

## **AValiação DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DE MUNICÍPIOS ABASTECIDOS POR PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS: O CASO DE ANGRA DOS REIS, RJ.**

**ÁREA:** 3-Ferramentas e Técnicas de Gestão Ambiental

### **AUTORES:**

1) Cristiane Nunes Francisco

Professora Adjunta - Departamento de Análise Geoambiental

Instituto de Geociências/UFF - Campus da Praia Vermelha,

Boa Viagem, Niterói, RJ. CEP: 24210-310

Tel: (21)2629-5933; (21) 2629-5978

[crisnf@vm.uff.br](mailto:crisnf@vm.uff.br)

2) Cacilda Nascimento de Carvalho

Professora Adjunta - Departamento de Geoquímica

Instituto de Química/UFF - Outeiro de São João Batista s/n,

Campus do Valonguinho, Centro, Niterói, RJ. CEP: 24.020-150

Tel: (21)2629-2200

[cacilda@vm.uff.br](mailto:cacilda@vm.uff.br)

### **RESUMO**

A disponibilidade hídrica de 2,2 mil m<sup>3</sup>/hab.ano do estado do Rio de Janeiro corresponde somente ao dobro da quantidade mínima considerada razoável pela ONU. A demanda hídrica representa 70% da disponibilidade, e é agravada pela poluição do rio Paraíba do Sul. Alternativamente, o abastecimento por pequenas bacias hidrográficas (PBH), com água abundante, de excelente qualidade, relevo escarpado, e significativa cobertura vegetal, apresenta vantagens comparativas com rebatimentos ambientais e econômico-sociais. Entretanto, as pequenas e médias cidades do litoral e região serrana, com marcada vocação turística, estão em expansão urbana acelerada, aumentando a pressão sobre as PBH.

O objetivo deste trabalho é apresentar metodologia para avaliar a sustentabilidade hídrica de municípios abastecidos por PBH. Angra dos Reis, estudo de caso, tem 120 mil habitantes, com aumento de 40% da população nos picos turísticos, taxa de crescimento de 3% a.a, e 80% do território cobertos por Mata Atlântica. O abastecimento urbano, feito através de PBH, é o principal uso das águas.

A sustentabilidade hídrica é avaliada através do cotejo de quatro indicadores: (1) quantidade hídrica, calculada através de regionalização hidrológica; (2) demanda hídrica, estimada por dados demográficos e sócio-econômicos; (3) capacidade de depuração dos corpos d'água, estabelecida pelo nível de eficiência de tratamento do esgoto na eliminação da DBO, e pelos limites de classes de uso do CONAMA; e (4) capacidade de ocupação das áreas urbanizáveis, definida por taxas de densidade demográfica e pelo Plano Diretor municipal. Através de um Sistema de Informações Geográficas, essas variáveis, expressas em número de habitantes, foram representadas espacialmente, permitindo a classificação das regiões hidrográficas segundo esses indicadores. O resultado permite a modelagem de cenários de uso das águas e do solo, facilitando os processos de tomada de decisão, como outorga pelo uso da água e elaboração dos planos de recursos hídricos.

**PALAVRAS-CHAVES:** disponibilidade hídrica, pequenas bacias hidrográficas, abastecimento de água, Geoprocessamento, recursos hídricos

## 1. INTRODUÇÃO

Diante do quadro de escassez hídrica, da degradação da qualidade da água e do difícil acesso de parte da população aos recursos hídricos, 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. A tendência é a adoção de soluções técnicas, institucional e economicamente estruturadas, controladas localmente pela participação dos parceiros envolvidos no gerenciamento das decisões. 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, onde são tomadas as decisões no âmbito de cada bacia hidrográfica.

O acelerado crescimento demográfico dos municípios brasileiros de médio porte, principalmente os da região sudeste (IBGE, 2002a), acentua a necessidade de mais informações sobre recursos hídricos, na medida em que as soluções para atender a nova demanda devem ser adotadas por municípios cujos recursos econômicos e humanos são limitados (TUCCI, 2000a), e 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 hidrográficas sofrem impacto crescente devido à expansão urbana acelerada e desordenada, que avança sobre os mananciais, e à pressão para o atendimento da elevada demanda de água, tanto para o abastecimento, quanto para diluição dos esgotos domésticos. Nesta situação encontram-se as pequenas bacias costeiras do Domínio Tropical Atlântico, localizadas em encostas vegetadas, que apresentam elevada produtividade e excelente qualidade hídrica e das quais dependem muitos municípios do estado do Rio de Janeiro.

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. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para avaliar a sustentabilidade hídrica de municípios abastecidos por pequenas bacias hidrográficas, considerando o balanço entre quantidade e demanda hídricas atuais, a dinâmica demográfica e o arcabouço legal pertinente. Com esta metodologia pretende-se: (1) gerar informações técnicas sobre os recursos hídricos em pequenas bacias hidrográficas, que auxiliem na 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; (2) 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; e (3) 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, com 620 km<sup>2</sup>, corresponde à faixa continental do município de Angra dos Reis, situada no sul fluminense, na região hidrográfica da baía da Ilha Grande, atravessada pela Serra do Mar e com 82% do território cobertos pela Floresta Pluvial Atlântica. Com 120 mil habitantes, Angra dos Reis vem apresentando, desde a década de 1950, taxa de crescimento demográfico acima de 3% a.a. (CIDE, 2002). O abastecimento da população urbana é o principal uso das águas fluviais, feito através de 57 sistemas públicos, além de inúmeros outros particulares, distribuídos ao longo do território angrense. Com exceção de um único sistema, todos os outros públicos estão situados em bacias contribuintes com área inferior a 5 km<sup>2</sup>, e que abastecem cerca de 60% da população angrense.

