

Avaliação da Sustentabilidade Hídrica de Municípios Abastecidos por Pequenas Bacias Hidrográficas: O Caso de Angra dos Reis, RJ

Cristiane Nunes Francisco

Instituto de Geociências/UFF

crisnf@vm.uff.br

Cacilda Nascimento de Carvalho

Instituto de Química/UFF

cacilda.carvalho@terra.com.br

Recebido: 15/03/06 – revisado: 11/06/07 – aceito: 29/05/08

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar metodologia criada para avaliar a sustentabilidade hídrica de municípios abastecidos por Pequenas Bacias Hidrográficas (PBH)s. Angra dos Reis, estudo de caso, apresenta cerca de 120mil habitantes, com aumento de 40% da população nos picos turísticos, taxa de crescimento de 3% a.a, e 80% do território coberto por Mata Atlântica. O abastecimento urbano, feito através de PBHs, é o principal uso das águas continentais. O município foi escolhido por representar as pequenas unidades administrativas do Domínio Tropical Atlântico que, por suas características fisiográficas, tem abastecimento hídrico autônomo, independente dos grandes sistemas que abastecem cidades como Rio de Janeiro, São Paulo e Curitiba..

A sustentabilidade hídrica foi avaliada através do cotejo de quatro indicadores: (1) quantidade hídrica disponível, calculada através de regionalização hidrológica; (2) demanda hídrica, estimada por dados demográficos e sócio-econômicos; (3) qualidade hídrica dos corpos d'água, definida pela associação entre níveis de eficiência de tratamento do esgoto na eliminação da DBO, e limites de classes de uso do CONAMA; e (4) limites de ocupação das áreas urbanizáveis, avaliados pela aplicação de taxas de densidade demográfica censitárias e interpretação de leis pertinentes, tais como o 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, tais como outorga pelo uso da água e elaboração dos planos de recursos hídricos.

Palavras-chave: Sustentabilidade hídrica; bacias hidrográficas.

INTRODUÇÃO

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 às novas demandas 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 (AB'SABER, 2003), localizadas em encostas vegetadas, que apresentam elevada produtividade e excelente qualidade hídrica e das quais dependem muitos municípios do estado do Rio de Janeiro, e do litoral sul brasileiro.

Nomeá-las como Pequenas Bacias Hidrográficas, (PBHs), com base em suas dimensões, apresenta certo grau de subjetividade (GOLDENFUM, 2003), já que a variabilidade das suas características fisiográficas dificulta a definição de um único critério aplicável a toda as bacias. Neste trabalho, as bacias analisadas têm área de até 200km², com exceção

de Mambucaba (740km²), e estão situadas em região hidrologicamente homogênea. Em geral, elas têm grande amplitude altimétrica, com elevada declividade nos cursos alto e médio, e abrupta ruptura de declive, quando os canais alcançam as planícies costeiras, que são, predominantemente, de pequena extensão. Ao norte da região, no Planalto da Bocaina, em território paulista, estão as nascentes das três maiores bacias hidrográficas com rios de domínio federal: Mambucaba, Bracuí e Ariró. Ao sul, a baía da Ilha Grande recebe os rios que drenam a faixa continental e insular.

Neste contexto, este trabalho visa apresentar metodologia de avaliação da sustentabilidade hídrica de municípios abastecidos por PBHs, 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 PBHs, que auxiliem na implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos; (2) expressar as informações técnicas de forma facilitada e sintetizada através de indicadores acessíveis aos diferentes agentes decisores; e (3) desenvolver metodologia reprodutível e adaptativa, acessível ao técnico municipal, com uso de ferramentas de geoprocessamento, facilitando a gestão sustentável dos recursos hídricos.

A área de estudo, com 620km², corresponde à faixa continental do município de Angra dos Reis, situada no sul fluminense, na região da bacia hidrográfica da baía da Ilha Grande, atravessada pela Serra do Mar e com 82% do território coberto pela Floresta Pluvial Atlântica. Com 120mil 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; para isso, usam-se 57 sistemas públicos, além de inúmeros outros particulares, distribuídos ao longo do território angrense. Com exceção de um único sistema, todos os outros sistemas públicos estão situados em bacias contribuintes com área inferior a 5km², as quais abastecem cerca de 60% da população.

BASE CONCEITUAL

A avaliação da capacidade de suporte dos ecossistemas exige conhecer a complexidade do seu funcionamento, identificando seus limites de reação às alterações advindas de ações naturais ou antrópi-

cas. Estes limites variam de região para região e os impactos dependem, prioritariamente, da densidade demográfica, e das taxas de consumo de recursos naturais. Porém, esta dificuldade pode ser contornada pela análise da relação entre a oferta do recurso natural em análise (disponibilidade) e a quantidade que dele pode ser retirada (demanda), para os diversos usos planejados. Políticas que busquem um equilíbrio entre disponibilidade e demanda devem ser desenvolvidas simultaneamente a tecnologias que aumentem essa capacidade, através de sua cuidada administração. (UICN et al., 1991).

Sustentabilidade Hídrica

O desenvolvimento sustentável objetiva 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 manter seus organismos saudáveis e, ao mesmo tempo, manter sua produtividade, adaptabilidade e capacidade de renovação" (UICN et al. 1991). O princípio da sustentabilidade implica, assim, em utilizar os recursos renováveis a taxas iguais ou inferiores à capacidade de regeneração, ou de reposição ou de assimilação natural, em um horizonte temporal definido (Ferrão, 1998).

