) bacias hidrográficas com área menor do que 10 km² e rios principais de domínio estadual.

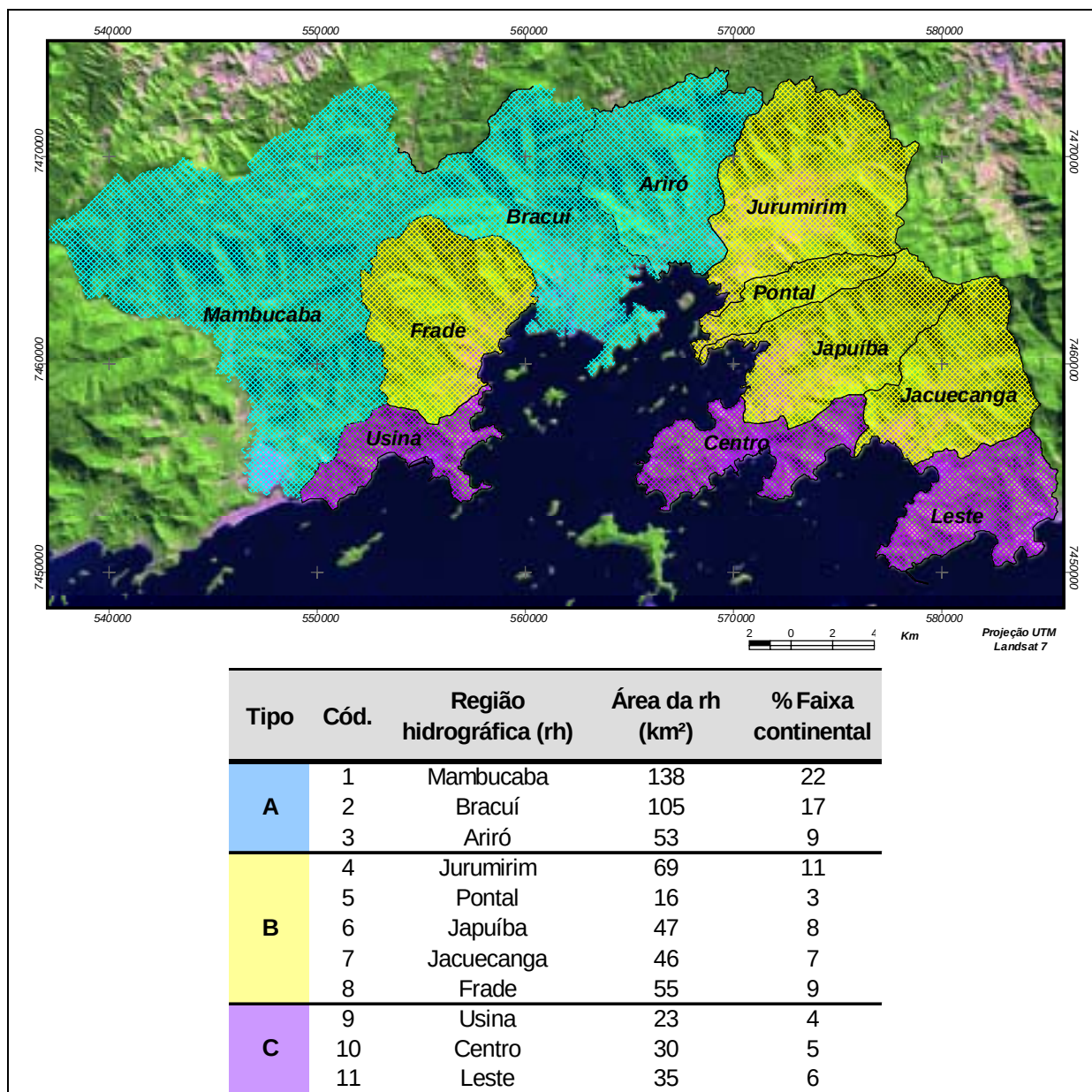


Figura 3.2: Regiões hidrográficas da faixa continental do município Angra dos Reis, RJ.

3.2 ETAPAS GERAIS DA PESQUISA

O trabalho foi desenvolvido em três principais etapas: avaliação da disponibilidade hídrica, avaliação da demanda hídrica e a análise da capacidade de suporte das regiões hidrográficas (Fig. 3.3). Em todas as etapas foram utilizadas técnicas de Geoprocessamento,

principalmente, o Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os dados georreferenciados abasteceram o sistema, que foi sendo realimentado e realimentou todas as etapas do trabalho.

Com as técnicas de Geoprocessamento foram elaborados diversos mapas temáticos e modelos digitais de terreno (MDT). Os MDT consistem na representação, em uma superfície contínua, da distribuição espacial do fenômeno em estudo, a partir da interpolação de pontos de amostragem ou isolinhas (CÂMARA *et al*, 1996). Estas e outras técnicas serão detalhadas no sub-item 3.3 Geoprocessamento de Dados Sócio-Ambientais.

A estimativa da disponibilidade hídrica foi feita através de regionalização hidrológica, que consiste na transferência de informações de uma bacia hidrográfica para outra com comportamento hidrológico semelhante, ou seja, com base na utilização de informações regionais, sintetizam-se dados hidrológicos dentro de regiões hidrológicamente homogêneas. Estes dados podem ser uma variável, como por exemplo vazão mínima, uma função hidrológica, como a curva de permanência, ou um parâmetro, como o coeficiente de rugosidade (TUCCI, 2002). Os métodos utilizados encontram-se detalhados no sub-item 3.4 Estimativa da Disponibilidade Hídrica.

Devido à escassez e à precariedade de dados hidrometrados sobre distribuição de água na área de estudo, a demanda hídrica foi estimada com base em dados demográficos e sócio-econômicos, e em dados levantados em campo. Foram estimadas a demanda urbana, sendo a população residente e a população flutuante analisadas separadamente, e a demanda das principais atividades econômicas do município. Os métodos utilizados estão detalhados no sub-item 3.5 Estimativa de Demanda Hídrica.

A partir do cruzamento das informações obtidas nas duas etapas anteriores, foi feito um balanço entre a disponibilidade e a demanda hídrica, o que resultou na classificação das regiões hidrográficas de acordo com a situação atual de produção e de utilização dos recursos hídricos.

A terceira etapa, descrita detalhadamente no sub-item 3.6 Estimativa da Capacidade de Suporte das Regiões Hidrográficas, foi feita a partir de um balanço entre a disponibilidade, a demanda e a qualidade hídricas e disponibilidade de áreas à ocupação urbana, o que permitiu a classificação das regiões hidrográficas como exportadoras e importadoras de água.

Todas as quatro variáveis formas expressas em uma unidade comum, denominada população equivalente, que representa o número hipotético de habitantes equivalente ao resultado da adoção de determinadas condições de uso de cada parâmetro, representando uma situação limite. O uso da população equivalente como indicador para expressar a

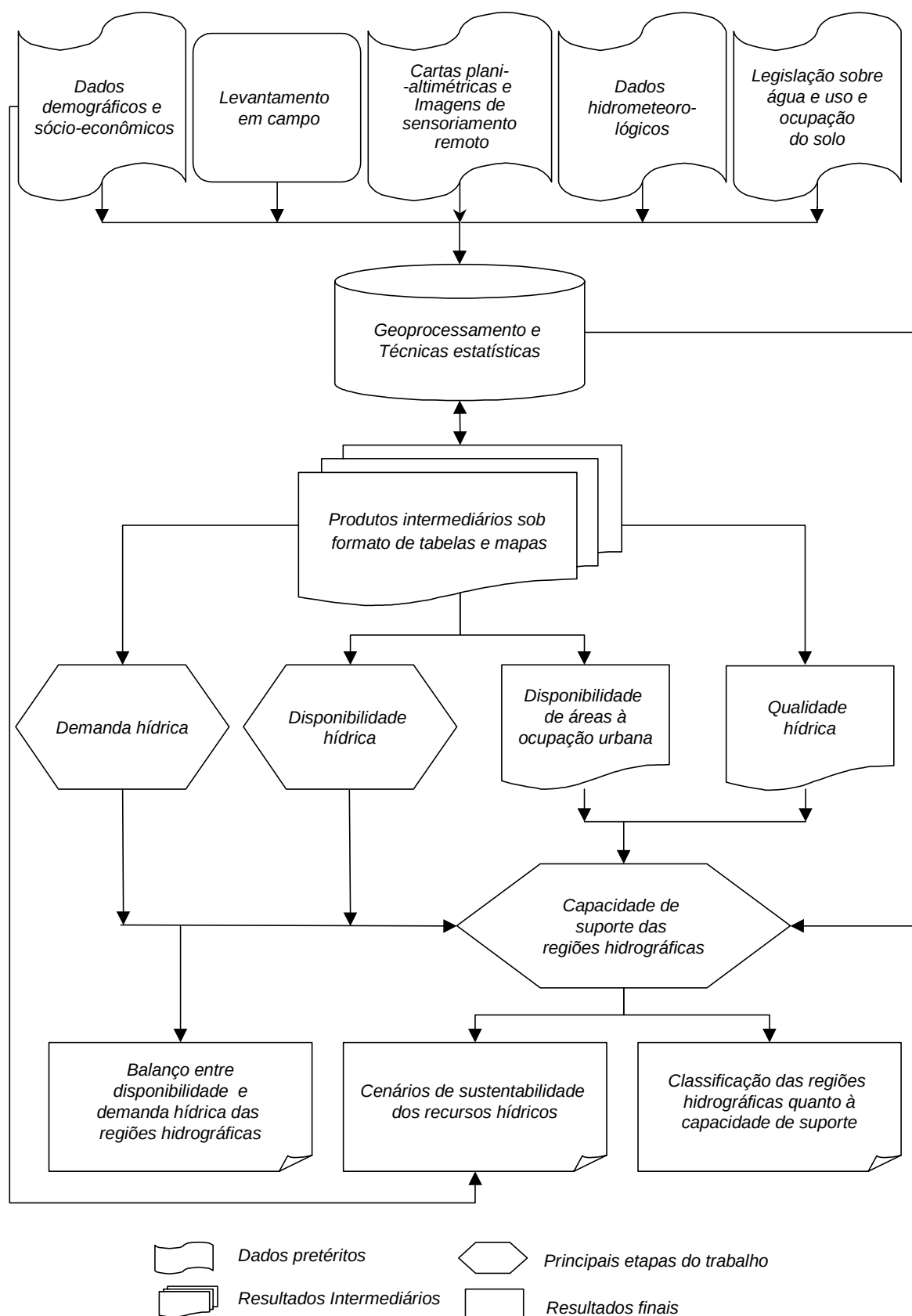


Figura 3.3: Fluxograma das etapas gerais da pesquisa.

sustentabilidade justifica-se por diversos motivos: (1) a facilidade de entendimento dos resultados pelo público, seja técnico ou leigo; (2) a facilidade de comparação entre parâmetros com naturezas dimensionais diferentes; e (3) a possibilidade de comparação entre situações de diferentes regiões e períodos. Deve-se, entretanto, enfatizar, que os resultados aqui mostrados não correspondem a valores populacionais preconizados como meta para qualquer planejamento, mas sim como indicadores de uma situação hipotética, resultante da forma como os recursos podem ser utilizados.

Os resultados da população equivalente foram cruzados com as tendências demográficas do município. Desta forma foi possível identificar quando a situação limite do uso dos recursos hídricos e do solo urbano podem ser atingidas em função da dinâmica demográfica.

3.3 GEOPROCESSAMENTO DE DADOS SÓCIO-AMBIENTAIS

Aqui estão descritos os métodos, com base em técnicas de geoprocessamento, utilizados para obtenção dos mapas temáticos e os MDT. Estes produtos, cruzados com as bacias e as regiões hidrográficas, produziram indicadores que subsidiaram todas as etapas do trabalho.

O Mapa de Uso e Cobertura do Solo foi elaborado com base na classificação supervisionada da imagem LANDSAT 7, de junho de 2000, a partir do programa *Spring 3.6* (INPE, 2002). A conferência da classificação foi realizada através de trabalhos de campo e de análise de fotografias aéreas do município de Angra dos Reis¹, do Mapa de Vegetação Natural e Uso da Terra do Parque Nacional da Bocaina (IBAMA, 2000); do Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INPE, 2002); e do Mapa de Uso do Solo e da Cobertura Vegetal do IQM-Verde (CIDE, 2003).

A classificação da cobertura vegetal utilizada neste trabalho, baseada em IBAMA (2000), consiste nas seguintes classes:

- Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas - localizada abaixo de 50 m de altitude, inclui desde a fase pioneira dos locais salobros à estrutura fanerofítica de até aproximadamente 50 m de altura, às formações pioneiras das restingas nos cordões litorâneos e mangues, este último representado por uma classe específica. Devido à

¹ SPU. Fotografia Aéreas. Município de Angra dos Reis. Escala 1:12.5000. 1995. Gentilmente cedida pela Prefeitura Municipal de Angra dos Reis.

fácil acessibilidade, a Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas é a formação que apresenta-se mais degradada na área em estudo.

- Floresta Ombrófila Densa Submontana - ocorre de 50 a 500 m de altitude no relevo montanhoso e parte dos planaltos, revestidos com árvores de alturas mais ou menos uniformes, com porte médio raramente ultrapassando 20 m.
- Floresta Ombrófila Densa Montana – ocorre no alto dos planaltos e serra, entre aproximadamente 600 e 1.500 m do planalto dissecado. No planalto a estrutura é mantida até próximo ao cume dos relevos fortemente dissecados, quando solos rasos limitam o tamanho das árvores, em cerca de 20 m. Está incluída nesta classe a Floresta Ombrófila Mista, popularmente conhecida como mata-de-araucárias, que ocorre entre a altitude de 800 a 1.200 m.
- Campos de altitude - conhecidos também como campos nativos, ocorrem em altitude superior a 1.500 m, e estão condicionados aos aspectos climáticos e geológicos locais. Caracterizam-se por apresentar solo raso, pedregoso, com rochas expostas e vegetação predominantemente graminosa e rasteira, de aspecto xerofítico.
- Campos antropizados – ocorre em toda a área em estudo, principalmente, nos locais mais acessíveis, como no entorno da área urbana, estradas e trilhas. Estas áreas são fruto do desmatamento continuado, onde a vegetação nativa não conseguiu se restabelecer.

Em função das limitações da resolução espacial e espectral da imagem e da diferença de iluminação (incidência solar) nas encostas, não foi possível identificar os diferentes estágios de sucessão florestal, os bananais e os reflorestamentos. A presença destas duas classes foi observada em trabalho de campo, porém correspondem a pequenas áreas espalhadas na área de estudo.

A delimitação da Floresta Ombrófila Densa, subdividida em fisionomias segundo hierarquia topográfica, foi elaborada a partir do seu cruzamento com a curvas de nível. A simplicidade da classificação da vegetação baseada somente no critério altitude não representa a extensão das áreas transicionais existentes entre as classes de vegetação, do Campo de Altitude à Floresta Ombrófila Densa Submontana, que, segundo IBAMA (2000), ocupam grandes espaços dentro do Parque Nacional da Bocaina. Apesar dessa imprecisão, o limite auxilia a compreender a provável distribuição das formações no espaço, e permite distinguir a área aproximada do total de floresta remanescente.

Além da cobertura vegetal, foram identificadas as áreas urbanas, os corpos d'água e as praias. O trabalho de campo e as fotos aéreas permitiram a subdivisão da área urbana em condomínios, hotéis, área industrial e área institucional, além de permitirem a identificação do depósito de lixo urbano e de uma extração mineral (pedreira), que haviam sido indevidamente classificados como área urbana.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) é um MDT específico de dados altimétricos. Este foi construído a partir da interpolação das curvas de nível, digitalizadas de cartas planialtimétricas na escala 1:50.000, com o algoritmo Triangulação com Interpolação Linear (TIN), indicado para dados altimétricos. O Mapa de Declividade e o Mapa de Altimetria foram derivados deste modelo.

As Isoietas foram traçadas a partir de um MDT gerado pela interpolação de dados pluviométricos de 24 estações, cobrindo a bacia de drenagem contribuinte à baía da Ilha Grande, correspondente ao período de 1970 a 1999 (Fig. 3.4). Os dados foram obtidos no Sistema de Informações Hidrológicas, disponibilizado no HIDROWEB (<http://hidroweb.ana.gov.br>), e no Sistema de Informações para Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (DAEE, 2000).

A análise de consistência dos dados pluviométricos foi baseada em metodologia convencional (BERTONI & TUCCI, 2000), com objetivo de verificar a estacionariedade e a homogeneidade dos dados, respectivamente, avaliadas a partir: (1) da relação entre o total pluviométrico anual acumulado em cada estação e a média do total pluviométrico anual acumulado de todas as estações; e (2) da comparação entre o total pluviométrico anual de estações vizinhas.

Foram testados dois interpoladores disponíveis no módulo *Spatial Analyst* do programa *Arc View 3.1*: *IDW (Inverse Distance Weighted)* e *Spline*. O interpolador *IDW* assume que a área de influência de cada amostra diminui com o aumento da distância em relação à outra amostra, sendo indicado para, por exemplo, criar mapas de isotores, aplicáveis em exploração mineral, uma vez que os pontos mais distantes sofrem menos influência do corpo mineralizado. O algoritmo *Spline* utiliza uma função matemática que ajusta uma superfície com curvatura mínima passando por todas as amostras, sendo apropriado para estudos de fenômenos que variam suavemente sobre a superfície como altimetria, concentração de poluentes etc. (ESRI, 1996).

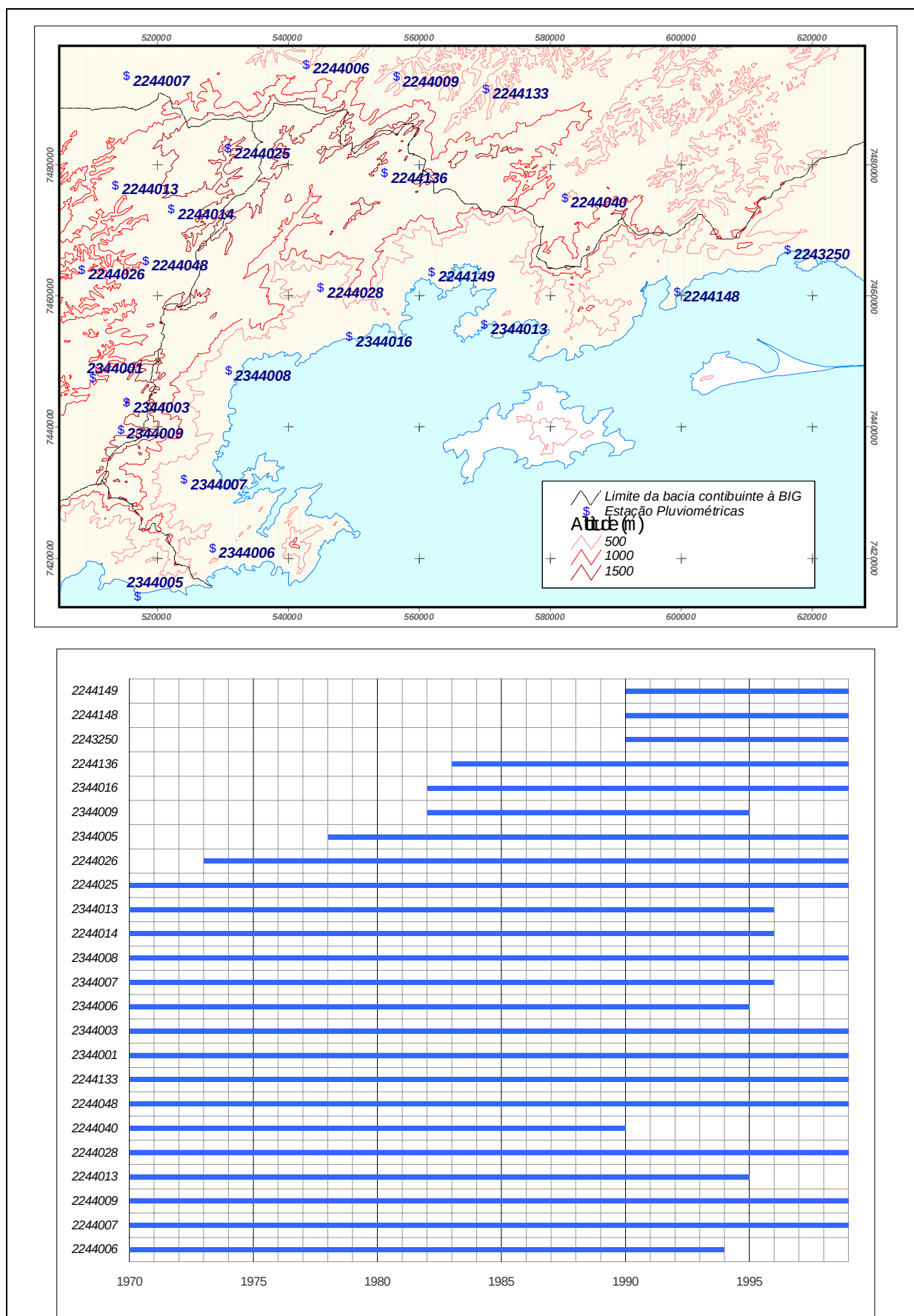


Figura 3.4: Estações Pluviométricas da bacia de drenagem contribuinte à baía da Ilha Grande.

O modelo resultante do método IDW apresentou “ilhas” correspondendo à concentração espacial de chuvas em torno de estações. Já no modelo construído com o interpolador *Spline Tension*, a distribuição espacial de chuvas foi representada de forma mais suave, não gerando pontos com concentração de chuvas, o que é mais próximo à representação de uma tendência média do índice pluviométrico anual (Fig. 3.5).

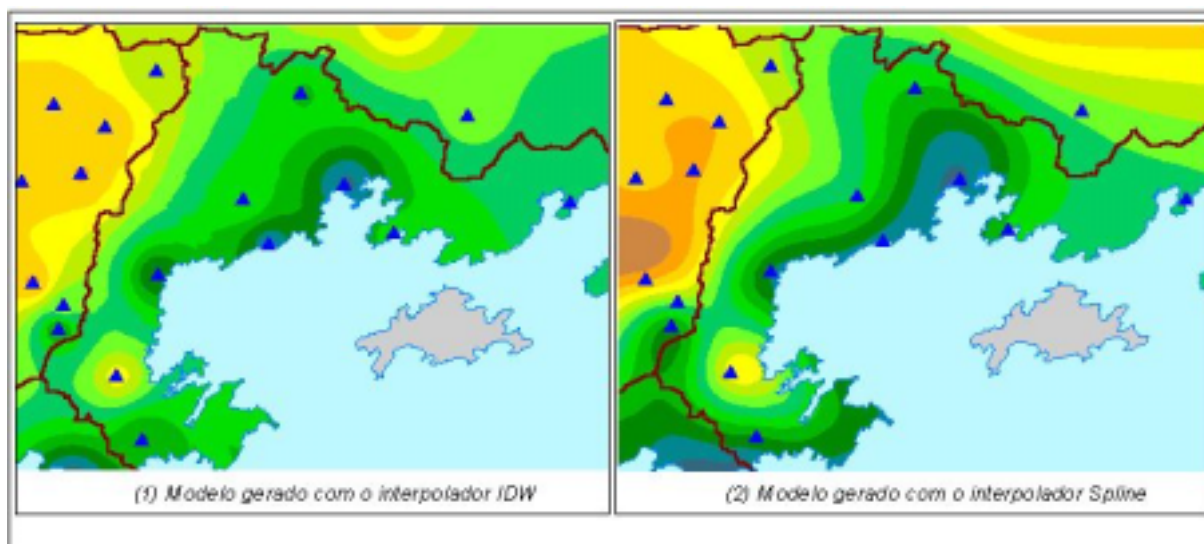


Figura 3.5: Interpoladores utilizados para geração das isoietas.

Para avaliação das áreas disponíveis à ocupação urbana, indicador utilizado na avaliação da capacidade de suporte das regiões hidrográficas, foi elaborado o Mapa de Restrições Legais à Ocupação, com base na análise da legislação ambiental e urbanística que apresentam dispositivos quanto ao disciplinamento do uso e ocupação do solo. Este mapa foi fruto do cruzamento das seguintes bases: zoneamento dos planos diretores municipais e os limites das unidades de conservação e da reserva indígena; além dos mapas de declividade e uso e cobertura do solo, que expressaram os dispositivos do Código Florestal (Lei 4.771/1965), da Lei de Parcelamento do Solo Urbano (Lei 6.766/1979) e do Projeto de Lei dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica (PL 85/1999). Com o mapa final foi possível quantificar as áreas disponíveis à ocupação urbana e, assim, estimar a população equivalente abordada no capítulo sobre capacidade de suporte das regiões hidrográficas.

3.4 ESTIMATIVA DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Para avaliação da disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas que atravessam a faixa continental de Angra dos Reis, para as bacias com área acima de 10 km², o que corresponde a 90% da faixa continental angrense.

Foram calculadas a vazão média de longo termo (Q_{mlt}), $Q_{7,10}$ e Q_{95} , a partir da aplicação das equações regionais geradas pela regionalização hidrológica. Para a bacia do Mambucaba, com 740 km², utilizou-se o método de proporção de área com base na estação fluviométrica fazenda Fortaleza, localizada nesta mesma bacia, pois, com a utilização das equações regionais, a extrapolação seria muito grande, já que a maior bacia utilizada na regionalização tem 179 km².

As planícies costeiras foram excluídas do cálculo da área das bacias hidrográficas, tendo sido adotado como critério de delimitação a altitude abaixo de 50 m. Estas áreas encontram-se urbanizadas ou cobertas por vegetação herbácea ou manguezais, diferenciando-se, assim, do relevo e do uso e cobertura do solo das bacias contribuintes às estações fluviométricas utilizadas na regionalização.

A metodologia de regionalização de vazões adotada consiste no ajuste de uma distribuição estatística à variável hidrológica que se quer regionalizar e, em seguida, a busca da função que melhor a explique, com base nas características físicas e hidrometeorológicas das bacias, gerando, então, para cada região hidrologicamente homogênea, (1) a curva regional de probabilidade adimensional e (2) a equação regional baseada na regressão entre a variável que está sendo regionalizada e as variáveis explicativas (CRUZ, 2001; SILVEIRA & SILVEIRA, 2001; TUCCI, 2000b). Para estimar o valor de uma vazão regionalizada, aplica-se a equação regional, obtendo-se como resultado o valor de longo termo. Este valor, multiplicado pela vazão adimensional definida pela curva regional de probabilidade, resulta na vazão com determinado tempo de retorno.

A primeira etapa da regionalização consistiu no levantamento e na análise de consistência dos dados hidrológicos (Fig. 3.6). A avaliação da homogeneidade hidrológica das bacias em estudo foi feita através da análise da curva adimensional de probabilidade, análise de grupamento e correlações entre os indicadores de vazão média e mínima e as características fisiográfica. Após confirmar a bacia de drenagem contribuinte à baía da Ilha Grande como uma região hidrologicamente homogênea, foram geradas a curva regional de probabilidade e a equação regional entre as variáveis fisiográficas e/ou hidrometeorológicas e a vazão.

Devido a inexistência de estações fluviométricas, na área em estudo, em bacias com área inferior a 22 km², a disponibilidade hídrica das regiões Leste, Usina e Centro foi estimada através da interpolação de áreas entre as bacias vizinhas com vazão regionalizada. Estes resultados foram utilizados para avaliação do balanço entre disponibilidade e demanda

hídrica e avaliação da capacidade de suporte, apresentados, respectivamente, no subcapítulo 6.5 e capítulo 7.

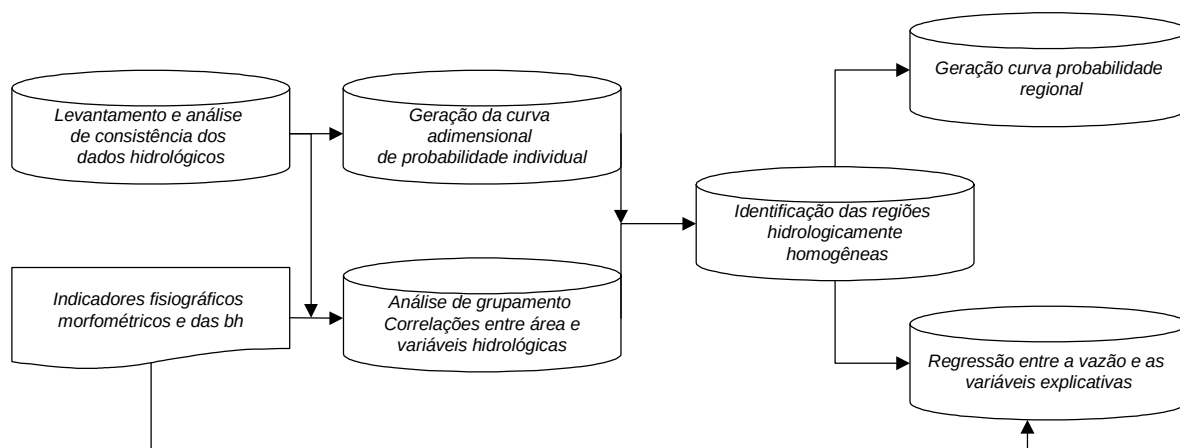


Figura 3.6 : Fluxograma das etapas da regionalização de vazões.

3.4.1 Levantamento e análise de consistência dos dados hidrológicos

Em função da escassez de estações fluviométricas na área em estudo, no levantamento de dados, foram investigadas as estações presentes em toda bacia de drenagem contribuinte à baía da Ilha Grande. Foram coletados dados de seis estações fluviométricas (Fig. 3.7) no HIDROWEB (ANA, 2002).

Para serem representativas dos processos hidrológicos, as séries hidrológicas amostrais devem ter a duração do ciclo climático natural, caso contrário, a amostra pode estar representando um período longo de estiagem ou de umidade elevada (CRUZ, 2001). Por isto, devem ser selecionadas estações fluviométricas que tenham, pelo menos, cinco anos de dados completos para cada tipo de variável a ser regionalizada (TUCCI, 2002). Considerando a representatividade espacial, segundo a Organização Mundial de Meteorologia (OMM), a quantidade satisfatória de estações para cobrir uma área montanhosa, na zona tropical, com a extensão correspondente à faixa continental da bacia de drenagem da baía da Ilha Grande, deve ser de duas a seis estações. Embora atendendo às recomendações da OMM, considera-se que as estações estão mal distribuídas espacialmente, concentrando-se na bacia do rio Mambucaba.

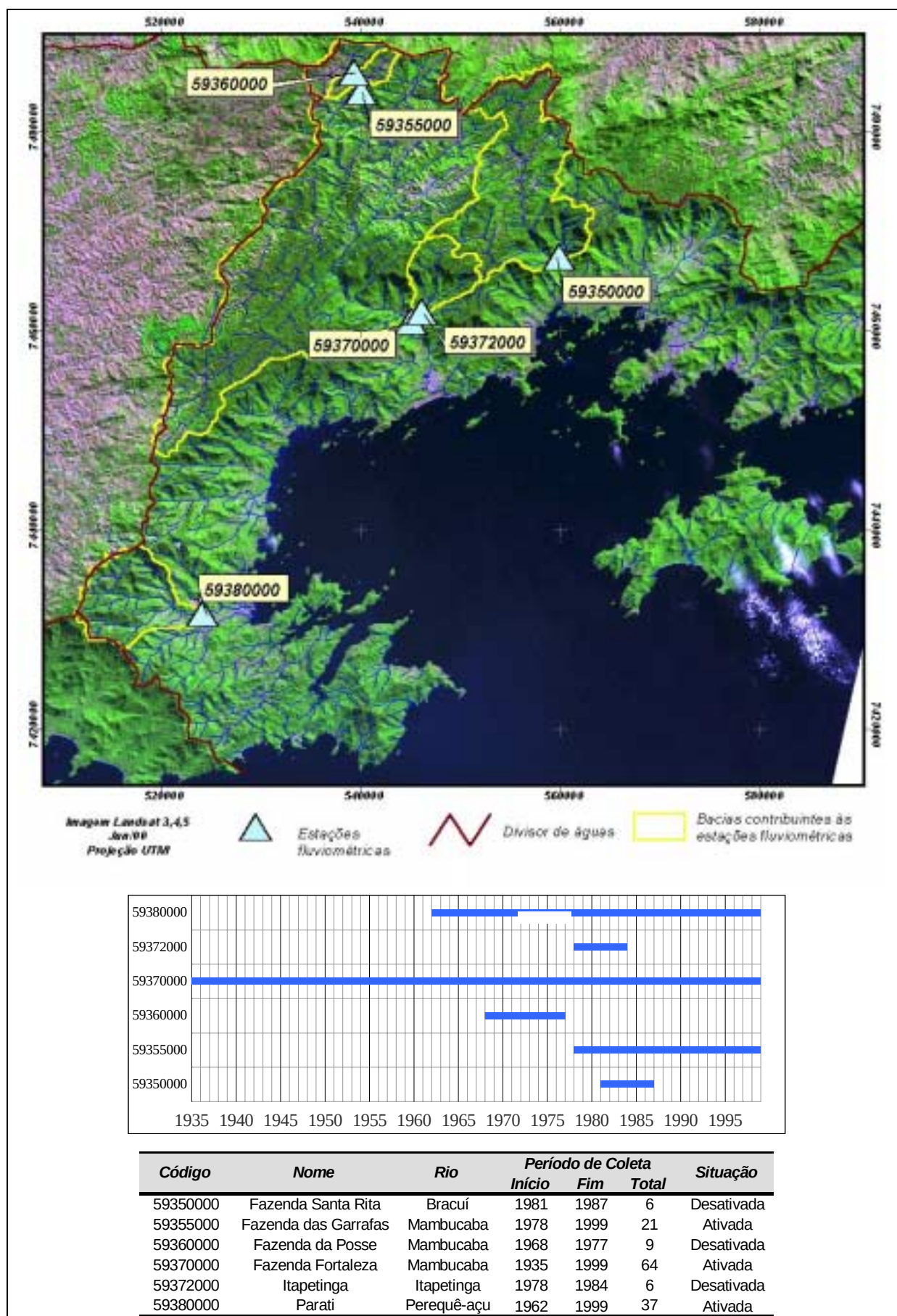


Figura 3.7: Estações fluviométricas da bacia de drenagem contribuinte à Ilha Grande.

Frequentemente se recomenda que, para análises de regionalização, os dados de frequência sejam registros de um período único de tempo, denominado “período base”, para assegurar que o grupo de dados foi afetado pelas mesmas ocorrências meteorológicas, facilitando a explicação das variâncias, pelas diferenças nas características fisiográficas das bacias, e, ainda, produzindo uma regressão regional com erros menores do que quando se usam diferentes períodos. A Figura 3.7 mostra que o banco de dados disponíveis não atendeu esta recomendação. Entretanto, Riggs (1973), justifica o trabalho com diferentes amostras temporais, lembrando que o objetivo da regionalização é representar as condições meteorológicas de longo termo, enquanto a adoção de um período base minimiza o número de eventos independentes, podendo resultar em tendenciosidade.

Na análise de consistência, foram inspecionadas as cotas diárias, as medições de vazão e as curvas-chave. Foi analisada a consistência de dados para as estações Itapetinga, Fazenda Santa Rita e Fazenda da Posse, com exceção do perfil transversal, para os quais não havia dados disponíveis. Para as demais estações fluviométricas, foi utilizado o banco de dados usado pela CPRM (2002) para a regionalização hidrológica da sub-bacia hidrográfica 59, correspondente à vertente Atlântica (vide Fig. 2.3), localizada na região litorânea do estado do Rio de Janeiro, onde está inserida a área de estudo.

As estações Itapetinga e Santa Rita apresentam as menores séries históricas. A primeira possui seis anos, com 20% de dias falhados do período total, proporção que permanece, considerando apenas os meses de estiagem – abril a setembro. A estação Santa Rita apresenta série histórica de sete anos, com 20% dos dias falhados, porém com apenas 2% dos dias sem dados no período de estiagem. O restante das estações apresenta série histórica extensa para fins de regionalização.

A análise da consistência das cotas foi feita de acordo com metodologia descrita em DNAEE (1976) através da geração e análise de cotagramas. A Tabela 3.1 resume os erros mais comuns a serem pesquisados neste tipo de dados. Nos gráficos, foram plotados dados de cota e de precipitação de estações próximas, o que permite identificar erros grosseiros. Entre os erros encontrados, destaca-se a troca de dados entre duas estações fluviométricas muito próximas, exemplificada na Fig. 3.8.

Para as estações fluviométricas Fazenda Santa Rita, Itapetinga e Fazenda da Posse, foram geradas curvas-chave, já que não estavam disponibilizadas no HIDROWEB. Foi utilizado o programa *Curva-chave 2.0*, desenvolvido pela CPRM e pelo Laboratório de Hidrologia COPPE/UFRJ. As curvas-chave estão apresentadas no Anexo 1.

Tabela 3.1: Principais inconsistências a pesquisar nas séries de cotas fluviométricas, adaptado DNAEE (1976).

Tipo de Deficiência	Identificação	Correção
Ausência completa de dados por um período mais ou menos prolongado, apresentando eventualmente alguns dados intermediários.	Lacuna na tabulação.	
Preenchimento arbitrário de dados durante um período	Trecho mais regular no fluviograma do que normalmente ocorre ou um período onde os níveis variam linearmente entre os extremos realmente observados. Mais facilmente identificada nos períodos de chuva. Já para o período de estiagem, a transição entre o último dia do período preenchido arbitrariamente e o seguinte, com valor real, apresenta um degrau no fluviograma.	Analisa-se as variações do fluviograma comparando-as com os dados de chuvas ou fluviogramas de postos vizinhos.
Erro de um metro inteiro. O observador anota com cuidado a variação dos centímetros e decímetros, mas se descuidava na anotação do metro cuja marca está submersa.	Degrau brusco de um dia para o outro, com altura, que se reconhece imediatamente como sendo múltipla de um metro.	Correção fácil dispensando comparação com fluviogramas de postos vizinhos.
Erro de complemento. O observador soma os valores do nível d'água até a parte inteira, ao invés de subtrair. Em geral, a leitura de metro está correta, mas comete erro em leituras intermediárias, resultando sempre um complemento de 10 cm.	Descontinuidade no fluviograma, identificada nos períodos de recessão.	Subtrair duas vezes a diferença do número inteiro inferior, do número lido pelo observador.
Leitura errônea de cotas negativas, quando as instalações linimétricas possuem o zero da régua acima dos níveis mínimos de estiagens. Neste caso, as régua apresentam graduação negativa, isto é, com graduação crescente de cima para baixo. Pode ser causada confusão pois (1) leituras negativas com acréscimo de um metro, (2) sinal negativo não apontado diante da leitura.	No primeiro caso, verifica-se um brusco degrau quando o nível d'água atinge a cota zero. No segundo caso, há uma reflexão do fluviograma de cotas em relação à linha de nível zero quando os níveis d'água são negativos. Estes erros são facilmente identificados, pois ocorrem no período de estiagem.	
Erro de cópia ao passar os dados de um registro para outro.	Este erro ocorre normalmente para valores isolados que são facilmente reconhecíveis quando a variação do fluviograma é gradual. Isto ocorre em períodos de estiagem ou quando a BH é grande. Nas bacias pequenas, fortes variações de descargas no período de chuvas podem mascarar tais efeitos.	Quando o erro do dado está no algarismo correspondente ao decímetro ou metro é mais fácil de reconhecer e a sua correção pode ser feita adotando a média das cotas nos dias contíguos. Quando a variação dos níveis é gradual, corrige-se o algarismo pela comparação dos valores correspondentes dos dados dos dias contíguos.
Efeito da maré ocorre quando o posto está localizado próximo à foz do curso d'água.	Oscilações cíclicas com períodos de aproximadamente 14 dias, pronunciadas durante as estiagens.	
Efeito de barragens	Este efeito sobre o fluviograma depende do tipo de utilização desta obra.	
Defeito de aparelhos registradores.	Interrupção de observações e outros variações menos pronunciadas.	

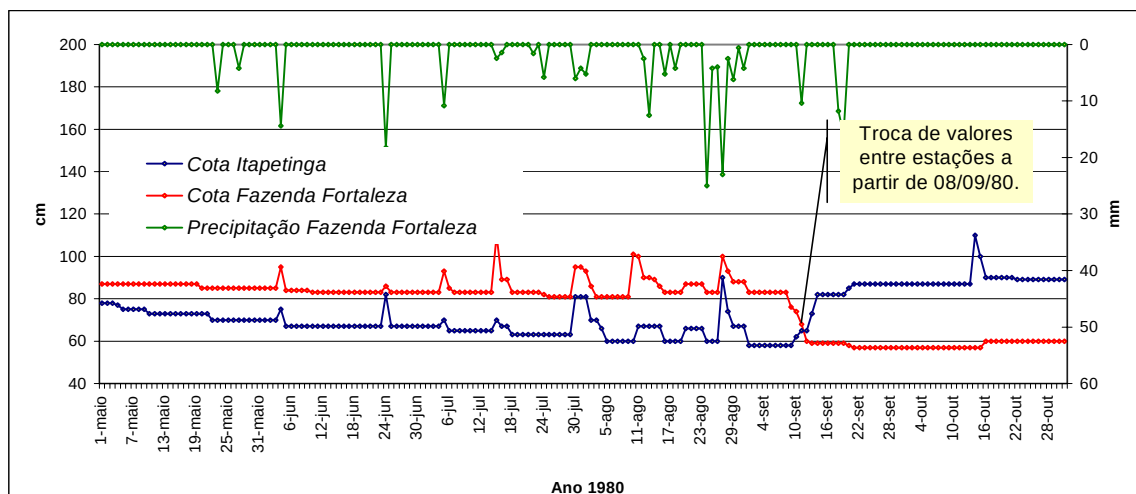


Figura 3.8: Exemplo de inconsistência de um cotagrama.

Com as equações geradas pelo ajuste das curvas-chave, a série diária de cotas foi transformada em série de vazões e determinadas, então, a vazão média de longo termo (Q_{mlt}), a vazão média anual, a vazão mínima anual de 7 dias consecutivos de longo termo (Q_7) e a vazão com 95% de permanência (Q_{95}).

A Q_{mlt} foi calculada com base na série de vazões médias diárias sem preenchimento. Já as vazões médias anuais foram calculadas com preenchimento das falhas baseadas em correlações com estações vizinhas.

A Q_7 corresponde aos menores valores médios de um período de 7 dias no ano, obtidas para cada estação a partir dos dados diários observados. A pesquisa do valor mínimo foi feita através do cálculo de médias móveis com base nos períodos de estiagem existentes, sem preenchimento.

A Q_{95} é calculada com base na curva de permanência, obtida através da frequência de ocorrência das vazões, para cada estação. Para a construção da curva, ordenam-se as vazões diárias em ordem decrescente, representando-as no eixo das abcissas, e aplica-se uma equação de posição de plotagem para cada valor ordenado de vazão, do tipo $p = m / n + 1$, onde p é a probabilidade de se encontrar um valor de vazão de posição m , para n observações. Os resultados da aplicação da equação representam o eixo das ordenadas da curva. A Q_{95} corresponde à vazão de $p = 0,95$.

A seguir, foi avaliada a estacionariedade da série de dados. Uma série numérica é considerada estacionária se a sequência de dados não mostra nenhuma tendência significativa. Se a sequência é dividida em pequenos segmentos, cujas médias não diferem significativamente, ela é considerada “estacionária de primeira ordem”. Se, adicionalmente, a autocovariância não varia ao longo da sequência, ela é considerada “estacionária de segunda

ordem” (ROCK, 1988). Se as propriedades estatísticas das variáveis se alteram periodicamente, as séries não podem ser consideradas estacionárias. As causas de não estacionariedade das variáveis hidrológicas podem ser naturais ou antrópicas e estão relacionadas a: (1) mudanças climáticas; (2) mudanças graduais, como no padrão de uso do solo (ex. impermeabilização, causada pela urbanização), nos cursos d’água (ex. retificações) e nas demandas de uso das águas; (3) mudanças bruscas, como acidentes catastróficos naturais ou não (ex. terremotos e rompimento de barragens) e intervenções estruturais (ex. fechamento de reservatório para enchimento) (CRUZ, 2001).

A estacionariedade de primeira ordem pode ser avaliada através do *Teste F para variâncias* e do *Teste t de Student* de diferença entre as médias. Como as séries temporais das estações Itapetinga e Fazenda Santa Rita são pequenas, não se realizaram estes testes, pois a análise gráfica não mostrou alteração de vazão, nos períodos amostrados. Para as outras estações, como já foi mencionado, utilizou-se o banco de dados da CPRM (2002) cujos dados passaram por esta avaliação. Para testar a estacionariedade de segunda ordem da série temporal, foi pesquisada a autocorrelação para as sequências de vazões médias anuais. Os testes encontram-se nos Anexo 2.

3.4.2 Avaliação da homogeneidade hidrológica regional

A identificação e a delimitação de regiões homogêneas é a etapa mais difícil e mais sujeita a subjetividade entre todas as que constituem a análise de variáveis aleatórias, como é o caso das séries hidrológicas. Uma região pode ser considerada homogênea quando diferentes amostras do grupo possuem a mesma distribuição de frequências. Na prática, na definição de uma região, pretende-se agrupar postos de observação representativos desta região. Para determinar a separação de postos, podem ser utilizados diversos métodos e técnicas de agrupamento; entre eles a análise de grupamentos - *clusters analysis*, a qual agrupa os postos de acordo com a variabilidade espacial de características locais, selecionadas entre aquelas julgadas pertinentes na explicação da variável a ser regionalizada (DAVIS & NAGHETTINI, 2001).

A análise de grupamento foi feita com as estações da área em estudo e outras localizadas na vertente Atlântica do estado do Rio de Janeiro e utilizadas na regionalização da sub-bacia 59 (CPRM, 2002), com base em variáveis hidrometeorológicas normalizadas referentes às bacias contribuintes às estações. A incorporação de estações fora da área em

estudo teve como objetivo discriminar aquelas que faziam parte de uma região hidrologicamente homogênea à área de estudo.

Para aprofundar a comparação entre as estações da área de estudo com as demais do estado do Rio de Janeiro, também foram construídos diagramas de dispersão entre a área das bacias contribuintes às estações e indicadores de vazão média e vazão mínima.

Outra característica importante da região homogênea é que as distribuições de frequência da variável hidrológica, das diversas estações, devem ser tão semelhantes entre si, que se possa expressá-las por uma única função probabilística, a curva regional. Esta comparação usa as distribuições de frequências da variável adimensionalizada, ou seja, expressa como razão, relativa à média de longo termo, também chamada *index-flood* (RIGGS, 1973; DAVIS & NAGHETTINI, 2001). Se as curvas de frequência individuais, adimensionalizadas, forem muito diferentes, a área geográfica é segmentada em regiões que contenham curvas similares. O método para obtenção destas curvas está descrito no próximo sub-item.

3.4.3 Construção da curva de probabilidade adimensional

As curvas de probabilidade são construídas para cada estação, através do ajuste de distribuição de probabilidade teórica ou empírica aos valores adimensionais de vazões. Os valores adimensionais correspondem à vazão anual dividida pela média de longo termo. Com base nas curvas individuais, é gerada uma curva de probabilidade regional para cada região hidrologicamente homogênea identificada (TUCCI, 2002).

Para a construção da curva de probabilidade das vazões adimensionais é utilizada uma distribuição empírica com base em uma equação da posição de plotagem, ou de locação, do tipo: $P = m / n$, onde m é a posição e n o número de observações (ELETROBRAS, 1985). A posição é fornecida pelo ordenamento das observações, que deve ser crescente para as vazões mínimas e decrescente para as vazões médias. Para evitar que as observações tenham probabilidade igual a 1 ($m = n$), sugere-se utilizar as seguintes equações (CPRM, 2002):

a) Para vazão média:

$$\text{Weibull: } P = m / n + 1$$

$$\text{Blom: } P = (m - 3/8) / (n - 1/4)$$

b) Para vazão mínima:

$$\text{Cunane para distribuição log Pearson II: } P = (m - 0,4) / (n + 0,2).$$

As curvas individuais da variável reduzida (Y) x variável adimensionalizada são plotadas em um mesmo gráfico. A variável reduzida é calculada com base em p que é empiricamente definida através da aplicação de uma das seguintes distribuições teóricas (CPRM, 2002):

- a) Para vazão média: Gumbel: $y = -\ln(-\ln(1-p))$;
- b) Para vazão mínima: Weibul: $y = -\ln(p)$.

A curva regional é construída através do ajuste dos pontos médios da variável reduzida e da variável adimensionalizada. Os pontos médios são calculados com base nos intervalos de classe definidos para a variável y , desde -3,5 a -3,0; -3,0 a -2,5; -2,5 a -2,0; -2,0 a -1,5, até o maior valor de y . São calculadas as médias aritméticas da variável reduzida e da variável adimensionalizada para cada intervalo. Com base nos novos pontos assim definidos, ajusta-se uma linha de tendência para cada região hidrologicamente homogênea (CPRM, 2002).

O passo a passo para construção das curvas de probabilidade adimensional está descrito nos Anexo 3.

3.4.4 Geração da equação regional entre as características fisiográficas e pluviométricas e a vazão

As variáveis explicativas são utilizadas para estimar o valor da variável regionalizada, considerando-se a função: $Y = f(X, Z, W)$, onde Y é a variável regionalizada e X , Z e W são as variáveis que explicam Y através da função f .

Em estudos de regionalização, as variáveis utilizadas mais frequentemente são: a área da bacia contribuinte à estação, a precipitação, a densidade de drenagem, a declividade média do rio principal e o comprimento do rio principal. Estas variáveis podem ter pesos diferentes na regressão de acordo com a região em estudo; normalmente, as mais significativas são as três primeiras (ELETROBRAS, 1985), sendo área a variável mais utilizada nos estudos de regionalização. Na seleção das variáveis explicativas devem ser considerados os seguintes pontos (TUCCI, 2002):

- a) devem ser facilmente determinadas, pois, caso contrário, dificilmente a metodologia será utilizada;
- b) métodos indiretos, com muita incerteza para sua determinação, devem ser evitados;
- c) a metodologia para sua determinação deve ser reprodutível em toda a área de estudo; e

d) evitar a utilização de variáveis autocorrelacionadas, pois, ao introduzir nova variável, provavelmente não haverá aumento de informação.

Foram calculadas, através do SIG (Fig. 3.9), as seguintes variáveis explicativas sobre as bacias contribuintes às estações fluviométricas: área projetada e da superfície, coeficiente de compacidade, cobertura vegetal, densidade de drenagem, declividade média, altitude média e precipitação.

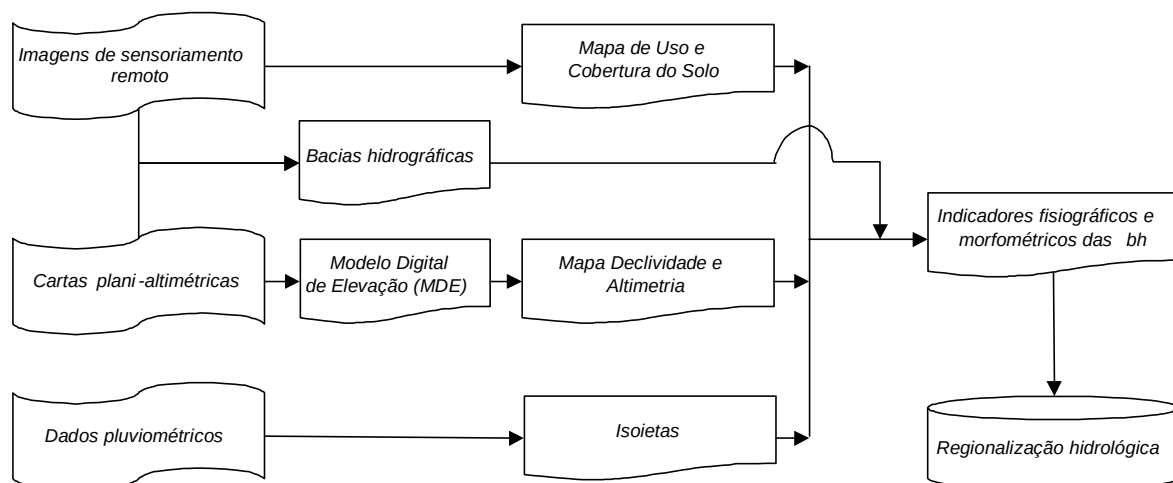


Figura 3.9: Fluxograma da geração de indicadores das bacias hidrográficas.