## 2. BASE CONCEITUAL

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 *et al.* (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 ” (p.11).

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 para os usos consuntivos, quanto pelo volume mantido no curso d’água para o atendimento aos usos não consuntivos e a manutenção da sustentabilidade do próprio sistema, visando a diluição dos efluentes e a preservação do ambiente, esta denominada como vazão ecológica. A quantidade e a qualidade hídrica são condições indissociáveis na avaliação da disponibilidade hídrica utilizada como base para emissão da outorga de direito de uso de recursos hídricos (CRUZ, 2001).

Na avaliação da disponibilidade hídrica, sob o aspecto quantidade, devem ser consideradas a vazão média e a vazão mínima. A primeira corresponde à disponibilidade máxima, pois, como é a maior vazão que pode ser regularizada, estabelece os limites superiores do uso da água de um manancial (TUCCI, 2002). A vazão mínima ocorre durante a estiagem e está vinculada a períodos críticos de oferta de água, sendo expressa estatisticamente por um valor, uma duração e uma 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 (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 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 no domínio do estado do Rio de Janeiro.

Nos locais em que a rede de monitoramento fluviométrico é insuficiente, como no Brasil, principalmente, nas bacias hidrográficas menores do que 300 km<sup>2</sup>, utilizam-se métodos indiretos para fazer a estimativa da vazão (TUCCI, 2000). Entre eles está a regionalização hidrológica que consiste na transferência de informações de uma bacia hidrográfica para outra com comportamento hidrológico semelhante (CRUZ, 2001; SILVEIRA & SILVEIRA, 2001; TUCCI, 2002).

Sob o aspecto de qualidade hídrica, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) 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). Ela 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, 1985).

Esgotos domésticos têm uma DBO em torno de 200 a 300 mg/L (BRANCO, 1983). Embora os corpos d'água possam autodepurar-se pela recuperação do oxigênio, através do ar atmosférico e da atuação de vegetais clorofilados presentes na massa d'água, a concentração populacional e o conseqüente volume de esgoto produzido prejudicam esta capacidade de autodepuração natural; 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 (METCALF & EDDY, 1981).

## 2.2 DEMANDA HÍDRICA

A demanda de água corresponde à “quantidade de água requerida para várias utilizações, durante determinado período, condicionadas por fatores econômicos e sociais” (ANEEL, 1998). Os principais condicionantes da quantidade de água distribuída, para o abastecimento urbano, são: clima, padrão de vida, hábitos da população, sistemas de fornecimento (presença ou não de hidrômetro), qualidade da água, custo da água, pressão na rede de abastecimento e perdas na distribuição (GOMES, 2002). No Brasil, estas perdas, expressas como relação entre volume consumido e disponibilizado, são da ordem de 45%, variando entre 17% a 69% (SNIS, 2002).

A demanda *per capita* urbana mundial varia com a grau de urbanização e qualidade 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. 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).

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 a demanda *per capita*. Para municípios acima de 100 mil habitantes, ganham importância fatores relacionados à logística de abastecimento como a quantidade de domicílios hidrometrados e o valor da tarifa (FERNANDES NETO *et al*, 2003). Um estudo feito por Oliveira *et al*. (2003) demonstrou que a demanda *per capita* nas áreas urbanas varia entre 100 a 400 L/dia, segundo o tipo de edificação. Considerando apenas os consumos domésticos, o valor varia entre 100 a 200 L/dia (GOMES, 2002).

O Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos constatou que o consumo médio *per capita* é 140 L/hab.dia, variando entre 50 L/hab.dia e 220 L/hab.dia (SNIS, 2002). A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, levantamento realizado nos 5,5 mil municípios brasileiros,

conclui que o volume médio *per capita* de água distribuída é de 260 L/hab.dia, 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). 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).

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. 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).

No processo industrial, a água, nos seus diversos estados físicos, apresenta uma grande diversidade de funções, podendo ser usada como: matéria-prima e reagente, solvente, lavagem de gases e sólidos, veículo de suspensão de materiais, em operações envolvendo transmissão de calor, agente de resfriamento de massas reagentes, agente de aquecimento e 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: utilização de processos tecnológicos distintos; diferenças de equipamentos, procedimentos operacionais e escala de produção; dificuldade em discriminar o consumo específico de cada segmento, em função da verticalização do complexo industrial; e diferenças entre as 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. A seleção de um, ou outro parâmetro, dependerá da disponibilidade dos dados.

### 3. METODOLOGIA

A sustentabilidade hídrica das regiões hidrográficas foi avaliada através do cotejo entre quatro indicadores: quantidade hídrica, qualidade hídrica, demanda hídrica e áreas urbanizáveis. Com estes indicadores foi possível avaliar (1) o grau de utilização dos recursos

hídricos superficiais, através da relação entre demanda e quantidade hídrica; (2) a capacidade dos corpos d'água de diluir o esgoto doméstico e serem enquadrados em uma das classes de água definidas pela Resolução nº20/86 do CONAMA; e (3) capacidade de urbanização, estimada com base no Plano Diretor municipal, permitindo estabelecer a relação entre a disponibilidade e a demanda hídrica futura.