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).

Um dos indicadores de disponibilidade hídrica mais utilizados baseia-se no conceito de estresse hídrico, desenvolvido por Malin Falkenmark. Ele considera o volume mínimo de água per capita necessário para manutenção da qualidade de vida, em regiões moderadamente desenvolvidas, situadas em zonas áridas. Pressupõe que 100L/hab.dia (36,5 m³/ano) representa o requisito mínimo para as necessidades domésticas, e a manutenção de um nível adequado de saúde, e considera a experiência dos países desenvolvidos, eficientes no uso da água, que requerem entre 5 a 20 vezes este volume para as atividades econômicas, (Benevides; Beekman, 1995).

Padrões aceitos internacionalmente consideram a disponibilidade hídrica entre 1mil e 2mil m³/ hab.ano como potencial escassez e a disponibilidade inferior a 1mil m³ hab./ano como escassez real (Gleick, 1993 apud Demanboro et al., 1999)¹.

Estudos mais refinados estabelecem padrões com base na razão entre a retirada de água e a disponibilidade hídrica anual. Razão menor que 10% indica pequenos problemas de gerenciamento do recurso. 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, preconizando medidas para solucionar conflitos de uso e sustentabilidade hídrica (ONU, 1997 apud Demanboro et al. 1999)².

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 6mil a 7mil 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).

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)³. 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, 2002).

Mais 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.

Disponibilidade hídrica: quantidade e qualidade

A disponibilidade hídrica pode ser definida como o total da vazão produzida por uma bacia hidrográfica. Constitui o volume de água captado para usos consuntivos, e não consuntivos, tais como abastecimento público e diluição de efluentes, acrescentado do volume necessário à manutenção da sustentabilidade do próprio ecossistema, a denominada 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 representa a disponibilidade hídrica máxima, já que corresponde à maior vazão que pode ser regularizada, estabelecendo, assim, 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. (Silveira & Silveira,

¹ GLEICK, Peter H. *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*, New York: Oxford University Press. 1993.

² ONU. *Critical Trends, Global Change and Sustainable Development*. New York, 1997.

³ 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.

2001). Os indicadores de vazão mínima mais utilizados em projetos e emissão de outorga têm sido 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} corresponde a um patamar inferior de vazão que tem probabilidade de ser excedida em 95% do tempo (Tucci, 2002; Silveira & Silveira, 2001).

A importância de se adotar um indicador de vazão mínima como critério de disponibilidade hídrica interpreta a necessidade de atender os momentos de maior demanda, e, ainda, assegurar vazão suficiente para a manutenção dos ecossistemas, a 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 entanto, de acordo com Lanna *et al.* (1997), ao se adotar como valores referenciais de outorga a vazão mínima, como, p.ex. um percentual da $Q_{7,10}$, cria-se um severo limite à expansão dos sistemas de uso das águas, enquanto a vazão disponível é desperdiçada em grande parte do tempo. Sugere, assim, que outros critérios sejam adotados, entre eles vazão excedente aos usos prioritários, ou seja, a demanda com maior prioridade será inicialmente suprida, enquanto houver água disponível. Após outorga inicial, a vazão excedente será destinada a suprir a demanda com segunda prioridade.

Sob o aspecto de qualidade hídrica, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é um dos parâmetros mais úteis em planos de manejo hídrico, pois pode ser expressa como população equivalente, uma vez que esgotos domésticos têm uma DBO em torno de 200 a 300mg/L (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 (T-Chobanoglous, 1985). 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, o aumento do volume de esgoto produzido pela concentração populacional prejudica esta capacidade de

autodepuração natural; assim, o tratamento do esgoto é fundamental para a manutenção da qualidade da água, e pode reduzir a DBO entre 75 e 95%, dependendo do processo utilizado (Metcalf & Eddy, 1981).

Demanda hídrica

A demanda de água corresponde à "quantidade de água requerida para várias utilizações, durante determinado período, e está condicionada por fatores econômicos e sociais" (ANEEL, 1998). Os usos podem ser consuntivos, correspondentes às atividades que reduzem a disponibilidade hídrica, e não consuntivos, quando não afetam significativamente a quantidade da água, mas podem influir na qualidade e/ou no regime de vazões do manancial. Os usos consuntivos referem-se aos usos urbano (doméstico e público), rural (comunidades), agropecuário (irrigação e animal) e industrial. No Brasil, seguindo o padrão mundial, a irrigação é a atividade que mais consome água, representando 46% das vazões de retirada. O abastecimento urbano é o segundo, correspondendo a 26%, acompanhado pela atividade industrial (18%), a demanda animal (7%) e abastecimento rural (3%) (MMA, 2006).

Condicionantes diretos da quantidade de água distribuída para o abastecimento urbano são o clima, o padrão de vida e hábitos da população; também influenciam os tipos de sistemas de fornecimento, e a porcentagem de hidrometração, os custos de distribuição e de manutenção de qualidade da água (Gomes, 2002). Em muitas metrópoles modernas do mundo, a captação é da ordem de 300 a 600L/hab.dia. Em países agrícolas da Ásia, África e América Latina, a captação está em torno de 50 a 100L/hab.dia, podendo alcançar valores entre 10 a 40L/hab.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 (IDHM) são os fatores que apresentam maior correlação com a demanda *per capita*. (Fernandes Neto et al, 2003). Um estudo feito por Oliveira *et al.* (2003) demonstrou que a demanda nas áreas urbanas varia entre 100 a 400L/hab.dia, segundo o tipo de edificação. Considerando apenas os consumos domésticos, o valor varia entre 100 e 200L/hab.dia (GOMES, 2002).

O Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos constatou que o consumo médio é 140L/hab.dia, variando entre 50L/hab.dia e 220L/hab.dia (SNIS, 2002). A Pesquisa Nacional de

Saneamento Básico (PNSB) concluiu que o volume médio de água distribuída é de 260L/hab.dia, variando entre 360L/hab.dia, para a região Sudeste, e 170L/hab.dia, para o Nordeste (IBGE, 2002). O Comitê das Bacias do Litoral Norte de São Paulo, área contígua à região hidrográfica da Ilha Grande, considerou um cenário de crescimento populacional menos acentuado, onde a demanda seria de 450L/hab.dia, incluindo as perdas, tanto para população fixa, quanto flutuante. Para o cenário com significativo aumento populacional, o valor correspondeu a 200L/hab.dia (IPT, 2003).

A demanda hídrica do setor turístico varia entre 90 e 600L/hab.dia, de acordo com o tipo de hospedagem. Nas Ilhas Canárias, onde já é feita a dessalinização para obtenção de água potável, utiliza-se o valor de 280L/leito.dia, um valor que passa para 600L/leito.dia quando se consideram as atividades diretamente relacionadas ao turismo (Hernández-Suárez, 2003). O Plano Diretor da RMRJ considera 900L/quarto.dia para hotéis acima de três estrelas e 500L/quarto.dia para hotéis abaixo desta categoria (Rios, 1998 apud Setti, 2000)⁴.

A disponibilidade de dados exatos sobre o consumo do setor 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. A variação do consumo no processo industrial, em empresas do mesmo segmento e, inclusive, entre unidades da mesma empresa, também dificulta a consolidação dos dados (Silva & Simões, 2002). Entretanto, o consumo de água pode ser estimado tendo como referência, p.ex., o volume de água necessário a uma determinada cadeia de produção, ou o número de funcionários da unidade produtiva, ou o tipo de indústria.

Caso semelhante ocorre com as atividades agropecuárias: neste caso, pode-se utilizar como parâmetro para estimativa da demanda hídrica a área irrigada ou quantidade do rebanho.

METODOLOGIA

A sustentabilidade hídrica das regiões hidrográficas foi avaliada através do cotejo entre quatro indicadores: quantidade hídrica, qualidade hídrica, demanda hídrica e capacidade de uso das áreas urbanizáveis. Com eles foi possível avaliar: 1) o

grau de utilização dos recursos hídricos superficiais, através da relação entre demanda e quantidade hídrica; 2) a capacidade de diluição de esgoto doméstico dos corpos d'água, a serem enquadrados em uma das classes definidas pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA; e 3) a capacidade de ocupação de áreas urbanizáveis, segundo critérios do Plano Diretor municipal. A análise conjugada dos diversos cenários resultantes permitiu inferir relações entre disponibilidade e demandas hídricas futuras. 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", aqui definida, representa um número hipotético de habitantes, equivalente ao resultado da adoção de determinados critérios, para cada um dos indicadores, interpretando uma situação limite. A criação desta unidade para expressar a sustentabilidade hídrica facilita: (1) o entendimento dos resultados pelo público, seja técnico ou leigo; (2) a comparação entre fatores dimensionalmente diferentes; e (3) a comparação entre diferentes regiões e períodos.

Os resultados estão grupados por regiões hidrográficas, compostas por uma ou mais bacias hidrográficas. Estas foram unidas quando, sendo bacias vizinhas, tinham área inferior a 10km² ou quando suas planícies costeiras também eram contíguas.

Estimativa da quantidade hídrica

Nos locais em que a rede de monitoramento fluviométrico é insuficiente, principalmente nas bacias hidrográficas menores do que 300km², utilizam-se métodos indiretos para fazer a estimativa da vazão, entre eles a regionalização hidrológica (Tucci, 2000; Cruz, 2001; Silveira & Silveira, 2001; Tucci, 2002). Assim, a quantidade hídrica, avaliada com base na (Q_{mit}), a $Q_{7,10}$ e a Q_{95} , foi estimada pela regionalização hidrológica de dados hidrológicos, coletados no Sistema de Informações Hidrológicas (ANA, 2002).

Usaram-se dados das seis estações fluviométricas localizadas na região hidrográfica da baía da Ilha Grande, e os indicadores fisiográficos e pluviométrico das bacias hidrográficas a montante das estações fluviométricas. Os indicadores fisiográficos foram calculados com base em um Modelo Digital de Elevação, a partir de curvas de nível equidistantes

⁴ RIOS, J.L.P. O Plano Diretor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. 21 Congresso da AIDIS. ABES, 1988.

100m, digitalizadas de cartas topográficas 1:50.000. A cobertura vegetal foi classificada da imagem *Land-sat 7* de 2000, no 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 de dados de 24 estações pluviométricas (ANA, 2002; DAEE, 2000), localizadas na região hidrográfica da baía da Ilha Grande, coletados no 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 dos dados físicos e hidrometeorológicos, de análise de sua consistência, e avaliação da homogeneidade hidrológica das bacias, foi executada a regionalização de vazões para as bacias hidrográficas, cujas áreas estivessem entre 10 e 200km². Para a bacia do Mambucaba, com 740km², fez-se interpolação de áreas, utilizando dados da estação fluviométrica Fazenda Fortaleza, localizada nesta bacia. Para as bacias com área inferior a 10km², a estimativa foi feita pela interpolação de áreas de bacias vizinhas cuja vazão tivesse sido regionalizada.