A área de drenagem, obtida no banco de dados HIDROWEB, foi conferida através de SIG, com base nas coordenadas geográficas das estações fornecidas pelo mesmo banco de dados e na comparação entre valores de vazão específica. Foram feitas as seguintes correções:

- A vazão específica da estação Fazenda da Posse corresponde a 66 L/s.km², quando se considera 22 km² como a área da bacia contribuinte, fornecida pelo HIDROWEB. Esse valor é muito alto, se comparado com estações localizadas na mesma bacia. Tendo como base a informação da CPRM (2002), de que esta estação estaria localizada a 2 km a jusante da estação Fazenda das Garrafas, a estação foi plotada neste ponto, e a área foi calculada em 35 km². Com este valor, a vazão específica resultou em 43 L/s.km², próximo aos valores encontrados na área em estudo.
- Para a estação Fazenda Santa Rita, a vazão específica corresponde a 59 L/s.km², quando calculada com área gerada pelo SIG, correspondente a 179 km². Com uso do valor fornecido pelo HIDROWEB, 122 km², este valor é 88 L/s.km², muito superior aos encontrados na área em estudo.
- O HIDROWEB não fornece a área da estação Itapetinga, tendo sido calculada com base nas coordenadas da estação, resultando em 34 km². Com este valor, a vazão

específica ficou em 49 L/s.km², apresentando a mesma ordem de grandeza das estações da área em estudo.

Para geração das equações regionais, foram testadas regressões simples e múltipla do tipo linear e potencial entre a vazão e as variáveis fisiográficas.

3.4.5 Método de regionalização da curva de permanência

O método de regionalização adotado tem como base o ajuste da curva de permanência a uma função cujos coeficientes da equação são determinados a partir de valores característicos de Q_p . O ajuste a uma função exponencial, $Q_p = \exp(a * p + b)$, geralmente apresenta resultados satisfatórios. Os coeficientes a e b podem ser determinados através da Q_{50} e Q_{95} , com base nas seguintes equações (TUCCI, 2002):

$$a = -\ln(Q_{50} / Q_{95}) / 0,45 \quad \text{Equação 3.1}$$

$$b = \ln(Q_{50}) - 0,50 * a \quad \text{Equação 3.2}$$

Para gerar uma curva de permanência regionalizada, primeiramente deve-se regionalizar os valores de Q_{50} e Q_{95} , ou seja, gerar a equação regional a partir da regressão entre as características fisiográficas que explicam a variação da Q_p e os valores observados de Q_p . Com base nestes valores regionalizados, calculam-se os coeficientes da função exponencial, gerando-se a função regionalizada.

A regionalização constou de duas etapas: (1) geração da curva de permanência para cada estação e (2) regressão entre os valores característicos de Q_p e as variáveis explicativas.

3.5 ESTIMATIVA DA DEMANDA HÍDRICA

Para contornar a falta de informação básica, foram usados métodos indiretos de avaliação de demanda hídrica; os resultados da aplicação destes métodos foram comparados, quando possível, aos dados obtidos em levantamentos de campo, ou fornecidos por instituições ligadas diretamente ou indiretamente ao consumo de água.

A estimativa da demanda hídrica da faixa continental de Angra dos Reis foi dividida em três grupos: demanda da população residente, demanda da população turística (flutuante) e demanda das principais atividades econômicas (Fig.3.10).

A estimativa da demanda urbana foi obtida através do produto entre o total de população da faixa continental e a demanda urbana *per capita*.

Na avaliação da população residente e flutuante, foram utilizados dados demográficos de setores censitários², nível de maior desagregação espacial de dados originários dos censos demográficos, o que possibilita agregá-los em bases espaciais específicas, como, no presente caso, em que demanda hídrica foi representada, espacialmente, através das regiões hidrográficas.

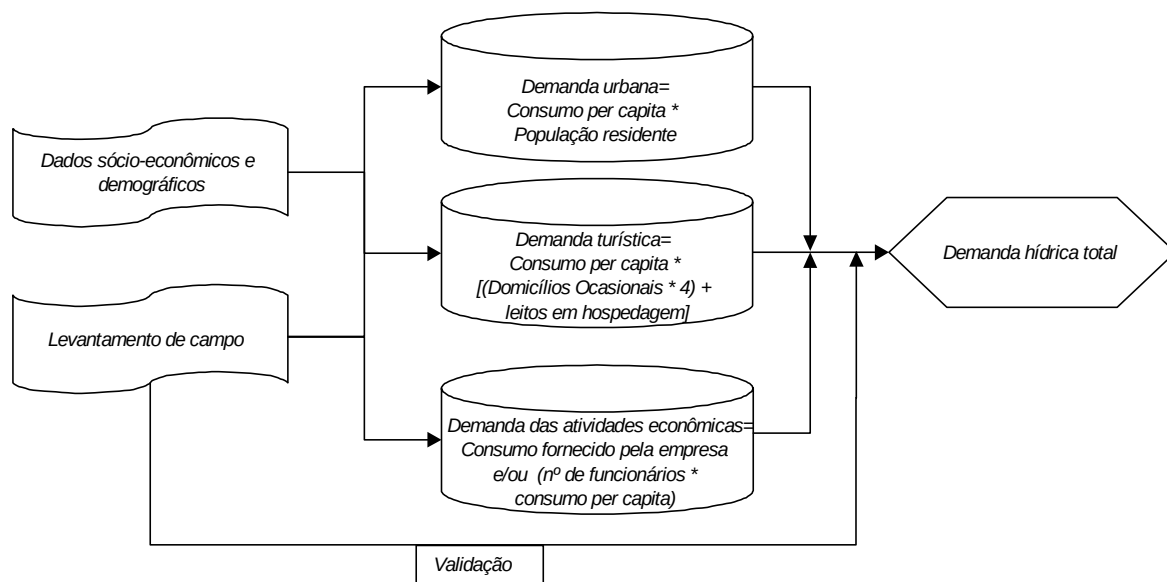


Figura 3.10: Fluxograma da estimativa de demanda hídrica.

A população rural foi considerada junto com a urbana, pois 96% da população angrense é considerada urbana, de acordo com IBGE (2003), e as atividades rurais predominantes no município são de subsistência.

Na ausência de dados municipais de hidrometria, de boa qualidade, que pudessem ser utilizados no estabelecimento da demanda hídrica urbana *per capita*, foi pesquisada a relação entre o PIB *per capita* (IBGE, 2000) e o volume de água distribuído *per capita* (IBGE, 2002) dos estados brasileiros, através de regressão e análise de agrupamento, baseado no pressuposto de que a renda é um dos principais fatores que influenciam no consumo de água residencial (vide Cap. 2.2 Demanda Hídrica). O resultados desta pesquisa foram validados com os dados de hidrometria domiciliar local, fornecidos pelo SAEE, e com dados secundários de outras fontes.

A demanda da população flutuante foi obtida através do produto entre a população turística e a demanda *per capita* do turista.

² Setor censitário é definido pelo IBGE como sendo uma extensão territorial passível de levantamento por um único recenseador dentro do período estabelecido para a coleta. Geralmente varia entre 200 e 300 domicílios urbanos e 200 domicílios ou 150 estabelecimentos rurais.

Para a estimativa da população turística foi avaliada a capacidade de hospedagem na área de estudo, constituída pelo total de casas de veraneio e do número de leitos em hotéis, pousadas e similares. Como casas de veraneio foram considerados os domicílios ocasionais, dados obtidos na Sinopse do Censo Demográfico (IBGE, 2001). O total de leitos foi obtido junto à Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Indústria, Comércio e Turismo de Angra dos Reis (SDEICT).

A capacidade de hospedagem total foi validada com base no fluxo de turistas que passaram em Angra dos Reis durante a feriado da Semana Santa de 2002. O fluxo foi estimado através da contagem de veículos, realizado pelo Departamento Estadual de Rodagem (DER-RJ), a nosso pedido. Os postos de contagem foram localizados na BR-101, que liga o município de Angra dos Reis à metrópole do Rio de Janeiro, e na RJ-155, via de acesso ao vale do Paraíba do Sul. Concomitante a esta medição, foi executada uma amostragem de veículos, pela equipe de trabalho do LADET-UFF³, objetivando levantar o número de passageiros e os tipos de veículos que passam pela estrada

À demanda *per capita* da população residente foi acrescentado um percentual, correspondendo à demanda *per capita* do turista. O maior nível de renda do turista, em relação à população angrense, e o elevado consumo de água pelas atividades turísticas em locais litorâneos motivaram a elevação da demanda *per capita* para a população flutuante.

A demanda hídrica das atividades econômicas considerou o consumo dos quatro grandes empreendimentos instalados no município: o estaleiro BRASFELS – antigo Verolme, o terminal aquaviário – TEBIG da Petrobras, as usinas nucleares Angra I e II e o porto de Angra dos Reis. A estimativa da demanda foi baseada em dados levantados junto a estas empresas e no seu número de funcionários, associando a este um valor de demanda hídrica *per capita* de acordo com as atividades da empresa.

3.6 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPORTE DAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS

A capacidade de suporte das regiões hidrográficas foi avaliada com base na análise de quatro parâmetros – demanda hídrica atual, disponibilidade hídrica, qualidade hídrica e disponibilidade de áreas à ocupação urbana – expressos como população equivalente, conforme já relatado (Fig. 3.11).

A população equivalente à demanda hídrica atual corresponde à população atual.

³ Laboratório de Análise Digital Espaço-Temporal, coordenado pela Prof. Cacilda Nascimento de Carvalho.

A população equivalente à disponibilidade hídrica é função da relação entre a disponibilidade hídrica e a demanda *per capita*. Considerou-se a disponibilidade hídrica futura, excluindo-se, da área total das bacias, no cálculo da vazão pela regionalização hidrológica, as áreas passíveis de mudança no padrão de uso e cobertura do solo, obtidas através do Mapa de Restrições Legais à Ocupação. A demanda *per capita* é a relação entre a demanda total e a população atual.

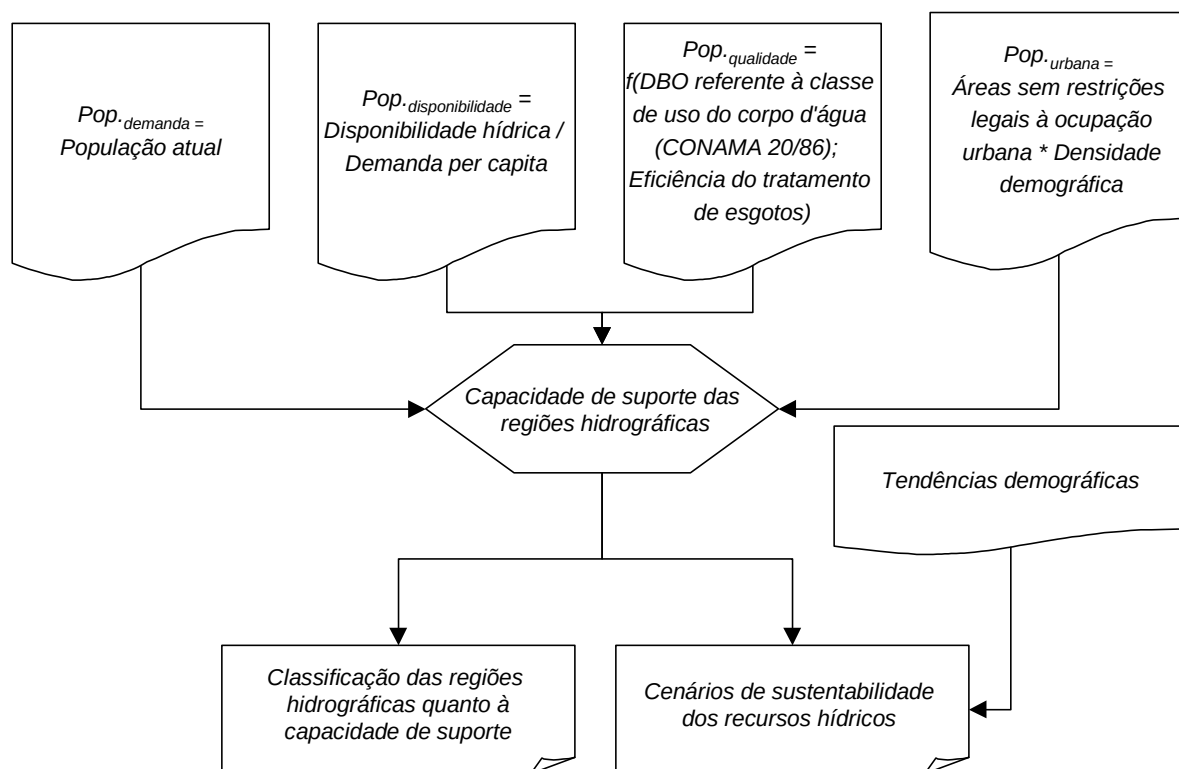


Figura 3.11: Fluxograma da avaliação da capacidade de suporte das regiões hidrográficas.

O indicador utilizado para avaliar a qualidade hídrica foi a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio). A estimativa da população equivalente à qualidade hídrica é função (1) do limite da DBO utilizado como critério para enquadramento dos corpos d'água de acordo com a classificação das águas do CONAMA - Resolução nº 20/1986, e (2) do nível de eficiência do tratamento do esgoto na eliminação da DBO.

A população equivalente à disponibilidade de áreas à ocupação urbana foi estimada com base nas áreas sem restrições legais à ocupação urbana e na densidade demográfica. As primeiras foram definidas a partir do Mapa de Restrições Legais à Ocupação (vide 3.3 Geoprocessamento de Dados Sócio-Ambientais).

A densidade demográfica foi calculada com base em dois critérios: os aspectos legais e a ocupação atual, observada nos núcleos urbanos da faixa continental do município.

A densidade demográfica atual foi calculada através da delimitação das manchas urbanas e da planimetria das respectivas áreas por SIG. A cada mancha foi atribuída a população originária dos setores censitários.

Para o cálculo da densidade demográfica derivada dos aspectos legais considerou-se o Plano Diretor em estudo. A população foi calculada, nas zonas urbanas, pelo produto entre número de lotes e o número de habitantes por lote (Equação 3.3). Para a zona residencial unifamiliar, a população foi estimada do seguinte modo:

$$\text{População} = \text{NL} * \text{HL}, \quad \text{Equação 3.3}$$

onde:

HL = habitante por lote, adotado o valor 4, de acordo com o número médio de habitantes por domicílio em Angra dos Reis (IBGE, 2003); e

NL = número de lotes.

$$\text{NL} = (\text{AZ} * (1 - \text{AP})) / \text{TL}, \quad \text{Equação 3.4}$$

onde:

TL = tamanho do lote, corresponde à menor área do lote estabelecido para uma determinada zona;

AZ = área total da zona; e

AP = áreas públicas, adotado o valor de 0,5. Segundo a Lei Federal n.º 6.766/1979, os loteamentos devem apresentar áreas destinadas ao sistema de circulação, à implantação de equipamento urbano e comunitário, bem como espaços livres para uso público, não podendo ser inferior a 35% da gleba. Analisando os dados do município do Rio de Janeiro, verifica-se que o Centro apresenta 0,9 de áreas não residenciais, Copacabana 0,15, enquanto a média é 0,35 (IPP, 2000).

Substituindo na equação 1, temos:

$$\text{População Unifamiliar} = \text{AZ} * 2 / \text{TL}, \text{ ou } \quad \text{Equação 3.5}$$

$$\text{Densidade Unifamiliar} = 2 / \text{TL} \quad \text{Equação 3.6}$$

A densidade das zonas com residências multifamiliares também foi calculada com base na equação 3.3, porém o número de lotes (NL) passa a ser número de residências (NR), e o número de habitantes por lote (HL) passa a ser número de habitantes por residência (HR). A fórmula de cálculo da cada componente também se altera, conforme mostrado a seguir:

$$\text{População} = \text{NR} * \text{HR} \quad \text{Equação 3.7},$$

onde:

$$\text{NR} = (\text{AZ} * \text{AR}) / \text{TL} \quad \text{Equação 3.8}$$

$$\text{HR} = \text{TL} * \text{CA} / \text{TC} \quad \text{Equação 3.9}$$

CA= é a relação entre a área construída total de uma edificação e a área do lote; o coeficiente dois, por exemplo, indica que, a área edificável é, no máximo, duas vezes a área do terreno (AZEVEDO NETTO, 2003). A cada zona foi atribuída o CA, de acordo com o Plano Diretor; e

TC = taxa de conforto, corresponde à média de área, em metros quadrados, por morador, variável em função do nível econômico da população (AZEVEDO NETTO, 2003). No município do Rio de Janeiro, esta taxa varia entre 10 m²/hab. na região administrativa de Anchieta e 56 m²/hab. na Barra da Tijuca, enquanto a média é de 20 m²/hab. (IPP, 2000). Segundo os padrões urbanísticos recomendados por alguns estudos, a necessidade mínima de espaço individual em residências unifamiliares está entre 16 e 20 m²/hab., enquanto para multifamiliares este valor é de 10 a 16 m²/hab. (MEYER-HERNÉ; PORTAS; CLAIRE *apud* IBAM, 1980). Foram adotados o valor 20 m²/hab. para as zonas residenciais e 50 m²/hab. para as zonas turísticas. Estes valores resultaram da adição de 20% de área para as zonas residenciais, e de 200% de área para as zonas turísticas, correspondente às áreas de usos comuns.

Substituindo na equação 3.7, temos:

$$\text{População Multifamiliar} = (AZ * 0,5 * CA) / TC, \text{ ou } \textit{Equação 3.10}$$

$$\text{Densidade Multifamiliar} = (0,5 * CA) / TC \quad \textit{Equação 3.11}$$

Os resultados da população equivalente foram cotejados, dando origem à classificação das regiões hidrográficas em exportadoras e importadoras de água.

Por fim, foram analisadas as tendências de crescimento demográfico de Angra dos Reis, baseadas nas extrapolações dos dados populacionais das seis últimas décadas. As tendências foram cruzadas com as populações equivalentes, objetivando identificar se os limites estimados, de uso da água e do solo, poderiam ser alcançadas nos três cenários demográficos avaliados: um, prevendo a manutenção da taxa de crescimento, outro, com taxas declinantes, e outro, ainda, com taxas crescentes.

4 CARACTERIZAÇÃO SÓCIO-AMBIENTAL DE ANGRA DOS REIS

4.1 FISIOGRAFIA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE ANGRA DOS REIS

A área em estudo está localizada no trecho do território onde a Serra do Mar se aproxima do litoral, resultando em uma área com alto índice pluviométrico e encostas cobertas com Mata Atlântica, em bom estado de conservação. Com o divisor de águas próximo ao litoral, não há a formação de grandes bacias hidrográficas, mas dezenas de bacias, de dimensões diversas, que nascem na Serra do Mar e no Planalto da Bocaina, e deságuam na baía da Ilha Grande. Em geral, estas bacias apresentam uma grande amplitude altimétrica, resultando em alto e médio cursos com elevada declividade e gerando ruptura abrupta de declive, quando os canais alcançam as planícies costeiras, que são, predominantemente, de pequena extensão.

Podem ser identificadas três grandes unidades geomorfológicas na região (Fig. 4.1): (1) a escarpa da Serra do Mar corresponde a uma escarpa erosiva com altitudes de até 1.000 m, representando 42% das bacias hidrográficas que atravessam a faixa continental de Angra dos Reis; (2) o Planalto da Bocaina apresenta altitudes acima de 1.000 m, chegando a alcançar 2.000 m, representando 55% destas bacias; e (3) a planície litorânea corresponde às planícies formadas a partir das variações relativas do nível do mar, estendendo-se ao longo do litoral em uma estreita faixa, que ocupa, em média, somente 3 % do total da área das bacias.

O relevo bastante acidentado presente na área em estudo, com predomínio de declividades e altitudes elevadas, (Fig. 4.2), facilitaram a preservação das florestas, que hoje representam cerca de 84% da área total das bacias (Fig. 4.3). No litoral, a maior acessibilidade facilitou a ocupação humana, atualmente ocupado por vários núcleos urbanos, que correspondem a 17% da área em análise. O desmatamento, que predomina nas planícies e em algumas áreas no planalto, foi classificado como campos antrópicos, correspondendo a 12% do total da área das bacias.

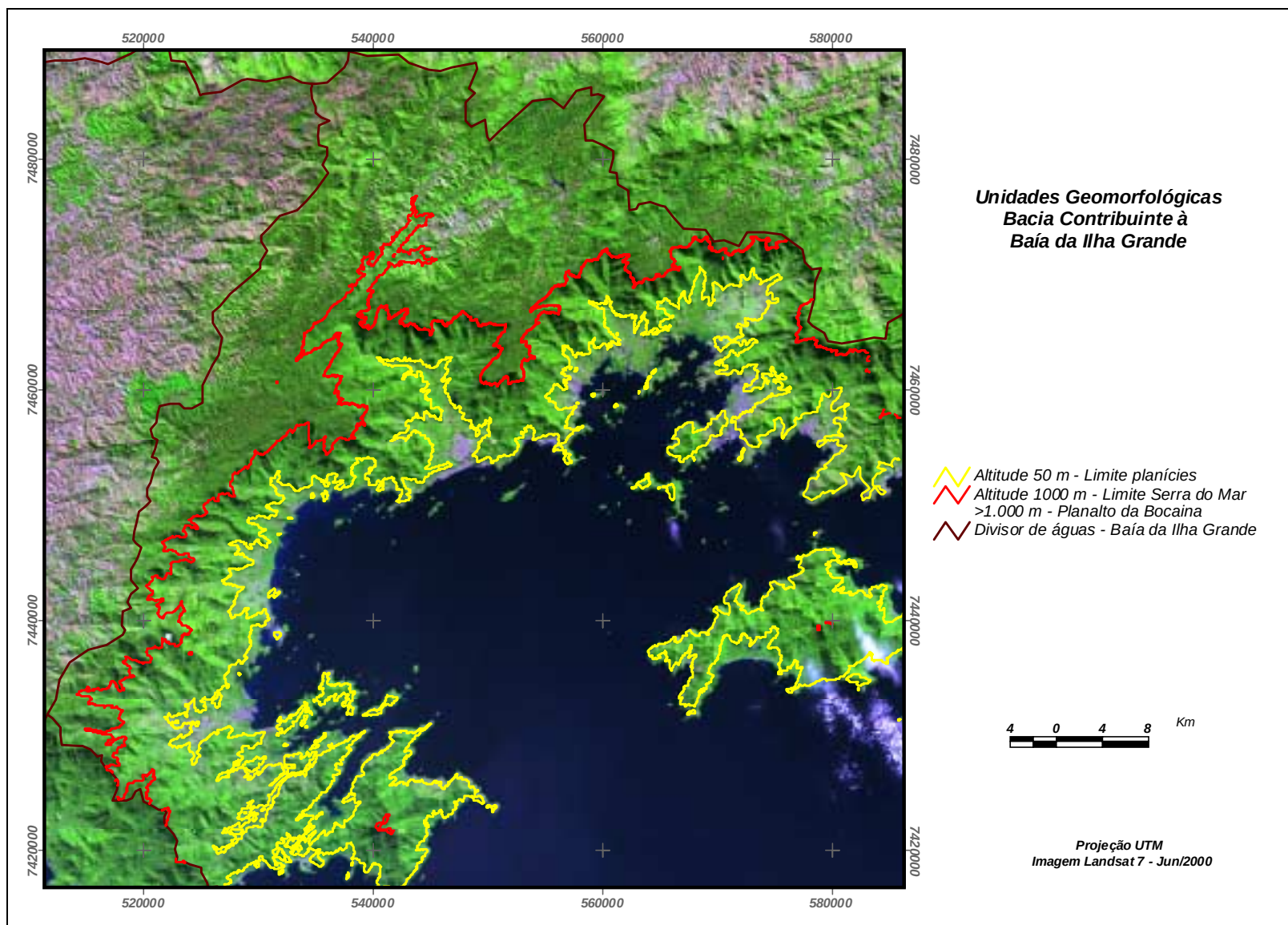


Figura 4.1: Principais unidades geomorfológicas da bacia de drenagem contribuinte à baía da Ilha Grande.

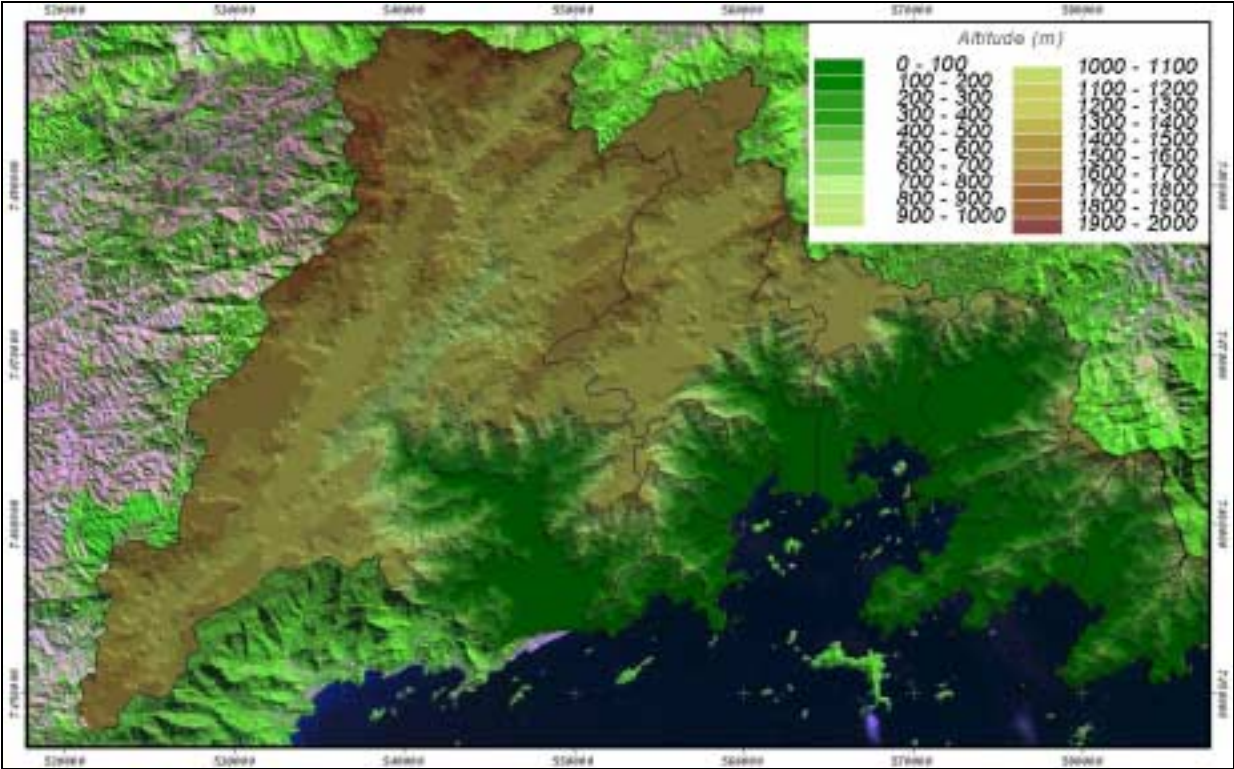


Figura 4.2: Modelo digital de elevação das bacias hidrográficas que atravessam a faixa continental de Angra dos Reis.

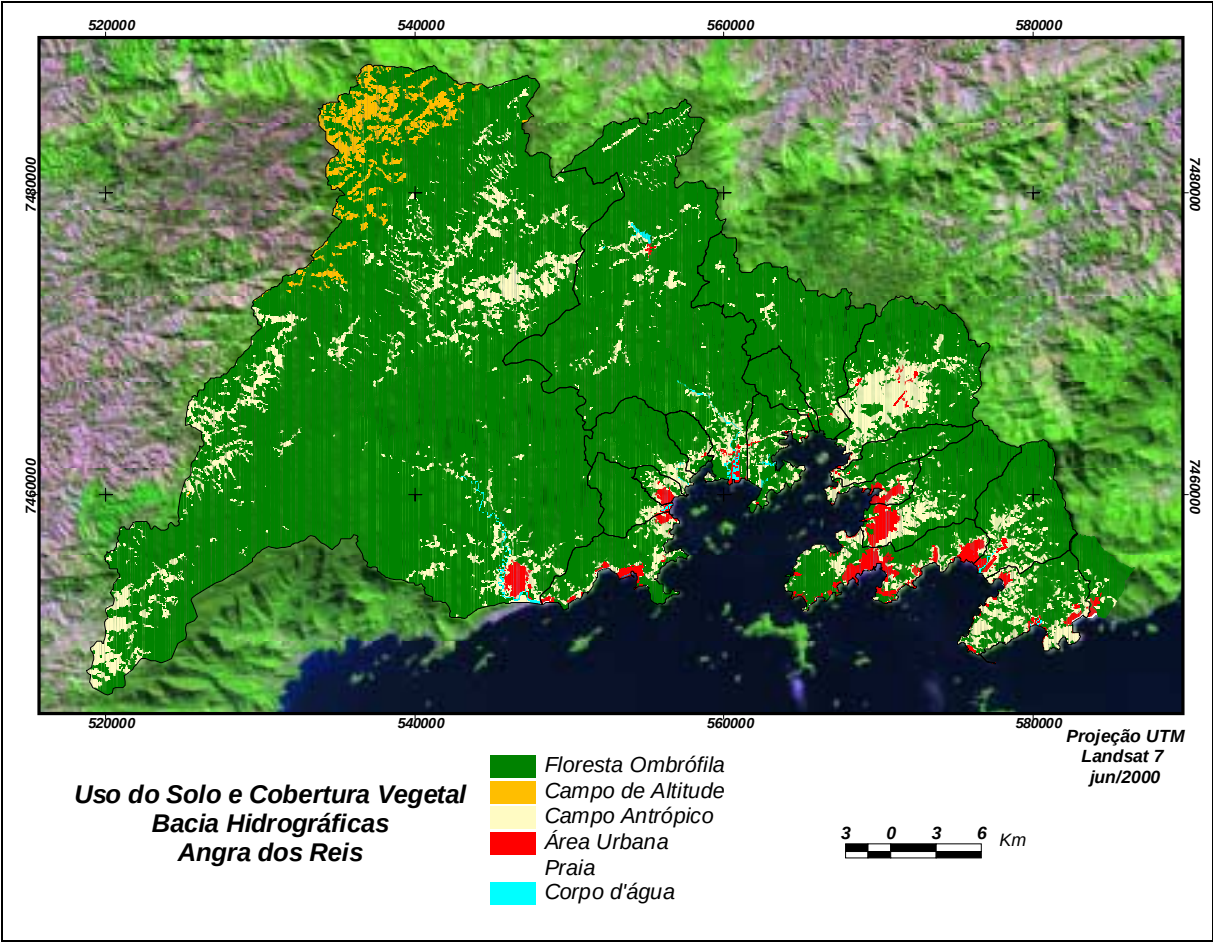


Figura 4.3: Mapa de uso e cobertura do solo das bacias hidrográficas que atravessam a faixa continental de Angra dos Reis.

As bacias hidrográficas, que atravessam a faixa continental de Angra dos Reis, podem ser classificadas em três tipos (Fig. 4.4). O primeiro tipo (A) corresponde às bacias com extensão acima de 60 km², e rios de domínio federal, pois atravessam mais de um estado – Rio de Janeiro e São Paulo. Estas bacias são Ariró, Bracuí e Mambucaba e correspondem a 43% da faixa continental do município.

As bacias do tipo A são alongadas, com coeficiente de compacidade próximo a 2 e média altimétrica de 1.000 m (Fig. 4.5). O alto curso localiza-se no Planalto da Bocaina e mais de 60% da área estão aí localizadas com desnível altimétrico próximo de 1.000 m, resultando em uma declividade média de 16% . Os rios atravessam o planalto no alto curso e, no médio curso, despenham pela escarpa da Serra do Mar, onde estão situadas 40% da área restante com desnível topográfico de 1.000 m, resultando em declividade da bacia próxima a 30%, enquanto a declividade média de toda a bacia é próxima a 20% (Fig. 4.6a). O baixo curso desses rios é constituído por planícies flúvio-marinhas, correspondendo a 35% das planícies da faixa continental, representativas, para um município com poucas áreas planas. Em relação à cobertura vegetal, estas bacias estão bem preservadas, com mais de 85% da sua área coberta por floresta ombrófila densa, onde estão localizados o Parque Nacional da Bocaina e a Terra Indígena Guarani de Bracuí. A área urbana é pequena em relação a sua extensão, inferior a 1% da área total.

O segundo tipo (B) refere-se às bacias com área entre 10 e 70 km², cujos rios são, todos, totalmente confinados em território municipal. Esta área representa 35% da faixa continental do município e corresponde às bacias de Jurumirim, Jacuecanga, Japuíba, Grataú, Frade e Areia do Pontal. As bacias do tipo B tendem à forma circular, com coeficiente de compacidade próximo a 1,5, média altimétrica de 400 m e declividade variando entre 25 a 35%. Seus rios nascem nas encostas da Serra do Mar, não podendo ser distinguido o alto, do médio curso, pois a declividade do canal é alta (Fig. 4.6b). Em relação à cobertura vegetal, estas bacias variam entre alto e médio grau de preservação. As mais preservadas são as bacias do Frade, Grataú, Florestão e Areia do Pontal com mais de 90% da área coberta por florestas, e ocupação urbana inferior a 2%. As bacias do Jurumirim, Jacuecanga e Japuíba apresentam entre 70 a 82% de sua área coberta por florestas. Japuíba apresenta grande parte de sua planície ocupada pelo uso urbano correspondendo a 9% da área da bacia.

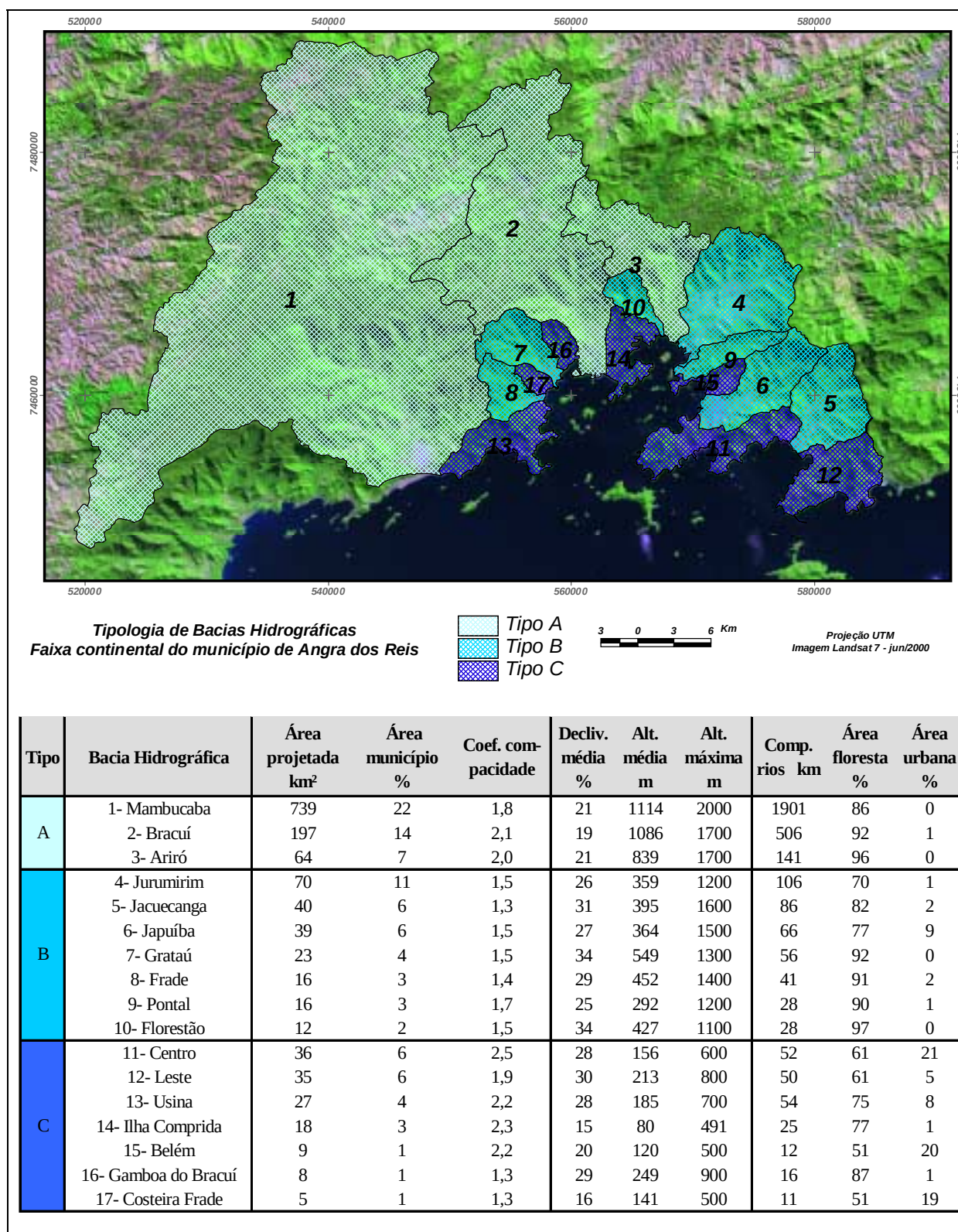


Figura 4.4: Bacias hidrográficas que atravessam a faixa continental de Angra dos Reis.

O terceiro tipo (C) corresponde às bacias com área inferior a 10km² e que representam 22% da faixa continental. Apesar de sua área ser reduzida, aí residem 38% da população angrense, mais concentrada no distrito sede de Angra dos Reis. Cada região delimitada corresponde a um conjunto de pequenas bacias contíguas, são elas: Leste, Centro, Usina, Belém, Gamboa do Bracuí e Ilha Comprida. As bacias desse tipo apresentam média altimétrica de 160 m. Seus rios nascem nos maciços costeiros junto ao litoral, apresentando declividade média próxima a 24%. Não há como distinguir o alto, do médio curso, pois a declividade do canal é alta até alcançar as pequeníssimas planícies costeiras, que representam apenas 5% do total de planície da faixa continental do município (Fig. 4.6c). Em relação à cobertura vegetal, estas bacias possuem o mais baixo grau de preservação, com algumas apresentando apenas 50% da área coberta por florestas, devido à expansão urbana para as encostas. O uso urbano representa cerca de 20% nas bacias do Centro, Frade e Belém; nas outras bacias, a taxa varia entre 8 a 1%.

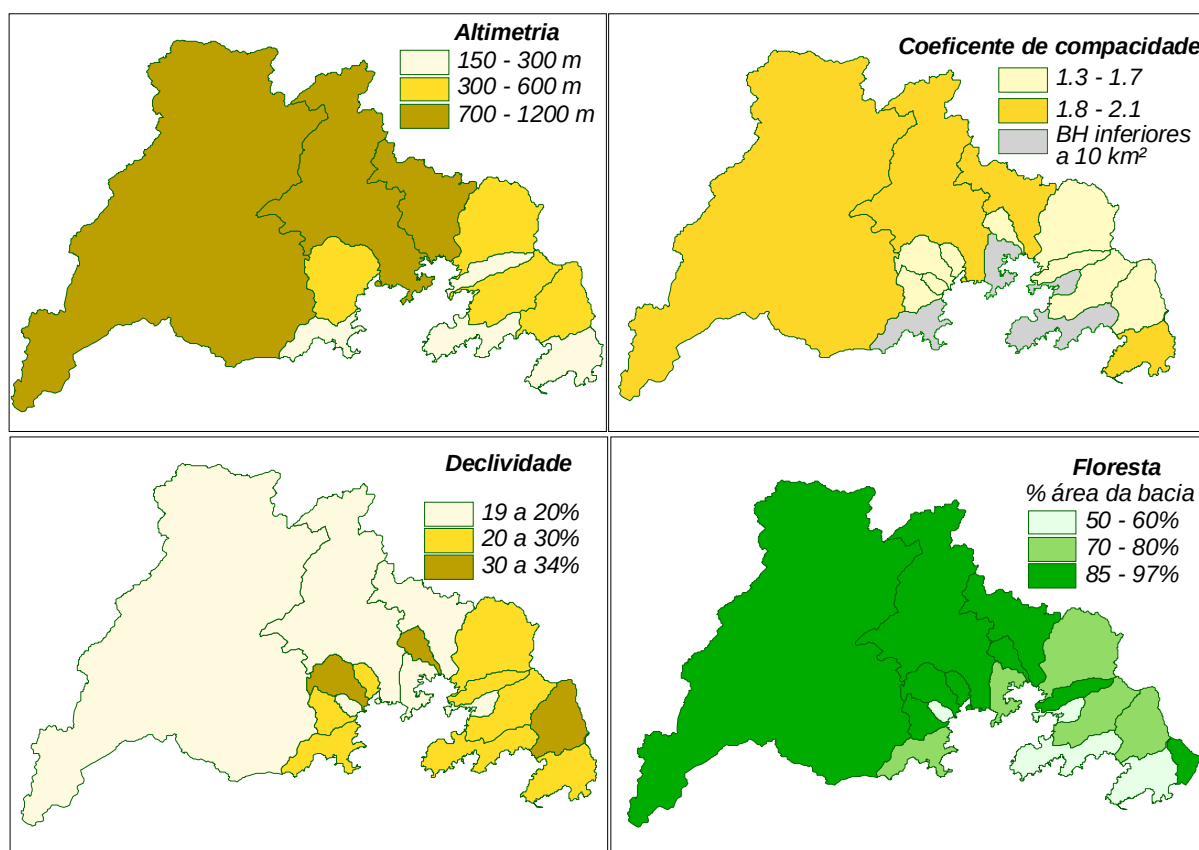


Figura 4.5: Características morfométricas e fisiográficas das bacias hidrográficas que atravessam a faixa continental de Angra dos Reis.

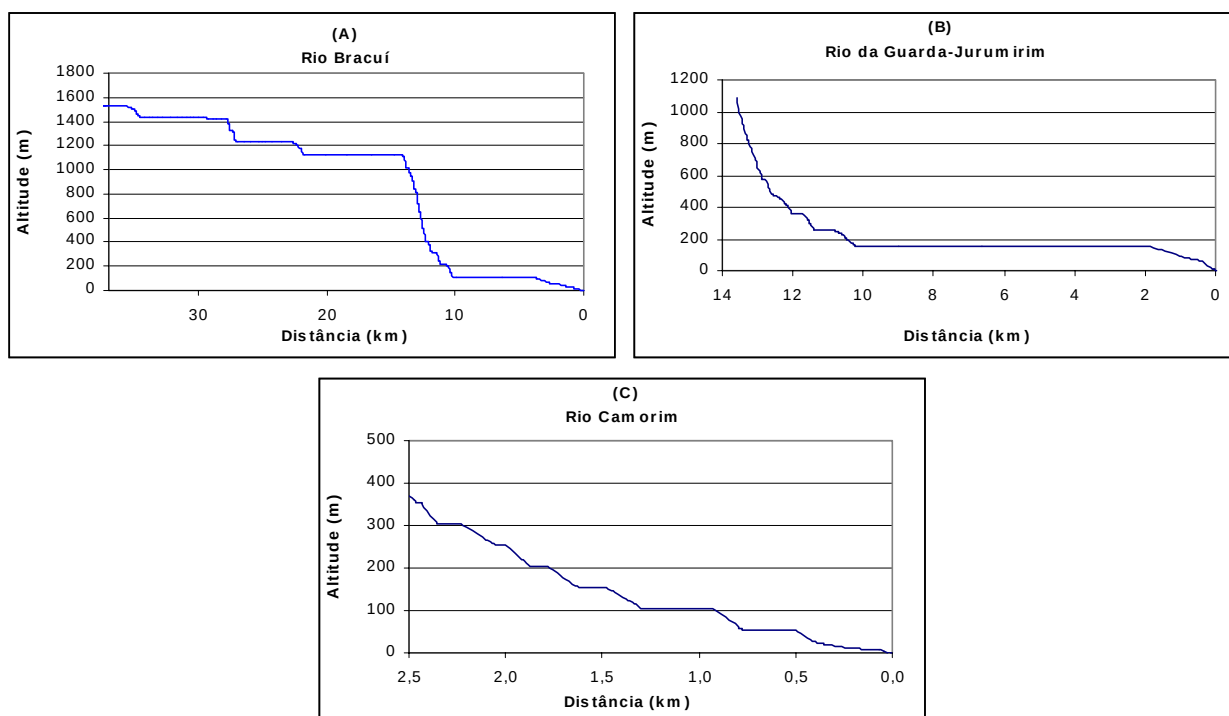


Figura 4.6: Perfil longitudinal de rios típicos que cortam a faixa continental de Angra dos Reis.

4.2 REGIME PLUVIOMÉTRICO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DA BAÍA DE ILHA GRANDE

A topografia e o recorte do litoral são os principais fatores que influenciam a irregularidade espacial das chuvas na área em estudo (Fig. 4.7). Os locais que apresentam maior pluviosidade estão situados junto ao litoral, pois as frentes polares, quando chegam à região, são barradas pelo relevo, provocando assim chuvas orográficas, como ocorre no litoral de São Paulo e na região do Bracuí (respectivamente, local A e B, Fig. 4.7), onde o índice anual de chuvas atinge 2.300 mm.

Porém, caso haja uma barreira topográfica em frente ao litoral do continente, a área litorânea pode apresentar índices mais modestos, abaixo de 2.000 mm, como ocorre na área continental no reverso da Ilha Grande (local C). Caso semelhante ocorre na cidade de Parati (local D), que apresenta índice pluviométrico anual de cerca de 1.600 mm, pois encontra-se rodeada por uma cadeia de montanhas.

A região do planalto (local E), localizada no reverso da Serra do Mar, com altitudes superiores a 1.000 m, apresenta os menores índices pluviométricos da área em estudo, entre 1800 e 1.300 mm. Isto ocorre porque as frentes polares atingem esta área com menos umidade.

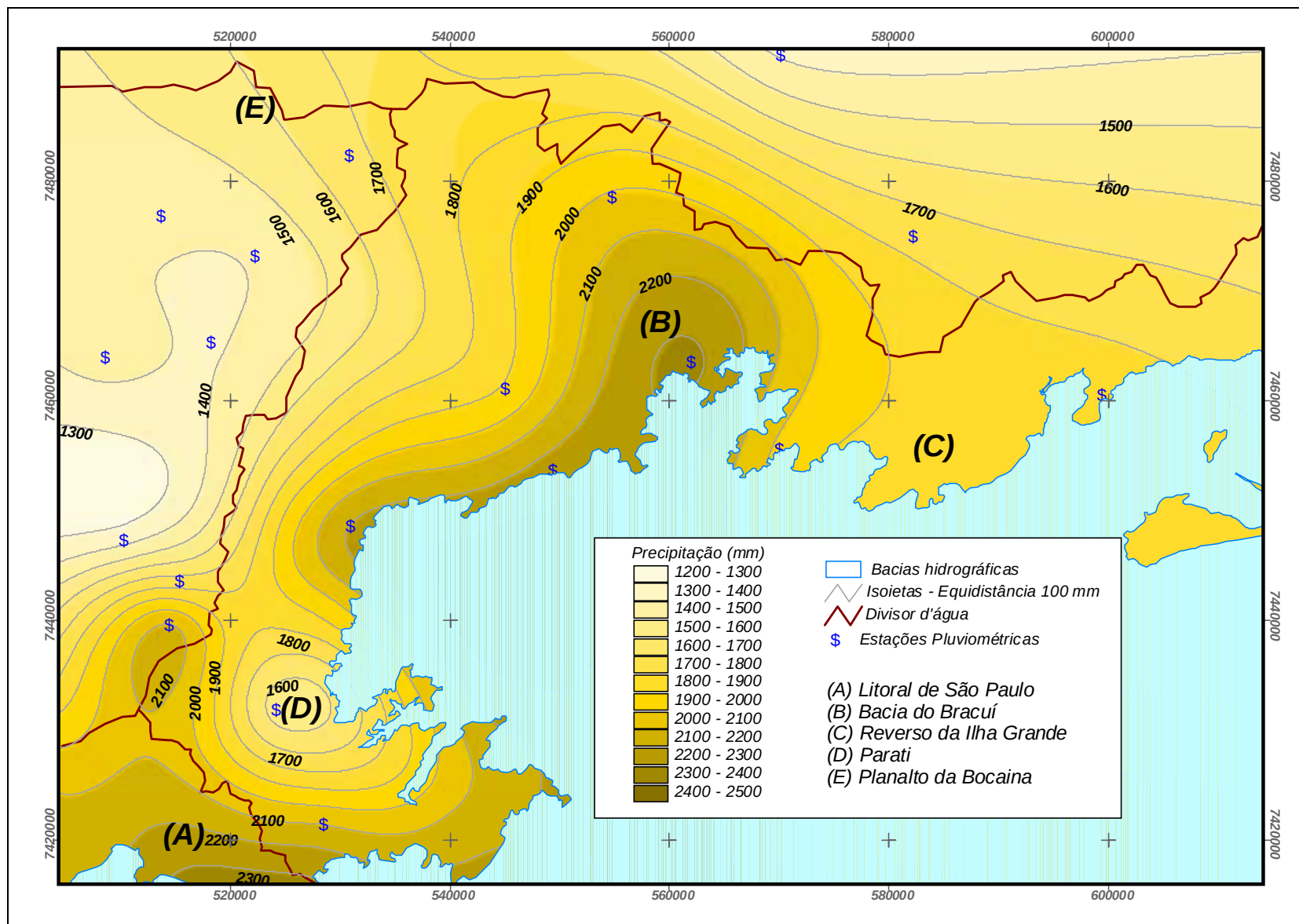


Figura 4.7: Total pluviométrico anual da bacia de drenagem contribuinte à baía da Ilha Grande.

Deve-se destacar a estação Bocaina, localizada também no planalto, com índice pluviométrico anual de 2.000 mm, destoando das estações localizadas nesta região. A presença desta estação permitiu a identificação de índice pluviométrico mais elevado avançando para o interior da bacia do rio Bracuí. Esta bacia apresenta maior vazão específica, 60 L.s/km², entre outras analisadas na região em estudo, que apresentam valores entre 35 e 55 L.s/km², o que pode ser explicado pelo avanço das chuvas para o interior da bacia, possivelmente em função da inexistência de uma barreira topográfica.

Na área em estudo não há estação seca, porém os meses de outubro a março concentram 70% do índice pluviométrico anual. Nos postos pluviométricos localizados no litoral, as chuvas tendem a apresentar uma melhor distribuição anual, ou seja, o índice de chuvas no período abril a setembro representa entre 30 a 40% do total anual, enquanto, para os postos localizados no planalto, este valor reduz para 20 a 30% (Fig. 4.8).