Através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), estes indicadores, expressos como população equivalente, foram representados espacialmente, permitindo a classificação da área de estudo em regiões hidrográficas, exportadoras ou importadoras, conforme tivessem *superávit* ou *déficit* hídrico atual ou futuro.

A população equivalente representa um número hipotético de habitantes equivalente ao resultado da adoção de determinados critérios, para cada um dos indicadores, interpretando uma situação limite. A adoção desta unidade para expressar a sustentabilidade hídrica justifica-se pela facilidade de: (1) entendimento dos resultados pelo público, seja técnico ou leigo; (2) comparação entre parâmetros dimensionalmente diferentes; e (3) comparação entre diferentes regiões e períodos. Deve-se, entretanto, enfatizar, que os resultados que serão aqui apresentados não correspondem a valores populacionais preconizados como meta para qualquer planejamento, mas são indicadores de uma situação hipotética, resultante de cenários de utilização de recursos.

Os resultados estão apresentados por regiões hidrográficas compostas por uma ou mais bacias hidrográficas, unidas no caso de bacias vizinhas apresentarem planícies costeiras contíguas ou da bacia apresentar área inferior a 10 km<sup>2</sup>. Foram delimitadas onze regiões, classificadas em três grupos quanto à área da bacia hidrográfica principal da região e/ou ao domínio legal do rio principal: (A) bacias hidrográficas acima de 60 km<sup>2</sup> e rios principais de domínio federal, correspondendo a 48% da área de estudo; (B) bacias hidrográficas entre 60 e 10 km<sup>2</sup> e rios de domínio estadual, com 38% da área total; e (C) bacias hidrográficas com área menor do que 10 km<sup>2</sup>.

### 3.1 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE HÍDRICA

A quantidade hídrica foi avaliada com base na vazão média de longo termo ( $Q_{mt}$ ),  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ , estimadas pela regionalização hidrológica, através da relação entre os dados hidrológicos, coletados no Sistema de Informações Hidrológicas (ANA, 2002), de seis estações fluviométricas localizadas na região hidrográfica da baía da Ilha Grande, e os indicadores fisiográficos e pluviométrico das bacias hidrográficas situadas à montante das estações fluviométricas.

Os indicadores fisiográficos foram calculados com base em um Modelo Digital de Elevação, construído a partir de curvas de nível equidistantes 100 m, digitalizadas das cartas topográficas 1:50.000. A cobertura vegetal foi calculada por classificação da imagem do *Landsat 7* do ano de 2000, feita pelo programa *Spring 3.6*, e conferida através de trabalho de campo e fotografias aéreas.

O índice pluviométrico foi obtido através de um Modelo Digital de Terreno (MDT) gerado pela interpolação 24 estações pluviométricos (ANA, 2002; DAEE, 2000), localizadas na região hidrográfica da baía da Ilha Grande, correspondente ao período de 1970 a 1999. O cruzamento entre os limites das bacias hidrográficas e o MDT de chuvas no SIG forneceu o total pluviométrico anual das bacias hidrográficas.

Após a etapa de levantamento, de cálculo e de análise de consistência dos dados físicos e hidrometeorológicos, foi feita a avaliação da homogeneidade hidrológica das bacias em estudo através da análise da curva adimensional de probabilidade, da análise de agrupamentos (*cluster analysis*) e de análises de correlações entre os indicadores de vazão média e mínima e as características fisiográficas. Após confirmar a região hidrográfica da baía da Ilha Grande como hidrológicamente homogênea, foi executada a regionalização de vazões para as bacias hidrográficas, que atravessam a faixa continental de Angra dos Reis,

cujas áreas estivessem entre 10 e 200 km<sup>2</sup>. Para a bacia do Mambucaba, com 740 km<sup>2</sup>, utilizou-se como método a interpolação de áreas da estação fluviométrica Fazenda Fortaleza, localizada nesta bacia. Para as bacias com área inferior a 10 km<sup>2</sup>, a estimativa foi feita a partir da interpolação de áreas com bacias vizinhas com vazão regionalizada.

A vazão regionalizada ( $Q_{mlt}$ ,  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ) dividida pela demanda hídrica *per capita*, obtida na etapa posterior, resultou na população equivalente à quantidade hídrica.

### 3.2 ESTIMATIVA DA DEMANDA HÍDRICA ATUAL

Avaliação da demanda hídrica foi dividida em três grupos: demanda da população residente, demanda da população flutuante (turística) e demanda das principais atividades econômicas. Para contornar a falta de informação básica, foram usados métodos indiretos de avaliação, cujos resultados foram comparados, quando possível, com dados obtidos em levantamentos de campo ou fornecidos pelas empresas consumidoras e fornecedoras de água.

A demanda hídrica atual da população foi obtida através do produto entre o total de população e a demanda *per capita*. Na estimativa da população residente e flutuante, foram utilizados dados demográficos de setores censitários, nível de maior desagregação espacial de dados originários dos censos demográficos, o que possibilita agregá-los em bases espaciais específicas, como, no presente estudo, em regiões hidrográficas.

Partindo do pressuposto de que a renda é um dos principais fatores que influenciam no consumo de água residencial, a demanda hídrica residente foi pesquisada com base na relação entre o PIB *per capita* (IBGE, 2000) e o volume de água distribuído *per capita* (IBGE, 2002) nos estados brasileiros. Os resultados desta pesquisa, obtidos através de regressão e análise de agrupamento, foram validados com os dados de hidrometria domiciliar, fornecidos pelo SAEE local.