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

Estimativa da demanda hídrica atual

Para contornar a falta de informação básica sobre demanda da população residente, da população flutuante (turística) e das principais atividades econômicas, usaram-se métodos indiretos de avaliação, apoiados por dados obtidos em levantamentos de campo, ou fornecidos pelas empresas consumidoras e fornecedoras de água. Na estimativa da população residente e flutuante, foram utilizados dados demográficos de setores censitários, agregados em regiões hidrográficas.

Considerando que a renda é um dos principais fatores que influenciam no consumo de água residencial, a demanda hídrica residencial foi pesquisada pela relação entre o PIB *per capita* (IBGE, 2000) e o volume de água distribuído *per capita* (IBGE, 2002) nos estados brasileiros. Os resultados, obtidos através de regressão linear e análise de agrupamentos, foram validados com os dados de hidrografia domiciliar, fornecidos pelo SAAE local.

A demanda da população flutuante considerou a capacidade de hospedagem na área de estudo, avaliada pelo número de leitos em hotéis, pousadas

e similares, informados pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Indústria, Comércio e Turismo de Angra dos Reis (SDEICT), e pelo total de casas de veraneio. Como casas de veraneio foram considerados os domicílios ocasionais, identificados na Sínopse do Censo Demográfico (IBGE, 2001). A capacidade de hospedagem total foi validada durante o feriado da Semana Santa de 2002 através de contagem de veículos, realizada pelo Departamento Estadual de Rodagem (DER-RJ), em dois dos três acessos ao município. Concomitante a esta medição, fez-se amostragem de número de passageiros e tipos de veículos que passam pela estrada. Considerando o maior nível de renda do turista, em comparação com a população angrense, e o elevado consumo de água de atividades turísticas em locais litorâneos, a demanda *per capita* da população flutuante foi calculada por acréscimo de 50% à demanda *per capita* da população residente.

A demanda hídrica das atividades industriais e de serviços 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 em entrevistas nestas empresas.

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 – nº357/2005 estipula como critério para enquadramento de uso 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. Portanto, ela é função da DBO do efluente ($DBO_{efluente}$) e da eficiência, (K), do tratamento, na eliminação da DBO do efluente:

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

onde:

$DBO_{receptor}$ (mg/L) assume os valores 3, 5 ou 10, conforme o enquadramento do corpo receptor na classe 1, 2 ou 3 do CONAMA, respectivamente;

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

$$\left(\frac{Q_{\text{receptor}}}{Q_{\text{efluente}}}\right) \leq \left(\frac{DBO_{\text{receptor}}}{DBO_{\text{efluente}} * (1-K)}\right) \quad (2)$$

$$\left(\frac{Q_{\text{receptor}}}{Q_{\text{efluente}}}\right) \geq \left(\frac{DBO_{\text{efluente}} * (1-K)}{DBO_{\text{receptor}}}\right) \quad (3)$$

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

Para expressar a capacidade de depuração do corpo receptor em termos de população equivalente (Pop_{qualidade}), segundo a equação 3, utilizou-se 50% da Q_{7,10} vazão máxima outorgável no estado do Rio de Janeiro (portaria n.º 567/2007 da SERLA). Como demanda hídrica *per capita* utilizou-se o valor obtido para a área de estudo neste trabalho, considerando o conjunto de consumos setoriais, doméstico, público e produtivo. A população equivalente corresponde, assim, a:

$$Pop_{\text{qualidade}} = (0,5 * Q_{7,10} / Demanda_{\text{percapita}}) * (Q_{\text{efluente}} / Q_{\text{receptor}}) \quad (4)$$

Avaliação da capacidade de urbanização

A identificação das áreas disponíveis para ocupação urbana, expressa como população equivalente, foi feita pela interpretação espacializada do arcabouço legal pertinente, e da densidade demográfica atual. Como áreas urbanizáveis, foram consideradas as zonas residenciais e turísticas discriminadas na proposta de reforma do Plano Diretor do município. A densidade demográfica atual foi calculada pela delimitação das manchas urbanas, atribuindo-se, a cada uma destas, a população residente nos setores censitários.

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Foram delimitadas onze regiões hidrográficas, 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 60km² e rios principais de domínio federal, correspondendo a 48% da área de estudo; (B) bacias hidrográficas entre 60 e 10km² e rios de domínio estadual, com 38% da área total; e (C) bacias hidrográficas com área menor do que 10km².

Quantidade hídrica de Angra dos Reis

Entre as características fisiográficas das bacias hidrográficas a montante das estações fluviométricas (Tabela 1), a área é a variável com maior coeficiente de variação, enquanto o relevo e a cobertura vegetal são as mais homogêneas. A diferença entre a área projetada no plano e a área da superfície está diretamente relacionada à declividade da bacia.

A importância da área de drenagem e da precipitação como variáveis explicativas da vazão tem sido verificada também por outros autores (Riggs,1973; Tucci, 2002). O primeiro autor, em dez exercícios de regionalização de vazão, relata que entre quinze variáveis candidatas, área de drenagem, e precipitação mostraram independência e significância mais evidentes, sendo classificadas em primeiro e terceiro lugar, respectivamente.