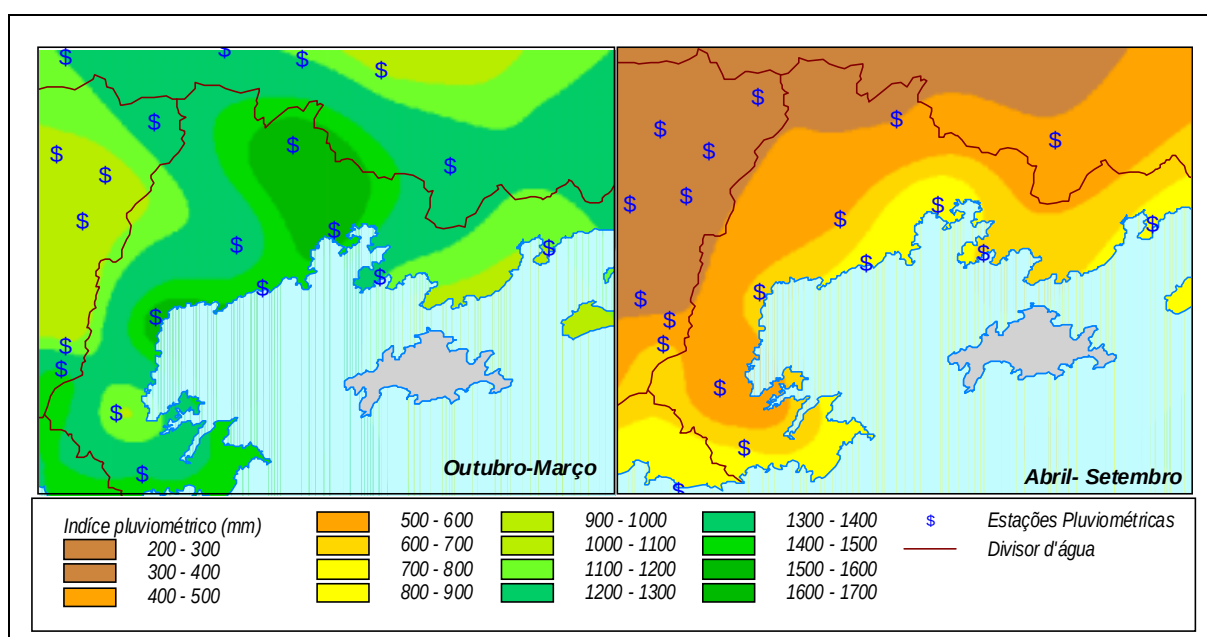


Fig. 4.8: Isoietas da estação chuvosa e menos chuvosa da bacia de drenagem contribuinte à baía da Ilha Grande.

4.3 ASPECTOS DEMOGRÁFICOS DE ANGRA DOS REIS

4.3.1 Histórico da ocupação do território angrense

Se, por um lado, a fisiografia de Angra do Reis, espremida entre a Serra do Mar e a baía de Ilha Grande, dificultou a ocupação do seu território, por outro, a localização e o litoral recortado por reentrâncias e pontões fizeram-na participar, desde o início, da colonização e dos principais ciclos econômicos do país. As características naturais propiciaram a instalação

do porto nesta região e este serviu de escoadouro das riquezas produzidas em solo brasileiro, e de porta de entrada para o tráfico negreiro.

No século XVII e XVIII, a lavoura canavieira desenvolveu-se nas planícies litorâneas de Angra dos Reis. Durante o ciclo do ouro, a incorporação de Angra dos Reis à atividade mineradora deu-se com o escoamento dos metais preciosos para o porto do Rio de Janeiro ou direto para a metrópole. Mas foi a lavoura cafeeira que tornou este porto o segundo maior do Brasil meridional em meados do século XIX (MONTEIRO *apud* BERTONCELLO, 1992)¹. Com a expansão do café para o Vale do Paraíba, a produção passou a ser escoada através do melhor caminho para atravessar a serra e chegar ao litoral, via Rio Claro e vale do rio Pirai (LAMEGO, 1950). Devido às chuvas intensas e à instabilidade dos solos, a cafeicultura de Angra dos Reis não foi muito produtiva (DRUMOND *apud* BRAGA, 2001)², correspondendo a 5 e 10% do total do café na província.

A partir da segunda metade do século XIX, a economia de Angra dos Reis entrou em estagnação. O declínio da cafeicultura no território fluminense, a construção da estrada de ferro Pedro II, em 1864, que ligou São Paulo ao Rio de Janeiro diretamente pelo vale do Paraíba, e a abolição da escravatura foram os principais fatores que levaram à decadência. O porto de Angra dos Reis perdeu as funções de importador de escravos e exportador de café (BERTONCELLO, 1992).

Com a desorganização da produção cafeeira, as fazendas desestruturaram-se e os grandes fazendeiros abandonaram as terras. Os libertos transformaram-se em posseiros voltados para agricultura de subsistência, porém a estrutura fundiária permaneceu concentrada nas mãos dos antigos fazendeiros. Esta situação perpetuou-se até as últimas décadas, quando, com a valorização das terras devido à atividade turística, houve a expropriação definitiva dos antigos posseiros.

Até as primeiras décadas do século XX, a economia de Angra dos Reis era baseada na agricultura de subsistência, na pesca e na plantação de banana. A agricultura de subsistência e a bananicultura desenvolviam-se nas terras abandonadas pela cafeicultura. Na Ilha Grande, concentravam-se as indústrias pesqueiras.

Este quadro começou a se modificar com a construção da ferrovia que ligava o Vale do Paraíba ao porto de Angra dos Reis, e com o reaparelhamento do porto, no final da década

¹ MONTEIRO, C. A. de F. Guia de Excursão a Angra dos Reis. Anuário Geográfico do Estado do Rio de Janeiro, 1954. 7:121-133p.

² DRUMMOND, José Augusto. Devastação e Preservação Ambiental no Rio de Janeiro. Niterói: EDUFF, 1997.

do porto, no final da década de 20. Na década de 40, foi construída a primeira rodovia ligando Angra dos Reis a outros municípios, a atual RJ-155, que acompanha o trajeto da linha férrea. Porém, foi a partir da década de 50, com a instalação de uma série de empreendimentos, que no espaço angrense começaram a se estabelecer os contornos da ocupação atual.

4.3.2 Evolução demográfica em Angra dos Reis

A partir da década de 50, a população do município de Angra dos Reis passou a crescer a uma taxa superior a 3% a.a., em função da implantação de novos e grandes empreendimentos desde os anos 50. Deste período aos dias atuais, a população municipal passou de 12,7 mil para 114 mil habitantes.

No final da década de 50, foi instalado o estaleiro Verolme, no distrito de Jacuecanga, aproveitando-se de uma série de vantagens instituídas pelo governo federal com objetivo de estimular o desenvolvimento industrial no país. Nessa década, a taxa anual de crescimento foi de 3,8% na faixa continental de Angra dos Reis, enquanto, na década anterior, esta taxa foi de apenas 1,1%. O maior crescimento aconteceu no distrito-sede, com taxa de 6,1% a.a. (Fig. 4.9).

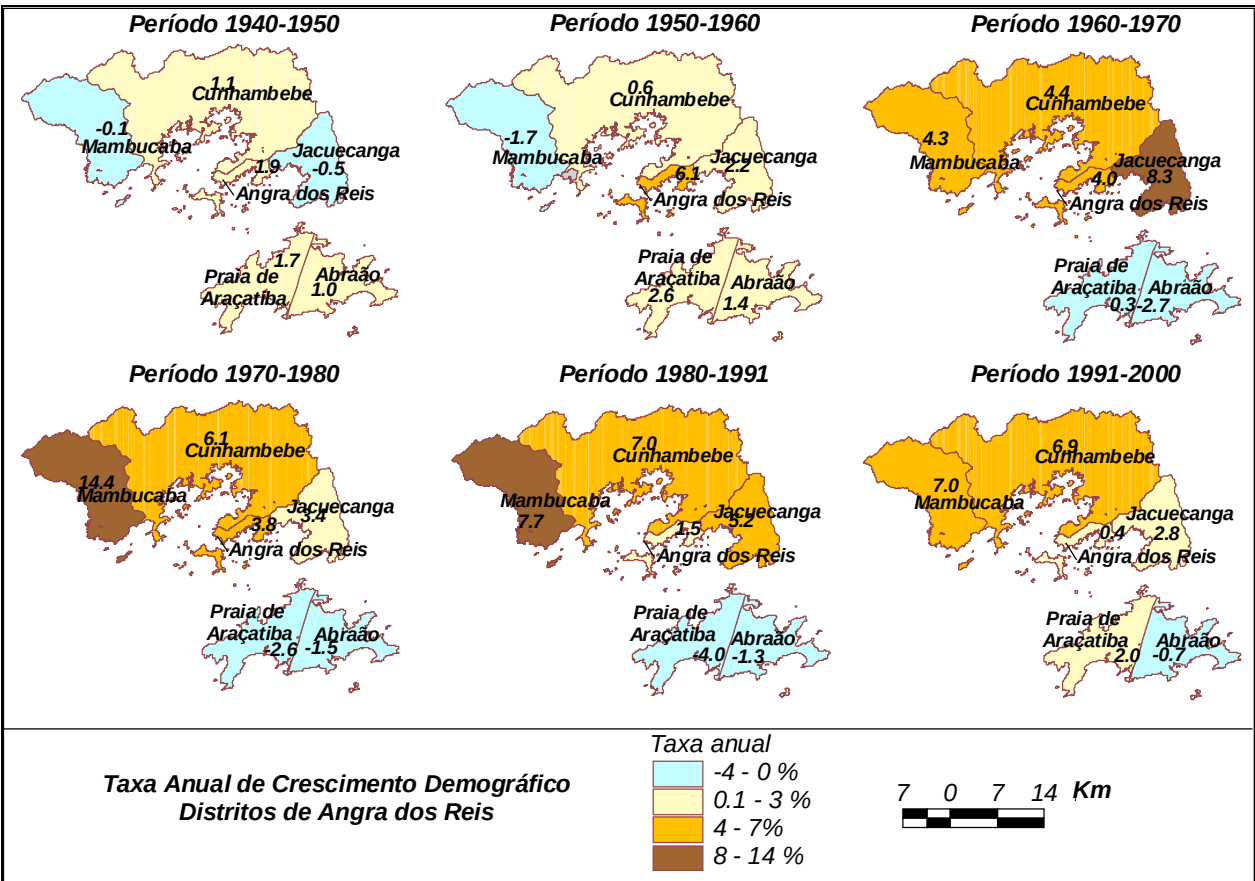


Figura 4.9: Taxa de crescimento demográfico por distritos, município de Angra dos Reis.

Nos anos 60, durante a construção do estaleiro, o distrito de Jacuecanga apresentou seu maior crescimento demográfico, com taxa anual de crescimento demográfico de 8,7%. Nessa década, os outros distritos também apresentaram crescimento populacional acima de 4%, com exceção dos distritos localizados na Ilha Grande - Praia de Araçatiba e Abraão - que tiveram taxas de crescimento negativas. O decréscimo populacional estava relacionado ao declínio da indústria pesqueira, que tivera seu auge entre os anos de 1940 e 1960.

Na década de 70, três novos projetos foram implantados em Angra dos Reis. No início do decênio iniciou-se a construção da Rio-Santos, BR-101, rodovia que fez a integração do município à capital do estado, bem como aos outros estados litorâneos brasileiros. Também propiciava a comunicação interna, pois até então não havia estrada pavimentada que atravessasse toda a faixa continental e interligasse os distritos à sede do município.

A construção da rodovia trouxe várias modificações no espaço angrense. Entre elas merece destaque a expansão da atividade turística. Até a década de 70, o turismo era praticamente inexistente nesta região do estado, consistindo em passeios de final de semana, em algumas residências de veranistas (BENHAMOU, 1971).

A expansão do turismo local resultou também da implementação da política nacional de desenvolvimento da atividade turística. Em 1972, foi elaborado o Projeto Turis a pedido da EMBRATUR, visando levantar e avaliar as possibilidades e as vocações turísticas do litoral entre o Rio de Janeiro e Santos. Investimentos relacionados ao turismo expandiram-se, beneficiando-se dos fundos e subsídios disponíveis. Esta expansão fez-se às custas de conflitos de terra: nos anos 70, 25% dos conflitos de terra registrados no estado ocorreram em Angra dos Reis (GUIMARÃES & ABICALIL, 1990).

Outro empreendimento implantado durante a década de 70 foi o terminal marítimo da Petrobras, TEBIG, construído no distrito de Jacuecanga e inaugurado em 1977. A profundidade da baía e a posição em relação às refinarias de Duque de Caxias (REDUC, RJ) e de Gabriel Passos (REGAP, MG), facilitaram a escolha de Angra dos Reis para a implantação deste projeto.

Por fim, a instalação das usinas nucleares foi o terceiro grande empreendimento em Angra dos Reis durante os anos 70. A construção da usina Angra I teve início em 1972 e a operação comercial iniciou-se em 1985. As obras de Angra II foram iniciadas em 1976, e o fornecimento de energia ao sistema elétrico passou a ocorrer a partir de 2000 (ELETRONUCLEAR, 2003).

Durante os anos 70, a taxa média anual de crescimento demográfico na faixa continental de Angra dos Reis foi de 4,7%. Todos os distritos apresentaram taxa superior a

3% a.a., com exceção dos distritos localizados na Ilha Grande cuja taxas continuaram negativas. Os distritos que apresentaram maiores taxas foram Mambucaba, 14,7%, e Cunhambebe, 6,6%, distritos que até então não apresentavam comunicação com os outros por estrada pavimentada e próximos à instalação das usinas nucleares.

Calcula-se que, no pico da fase de construção das usinas nucleares, cerca de 10 mil pessoas foram empregadas, enquanto a população do município era próxima a 50 mil habitantes. No final da construção, parte do contingente desses trabalhadores passou a residir no município, com o surgimento de novos bairros com infra-estrutura deficiente e uma ocupação desordenada (GUIMARÃES & ABICALIL, 1990).

Nas décadas de 80 e 90, o crescimento demográfico continuou elevado na faixa continental do município, com taxa média anual de 4,6% e 3,9%, respectivamente. Os distritos de Mambucaba e Cunhambebe continuaram apresentando as mais elevadas taxas, acima de 7% a.a.. Jacuecanga apresentou um crescimento elevado nos anos 80, possivelmente, devido à recente inauguração do terminal da Petrobras. Nesse mesmo período, o distrito-sede passou a apresentar as menores taxas de crescimento, atingindo uma estagnação demográfica nos anos 90 com taxa de 0,4% a.a. Este resultado pode ser fruto do esgotamento de áreas propícias à ocupação urbana, aliado a uma política de controle do uso do solo desencadeada pelo Plano Diretor que limita a ocupação de encostas acima da cota de 60 m.

4.3.3 Tendências demográficas em Angra dos Reis

Angra dos Reis faz parte de um conjunto de municípios fluminenses, localizados fora da RMRJ, que apresentam população acima de 100 mil habitantes, correspondendo a 13% da população fluminense, enquanto 76% da população concentram-se na RMRJ (Fig. 4.10).

Nas últimas décadas, verificou-se uma relativa descentralização da população fluminense, quando as taxas de crescimento demográfico da RMRJ passaram a ser as menores do estado (Fig.4.11). No Brasil, também foi observado um crescimento maior nos municípios de porte médio. Na década de 90, 67% dos municípios brasileiros apresentaram taxas negativas de crescimento, porém os municípios com população entre 100 e 500 mil habitantes tiveram crescimento de 3,0% a.a., enquanto os municípios das capitais do Sudeste tiveram taxa de crescimento de apenas 0,88% (IBGE, 2002a).

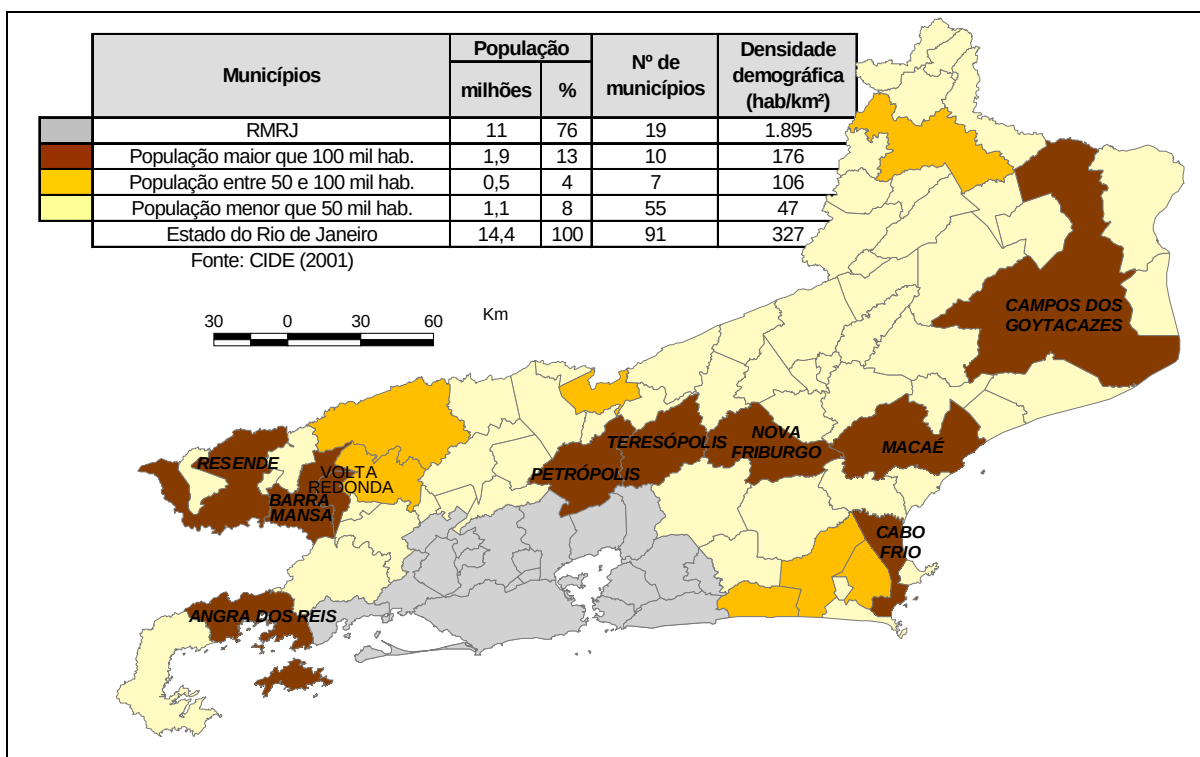


Figura 4.10: Distribuição da população no estado do Rio de Janeiro.

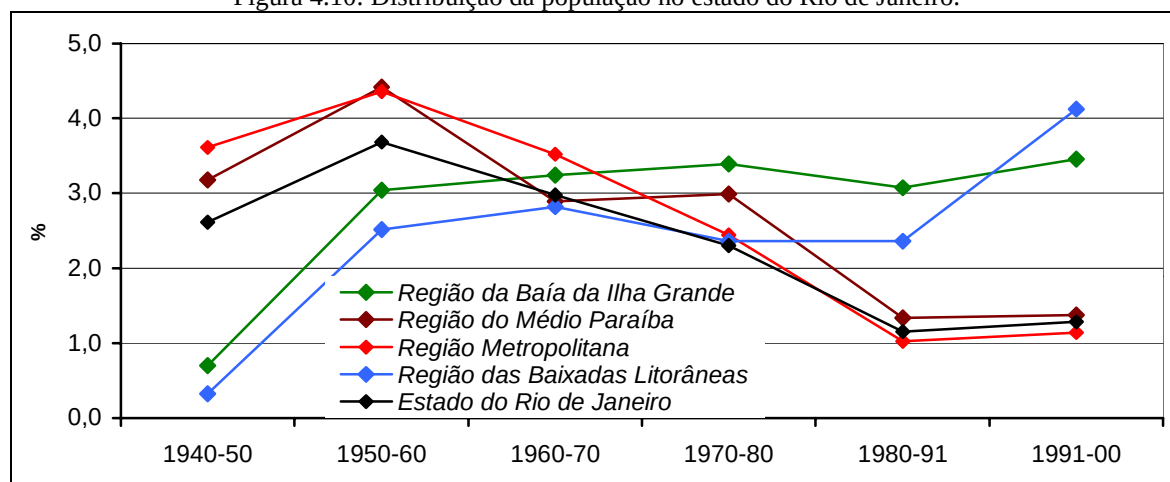


Figura 4.11: Taxa média geométrica de crescimento demográfico das regiões de planejamento do estado do Rio de Janeiro. Fonte: CIDE (2001)

Até a década de 60, a RMRJ apresentava as maiores taxas de crescimento demográfico, atingindo um pico de 4,5% a.a. nos anos 50. No entanto, nas duas últimas décadas, a região metropolitana passou a apresentar as menores taxas do estado, enquanto destacam-se o crescimento da região das Baixadas Litorâneas e da baía da Ilha Grande, com taxas acima de 3% a.a..

Uma pesquisa realizada pela Prefeitura Municipal de Angra dos Reis (PMAR), em 1999, nos bairros de Parque Mambucaba e Boa Vista, que consistiu na aplicação de 667 questionários, representando cerca de 30% da população residente destes bairros, revelou que 78% dos entrevistados residem no município a menos de cinco anos, sendo que a metade

estão na região a menos de dois anos. O motivo de fixação de residência no local, para 57% dos entrevistados, foi a busca de emprego, já 17% se mudaram devido à atração das amenidades locais.(ALVES, 2000).

Comparando as taxas de crescimento da faixa continental das seis últimas décadas, verifica-se que depois do pico de crescimento na década de 1960, iniciou-se uma queda gradual, que aumentou na última década, quando a queda resultou em taxa próxima ao valor da década de 50 (Fig. 4.12).

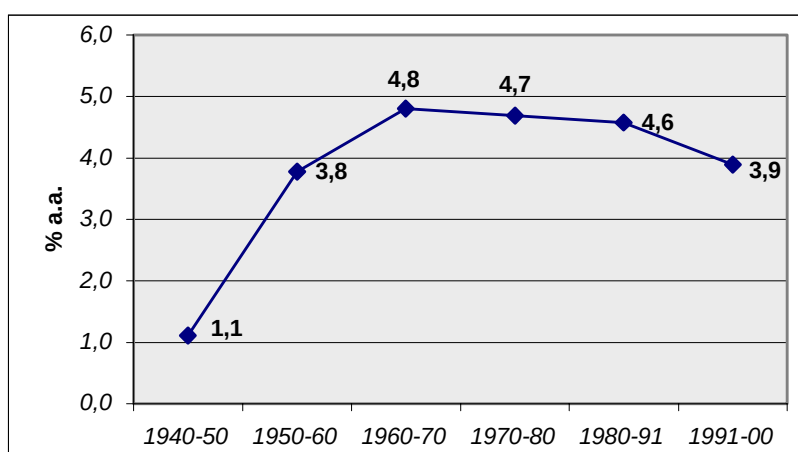


Figura 4.12: Evolução da população da faixa continental do município de Angra dos Reis.

As perspectivas das principais atividades econômicas presentes no município apontam para um cenário de crescimento positivo. São elas:

- Retomada do crescimento da indústria naval – O estado do Rio de Janeiro é responsável por 95% da produção da indústria naval brasileira, concentrando os cinco maiores estaleiros do país nas cidades do Rio de Janeiro, Niterói e Angra dos Reis (DIEESE, 1998). A capacidade do parque de construção naval instalado, em 1998, correspondia a 5% da capacidade mundial de construção. Entre as cinco maiores indústrias brasileiras está o estaleiro Verolme, atualmente denominado Brasfels, após a formação de uma *joint venture* entre a empresa paulista, a *Pem Steel*, e a *Keppel Fels*, maior empresa estatal de construção naval de Cingapura (REVISTA PETRO E QUÍMICA, 2002). O apogeu da indústria naval brasileira ocorreu durante os anos 70, porém em meados dos anos 80, iniciou-se o período de decadência. A estagnação do setor de construção naval manteve-se durante toda a década de 1990, gerando milhares de desempregados e estaleiros desativados. O antigo estaleiro Verolme chegou a estar fechado durante cerca de 4 anos, entre 1996 e 2000, voltando às suas atividades em agosto deste ano. A partir do final dos anos 90, a recuperação da indústria naval é um fato decorrente do aquecimento do setor petrolífero e, principalmente, da adoção de políticas públicas.

- Construção da usina nuclear Angra III – Com a crise de energia voltou à cena a alternativa de construção de Angra III. O Plano Decenal de Expansão do Setor Elétrico prevê para 2009 o início do aproveitamento de energia gerada pela nova usina. Grande parte do suprimento de equipamentos importados já está armazenada no local, porém o prosseguimento das obras depende de decisão do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). Com o funcionamento de Angra III, as usinas instaladas em Angra dos Reis passarão a produzir 50% da energia consumida no estado do Rio de Janeiro (ELETRONUCLEAR, 2003). Em dezembro de 2001, a Resolução n.º 5, do CNPE, resolveu retomar as ações relativas à usina de Angra III, porém a decisão final dependerá de nova resolução do CNPE. Caso não sejam feitos novos investimentos no Brasil no setor elétrico, em 2006 o país passará por uma nova crise de abastecimento de energia elétrica, como ocorreu no ano de 2001, de acordo com a Ministra de Minas e Energia, Dilma Rousseff, e de 77% de 150 executivos consultados em uma pesquisa da Associação Brasileira de Infra-estrutura e das Indústrias de Base (ABDIB). Para o então presidente da ELETROBRAS, Luiz Pinguelli Rosa, se o ritmo de crescimento for o que o presidente Lula deseja, pode até haver risco de falta de energia antes do esperado (ELÉTRICA, 2003).

- Apoio *offshore* na extração de petróleo na bacia de Santos – O porto de Angra dos Reis está entre os dez menores portos brasileiros em relação à movimentação de cargas e não apresenta potencialidades para expansão, pois está localizado dentro da cidade de Angra dos Reis, não possuindo retro-área, além de estar a menos de 300 km dos mais importantes portos do Brasil: Sepetiba, Santos e Rio de Janeiro. Porém, as perspectivas são otimistas, de acordo com as informações prestadas pelo gerente do porto (informação verbal)³, devido a: (1) nova diretriz para os transportes no governo Lula, com estímulo ao transporte ferroviário e hidroviário, podendo levar ao aumento do transporte de cabotagem; (2) assinatura de um acordo entre a arrendatária do porto e a PETROBRAS para prestação de serviços, como o apoio *offshore* na exploração de petróleo, por conta da descoberta de reserva de petróleo na bacia de Santos, próximo à Ilha Grande; e (3) projeto de construção da marina de São Bento para revitalização da orla da cidade e a construção de um cais para receber navios turísticos. O TEBIG, responsável pelo fluxo de petróleo cru e seus derivados, na década de 90 (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2003), ficou entre os dez portos brasileiros com maior movimentação, e certamente desempenhará um papel importante na extração de petróleo nesta região. O município de Rio das Ostras, localizado na área de influência da bacia de

³ Informações fornecidas por Francisco José, Gerente do Porto de Angra dos Reis, em agosto de 2003.

Campos, na última década, apresentou crescimento demográfico de 8,7% a.a., segundo município com maior taxa do estado (CIDE, 2002).

4.4 ASPECTOS SOBRE O USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DE ANGRA DOS REIS

Como o relevo de Angra dos Reis é um dos fatores que influencia na configuração do uso e cobertura do solo na escala do trabalho, a declividade do terreno participou da análise através do cruzamento entre os mapas de declividade e de uso e cobertura do solo.

Predominam escarpas muito íngremes, de difícil ocupação, onde cerca de 60% da faixa continental apresentam declives superiores a 30% e, apenas, 12% da área em estudo correspondem às planícies costeiras (Fig. 4.13).

Atualmente, depois de passar por vários ciclos econômicos, a Floresta Ombrófila corresponde a 82% da faixa continental do município de Angra dos Reis (Fig. 4.14), representando o segundo município com maior cobertura florestal do estado, após a vizinha Parati (CIDE, 2003).

A Floresta Ombrófila de Terras Baixas, que representa 3% da faixa continental, por situar-se em menores altitudes e em áreas mais acessíveis, apresenta-se mais degradada, e em diferentes estágios de sucessão, inclusive com a presença de espécies exóticas, resquícios de antigos reflorestamentos, conforme constatado em trabalho de campo.

Os Manguezais são encontrados em apenas 1% da faixa continental, correspondendo a 9% das planícies e concentrando-se na foz dos rios Jurumirim, Bracuí, Mambucaba, Japuíba e nas proximidades da Ilha Comprida. Verifica-se que a expansão urbana vem destruindo esta formação vegetal, fato constatado no bairro de Japuíba, que já perdeu 40% da sua área original desde a década de 1960 (OLIVEIRA, 2002).

A Floresta Ombrófila Montana e a Submontana estão situadas em altitudes mais altas e em encostas com declive superior a 30%, o que levou a sua preservação até os dias atuais (Tab. 4.1).

Tabela 4.1: Cruzamento entre o mapa de uso e cobertura do solo e o mapa de declividade.

Declividade X Uso e Cobertura do Solo	Área das Planícies	Área com declividade > 30%
Floresta Ombrófila	47%	90%
Campo Antrópico	33%	9%
Urbano	20%	1%
Total	100%	100%

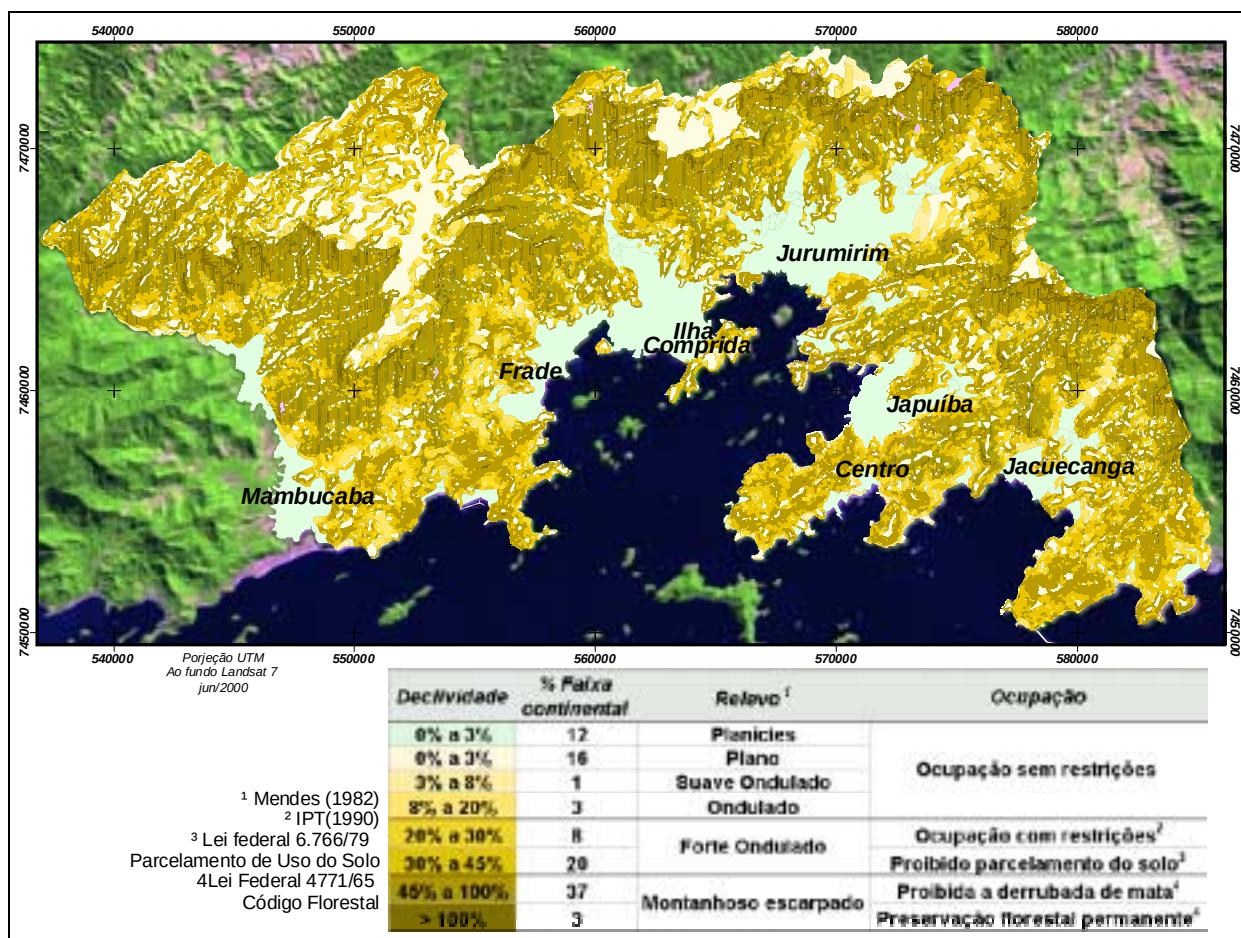


Figura 4.13: Declividade da faixa continental de Angra dos Reis.

O Campo Antrópico, que corresponde a 13% da faixa continental, pode ser interpretado como um indicador de degradação da cobertura vegetal original, pois corresponde às áreas que foram desmatadas durante os vários ciclos econômicos, e que ainda não se recuperaram. Nas planícies, concentram-se as grandes manchas de desmatamentos, representando 33% da sua área total desta classe de relevo (Tab. 4.1), enquanto as encostas apresentam pequenas manchas, correspondendo a sítios, clareiras ao longo da ferrovia e da rodovia RJ-157 e, inclusive, cicatrizes de movimentos de massa.

As áreas onde a floresta encontra-se mais fragmentada situam-se a leste da faixa continental e correspondem à bacia do rio Jacuecanga, aos maciços costeiros próximos ao estaleiro BRASFELS e ao TEBIG, à bacia do rio Japuíba e à bacia do Jurumirim.

As áreas construídas, correspondentes ao uso urbano, industrial e institucional, e os condomínios e os hotéis, representam 4% da faixa continental. As áreas urbanas estão situadas próximas aos grandes empreendimentos econômicos. Os vetores econômicos associados à conformação do território do município, alongado e com as áreas planas pouco extensas e comprimidas entre a baía e a serra, facilitam que a expansão urbana ocorra em núcleos não contíguos, ao longo da BR-101.

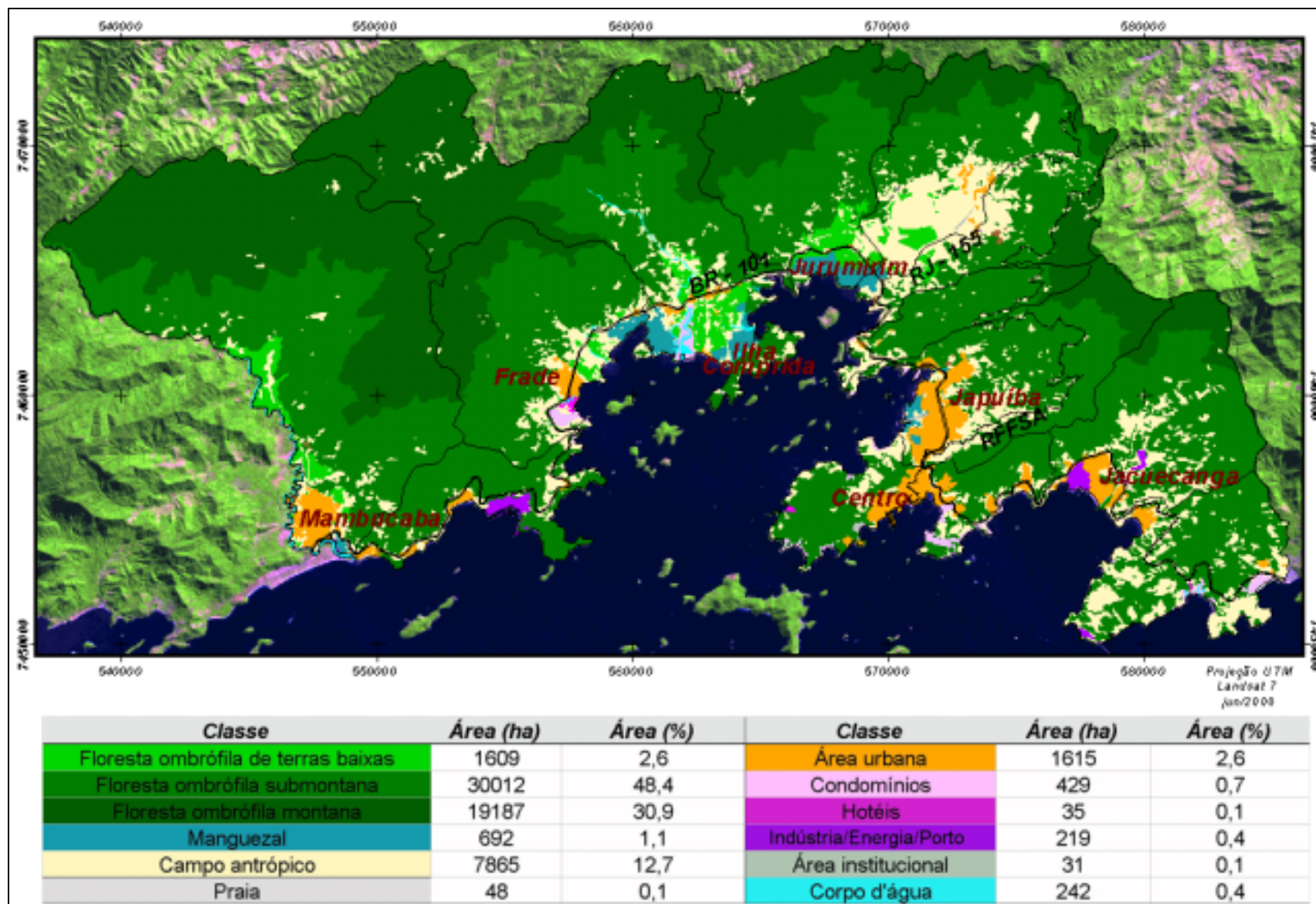


Figura 4.14: Mapa de uso e cobertura do solo da faixa continental de Angra dos Reis.

As áreas construídas ocupam cerca de 20% das planícies (Tab. 4.1), destacando-se as áreas urbanas de Japuíba, Mambucaba, Jacuecanga e Frade. Os 80% restantes das planícies encontram-se cobertas por vegetação arbórea-arbustiva ou por campos antrópicos. Com o avanço da expansão urbana, as planícies tornam-se cada vez mais valorizadas, e inacessíveis à população residente, influenciando na expansão urbana para as encostas. Atualmente, cerca de $\frac{1}{4}$ da área urbana encontra-se localizada em encostas com declividade acima de 30%, o que corresponde a 1% desta faixa de declividade, conforme verificado na Tabela 4.1.

A atividade turística é outro fator que exerce forte influência na ocupação do solo. Os hotéis e condomínios, que representam cerca de 1% da área da faixa continental, tendem a se localizar na orla marítima, entre a Rio-Santos e o litoral, enquanto a população residente se localiza ao longo desta rodovia, mais distante do litoral.

A população residente, devido à grande valorização da terra, ocupa as áreas com restrições à ocupação, as encostas e áreas inundáveis, gerando um processo de favelização que tende a se expandir, pois as áreas desocupadas, nas planícies, concentradas nas mãos de poucos proprietários, tenderão a ser utilizadas para a construção de empreendimentos turísticos, conforme prevê o novo Plano Diretor em estudo.

4.4.1 Restrições legais ao uso e ocupação do solo em Angra dos Reis

O arcabouço legal que se refere, diretamente ou indiretamente, ao uso e ocupação do solo é extenso, abrangendo legislação ambiental e urbanística, definidas no âmbito federal, estadual e municipal. Ao município cabe legislar diretamente sobre uso do solo urbano, através dos Planos Diretores, que toda cidade com mais de 20 mil habitantes deve elaborar, de acordo com a Constituição Federal e o Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/01).

As particularidades ambientais apresentadas pela zona costeira, aliada à importância do patrimônio natural e paisagístico da Serra do Mar e da Mata Atlântica, características presentes em Angra dos Reis, fazem com que os instrumentos legais referentes às recomendações de uso e ocupação do solo e à proteção dos recursos naturais possam ser aplicados em seu território. O patrimônio paisagístico e natural aí presentes também propicia a implantação de Unidades de Conservação, que constituem espaços territoriais protegidos, com objetivos de conservação e preservação da natureza.

Aqui foram analisados apenas os dispositivos legais (Tab. 4.2) que, por suas características, puderam ser representados espacialmente, com objetivo de gerar um mapa de

restrições legais ao uso e ocupação do solo (Fig. 4.15) e, assim, quantificar as áreas legalmente disponíveis à ocupação urbana.

Tabela 4.2: Restrições legais ao uso e ocupação do solo na faixa continental de Angra dos Reis.

Legislação	Objetivo	Restrição ao uso	Área no M.A.R. (km²)	% Faixa continental
Decreto nº 68.172/1971 Cria o Parque Nacional da Bocaina	Preservação dos recursos naturais	Uso indireto dos recursos naturais	216	35%
Dec nº 03/07/1995 Homologa a demarcação administrativa da Terra Indígena Guarani de Bracuí	Destina-se à posse e ocupação pelos índios, onde possam viver e obter meios de subsistência, com direito ao usufruto e utilização das riquezas naturais e dos bens nelas existentes, respeitadas as restrições legais.	Aproveitamento dos recursos hídricos, incluídos os potenciais energéticos, a pesquisa e a lavra das riquezas minerais em terras indígenas só podem ser efetivados com autorização do Congresso Nacional.	22	4%
Lei 4.771/1965 Institui o Código Florestal	Preservação permanente das florestas e demais formas de vegetação natural de acordo com determinados critérios estabelecidos por esta lei.	Proibição da retirada da vegetação considerada de preservação permanente.	257	42%
Lei 6.766/1979 Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano	Sobre o parcelamento do solo urbano.	Proibição de parcelamento urbano em terrenos com declividade igual ou superior a 30%.	375	60%
Projeto de Lei 285/1999 Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica	Utilização e proteção da Mata Atlântica	O corte, a supressão e a exploração da vegetação do Bioma Mata Atlântica far-se-ão de maneira diferenciada, conforme se trate de vegetação primária ou secundária.	515	83%
Plano Diretor Município de Angra dos Reis	Instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana.	Na Zona de Preservação não são permitidas novas edificações ou parcelamento do solo.	456	74%

A região oeste da faixa continental do município encontra-se mais preservada, justamente onde estão situados o Parque Nacional da Serra da Bocaina e a Terra Indígena Guarani de Bracuí, que representam, respectivamente, 35% e 4% da faixa continental, ou seja, aproximadamente 40% do território são domínio da União.

O Parque Nacional é uma Unidade de Proteção Integral cujo objetivo básico é preservar a natureza e onde é admitido apenas o uso indireto dos recursos naturais, sendo administrado segundo seu Plano de Manejo, que estabelece o zoneamento e as normas que

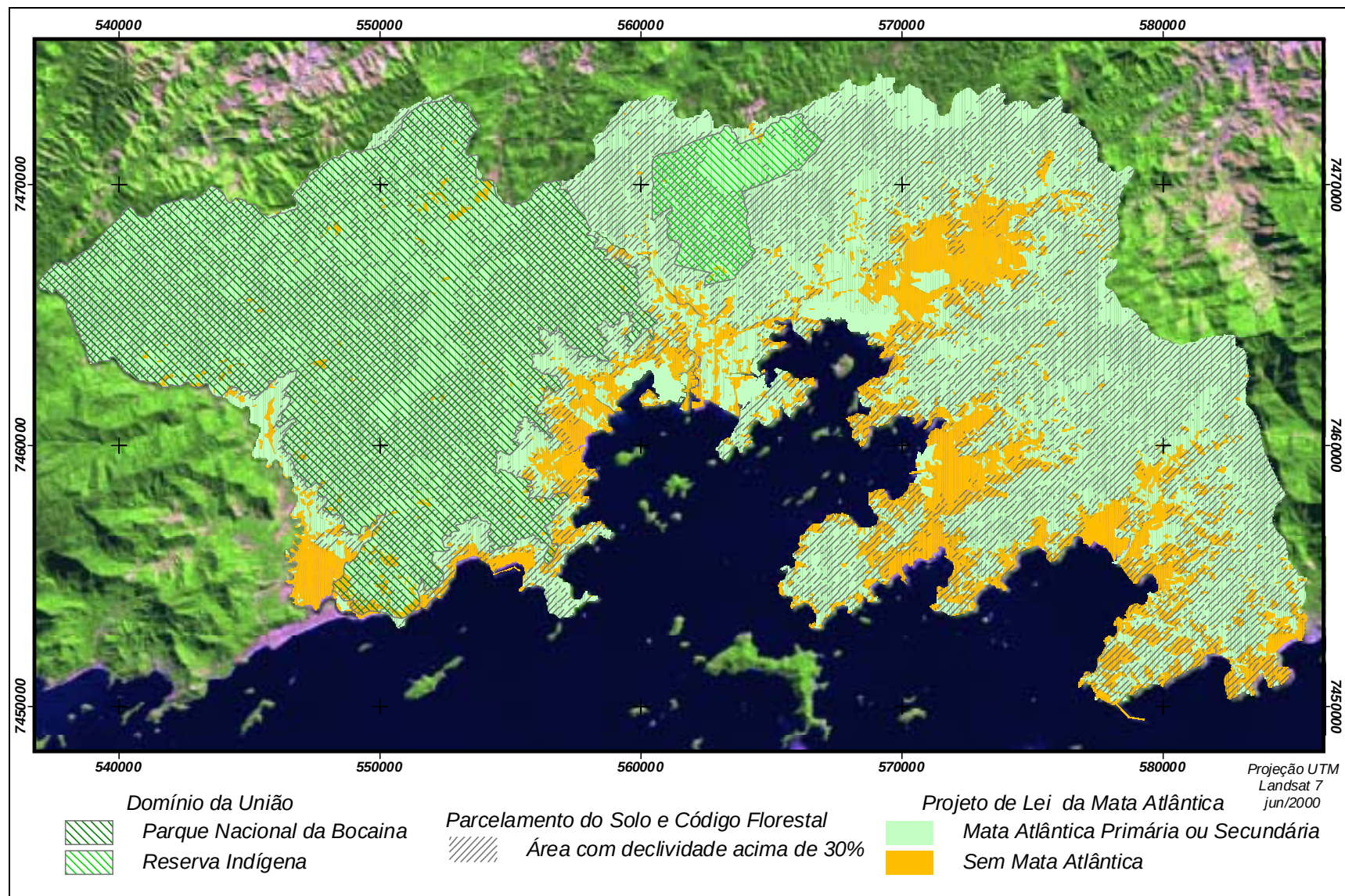


Figura 4.15: Restrições ao uso e ocupação do solo da faixa continental de Angra dos Reis.

devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, de acordo com a Lei n.º 9.985/00, que criou o Sistema Nacional de Unidades de Conservação.

A Terra Indígena Guaraní de Bracuí teve sua demarcação homologada pelo decreto de 03/07/1995. As áreas reservadas para as populações indígenas foram estabelecidas pelo Estatuto do Índio (Lei n.º 6001/73). A Constituição de 1988, no seu artigo 231, estabelece a competência da União em demarcar as terras que os índios tradicionalmente ocupam, além de protegê-las e fazer respeitar todos os seus bens. O aproveitamento dos recursos hídricos, incluídos os potenciais energéticos, a pesquisa e a lavra das riquezas minerais em terras indígenas, segundo o parágrafo 3º deste mesmo artigo, só podem ser efetivados com autorização do Congresso Nacional

O Código Florestal – Lei Federal n.º 4.771/1965, estabelece, no Art. 10, que não é permitida a derrubada de florestas situadas em áreas de inclinação entre 25º a 45º, enquanto, o Art. 2º protege as florestas e demais formas de vegetação natural considerando de preservação permanente, quando estão situadas:

- “a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d’água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será: (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)
 - 1 - de 30 (trinta) metros para os cursos d’água de menos de 10 (dez) metros de largura;
 - 2 - de 50 (cinquenta) metros para os cursos d’água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
 - ...
- b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d’água naturais ou artificiais;
- c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d’água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;
- d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;
- e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45º, equivalente a 100% na linha de maior declive;
- f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues...”

Não foram quantificadas as áreas em torno dos cursos d’água e os topos das elevações, em função da escala do trabalho e por estarem, em sua maioria, em áreas já protegidas, com exceção dos trechos dos rios que cortam as planícies. Considerando as encostas com declividade acima de 25º - aproximadamente 45% - e os manguezais, cerca de 42% do território continental angrense apresentam vegetação considerada de preservação permanente ou com proibição de serem derrubadas, segundo o Código Florestal (Tabela 4.2).

A Lei Federal n.º 6.766/1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, no seu artigo 3º, estabelece que não é permitido o parcelamento do solo em terrenos com declividade

igual ou superior a 30%. No município de Angra dos Reis, 60% da área continental tem declividade acima de 30% (Tabela 4.2).

O Projeto de Lei 285/1999, que dispõe sobre a utilização e proteção da Mata Atlântica, estabelece as condições para o corte, a supressão e a exploração da vegetação do Bioma Mata Atlântica. Para a vegetação primária ou secundária em estágio avançado, a supressão somente poderá ser autorizada em caso de utilidade pública, enquanto em estágio médio poderá ser suprimida nos casos de utilidade pública e interesse social. O corte, a supressão e a exploração da vegetação secundária em estágio inicial de regeneração serão autorizados pelo órgão estadual competente. De acordo com o mapa de uso e cobertura do solo, a vegetação primária e secundária em diferentes estágios de regeneração representam cerca de 83% da faixa continental do município de Angra dos Reis (Tabela 4.2). Devido à dificuldade de interpretação de um mapa com muitas informações, na Figura 4.15, estão representadas apenas as áreas de Mata Atlântica que não se encontram protegidas por nenhuma outra legislação.

O Plano Diretor, promulgado pela Lei nº 162/LO de 1991, estabeleceu o zoneamento do município. A Zona de Preservação foi dividida em Permanente e Congelada (Fig. 4.16). A primeira corresponde às áreas representativas dos ecossistemas regionais, onde não são permitidas quaisquer atividades. A definição da Zona de Preservação Permanente seguiu os mesmos critérios estabelecidos pelo artigo 2º do Código Florestal. Nas áreas definidas como de Preservação Congelada já ocorrem ocupações do solo, porém não são permitidas novas edificações ou parcelamento. A Zona de Preservação corresponde a 74% da faixa continental.

As zonas urbanas definidas pelo Plano Diretor são: Área Especial de Interesse Social (AEIS), Zona de Desenvolvimento Urbano (ZDU), Zona Urbana de Proteção Ambiental (ZUPA). A Lei Municipal 826/1999 criou, posteriormente, a Zona Urbana de Ocupação Controlada (ZUC). A área total das zonas urbanas corresponde a 13% da faixa continental.

Os 13% restantes da área da faixa continental podem ser utilizados com atividades agrícolas, pecuárias, extrativistas, agro-industriais e florestais, correspondendo à Zona Rural de acordo com o Plano Diretor municipal vigente.

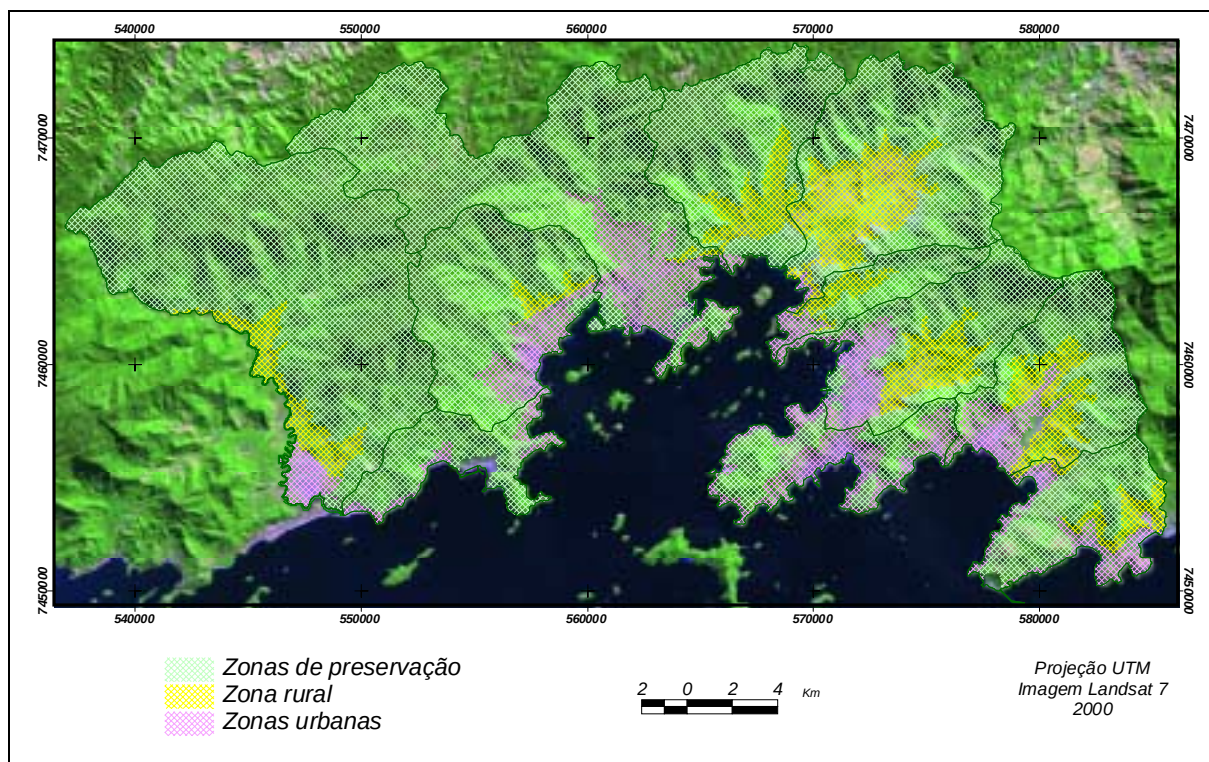


Figura 4.16: Plano Diretor em vigência. Faixa continental de Angra dos Reis.