A demanda da população flutuante foi obtida através do produto entre a população turística e a demanda *per capita* do turista. 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 durante o feriado da Semana Santa de 2002 através da contagem de veículos, realizada pelo Departamento Estadual de Rodagem (DER-RJ), em postos de contagem localizados na BR-101, que liga 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, objetivando levantar número de passageiros e tipos de veículos que passam pela estrada.

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* da população flutuante, que foi calculada por acréscimo de um percentual à demanda *per capita* da população residente.

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 informações levantadas junto a estas empresas, inclusive o número de funcionários, associando-se a este um valor de demanda hídrica *per capita*.

### 3.3 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE DEPURAÇÃO DOS CORPOS D'ÁGUA

A capacidade de depuração dos corpos d'água foi estimada em função de dois parâmetros conjugados: o limite da DBO que a classificação do CONAMA – nº20/1986

estipula como critério para enquadramento dos corpos d'água e o nível de eficiência do tratamento do esgoto na eliminação da DBO.

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 CONAMA, logo ela é função da DBO do efluente ( $DBO_{efluente}$ ) e da eficiência do tratamento na eliminação da DBO do efluente (K), conforme mostrado a seguir.

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

onde:

$DBO_{receptor}$  (mg/L)- limite superior da DBO do corpo d'água, após lançamento do efluente, 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 à razão entre a  $DBO_{receptor}$  e a  $DBO_{efluente}$ , pois:

$$(Q_{receptor} * DBO_{receptor}) \leq ((DBO_{efluente} * (1-K) * Q_{efluente}). \quad \text{Equação 2}$$

Logo:

$$(Q_{receptor} / Q_{efluente}) \geq (DBO_{efluente} * (1-K) / DBO_{receptor}), \quad \text{Equação 3}$$

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.

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 da Equação 3. Para expressar a capacidade de depuração do corpo receptor em termos população equivalente ( $Pop_{qualidade}$ ), considerou-se que: (1) a vazão máxima do efluente corresponde ao volume máximo que pode ser captado para consumo, adotando-se 50% da  $Q_{7,10}$ ; e (2) a demanda hídrica total *per capita* da área em estudo. A população equivalente corresponde, assim a:

$$Pop_{qualidade} = (50\% Q_{7,10} / Demanda \textit{ per capita}) * (Q_{efluente} / Q_{receptor}) \quad \text{Equação 4}$$

### 3.4 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE URBANIZAÇÃO

A população equivalente à disponibilidade de áreas para ocupação urbana foi estimada em função de dois parâmetros: as áreas urbanizáveis e a densidade demográfica. Como áreas urbanizáveis, foram consideradas às zonas residenciais e turísticas discriminadas na proposta de reforma do Plano Diretor do município. A densidade demográfica atual foi calculada através da delimitação das manchas urbanas, com base na imagem de sensoriamento remoto já citada, e da atribuição, a cada uma destas, a população residente obtida nos setores censitários.

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 QUANTIDADE HÍDRICA DE ANGRA DOS REIS

Entre as características fisiográficas das bacias hidrográficas a montante das estações fluviométricas (Tabela 3), a área é a variável com maior coeficiente de variação, enquanto o relevo e a cobertura vegetal são as mais homogêneas. A área projetada corresponde à superfície da bacia projetada no plano e é menor do que a área da superfície. A diferença entre elas é tanto maior quanto maior a declividade da bacia. O total pluviométrico anual ganha

importância nas análises estatísticas quando convertido para a unidade m<sup>3</sup>/s, pois expressa também a área das bacias hidrográficas.

Tabela 1: Características fisiográficas das bacias hidrográficas a montante das estações fluviométricas

Estação	Área projetada (km <sup>2</sup> )	Área superfície (km <sup>2</sup> )	Coef. Compacidade	Floresta (%)	Campo altitude (%)	Densidade drenagem	Declividade Média (%)	Altitude Média (m)	ppt (mm)	ppt (m <sup>3</sup> /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
Coefficiente de Variação	1,4	1,4	0,2	0,2	1,4	0,1	0,3	0,3	0,1	1,3

ppt= total pluviométrico anual

A importância da área de drenagem e da precipitação como variáveis explicativas da vazão tem sido verificada também por outros autores: 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.

Neste trabalho, do conjunto de informações sobre as características fisiográficas das bacias, foram testadas regressões do tipo linear e potencial entre a vazão e as variáveis área da bacia, da superfície e projetada, e o total pluviométrico anual em m<sup>3</sup>/s. Dentre as variáveis independentes das equações regionais, a que melhor explicou a vazão foi a precipitação, expressa em m<sup>3</sup>/s, pois esta variável, ao substituir as variáveis área da bacia e altura de precipitação, permite trabalhar com maior grau de liberdade.

Considerando a Q<sub>mlt</sub>, a disponibilidade hídrica da área em estudo, sob o ponto de vista de quantidade, corresponde a 53 m<sup>3</sup>/s. Adotando o indicador da vazão mínima Q<sub>95</sub>, critério utilizado no Plano Nacional de Bacias Hidrográficas (ANA, 2003) para a avaliação das regiões hidrográficas brasileiras, a disponibilidade cai para 19 m<sup>3</sup>/s. Adotando-se 50% da Q<sub>7,10</sub>, a disponibilidade hídrica passa para 8 m<sup>3</sup>/s, o que equivale a 15% da vazão média.