Neste trabalho, foram testadas regressões lineares e potenciais entre a vazão e a área de superfície e projetada da bacia, e o total pluviométrico anual, em m³/s. Dentre as variáveis independentes, a que melhor explicou a vazão foi a precipitação, expressa em m³/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_{mit}, a disponibilidade hídrica da área, sob o ponto de vista de quantidade, corresponde a 53m³/s. Adotando o indicador da vazão mínima Q₉₅, critério utilizado no Plano Nacional de Recursos Hídricos (MMA, 2006) para a avaliação das regiões hidrográficas brasileiras, a disponibilidade cai para 19m³/s. Adotando-se 50% da Q_{7,10}, a disponibilidade hídrica passa para 8m³/s, o que equivale a 15% da vazão média. A variabilidade de resultados de disponibilidade em função do critério de vazão adotado mostra a importância da escolha para a tomada de decisão, na gestão do recurso hídrico, principalmente em PBHs, onde regimes torrenciais aumentam a sensibilidade do modelo.

Este estudo permitiu avaliar que cerca de 60% do total da vazão das bacias hidrográficas com área superior a 10km² corresponde aos rios sob domínio federal (Mambucaba, Bracuí e Ariró). Entretanto, as bacias com área superior a 10km² e com

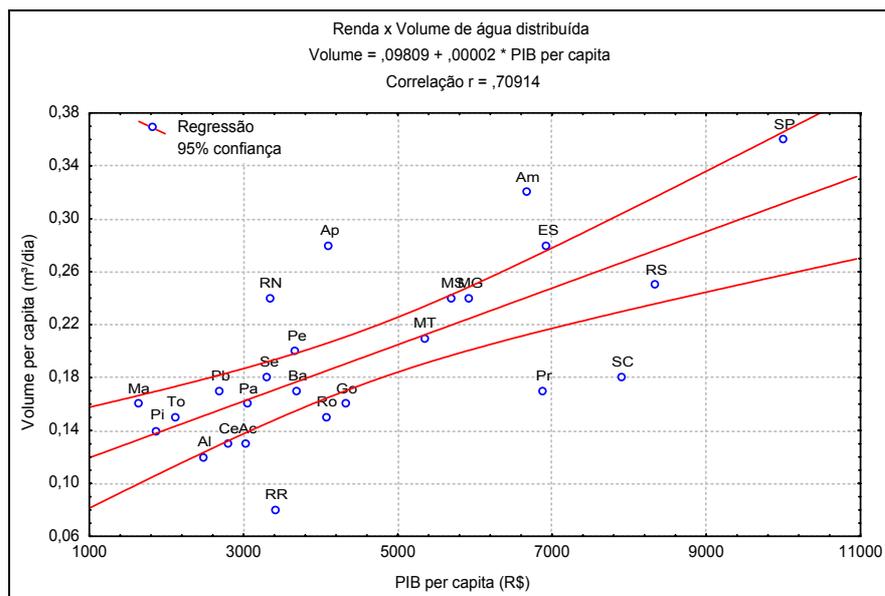


Figura 1 - Regressão entre a renda e volume de água distribuída dos estados brasileiros (excluídos o Estado do Rio de Janeiro e o Distrito Federal).

ao consumo de água, no mês de agosto de 2003, de 22mil economias cadastradas, nas regiões de Japuíba e Perequê. Destas, apenas 3,2mil eram hidrometradas, com índice de inadimplência de 85%. Assim, do total de 22mil registros, foram aproveitados apenas 8%. A análise dos dados consistidos resultou em consumo *per capita* de 220L/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 deste segmento foi calculada em 28,5mil m³/dia, correspondendo a uma vazão de 330L/s.

Consumo turístico

A população de turistas, somando todos os tipos de hospedagem e as casas de veraneio, é de cerca de 46mil, ou seja, 40% da população residente. Este número corresponde a 10mil domicílios ocasionais com hospedagem de quatro pessoas por residência, que é o número médio de ocupantes por domicílio em Angra dos Reis, e a 5,8mil de leitos em hotéis e similares, distribuídos por 83 unidades ao longo da faixa continental.

O fluxo de turistas, avaliado através da contagem de veículos pelo DER-RJ durante a Semana

Santa de 2002, forneceu valor semelhante à capacidade de hospedagem. Deduzindo-se do total de veículos, a média dos veículos dos dias considerados de fluxo normal, cerca de 12mil veículos entraram e saíram por estas estradas. A amostragem com 2mil veículos mostrou que 90% deles eram de passeio, com quatro passageiros em média. Estes valores permitem avaliar em 48 mil o número de turistas que passou, na ocasião, nas duas rodovias, um valor aproximado, pois aí estão incluídos os turistas que se destinam às ilhas, mas não estão os turistas oriundos do estado de São Paulo. No entanto, considerando que a Semana Santa é uma ocasião em que há grande êxodo das metrópoles e, que, no período monitorado, os dias estavam ensolarados, este valor deve representar um dos picos de estadia de turistas em Angra dos Reis. Como demanda *per capita* de turistas, arbitrou-se um consumo 50% maior do que o da demanda *per capita* da população residente, considerando que (1) a população turística tem renda mais elevada do que a média do morador do município, (2) o turismo regional é do tipo *waterfront* com esportes náuticos, banhos de mar e piscina e, por fim, (3) os hotéis e similares aumentam o consumo hídrico para manutenção de suas atividades diárias. Com base na capacidade de hospedagem e a demanda *per capita*, o total da demanda hídrica do turismo está em torno de 16m³/dia.