Atualmente, está em estudo o novo Plano Diretor municipal (Fig. 4.17), elaborado com base no Estatuto da Cidade. Neste novo plano, as áreas destinadas à Zona Residencial (ZR), à Zona Especial de Interesse Social (ZEIS) e à Zona Comercial (ZC) representam 6% da faixa continental, área menor do que as zonas destinadas ao uso urbano no Plano Diretor vigente. No entanto, está prevista a criação de uma nova categoria de ocupação, a Zona de Interesse Turístico (ZIT), ocupando as áreas antes destinadas ao uso urbano e rural, correspondendo ao total de 15% da faixa continental. Esta zona está subdividida em cinco classes, de acordo com o tipo de turismo permitido no local: rural ecológico, cultural urbano, veraneio de pequeno porte, veraneio de grande porte, veraneio especial de preservação. A Zona de Interesse Ambiental de Preservação, correspondente à Zona de Preservação do plano em vigência, passa a apresentar uma área maior, correspondendo a 79%, com a incorporação de novas áreas a esta categoria, com destaque para o acréscimo da área de preservação do manguezal de Jurumirim.

Considerando a legislação até aqui analisada, verifica-se que 87% da faixa continental apresentam restrições quanto ao uso e ocupação do solo. Os 13% restantes da faixa, já excluídas as áreas de Mata Atlântica, corresponderiam às zonas urbanas e rurais, de acordo com o Plano Diretor vigente, e às zonas urbanas e turísticas, de acordo com o Plano Diretor

em estudo. Na Figura 4.15, as áreas sem restrições ao uso e ocupação do solo estão representadas em cor laranja e sem hachuras.

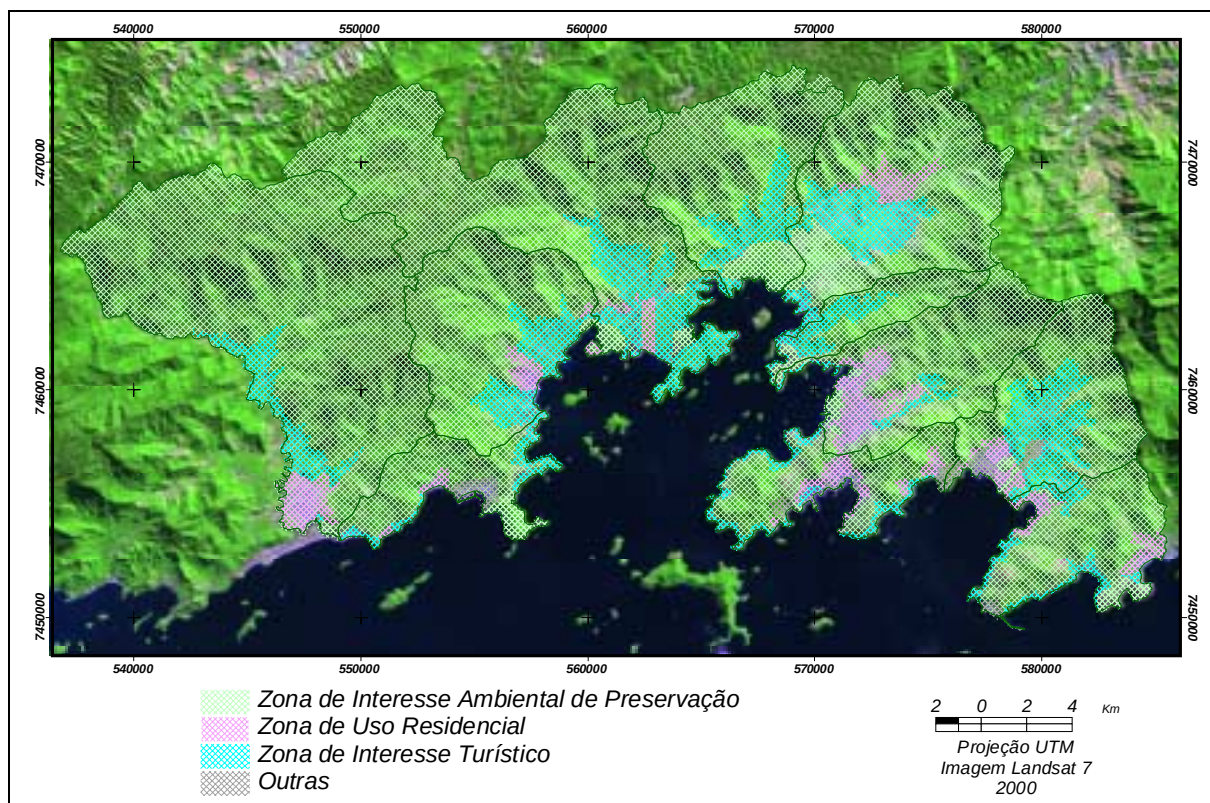


Figura 4.17: Plano Diretor em estudo. Faixa continental de Angra dos Reis

4.5 ASPECTOS SOBRE O USO DAS ÁGUAS EM ANGRA DOS REIS

O principal uso das águas fluviais é o abastecimento público. As características fisiográficas do território angrense, faixa continental alongada no sentido leste-oeste, atravessada por diversas pequenas bacias hidrográficas, que correm na direção norte-sul, e a forma de ocupação urbana, em vários bairros não contíguos, ao longo da BR-101, influenciaram na estrutura de abastecimento constituída por 57 sistemas de captação públicos além de inúmeros outros particulares, distribuídos ao longo do território angrense junto aos núcleos urbanos (Fig. 4.18).

O elevado número de unidades de captação e seu espalhamento dificultam a gestão dos sistemas, elevando os custos de tratamento e monitoramento de qualidade da água, e exigindo um quadro maior de funcionários para operação e manutenção dos sistemas. Os problemas de gestão evidenciam-se pela ocasional falta de água nos domicílios, agravada durante os finais de semana e feriados prolongados, quando o município recebe um grande fluxo de turistas.

A CEDAE começou a atuar no município a partir de 1952, com a assinatura de um convênio com a prefeitura, para exploração dos serviços de água do município. Desde o final da década de 80, com a expansão urbana desordenada de Angra dos Reis para os bairros periféricos, a CEDAE passou a não acompanhar as novas demandas, e o poder público municipal, que não exercia fiscalização da empresa, investiu na construção de pequenos sistemas de abastecimento. Até 1990, a CEDAE atendia parte da cidade de Angra dos Reis, correspondendo à área da bacia do rio do Choro e praia do Anil, através do sistema de Cabo Severino. Naquele ano, foi construída uma nova barragem para captação de água no rio Japuíba, o sistema Banqueta, para atender o restante da área do distrito sede da cidade de Angra dos Reis e da região da Grande Japuíba (COSTA, 1998; GLEIZER, 2001).

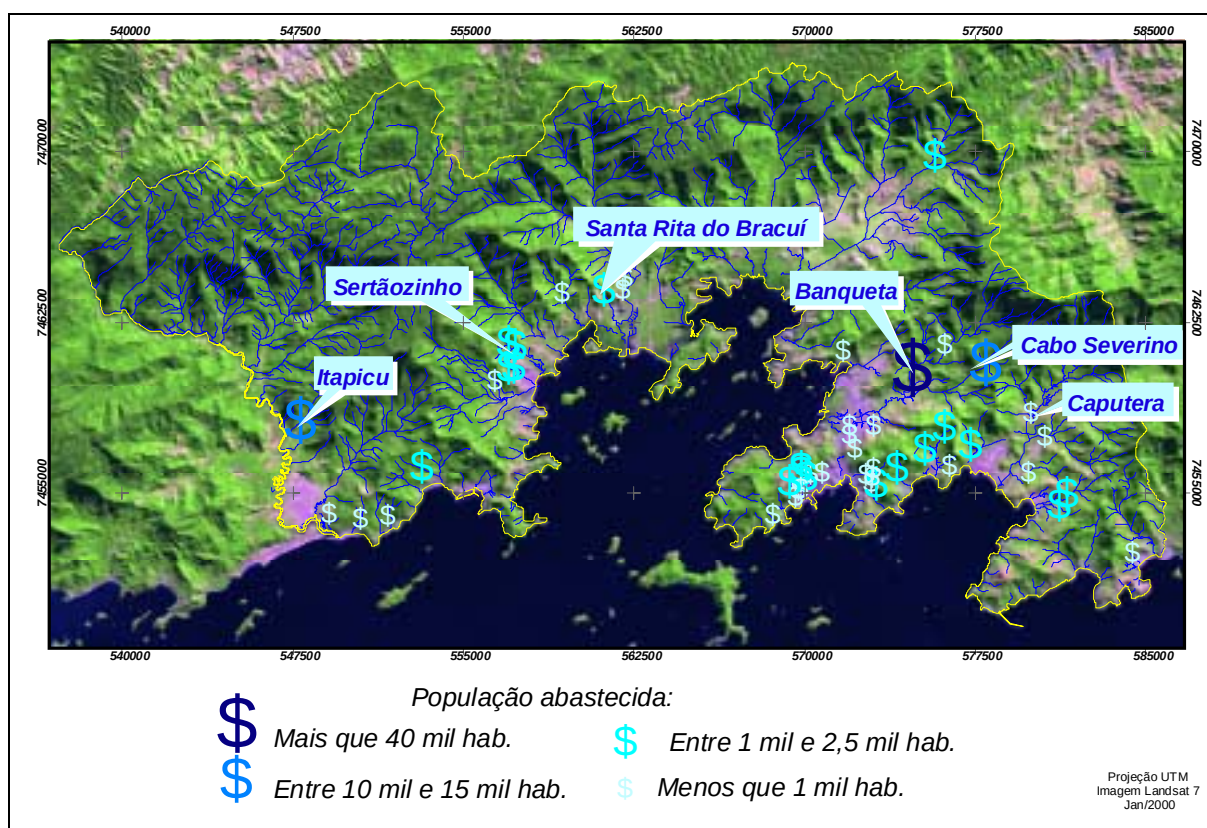


Figura 4.18: Sistemas de abastecimento de água da faixa continental de Angra dos Reis.

Fonte: Adaptado de SEMA (1997)

Atualmente, o abastecimento é feito pelo Serviço Autônomo de Águas e Esgotos (SAAE), pela CEDAE e por sistemas particulares. O SAAE, autarquia municipal criada em 2002, administra os sistemas distribuídos pelo continente e pela Ilha Grande, sendo responsável pelo abastecimento de 40% da população. A CEDAE atende cerca de 40% da população. Já 18% são atendidos por sistemas particulares, gerenciados por empresas, como a Verolme, a PETROBRAS e a ELETRONUCLEAR, ou por condomínios de residências. Os 2% restantes da população não tem acesso a água tratada (PMAR, 1999). Estes valores

colocam o município em destaque em termos de abastecimento de água no Brasil, pois a média brasileira de domicílios com serviço de abastecimento de água é de apenas 64% (IBGE, 2002).

Informações recentes do SAAE forneceram outros números para o volume de atendimento de cada uma das duas empresas (informação verbal)⁴. De acordo o cadastramento que vem sendo realizado pelo SAAE, estima-se que existam de 33 mil a 35 mil economias sendo abastecidas pelos seus sistemas, enquanto a CEDAE abasteceria cerca de 10 mil economias.

Para Gleizer (2001), o custo operacional por domicílio é muito maior para a Prefeitura, que opera 56 sistemas, do que para a CEDAE, que opera um único. Além disto, a região atendida pela CEDAE, o Centro da cidade, concentra o maior poder aquisitivo e os maiores consumidores. Já a Prefeitura atende à periferia e aos morros do Centro, onde o faturamento e arrecadação são menores, devido, também, à alta inadimplência. Acrescenta ainda, que as grandes empresas e os condomínios que administram seus sistemas particulares de abastecimento de água não possuem qualquer tipo de concessão, outorga ou permissão para operação, fazendo com que a Prefeitura não tenha qualquer controle da água distribuída aos usuários.

Em geral, os sistemas de abastecimento de água do município, tanto públicos quanto particulares, são constituídos por captação de superfície, através de pequenas barragens, adutoras em PVC, reservatórios de concreto armado e rede de distribuição em PVC. No tratamento é utilizada a cloração, geralmente com o uso de hipoclorito de sódio (GLEIZER, 2001).

Cerca de 50% da população do município estão concentradas nas zonas urbanas das regiões administrativas do Centro e Japuiba. Elas são abastecidas pelos sistemas Banqueta e Cabo Severino, o primeiro, com uma bacia de captação de 16 km², e o segundo com cerca de 4,5 km². Em função da pequena bacia de captação e da elevada demanda hídrica, durante o período de estiagem, nos meses de julho e agosto, é comum a implementação de rodízio muito rigoroso em algumas localidades, chegando o abastecimento a ser feito na escala de 24 h x 144 h (informação verbal)⁵.

⁴ Informação fornecida em agosto/2003.

⁵ Informação fornecida por Marcelo Barcellos Motta, Superintendente da Unidade de Negócios da Costa Verde da CEDAE, em dezembro de 2002.

Os domicílios situados acima da cota 40 m, nos bairros do distrito sede, são abastecidos através de pequenas e antigas captações, que os moradores qualificavam de “água de serra”, e de estações elevatórias que bombeiam das adutoras da CEDAE para o alto dos morros, de onde se distribui por gravidade (COSTA, 1998).

O sistema Itapicu, com bacia de captação de 5 km², situada em uma sub-bacia do rio Mambucaba, abastece os bairros de Parque Perequê e Parque Mambucaba, atendendo cerca de 10 mil habitantes.

O bairro do Frade é um outro ponto de grande concentração populacional no município, cerca de 9 mil habitantes, e apresenta precários sistemas de abastecimento, constituídos por quatro pontos de captação, situados em bacias hidrográficas muito pequenas, inferiores a 2 km². Atualmente, vem sendo construída uma outra barragem que possibilitará a captação de água no rio Grataú.

Os outros sistemas públicos apresentam capacidade de atendimento menor do que 5 mil habitantes e abastecem o restante dos bairros periféricos localizados ao longo da BR-101, com bacias de captação muito reduzidas, predominando as captações em bacias de primeira e segunda ordens com área inferior a 2 km².

Em trabalho de campo, realizado no início de setembro de 2001, no final do inverno, durante período de estiagem, foram visitados quatro sistemas de abastecimento. Foi verificado que toda a água presente no curso d'água estava sendo captada para o abastecimento, fazendo com que o leito do canal, a jusante da captação, ficasse seco (Fig. 4.19). Relato semelhante foi feito por funcionários do SAAE em agosto de 2003, informando que após 50 dias sem chuvas, as barragens de Banqueta e Cabo Severino não estariam vertendo água a jusante da captação, mas após um final de semana com chuvas, o quadro já havia sido revertido.

Os principais empreendimentos econômicos são atendidos por sistemas próprios de abastecimento. A captação de água do TEBIG localiza-se no rio Caputera, afluente do rio Jacuecanga. Além de abastecer a própria empresa, e dois clubes, atende a sua antiga vila de funcionários (informação verbal)⁶.

A BRASFELS é abastecida pelo sistema da Verolme, arrendatária do estaleiro, com captação na bacia do Jacuecanga, que atende à vila de funcionários e à população residente nos bairros próximos (informação verbal)⁷.

⁶ Informação fornecida por José Carlos, TEBIG, em agosto de 2003.

⁷ Informação fornecida por Elias Valentim de Souza, Coordenador de Meio Ambiente, BRASFELS, em agosto de 2003.



Figura 4.19: Fotos de alguns sistemas de abastecimento de água de Angra dos Reis.

O acelerado crescimento da população, em áreas não contíguas, ao longo da BR-101 e a abundância de água de boa qualidade facilitaram a disseminação de soluções simples de abastecimento, porém ineficientes: procura-se o curso d'água próximo à área objeto da demanda, constrói-se uma pequena barragem, um reservatório, que nem sempre é necessário, e uma rede de distribuição. Caso um determinado corpo d'água não seja promissor, muito próximo a este há um outro, com água abundante de excelente qualidade. Esta vantagem comparativa de municípios com a fisiografia já descrita facilita a pulverização de inúmeros sistemas de abastecimento em pequenas bacias hidrográficas.

Dentre os aspectos de gestão, a presença de inúmeros sistemas dificulta o controle da qualidade do tratamento primário e a fiscalização a montante de todas as captações, para impedir usos que afetem a qualidade e a quantidade de água, além de elevar os custos de operação e manutenção dos sistemas, já citado.

Do ponto de vista ambiental, a manutenção da vazão ecológica não deve ser negligenciada, o que se torna crítico em épocas de estiagem, que podem ocorrer simultaneamente com pressões sazonais de demanda turística. Este problema é agravado em bacias hidrográficas muito pequenas, com baixa capacidade de recarga hídrica, fazendo com que a vazão restante no canal de drenagem, após a captação de água, seja insuficiente para a proteção dos ecossistemas ou, na pior situação, não atender à demanda, acarretando a falta d'água nas residências. Os consumidores - empresas, hotéis, condomínios - que têm condições

de encontrar suas próprias soluções, o fazem, enquanto o restante da população depende do serviço público inadequado, como acontece nos mais diversos setores da sociedade brasileira.

Em relação ao esgotamento sanitário, apenas 44% da população é atendida com tratamento de esgotos, o restante da tem o esgoto jogado em valas a céu aberto ou lançado diretamente na rede mista (rede de águas pluviais) (GLEIZER, 2001; PMAR, 2000). Mesmo modesto, este número está acima da média brasileira de atendimento que é de 33% dos domicílios, porém abaixo da média da região sudeste que é de 53% (IBGE, 2002).

O tratamento é variado, sendo constituído pelos seguintes tipos: fossas sépticas e filtro anaeróbio individual, fossas sépticas e filtro anaeróbio coletivo, e reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA). A eficiência teórica deste último é, em média, de 65%⁸. Há ainda sistemas particulares, como o da Petrobras e da Verolme, que usam outros tipos de tratamento, como lagoa de estabilização e lodo ativado, respectivamente.

A insuficiência da rede de coleta e tratamento de esgoto vem comprometendo a qualidade das águas dos rios que atravessam as áreas urbanas e a balneabilidade das praias próximas aos núcleos urbanos, como é o caso do rio do Choro, já transformado em “esgoto a céu aberto”, e da praia do Anil, já classificada como imprópria para banho, ambos localizados no Centro da cidade (GUSMÃO *et al.*, 1997).

A qualidade de água é uma questão fundamental nesta região, a baía da Ilha Grande é um dos ambientes aquáticos mais ricos em micro-nutrientes do Brasil, favorecendo a presença de peixes e crustáceos (SEMA, 1997). Entretanto, o ambiente de águas abrigadas, formado por uma sucessão de enseadas, cria sistemas próprios de circulação, dificultando a dispersão dos poluentes. Um trabalho feito na enseada de Angra dos Reis, que recebe os esgotos da cidade, identificou que a baixa velocidade da corrente nesta enseada dificulta a dispersão dos poluentes, concentrando os coliformes fecais próximos aos pontos de lançamento, sempre superiores ao limite da balneabilidade. Os ventos fortes de sudoeste também contribuem para a concentração dos poluentes em determinados pontos do litoral (GUSMÃO *et al.* 1997).

⁸ Informação fornecida por Simone Gleizer, engenheira sanitária da Coordenaria de Saneamento Básico de Angra dos Reis, durante a execução do Programa PROSANEAR.

5. DISPONIBILIDADE HÍDRICA DE ANGRA DOS REIS

Neste capítulo são apresentados as informações sobre a disponibilidade hídrica da faixa continental do município de Angra dos Reis, estimada através de regionalização de vazões. Primeiramente, são analisados os resultados sobre a avaliação da homogeneidade hidrológica da região em estudo. Após, são apresentadas as curvas de probabilidade e as equações regionais. O capítulo termina apresentando os resultados da disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas que atravessam a faixa continental do município de Angra dos Reis.

5.1 BACIA CONTRIBUINTE À BAÍA DA ILHA GRANDE COMO REGIÃO HIDROLOGICAMENTE HOMOGÊNEA

Para análise de grupamento da vazão média (Tab. 5.1) foram utilizados indicadores normalizados que não expressassem a dimensão das bacias. São eles: vazão específica (q), razão entre Q_{50} ¹ e Q_{mt} e coeficiente de escoamento (C)².

O resultado da análise separou as estações em dois grupos: um grupo com as estações da bacia da Ilha Grande, de Cachoeiras de Macacu e de Orindi, esta última destacada das demais; o outro grupo com o restante das estações da sub-bacia 59 (Fig. 5.1). A estação Cachoeiras de Macacu, embora situada na bacia hidrográfica da baía de Guanabara, apresenta características fisiográficas semelhantes às da área de estudo: encostas com alta declividade, cobertas com Mata Atlântica e direção do canal principal de drenagem voltado para o sul, recebendo diretamente as chuvas frontais.

As estações Fazenda Fortaleza, Fazenda da Posse e Fazenda das Garrafas estão inseridas em um subgrupo. As duas últimas, com bacias contribuintes de pequena extensão, estão localizadas nas cabeceiras da bacia do rio Mambucaba, na região do planalto, em

¹ Vazão com 50% do tempo de permanência.

² Relação entre a Q_{mt} e o total pluviométrico anual.

altitudes próximas a 1.500 m. A estação Fortaleza, também situada no rio Mambucaba, está localizada próxima ao litoral, possuindo 597 km², porém apresenta cerca de 85% da sua área também localizada na região do planalto, característica local que pode explicar sua situação no grupo. As demais estações da bacia da Ilha Grande estão em outro subgrupo com bacias variando entre 40 a 180 km².

Tabela 5.1: Indicadores de vazão média das estações fluviométricas da sub-bacia 59.

Bacia	Código	Estação	Sub-bacia	Área km ²	Q _{mlt} m ³ /s	Q ₅₀ m ³ /s	q l/s.km ²	Q ₅₀ / Q _{MLT}	C
Ilha Grande	59350000	Fazenda Santa Rita	Bracuí	179	10,5	8,7	59	0,8	0,9
	59355000	Fazenda das Garrafas	Mambucaba	22	0,8	0,6	35	0,8	0,7
	59360000	Fazenda da Posse	Mambucaba	35	1,5	1,3	43	0,9	0,8
	59370000	Fazenda Fortaleza	Mambucaba	597	25,1	19,1	42	0,8	0,7
	59372000	Itapetininga	Itapetininga	39	2,0	1,4	51	0,7	0,8
	59380000	Parati	Perequê-açu	79	4,4	3,3	55	0,8	0,9
Ousubas - 59	59100000	Macabuzinho	Macabu	626	13,2	8,5	21	0,6	0,4
	59120000	Macaé de Cima	Macaé	75	3,5	2,0	46	0,6	0,6
	59125000	Galdinópolis	Macaé	67	2,8	3,1	42	1,1	0,6
	59135000	Piler	Bonito	101	4,4	2,7	43	0,6	0,6
	59180000	Correntezas	São João	404	15,8	11,7	39	0,7	0,6
	59235000	Cach. de Macacu	Macacu	148	8,3	6,2	56	0,7	0,7
	59240000	Parque Ribeira	Macacu	287	10,9	8,0	38	0,7	0,5
	59245000	Quizanga	Guapi-Açu	352	11,4	8,4	32	0,7	0,5
	59245100	Orindi	Orindi-Açu	67	2,7	2,2	40	0,8	0,5

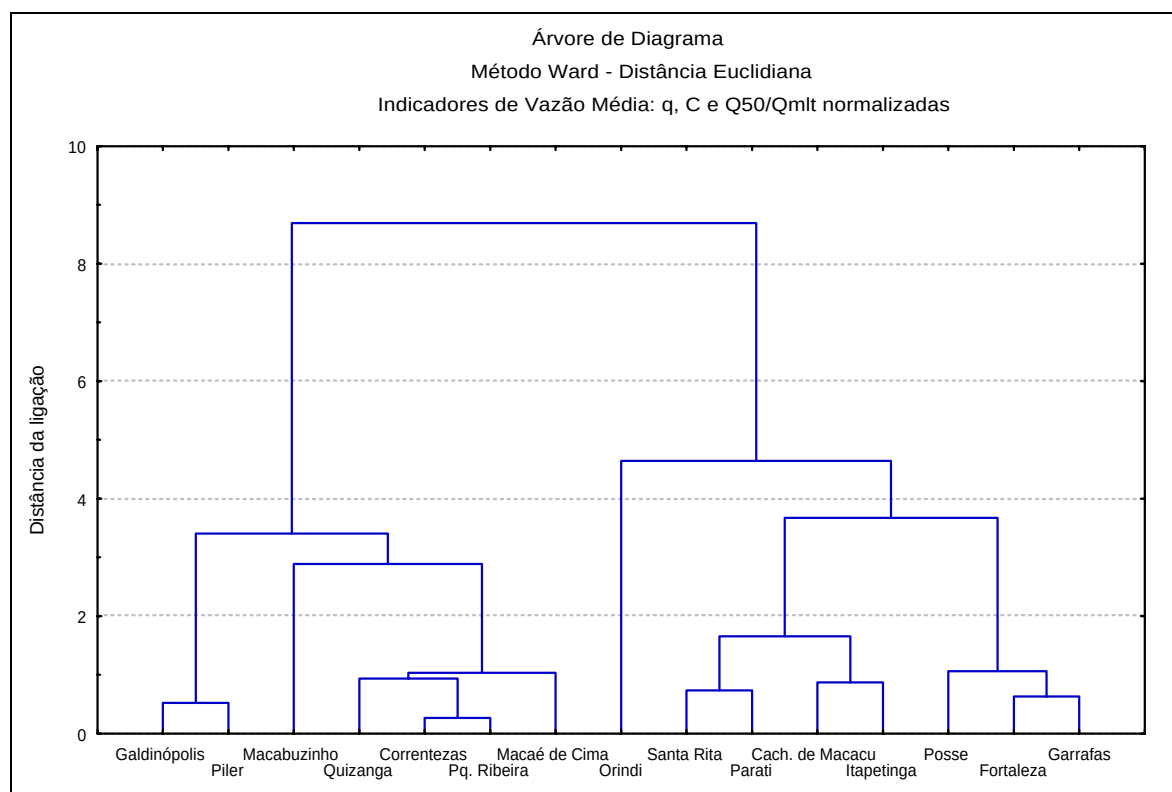


Figura 5.1: Análise de agrupamento com indicadores de vazão média das estações da sub-bacia 59.

Os diagramas de dispersão construídos entre a área das bacias e os indicadores de vazão média também apresentam essa mesma tendência: destacar as estações da região em estudo das demais estações da sub-bacia 59 (Fig. 5.2). A vazão específica das estações da bacia da Ilha Grande (BIG) tendem a ser as mais elevadas, variando entre 35 a 60 L/s.km² (Fig. 5.2a). O coeficiente de variação da vazão média é menor nas estações com menor série temporal, como é o caso de três estações da BIG, mas verifica-se que tende a aumentar com a área, para estações com até 200 km² (Fig.5.2b). Como se pode verificar na Fig. 5.2c, não existe uma relação direta entre a área e a Q_{50}/Q_{mt} , mas as estações da área de estudo apresentam razão variando entre 0,7 a 0,9. O coeficiente de escoamento tende a crescer com o aumento da área para bacias com até 200 km² (Fig. 5.2d), e os maiores coeficientes correspondem aos das estações da área em estudo.

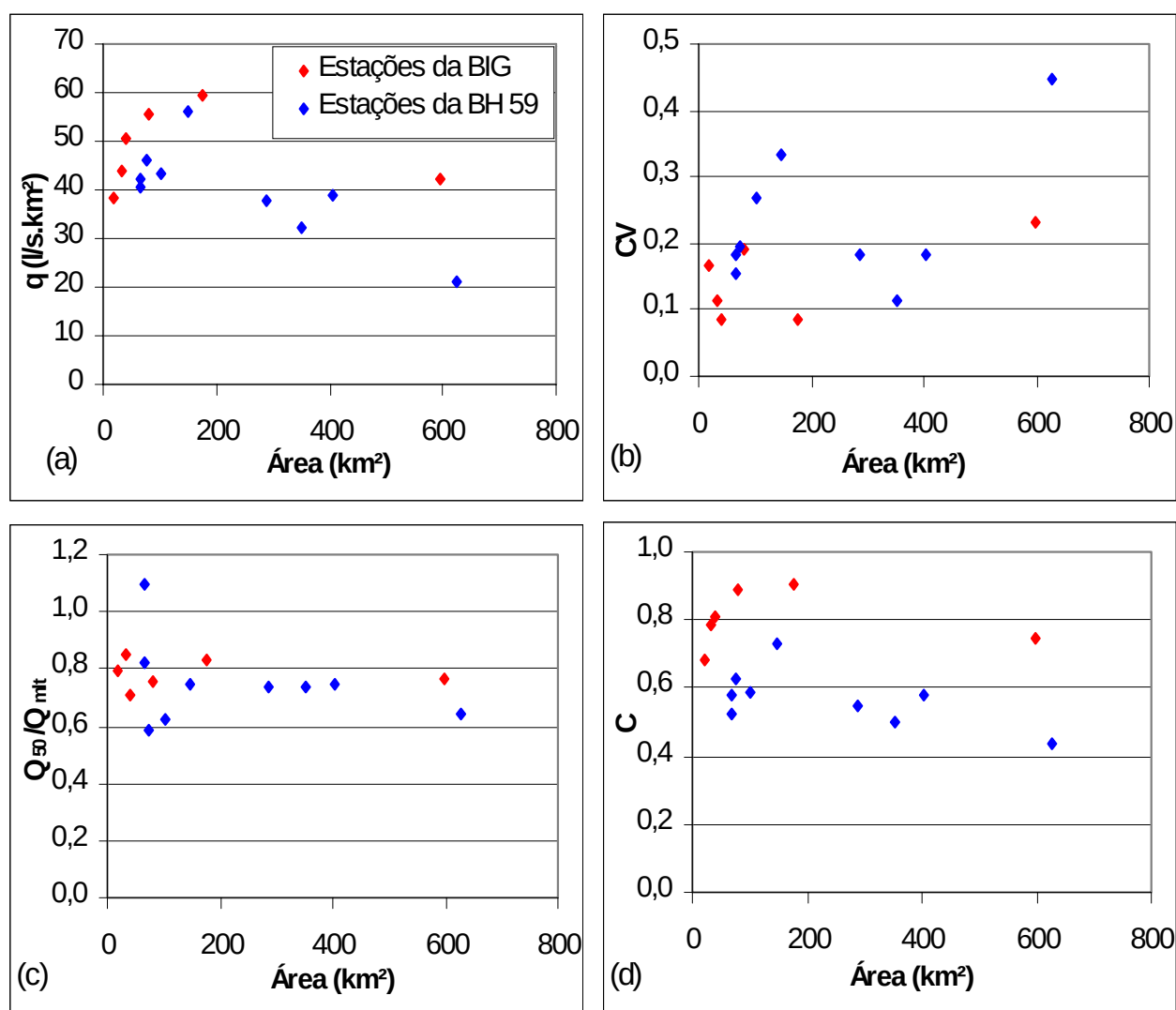


Figura 5.2: Correlações entre área das bacias contribuintes às estações fluviométricas e (a) vazão específica, (b) coeficiente de variação da Q_{mt} , (c) razão entre Q_{mt} e Q_{50} e (d) coeficiente de escoamento.

Na análise de grupamento da vazão mínima, foram utilizados os seguintes indicadores (Tab. 5.2): (a) vazão mínima específica (q_7); (b) razão entre Q_7 e Q_{mlt} (Q_7 / Q_{mlt}); (c) razão entre a Q_{95} e a Q_{mlt} (Q_{95}/Q_{mlt}); e (d) coeficiente de escoamento da Q_7 (C_7). O resultado da análise separou em dois grupos as estações da sub-bacia 59. No grupo com as estações da área em estudo, foram incluídas as estações Piler e Cachoeiras de Macacu (Fig.5.3).

Tabela 5.2: Indicadores de vazão mínima das estações fluviométricas da sub-bacia 59.

Bacia	Estação	Área km ²	Q_{MLT} m ³ /s	Q_7 m ³ /s	Q_{95} m ³ /s	q_7 L/s.km ²	Q_7 / Q_{mlt}	Q_{95}/Q_{mlt}	C_7
Irlândia	Fazenda Santa Rita	179	10,5	3,6	3,7	20,0	0,3	0,3	0,3
	Fazenda das Garrafas	22	0,8	0,3	0,3	14,5	0,4	0,4	0,3
	Fazenda da Posse	35	1,5	0,7	0,7	18,6	0,4	0,4	0,3
	Fazenda Fortaleza	597	25,1	10,6	9,7	17,7	0,4	0,4	0,3
	Itapetininga	39	2,0	0,6	0,7	15,6	0,3	0,3	0,3
	Parati	79	4,4	1,3	1,2	16,1	0,3	0,3	0,3
Sub-bacia 59	Macabuzinho	626	13,2	3,8	3,0	6,1	0,3	0,2	0,1
	Macaé de Cima	67	2,7	0,9	0,9	13,3	0,3	0,3	0,2
	Galdinópolis	101	4,4	1,4	1,4	14,1	0,3	0,3	0,2
	Piler	75	3,5	1,1	1,1	15,2	0,3	0,3	0,2
	Correntezas	404	15,8	4,8	4,6	11,8	0,3	0,3	0,2
	Cach. de Macacu	148	8,3	2,8	2,2	19,2	0,3	0,3	0,3
	Parque Ribeira	287	10,9	3,3	3,1	11,5	0,3	0,3	0,2
	Quizanga	352	11,4	2,8	2,8	8,0	0,2	0,2	0,1
	Orindi	67	2,8	0,8	0,7	11,8	0,3	0,2	0,2

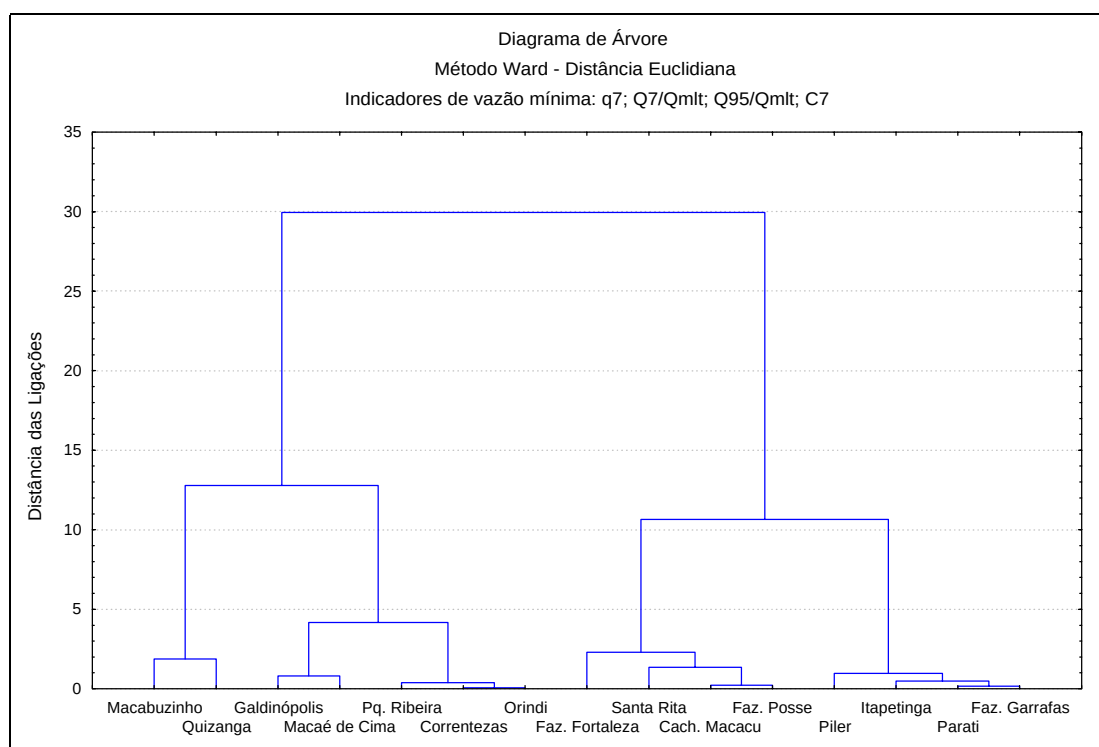


Figura 5.3: Análise de grupamento com indicadores de vazão mínima das estações da sub-bacia 59.

Os diagramas de dispersão entre a área das bacias contribuintes às estações e os indicadores de vazão mínima destacaram também o grupo das estações da área em estudo (Fig. 5.4). Este grupo caracteriza-se por apresentar maior q_7 , variando entre 15 a 20 L/s.km², enquanto no restante das estações da sub-bacia 59 predominam valores entre 5 a 15 L/s.km² (Fig. 5.4a). As razões entre as vazões mínimas e vazões médias tendem a ser maiores neste grupo (Fig. 5.4b, c), assim como o coeficiente de escoamento (Fig. 5.4d). Estes indicadores mostram que estas bacias tendem a ter maior produtividade hídrica, fato também demonstrado pelos indicadores de vazão média.

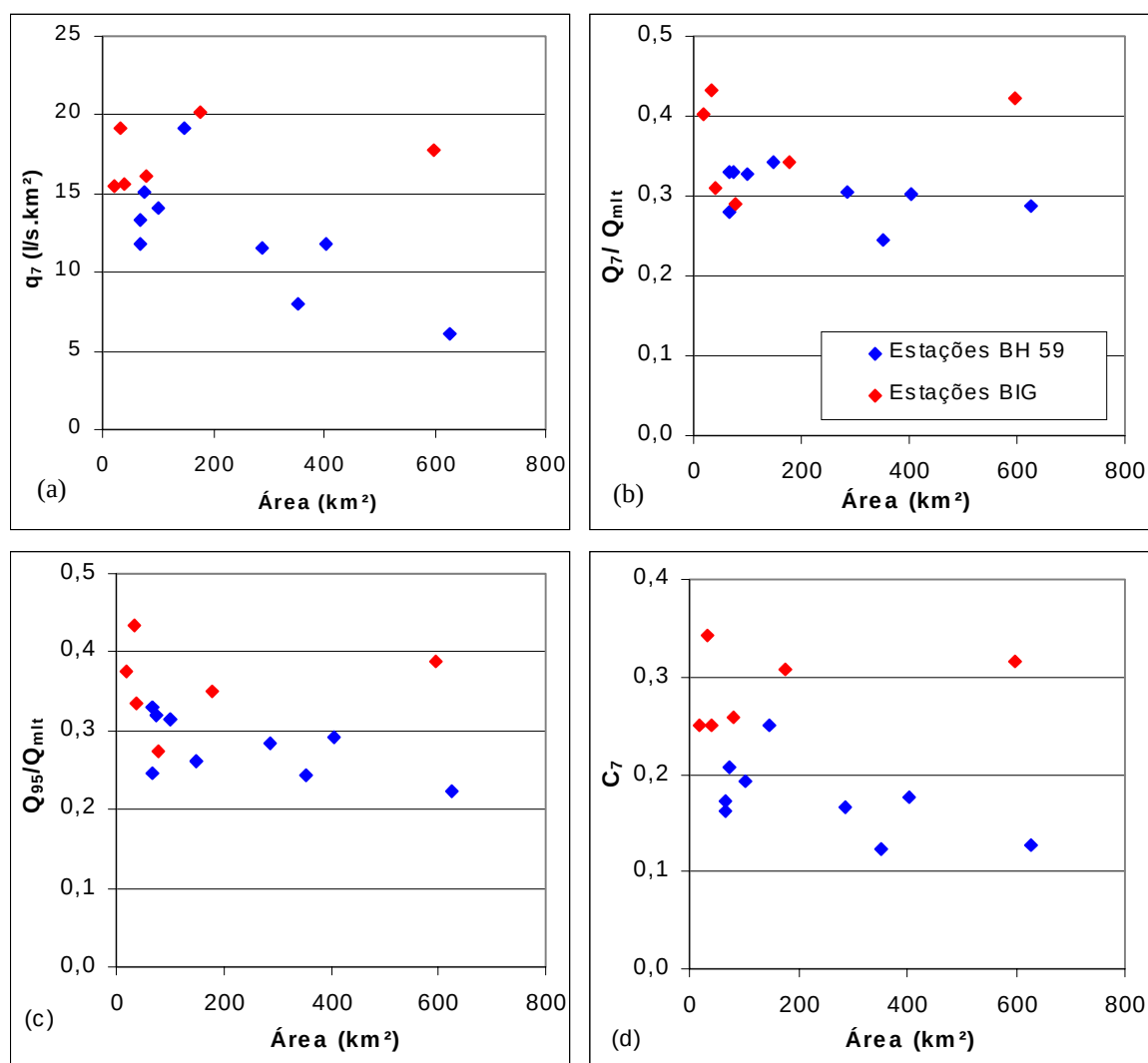


Figura 5.4: Correlações entre área das bacias contribuintes às estações e (a) a vazão mínima específica (q_7); (b) a razão entre Q_7 e Q_{mit} ; (c) razão entre a Q_{95} e a Q_{mit} ; e (d) coeficiente de escoamento da Q_7 (C_7).

Apesar das limitações existentes quanto ao conjunto de dados disponíveis para a área em estudo – reduzido número de estações, duas estações apresentando séries temporais curtas e estações mal distribuídas espacialmente, as análises de agrupamento e os diagramas de dispersão discriminaram o grupo das estações localizadas na bacia contribuinte à Baía da Ilha

Grande, das outras estações do estado do Rio de Janeiro, tendo como principal característica a maior produtividade hídrica da região. A regionalização das vazões mínimas da sub-bacia 59 (CPRM, 2002) também detectou esta região como hidrologicamente homogênea.

Diante desta constatação, deve-se ressaltar que as curvas regionais e equações obtidas neste trabalho podem ser aplicadas às bacias hidrográficas localizadas na bacia contribuinte à baía da Ilha Grande, não se restringindo à faixa continental de Angra dos Reis, foco deste trabalho.

5.2 CURVA DE PROBABILIDADE ADIMENSIONAL

5.2.1 Curva de probabilidade da vazão média anual adimensionalizada

A Figura 5.5 apresenta as curvas de probabilidade da vazão média anual adimensionalizada das estações da área em estudo junto com a estação Cachoeiras de Macacu. Verifica-se que a curva desta última destoa do comportamento das demais estações, confirmando que as estações da BIG fazem parte de uma região hidrologicamente homogênea.

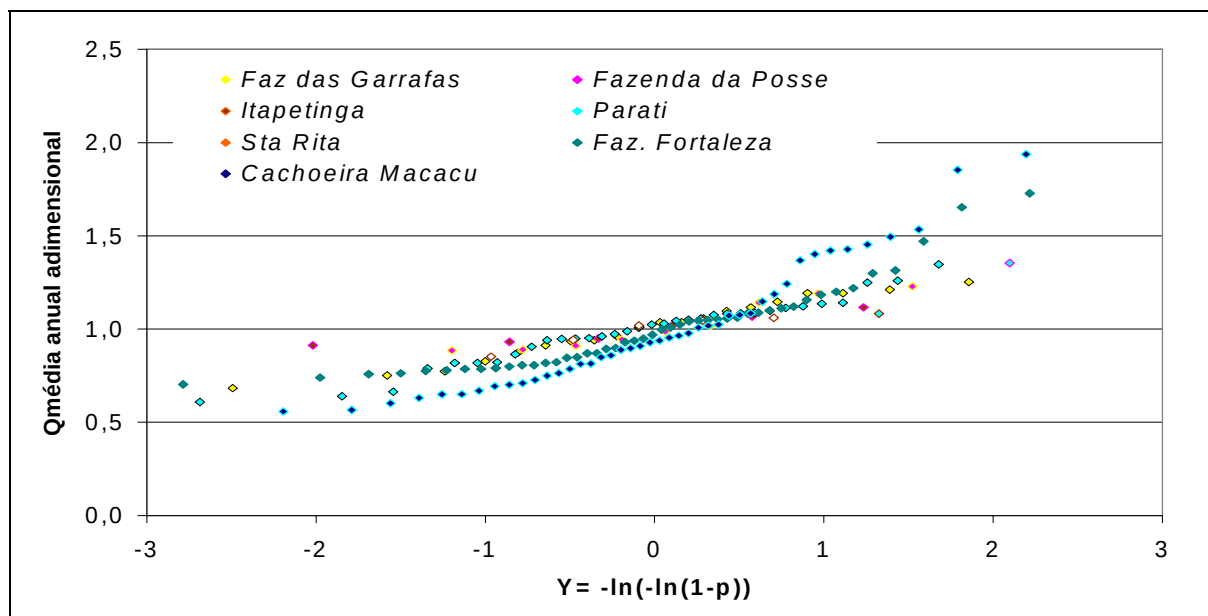


Figura 5.5: Distribuições empíricas de probabilidade de Q média anual adimensionalizada.

A curva regional de probabilidade da vazão média anual adimensionalizada foi construída (Fig. 5.6), assim, com base nas curvas individuais das estações da área em estudo e excluindo a estação Cachoeiras de Macacu. Considerando a afirmativa de alguns autores, de que uma série amostral de N anos pode estimar vazões com alguma confiabilidade até 2N

anos Tucci (2002), e considerando que duas estações da área em estudo apresentam série temporal inferior a 10 anos, o ajuste da curva regional foi feito através de uma equação polinomial com base nos valores de Y inferiores a 2,25, correspondente ao tempo de retorno igual a 10 anos.

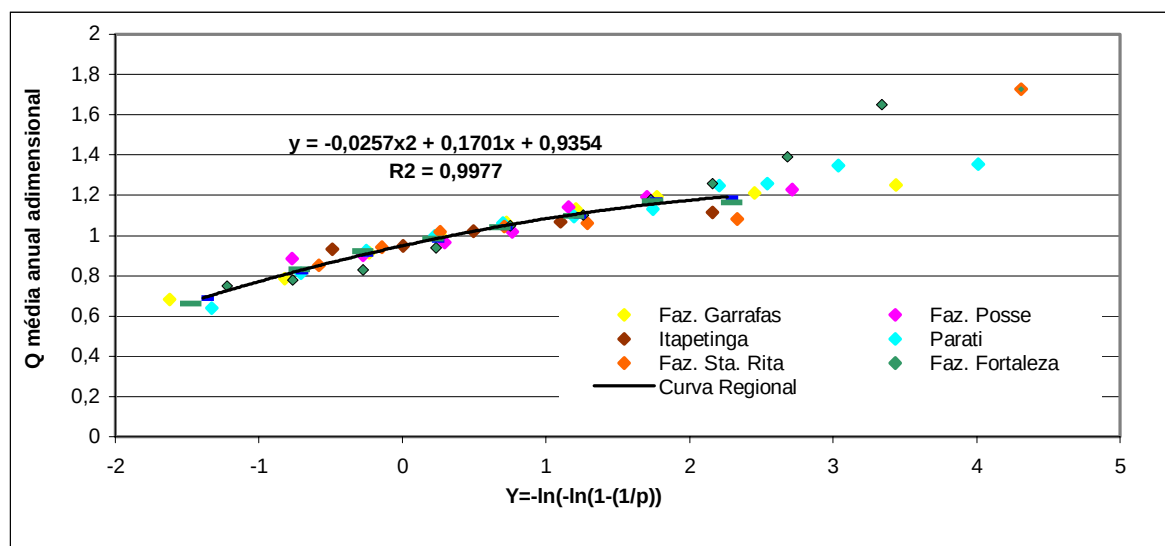


Figura 5.6: Curva de probabilidade regional de $Q_{média}$ adimensionalizada

A Tabela 5.3 apresenta os valores da vazão média adimensional, obtidos através da curva regional de probabilidade. Para calcular a vazão média referente a um determinado tempo de retorno, deve-se multiplicar o valor da vazão regionalizada, a ser abordada no próximo, pela vazão adimensional desta tabela, correspondente ao tempo de retorno desejado.

Tabela 5.3: Q média adimensional da bacia de drenagem contribuinte à baía da Ilha Grande.

TR (anos)	Y	Q_{adm}
1,01	-1,53	0,65
1,5	-0,09	0,94
2	0,37	1,01
3	0,90	1,08
4	1,25	1,11
5	1,50	1,13
7	1,87	1,16
8	2,01	1,16
10	2,25	1,17

5.2.2 Curva de probabilidade da q_7 anual adimensionalizada

A Figura 5.7 apresenta as curvas de probabilidade da Q_7 anual adimensionalizada das estações da área em estudo junto com a estação Cachoeiras de Macacu. Verifica-se que a

curva desta última destoa do comportamento das demais estações, confirmando que as estações da BIG fazem parte de uma região hidrologicamente homogênea.

A curva regional de probabilidade foi construída com base nas seis estações localizadas na bacia contribuinte à baía da Ilha Grande (Fig. 5.8). O ajuste da curva regional foi feito através de uma equação polinomial com base nos valores de Y inferiores a 2,25, correspondente ao tempo de retorno igual a 10 anos.

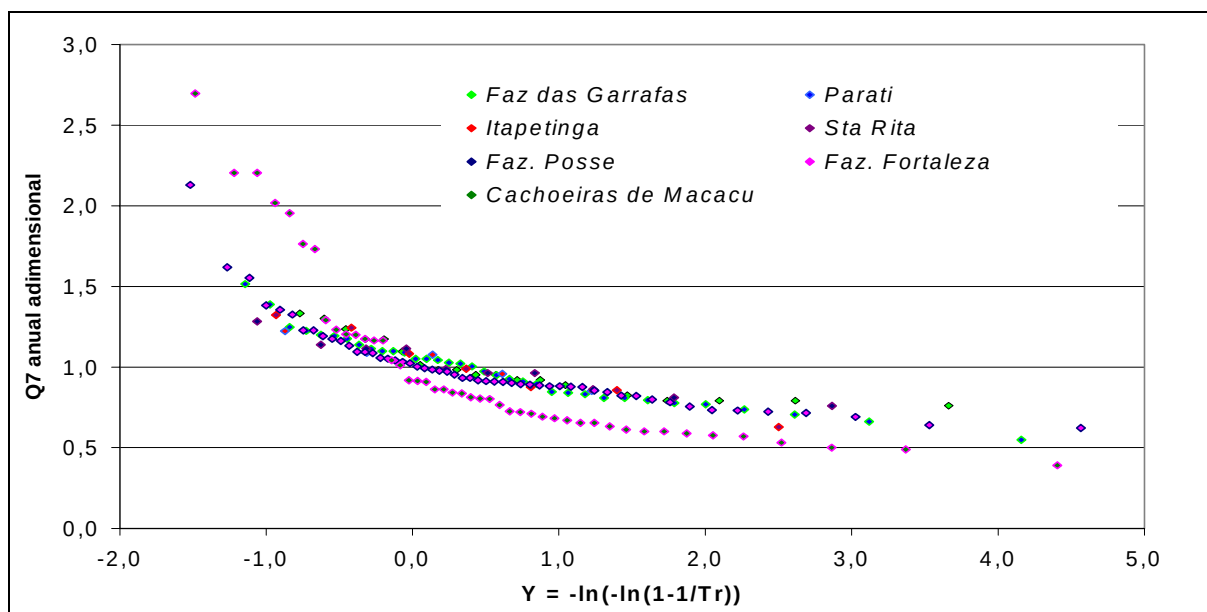


Figura 5.7: Distribuições empíricas de probabilidades de Q_7 anual adimensionalizada.