Deve ser destacado, no entanto, que cerca de 60% do total da vazão das bacias hidrográficas com área superior a 10 km<sup>2</sup> correspondem aos rios sob domínio federal. Já as bacias, com área superior a 10 km<sup>2</sup> e com rios de domínio estadual, possuem 33% da área continental e 40% da vazão. As regiões com bacias inferiores a 10 km<sup>2</sup> representam 2% da disponibilidade hídrica.

Esses valores resultam em uma disponibilidade hídrica *per capita* variando entre 15 mil e 2,1 mil m<sup>3</sup>/hab.ano, considerando, respectivamente, a Q<sub>mlt</sub> e 50% da Q<sub>7,10</sub>. 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 da vazão média *per capita* corresponde a metade da disponibilidade *per capita* avaliada para o Brasil.

Os rios com área acima de 200 km<sup>2</sup> podem ser considerados atípicos na região. Em geral, eles têm suas nascentes nas escarpas da Serra do Mar, próximas ao litoral, gerando bacias de menor área. A elevada disponibilidade hídrica de Angra dos Reis é, assim, exceção, quando se compara a municípios vizinhos da região. Os municípios de Parati e Mangaratiba, situados, respectivamente, a oeste e a leste de Angra dos Reis, não têm bacias maiores que 120 km<sup>2</sup>, e tendem, portanto, a apresentar disponibilidade hídrica menor.

Devido a suas características fisiográficas e aos elevados índices pluviométricos, a produtividade hídrica é elevada na região, a vazão específica varia entre 46 L/s.km<sup>2</sup> e 14 L/s.km<sup>2</sup>, 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.km<sup>2</sup> e 14 L/s.km<sup>2</sup>, com fisiografia semelhante à área de estudo, e que colocam esta região como a de maior produtividade hídrica do território paulista, cujos valores médios, por sua vez, correspondem a 13 L/s.km<sup>2</sup> e 4 L/s.km<sup>2</sup>, respectivamente (CERH, 1999).

#### 4.2 DEMANDA HÍDRICA DE ANGRA DOS REIS

A estimativa da demanda hídrica total 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.

Como já relatado, 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. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2002), o volume de água distribuído *per capita* nos estados brasileiros varia entre 80 e 550 L/hab.dia. O estado do Rio de Janeiro apresenta o maior consumo *per capita*, sendo 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. 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, sendo um *outlier*, sem o qual a média de renda dos estados brasileiros é de 4,7 mil reais, com desvio padrão de 2,4 mil reais. Retirando esses dois *outliers* da regressão entre volume de água distribuída e PIB *per capita*, obtém-se coeficiente de correlação de *Pearson* de 0,71 ( $p < 0,0001$ ). A renda *per capita* de Angra dos Reis corresponde a 7,6 mil reais (IBGE, 2003), valor que alocado nesta equação, permite estimar o consumo *per capita* em 259 L/hab.dia, variando entre 225 e 293 L/hab.dia, com 95% de confiança.

Resultado semelhante foi obtido ao analisar os dados fornecidos pelo Serviço Autônomo de Águas e Esgotos (SAEE) de Angra dos Reis, referentes ao consumo de água, no mês de agosto de 2003, de 22 mil economias cadastradas, nas regiões de Japuiba e Perequê. Destas economias apenas 3,2 mil eram hidrometradas e o índice de inadimplência correspondia a 85% do total das contas emitidas; assim, do total de 22 mil registros, foram aproveitados apenas 8%. A análise dos dados consistidos resultou em consumo *per capita* de 220 L/hab.dia e 190 L/hab.dia, respectivamente.

Com base nesses resultados, adotou-se o valor de 250L/hab.dia como demanda hídrica *per capita* para a população residente em Angra dos Reis. Como na faixa continental residem 114 mil habitantes (IBGE, 2003), a demanda hídrica do total da população foi calculada em 28,5 mil m<sup>3</sup>/dia, correspondendo a uma vazão de 330 L/s.

A 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. Este número corresponde a 10 mil domicílios ocasionais multiplicado pela hospedagem de quatro pessoas por residência, que corresponde ao número médio de pessoas por domicílio em Angra dos Reis, e a 5,8 mil de leitos em hotéis e similares, distribuídos por 83 unidades ao longo faixa continental.

O fluxo de turistas, avaliado através da contagem de veículos, forneceu valor semelhante à capacidade de hospedagem. Deduzindo-se do total de veículos que passaram pelas estradas angrenses, a média dos veículos dos dias considerados de fluxo normal, cerca de 12 mil veículos entraram e saíram por estas estradas. A amostragem com 2 mil veículos mostrou que 90% deles eram de passeio, com quatro passageiros em média. Estes valores

revelam que o número de turistas que passou, na ocasião, nas duas rodovias foi de 48 mil. Este é um valor aproximado, pois aí estão incluídos os turistas que se destinam às ilhas e, do mesmo modo, 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. 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 demanda *per capita* dos turistas, na ausência de estudos e dados locais, foi atribuído um consumo 50% maior do que o da demanda *per capita* da população residente. Considerando a capacidade de hospedagem e a demanda *per capita*, o total da demanda hídrica do turismo está em torno de 16 m<sup>3</sup>/dia.

Segundo informações fornecidas pela ELETRONUCLEAR, 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 m<sup>3</sup>/dia. 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.