Consumo industrial

Segundo informações obtidas da ELETRO-NUCLEAR⁵ em 2003, o consumo de água para atendimento às unidades Angra I e Angra II, com total de 1,8mil funcionários, corresponde a 5,5mil m³/dia. Quando do início da implantação da unidade III, será necessário um reforço de adução para atender a um consumo total previsto de 100L/s.

No estaleiro BRASFELS, a água é utilizada no atendimento do consumo dos seis mil funcionários, 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. 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 200L/dia *per capita*, totalizando 1,3mil m³/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 640m³/dia com coeficiente de variação de 23%. Ao estimar o consumo de água baseado no número de funcionários, 200L/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. A água destina-se ao abastecimento dos navios e ao consumo dos funcionários. Existem 400 trabalhadores fixos, número que, durante a movimentação de cargas, pode chegar a mil. Segundo informações coletadas em campo, em 2003, o volume de água consumido quando o porto encontra-se em plena atividade é de 300m³/dia. Considerando o número máximo de trabalhadores e um consumo de 200L/dia por funcionário, obtém-se 200m³/dia.

Síntese sobre demanda hídrica

Com base nos dados levantados e nas análises realizadas, o total da demanda hídrica na faixa

continental de Angra dos Reis é de 54mil m³/dia, ou seja, 625L/s, considerando a capacidade total de hospedagem ocupada. Dividindo-se este valor pela população residente, obtém-se demanda *per capita* de 470L/hab.dia, incluído aí o consumo das principais atividades econômicas. O maior consumo corresponde à população residente, com 28,5mil 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 industriais consomem 7,6 mil m³/dia, representando 14% do total.

Adotando como quantidade hídrica disponível 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.

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. Considerando tratamento convencional, com eliminação de 85% da DBO_{efluente}, e o enquadramento do corpo receptor na classe 2, que permite lançamento de no máximo 5 mg/L de DBO, a vazão de diluição deve ser cerca de oito vezes superior ao volume de efluente lançado:

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

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

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 2) que varia entre 16 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, triplica estes valores, e na classe 3, altera a ordem de grandeza da população admissível.

⁵ Informação fornecida pela Coordenação de Comunicação e Segurança - CSP, ELETRO-NUCLEAR, em agosto de 2003.

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 45mil a 150mil 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 26mil a 520mil habitantes, dependendo da eficiência do tratamento. Um tratamento convencional, com 85% de eficiência na eliminação da DBO, poderia suportar uma população de 173mil 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, e também a aquicultura, outra atividade que depende da qualidade da água.

Tabela 2 - População equivalente à capacidade de depuração dos corpos d'água (mil hab.), Angra dos Reis, RJ.

Eficiência do tratamento	DBO máxima do corpo receptor segundo resolução CONAMA 357/2005		
	Classe 1 ¹ 3 mg/L	Classe 2 5 mg/L	Classe 3 10 mg/L
0%	16	26	52
65%	45	74	148
75%	62	104	208
85%	104	173	346
95%	312	520	1.039

1- Classe de enquadramento do corpo receptor

Capacidade de urbanização

As zonas residenciais e turísticas do Plano Diretor municipal, consideradas como urbanizáveis, totalizam 12,3mil 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 a área urbanizável fosse ocupada, a população equivaleria, respectivamente,

a 300mil e 530mil 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 à área de estudo.

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 indica se existe muita (ou pouca) água, para abastecer uma população legalmente permitida naquele espaço, mantendo simultaneamente, a qualidade da água como planejado (Tabela 3 e Figura 2).

Considerando toda a faixa continental, a tabela 3 mostra que o critério de disponibilidade hídrica permite admitir um total de 1,3milhão de habitantes, sendo, portanto, o menos restritivo à sustentabilidade das regiões hidrográficas. Considerando a população admissível das áreas urbanizáveis, existiria um *superávit* de 1 milhão de habitantes, todo ele justificado somente pelos rios de domínio federal. A menor população é a admitida pelo critério da qualidade hídrica, 177 mil habitantes, próxima ao total da população atual, demonstrando que este é o parâmetro mais restritivo da sustentabilidade das regiões hidrográficas. Embora havendo água em quantidade suficiente e espaço urbanizável, faltaria qualidade de água para uma população equivalente a 120mil habitantes. Para abrigar a Pop.^{urbana} de 300 mil habitantes, o tratamento de efluentes deveria apresentar nível de eficiência de 95% na eliminação de DBO e enquadramento de uso dos corpos d'água na classe 1, como especificado na Tabela 2, ou a eficiência poderia ser de 85%, com enquadramento na classe 3. Além disso, da tabela 2 também se conclui que, para atingir a equivalência próxima à Pop.^{quantidade}, 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 (Figura 2).

Tabela 1 - Características fisiográficas das bacias hidrográficas a montante das estações fluviométricas usadas na regionalização de vazão.

Estação	Área projetada (km ²)	Área superfície (km ²)	Coef. Compacidade	Floresta (%)	Campo altitude (%)	Densidade drenagem	Declividade Média (%)	Altitude Média (m)	ppt (mm)	ppt (m ² /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
Coeficiente 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										

rios de domínio estadual, possuem 33% da área continental e 40% da vazão. As regiões com bacias inferiores a 10km² representam 2% da disponibilidade hídrica.