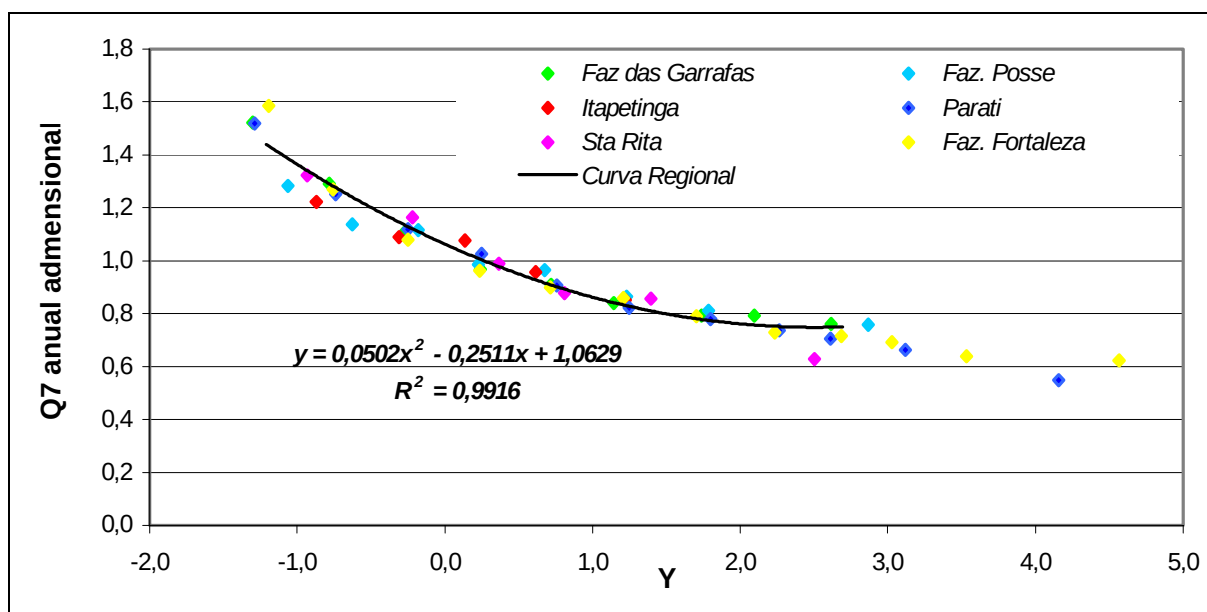


Figura 5.8: Curva de probabilidade regional de Q_7 anual adimensionalizada

A Tabela 5.4 apresenta os valores da vazão mínima adimensional obtidos através da curva regional de probabilidade. Para calcular a Q_7 com um determinado tempo de retorno, deve-se multiplicar o valor da vazão regionalizada, a ser abordada no próximo item, pela vazão adimensional desta tabela correspondente ao tempo de retorno desejado.

Tab. 5.4: $Q_{7,adm}$ adimensional da bacia de drenagem contribuinte à baía da Ilha Grande

TR (anos)	Y	$Q_{7,adm}$
1,01	-1,53	1,56
1,5	-0,09	1,09
2	0,37	0,98
3	0,90	0,88
4	1,25	0,83
5	1,50	0,80
7	1,87	0,77
8	2,01	0,76
10	2,25	0,75

5.3 EQUAÇÃO REGIONAL ENTRE AS CARACTERÍSTICAS FISIográfICAS E A VAZÃO

A Tabela 5.5 mostra o sumário estatístico das características fisiográficas das bacias contribuintes às estações fluviométricas, calculadas com o SIG, confirmando que a área das bacias é a variável com maior coeficiente de variação, enquanto o relevo e a cobertura vegetal são mais homogêneos na região, não sendo esperado que expliquem variações de vazão. O total pluviométrico anual ganha importância quando convertido³ para a unidade m^3/s , pois expressa também a área das bacias hidrográficas.

Tabela 5.5: Características fisiográficas das bacias contribuintes às estações fluviométricas

Estação	Área projetada (km ²)	Área superfície (km ²)	Coef. Compactidade	Floresta (%)	Campo altitude (%)	Densidade drenagem	Declividade Média (%)	Altitude Média (m)	ppt (mm)	ppt (m ³ /s)
Fazenda das Garrafas	22	23	1,45	56	44	3,0	14	1680	1774	1,1
Fazenda da Posse	35	37	1,30	60	40	2,8	16	1667	1764	1,9
Itapetinga	38	42	1,32	99	0	2,8	28	852	1966	2,4
Parati	79	86	1,31	87	0	2,4	32	990	1970	4,9
Fazenda Santa Rita	179	189	1,91	94	0	2,7	18	1182	2067	11,6
Fazenda Fortaleza	597	626	1,76	85	4	2,6	19	1254	1770	33,5
Média	158	167	2	80	15	3	21	1271	1885	9
Desv-pad	222	233	0	18	21	0	7	342	132	12
CV	1,4	1,4	0,2	0,2	1,4	0,1	0,3	0,3	0,1	1,3

ppt=total pluviométrico anual

³ Conversão de precipitação em mm para precipitação em m^3/s : $[(\text{área projetada (km}^2) * 10^6) * (\text{ppt (mm)} / 1000)] / (86.400 \text{ s} * 365 \text{ dias})$

A importância da área de drenagem e da precipitação como variáveis explicativas da vazão tem sido verificada em diversas circunstâncias: em dez exercícios de regionalização de vazão relatados por Riggs (1973), quatro variáveis entre quinze candidatas mostraram independência e significância mais evidentes, sendo a área de drenagem e a precipitação classificadas em primeiro e terceiro lugar, respectivamente.

Assim, do conjunto de informações sobre as características fisiográficas das bacias, foram utilizadas como variáveis explicativas a área de drenagem, projetada e da superfície, e o índice pluviométrico anual (ppt) em m^3/s .

A área denominada como projetada corresponde à superfície da bacia projetada no plano e é menor do que a área da superfície, que considera a inclinação das encostas. Assim, ao utilizar a área de superfície como uma variável explicativa na regionalização, incorpora-se, indiretamente, a variável declividade da bacia. Quanto maior a declividade da bacia, maior é a área da superfície, conforme pode ser confirmado na Tabela 5.5.

As estações com menor área de drenagem, Fazenda da Posse e Fazenda das Garrafas, estão localizadas na região do planalto, onde se encontram as menores índices pluviométricos e, conseqüentemente, menores valores de vazão média específica da área em estudo (Tab. 5.1). As demais estações, com área contribuinte maior, estão situadas em locais com chuvas mais intensas, logo com vazão média específica maior. Porém esta situação não se repete para a vazão mínima, Q_7 , pois os valores de vazão específica mínima das estações do planalto são as menores da área em estudo (Tabela 5.2).

Foram testadas regressões do tipo linear e potencial entre a vazão e as variáveis área, da superfície e projetada, e a precipitação. Para as regressões simples, utilizou-se precipitação em m^3/s , devido à pequena variação da precipitação em mm para explicar a vazão. Para as regressões múltiplas, utilizou-se a precipitação em mm, pois a precipitação em m^3/s representaria autocorrelação com a variável área.

A estação Fazenda Fortaleza, no rio Mambucaba, foi excluída dos testes de regressão após análise de sensibilidade: sua área é cerca de três vezes maior que a da Fazenda Santa Rita, no rio Bracuí, que tem 179 km^2 ; todas as outras bacias possuem área inferior a 100 km^2 e a presença de um ponto tão distante dos outros não se justificou, conceitual, ou fisicamente.

5.3.1 Equação regional da vazão média

Os coeficientes de determinação de todos os testes de regressão ficaram acima de 0,99 e o erro padrão abaixo de 0,1 (Tab. 5.6). Os resultados da regressão com a área projetada e

com a da superfície foram semelhantes, inclusive o coeficiente da variável reduzida e a interseção. Considerando o teste da função F e o erro padrão, a regressão múltipla apresentou os melhores coeficientes de ajustes.

Tabela 5.6: Resultado das regressões com a vazão média.

<i>Tipo</i>	<i>X</i>	<i>Obs</i>	<i>R</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>F</i>	<i>Interseção</i>	<i>Coef. X</i>
Linear	ppt m³/s	5	1,000	0,09	7932	-0,290	0,922
	área proj.	5	1,000	0,10	6371	-0,553	0,062
Potencial	ppt m³/s	5	0,997	0,09	522	0,667	1,144
	área proj.	5	0,997	0,11	327	0,019	1,227
Linear	área proj.	5	1,000	0,02	79762	-2,472	0,060
Múltipla	ppt mm	5					0,001

A regressão múltipla também apresentou os menores desvios entre os valores previstos e observados, ficando abaixo de 5% (Tab. 5.7). A regressão linear com a variável precipitação apresentou desvio elevado, 11%, para apenas uma estação, o restante ficou entre 0 e 1%. Já com a variável área, os desvios concentraram-se entre 5 a 7%.

Tab. 5.7: Desvios entre as Q_{mlt} observadas e a previstas

<i>Estações</i>	<i>Valores observados</i>					<i>Valores Previstos - Equação linear - Área</i>			<i>Valores Previstos - Equação linear - PPT</i>			<i>Valores Previstos - Equação múltipla</i>		
	Q_{MLT} m³/s	Área km²	ppt mm	ppt m³/s	q L/s.km²	Q_{MLT} m³/s	q L/s.km²	Desvio %	Q_{MLT} m³/s	q L/s.km²	Desvio %	Q_{MLT} m³/s	q L/s.km²	Desvio %
Fazenda Santa Rita	10,48	179	2067	11,7	59	10,51	59	0%	10,52	59	0%	10,54	59	1%
Fazenda das Garrafas	0,77	22	1774	1,2	35	0,81	37	5%	0,85	39	11%	0,80	36	4%
Fazenda da Posse	1,50	35	1764	2,0	43	1,61	46	7%	1,51	43	1%	1,57	45	5%
Itapetininga	1,97	39	1966	2,4	51	1,86	48	-6%	1,95	50	-1%	2,03	52	3%
Parati	4,38	79	1970	4,9	55	4,33	55	-1%	4,26	54	-3%	4,43	56	1%

5.3.2 Equação regional da vazão mínima (Q_7)

Na regressão da Q_7 foi também avaliada a variável explicativa precipitação correspondente aos meses de menor índice pluviométrico (ppt mín), abril a setembro, denominada de precipitação mínima. Ela apresentou melhor ajuste na regressão múltipla, já na regressão simples a precipitação anual apresentou melhor ajuste. Os resultados das regressões com a área projetada e com área da superfície foram semelhantes, inclusive o coeficiente da variável reduzida e a interseção.

Os coeficientes de determinação dos testes de regressão ficaram acima de 0,99 (Tab. 5.8). Considerando o teste da função F e o erro padrão, a regressão múltipla apresentou o

melhor ajuste com a variável precipitação mínima. Os desvios entre os valores previstos e observados ficaram abaixo de 20% para todas estações, sendo os menores desvios correspondem aos valores da regressão múltipla. (Tab. 5.9).

Tab. 5.8: Resultado das regressões da Q_7

<i>Tipo</i>	<i>X</i>	<i>Obs</i>	<i>R</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>F</i>	<i>Interseção</i>	<i>Coef. X</i>
linear	área proj.	5	1,00	0,13	415	-0,18	-0,09
	ppt m³/s	5	1,00	0,13	421	-0,088	0,308
potencial	área proj.	5	0,99	0,11	290	0,011	3,042
	ppt m³/s	5	0,99	0,14	176	0,269	1,031
Linear	área sup	5	1,00	0,03	5.488	0,491	0,021
Múltipla	ppt mín.mm	5					-0,002

Tab. 5.9: Desvios entre as Q_7 observadas e a previstas

<i>Estações</i>	<i>Valores observados</i>					<i>Valores Previstos - Equação linear - Área</i>			<i>Valores Previstos - Equação linear - PPT</i>			<i>Valores Previstos - Equação múltipla</i>		
	Q_7 m³/s	Área km²	ppt m³/s	ppt mín mm	q_7 L/s.km²	Q_7 m³/s	q_7 L/s.km²	Desvio %	Q_7 m³/s	q_7 L/s.km²	Desvio %	Q_7 m³/s	q_7 L/s.km²	Desvio %
Faz das Garrafas	0,3	22	1,2	367	14	0,3	13	-12	0,3	13	-8	0,35	16	11
Faz da Posse	0,6	35	2,0	386	18	0,5	16	-16	0,5	15	-20	0,61	17	-6
Itapetinga	0,6	39	2,4	482	16	0,6	16	2	0,7	17	8	0,56	14	-9
Parati	1,3	79	4,9	605	16	1,5	18	14	1,4	18	12	1,26	16	-1
Sta Rita	3,6	179	11,7	519	20	3,5	20	-2	3,5	20	-2	3,56	20	-1

5.4 REGIONALIZAÇÃO DA CURVA DE PERMANÊNCIA

As curvas de permanência das estações da área em estudo estão representadas na Figura 5.9. Para comparação visual, também foram representadas no mesmo gráfico as curvas de permanência geradas a partir da equação exponencial, com os coeficientes obtidos dos valores de Q_{50} e Q_{95} observados, aplicados nas equações 3.1 e 3.2 (Capítulo 3). Como pode ser observado nestes gráficos, as curvas de permanência geradas pela equação exponencial reproduzem satisfatoriamente, para a faixa de valores dos pontos utilizados no ajuste, as curvas dos dados observados, principalmente da faixa das menores vazões.

Para obtenção das curvas regionalizadas, foram testadas regressões para Q_{50} e Q_{95} com base nos mesmos pressupostos utilizados para a vazão média e mínima (Q_7).

O coeficiente de determinação de todos os testes para a Q_{50} ficou acima de 0,99 e o erro padrão abaixo de 0,13 (Tab. 5.10). Considerando também o teste da função F, as regressões lineares com as variáveis explicativas área e precipitação apresentaram os melhores indicadores da regressão. Os desvios entre os valores previstos e os valores

observados, com estas duas equações ficaram abaixo de 11% (Tab. 5.11), enquanto que para a regressão múltipla os desvios chegaram a 41%.

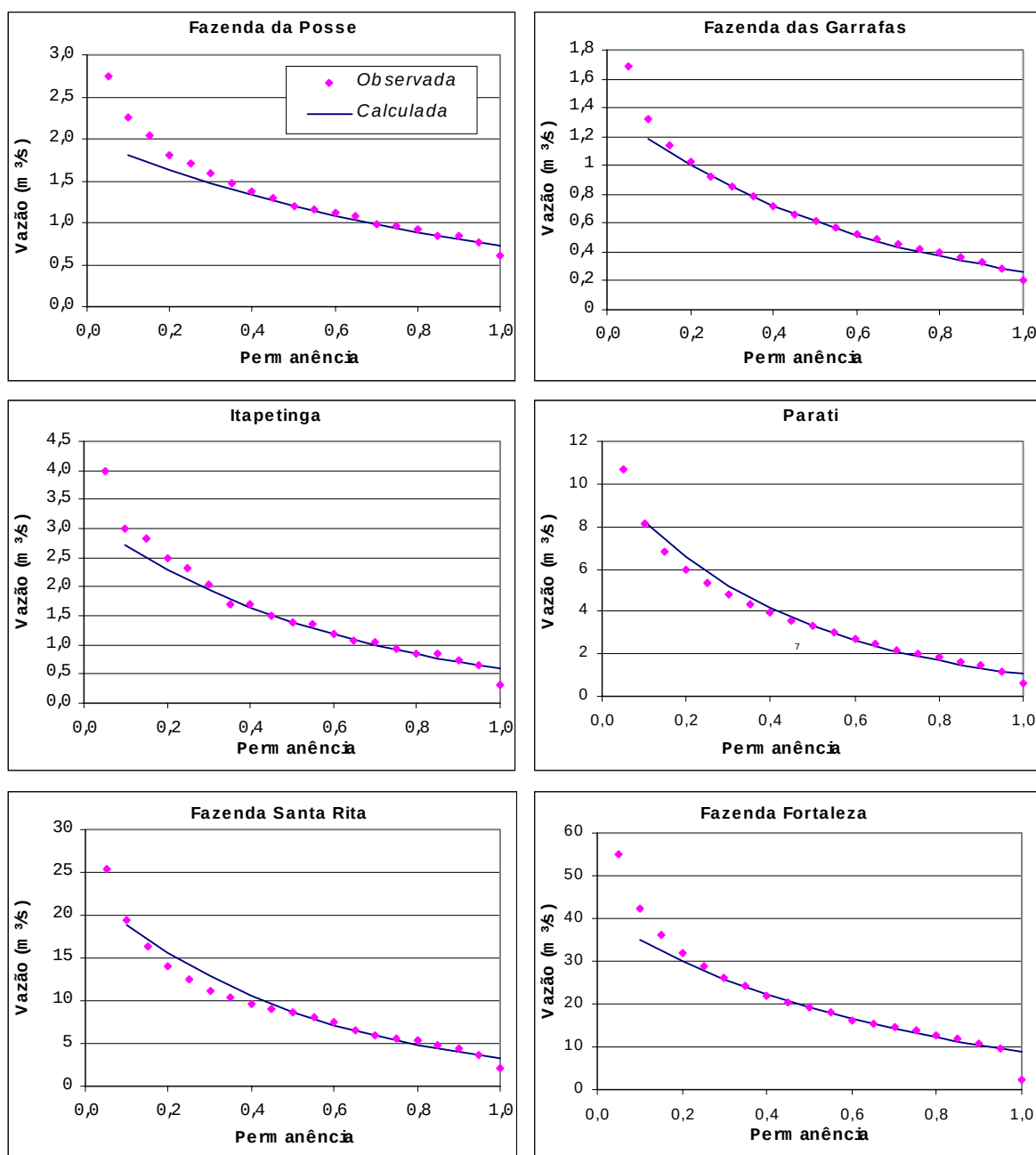


Figura 5.9: Curvas de permanência das estações da BIG, geradas na aplicação de equações exponenciais com base nos valores observados.

Tabela 5.10: Resultado das regressões da Q_{50}

Tipo	X	R	Erro padrão	F	Interseção	Coef. X
linear	área proj.	1,000	0,12	3213	-0,596	0,052
	ppt mm	0,999	0,13	2758	-0,375	0,771
potencial	área proj.	0,998	0,07	797	0,014	1,244
	ppt mm	0,997	0,09	485	0,517	1,156
múltipla	área proj.	1,00	0,10	2000	0,966	0,053
	ppt mm					-0,001

Tabela 5.11: Desvios entre a Q_{50} observadas e as previstas

Estações	Valores observados					Valores Previstos - Equação linear - Área			Valores Previstos - Equação linear - PPT			Valores Previstos - Equação múltipla		
	Q_{50} m³/s	Área km²	ppt m³/s	ppt mm	q l/s.km²	Q_{50} m³/s	q l/s.km²	Desvio %	Q_{50} m³/s	q l/s.km²	Desvio %	Q_{50} m³/s	q l/s.km²	Desvio %
Faz. das Garrafas	0,6	22	1,2	1774	28	0,5	25	-11	0,6	26	-5	0,36	16	-41
Faz. da Posse	1,3	35	2,0	1764	37	1,2	35	-5	1,1	32	-11	1,06	30	-17
Itapetininga	1,4	39	2,4	1966	36	1,4	36	2	1,5	38	8	1,07	27	-23
Parati	3,3	79	4,9	1970	42	3,5	44	5	3,4	43	3	3,19	40	-4
Santa Rita	8,7	179	11,7	2067	49	8,7	48	-1	8,7	48	0	8,40	47	-4

Para as regressões testadas da Q_{95} , os coeficientes de determinação ficaram acima de 0,98 (Tab. 5.12). Considerando também o teste da função F e o erro padrão, a regressão múltipla com as variáveis explicativas área e precipitação mínima apresentou os melhores indicadores da regressão. Os desvios entre os valores previstos e os valores observados ficaram acima de 20% para algumas estações em todas as regressões testadas (Tab. 5.13).

Tabela 5.12: Resultado da regressões da Q_{95}

Tipo	X	R	Erro padrão	F	Interseção	Coef. X
linear	ppt mm	0,992	0,19	194	-0,18	0,02
	área proj.	0,992	0,19	197	-0,09	0,31
potencial	área proj.	0,984	0,19	93	0,01	1,12
	ppt mm	0,981	0,21	75	0,27	1,04
múltipla	área	1,00	0,09	450	0,601	0,023
	ppt mín					-0,002

Para gerar a curva de permanência das bacias hidrográficas situadas na bacia contribuinte da BIG, deve-se utilizar as equações regionais da Q_{95} e Q_{50} e, com base no resultado nos valores regionalizados, determinar os coeficientes da equação exponencial regional.

Tabela 5.13: Desvios entre as Q_{95} observadas e as previstas

Estações	Valores observados					Valores Previstos - Equação linear - Área			Valores Previstos - Equação linear - PPT			Valores Previstos - Equação múltipla		
	Q_{95} m³/s	Área km²	ppt m³/s	ppt mín mm	q_{95} l/s.km²	Q_{95} m³/s	q_{95} l/s.km²	Desvio %	Q_{95} m³/s	q_{95} l/s.km²	Desvio %	Q_{95} m³/s	q_{95} l/s.km²	Desvio %
Fazenda das Garrafas	0,3	22	1,2	386	13	0,28	13	-2	0,3	14	3	0,36	17	26
Fazenda da Posse	0,7	35	2,0	367	21	0,56	16	-23	0,5	15	-27	0,69	20	-4
Itapetininga	0,7	39	2,4	482	17	0,64	16	-3	0,7	17	2	0,57	15	-14
Parati	1,2	79	4,9	605	15	1,48	19	23	1,5	18	21	1,24	16	3
Fazenda Santa Rita	3,7	179	11,7	519	20	3,58	20	-2	3,6	20	-2	3,66	20	0

5.5 AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE ANGRA DOS REIS

Aplicando-se as equações regionais às bacias hidrográficas que atravessam a faixa continental de Angra dos Reis (Tab. 5.14), observa-se que as vazões específicas, derivadas das equações compostas pela variável área, são diretamente proporcionais à diminuição da área da bacia, diferente do que ocorre com as vazões específicas geradas pela equação composta pela precipitação.

Tabela 5.14: Vazão específica regionalizada das bacias hidrográficas da faixa continental de Angra dos Reis

Bacia	Área km ²	Q _{mit}			Q ₇			Q ₉₅		
		q área	q ppt	q múlt.	q área	q ppt	q múlt.	q área	q ppt	q múlt.
		m ³ /s.km ²			m ³ /s.km ²			m ³ /s.km ²		
Bracuí	187	59	59	59	20	20	20	20	20	20
Ariró	61	53	57	58	18	19	14	18	20	14
Jurumirim	48	50	52	54	17	18	13	17	18	12
Jacuecanga	35	46	47	49	16	16	8	16	16	6
Japuíba	32	45	48	49	16	16	7	15	16	5
Grataú	20	34	50	58	12	17	-10	12	18	-17
Frade	14	23	44	58	9	15	-27	8	16	-38
Areia do Pontal	13	19	37	40	8	13	-18	7	13	-25
Florestão	10	7	36	58	4	13	-39	3	13	-52

q área vazão específica gerada pela regressão linear com a variável área

q ppt vazão específica gerada pela regressão linear com a variável precipitação

q mult. vazão específica gerada pela regressão múltipla com a variável área e precipitação

Como as bacias do Grataú, Frade, Areia do Pontal e Florestão apresentam área entre 20 a 10 km², os valores regionalizados foram extrapolados, pois as equações regionais foram geradas com base em bacias de drenagem com área superior a 22 km². Verifica-se também, neste caso, que a vazão explicada pela precipitação apresenta melhores resultados, enquanto a equação da regressão múltipla gera, inclusive, valores extrapolados negativos.

Por esses fatores, para estimar a disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas que cortam a faixa continental de Angra dos Reis, foram aplicadas as equações lineares geradas pela regionalização hidrológica com a variável explicativa precipitação em m³/s.

Considerando a vazão média como a vazão máxima que pode ser regularizada, a disponibilidade hídrica da área em estudo corresponde a 53 m³/s (Fig. 5.10). Adotando um indicador restritivo, a Q₉₅, mesmo critério utilizado no Plano Nacional de Bacias Hidrográficas (ANA, 2003), a disponibilidade diminui para 19 m³/s. Adotando-se 50% da Q_{7,10}, conforme Portaria n.º 307/2002 da SERLA, a disponibilidade hídrica passa para 8 m³/s, que equivale a 15% do valor da vazão média.

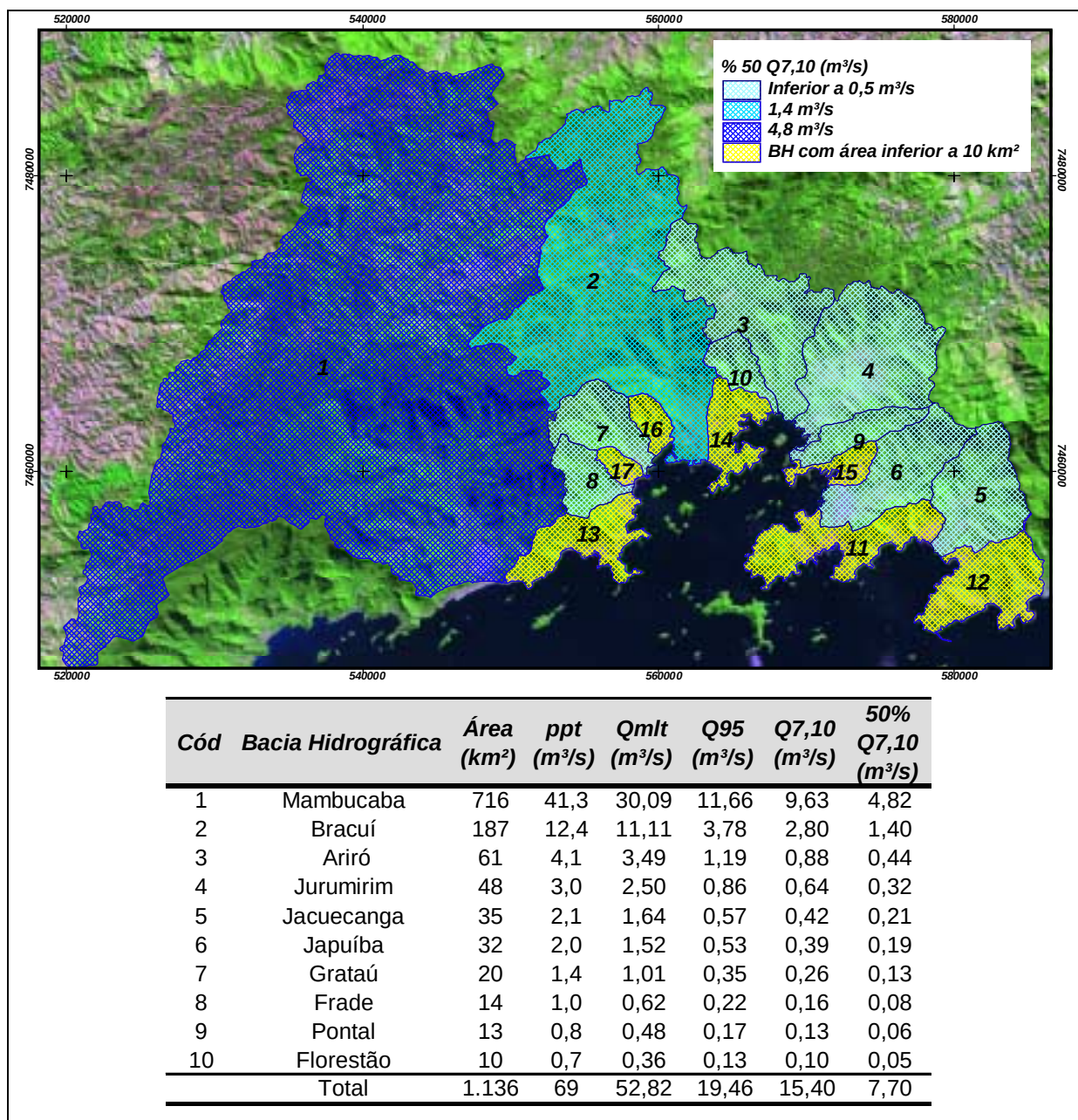


Figura 5.10: Disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas que cortam a faixa continental de Angra dos Reis.

Esses valores resultam em uma disponibilidade hídrica *per capita* variando entre 15 mil e 2,1 mil m³/hab.ano, considerando, respectivamente, a Q_{mlt} e 50% da Q_{7,10}. Este último valor, base da outorga de recursos hídricos, é próximo ao do estado do Rio de Janeiro e ao litoral norte do estado de São Paulo. Já o valor correspondente à vazão média é a metade da disponibilidade *per capita* avaliada para o Brasil.

Entretanto, qualquer que seja o critério adotado, é importante destacar que cerca de 60% do total da vazão das bacias hidrográficas com área superior a 10 km² correspondem aos rios das bacias do Mambucaba, Bracuí e Ariró, sob domínio federal. Já as bacias restantes,

com área superior a 10 km² e com rios de domínio estadual, porque estão confinados ao município, possuem 33% da área continental e apresentam, assim, vazão média igual a 20 m³/s, Q₉₅ igual a 7 m³/s e 50% Q_{7,10} igual a 3 m³/s.

Os rios com área acima de 200 km² podem ser considerados atípicos na região. Em geral, os rios aí situados têm suas nascentes na vertente Atlântica, nas escarpas da Serra do Mar, próximas ao litoral, gerando bacias menores. É importante enfatizar que a elevada disponibilidade hídrica de Angra dos Reis é, assim, exceção, quando se compara a municípios vizinhos da região. Como exemplos bem próximos, os municípios de Parati e Mangaratiba, situados, respectivamente, a oeste e a leste de Angra dos Reis, não têm bacias maiores que 120 km², e tendem, portanto, a apresentar disponibilidade menor.

Apesar da predominância de bacias de pequeno porte, a produtividade hídrica é elevada na região, a vazão específica é de 46 L/s.km² e 14 L/s.km², correspondendo, respectivamente, a Q_{mlt} e a Q_{7,10}. Valores próximos aos apresentados pelas bacias do litoral norte de São Paulo, 55 L/s.km² e 14 L/s.km², com fisiografia semelhante à área de estudo, e que colocam esta região como a de maior produtividade hídrica do território paulista cujos valores médios correspondem a 13 L/s.km² e 4 L/s.km², respectivamente.

A disponibilidade hídrica das regiões Leste, Pontal e Centro, com bacias inferiores a 10 km², estimada por interpolação de áreas com bacias vizinhas, representa 2% da disponibilidade hídrica total da faixa continental.

6 DEMANDA HÍDRICA DE ANGRA DOS REIS

Este trabalho de tese foi realizado sob condições de extrema penúria em termos de dados brutos sobre consumo de água, não obstante o visível esforço de hidrometração que vem sendo realizado pelos municípios brasileiros, inclusive o de Angra dos Reis.

A falta de dados sobre consumo de água reflete, genericamente, a pouca preocupação, até agora vigente, com os aspectos de gestão dos recursos hídricos. Aparente abundância e as características de “bem comum”, até recentemente, mantiveram a hidrometria quase inexistente, de modo que ainda é prática corrente o uso da cobrança por cálculo faturado, substituindo a medição direta do consumo. Esta tendência de uso perdulário vem sendo modificada, com o apoio de campanhas de conscientização sobre uso criterioso, mas também pelo próprio quadro de escassez hídrica crescente, característico, por exemplo, das duas principais cidades do país: São Paulo e Rio de Janeiro.

Este capítulo está dividido em cinco subcapítulos. Os três primeiros apresentam os resultados da demanda hídrica por tipo de consumo, respectivamente, a demanda da população residente, a demanda da população de turistas e a demanda dos principais empreendimentos econômicos do município. A quarta parte apresenta a demanda hídrica total e analisa a sua distribuição espacial, com base nas regiões hidrográficas. Por fim, o último subcapítulo faz uma avaliação do balanço entre a disponibilidade e a demanda hídrica atuais, resultando na classificação das regiões hidrográficas segundo este balanço.

6.1 DEMANDA HÍDRICA DA POPULAÇÃO RESIDENTE DE ANGRA DOS REIS

Como já relatado, no capítulo 3, na Metodologia, devido à ausência de dados hidrométricos de boa qualidade sobre consumo hídrico domiciliar local, foi investigada a relação entre renda e volume de água distribuído.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2002) revelou que o volume de água distribuído *per capita* nos estados brasileiros varia entre 80 e 550 L/hab.dia (Fig. 6.1). O

estado do Rio de Janeiro apresenta o maior consumo *per capita*, e este é um valor *outlier*, sem o qual a média dos estados é de 196 L/hab.dia e o desvio padrão é de 66 L/hab.dia.

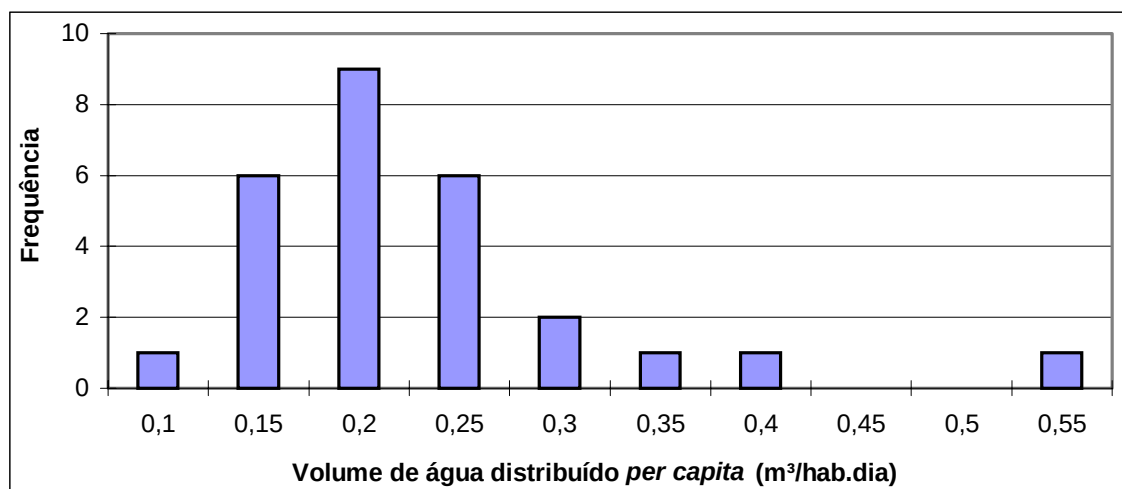


Figura 6.1: Histograma do volume de água *per capita* distribuído dos estados brasileiros.
Fonte: IBGE (2002)

O PIB anual *per capita* dos estados brasileiros varia entre 1,6 e 14 mil reais (IBGE, 2000). O Distrito Federal apresenta o maior valor, e este é um valor *outlier*. A média de renda dos estados brasileiros, excluindo a capital, corresponde a 4,7 mil reais, com desvio padrão de 2,4 mil reais (Fig.6.2).

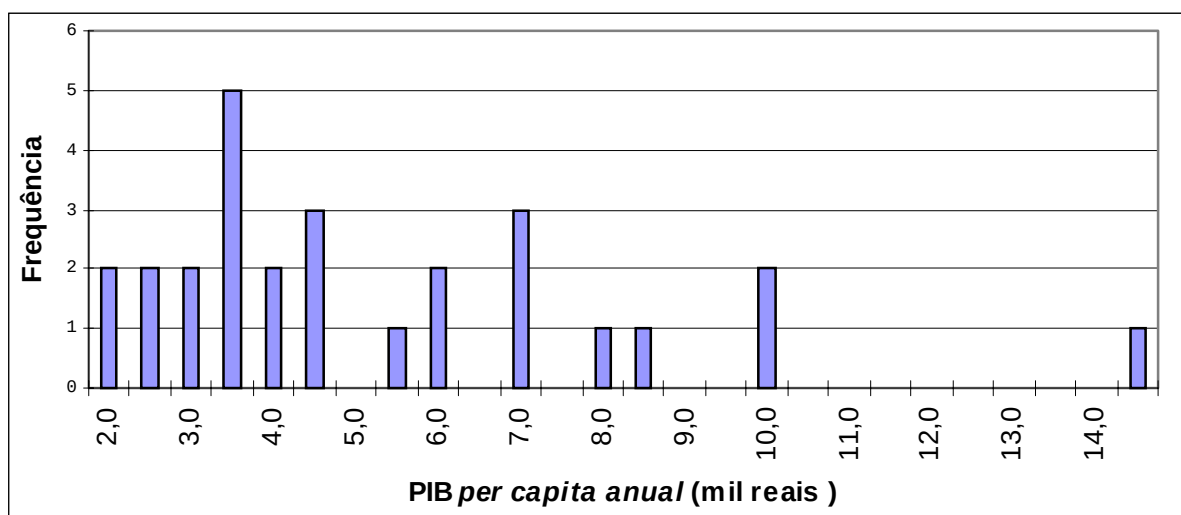


Figura 6.2: Histograma da renda *per capita* dos estados brasileiros.
Fonte: IBGE (2001a)

Retirando o Distrito Federal e o estado do Rio de Janeiro da regressão entre volume de água distribuída e PIB *per capita*, obtém-se coeficiente de correlação de *Pearson* de 0,71 ($p < 0,0001$) (Fig. 6.3).

A renda *per capita* de Angra dos Reis, correspondente a 7,6 mil reais (IBGE, 2003), valor que alocado nesta equação, permite estimar o consumo *per capita* deste município em 259 L/hab.dia, variando entre 225 e 293 L/hab.dia, com 95% de confiança.

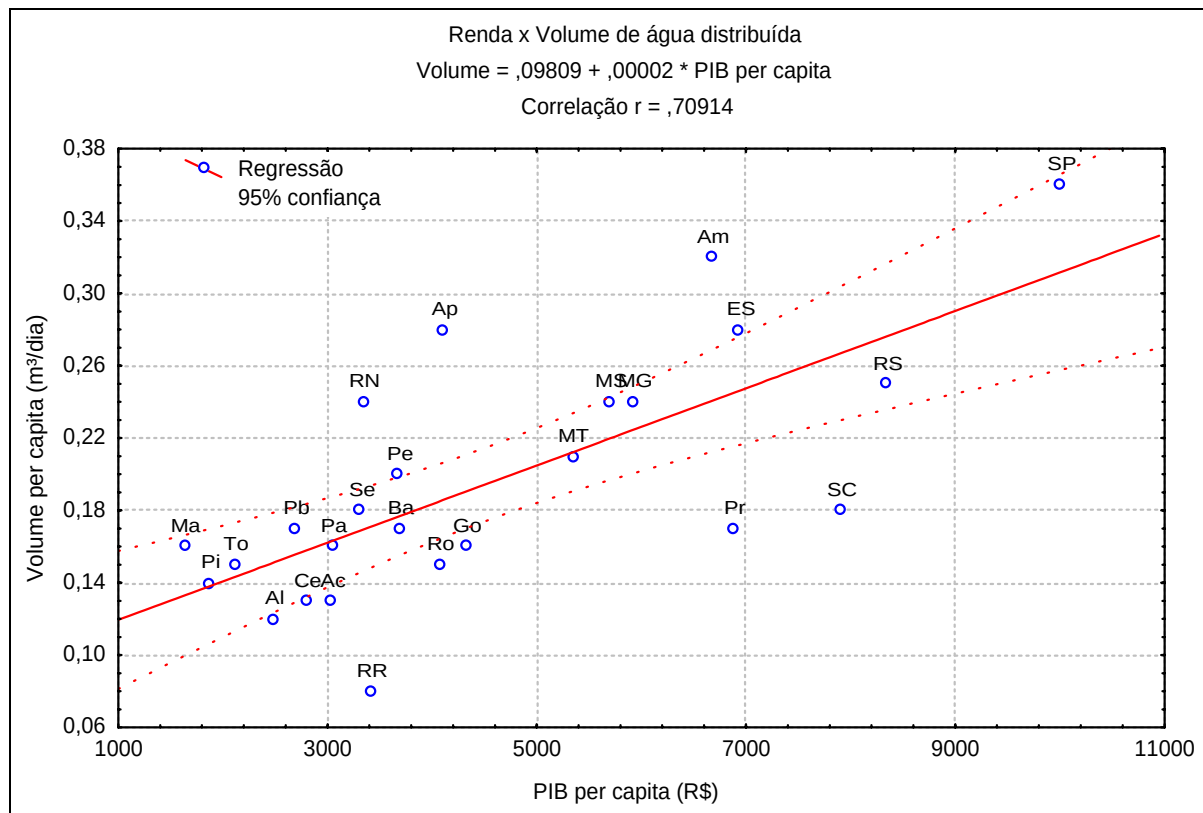


Figura 6.3: Regressão entre a renda e volume de água distribuída dos estados brasileiros.

Na análise de agrupamento, os estados brasileiros, excluídos Rio de Janeiro e Distrito Federal, foram divididos em três grupos: o primeiro, constituído por 13 estados, apresentou PIB *per capita* médio de 2,8 mil reais e volume *per capita* de 160 L/hab.dia. O segundo grupo, constituído por seis unidades, correspondeu a 4,9 mil reais de renda *per capita* com volume de 210 L/hab.dia. O valores do terceiro grupo, com seis estados, corresponderam, respectivamente, a 7,8 mil reais e 260 L/hab.dia.

Resultados semelhantes a estes foram obtidos com outras fontes de dados, conforme relatado nos próximos parágrafos.

Foram fornecidos, pelo SAAE, dados sobre 22 mil economias cadastradas, nas regiões de Japuiba e Mambucaba, referentes ao consumo de água no mês de agosto de 2003, sendo que destas apenas 3,2 mil são hidrometradas, com índice de inadimplência igual a 85% do total das contas emitidas.

Do total de 22 mil registros, foram aproveitados apenas 8%. O restante dos valores eram inconsistentes, possivelmente por representarem economias não hidrometradas ou por

falha de leitura. A análise dos dados consistidos resultou em consumo *per capita* correspondente a 220 L/hab.dia e 190 L/hab.dia, respectivamente, referente a Japuíba e Perequê.

A região do Mambucaba é abastecida pelo sistema Itapicu, com bacia contribuinte de 5 km². Em visita a campo, em setembro de 2001, foi verificado que toda a água do rio estava sendo captada por este sistema. Considerando que este evento apresentava vazão com valor próximo à $Q_{7,10}$ e transferindo este valor da estação fluviométrica Itapetinga, situada próxima a este ponto, para a bacia contribuinte à captação, através do método de interpolação de áreas, obtém-se vazão de 34 L/s, correspondendo a um consumo *per capita* de 270 L/hab.dia para o total de 11 mil residentes nestes bairros (IBGE, 2003).

Cabo Severino e Banqueta são outros dois sistemas que entram em colapso nos períodos de estiagem durante o inverno. Adotando a mesma linha de raciocínio do parágrafo anterior, através da regionalização de vazão elaborada para as bacias contribuintes à baía da Ilha Grande (Cap. 05), e considerando a bacia de drenagem dos dois sistemas com total de 20 km², obtém-se como vazão mínima 125 L/s. Como estes sistemas abastecem cerca de 44 mil pessoas, o consumo *per capita* resultante corresponde a 240 L/hab.dia.

O cruzamento entre os resultados de regressão e de análise de agrupamento com outros dados obtidos em diferentes fontes, permite concluir pela coerência em adotar o valor de 250L/hab.dia como demanda hídrica *per capita* para a população residente no município de Angra dos Reis.

Na faixa continental deste município residem 114 mil habitantes (IBGE, 2003). Neste caso, a demanda hídrica do total da população residente é próxima de 28,5 mil m³/dia, correspondendo a uma vazão de 330 L/s.

A demanda hídrica da população residente distribui-se em núcleos urbanos conforme representado na Figura 6.4: 50% concentram-se na região do Centro e Japuíba, 10% na região do Mambucaba, 7 % no Frade e 15% em Jacuecanga, totalizando 80% da população. Os 20% restantes localizam-se em áreas que concentram menos de 1,5% da população total.

6.2 DEMANDA HÍDRICA DA POPULAÇÃO DE TURISTAS DE ANGRA DOS REIS

Ao analisar a situação dos domicílios do estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2001), verifica-se que os municípios com forte atividade turística apresentam menos de 70% dos domicílios totais ocupados, podendo alcançar valores abaixo de 50%, como ocorre na Região dos Lagos (Fig. 6.5). Nestes municípios, os domicílios com uso ocasional representam mais

de 20% do total de domicílios, enquanto nos outros municípios este valor é próximo a 5%. A faixa continental de Angra dos Reis apresenta cerca de 10 mil domicílios com uso ocasional, representando 21% dos domicílios particulares.

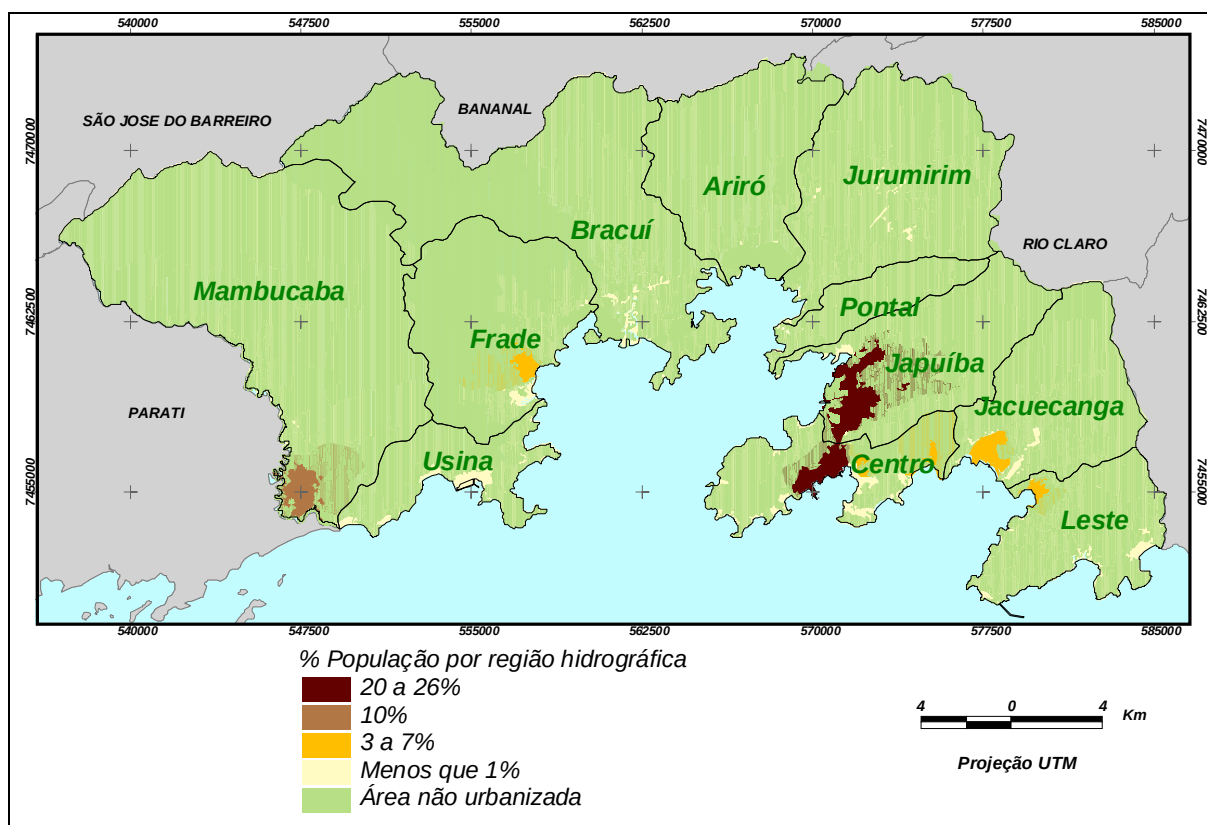


Figura 6.4: Distribuição da população por região hidrográfica na faixa continental de Angra dos Reis.
Fonte: IBGE (2003)

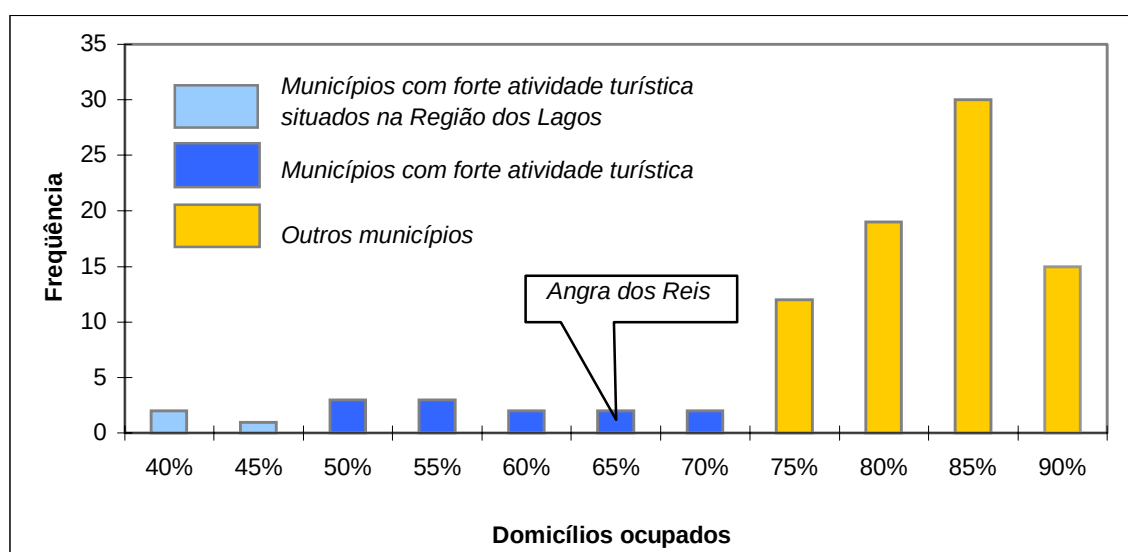


Figura 6.5: Histograma dos domicílios ocupados nos municípios fluminenses.
Fonte: IBGE (2003)

Na ausência de outra informação, considerou-se, então, que as residências de veraneio correspondessem aos domicílios com uso ocasional, premissa também aplicada em CEDAE (1985) e SMA (1996). Atribuindo a hospedagem de quatro pessoas por residência, que corresponde ao número médio de pessoas por domicílio, em Angra dos Reis, segundo o Censo Demográfico (IBGE, 2003), o total de pessoas que hospedam-se em casas de veraneio, na faixa continental do município, é de cerca 40 mil pessoas.

O número de leitos nos meios de hospedagem do tipo hotel, pousada e similares é de 5,8 mil distribuídos em 83 unidades localizadas na faixa continental de Angra dos Reis, segundo a SDEICT.

O total da população de turistas, somando todos os tipos de hospedagem e as casas de veraneio, é de cerca de 46 mil, ou seja, 40% da população residente.

A SDEICT de Angra dos Reis estima, através da informação repassada por hotéis e agências de viagem, e por atendimento a consultas diretas no balcão de informações turísticas, que, em 2002, foram recebidos cerca de 364 mil turistas, que corresponde a três vezes da população residente. Na alta temporada, que ocorre durante os meses de novembro a fevereiro, são recebidos 50% do total e, nos meses de junho e julho, 30%. No restante do ano, cerca de 70 mil visitantes se dirigem para Angra dos Reis, concentrados nos feriados prolongados.