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 m<sup>3</sup>/dia, e na refrigeração de equipamentos, operação em que a água é reutilizada. Como não há dados hidrometrados, a estimativa de consumo hídrico considerou a água utilizada pelos funcionários, adicionada ao volume de água consumida durante o processo de hidrojateamento. Como os funcionários alimentam-se no restaurante do estaleiro, considerou-se como padrão o uso doméstico de 200 L/dia *per capita*, totalizando 1,3 mil m<sup>3</sup>/dia.

Foram fornecidos dados hidrometrados da produção de água potável pelo sistema do TEBIG, dos meses de janeiro a abril de 2003, que inclui o consumo do terminal, o abastecimento da vila de funcionários e dois clubes. Para estimar apenas o consumo de água no terminal, subtraiu-se, da produção de água potável, a água destinada à vila de funcionários, o que resultou em um consumo do terminal de 640 m<sup>3</sup>/dia com coeficiente de variação de 23%. Ao estimar o consumo de água baseado no número de funcionários, 200 L/dia, e no volume consumido para abastecimento de um navio, chega-se a um valor próximo ao anterior.

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. Segundo informações coletadas em campo, o volume de água consumido quando o porto encontra-se em plena atividade é de 300 m<sup>3</sup>/dia. Considerando o número máximo de trabalhadores e um consumo de 200 L/dia por funcionário, obtém-se 200 m<sup>3</sup>/dia.

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 m<sup>3</sup>/dia, ou seja, 625 L/s, considerando a capacidade total de hospedagem ocupada. 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 m<sup>3</sup>/dia, representando 53% do total, seguido da população flutuante, com 18 mil m<sup>3</sup>/dia e 33% do total da demanda. Os quatro maiores empreendimentos econômicos consomem 7,6 mil m<sup>3</sup>/dia, representando 14% do total.

Adotando como quantidade hídrica disponível 50% Q<sub>7,10</sub>, equivalente a 8 m<sup>3</sup>/s, ou seja, 665 mil m<sup>3</sup>/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.

### 4.3 CAPACIDADE DE DEPURAÇÃO DOS CORPOS HÍDRICOS

Quanto maior a eficiência no tratamento e/ou a classe de enquadramento dos corpos d'água, menor é a vazão necessária para diluição da DBO. A Tabela 2 mostra que a relação entre a vazão do corpo receptor e a vazão do efluente pode variar entre 83 e 1. Para o estabelecimento de uma relação 1 para 1, haveria necessidade de um tratamento de esgoto com 95% de eficiência e enquadramento na classe 3. Considerando tratamento convencional, com eliminação de 85% da DBO<sub>efluente</sub>, e o enquadramento do corpo d'água receptor na classe 2, 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:

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

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

Tabela 2: Relação entre vazão do receptor e do efluente, necessária para diluição da DBO, segundo a classe de uso CONAMA e a eficiência do tratamento.

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

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

Aplicando estes valores à população abastecida, em função da quantidade hídrica disponível e a demanda *per capita*, conforme Equação 4, obtém-se a população equivalente à capacidade de depuração (Tabela 3) que varia entre 15 mil e 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, altera a ordem de grandeza da população admissível.

Tabela 3: População equivalente à capacidade de depuração dos corpos d'água (mil hab.)

Eficiência do tratamento	Classe de uso das águas segundo resolução 20 /CONAMA		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3
0%	16	26	52
65%	45	74	148
75%	62	104	208
85%	104	173	346
95%	312	520	1.039

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. Estabelecendo a classe 2 para enquadramento dos rios de Angra dos Reis, 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 173 mil habitantes, valor próximo à população atual. O enquadramento nesta classe permite a recreação primária, a piscicultura e o abastecimento doméstico com tratamento convencional, potenciais usos da água no local. Esta alternativa tanto atenderia às necessidades do turismo, uma das principais atividades

econômicas do município, como atenderia a aquicultura, outra atividade que depende da qualidade de água.

#### 4.4 CAPACIDADE DE URBANIZAÇÃO

As zonas residenciais e turísticas do Plano Diretor municipal, consideradas como urbanizáveis, totalizam 12,3 mil ha, ou seja, 20% da faixa continental do município. A densidade demográfica atual dos núcleos urbanos de Angra dos Reis varia entre 14 e 105 hab./ha, com média de 70 hab./ha. A densidade das áreas turísticas varia entre 4 e 26 hab./ha com média de 11 hab./ha.

Considerando a atual densidade demográfica, média e máxima, se toda área urbanizável fosse ocupada, a população equivaleria, respectivamente, 300 mil e 530 mil habitantes, representando cerca de 2 a 3 vezes os valores da população atual, incluindo a flutuante. Este valor é próximo à população do município de Santos, localizado no litoral norte de São Paulo, em área fisiograficamente semelhante a nossa área de estudo.

#### 4.5 SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS

Para expressar a sustentabilidade das regiões hidrográficas de Angra dos Reis, a população equivalente, admissível segundo cada um dos quatro indicadores - quantidade disponível de água, qualidade admissível de água, demanda hídrica atual e áreas disponíveis para urbanização, foi cotejada em um balanço que recupera a informação em termos de quantidade e qualidade do recurso, permitindo identificar o critério mais restritivo, como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Sustentabilidade hídrica das regiões hidrográficas segundo população equivalente. Faixa continental de Angra dos Reis.

Cód	Região Hidrográfica	População equivalente (mil hab.)				(2)-(4)	(3)-(4)
		Pop. demanda (1)	Pop. quantidade (2)	Pop. qualidade (3)	Pop. urbana (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

(1) População atual. (2) Relação 50%  $Q_{7,10}$  e a demanda *per capita* atual. (3) 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 do CONAMA. (4) Média da densidade demográfica aplicada às zonas residenciais e turísticas.