Esses valores resultam em uma disponibilidade hídrica *per capita* variando entre 15mil e 2,1mil m³/hab.ano, considerando, respectivamente, a Q_{mit} e 50% da $Q_{7,10}$. Este último valor, vazão máxima outorgável no estado fluminense (portaria n.º 567/2007 da SERLA), é próximo ao do estado do Rio de Janeiro e ao do litoral norte do estado de São Paulo. Já o valor da vazão média *per capita* corresponde à metade da disponibilidade *per capita* avaliada para o Brasil.

Os rios com área acima de 200km² podem ser considerados atípicos na região, que, em geral, tem rios com 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. Parati e Mangaratiba, situados, respectivamente, a oeste e a leste de Angra dos Reis, não têm bacias maiores que 120km², e tendem, portanto, a uma disponibilidade hídrica menor.

Devido a suas características fisiográficas e aos índices pluviométricos, a produtividade hídrica é elevada na área de estudo. A vazão específica varia entre 46L/s.km² (Q_{mit}) e 14L/s.km² ($Q_{7,10}$). Estes são valores próximos aos das bacias do litoral norte de São Paulo, 55L/s.km² (Q_{mit}) e 14L/s.km² ($Q_{7,10}$), com fisiografia semelhante à da área de estudo. (CERH, 1999).

Demanda hídrica de Angra dos Reis

A estimativa da demanda hídrica total (abastecimento doméstico, público e do setor produtivo)

refere-se aos períodos de pico de consumo, a fim de contemplar situações de potenciais conflitos pelo uso da água. Comumente, a demanda maior ocorre durante o fluxo turístico do verão, 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 o fluxo de turistas coincide com período de estiagem.

Consumo doméstico

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, ambos os dados para o ano 2000. Segundo a PNSB (IBGE, 2002), o volume de água distribuído *per capita* nos estados brasileiros varia entre 80 e 550L/hab.dia. O valor superior, atípico, é do estado do Rio de Janeiro, sem o qual a média dos estados baixa para 196L/hab.dia, com CV de 34%. O PIB anual *per capita* dos estados brasileiros varia entre 1,6 e 14mil reais (IBGE, 2000). O Distrito Federal também é um *valor atípico*, sem o qual a média de renda dos estados brasileiros baixa para 4,7mil reais, com CV de 51%. A regressão linear entre volume de água distribuída e PIB *per capita*, sem aqueles valores extremos, tem $r_{Pearson}$ de 0,71 ($p < 0,0001$) (Figura 1). A renda *per capita* de Angra dos Reis, 7,6mil reais (IBGE, 2003), alocada nesta equação, permite estimar o consumo *per capita* em 259L/hab.dia, variando entre 225 e 293L/hab.dia, com 95% de confiança..

Resultado semelhante foi obtido ao analisar os dados fornecidos pelo Serviço Autônomo de Águas e Esgotos (SAAE) de Angra dos Reis, referentes

Tabela 3 - Sustentabilidade hídrica das regiões hidrográficas da faixa continental de Angra dos Reis, RJ, expressa como população equivalente. (Vide Figura 2)

Região Hidrográfica	População equivalente (mil hab.)				(2)-(4)	(3)-(4)	
	Pop. demanda (1)	Pop. quantidade (2)	Pop. qualidade (3)	Pop. urbana (4)			
A	Mambucaba	12	832	111	69	763	42
B	Bracuí	5	242	32	32	209	0
C	Ariró	1	78	10	9	69	2
Sub-total (%)		16%	87%	87%	27%	102%	-35%
D	Jurumirim	2	56	7	40	16	-32
G	Jacucanga	11	31	4	30	1	-26
H	Frade	20	36	5	24	13	-19
Sub-total (%)		29%	9%	9%	31%	3%	61%
E	Pontal	1	2	0	5	-3	-4
I	Usina	3	7	1	9	-2	-8
L	Leste	10	15	2	28	-13	-26
Sub-total (%)		13%	2%	2%	14%	-2%	30%
F	Japuiba	29	21	3	54	-33	-51
J	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.