O fluxo de turistas, avaliado através da contagem de veículos, realizada durante o feriado da Semana Santa de 2002, forneceu valor semelhante à capacidade de hospedagem.

Pela análise dos dados da contagem, verificou-se que a entrada de veículos de turistas em Angra dos Reis (Fig. 6.6) ocorreu na quinta-feira e na sexta-feira, a saída concentrou-se no domingo, enquanto os outros dias foram considerados como fluxo normal. Para estimativa do fluxo de turistas, foi deduzida da contagem total dos dias de entrada e saída, a média do fluxo normal de veículos, ou seja, sem a influência do tráfego do feriado. O resultado mostra que, na BR-101, o total de veículos, entrando e saindo do município, correspondeu a cerca de 9 mil e, na RJ-155, a 3 mil.

A amostragem com 2 mil veículos revelou que 90% deles eram de passeio, com quatro passageiros em média, considerando todos os tipos de veículos. Também foram analisados dados do Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT, 1997), referentes à contagem de veículos, realizada durante a semana do feriado de 20 de janeiro de 1997, na BR-101, em Angra dos Reis. Com estes dados foi possível confirmar a proporção de carros de passeio, que na ocasião foi também de 90%.

Considerando, então, quatro passageiros para um total de 12 mil veículos, o fluxo de turistas que passaram, na ocasião, nas duas rodovias foi de 48 mil. Este é um valor aproximado, pois aí estão incluídos os turistas que se destinam, também, às ilhas, e não estão incluídos os turistas oriundos do estado de São Paulo, pois o posto de contagem na BR-101 estava localizado em Jacuecanga, entrada leste do município.

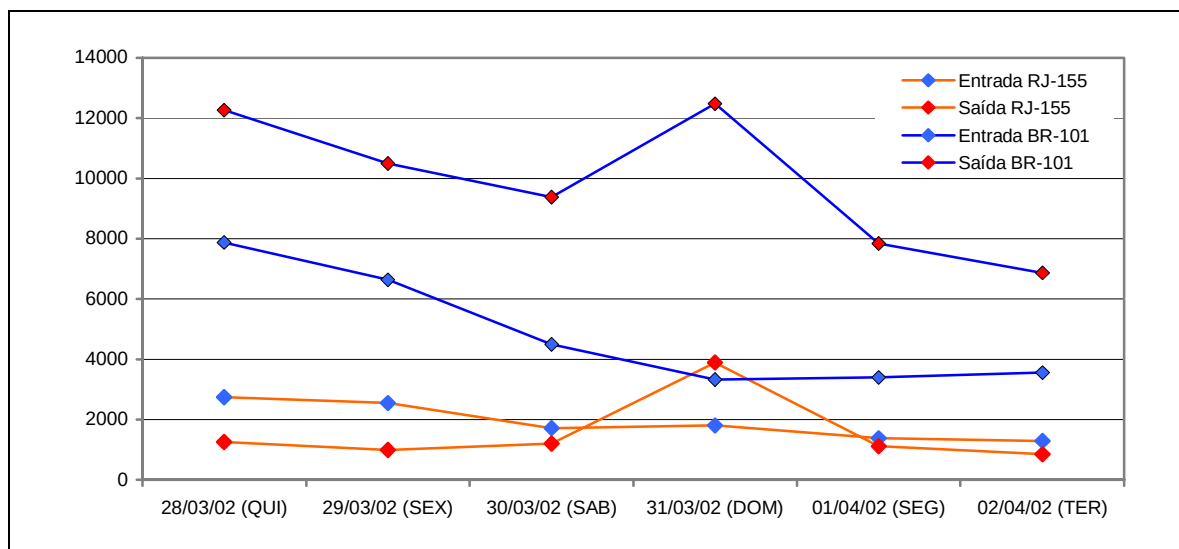


Figura 6.6: Contagem de veículos na Semana Santa de 2002

Fonte: DER

No entanto, considerando que a Semana Santa é uma ocasião em que há grande saída de veranistas das metrópoles e, que, durante o feriado, os dias estavam ensolarados, este valor deve representar um dos picos de estadia de turistas em Angra dos Reis.

Como consumo hídrico *per capita* dos turistas, na ausência de estudos e dados locais que pudessem indicar um valor com maior segurança, foi atribuído um consumo 50% maior do que o da demanda *per capita* da população residente de Angra dos Reis, pois:

- A população turística tem renda mais elevada do que a média do morador do município, fato constatado pela presença de condomínios de alto padrão e hotéis de alto luxo, localizados ao longo do litoral angrense, estes últimos possuindo 35% dos leitos da área de estudo;
- Os turistas desfrutam o tempo de lazer em atividades que demandam água, como esportes náuticos, praias, piscinas, sauna, o denominado turismo *water front*. 65% dos leitos pertencem a hospedagens que oferecem algum tipo de atividade relacionada ao consumo de água; e
- Os hotéis e similares demandam elevado consumo hídrico para manutenção de suas atividades diárias, como lavanderia, jardinagem, cozinha etc.

Considerando que a capacidade de hospedagem da faixa continental de Angra dos Reis seja de 46 mil pessoas, correspondendo ao somatório de 40 mil veranistas e 6 mil turistas, e que a demanda *per capita* corresponda a 400 L/hab.dia, o total da demanda hídrica do turismo está em torno de 16 m³/dia.

A região do Centro, que concentra o maior número de turistas, representando 25% do total, é acompanhada pela Ponta do Leste e por Mambucaba, cada uma com 16%. Em todas as regiões, predominam as residências de veranistas em relação aos outros meios de hospedagem. O número de leitos também se concentra no distrito-sede, e o hotel *Blue Tree Park*, aí situado, detém 16% dos leitos de toda a faixa continental (Fig. 6.7).

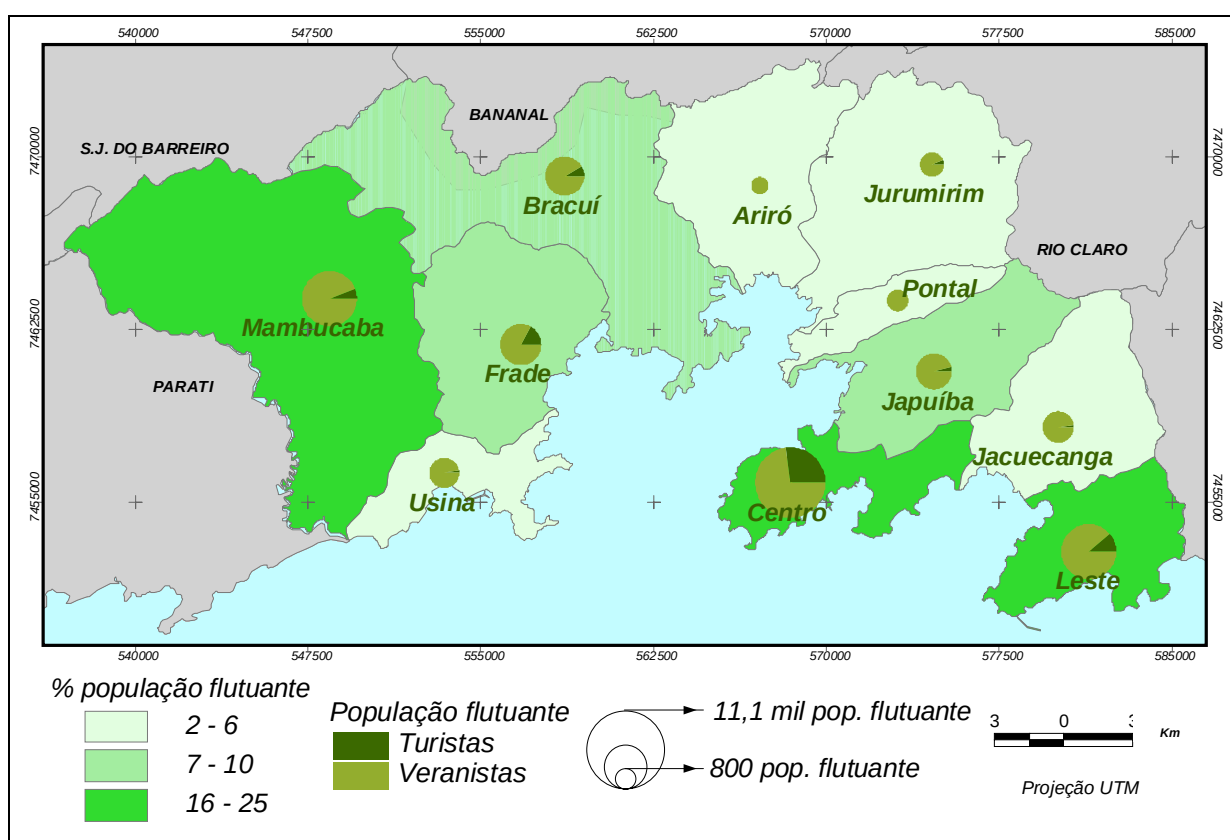


Figura 6.7: Distribuição de turistas na faixa continental de Angra dos Reis

6.3 DEMANDA DOS PRINCIPAIS EMPREENDIMENTOS ECONÔMICOS DE ANGRA DOS REIS

A estimativa da demanda hídrica das atividades econômicas baseou-se no consumo dos quatro grandes empreendimentos instalados no município: o estaleiro BRASFELS – antigo Verolme, o terminal aquaviário – TEBIG da Petrobras, as usinas nucleares Angra I e II e o porto de Angra dos Reis.

Segundo informações fornecidas pela ELETRONUCLEAR¹, o consumo de água para atendimento às unidades Angra I e Angra II, com total de 1,8 mil funcionários, corresponde a 5,5 mil m³/dia, que são captados na vizinha bacia do rio do Frade. Quando do início da implantação da unidade III, será necessário um reforço de adução para atender a um consumo total previsto de 100 L/s.

O funcionamento de uma usina nuclear é semelhante ao de uma usina térmica convencional: o calor gerado pela combustão do carvão, óleo ou gás vaporiza a água em uma caldeira, o vapor aciona a turbina que está junto ao gerador, produzindo energia elétrica. Em uma usina nuclear, o calor é produzido pela fissão do urânio no núcleo do reator. O sistema utilizado nas usinas brasileiras é constituído por três circuitos: primário, secundário e de água de refrigeração. No circuito primário, a água é aquecida pelo calor decorrente da fissão do urânio no reator. A seguir, a água, passando por tubulações, chega ao gerador de vapor, onde vaporiza a água do circuito secundário, sem entrar em contato com ela. O vapor resultante aciona a turbina, que movimenta o gerador, produzindo energia. Após ter realizado trabalho na turbina, o vapor é puxado por vácuo até a caixa do condensador, onde é resfriado indiretamente pela água do mar, retornando ao estado líquido. Outra bomba irá retirar esta água e alimentar o gerador de vapor para que o processo se repita (ELETRONUCLEAR, 2003). A refrigeração final consome um grande volume de água, que, no caso de Angra, utiliza a água do mar. Na Alemanha, as usinas nucleares são grandes consumidores de água doce.

No estaleiro BRASFELS, a água é utilizada no atendimento do consumo dos funcionários, atualmente totalizando cerca de 6 mil, entre fixos e terceirizados, no hidrojateamento, uma atividade esporádica, que consome o equivalente a 60 m³/dia, e na refrigeração de equipamentos, operação em que a água é reutilizada. Há projetos de reaproveitamento da água de hidrojateamento (informação verbal)². Como não há dados hidrometrados para este estaleiro, para a estimativa de consumo hídrico considerou-se a água utilizada pelos funcionários, adicionada ao volume de água consumida durante o processo de hidrojateamento. Os funcionários alimentam-se no restaurante do estaleiro, logo considerou-se como padrão o uso doméstico de 200 L/dia *per capita* (vide Tab. 2.2), totalizando 1,3 mil m³/dia.

¹ Informação fornecida por Bruno de A. Thomaz, Coordenação de Comunicação e Segurança - CS.P, ELETRONUCLEAR, em agosto de 2003.

² Informação fornecida por Elias Valentim de Souza, Coordenador de Meio Ambiente, BRASFELS, em agosto de 2003.

A água captada no rio Caputera, afluente do rio Jacuecanga, para operação do TEBIG destina-se ao atendimento do consumo de 1,1 mil funcionários, incluindo o fornecimento de refeições, ao abastecimento de navios e à lavagem dos tanques de petróleo. O sistema também abastece a vila de funcionários e dois clubes.

O terminal possui dois píeres de 25 m e 35 m de calado com capacidade para receber navios de 516 m de comprimento, entre 350 mil a 500 mil TPB³ (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2003). A capacidade média dos reservatórios de água de navios deste porte corresponde a 1,2 milhão de litros (informação verbal)⁴. O volume de água consumido para abastecer um navio é variável, pois depende da rota do navio, do valor cobrado pela água no terminal, do volume do reservatório preenchido, entre outros.

Foram fornecidos dados hidrometrados da produção de água potável pelo sistema do TEBIG⁵ (Tab. 6.1), dos meses de janeiro a abril de 2003, incluindo o consumo do terminal e os outros já citados. A maior produção correspondeu ao mês de fevereiro, possivelmente, em função da coincidência da estadia dos veranistas e do final das férias escolares das famílias dos funcionários, porém ele não é um *outlier* ($p < 0,10$). Os meses de maio e junho, correspondentes aos meses de outono, apresentam menor produção. A variabilidade no volume da produção de água não corresponde à variação do número e volume de água de navios abastecidos. Observa-se, assim, que a maior produção pode estar relacionada ao abastecimento da vila.

Tabela 6.1: Produção de água tratada pelo sistema do TEBIG⁵.

Período	Produção água potável (mil m³/mês)	Fornecimento a navios (mil m³/mês)	Nº de navios abastecidos	Volume por navio (m³)
jan/03	24,6	0,6	3	198
fev/03	34,3	1,7	8	209
mar/03	29,1	3,2	12	269
abr/03	28,3	0,7	5	144
mai/03	23,3	1,1	8	141
jun/03	21,3	2,6	10	258
Média	26,8	1,7	8	203
D.P.	4,7	1,1	3,3	54,4
CV%	17%	64%	43%	27%

³ Toneladas de porte bruto, capacidade máxima de carga de um navio, incluindo o peso da carga útil, combustível, lastro, víveres etc.

⁴ Informação fornecida por Francisco José, Gerente do Porto de Angra dos Reis, em agosto de 2003.

⁵ Informação fornecida por José Carlos, TEBIG, em agosto de 2003.

Para estimar apenas o consumo de água no terminal, subtraiu-se, da produção de água potável, a água destinada à vila de funcionários. Segundo informações de campo e dos dados censitários (IBGE, 2003), há 203 domicílios ocupados, com média de quatro pessoas por domicílio; para o mês de fevereiro, março e abril estimou-se aumento de 40% na população, em função do verão e dos feriados prolongados. Considerando 400 L/hab.dia *per capita*, mesmo valor definido para os turistas, devido à presença dos clubes (Tab. 6.2), obteve-se média de consumo de água no terminal de 490 m³/dia, coeficiente de variação de 26%; quando retirado o mês de fevereiro, os valores caem, respectivamente, para 440 m³/dia e 7%. Considerando 250 L/hab.dia, mesmo valor definido para a população residente, a média de consumo do TEBIG corresponde a 640 m³/dia com coeficiente de variação de 23%, retirando o mês de fevereiro, os valores passam a ser, respectivamente, 580 m³/dia e 9%.

Tabela 6.2: Estimativa de consumo hídrico do TEBIG segundo produção de água potável mensal

Período	Produção água potável dia (m ³ /dia)	Consumo estimado do TEBIG (m ³ /dia) ¹	Consumo estimado do TEBIG (m ³ /dia) ²
jan/03	793	468	590
fev/03	1.224	736	919
mar/03	938	450	633
abr/03	942	455	638
mai/03	751	426	548
jun/03	712	387	509
Média	893	487	639
D.P.	188,0	125,4	145,7
CV%	21%	26%	23%

¹Subtraído o consumo da vila de funcionários, considerando 400 L/dia per capita.

²Subtraído o consumo da vila de funcionários, considerando 250 L/dia per capita.

Ao estimar o consumo de água baseado no número de funcionários e no volume consumido para abastecimento de um navio, chega-se a um valor aproximado ao anterior (Tab. 6.3). O consumo com funcionários corresponde a 220 m³/dia, utilizando 200 L/hab.dia por funcionário e o maior consumo por navio, dos meses informados, corresponde a 270 m³/dia, referente ao mês de março, totalizando 490 m³/dia. Considerou-se o maior consumo por navio, pois este já é um valor médio de navios abastecidos no mês, ou seja, ele corresponde ao máximo de valores médios; como se pretende avaliar o maior consumo, optou-se por este valor.

Tabela 6.3: Estimativa de consumo do TEBIG segundo número de funcionários e produção

Número de funcionários	1100
Consumo por funcionário (L/dia)	200
Total consumo funcionários (m ³ /dia)	220
Maior consumo por navio (m ³ /dia)	270
Total de consumo (m ³ /dia)	490

O porto de Angra não possui sistema próprio de captação, sendo abastecido pelo sistema CEDAE. O uso das águas destina-se ao abastecimento dos navios e ao consumo dos funcionários. O número de trabalhadores fixos corresponde a 400, e durante a movimentação de cargas, pode chegar a mil. O porto possui dois berços com profundidade de 10 m, onde podem atracar navios de até 180 m de comprimento e 29 mil TPB. Navios deste porte têm reservatórios de água com capacidade média de 800 mil litros.

Segundo informações coletadas em campo, o volume de água consumido quando o porto encontra-se em plena atividade é de 300 m³/dia. Considerando o número máximo de trabalhadores e um consumo de 200 L/dia por funcionário, obtém-se 200 m³/dia.

As usinas nucleares apresentam a maior demanda entre os grandes empreendimentos instalados em Angra, correspondendo a 10% da demanda total. Os outros três empreendimentos apresentam consumo total inferior a 5% (Fig. 6.8).

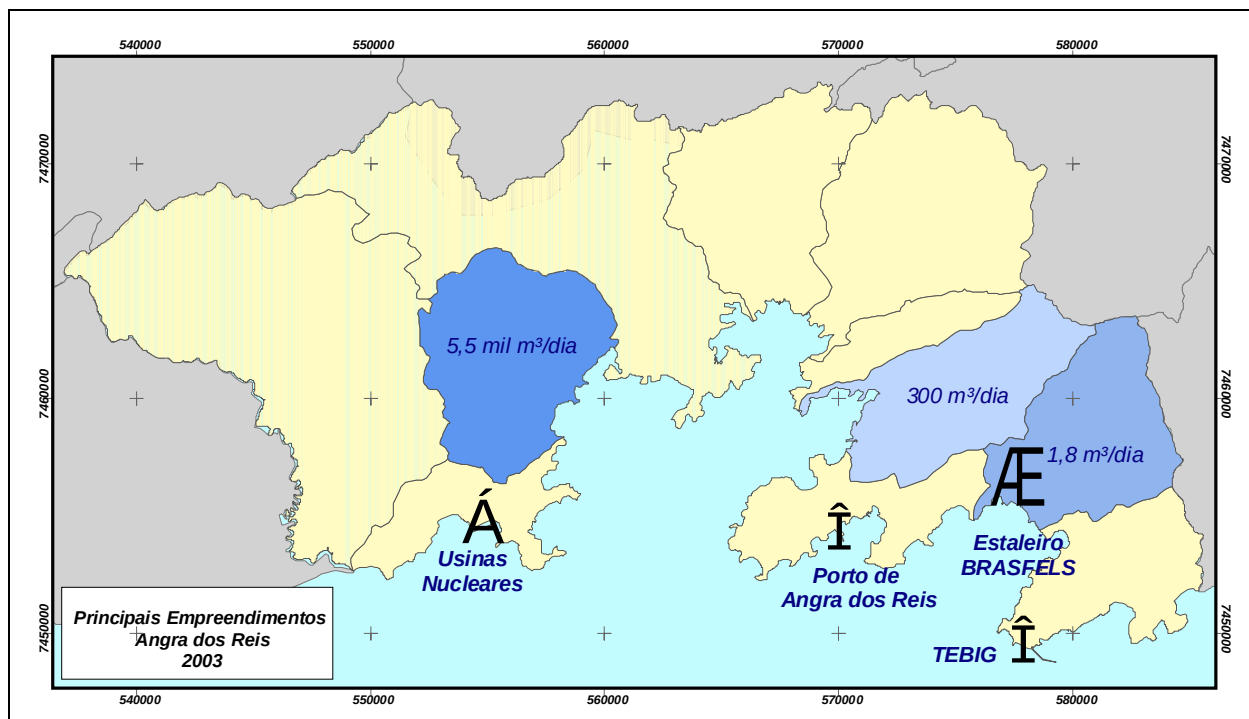


Figura 6.8: Demanda hídrica dos principais empreendimentos econômicos de Angra dos Reis.

6.4 DEMANDA HÍDRICA TOTAL E DAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS

A estimativa da demanda hídrica total da área em estudo tentou aproximar-se dos valores mais elevados, ou seja, dos períodos de pico do consumo, justamente quando são estabelecidos os conflitos pelo uso da água. Comumente, a demanda maior ocorre durante o verão, quando o fluxo de turistas é maior, coincidindo com o período de maior disponibilidade. Porém, durante o inverno, as condições de demanda elevada também podem ocorrer, com destaque para o feriado de 07 de setembro e para as férias do mês de julho,

quando há um aumento do fluxo de turistas, coincidindo, então, com período de estiagem, e, consequentemente, com menor disponibilidade hídrica.

Com base nos dados levantados e nas análises realizadas, o total da demanda hídrica na faixa continental de Angra dos Reis é de 54 mil m³/dia, ou seja, 625 L/s, considerando a capacidade total de hospedagem ocupada (Tab. 6.4). Dividindo-se este valor pela população residente, obtém-se demanda *per capita* de 470 L/hab.dia, incluído aí o consumo das principais atividades econômicas

O maior consumo corresponde à população residente com 28,5 mil m³/dia, representando 53% do total, seguido da população flutuante, com 18 mil m³/dia e 33% do total da demanda. Os quatro maiores empreendimentos econômicos consomem 7,6 mil m³/dia, representando 14% do total.

Tabela 6.4: Demanda hídrica total da faixa continental de Angra dos Reis.

Demanda população residente				
Tipo	Nº habitantes (mil)	L/hab.dia	Total (mil m ³ /dia)	Total
Urbana	114,0	250	28,5	53%
Demanda população turística				
Tipo	Nº turistas (mil)	L/pop.dia	Total (mil m ³ /dia)	Total
Hotéis e similares	5,8	400	2,3	4%
Casas de veraneio	39,0		15,6	29%
Total			17,9	33%
Demanda industrial				
Nome	Nº funcionários (mil)	L/func.dia	Total ¹ (mil m ³ /dia)	Total
BRASFELS	6,0	200	1,3	2%
Usinas nucleares	1,8		5,5	10%
Porto de Angra	1,0		0,3	1%
TEBIG4	1,1		0,6	1%
Total			7,6	14%
Demanda total (mil m³/dia)			54,0	100%
¹ Demanda: Brasfels: (funcionários * demanda per capita) + demanda da produção Usinas nucleares e Porto de Angra: informada pelas respectivas empresas TEBIG: dados de hidrometria fornecidos pela empresa e tratados				

Adotando como disponibilidade hídrica 50% Q_{7,10}, equivalente a 8 m³/s, ou seja, 665 mil m³/dia, a relação entre demanda e disponibilidade é inferior a 8%. Mesmo dobrando a população de turistas, a relação fica abaixo de 10%. Considerando a vazão apenas dos rios não federais, esta relação alcança 23%. Estes valores expressam a abundância hídrica atual na faixa continental de Angra dos Reis.

A distribuição espacial da demanda está diretamente relacionada à distribuição da população residente no território: 80% da demanda está concentrada nas regiões hidrográficas Japuíba, Frade, Centro, Mambucaba e Jacuecanga, onde residem cerca de 86% da população (Fig. 6.9).

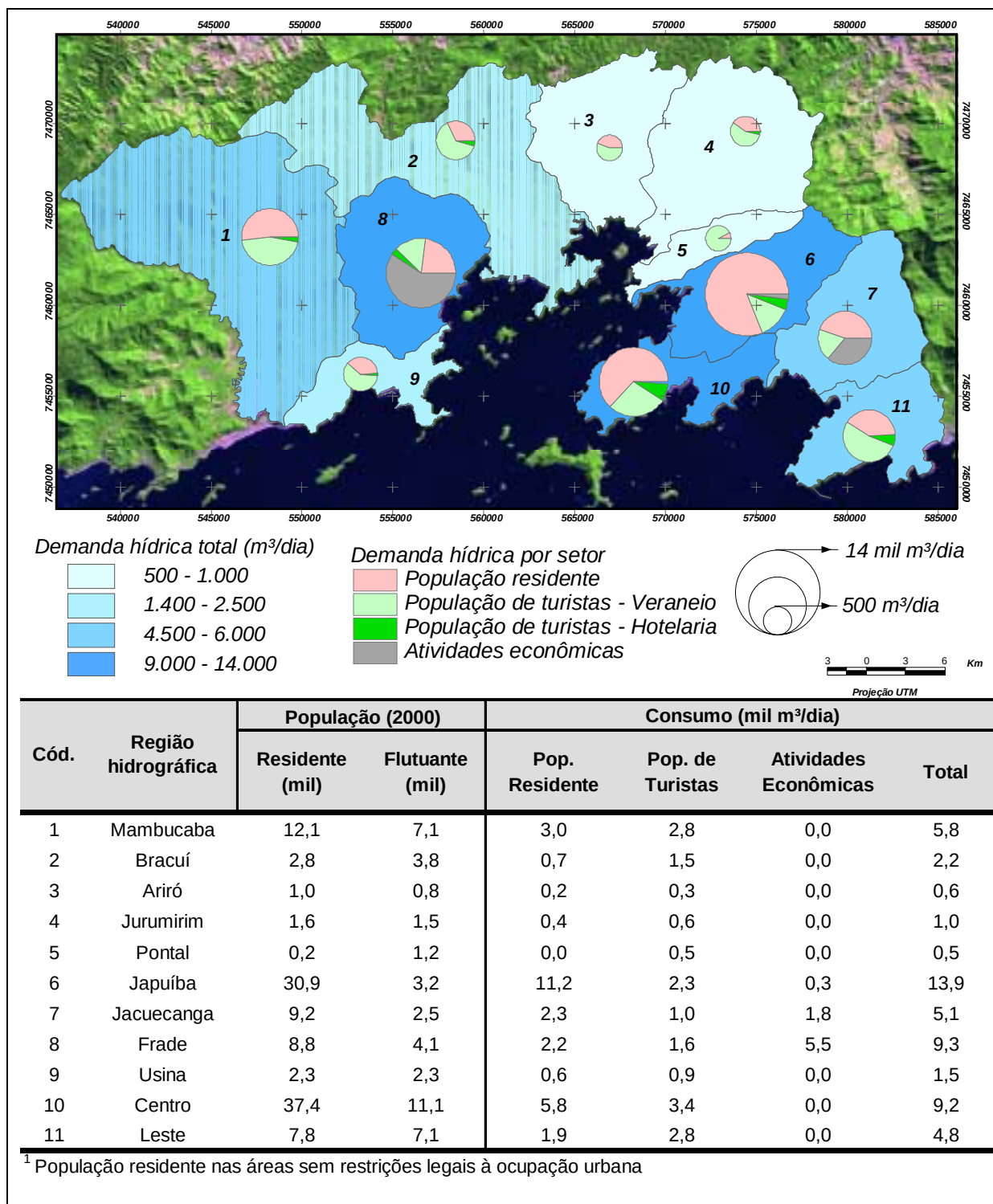


Figura 6.9: Demanda hídrica total das regiões hidrográficas de Angra dos Reis.

A demanda hídrica da região de Japuíba, 14 mil m³/dia, é a maior do município, destinando 80% ao atendimento da população residente nos bairros aí situados, e na região vizinha Centro. O restante corresponde ao consumo da população flutuante.

A região hidrográfica do Centro, a segunda maior demanda junto com a do Frade, é constituída por bacias hidrográficas com área inferior a 2 km². O total da demanda é de 9,2 mil m³/dia, já excluído o volume atendido pela bacia do Japuíba. Do total da demanda, 60% correspondem ao consumo urbano da população residente e o restante, da população flutuante, sendo a região que apresenta maior consumo hídrico com a atividade turística.

A região do Frade, constituída por duas principais bacias hidrográficas, Grataú e Frade, apresenta demanda de 9,3 mil m³/dia. Concentrando 8% da população residente e 10% da flutuante, é a única região em que o abastecimento com atividade produtiva é maior do que com a população, pois é responsável pelo abastecimento das usinas nucleares que consomem 59% da demanda na região. A população residente consome 23% da demanda total e, o restante, é destinado à população flutuante.

A região do Mambucaba, quarta em demanda hídrica, corresponde ao maior manancial do município. Como não há nenhuma atividade produtiva de grande porte nesta região, a população residente é responsável por 52% da demanda, correspondente a 5,8 mil m³/dia; o restante é consumida pela população flutuante.

Na região hidrográfica do Jacuecanga, a demanda hídrica, correspondente a 5,1 mil m³/dia, é dividida entre a população residente, responsável por 45% do consumo, e o estaleiro BRASFELS e o terminal TEBIG, que juntos consomem 35%. O restante da água é consumida pela população flutuante.

As outras regiões apresentam 20% da demanda hídrica, onde residem 14% da população continental. Porém, enquanto as regiões Leste e Usina, constituídas por bacias hidrográficas com área inferior a 10 km², apresentam características turísticas, as restantes apresentam características rurais, com áreas planas ainda não ocupadas.

A região Leste corresponde à segunda maior demanda turística, junto com a região Mambucaba. Com demanda total de 4,8 mil m³/dia, 60% são consumidos pela população flutuante, o restante corresponde à residente.

A região hidrográfica Usina, onde estão situadas as usinas nucleares, apresenta demanda hídrica de 1,5 mil m³/s, sendo 60% referente ao consumo da população flutuante e, o restante, correspondente ao abastecimento da população residente.

A região do Bracuí, ainda uma região pouco habitada, apresenta 2,2 mil m³/dia de demanda hídrica, sendo que 70% deste valor corresponde ao consumo da população flutuante,

situada em condomínios próximos ao litoral. O restante é consumido pela população residente.

As regiões hidrográficas do Ariró, Jurumirim e Pontal apresentam, juntas, demanda hídrica de 2 mil m³/dia, pois concentram apenas 2% da população, em uma área com características rurais, correspondente a 23% da faixa continental. No litoral, há condomínios, fazendo com que cerca de 60% da demanda corresponda à população flutuante.

6.5 BALANÇO ENTRE DISPONIBILIDADE E DEMANDA HÍDRICA DAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS

Os resultados da avaliação da disponibilidade e demanda hídricas foram cruzados e deram origem a indicadores que expressam o balanço atual das regiões hidrográficas: (a) a disponibilidade hídrica *per capita* e (b) a relação entre demanda e disponibilidade. Como disponibilidade foi adotada 50% da Q_{7,10}, e na demanda foi considerada a população flutuante, caracterizando a situação mais crítica: demanda elevada e vazão de estiagem. Para fins de comparação com outras regiões, a disponibilidade hídrica das regiões hidrográficas de bacias com área inferior a 10 km² foi estimada através da interpolação de áreas de bacias vizinhas que possuíam vazão regionalizada.

A avaliação por regiões hidrográficas permitiu identificar a desigual distribuição espacial de população e de águas superficiais: as bacias formadas por rios federais concentram cerca de 60% da disponibilidade da área em estudo e 15% da demanda atual, enquanto 50% da população são abastecidas por bacias com menos de 5% da disponibilidade, nas regiões Centro e Japuíba, onde mais de 80% da disponibilidade já vem sendo consumida. Observa-se, assim, que há bacias com elevada disponibilidade e outras com elevada demanda. O balanço entre estes parâmetros permitiu que as regiões hidrográficas fossem, assim, classificadas (Fig. 6.10):

1. Disponibilidade Hídrica Insuficiente – a elevada concentração populacional, 60% da população continental, aliada à vazão insuficiente dos mananciais, fazem com que as regiões do Centro e Japuíba sejam consideradas como as mais críticas da área de estudo, a disponibilidade hídrica já encontra-se comprometida em mais de 85% e a disponibilidade *per capita* está abaixo de 150 m³/hab.ano. A solução para o abastecimento deve ser dada por regiões hídricas vizinhas.

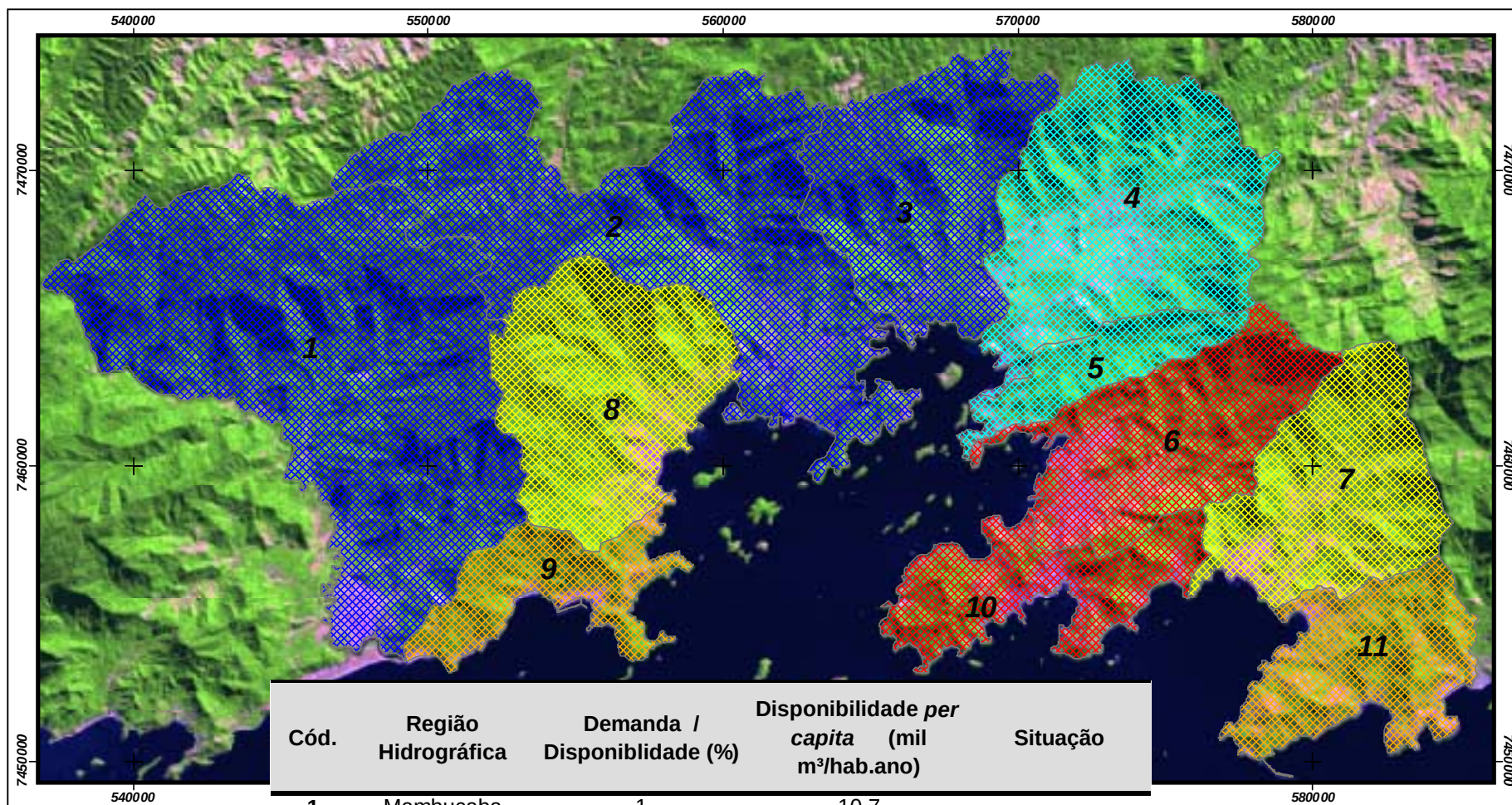


Figura 6.10: Balanço entre disponibilidade e demanda hídrica atual. Faixa continental de Angra dos Reis.

2. Disponibilidade Hídrica Baixa - por possuírem bacias hidrográficas muito pequenas, as regiões de Usina e Leste apresentam disponibilidade comprometida em mais de 60%, correspondendo a disponibilidade *per capita* em torno de 250 m³/hab.ano. No períodos em que alta demanda e longa estiagem coincidem, a disponibilidade é insuficiente para atender à demanda e, ao mesmo tempo, manter da vazão ecológica.
3. Disponibilidade Hídrica Média – apresentam disponibilidade *per capita* média de 650 m³/hab.ano e 30 a 50% da disponibilidade sendo consumida. Nesta classe estão incluídas as regiões Frade e Jacuecanga, que, atualmente, não apresentam insuficiência hídrica, mas, devido aos três maiores empreendimentos econômicos do município estarem aí situados, mais de 35% da disponibilidade de cada região já encontram-se comprometidas com estas atividades.

Na região Frade, a possibilidade da instalação de Angra III faz com que esta mereça atenção especial na gestão de água, considerando os diversos usuários, atualmente compostos pela população residente e por um hotel, tipo *resort*, além das usinas. A população residente é abastecida precariamente por sistemas cuja área de captação é inferior a 1 km².

Na região Jacuecanga, a possibilidade de crescimento dos empreendimentos econômicos aí instalados e, conseqüentemente, o aumento da demanda hídrica, fazem com que esta região deva receber atenção especial na utilização dos recursos hídricos.

4. Disponibilidade Hídrica Alta – apresentam disponibilidade *per capita* entre 4 mil e 5 mil m³/hab.ano e a demanda correspondendo a menos de 10% da disponibilidade. A baixa densidade demográfica das regiões Jurumirim e Pontal, 2% da população em 23% da faixa continental, favorecem a elevada disponibilidade
5. Disponibilidade Hídrica Muito Alta - as regiões Mambucaba, Bracuí e Ariró correspondem aos maiores mananciais da região, totalizando 85% do total da disponibilidade. A presença de grandes mananciais, aliada a baixa concentração demográfica nas duas últimas regiões, favorecem que os indicadores sejam elevados: a disponibilidade *per capita* é acima de 10 mil m³/hab.ano e apenas 2% da disponibilidade é consumida.

7 CAPACIDADE DE SUPORTE DAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS DE ANGRA DOS REIS

Há limites, sustentáveis ou não, na utilização dos recursos naturais. O uso acima dos limites acarreta em impactos sociais, econômicos e ambientais, que são proporcionais à grandeza e à forma da utilização. A capacidade de suporte aqui avaliada pretendeu definir os limites das regiões hidrográficas quanto ao uso dos recursos hídricos, expressos através da população equivalente. Esta avaliação foi feita com base no cotejo entre as áreas disponíveis à ocupação urbana, principal tendência de uso do solo municipal, e a disponibilidade hídrica, considerando-se os aspectos de quantidade e qualidade. Com esta análise, foi possível identificar as regiões que poderão exercer o papel de importadoras de água, caso a disponibilidade de terras seja maior do que de águas, ou de exportadoras, caso a disponibilidade de águas seja maior do que terras. O cruzamento entre as tendências demográficas e as populações equivalentes permitiu traçar cenários de sustentabilidade dos recursos hídricos e, assim, identificar quando os limites da utilização do recurso poderiam ser atingidos, de acordo com três tendências de crescimento populacional: estacionário, decrescente e crescente.

Este capítulo apresenta os resultados da avaliação da capacidade de suporte da seguinte forma: nos primeiros três subcapítulos são apresentados, respectivamente, os resultados da população equivalente à disponibilidade hídrica, à qualidade da água e à disponibilidade de áreas para ocupação urbana. O quarto subcapítulo apresenta a classificação das regiões hidrográficas em exportadoras e importadoras hídricas. O último subcapítulo apresenta o cruzamento entre as populações equivalentes e as tendências demográficas do município.

7.1 POPULAÇÃO EQUIVALENTE E DISPONIBILIDADE HÍDRICA EM ANGRA DOS REIS

A população equivalente à disponibilidade hídrica corresponde à razão entre disponibilidade futura e demanda *per capita*.

Como disponibilidade hídrica, foram adotados os valores referentes à vazão média e à vazão mínima, esta última sendo expressa por 50% da $Q_{7,10}$ e pela Q_{95} . A vazão média corresponde à disponibilidade hídrica máxima, já que representa o volume máximo que pode ser regularizado. A vazão mínima corresponde aos períodos críticos de oferta de água, o que condiciona o atendimento da demanda (TUCCI, 2000),

O resultado da disponibilidade futura, denominada como tal já que desconsidera as áreas das bacias sem restrições legais à ocupação na estimativa da vazão, é bastante semelhante à disponibilidade atual, estimada no capítulo 5, já que esta também desconsidera as áreas abaixo de 50 m de altitude. As áreas excluídas, referentes aos locais sem restrição legal à ocupação, correspondem a 10% da área das bacias regionalizadas.

Na estimativa da disponibilidade futura, não foram consideradas mudanças climáticas globais que possam modificar as condições hidrometeorológicas locais. Segundo Shiklomanov (1998), as consequências de mudanças climáticas, para a maioria das regiões já avaliadas, ainda são muito contraditórias, principalmente quanto a alterações no regime pluviométrico.

Como consumo de água *per capita*, adotou-se o valor atual de 500 L/hab.dia, correspondendo à relação entre a demanda hídrica total, incluídas aí as atividades econômicas e o uso domiciliar, pelo número de habitantes residentes (vide Cap.6).

A opção pela manutenção da taxa de consumo atual deve-se aos seguintes fatores:

- o aumento da demanda urbana *per capita*, que pode ocorrer em função da melhoria de renda da população local (vide Cap. 6), pode ser compensado pelo uso eficiente da água, em função da implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos;
- a renda *per capita* anual do município corresponde a 7,6 mil reais (IBGE, 2000), e o seu consumo urbano foi avaliado em 250 L/dia. Caso a renda *per capita* do município atingisse o valor de São Paulo, cerca de 10 mil reais, o seu consumo passaria para 300 L/dia, levando ao aumento de 10% no consumo total *per capita* adotado. Um aumento desta ordem corresponde ao consumo das duas termocentralidades em operação atualmente no município;
- cerca de 10% das economias possuem hidrômetros no município de Angra dos Reis e o índice de inadimplência do total das contas emitidas pela SAEE é de 85%. Atualmente, este serviço vem cadastrando as economias e estimulando a instalação de medidores, o que pode diminuir o desperdício de água nos domicílios; e
- no Brasil, as perdas de distribuição de água, registradas pelas companhias de abastecimento, são da ordem de 45% (SNIS, 2001). Acredita-se que, com a

implementação da Lei 9.433/97, que prevê a outorga e a cobrança de água, as companhias distribuidoras possam tornar-se mais eficientes.

Os resultados da população equivalente à disponibilidade hídrica estão apresentados na Tabela 7.1. Uma coluna corresponde aos valores estimados com base nas bacias com área acima de 10 km², que atravessam a faixa continental de Angra dos Reis, na outra, os valores correspondem apenas aos rios estaduais.

Tabela 7.1: População equivalente à disponibilidade hídrica. Faixa continental de Angra dos Reis.

Vazão	População equivalente - Bacias Hidrográficas com área > 10km ²	População equivalente - Rios de domínio estadual
50% $Q_{7,10}$	1,3E+06	4,7E+05
Q_{95}	3,3E+06	1,2E+06
Q_{mlt}	8,9E+06	3,4E+06

Adotando-se a vazão média, a disponibilidade hídrica corresponde a uma população equivalente de cerca de 8,7 milhões de habitantes, considerando as dificuldades técnicas em regularizar a vazão de pequenas bacias hidrográficas como da área em estudo, este valor é meramente ilustrativo. No período de estiagem, correspondente à vazão mínima, esse valor diminui em mais de 60%, equivalendo a uma população de 3,3 milhões de habitantes. Durante esta época, a demanda apresenta picos, em função das férias de meio de ano e do feriado de sete de setembro. Este último pode ser considerado o período mais crítico em termos de balanço entre abastecimento e demanda hídrica, pois coincide um pico de demanda e com a vazão mínima. A análise dos dados fluviométricos demonstrou que a Q_7 tende a ocorrer durante os meses de agosto e setembro, época em que foram realizados trabalhos de campo, e constatada, nos sistemas de abastecimento visitados, a captação de toda a vazão dos corpos d'água.

Sob o aspecto legal, a vazão máxima que pode ser captada dos corpos d'água, para fins de outorga, é 50% da $Q_{7,10}$, equivalente a uma população de aproximadamente 1,3 milhões de habitantes, o que é oito vezes superior à população atual, incluindo a residencial e a flutuante. Mesmo nas condições mais restritivas, a disponibilidade hídrica é grande em Angra dos Reis.

Quando considerados apenas os rios de domínio estadual, a disponibilidade reduz-se em 60%, resultando em valores de população equivalente entre 470 mil e 3,4 milhões de habitantes, respectivamente, correspondendo a 50% $Q_{7,10}$ e a Q_{mlt} .

7.2 POPULAÇÃO EQUIVALENTE E QUALIDADE DA ÁGUA EM ANGRA DOS REIS

A população equivalente à qualidade hídrica foi estimada com base no limite da DBO utilizado como critério de enquadramento dos corpos d'água de acordo com a classificação das águas do CONAMA e no nível de eficiência do tratamento do esgoto na eliminação da DBO.

A resolução do CONAMA, n.º 20 de junho de 1986¹, estabelece nove classes de águas, segundo os usos preponderantes, e indica os limites e as condições de qualidade de água para cada classe. Na Tabela 7.2 estão descritos os usos permitidos e o limite da DBO das cinco classes de água doce.

Tabela 7.2: Classificação de águas doces segundo Resolução n.º 20/86 do CONAMA.

Classe	Usos	Limite superior DBO _{5,20} (mg/L)
Classe Especial	a) abastecimento doméstico sem prévia ou simples desinfecção. b) preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.	Limite não especificado
Classe 1	a) abastecimento doméstico após tratamento simplificado. b) proteção de comunidades aquáticas. c) recreação de contato primário. d) irrigação de hortaliças. e) criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.	3
Classe 2	a) ao abastecimento doméstico após tratamento convencional. b) proteção de comunidades aquáticas. c) recreação de contato primário. d) irrigação de hortaliças e plantas frutíferas. e) criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.	5
Classe 3	a) abastecimento doméstico após tratamento convencional. b) irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras. c) dessedentação de animais.	10
Classe 4	a) navegação. b) harmonia paisagística. c) usos menos exigentes.	Limite não especificado

A concentração da DBO no corpo d'água (DBO_{receptor}), após lançamento do esgoto, deve ser igual ou inferior ao valor permitido para uma determinada classe de uso do

¹ A resolução CONAMA 274 de 29/11/2000 modifica somente os artigos 26 a 34 da Resolução 20/86, que versam sobre balneabilidade, sem interferir na classificação em pauta.

CONAMA, logo ela é função da DBO no esgoto (DBO_{efluente}) e da eficiência do tratamento na eliminação da DBO do efluente (K), conforme mostrado a seguir.

$$DBO_{\text{receptor}} \leq (DBO_{\text{efluente}} * (1 - K)), \text{ Equação 7.1}$$

onde:

DBO_{receptor} (mg/L)- limite superior da DBO do corpo d'água após lançamento do efluente tratado, definido de acordo com as classes do CONAMA; assume os valores 3, 5 ou 10, conforme o enquadramento do corpo receptor na classe 1, 2 ou 3, respectivamente;

DBO_{efluente} - concentração da DBO no esgoto *in natura*; a faixa varia entre 200 a 300 mg/L (BRANCO, 1983), considerou-se a média da faixa;

K – eficiência do tratamento de eliminação da DBO do esgoto *in natura*; assume valores de 0%, 65%, 75%, 85% ou 95%, conforme o tipo de tratamento usado;

Assim, a razão entre a vazão do corpo d'água receptor (Q_{receptor}) e a vazão do efluente (Q_{efluente}) é inversamente proporcional a razão entre a DBO_{receptor} e a DBO_{efluente} , pois:

$$(Q_{\text{receptor}} * DBO_{\text{receptor}}) \leq ((DBO_{\text{efluente}} * (1-K) * Q_{\text{efluente}})). \text{ Equação 7.2}$$

Logo:

$$(Q_{\text{receptor}} / Q_{\text{efluente}}) \geq (DBO_{\text{efluente}} * (1-K) / DBO_{\text{receptor}}), \text{ Equação 7.3}$$

onde:

Q_{receptor} – vazão do corpo d'água receptor necessária para diluição da DBO_{efluente} , após tratamento, para o corpo d'água enquadrar-se na classe de uso definida pelo CONAMA; e

Q_{efluente} – vazão do efluente lançado no corpo d'água receptor.

Como se pode observar na Tabela 7.3, quanto menos restritiva a classe de uso, e quanto maior a eficiência do tratamento, menor é a vazão necessária para diluição da DBO_{efluente} . Considerando tratamento convencional, com eliminação de 85% da DBO_{efluente} , e o enquadramento do corpo d'água receptor na classe 2 de uso, que permite no máximo 5 mg/L de DBO no corpo receptor, a vazão de diluição deve ser cerca de oito vezes superior ao volume de efluente lançado, conforme demonstrado a seguir:

$$Q_{\text{receptor}} \geq (250 \text{ mg/L} * (1 - 0,85)) / 5 \text{ mg/L}$$

$$Q_{\text{receptor}} \geq 8 Q_{\text{efluente}}$$

Tabela 7.3: Relação entre vazões do corpo receptor e do efluente segundo o enquadramento na classe de uso do CONAMA020/86 e a eficiência do tratamento na eliminação da DBO do esgoto *in natura*.

DBO permitida (mg/L) ¹	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Eficiência do tratamento ²	3	5	10
0%	83	50	25
65%	29	18	9
75%	21	13	6
85%	13	8	4
95%	4	3	1

¹Resolução CONAMA nº20/86; ²METCALF & EDDY (1981)

Para expressar a capacidade de suporte do corpo receptor em termos de $Pop_{qualidade}$, considerou-se que:

- a vazão máxima de efluente a ser lançado no corpo receptor não excede a vazão crítica que pode ser captada para consumo ($Q_{disponibilidade}$), como permitido pela outorga de direito de uso de recursos hídricos do estado do Rio de Janeiro, ou seja, 50% da $Q_{7,10}$. Em uma situação crítica de escassez hídrica, restaria no rio a vazão mínima próxima a 50% da $Q_{7,10}$. Vale ressaltar que, na região em estudo, a $Q_{7,10}$ corresponde a cerca de 75% da Q_7 média;
- o consumo *per capita*, de 500 L/hab.dia, expressa o consumo conjunto de água para abastecimento doméstico, público, e das atividades produtivas.

Para enquadrar-se em uma determinada classe do CONAMA, é necessário que a $Q_{efluente}$ seja menor do que a $Q_{receptor}$, obedecida a relação expressa na equação 7.3. A $Pop_{qualidade}$ corresponde, assim a:

$$Pop_{qualidade} = Pop_{disponibilidade} * (Q_{efluente}/Q_{receptor}), \quad \text{Equação 7.4}$$

onde:

$$Pop_{disponibilidade} = Q_{disponibilidade} / \text{Consumo per capita}$$

Estes valores não consideram a autodepuração dos corpos d'água, o que resultaria em valores maiores de população equivalente.

Conforme pode ser observado na Tabela 7.4, a população equivalente pode variar entre 15 mil a 1 milhão de habitantes de acordo com a eficiência do tratamento e da classe de uso do CONAMA que se queira implantar. Caso todos os domicílios tivessem esgoto tratado, com nível de eficiência média de 65%, próxima à eficiência do principal processo atualmente utilizado na rede pública de esgoto de Angra dos Reis, a população equivalente estaria na faixa entre 45 mil a 150 mil habitantes com parâmetros de DBO entre as classes 1 e 3. Estes valores são inferiores à população atual, incluindo a flutuante. Com isto, pode-se afirmar, que os rios de Angra dos Reis, que atravessam áreas densamente urbanizadas, já podem encontrar-

se com sua qualidade comprometida, possivelmente enquadrados na classe 3 e superior, dependendo da porcentagem de domicílios atendidos e da vazão do rio.