Considerando toda faixa continental, observa-se que a maior população equivalente corresponde à disponibilidade hídrica, com total de 1,3 milhão de habitantes, ou seja, este parâmetro, entre os analisados, é o menos restritivo à sustentabilidade das regiões hidrográficas. Considerando a população das áreas urbanizáveis, há um *superávit* de 1 milhão de habitantes. A menor população corresponde à qualidade hídrica, equivalendo a 180 mil habitantes, próxima ao total da população atual, demonstrando que este é o parâmetro mais restritivo da sustentabilidade das regiões hidrográficas. O *déficit* em relação a população das áreas urbanizáveis corresponde a 120 mil habitantes. Para atingir a  $Pop_{urbana}$  de 300 mil

habitantes, o tratamento de efluentes deveria apresentar nível de eficiência de 95% na eliminação de DBO e enquadramento dos corpos d'água na classe 1, como especificado na Tabela 3, ou eficiência poderia ser de 85% para enquadramento na classe 3. Para atingir a equivalência próxima à Pop.<sub>quantidade</sub>, 1,3 milhão de habitantes, mesmo que o tratamento tivesse 95% de eficiência, o enquadramento subiria para a classe 3, o que não permitiria usos como a recreação de contato primário e a aquicultura.

Com base nestes resultados, as regiões hidrográficas foram classificadas em Exportadoras, Importadoras e Críticas, como se detalha abaixo (Figura 1).

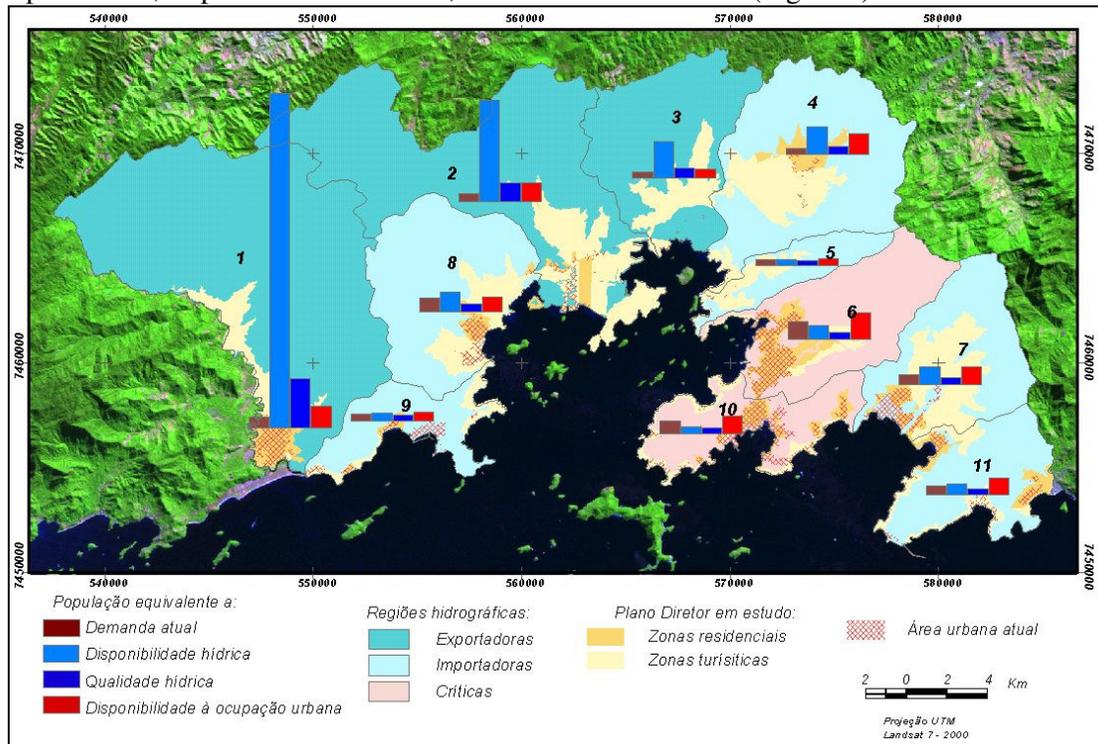


Figura 1: Classificação das regiões hidrográficas segundo a sustentabilidade das regiões hidrográficas.

**Regiões Hidrográficas Exportadoras** – a Pop.<sub>quantidade</sub> supera a Pop.<sub>urbana</sub>, com *superávit* hídrico, podendo, assim, abastecer a população futura residente nestas regiões, bem como a das regiões vizinhas. Incluídas nesta classe, estão as regiões Mambucaba, Bracuí e Ariró, concentrando 87% da Pop.<sub>quantidade</sub> e 27% Pop.<sub>urbana</sub>. O primeiro critério admite catorze vezes mais população do que o segundo. Deve-se ressaltar, no entanto, que 62% da disponibilidade hídrica concentram-se em Mambucaba, e que todas estas bacias são de domínio federal, como exposto anteriormente.