Tabela 7.4: População equivalente segundo a eficiência do tratamento do efluente e a classe de uso do corpo. Faixa continental de Angra dos Reis.

Eficiência do tratamento	Classe 1	Classe 2	Classe 3
0%	1,6E+04	2,6E+04	5,2E+04
65%	4,5E+04	7,4E+04	1,5E+05
75%	6,2E+04	1,0E+05	2,1E+05
85%	1,0E+05	1,7E+05	3,5E+05
95%	3,1E+05	5,2E+05	1,0E+06

Estabelecendo a classe 2 para enquadramento dos rios de Angra dos Reis, a jusante das áreas urbanas, que se situam próximas às suas desembocaduras, a população equivalente estaria na faixa entre 26 mil a 520 mil habitantes, dependendo da eficiência do tratamento. Um tratamento convencional, com 85% de eficiência na eliminação da DBO, poderia suportar uma população de 170 mil habitantes, valor próximo à população atual. Esta classe tanto atenderia às necessidades do turismo, uma das principais atividades econômicas do município, pois permite a recreação de contato direto, como a aquicultura, outra atividade que depende da qualidade de água, e vem sendo desenvolvida na baía da Ilha Grande.

Para o estabelecimento de uma relação 1 para 1 entre a água captada e a água necessária para a diluição do efluente doméstico (Tabela 7.3), haveria necessidade de um tratamento de esgoto com 95% de eficiência, que resultaria no enquadramento dos corpos d'água na classe 3, admitindo uma população de 1 milhão de habitantes.

O investimento na melhoria da eficiência do tratamento do esgoto traduz-se em aumento considerável da população aceita, principalmente, a alteração da eficiência de 85% para 95%, que, nas classes 1 e 2 leva estes valores a triplicarem, e na classe 3, muda a ordem de grandeza.

7.3 POPULAÇÃO EQUIVALENTE E DISPONIBILIDADE DE ÁREAS À OCUPAÇÃO URBANA EM ANGRA DOS REIS

A população equivalente à disponibilidade de áreas à ocupação urbana foi estimada em função das áreas sem restrições legais à ocupação urbana e a densidade demográfica.

Como áreas sem restrições foram consideradas às zonas urbanas discriminadas nos Planos Diretores, em vigência e em estudo, e as áreas urbanizáveis sem a presença da Mata Atlântica, definidas com base no Projeto de Lei da Mata Atlântica (vide subcapítulo 4.3.1 Restrições Legais ao Uso e Ocupação do Solo), denominadas aqui como áreas urbanizáveis. A Tabela 7.5 apresenta estes valores, bem como as áreas atualmente ocupadas com uso urbano.

A densidade demográfica foi calculada com base nos aspectos legais e na área urbana atual. Sob o ponto de vista estritamente legal, a densidade demográfica é derivada de um conjunto de leis urbanísticas e ambientais que estabelecem normas e parâmetros de ocupação. Na prática, a densidade demográfica é derivada de uma série de variáveis presentes na área urbana, como infra-estrutura, acessibilidade, distância das áreas centrais, valor da terra, etc, pois “o mercado imobiliário tem suas próprias leis e não obedece às leis oficiais ... a legislação é rígida e estática e a cidade é dinâmica” (AZEVEDO NETTO, 2003).

Tabela 7.5: Área urbana e sem restrições legais à ocupação urbana. Faixa continental de Angra dos Reis.

<i>Região Hirográfica</i>	<i>Área urbana atual (ha)</i>	<i>Zonas urbanas Plano Diretor (ha)</i>	<i>Plano Diretor em estudo</i>		<i>Área urbanizável (ha)</i>
			<i>Zona residencial (ha)</i>	<i>Zona Turística (ha)</i>	
Mambucaba	264	420	466	905	546
Bracuí	144	1.952	206	1.792	632
Airó	8	45	0	880	189
Jurumirim	53	46	381	1.330	1492
Jacuecanga	272	863	227	1.440	527
Frade	174	947	200	976	593
Japuiba	518	964	739	245	878
Pontal	14	223	0	474	91
Centro	560	1.611	379	445	738
Leste	176	830	330	477	488
Usina	168	410	85	303	148
Total	2.351	8.311	3.011	9.268	6.323
% Faixa Continental	4	13	5	15	10

Como pode ser observado na Tabela 7.6, a densidade demográfica atual das áreas urbanas de Angra dos Reis varia entre 14 e 105 hab./ha. As menores densidades ocorrem nas vilas de funcionários das principais empresas e nos bairros onde a atividade turística é predominante. As áreas tipicamente urbanas apresentam densidade acima de 43 hab./ha com média de 70 hab./ha. A densidade das áreas turísticas varia entre 4 e 26 hab./ha, conforme apresentado na Tabela 7.7.

Para o cálculo da densidade demográfica sob os aspectos legais, utilizou-se o Plano Diretor em estudo, já que no Plano Diretor em vigência não estão definidos os parâmetros urbanísticos necessários para cálculo da densidade. Porém, além deste fator, outros devem ser ressaltados:

- Comparando o zoneamento entre os dois planos, as áreas destinadas à preservação ambiental continuam semelhantes, ou seja, não há acréscimo de área para expansão das atividades antrópicas. A maior diferença entre ambos está relacionada (1) à eliminação da zona rural e à transformação de grande parte desta

em zona turística e (2) à substituição das zonas urbanas por zonas residenciais e turísticas, predominando esta última; e

- Apesar do novo Plano Diretor ainda não ter sido aprovado, ele pode ser considerado um reflexo das tendências atuais e da legislação, entre elas o Estatuto das Cidades, definido após 1991, data em que foi aprovado o Plano Diretor em vigência, por isto, ele foi considerado como mais adequado para um estudo de análise prospectiva como este.

No Plano Diretor em estudo são criadas quatro classes de zoneamento destinadas ao uso residencial e cinco destinadas ao uso turístico. Para cada classe são definidas taxa de ocupação e o coeficiente de aproveitamento, o tamanho do lote é variável segundo o modelo de parcelamento adotado (Tabela 7.8)

Tabela 7.6: Densidade demográfica dos principais núcleos urbanos da faixa continental de Angra dos Reis.

Área Urbana	População	Área (ha)	Densidade urbana
Monsuaba	4.909	47	105
Camorim	3.456	34	102
Centro	29.240	304	96
Frade	7.501	93	80
Camorim Pequeno	1.110	17	64
Japuiba	29.389	489	63
Perequê	11.909	258	46
Verolme	5.574	128	43
Gamboa de Belém	985	25	39
Vila Petrobras	902	25	36
Praia Brava	820	23	35
Vila Histórica de Mambucaba	434	17	25
Praia Vermelha	185	13	14
Média			65
Máxima			105

Tabela 7.7: Densidade demográfica dos principais núcleos turísticos da faixa continental de Angra dos Reis.

Local	% Domicílio com uso ocasional	Nº de residentes	Área (ha)	Densidade demográfica (hab./ha)
Itanema	65	1.164	264	4
Praia da Goiabas	87	152	33	5
Mombaça	62	916	103	9
Frade	84	3.056	340	9
Ponta Leste	44	1.248	120	10
Caetés a Portogalo	79	2.468	212	12
Tanguá a Praia Grande	59	1.632	134	12
Ponta Ribeira	36	2.004	164	12
Ponta Partido a Caieiras	82	3.492	135	26
Média				11
Máxima				26

Tabela 7.8: Zonas residenciais e turísticas propostas Plano Diretor em estudo de Angra dos Reis.

Zona	TO (%)	CA
ZEIS - Zona Especial Interesse Social	-	-
ZR1- Residencial Unifamiliar	65%	1,3
ZR2 - Residencial multifamiliar	65%	3
ZR3 - Residencial multifamiliar	40%	0,8
ZIT1 - Turismo rural	20%	0,4
ZIT2 - Turismo cultural urbano	100%	2,5
ZIT3 - Turismo de veraneio de pequeno porte	75%	3
ZIT4 - Turismo de veraneio de grande porte	75%	3
ZIT5 - Turismo de veraneio especial de preservação	30%	0,3

TO= corresponde ao percentual da área horizontal de terreno do lote que pode ser ocupada (ACIOLY; DAVIDSON, 1998).

CA= relação entre área construída total de uma edificação e a área de terreno

Para a zona residencial unifamiliar e a ZEIS, que foi considerada como unifamiliar, pois sendo destinada a promover a regularização fundiária em assentamentos consolidados, não foram estabelecidos parâmetros urbanísticos pelo Plano Diretor, a densidade foi estimada de acordo com a equação 3.6 (vide subcapítulo 3.6 Avaliação da Capacidade de Suporte das Regiões Hidrográficas).

Como se pode observar na Tabela 7.9, para as residenciais unifamiliares, a densidade é função do tamanho do lote, variando entre 20 a 160 hab./ha, o que é considerado como densidade baixa a média, respectivamente, segundo classificação disponível em Acioly & Davidson (1998).

Tabela 7.9: Densidade demográfica de zonas unifamiliares, com base no Plano Diretor em estudo. Angra dos Reis.

Zona	Tamanho do lote (m²)	Densidade demográfica (hab/ha)
ZEIS E ZR1- unifamiliar	125	160
	200	100
	360	56
	1000	20

Para as residências multifamiliares, a densidade foi calculada na Equação 3.11 (vide subcapítulo 3.6): $Densidade\ Multifamiliar = (0,5 * CA) / TC$. Como pode ser observado pela dedução desta equação, o controle da densidade demográfica urbana, sob o ponto de vista legal, é função do coeficiente de aproveitamento (CA) e da taxa de conforto (TC), convergindo para o que afirma Azevedo Netto (2003): segundo ele, é praticamente impossível controlar diretamente a densidade. O que pode ser controlado é a área construída, através da fixação de um coeficiente de aproveitamento, que indica a densidade de construção. Para exercer o controle da população residencial, é necessário aplicar a taxa de conforto.

As densidades demográficas encontradas para as zonas com residências multifamiliares variam entre 40 a 750 hab./ha, sendo que as zonas turísticas apresentam os menores valores, em função mais da taxa de conforto aplicada, do que do coeficiente de aproveitamento, conforme pode ser verificado na Tabela 7.10.

Tabela 7.10: Densidade demográfica das zonas com residências multifamiliares, com base no Plano Diretor em estudo. Angra dos Reis.

Zona¹	Coeficiente de aproveitamento	Densidade Demográfica (hab/ha)
ZR2 - multifamiliar	3	750
ZR3 - multifamiliar	0,8	200
ZIT1 - Turismo rural	0,4	40
ZIT2 - Turismo cultural urbano	2,5	250
ZIT3 - Turismo de veraneio de pequeno porte	3	300
ZIT4 - Turismo de veraneio de grande porte		

(1) Foi desconsiderada a ZIT5, pois corresponde às ilhas.

Os valores aqui apresentados podem ser considerados como máximos, sob o aspecto legal, pois correspondem à ocupação de toda a área dentro dos limites estabelecidos pelos parâmetros urbanísticos, ou seja, 50% da área das zonas residenciais e turísticas ocupadas por edificações residenciais, o restante corresponde às áreas públicas, no limite superior do coeficiente de aproveitamento. Como já foi descrito, a cidade é dinâmica, e não se comporta de acordo com princípios legais, nem tampouco com modelos de cidade ideal. A importância destes resultados reside no fato de que possam servir como indicadores do espaço disponível para ocupação urbana. Expressos, como estão, em número de habitantes, é possível cotejá-los com os indicadores hídricos.

Os valores da população equivalente à disponibilidade de áreas à ocupação urbana, apresentados na Tabela 7.11, resultaram, então, do cruzamento entre os diferentes valores de densidade demográfica, atual e derivada dos aspectos legais, às diferentes áreas sem restrições legais à ocupação, conforme resumido a seguir:

- aplicação da densidade demográfica atual, média e máxima, às áreas urbanizáveis;
- aplicação da densidade demográfica atual, média e máxima, às zonas urbanas do Plano Diretor em estudo; e
- aplicação da densidade demográfica, derivada dos aspectos legais, às zonas urbanas do Plano Diretor em estudo.

Considerando a atual densidade urbana, máxima e média, se toda a área urbanizável fosse ocupada, a população equivaleria, respectivamente, a 630 mil e 440 mil habitantes. Substituindo a área urbanizável pela área das zonas residenciais e zonas turísticas do Plano

Diretor em estudo, estes valores corresponderiam a 300 mil e 530 mil habitantes, representando cerca de 2 a 4 vezes os valores da população atual, incluindo a flutuante. Esta seria uma população próxima à do município de Santos, localizado no litoral norte de São Paulo, em área fisiograficamente semelhante a nossa área de estudo. A população equivalente máxima, considerando os parâmetros urbanísticos, corresponde a 2 milhões de habitantes. Este valor está próximo à metade do total da população atual dos municípios de Guarujá, Santos e São Vicente, localizados no norte litoral de São Paulo, e que perfazem área total próxima à da faixa continental de Angra dos Reis.

Tabela 7.11: População equivalente à disponibilidade de áreas à ocupação urbana.
Faixa continental de Angra dos Reis.

Classe	População Área urbanizável	População - Plano Diretor em estudo		
		Zona Turística	Zona Residencial	Total
Densidade média atual	4,4E+05	9,3E+04	2,1E+05	3,0E+05
Densidade máxima atual	6,3E+05	2,3E+05	3,0E+05	5,3E+05
Densidade derivada do Plano Diretor em estudo	-	1,2E+06	8,5E+05	2,0E+06

7.4 CLASSIFICAÇÃO DAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS QUANTO À CAPACIDADE DE SUPORTE

Para classificação das regiões hidrográficas como importadoras e exportadoras hídricas, foram cotejados os seguintes valores de população equivalente:

- População equivalente à demanda hídrica atual (Pop._{demanda}) – igual à população atual.
- População equivalente à disponibilidade hídrica (Pop._{quantidade}) – relação entre a vazão que pode ser outorgada, 50% $Q_{7,10}$, e a demanda *per capita* atual. É importante lembrar que o valor da vazão corresponde à área a jusante dos núcleos urbanos.
- População equivalente à qualidade hídrica (Pop._{qualidade}) – função do tratamento convencional do esgoto, com eficiência na eliminação de 85% da DBO, e o enquadramento dos corpos d'água receptores na classe 2 da resolução n.º 20 do CONAMA. O enquadramento nesta classe permite a recreação primária, a piscicultura e o abastecimento doméstico com tratamento convencional, potenciais usos da água no local.
- População equivalente à disponibilidade de áreas à ocupação urbana (Pop._{urbana}) – aplicação das densidades demográficas médias atuais, 70 hab/ha e 10 hab/ha,

aplicadas, respectivamente, às zonas residenciais e às turísticas definidas pelo Plano Diretor em estudo. Este valor corresponde, assim, a aplicação de critérios legais e observados.

Considerando esses valores, observa-se que a maior população equivalente corresponde à disponibilidade hídrica, com total de 1,3 milhão de habitantes (Tab. 7.12), ou seja, este parâmetro, entre os analisados, é o menos limitante na sustentabilidade das regiões hidrográficas. A menor população corresponde à qualidade hídrica, equivalendo a 180 mil habitantes, próxima ao total da população residente e flutuante atual, demonstrando que este é o parâmetro mais limitante da sustentabilidade das regiões hidrográficas. Para atingir a Pop_{urbana} , o tratamento de efluentes deveria apresentar nível de eficiência de 95% na eliminação de DBO e enquadramento na classe 1, ou a eficiência continuaria a ser de 85% e o enquadramento dos corpos d'água passaria para classe 3 (vide Tab. 7.4). Para atingir a equivalência próxima à da disponibilidade hídrica – $Pop_{quantidade}$, o tratamento deveria passar para 95% de eficiência e o enquadramento subir para classe 3, o que não permitiria usos como a recreação de contato primário e a aquicultura.

Abaixo está descrito a classificação das regiões hidrográficas segundo o cotejo dos valores da população equivalente (Fig. 7.1 e Tab. 7.12) .

1. Regiões hidrográficas exportadoras – a $Pop_{quantidade}$ supera a Pop_{urbana} , apresentando *superávit* hídrico, podendo, assim, abastecer a população futura residente nestas regiões, bem como a das regiões vizinhas. Incluídas nesta classe, estão as regiões hidrográficas Mambucaba, Bracuí e Ariró, concentrando 87% da $Pop_{quantidade}$ e 27% Pop_{urbana} . O primeiro critério admite catorze vezes mais população do que o segundo. Porém, deve-se ressaltar, que 62% da disponibilidade hídrica concentram-se em Mambucaba. O *superávit* entre a $Pop_{quantidade}$ e a Pop_{urbana} desta região é em torno de 760 mil habitantes, enquanto em Bracuí é de 210 mil e em Ariró 70 mil. Estes valores expressam, em termos de população equivalente, a capacidade destas regiões abastecer de água as outras.

2. Regiões hidrográficas importadoras – a $Pop_{quantidade}$ é menor ou próxima ao valor da Pop_{urbana} , podendo caracterizar um *déficit* hídrico futuro, necessitando importar água para sustentar a população aí residente ou, no melhor dos casos, uma auto-suficiência de água.. Incluídas nesta classe estão as seguintes regiões:

2.1 Jurumirim, Jacuecanga e Frade - concentram 31% da Pop_{urbana} e 9% da $Pop_{quantidade}$, correspondendo a um *superávit* hídrico 30 mil habitantes, ou seja, 3% do *superávit* hídrico total. Dependendo da dinâmica populacional futura de

cada região, elas podem ser consideradas como auto-suficientes, porém não desempenhando papel de exportadoras de água para regiões vizinhas.

A região Jurumirim apresenta uma das maiores Pop._{urbana}, com a presença de uma grande planície não urbanizada. O *superávit* entre a população hídrica e das zonas urbanizáveis é da ordem de 16 mil habitantes. Considerando o critério qualidade, faltaria água para diluir efluente de 32 mil habitantes.

A região Jacuecanga apresenta *superávit* de apenas 1 mil habitantes entre a Pop._{urbana} e a Pop._{quantidade}. A retomada da indústria naval, o crescimento do setor petrolífero e a extensa área destinada à atividade turística no Plano Diretor podem estimular elevado crescimento demográfico e, conseqüentemente, um consumo maior de água, comprometendo a auto-suficiência atual e gerando conflitos pelo uso da água.

Do rio do Frade é captada a água para atendimento das usinas nucleares. A implantação da usina Angra III acarretaria em aumento de cerca de 16% da demanda atual da região, apenas para o seu funcionamento, não incluído o crescimento demográfico causado pela sua construção. O *superávit* entre a Pop._{urbana} e a Pop._{quantidade} é de 13 mil habitantes, que corresponde a 65% da população atual. No entanto, sob o critério qualidade, faltaria água para diluição de efluentes de 19 mil habitantes.

Tabela 7.12: Balanço entre disponibilidade hídrica e demanda futura expressos em termos de população equivalente. Faixa continental de Angra dos Reis.

Cód	Região Hidrográfica	População equivalente (mil hab.)					
		Pop. demanda (1)	Pop. quantidade (2)	Pop. qualidade (3)	Pop. urbana ¹ (4)	(2)-(4)	(3)-(4)
1	Mambucaba	12	832	111	69	763	42
2	Bracuí	5	242	32	32	209	0
3	Ariró	1	78	10	9	69	2
Sub-total (%)		16%	87%	87%	27%	102%	-35%
4	Jurumirim	2	56	7	40	16	-32
7	Jacuecanga	11	31	4	30	1	-26
8	Frade	20	36	5	24	13	-19
Sub-total (%)		29%	9%	9%	31%	3%	61%
5	Pontal	1	2	0	5	-3	-4
9	Usina	3	7	1	9	-2	-8
11	Leste	10	15	2	28	-13	-26
Sub-total (%)		13%	2%	2%	14%	-2%	30%
6	Japuiba	29	21	3	54	-33	-51
10	Centro	20	3	0	31	-28	-31
Sub-total (%)		43%	2%	2%	28%	-6%	64%
Total de Angra dos Reis (mil hab.)		115	1.325	177	303	1.021	-127

¹Para região Mambucaba, foram acrescentados 27 mil habitantes, correspondentes à planície situada no município de Parati, ainda não ocupada, mas urbanizável, segundo os aspectos fisiográficos.

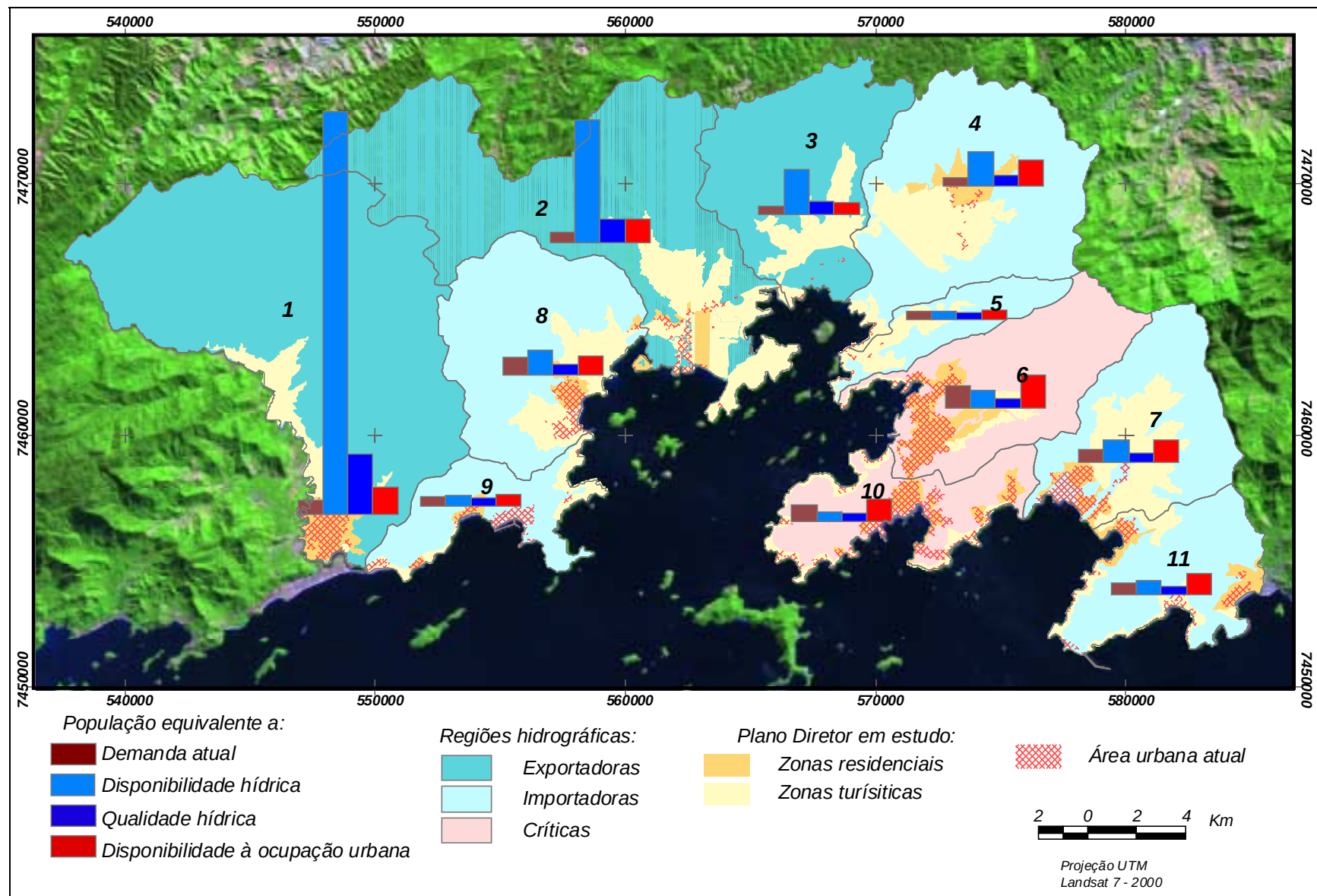


Figura 7.1: Classificação das regiões hidrográficas segundo a capacidade de suporte hídrico.

2.2 Leste, Usina e Pontal – apresentam um déficit hídrico de 2%. Estas regiões apresentam bacias hidrográficas inferiores a 16 km², bem como reduzidas planícies, correspondendo a 14% da População_{urbana} da área de estudo. A urbanização deve ser controlada, não só pelo *déficit* hídrico, mas, principalmente, devido à ocupação das encostas adjacentes às reduzidas áreas urbanizáveis, comprometendo a cobertura florestal, a infiltração de água no solo e dificultando o tratamento de esgotos, como já ocorre no distrito-sede.

3. Regiões hidrográficas críticas – quando Pop_{demanda} já ultrapassa Pop_{quantidade}, indicando um *déficit* hídrico atual. A região Centro, incluída nesta classe, já é abastecida pela Japuíba, e atravessa racionamento de água durante períodos mais críticos. Para o abastecimento eficiente destas regiões, há necessidade que a água seja captada de outras bacias, preferencialmente, daquelas classificadas como exportadoras.

Incluindo na análise o critério qualidade de água, apenas a região Mambucaba é efetivamente exportadora, pois a Pop_{urbana} é inferior à Pop_{qualidade}. Em outras palavras, o rio Mambucaba apresenta disponibilidade que supera a vazão necessária para atender às necessidades de abastecimento da população futura, diluir a DBO do esgoto produzido por esta população e enquadrar o corpo d'água na classe 2 e, ainda assim, atender cerca de 40 mil habitantes residentes fora da região. Já nas outras regiões, Pop_{urbana} é superior ou muito próxima à Pop_{qualidade}, significando que cuidados especiais no tratamento devem ser dispensadas a estas regiões. Como já foi analisado no subcapítulo 7.2, a adoção de diferentes níveis de eficiência de tratamento de esgoto, combinados às classes de enquadramento do corpo d'água, pode fazer com que a vazão necessária para diluição da DBO varie entre 1 e 83 vezes a vazão do efluente.

7.5 CENÁRIOS DE SUSTENTABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS DE ANGRA DOS REIS

Este subcapítulo projeta os critérios de capacidade de suporte desenvolvidos no item anterior, como limites ao crescimento demográfico, em cenários de tendências demográficas nas próximas quatro décadas.

As projeções de crescimento demográfico foram feitas com base na extrapolação dos dados demográficos das seis últimas décadas, da faixa continental de Angra dos Reis (Fig. 4.12), a partir de aplicação de modelos de regressão. Foram utilizados dois métodos, um, projetando-se a taxa futura e, outro, a população absoluta futura.

No primeiro método, de todos os modelos analisados, apenas a função quadrática, que apresenta maior coeficiente de correlação, aponta para um decréscimo da taxa de crescimento, os outros modelos indicam uma taxa de crescimento crescente. Na Figura 7.2, estão representados os melhores ajustes entre os modelos testados.

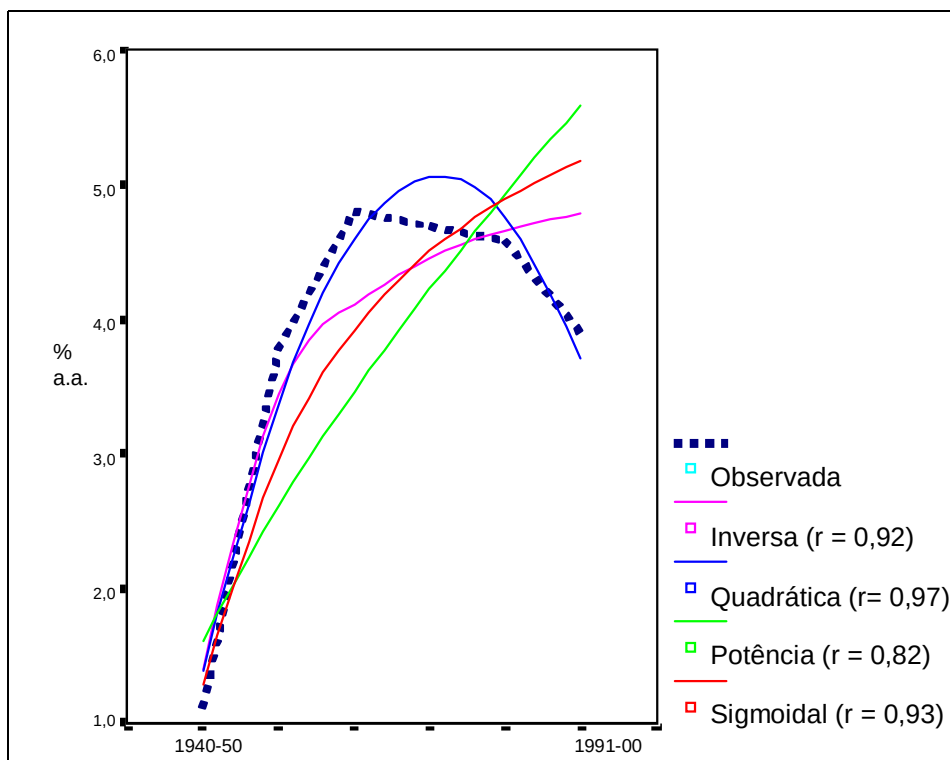


Figura 7.2: Taxas de crescimento demográfico ajustadas a funções correspondendo ao período de 1940 a 2000. Faixa continental de Angra dos Reis.

No segundo método, com exceção da logística e exponencial, próximas a 4,0% a.a., que apresentaram taxas constantes de crescimento, os outros modelos testados apresentaram taxas decrescentes. A Figura 7.3 apresenta os melhores ajustes.

Objetivando avaliar três tendências de crescimento demográfico, utilizaram-se as seguintes funções (Figura 7.4):

- Quadrática, no ajuste da população absoluta, para tendência de crescimento descendente, com taxa variando entre 3,1 a 2,2% a.a., para o período de 2000 a 2040;
- Exponencial, no ajuste da população absoluta, para tendência de crescimento constante, com taxa de 4% a.a., valor próximo à taxa atual (vide Fig. 4.12 – Cap. 4); e
- Sigmoidal, no ajuste da taxa de crescimento demográfico, para tendência ascendente, com taxa variando entre 5,2 a 5,8% a.a., para o período de 2000 a 2040.

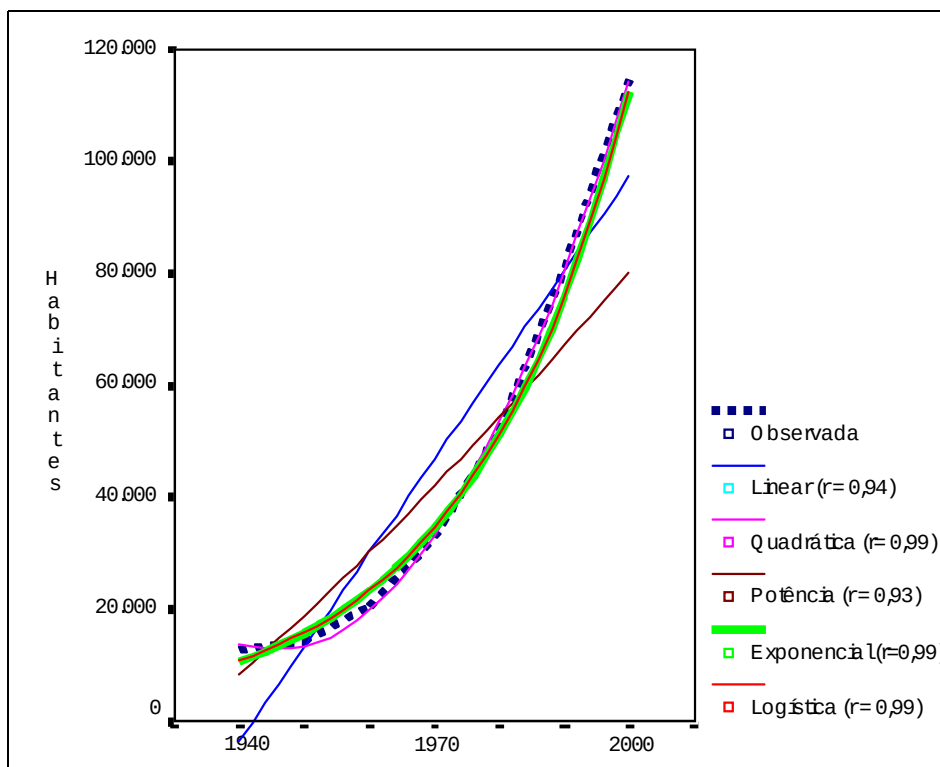


Figura 7.3: População ajustada a funções correspondendo ao período de 1940 a 2000.
Faixa continental de Angra dos Reis

Segundo as tendências analisadas, em um cenário de taxas decrescentes, a população atingiria 320 mil habitantes em 2040, valor próximo à população atual do município de São Vicente, localizado na Baixada Santista, São Paulo, e que apresenta $\frac{1}{4}$ da área da faixa continental de Angra dos Reis. Em um cenário de manutenção da taxa próxima da atual, a população alcançaria cerca de 540 mil habitantes, também neste ano, correspondente a população dos municípios de Guarujá e São Vicente, que perfazem uma área correspondente a 50% da faixa continental de Angra dos Reis. Já para um cenário de crescimento ascendente, a população seria de 1 milhão de habitantes, valor próximo aos municípios de São Vicente, Guarujá e Santos, correspondente a 90% da faixa continental de Angra dos Reis.

Na Figura 7.4 também foram plotados os valores da Pop._{quantidade}, Pop._{qualidade} e Pop._{urbana}. Dos fatores analisados, a qualidade de água é o fator mais restritivo, a população atual, considerando também a flutuante, está próxima a este valor. Nos três cenários de crescimento, a Pop._{qualidade} estaria próxima a superação em 2010.

A Pop._{urbana} poderá ser ultrapassada, próximo a 2020, caso a taxa de crescimento demográfico seja crescente, significando que as zonas residenciais e turísticas, previstas no Plano Diretor em estudo, estariam totalmente ocupadas com densidade demográfica próxima a média atual.

Em nenhum cenário, a Pop.^{quantidade} seria atingida, a população mais próxima ocorreria em 2040, cerca de 1 milhão de habitantes, em decorrência de uma taxa de crescimento demográfico crescente, alcançando, neste período, taxa acima de 5% a.a..

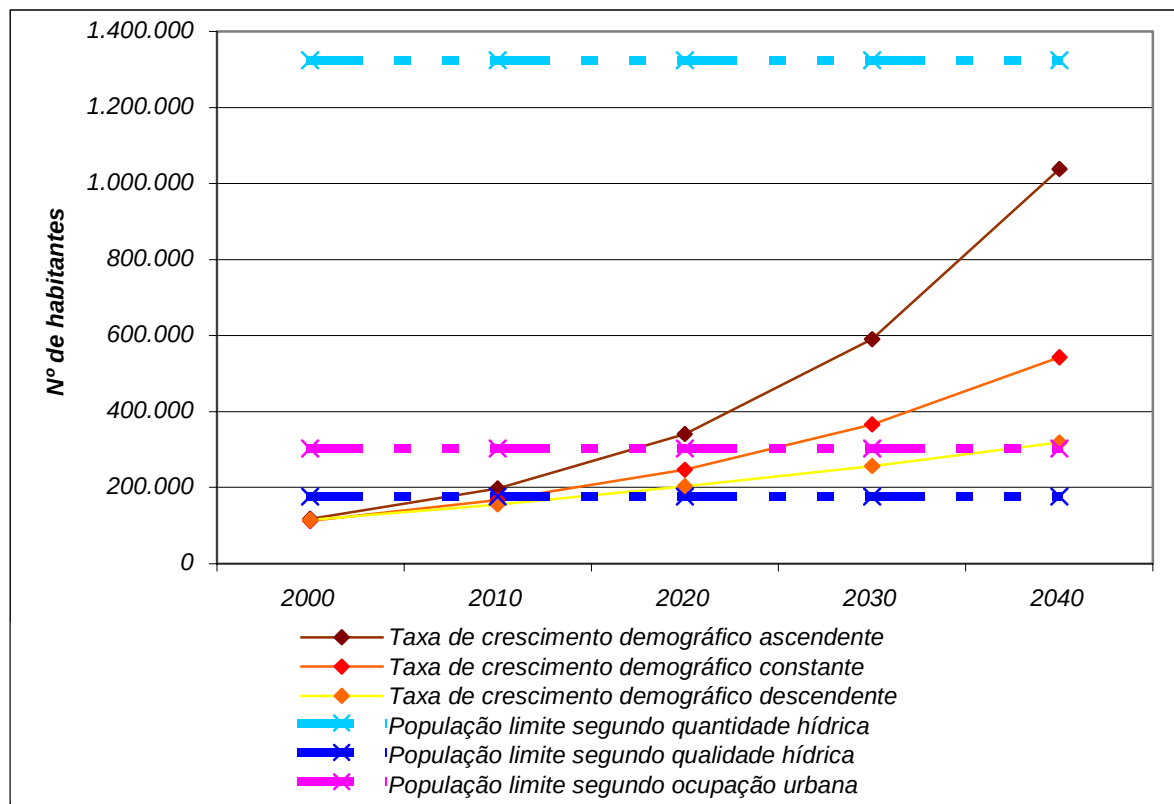


Figura 7.4: Cenários de sustentabilidade dos recursos hídricos.

7.6 SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DE ANGRA DOS REIS

Os resultados aqui mostrados não correspondem a valores populacionais preconizados como meta para qualquer planejamento, mas sim como indicadores de uma situação hipotética, resultante da forma como os recursos podem ser utilizados, que podem auxiliar na tomada de decisões na gestão de recursos hídricos.

A população equivalente variou entre 16 mil a 8,8 milhões de habitantes, dependendo do critério adotado. O valor máximo corresponde a relação entre a disponibilidade hídrica máxima, ou seja, a vazão que pode ser regularizada, e a demanda hídrica *per capita* atual. A nível técnico não deve haver barreiras locais intransponíveis para que esta quantidade máxima de água seja utilizada. O menor valor resultante da população equivalente corresponde aos limites estabelecidos pela qualidade de água. À medida que venham a ser introduzidos sistemas de tratamento de esgoto mais eficientes, a população equivalente pode aumentar em até 20 vezes e, associando-se ao enquadramento dos corpos d'água da Resolução n.º 20 do CONAMA, pode-se alcançar uma variação até 83 vezes superior.

Logo, verifica-se que a técnica pode, até certo ponto, romper os limites que são estabelecidos pelos recursos naturais ao crescimento demográfico. Mas, ao mesmo tempo, as adaptações desenvolvidas para contornar estes limites resultam em altos custos sociais, econômicos e ambientais. Segundo Hardin (1968), existe um grupo de problemas, entre eles o demográfico, que não demandam soluções técnicas, mas demandam mudanças nos valores humanos. Assim a questão que se coloca é: qual a cidade que a sociedade deseja construir?

A região metropolitana de São Paulo (RMSP) possui cerca de 17,6 milhões de habitantes e vazão disponível entre 113 m³/s e 20 m³/s, correspondendo, respectivamente, a vazão regularizada por reservatórios e a Q_{7,10} (CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 1999). Considerando o primeiro valor, a disponibilidade hídrica *per capita* é próxima a 220 L/hab.dia, volume extremamente baixo, “mais de 7 vezes menor que o volume considerado aceitável” (AGÊNCIA ESTADO, 1999 *apud* MARIOTONI, 2000), principalmente, porque a RMSP concentra grande parte da produção de bens e serviços do país. Utilizando, porém, os mesmos critérios neste trabalho, 50% da Q_{7,10} e 500 L/hab.dia, a população equivalente de São Paulo corresponderia a 1,7 milhão de habitantes, próximo ao valor alcançado por Angra dos Reis com estes mesmos critérios. A elevada concentração populacional na metrópole paulista provocou o comprometimento da disponibilidade hídrica, as alternativas para expandir o sistema de abastecimento são escassas, além dos corpos d’água apresentarem altos índices de poluição.

O município de Santos, localizado em região fisiográfica semelhante a Angra dos Reis, apresenta uma densidade demográfica urbana próxima a 100 hab/ha, e população total de 418 mil habitantes. Esta população corresponde a 3,5 vezes a atual população continental de Angra dos Reis, enquanto a área urbanizável angrense é 1,5 vezes maior do que a de Santos. A unidade de gerenciamento de recursos hídricos da baixada Santista, constituída por nove municípios, já é abastecida pela transposição de água da bacia do Alto Tietê, correspondendo a 37% da vazão de referência², retirando parte da água que poderia abastecer a metrópole paulista (CERH, 1999).

No Distrito Federal, por outro lado, as áreas residenciais de alta renda, como as localizadas no Lago Sul, apresentam densidades brutas que chegam a 10 hab/ha. Para Acioly e Davidson (1998), tais padrões de densidade e desenho urbano levam a altos custos de urbanização: alto consumo energético e alto custo *per capita* da rede de circulação, transporte público, abastecimento d’água e saneamento básico, além de longas redes e grande área com

² Estimada a partir de dados de vazões regularizadas por reservatórios e contribuições mínimas de bacias não controladas.

infra-estrutura em estado de ociosidade durante parte do tempo. Este modelo de urbanização coloca-se como “um dilema para a performance da cidade e da sustentabilidade econômica”. Para sustentar estes custos, ainda segundo os autores, é necessário rever estes padrões ou aplicar uma política distributiva.

Uma cidade sustentável deve levar em conta “os aspectos econômicos e financeiros intrínsecos às morfologias e tipologias das cidades”. Em uma cidade compacta, os custos sobre os deslocamentos e dimensionamento das redes de distribuição são minimizados e, assim, “a densidade urbana está em discussão e forçando os governos locais a rever suas regulamentações e zoneamento”, a fim de permitir medidas que estimulem a densificação das áreas intra-urbanas (ACIOLY & DAVIDSON, 1998). Por outro lado, o planejamento urbano passa por uma crise, para Rolnik³ (1992 *apud* Azevedo Netto, 2003), existe uma concepção de planejamento que não considera a “força dos processos reais de produção da cidade, considerados desvios da rota desejável”, e que a intervenção do Estado não necessariamente representa a melhor defesa do interesse coletivo, mas, pelo contrário, “por detrás de uma aparência de garantia, proteção e defesa do interesse público escondem-se mecanismos de interação com o mercado que acabam provocando efeitos contrários aos pretendidos”.

Os casos citados são exemplos ilustrativos do alto custo que se paga em função do “modelo” de urbanização vigente. Apesar de serem locais que apresentam diferenças significativas com a área em estudo, pode-se encontrar alguma semelhança: a disponibilidade hídrica de São Paulo, levando em conta os critérios mais conservadores; as características fisiográficas de Santos, levando a afinidades geo-econômicas similares. Brasília representaria aqui um exemplo de um cidade planejada com densidade demográfica muito baixa, assemelhando-se às áreas turísticas de Angra dos Reis e contrapondo-se aos casos analisados.

³ Rolnik, Raquel. Diário Oficial do Município de São Paulo de 24/12/92.

8 CONCLUSÕES

Angra dos Reis é local privilegiado em termos de recursos hídricos. A disponibilidade hídrica *per capita* da faixa continental angrense varia entre 15 mil e 2,1 mil m³/hab.ano, considerando, respectivamente, a Q_{mlt} e 50% da $Q_{7,10}$. Além de possuir a bacia do Mambucaba, que concentra 62% da disponibilidade hídrica total, e considerada extensa para a região que se estende de Mangaratiba a baixada Santista, a vazão específica é elevada, cerca de 46 L/s.km² e 14 L/s.km², correspondendo, respectivamente, a Q_{mlt} e a $Q_{7,10}$.

A relação entre demanda atual e disponibilidade hídrica é inferior a 8%. Nos momentos de pico turístico, durante o verão, esta relação pode alcançar 10%, porém este período coincide com a estação das chuvas, quando a vazão é elevada.

A demanda hídrica atual é próxima a 54 mil m³/dia, ou seja, cerca de 500 L/hab.dia, considerando a demanda da população residente, flutuante e dos principais empreendimentos econômicos. A população residente consome 53% da demanda total, a flutuante 33% e o restante é consumida pelos principais empreendimentos econômicos.

Excluindo a vazão dos rios federais, e considerando, assim, apenas as bacias confinadas ao território angrense, verifica-se que a vazão corresponde a 40% da disponibilidade hídrica total. Isto coloca um sinal de alerta para municípios costeiros, onde predominam bacias com área inferior a 100 km², como Parati e Mangaratiba; ao mesmo tempo, representa uma vantagem comparativa para Angra dos Reis.

A avaliação por regiões hidrográficas demonstrou a desigual distribuição espacial de população e de águas superficiais: enquanto os rios federais concentram cerca de 60% da disponibilidade da área em estudo e suas bacias possuem 15% da demanda atual, 50% da população são abastecidas por bacias que possuem menos de 5% da disponibilidade, nas regiões Centro e Japuiba, onde mais de 80% da disponibilidade já vem sendo consumida.

O balanço entre a demanda e disponibilidade hídrica, que classificou as regiões hidrográficas em cinco classes, mostrou que essas duas regiões apresentam disponibilidade

hídrica insuficiente. As regiões de Leste e Usina foram incluídas na classe baixa disponibilidade. As regiões hidrográficas Jacuecanga e Frade foram classificadas como apresentando média disponibilidade, destacando o abastecimento dos principais empreendimentos econômicos do município: as usinas nucleares, o estaleiro BRASFELS e o terminal da PETROBRAS. O restante das regiões – Mambucaba, Bracuí, Ariró, Jurumirim e Pontal – apresentam disponibilidade alta a altíssima.

Para avaliar a capacidade de suporte das regiões hidrográficas, foram avaliadas demanda hídrica atual, a disponibilidade hídrica, a qualidade hídrica e disponibilidade de áreas à ocupação urbana, expressos pela população equivalente. Foi verificado que o fator menos limitante à sustentabilidade das regiões é a quantidade de água, correspondendo a uma população equivalente a 1,3 milhão de habitantes. A qualidade hídrica apresenta população equivalente a 170 mil habitantes, sendo o fator mais limitante entre os analisados. Este valor corresponde ao tratamento de efluentes com 85% de eficiência na eliminação da DBO e enquadramento dos corpo d'água na classe 2, segundo a Resolução nº 20 do CONAMA. Com a melhoria da eficiência para 95% e a manutenção da classe 2, o valor da população pode triplicar. A população equivalente à disponibilidade de áreas à ocupação urbana é de 300 mil habitantes, correspondendo à ocupação das zonas residenciais e turísticas com a média da densidade demográfica atual.

Com base nessas variáveis, as regiões hidrográficas foram classificadas como exportadoras ou importadoras hídricas. Foram consideradas como exportadoras as regiões Mambucaba, Ariró e Bracuí, pois disponibilidade hídrica é superior à disponibilidade de áreas sem restrições à ocupação urbana. Considerando a qualidade hídrica, apenas a região Mambucaba é efetivamente exportadora, pois a população equivalente à qualidade hídrica é superior à disponibilidade de áreas à ocupação urbana.

Como importadoras hídricas foram consideradas as regiões cujos valores da população equivalente à disponibilidade hídrica e de áreas à ocupação urbana fossem próximos. As regiões do Pontal, Usina e Leste apresentam indicadores de *déficit* hídrico, já as regiões Jurumirim, Jacuecanga e Frade apontam para uma auto-suficiência, que dependerá da dinâmica demográfica e sócio-econômica da região.

Em relação aos cenários de sustentabilidade, considerando taxas crescentes de crescimento demográfico, acima de 5% a.a., próximo a 2020, a população equivalente às áreas disponíveis à ocupação urbana será superada. A manutenção da taxa de crescimento atual da faixa continental, próxima 4% a.a., fará com que a população equivalente à qualidade hídrica seja superada já em 2010. Um cenário de taxa de crescimento decrescente, abaixo de

3% a.a., a população equivalente à qualidade hídrica será superada próximo a 2020, enquanto a disponibilidade de áreas para ocupação urbana será superada em 2040. Nos três cenários, a disponibilidade hídrica não será superada.

Quanto aos aspectos metodológicos, deve destacar que este trabalho de tese foi realizado sob condições de extrema escassez de dados brutos sobre consumo e disponibilidade de água. Não obstante o visível esforço de hidrometração que vem sendo realizado pelo município de Angra dos Reis, e da sistematização das informações hidrometeorológicas existentes, a partir da implantação de bancos de dados disponíveis na Internet, como é o HIDROWEB, gerenciado pela ANA, e do Sistema de Informações para Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, do DAEE-SP.

Para superar tais dificuldades foram utilizadas metodologias que melhoraram as informações e permitiram a sua transferência entre os locais que apresentavam similaridades, como foi o caso da regionalização hidrológica, na avaliação da disponibilidade, e da relação entre renda e consumo, para avaliação da demanda *per capita*.

A utilização de técnicas de Geoprocessamento, principalmente o SIG, facilitando a representação espacial da informação, possibilitou a caracterização e a classificação das regiões hidrográficas e, conseqüentemente, auxiliou na criação de uma metodologia própria de avaliação da capacidade de suporte de regiões hidrográficas

Um outro ponto que deve ser destacado quanto ao SIG é a facilidade na elaboração de documentos que auxiliam na tomada de decisões sobre gestão recursos hídricos, pois representam e integram a informação vinda de diferentes fontes, facilitando a sua análise e a sua difusão, princípios presentes na Política Nacional de Recursos Hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLY, Claudio; DAVIDSON, Forbes. *Densidade urbana: um instrumento de planejamento e gestão*. Rio de Janeiro: Mauad, 1998.

ALVES, Gisele G. Relatório de Atividade – Bolsa de Iniciação Científica. Processo FAPERJ E-26/1522.234/2000.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington: New York: American Public Health Assoc, 1976.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Águas no Brasil e no mundo*. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 14 abril 2004.

_____. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. *Plano Nacional de Recursos Hídricos*. Documento Base de Referência. Minuta. Brasília, 2003. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 21 maio 2003.

_____. *Gestão das águas*. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 03 abril 2003a.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas. *Glossário de Termos Hidrológicos*. Versão 1.0. Brasília, 1998. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 27 jun. 2001.

AZEVEDO NETTO, Domingos Theodoro de. *Problemas e Desafios do Controle do Uso do Solo*. Disponível em: <<http://www.cepam.sp.gov.br>>. Acesso em: 08 out. 2003.

BENEVIDES, Vinicius Fuzeira de Sá; BEEKAMN, Gertjan B. Aspectos de sustentabilidade e vulnerabilidade dos recursos hídricos - "stress hídrico". In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11., 1995, Recife. *Anais ...* Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995, V.3, 51-55p.

BENHAMOU, François. *Turismo e veraneio nas regiões periféricas da metrópole carioca*. Rio de Janeiro: UFRJ/PLANUR. 1971.

BERTONCELLO, Rodolfo V. *Processo de modernização e espaço local: o caso do município de Angra dos Reis (RJ)*. Rio de Janeiro, 1992, 175p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1992.

BERTONI; Juan C.; TUCCI, Carlos E.M. Precipitação. In: ____ TUCCI, Carlos E.M. *Hidrologia - ciência e aplicação*. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2000b. p.177-241.

BRAGA, Jorge Luiz Raposo. *A construção e a trajetória da identidade dos moradores do bairro de Japuíba, Angra dos Reis – RJ*. Rio de Janeiro, 2001, 211f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense.

BRANCO, Samuel Murgel. *Poluição: a morte de nossos rios*. São Paulo: ASCETESB. 1983.166p.

CÂMARA, Gilberto *et al.* *Anatomia de sistema de informação geográfica*. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996. 193p.

CARVALHO, Cacilda Nascimento *et al.* The quest for sustainable development in a local context: the case study of Jurumirim hydrographic basin, Angra dos Reis county, Rio de Janeiro State, Brazil. OPEN MEETING OF THE HUMAN DIMENSIONS OF THE GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGE RESEARCH COMMUNITY, 2001, Rio de Janeiro. *Anais eletrônicos...* Disponível em: <<http://sedac.ciesin.columbia.edu/openmeeting/>>.

CEDAE diz que pode haver racionamento. *O Globo*, Rio de Janeiro, 05 de ago.2003.

CEDAE. *O Plano Diretor de Abastecimento de Água da RMRJ*. Rio de Janeiro: CEDAE, 1985. 293p.

CERH. CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. *Relatório de situação dos recursos hídricos do Estado de São Paulo*. São Paulo: Conselho Estadual de Recursos Hídricos, Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos, 1999. 128p. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/consulta/perh2000idx.html>>. Acesso em: 26 de março 2004.

CIDE. CENTRO DE INFORMAÇÕES E DADOS DO RIO DE JANEIRO. *Anuário estatístico do estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: CIDE, 2002. 1 CD-ROM.

_____. IQM- Verde. Rio de Janeiro, CIDE. Disponível em: <<http://www.cide.rj.gov.br>>. Acesso em: 03 de abril 2003.

CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. *Legislação*. Disponível em: <<http://www.cnrh-srh.gov.br>>. Acesso em: maio 2004.

COLBY, Michael E. *Environmental management in development: the evolution of paradigms. Ecological Economics*. v.3, p. 193-213, 1991.

COSTA, Cesar Bassi. *Desenvolvimento de estrutura de custos para análise de viabilidade técnica econômico-financeira se sistemas de abastecimento de água*. Niterói, 1998. 86f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil). Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1998.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Regionalização de Vazões da Sub-Bacia 59*. São Paulo: 2002. 63p.

CRUZ, Jussara Cabral. *Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais*. Porto Alegre, 2001. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DAEE. Divisão Nacional de Águas e Energia Elétrica. Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos. *BcDAEE - Banco pluviométrico, fluviométrico e regionalização hidrológica do estado de São Paulo*. v. 1.0. São Paulo, 2000. 1 CD-ROM.

DAVIS, Elizabeth Guelman; NAGHETTINI, Mauro Cunha. *Estudos de chuvas intensas no estado do Rio de Janeiro*. Belo Horizonte: CPRM, 2001. 140p.

DEMANBORO, Antonio Carlos; MARIOTONI, Carlos Alberto. *O conceito de escala e o desenvolvimento sustentável: implicações sobre os recursos energéticos e hídricos*. Projeto Água - Unicamp. Disponível em: <<http://www.eco.unicamp.br/projetos/agua/artigos.html>>. Acesso em: 20 de set. 2001.

DEMANBORO, Antonio Carlos; MARIOTONI, Carlos Alberto; BETTINE, Sueli do Carmo. A escala demográfica no planeta e a demanda por recursos hídricos: cenários para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1999. *Anais...* Porto Alegre: Associação Brasileira da Recursos Hídricos. CD-ROM.

DIEESE. DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SÓCIO-ECONÔMICOS. *Diagnóstico da indústria naval brasileira*. Boletim DIEESE nº 206, Julho de 1998. Disponível em: <<http://www.dieese.org.br>>. Acesso em: 16 jun. 2003.

DNAEE. Divisão Nacional de Águas e Energia Elétrica. *Análise de consistência de dados fluviométricos*. Brasília: 1976. 15p.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. *Relatório de contagem classificatória*. Brasília: 1997. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br>>. Acesso em: 21 maio 2003.

ELÉTRICA. *Pesquisa revela crise de energia até 2006*. Notícias da Elétrica. Disponível em: <<http://www.eletrica.com.br/noticias>>. Acesso em: 09 jul. 2003.

ELETROBRAS. *Regionalização de vazões*. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, 1985. 71p.

ELETRONUCLEAR. *A Energia nuclear - funcionamento da usina*. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br>>. Acesso em: 09 maio 2003.

ESRI. Environmental Systems Research Institute Inc. *Using Arc View Spatial Analyst*. Califórnia, EUA: 1996. 148p.

FELGUEIRAS, Carlos Alberto. Modelagem Numérica de Terreno. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. *Introdução à ciência da geoinformação*. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acesso em: 08 nov. 2001.

FERNANDES NETO, Maria de Lourdes; NAGHETTINI, Mauro da Cunha; LIBÂNIO, Marcelo. Avaliação de fatores intervenientes no consumo per capita para municípios de pequeno e médio porte de Minas Gerais. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, 2003, Joinville. *Anais...* Porto Alegre: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 2003. 1 CD-ROM.

FERRÃO, Paulo Cadete. *Introdução à Gestão Ambiental*. Lisboa: IST Press, 1998. 219p.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Atlas dos remanescentes florestais da mata atlântica - período 1995-2000. Relatório final*. São Paulo. Disponível em: <<http://www.sosmatatlantica.org.br>>. Acesso em: 03 de abril de 2003.

GLEICK, Peter H. The Changing Water Paradigm. A look at twenty-first century water resources development. *Water International*: International Water Resources Association, v. 25, n.1, p. 127-138, março. 2000.

GLEIZER, Simone. *Ordenamento institucional da gestão dos serviços de saneamento - o caso do município de Angra dos Reis*. Rio de Janeiro, 2001. 130f. Dissertação (Mestrado em Administração Pública). Escola Brasileira de Administração Pública, Fundação Getúlio Vargas.

GOMES, Heber Pimental. *Sistemas de abastecimento de água: dimensionamento econômico*. João Pessoa: Ed.Universitária/UFPB, 2002.

GUIMARÃES, Gonçalo; ABICALIL, Marcos Thadeu. Plano diretor do município de Angra dos Reis: Análise da Constituição e Proposta para o Município. In: GRAZIA, Grazia de. *Plano diretor: instrumento de reforma urbana*. Rio de Janeiro: Fase. 1990 p. 43-69.

GUSMÃO, Luiz Abilio de Barros *et al.* Estudo da Balneabilidade da Praia do Anil após Implantação do Projeto de Saneamento Angra dos Reis, RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, Vitória. *Anais...*Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997.

HARDIN, Garrett. The Tragedy of the Commons. *Science*, n. 162, p.1243-1248. 1968.

HERNÁNDEZ-SUÁREZ, Manuel. Consumos de. Agua y Energía del Sector Turístico en las Islas Canarias. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE HOTELES SOSTENIBLES EN DESTINOS SOSTENIBLES, 2000 Maspalomas,. *Anais ...* Disponível em: <<http://www.fcca.es/Docs/Turismo%20y%20Agua.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2003.

IBAM. INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. Centro de Pesquisas Urbanas. Normas Técnicas para Urbanização – Área de Habitação Especiais. Rio de Janeiro: 1980. 220p.

IBAMA INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Diretoria de Unidades de Conservação e Vida Silvestre. *Parque Nacional da Serra da Bocaina. Plano de Manejo*. Brasília: 2000. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>>. Acesso em: 03 de abril de 2003.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo demográfico 2000. Agregado por setor censitário dos resultados do universo*. 2ª edição. Rio de Janeiro: 2003. 1CD-ROM.

_____. *Pesquisa nacional de saneamento básico*. Rio de Janeiro: 2002. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 19 ago. 2002.

_____. *Tendências demográficas aponta maior crescimento populacional no interior*. Comunicação Social, 15 dez. 2002a. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 21 jul. 2003.

_____. *Sinopse do censo demográfico 2000*. Rio de Janeiro: 2001. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 11 set. 2003.

_____. *Censo demográfico 2000*. Rio de Janeiro: IBGE, 2001a. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 11 set. 2003.

_____. *Contas regionais do Brasil 2000*. Rio de Janeiro: IBGE, 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 11 jul. 2003.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Spring versão 3.6*. São José dos Campos: INPE, 2002. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>.

IPP. INSTITUTO PEREIRA PASSOS. *Armazém de dados*. Prefeitura do Rio de Janeiro. <http://www.rio.rj.gov.br/ipp/gp_anuario_estatistico.htm>. Acesso em: 15 jan. 2004.

IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Plano de bacias hidrográficas. unidade de gerenciamento dos recursos hídricos do litoral norte. Relatório Técnico nº 57.540*. São Paulo: IPT. Disponível em: <<http://www.ubatuba.sp.gov.br/cbhln>>. Acesso em: 8 out. 2003.

_____. *Carta de aptidão física ao assentamento urbano: guia de utilização*. São Paulo, 1990. 51p.

_____. *Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos da unidade de gerenciamento dos recursos hídricos do litoral norte - Relatório Final*. Relatório n.º 46.172. São Paulo, 2000. Disponível em: <<http://www.ubatuba.sp.gov.br/cbhln>>. Acesso em: 14 out. 2003.

KRONENBERG, Denise Maria Penna. *A Viabilidade do desenvolvimento sustentável na escala local: o caso da bacia do Jurumirim, Angra dos Reis, RJ*. Rio de Janeiro, 2003. 274f. Tese (Doutorado em Geociências). Programa de Pós-Graduação em Geoquímica Ambiental, Universidade Federal Fluminense.

LANNA, Antonio Eduardo. Introdução. In: PORTO, Rubem La Laina. *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos*. Porto Alegre: ABRH, UFRGS, 1997. p. 16-41.

_____. *Economia dos recursos hídricos*. Parte 1. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2001. Disponível em: <<http://www.iph.ufrgs.br>>. Acesso em: 06 de nov. 2001.

LAWRENCE, Peter; MEIGH, Jeremy; SULLIVAN, Caroline. *The water poverty index: international comparisons*. CEH Wallingford. Disponível em: <<http://www.nwl.ac.uk/research/WPI/index.html>>. Acesso em: 23 ago. 2003.

LEAL, Marcia Souza. *Gestão ambiental de recursos hídricos: princípios e aplicações*. Rio de Janeiro: CPRM, 1998. 176 p.

LEAL, Marcia Souza; LA ROVERE, Emílio Lèbre. Implantação e operacionalização do modelo de gestão de recursos hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, 1997, Vitória. *Anais...* Porto Alegre, ABRH. CD-ROM.

MARIOTONI, Carlos Alberto; DEMANBORO, Antonio Carlos. *A Gestão dos recursos hídricos em mega-cidades: desafios da sustentabilidade econômico-ecológica*. Disponível em: <<http://www.eco.unicamp.br/projetos/agua/artigos.html>>. Acesso em: 20 set. 2000.

MARTINS, Eduardo Sávio P. R.; PAIVA, João Batista Dias de. Quantidade dos recursos hídricos. In: PAIVA, João Batista Dias de; PAIVA, Eloiza Maria Cauduro Dias de. *Hidrologia aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: ABRH, 2001. p.531-565.

MENDES, W. Relação entre os Graus de Limitações do Uso do Solo por Suscetibilidade à Erosão e às Unidades de Mapeamento de Solo. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 44, n.3, 1982. 445-476p.

METCALF-EDDY. *Tratamiento y depuracion de las aguas residuales*. Barcelona: Labor. 1981.

MILARÉ, Édís. *Direito do Meio Ambiente*. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2000.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. *Anuário estatístico*. Brasília, 2000. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/anuario.html>> Acesso em: 15 jul. 2003.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. *Porto de Angra dos Reis*. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br>>. Acesso em: 09 maio 2003.

MMARH. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. *Política Nacional da Recursos Hídricos - Lei nº 9.433 de 8 de Janeiro de 1997*.

NIMER, Edmon. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 421 p.

OECD. ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. *Better understanding our Cities: the role of urban indicators*. Paris: 1997. 94p.

OLIVEIRA, Jorge Ivan de; LUCAS FILHO, Manoel. Caracterização do consumo *per capita* de água na cidade do natal: uma análise sócio-econômica. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, 2003, Joinville. *Anais...* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 2003. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, Luciana de Castro. *Transformações espaciais na bacia hidrográfica do rio Japuíba, Angra dos Reis, entre o período de 1960 e 2000*. 2002. Monografia (Graduação em Geografia) Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense. 2002.

PLANÁGUA-SEMADS/GTZ. *Ambiente das águas no estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMADS, 2001. 230 p.

PMAR. PREFEITURA MUNICIPAL DE ANGRA DOS REIS. SECRETARIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. *Perfil Sócio-Econômico do Município*. Angra dos Reis, 1999. 40p.

PORTO, Rubem La Laina; AZEVEDO, Luiz Gabriel T. de. Sistemas de Suporte a Decisões Aplicados a Problemas de Recursos Hídricos. In: Porto, Rubem La Laina. *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Porto Alegre: ABRH; UFRGS, 1997. p.43-91.

RATO, A.M.G.G.; MACEDO, C.E.C. Saneamento básico no Estado do Rio de Janeiro. In: GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E DE SANEAMENTO - A EXPERIÊNCIA ALEMÃ, 1997, Rio de Janeiro, *Anais...* Rio de Janeiro: Projeto PLANÁGUA - SEMA / GTZ, 1997.

REBOUÇAS, Aldo. da Cunha. Água Doce no Mundo e no Brasil. In: Rebouças, A. C.; Braga, B.; Tundisi, J.G. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 2. ed. rev. ampl. São Paulo: Escrituras, 2002. p.1-37

REVISTA BIO. *Diagnóstico dos serviços de água e esgotos 2001*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente, ano 13, n. 25, jan./mar. 2003.

REVISTA PETRO E QUÍMICA. *De vento em popa*. Março de 2002, n.º 235. Disponível em: <http://www.petroequimica.com.br/edicoes/ed_235/ed_235c.html>. Acesso: 16 jun. 2003.

RIGGS, H. C. Regional analyses of streamflow characteristics. In: Techniques for water resources investigations of the USGS. Book 4. *Hydrologic analysis and interpretation*. 1973.15 p.

RIOS, J.L.P.; BERGER, S.G. Estudos sócio-econômicos e de demanda de água para a RMRJ. SEMINÁRIO BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUANDU. PROBLEMAS E SOLUÇÕES, 2002, Seropédica. *Anais...* Rio de Janeiro: SERLA. 2002. CD-ROM.

ROCK, N.M.S., *Numerical Geology - a source guide, glossary and seletive bibliography to geological uses of computers and statistics*. 1 ed. Lecture Notes in Earth Sciences, ed. 18. Vol. 18. 1988, London: Springer-Verlag. 427.

SALATI, Eneas; LEMOS, Haroldo Mattos de; SALATI, Eneida. Água e desenvolvimento sustentável. In: Rebouças, A. C.; Braga, B.; Tundisi, J.G. *Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação*. 2ª edição ver. ampl. São Paulo: Escrituras, 2002. 703 p. cap.2, p.39-63.

SANTOS, M.,M.; URURAHY, J.C.C.; COLARES, J.E.R. Nota sobre uma formação fisionômico-ecológica disjunta da estepe nordestina na área do Pontal de Cabo Frio (RJ). *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro: IBGE, 25-30p. 1987.

SANTOS, Milton. *A natureza do espaço - técnica e tempo, razão e emoção*. 3 ed. São Paulo: Hucitec, 1996. 308p.

SELLES, I.M. Disponibilidade Hídrica e Superficial - Aspecto Qualidade. SEMINÁRIO BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUANDU. PROBLEMAS E SOLUÇÕES, 2002, Seropédica. *Anais...* Rio de Janeiro: SERLA. 2002. CD-ROM.

SMA. SECRETARIA DO ESTADO DO MEIO AMBIENTE (SP). *Macrozoneamento do Litoral Norte: plano de gerenciamento costeiro*. São Paulo: SMA, 1996. 202p.

SEMA. SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (RJ). *Programa de gestão para o desenvolvimento sustentável da bacia contribuinte a baía da Ilha Grande*. Rio de Janeiro: SEMA. 1997.

SETTI, Arnaldo Augusto et al. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional de Águas, 2001. 326p.

SHIKLOMANOV, Igor A. World Water Resources. *A new appraisal and assessment for the 21st century*. Paris: UNESCO, 1998. 37p. Disponível em: <http://espejo.unesco.org.uy/summary/html/summary.html>. Acesso em: 04 ago. 2003.

SILVA, Gil Anderi da; SIMÕES, Reinaldo A. Gomes. Água na Indústria. In: Rebouças, A. C.; Braga, B.; Tundisi, J.G. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 2. ed. rev. ampl. São Paulo: Escrituras, 2002. 703 p. cap.10, p.339-69.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da; SILVEIRA, Geraldo Lopes da. Vazões Mínimas. In: PAIVA, João Batista Dias de; PAIVA, Eloiza Maria Cauduro Dias de. *Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas*. Porto Alegre: ABRH, 2001. p.125-163.

SNIS. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos, 2001. Brasília: Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República – SEDU/PR: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2002. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em: 14 de nov. 2003.

SULLIVAN, Caroline. Calculating a water poverty index. *World Development*. Great Britain: Elsevier Science, vol.30, n.7, p.1195-1210. 2002. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/worlddev>. Acesso em: 23 ago. 2003.

TOMAZ, Plínio. *Previsão de consumo de água interface das instalações prediais de água e esgoto com os serviços públicos*. São Paulo: Navegar, 2000.

TUCCI, Carlos E.M. *Regionalização de vazões*. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

TUCCI, C.E.M., HESPANHOL, I., CORDEIRO NETTO, O.M. *A Gestão da água no Brasil: uma primeira avaliação da situação atual das perspectivas para 2025*. World Water Vision, South America Technical Advice Comitee, 2000. Disponível em: <http://www.unb.br/ft/enc/recursoshidricos/relatorio.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2004.

TUCCI, Carlos E.M; HESPANHOL, Ivanildo; CORDEIRO NETTO, Oscar de M. Cenários da gestão da água no brasil: uma contribuição para “visão mundial da água”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre: ABRH, v. 5, n. 3, p.31-43, jul-set. 2000a

UICN. União Internacional para a Conservação da Natureza. PNUMA. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. WWF. Fundo Mundial para a Natureza. *Cuidando do planeta terra: uma estratégia para o futuro*. São Paulo: Governo de São Paulo. 1992.

ANEXOS

Anexo 1

Curva-chave – Estação Fazenda Santa Rita

A estação Fazenda Santa Rita possui 40 medições de descarga para o período de 1978 a 1986. Como pode ser observado nas Fig. 1, as medições de descarga formam dois grupos, um referente ao período de 1978 a 1980, composto por 10 medições, e outro referente aos anos de 1981 a 1986, composto por 30 medições. O primeiro grupo apresentou um coeficiente de correlação de Pearson (r) de 0,64 e, o segundo, r igual a 0,99, indicando um ajuste excelente da curva-chave do segundo grupo. Para a geração da série diária de vazões, desprezaram-se os dados correspondentes ao período do primeiro grupo, ou seja, 1978 a 1980.

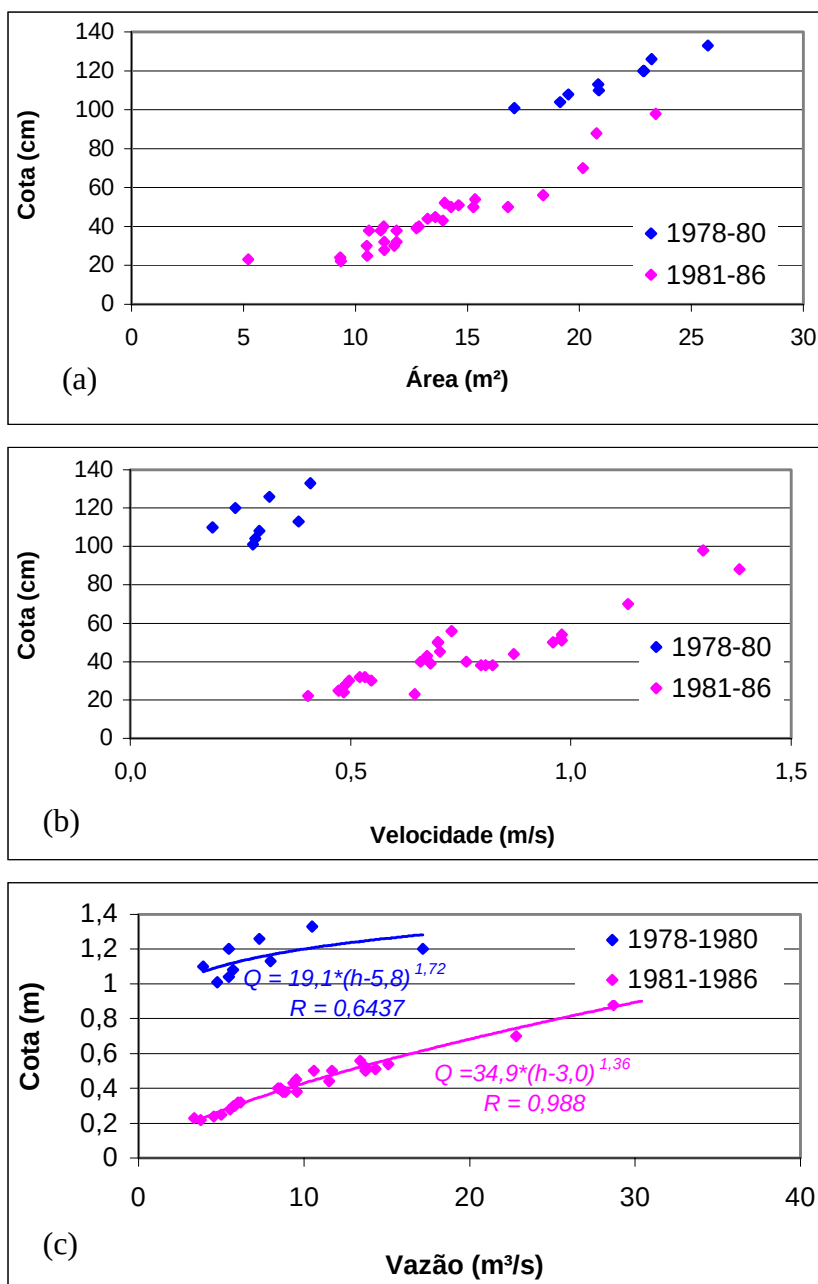


Figura 1 a: Área x cota da estação Fazenda Santa Rita
 Figura 1 b: Velocidade x cota da estação Fazenda Santa Rita
 Figura 1 c: Curva-chave da estação Fazenda Santa Rita

Curva-chave – Estação Itapetinga

A estação Itapetinga possui 43 medições de descarga para o período de 1978 a 1986 (Fig. 2). A geração de duas curvas-chave resultou em um melhor ajuste dos pontos, correspondendo ao período de 1978 a 1981, para a primeira curva, e período de 1982 a 1986, para a segunda. A primeira curva apresentou coeficiente de correlação igual a 0,97 para 12 observações, enquanto para a segunda curva o r foi igual a 0,98 para 24 observações.

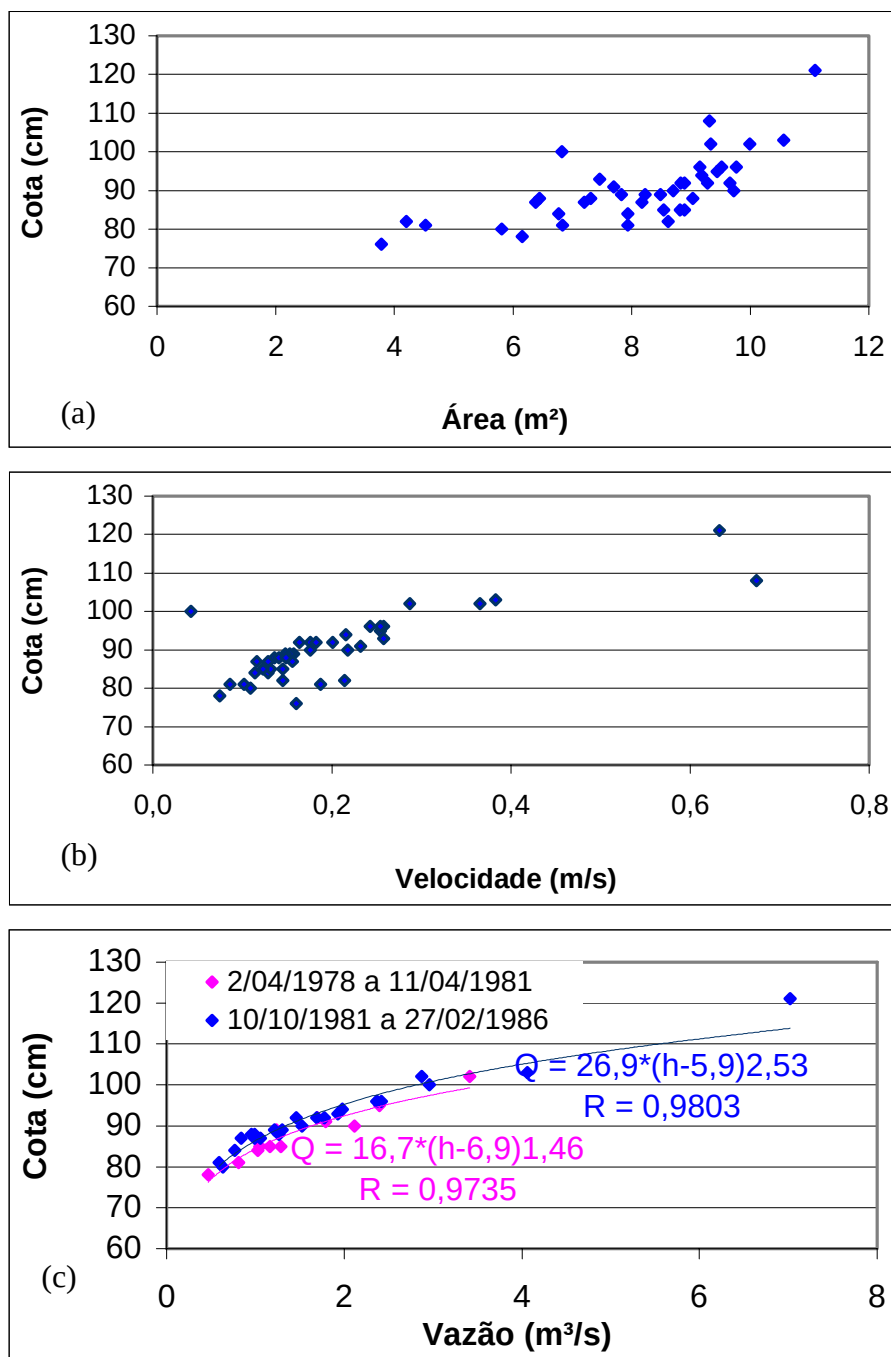


Figura 2 a: Área x cota da estação Itapetinga
 Figura 2 b: Velocidade x cota da estação Itapetinga
 Figura 2 c: Curva-chave da estação Itapetinga

Curva-chave – Estação Fazenda da Posse

A curva-chave de Fazenda da Posse foi elaborada a partir de 57 medições de vazão para o período de 1972 a 1978. A geração de duas curvas-chave resultou em um melhor ajuste dos pontos (Fig. 3). A primeira curva corresponde aos anos de 1972 e 1973 com coeficiente de correlação de 0,99 para 16 medições. A segunda curva refere-se ao período de 1974 a 1978 e apresenta coeficiente de correlação de 0,98 para 39 medições.

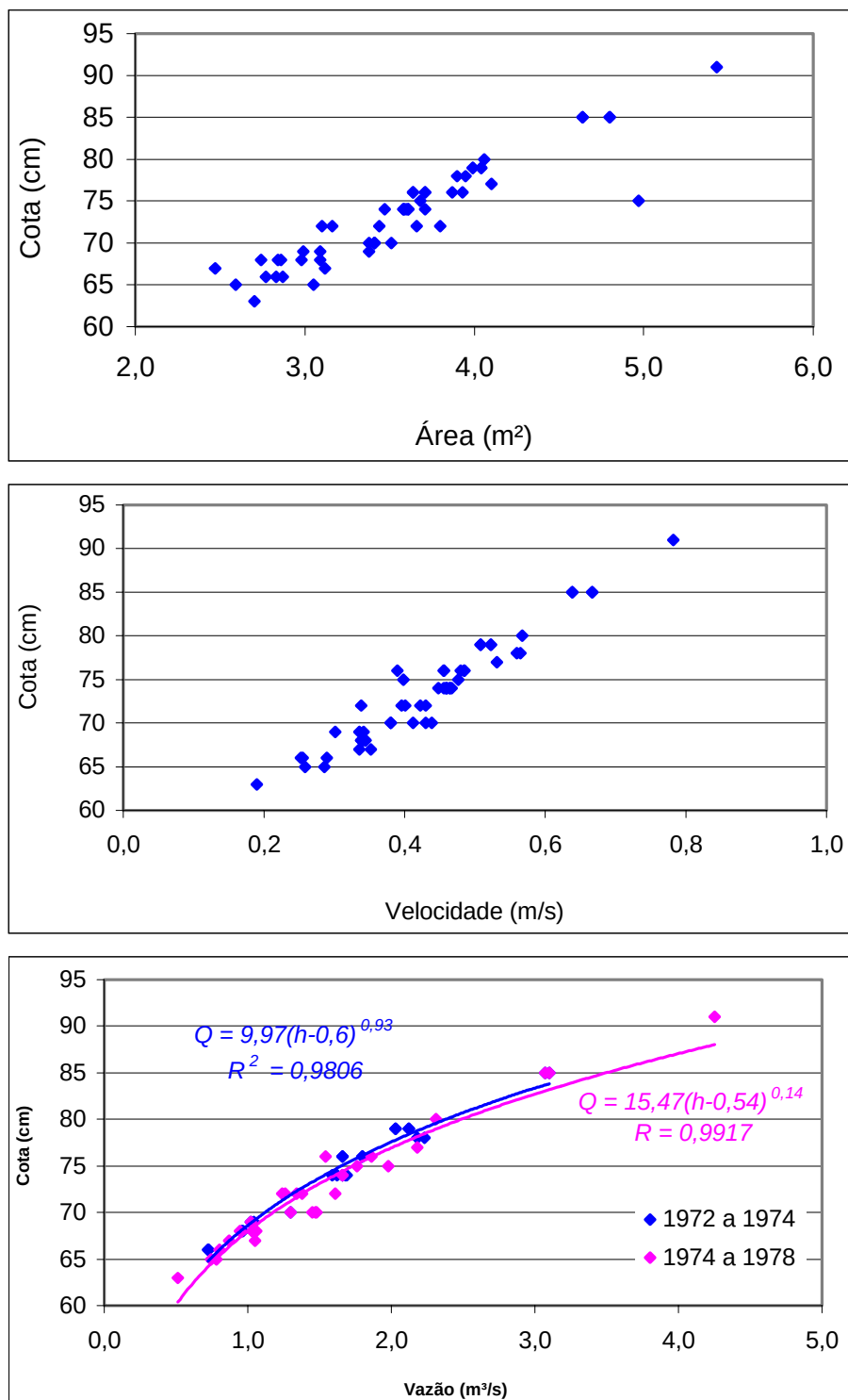


Figura 3 a: Área x cota da estação Fazenda da Posse

Figura 3 b: Velocidade x cota da estação Fazenda da Posse

Figura 3 c: Curva-chave da estação Fazenda da Posse

Anexo 2

Teste de Estacionariedade de Primeira Ordem

Resultados dos testes de estacionariedade em Fazenda Fortaleza

		Divisão da série em sub-períodos				Testes de equivalência das variâncias e médias		
MLT=	25,18	até 1966		1969-1999		Avaliação após falta de observador		
1936	23,600	1936	23,600	1969	17,700	Teste-F: duas amostras para variâncias		
1937	19,900	1937	19,900	1972	23,400			
1938	26,300	1938	26,300	1973	21,900	Variável 1 Variável 2		
1939	22,600	1939	22,600	1980	28,208	Média	26,1	23,7
1940	19,800	1940	19,800	1983	26,399	Variância	42,8	14,5
1941	21,400	1941	21,400	1987	25,100	Observações	29,0	18,0
1942	26,700	1942	26,700	1988	24,400	gl	28,0	17,0
1943	27,300	1943	27,300	1989	26,200	F	2,9	
1944	23,900	1944	23,900	1990	19,600	P(F<=f) uni-caudal	0,0	
1945	29,800	1945	29,800	1991	25,400	F crítico uni-caudal	2,2	
1946	32,700	1946	32,700	1992	19,200			
1947	43,500	1947	43,500	1993	25,800	Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes		
1948	30,200	1948	30,200	1994	22,500			
1949	21,900	1949	21,900	1995	20,600	Variável 1 Variável 2		
1950	30,700	1950	30,700	1996	33,070	Média	26,1	23,7
1951	27,400	1951	27,400	1997	20,300	Variância	42,8	14,5
1952	26,600	1952	26,600	1998	20,700	Observações	29,0	18,0
1953	19,500	1953	19,500	1999	26,500	Hipótese da diferença de média	0,0	
1954	19,100	1954	19,100			gl	45,0	
1955	18,624	1955	18,624			Stat t	1,6	
1956	20,304	1956	20,304			P(T<=t) uni-caudal	0,1	
1957	37,000	1957	37,000			t crítico uni-caudal	1,7	
1958	28,000	1958	28,000			P(T<=t) bi-caudal	0,1	
1960	20,100	1960	20,100			t crítico bi-caudal	2,0	
1961	27,700	1961	27,700					
1963	29,100	1963	29,100					
1964	19,800	1964	19,800					
1965	21,300	1965	21,300					
1966	41,600	1966	41,600					
1969	17,700							
1972	23,400							
1973	21,900							
1980	28,208							
1983	26,399							
1987	25,100							
1988	24,400							
1989	26,200							
1990	19,600							
1991	25,400							
1992	19,200							
1993	25,800							
1994	22,500							
1995	20,600							
1996	33,070							
1997	20,300							
1998	20,700							
1999	26,500							

Falhas: 59, 62, 67, 68, 70, 71, 74 a 79, 81, 82, 84 a 86

Fonte: CPRM (2002)

Resultados dos testes de estacionariedade em Faz. da Posse com Faz.das Garrafas

		Divisão da série em sub-períodos				Testes de equivalência das variâncias e médias		
MLT=		Faz. Da Posse		Faz. das Garrafas		Avaliação após a substituição da estação		
1968	1,428	1968	1,428	1979	0,676	Teste-F: duas amostras para variâncias	hipótese aceita	
1970	1,383	1970	1,383	1980	0,708			
1971	1,266	1971	1,266	1982	0,804		Variável 1	Variável 2
1972	1,571	1972	1,571	1983	0,924	Média	1,493888889	0,775445833
1973	1,506	1973	1,506	1984	0,866	Variância	0,028959111	0,016073021
1974	1,727	1974	1,727	1985	0,781	Observações	9	20
1975	1,269	1975	1,269	1986	0,924	gl	8	19
1976	1,598	1976	1,598	1987	0,888	F	1,801721679	
1977	1,697	1977	1,697	1988	0,804	P(F<=f) uni-caudal	0,139314883	
1979	0,676			1989	0,820	F crítico uni-caudal	2,476767236	
1980	0,708			1990	0,530			
1982	0,804			1991	0,641	Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes	hipótese rejeitada	
1983	0,924			1992	0,583			
1984	0,866			1993	0,851		Variável 1	Variável 2
1985	0,781			1994	0,600	Média	1,493888889	0,775445833
1986	0,924			1995	0,724	Variância	0,028959111	0,016073021
1987	0,888			1996	0,971	Observações	9	20
1988	0,804			1997	0,747	Variância agrupada	0,019891122	
1989	0,820			1998	0,729	Hipótese da diferença de média	0	
1990	0,530			1999	0,939	gl	27	
1991	0,641					Stat t	12,69112038	
1992	0,583					P(T<=t) uni-caudal	3,40919E-13	
1993	0,851					t crítico uni-caudal	1,703288035	
1994	0,600					P(T<=t) bi-caudal	6,81838E-13	
1995	0,724					t crítico bi-caudal	2,051829142	
1996	0,971							
1997	0,747							
1998	0,729							
1999	0,939							

Falhas: 78

Fonte: CPRM (2002)

Teste de Estacionariedade de Segunda Ordem

Resultados do teste de autocorrelação em Parati

59380000 - Parati - curso principal - Teste de Autocorrelação						
MÉDIA =	4,35	Intervalo =	-0,3605689	0,30174538	r1 =	0,06567933
N =	35	soma/N =	0,58	hipótese aceita		
ANO	Q _{ANUAL}	(Y _t -Y _M) ²	Y _t -Y _M	Y _{t+1} -Y _M	Numerador	Denominador
1963	4,566	0,05	0,22	-0,26	-0,06	-0,10
1964	4,092	0,07	-0,26	0,25	-0,06	-0,11
1965	4,600	0,06	0,25	0,49	0,12	0,21
1966	4,840	0,24	0,49	0,33	0,16	0,28
1968	4,680	0,11	0,33	0,36	0,12	0,20
1969	4,709	0,13	0,36	0,37	0,13	0,23
1970	4,720	0,14	0,37	-0,12	-0,04	-0,08
1971	4,232	0,01	-0,12	-0,41	0,05	0,09
1972	3,938	0,17	-0,41	0,62	-0,25	-0,44
1973	4,966	0,38	0,62	-0,23	-0,14	-0,25
1974	4,120	0,05	-0,23	1,13	-0,26	-0,45
1975	5,480	1,27	1,13	1,08	1,22	2,11
1976	5,430	1,16	1,08	-0,59	-0,64	-1,11
1977	3,760	0,35	-0,59	1,51	-0,89	-1,55
1978	5,860	2,28	1,51	0,05	0,07	0,13
1979	4,400	0,00	0,05	0,38	0,02	0,03
1981	4,730	0,14	0,38	0,11	0,04	0,07
1982	4,460	0,01	0,11	0,43	0,05	0,08
1983	4,780	0,18	0,43	-0,79	-0,34	-0,59
1984	3,560	0,63	-0,79	1,54	-1,22	-2,11
1985	5,890	2,37	1,54	-0,17	-0,26	-0,46
1986	4,180	0,03	-0,17	0,19	-0,03	-0,06
1987	4,540	0,04	0,19	0,53	0,10	0,17
1988	4,880	0,28	0,53	-0,21	-0,11	-0,19
1989	4,140	0,04	-0,21	-1,70	0,36	0,62
1990	2,650	2,89	-1,70	-0,79	1,35	2,34
1991	3,560	0,63	-0,79	-1,57	1,24	2,16
1992	2,780	2,47	-1,57	-0,92	1,45	2,51
1993	3,430	0,85	-0,92	-0,22	0,20	0,35
1994	4,130	0,05	-0,22	-0,77	0,17	0,30
1995	3,580	0,59	-0,77	0,59	-0,45	-0,79
1996	4,940	0,35	0,59	-1,46	-0,86	-1,49
1997	2,890	2,14	-1,46	-0,05	0,07	0,13
1998	4,300	0,00	-0,05	0,13	-0,01	-0,01
1999	4,480	0,02	0,13			

Falhas: 1967 e 1980

Fonte: CPRM (2002)

Resultados do teste de autocorrelação em Fazenda Fortaleza

59370000 - Fazenda Fortaleza - curso principal - Teste de Autocorrelação						
MÉDIA =	25,18	Intervalo =	-0,307567	0,264089	r1 =	0,060995447
N =	47	soma/N =	32,07	hipótese aceita		
ANO	Q _{ANUAL}	(Y _t -Y _M) ²	Y _t -Y _M	Y _{t+1} -Y _M	Numerador	Denominador
1936	23,600	2,49	-1,58	-5,28	8,33	0,26
1937	19,900	27,87	-5,28	1,12	-5,92	-0,18
1938	26,300	1,26	1,12	-2,58	-2,89	-0,09
1939	22,600	6,65	-2,58	-5,38	13,87	0,43
1940	19,800	28,93	-5,38	-3,78	20,33	0,63
1941	21,400	14,28	-3,78	1,52	-5,75	-0,18
1942	26,700	2,31	1,52	2,12	3,23	0,10
1943	27,300	4,50	2,12	-1,28	-2,71	-0,08
1944	23,900	1,64	-1,28	4,62	-5,91	-0,18
1945	29,800	21,36	4,62	7,52	34,76	1,08
1946	32,700	56,57	7,52	18,32	137,80	4,30
1947	43,500	335,66	18,32	5,02	91,99	2,87
1948	30,200	25,21	5,02	-3,28	-16,46	-0,51
1949	21,900	10,75	-3,28	5,52	-18,10	-0,56
1950	30,700	30,48	5,52	2,22	12,26	0,38
1951	27,400	4,93	2,22	1,42	3,16	0,10
1952	26,600	2,02	1,42	-5,68	-8,07	-0,25
1953	19,500	32,25	-5,68	-6,08	34,52	1,08
1954	19,100	36,95	-6,08	-6,55	39,84	1,24
1955	18,624	42,96	-6,55	-4,87	31,95	1,00
1956	20,304	23,76	-4,87	11,82	-57,63	-1,80
1957	37,000	139,74	11,82	2,82	33,35	1,04
1958	28,000	7,96	2,82	-5,08	-14,33	-0,45
1960	20,100	25,79	-5,08	2,52	-12,80	-0,40
1961	27,700	6,36	2,52	3,92	9,89	0,31
1963	29,100	15,38	3,92	-5,38	-21,09	-0,66
1964	19,800	28,93	-5,38	-3,88	20,86	0,65
1965	21,300	15,05	-3,88	16,42	-63,70	-1,99
1966	41,600	269,65	16,42	-7,48	-122,81	-3,83
1969	17,700	55,93	-7,48	-1,78	13,30	0,41
1972	23,400	3,16	-1,78	-3,28	5,83	0,18
1973	21,900	10,75	-3,28	3,03	-9,93	-0,31
1980	28,208	9,18	3,03	1,22	3,70	0,12
1983	26,399	1,49	1,22	-0,08	-0,10	0,00
1987	25,100	0,01	-0,08	-0,78	0,06	0,00
1988	24,400	0,61	-0,78	1,02	-0,80	-0,02
1989	26,200	1,04	1,02	-5,58	-5,70	-0,18
1990	19,600	31,12	-5,58	0,22	-1,23	-0,04
1991	25,400	0,05	0,22	-5,98	-1,32	-0,04
1992	19,200	35,75	-5,98	0,62	-3,71	-0,12
1993	25,800	0,39	0,62	-2,68	-1,66	-0,05
1994	22,500	7,18	-2,68	-4,58	12,27	0,38
1995	20,600	20,97	-4,58	7,89	-36,13	-1,13
1996	33,070	62,27	7,89	-4,88	-38,50	-1,20
1997	20,300	23,80	-4,88	-4,48	21,85	0,68
1998	20,700	20,06	-4,48	1,32	-5,92	-0,18
1999	26,500	1,75	1,32			

Falhas: 59, 62, 67, 68, 70, 71, 74 a 79, 81, 82, 84 a 86

Fonte: CPRM (2002)

Resultados do teste de autocorrelação em Fazenda das Garrafas

59355000 - Fazenda das Garrafas - curso principal - Teste de Autocorrelação						
MÉDIA =	0,78	Intervalo =	-0,490293	0,38503	r1 =	0,179780776
N =	20	soma/N =	0,02	hipótese aceita		
ANO	Q _{ANUAL}	(Y _t -Y _M) ²	Y _t -Y _M	Y _{t+1} -Y _M	Numerador	Denominador
1979	0,676	0,01	-0,10	-0,07	0,01	0,44
1980	0,708	0,00	-0,07	0,03	0,00	-0,13
1982	0,804	0,00	0,03	0,15	0,00	0,28
1983	0,924	0,02	0,15	0,09	0,01	0,88
1984	0,866	0,01	0,09	0,01	0,00	0,03
1985	0,781	0,00	0,01	0,15	0,00	0,05
1986	0,924	0,02	0,15	0,11	0,02	1,09
1987	0,888	0,01	0,11	0,03	0,00	0,21
1988	0,804	0,00	0,03	0,04	0,00	0,08
1989	0,820	0,00	0,04	-0,25	-0,01	-0,71
1990	0,530	0,06	-0,25	-0,13	0,03	2,16
1991	0,641	0,02	-0,13	-0,19	0,03	1,69
1992	0,583	0,04	-0,19	0,08	-0,01	-0,95
1993	0,851	0,01	0,08	-0,18	-0,01	-0,86
1994	0,600	0,03	-0,18	-0,05	0,01	0,59
1995	0,724	0,00	-0,05	0,20	-0,01	-0,66
1996	0,971	0,04	0,20	-0,03	-0,01	-0,37
1997	0,747	0,00	-0,03	-0,05	0,00	0,09
1998	0,729	0,00	-0,05	0,16	-0,01	-0,50
1999	0,939	0,03	0,16			
Falhas: 1981						

Resultados do teste de autocorrelação em Fazenda da Posse

59360000 - Fazenda da Posse - curso principal - Teste de Autocorrelação						
MÉDIA =	1,49	Intervalo =	-0,773209	0,523209	r1 =	-0,38772713
N =	9	soma/N =	0,01	hipótese aceita		
ANO	Q _{ANUAL}	(Y _t -Y _M) ²	Y _t -Y _M	Y _{t+1} -Y _M	Numerador	Denominador
1968	1,428	0,00	-0,07	-0,11	0,01	0,631
1970	1,383	0,01	-0,11	-0,23	0,03	2,182
1971	1,266	0,05	-0,23	0,08	-0,02	-1,517
1972	1,571	0,01	0,08	0,01	0,00	0,081
1973	1,506	0,00	0,01	0,23	0,00	0,244
1974	1,727	0,05	0,23	-0,22	-0,05	-4,526
1975	1,269	0,05	-0,22	0,10	-0,02	-2,021
1976	1,598	0,01	0,10	0,20	0,02	1,826
1977	1,697	0,04	0,20			
Falhas: 1969						

Fonte: CPRM (2002)

Resultados do teste de autocorrelação em Fazenda Santa Rita

MÉDIA =		10,50	Intervalo =		-0,897116 0,563782	r1 =	-0,146947913
N =		7	soma/N =		0,55	hipótese aceita	
ANO	Q _{ANUAL}	(Y _t -Y _M) ²	Y _t -Y _M	Y _{t+1} -Y _M	Numerador	Denominador	
1981	10,64	0,02	0,14	0,44	0,06	0,11	
1982	10,95	0,20	0,44	0,84	0,37	0,68	
1983	11,34	0,70	0,84	-0,63	-0,53	-0,96	
1984	9,88	0,39	-0,63	0,18	-0,11	-0,20	
1985	10,68	0,03	0,18	-1,58	-0,28	-0,51	
1986	8,93	2,49	-1,58				
1987	11,11						

Resultados do teste de autocorrelação em Itapetinga

MÉDIA =		1,94	Intervalo =		-0,984 0,584	r1 =	-0,207268891
N =		6	soma/N =		0,03	hipótese aceita	
ANO	Q _{ANUAL}	(Y _t -Y _M) ²	Y _t -Y _M	Y _{t+1} -Y _M	Numerador	Denominador	
1979,00	1,70	0,06	-0,24	0,06	-0,02	-0,53	
1980,00	2,00	0,00	0,06	-0,15	-0,01	-0,34	
1981,00	1,79	0,02	-0,15	0,15	-0,02	-0,79	
1982,00	2,09	0,02	0,15	0,25	0,04	1,31	
1983,00	2,19	0,06	0,25	-0,08	-0,02	-0,68	
1984,00	1,86	0,01	-0,08				

Anexo 3

Passo a passo da geração da curva de probabilidade

O passo a passo da geração das curvas de probabilidade pode ser acompanhado com o exemplo da estação Fazenda das Garrafas (Tab. 1):

- 1- Cálculo das vazões anuais e de longo termo para cada estação.
- 2- Cálculo das vazões anuais adimensionais da estação, dividindo-se a vazão anual pela de longo termo.
- 3- Determinação da variável reduzida (Y):
 - 3.1 - ordenação das vazões anuais adimensionais (Q_{adm}) em ordem decrescente, para vazão média, e crescente, para vazão mínima;
 - 3.2 - cálculo da probabilidade (p) de cada Q_{adm} , utilizando uma equação de posição;
 - 3.3 - cálculo da variável reduzida (Y), substituindo a probabilidade (p) na distribuição teórica;
 - 3.4 - plotagem da variável reduzida e das vazões adimensionais de todas as estações em um mesmo gráfico.

Os procedimentos para construir a curva regional de probabilidade estão descritos abaixo e podem ser acompanhados pela Tabela 2:

- Estabelecimento dos intervalos de classe da variável reduzida (Y), que abranjam o conjunto de todas as estações;
- Cálculo da média aritmética das vazões adimensionais (Q_{adm}) contidas no correspondente intervalo classe de Y, para cada estação;
- Cálculo da média aritmética dos valores de cada intervalo de Y, para cada estação;
- Cálculo da média das médias aritméticas de Q_{adm} e Y, de todas as estações, para cada intervalo de Y.
- Diagrama de dispersão dos pares de pontos médios ($Y_{médio}$, $Q_{adm\ médio}$) de cada estação.
- Ajuste da melhor linha de tendência com base no novo par de pontos (média das médias).

Tabela 1: Exemplo de distribuições empíricas de probabilidade da $Q_{m\acute{e}dia}$ - Estação Fazenda das Garrafas.

Ano	Q _{média} (m ³ /s)	Q _{adm}	Posição - P= (m-0,375) m / (n-0,250)	Y=-ln(-ln(1-P))	
1996	0,97	1,25	1	0,03	3,44
1999	0,94	1,21	2	0,08	2,46
1983	0,92	1,19	3	0,13	1,95
1986	0,92	1,19	4	0,18	1,60
1987	0,89	1,15	5	0,23	1,32
1984	0,87	1,12	6	0,28	1,09
1993	0,85	1,10	7	0,34	0,89
1989	0,82	1,06	8	0,39	0,72
1982	0,80	1,04	9	0,44	0,56
1988	0,80	1,04	10	0,49	0,40
1985	0,78	1,01	11	0,54	0,26
1997	0,75	0,96	12	0,59	0,12
1998	0,73	0,94	13	0,64	-0,02
1995	0,72	0,93	14	0,69	-0,16
1981	0,71	0,91	15	0,74	-0,30
1979	0,68	0,87	16	0,79	-0,45
1991	0,64	0,83	17	0,84	-0,61
1994	0,60	0,77	18	0,89	-0,80
1992	0,58	0,75	19	0,94	-1,05
1990	0,53	0,68	20	0,99	-1,62
1980					
Q _{mlt}	0,8				

Tabela 2 : Distribuição empírica regional de probabilidade da $Q_{m\acute{e}dia}$.

Classes Y	Faz. Garrafas		Faz. Posse		Itapetinga		Parati		Faz. Sta. Rita		Faz. Fortaleza		Média	
	Y	Q_{adm}	Y	Q_{adm}	Y	Q_{adm}	Y	Q_{adm}	Y	Q_{adm}	Y	Q_{adm}	Y	Q_{adm}
4,5 a 4,0							4,0	1,4			4,3	1,7	4,2	1,5
4,0 a 3,5														
3,5 a 3,0	3,4	1,3					3,0	1,3			3,3	1,7	3,3	1,4
3,0 a 2,5			2,7	1,2			2,5	1,3			2,7	1,4	2,6	1,3
2,5 a 2,0	2,5	1,2			2,2	1,1	2,2	1,2	2,3	1,1	2,2	1,3	2,3	1,2
2,0 a 1,5	1,8	1,2	1,7	1,2			1,7	1,1			1,7	1,2	1,7	1,2
1,5 a 1,0	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1	1,2	1,1	1,3	1,1	1,3	1,1	1,2	1,1
1,0 a 0,5	0,7	1,1	0,8	1,0	0,5	1,0	0,7	1,1	0,7	1,0	0,8	1,0	0,7	1,0
0,5 a 0,0	0,3	1,0	0,3	1,0	0,0	0,9	0,2	1,0	0,3	1,0	0,2	0,9	0,2	1,0
0,0 a -0,5	-0,2	0,9	-0,3	0,9	-0,5	0,9	-0,3	0,9	-0,1	0,9	-0,3	0,8	-0,3	0,9
-0,5 a -1,0	-0,8	0,8	-0,8	0,9			-0,7	0,8	-0,6	0,9	-0,8	0,8	-0,7	0,8
-1,5 a -1,0	-1,6	0,7					-1,3	0,6			-1,2	0,7	-1,4	0,7