**Regiões Hidrográficas Importadoras** – a Pop.<sub>quantidade</sub> é menor ou próxima ao valor da Pop.<sub>urbana</sub>, podendo caracterizar um *déficit* hídrico futuro, quando necessitaria importar água para sustentar a população aí residente ou, no melhor dos casos, teria uma auto-suficiência em água. Destas regiões devem ser destacadas os seguintes pontos: (1) A região Jurumirim apresenta uma das maiores Pop.<sub>urbana</sub>, 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. (2) A região Jacuecanga apresenta *superávit* de apenas 1 mil habitantes entre a Pop.<sub>urbana</sub> e a Pop.<sub>quantidade</sub>. 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. (3) Da região 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.<sub>urbana</sub> e a Pop.<sub>quantidade</sub> 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. (4) As regiões Leste, Usina e Pontal apresentam um déficit hídrico de 2%. Estas regiões apresentam bacias hidrográficas inferiores a 16 km<sup>2</sup>, bem como reduzidas planícies, correspondendo a 14% da População.<sub>urbana</sub> 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.

Regiões Hidrográficas Críticas – nelas Pop.<sub>demanda</sub> já ultrapassa Pop.<sub>quantidade</sub>, 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 de 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.<sub>urbana</sub> é inferior à Pop.<sub>qualidade</sub>. Em outras palavras, o rio Mambucaba apresenta disponibilidade que supera a vazão necessária para atender às necessidades de abastecimento da população futura, e para diluir a DBO do esgoto produzido por esta população, o rio principal enquadrado na classe 2 e, ainda assim, atender cerca de 40 mil habitantes residentes fora da região. Já nas outras regiões, Pop.<sub>urbana</sub> é superior ou muito próxima à Pop.<sub>qualidade</sub>, significando que cuidados especiais no tratamento devem ser dispensadas a estas regiões.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho gerou informações que facilitam a tomada de decisão na gestão de recursos hídricos, aplicando o conceito de *população equivalente* para expressar todas as quatro variáveis em análise: quantidade e qualidade hídrica, demanda atual e disponibilidade de áreas urbanizáveis.

Os indicadores resultantes mostram que, considerando apenas as bacias confinadas ao território angrense, a vazão corresponde a 40% da quantidade hídrica total. As bacias formadas por rios federais concentram cerca de 60% da quantidade e 15% da demanda atual, enquanto 50% da população são abastecidas por bacias com menos de 5% da quantidade. Isto coloca um sinal de alerta para outros municípios situados nesta região e, ao mesmo tempo, representa uma vantagem comparativa para Angra dos Reis.

A maior população equivalente é a obtida pelo critério da quantidade hídrica, sendo o parâmetro é o menos limitante na sustentabilidade hídrica 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. Seria possível suportar uma população de 300 mil habitantes, segundo o critério de disponibilidade de espaço urbanizável, sob duas alternativas: um tratamento de efluentes com eficiência de 95% e enquadramento na classe 1 do CONAMA, ou baixando a eficiência para 85%, com o enquadramento dos corpos d'água na classe 3. A população de 1,3 milhões de habitantes, resultante do critério quantidade de água, seria completamente insustentável, pois, mesmo com tratamento 95% eficiente, não se conseguiria classificação de uso menor que a classe 3.

## BIBLIOGRAFIA

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 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.

- 1º Congresso Acadêmico sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento do Rio de Janeiro. 9 e 10 de dezembro de 2004. Fundação Getúlio Vargas.
- \_\_\_\_\_. Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 2001.
- 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.
- BRANCO, S.M. *Poliuição: a morte de nossos rios*. São Paulo: ASCETESB. 1983.166p.
- 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.
- CRUZ, J.C. *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. CD-ROM.
- FERNANDES NETO, M.L.; NAGHETTINI, M. C.; LIBÂNIO, M.. 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, P. C. *Introdução à Gestão Ambiental*. Lisboa: IST Press, 1998. 219p.
- FRANCISCO, C.N. *Subsídios à gestão sustentável dos recursos hídricos no âmbito municipal: o caso de Angra dos Reis, RJ*. Niterói, 2004. 178f. Tese (Doutorado em Geociências – Geoquímica Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Geoquímica Ambiental, Universidade Federal Fluminense.
- GOMES, H. P. *Sistemas de abastecimento de água: dimensionamento econômico*. João Pessoa: Ed.Universitária/UFPB, 2002.
- HERNÁNDEZ-SUÁREZ, M. 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.fcce.es/Docs/Turismo%20y%20Agua.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2003.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico 2000. Agregado por Setor Censitário dos Resultados do Universo*. 2ª edição. Rio de Janeiro: IBGE, 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.
- \_\_\_\_\_. *Contas Regionais do Brasil 2000*. Rio de Janeiro: IBGE, 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 11 jul. 2003.
- 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/cbhl>>. Acesso em: 8 out. 2003.
- MARIOTONI, C.A.; DEMANBORO, A.C. *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.
- METCALF-EDDY. *Tratamiento y depuración de las aguas residuales*. Barcelona: Labor. 1981.
- MILARÉ, É. *Direito do Meio Ambiente*. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2000.
- OLIVEIRA, J. I.; LUCAS FILHO, M. 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.
- 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.
- SHIKLOMANOV, I. 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, G. A.; SIMÕES, R. A. G. 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, A.L.L.; SILVEIRA, G.L. Vazões Mínimas. In: PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D. *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.
- TCHOBANOGLIOUS, G.; SCHROEDER, E. D. *Water quality: characteristics, modeling, modification*. Reading Mass. 1985.

1º Congresso Acadêmico sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento do Rio de Janeiro. 9 e 10 de dezembro de 2004. Fundação Getúlio Vargas.

TUCCI, C.E.M. *Regionalização de vazões*. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

TUCCI, C. E.M; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. 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. 2000.

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. 1991.