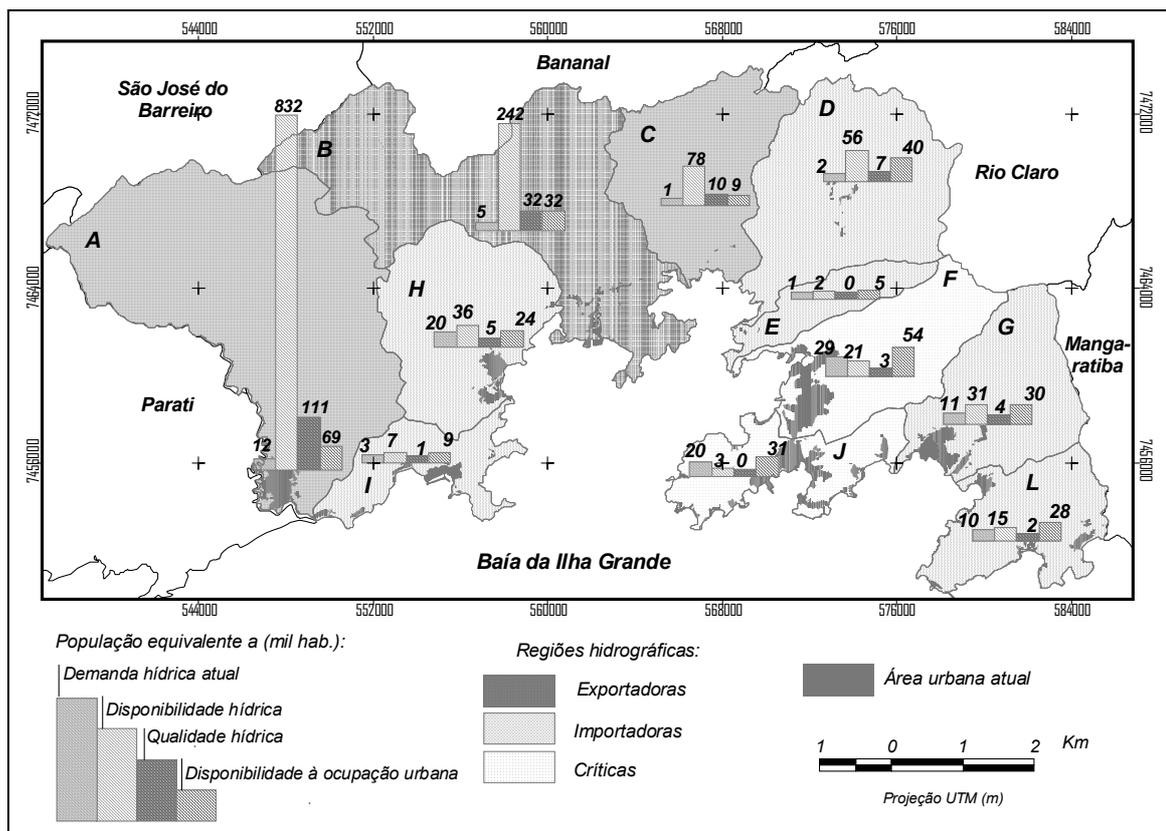


Figura 2 - Sustentabilidade das regiões hidrográficas da faixa continental do município de Angra dos Reis, RJ (Vide Tabela 1).

Regiões Hidrográficas Exportadoras – a população admitida pela quantidade de água ($Pop_{\text{quantidade}}$) é quatro vezes maior que a Pop_{urbana} , podendo, assim, abastecer a população futura residente nestas regiões, bem como a das regiões vizinhas. Estas regiões, Mambucaba, Bracuí e Ariró, concentram 87% da $Pop_{\text{quantidade}}$ e 27% Pop_{urbana} . Deve-se ressaltar, no entanto, que 62% da disponibilidade hídrica desta região concentram-se em Mambucaba, e que todas estas bacias são de domínio federal, como exposto anteriormente.

Regiões Hidrográficas Importadoras – a $Pop_{\text{quantidade}}$ é menor ou próxima ao valor da Pop_{urbana} , 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 quantidade de água para abastecimento, mas não para diluição dos efluentes. Desta região devem ser destacados os seguintes pontos: (1) Jurumirim apresenta uma das maiores Pop_{urbana} , em uma grande planície ainda não urbanizada. O *superávit* entre a população hídrica e das zonas urbanizáveis é da ordem de 16 mil habitantes. Entretanto, 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_{urbana} e a $Pop_{\text{quantidade}}$. A retomada da indústria naval, o crescimento do setor petrolífero e a extensa área destinada à atividade turística no Plano Diretor podem estimular o crescimento demográfico e o 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_{urbana} e a $Pop_{\text{quantidade}}$ é de 13mil habitantes, que corresponde a 65% da população atual. No entanto, sob o critério qualidade, faltaria água para diluição de efluentes de 19mil habitantes. (4) As regiões Leste, Usina e Pontal apresentam um *déficit* hídrico de 2%. Estas regiões apresentam bacias hidrográficas inferiores a 16km², com poucas planícies, correspondendo a 14% da População $_{\text{urbana}}$ 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.

Regiões Hidrográficas Críticas – nelas Pop_{demanda} já ultrapassa $Pop_{\text{quantidade}}$, indicando um *déficit* hídrico atual. A região Centro, incluída nesta classe, já é abastecida pela Japuiba, e atravessa racionamento de água durante períodos mais críticos. Para o abastecimento eficiente destas regiões, há necessidade de captação de outras bacias, possivelmente, 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 $Pop_{\text{qualidade}}$. Em outras palavras, o rio Mambucaba tem, hoje, disponibilidade que supera a vazão necessária ao abastecimento da população futura, e para diluir a DBO do esgoto desta população, estando o rio principal enquadrado na classe 2; ainda assim, pode atender cerca de 40 mil habitantes residentes fora da bacia. Já nas outras regiões, Pop_{urbana} é superior ou muito próxima à $Pop_{\text{qualidade}}$, significando que cuidados especiais no tratamento devem ser dispensadas a estas regiões.

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 hídricas, demanda atual e disponibilidade de áreas urbanizáveis.

Os indicadores resultantes mostram que, considerando apenas as bacias confinadas ao território municipal, 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. Portanto, ao replicar a metodologia para outros biomas ou municípios, é preciso considerar peculiaridade fisiográficas, e as possíveis vantagens comparativas de municípios típicos do Domínio Tropical Atlântico.

A quantidade hídrica é o critério que suportaria a maior população equivalente, sendo, portanto, o fator menos limitante na sustentabilidade das regiões hidrográficas. O fator mais limitante é a qualidade hídrica, que suportaria somente 180mil habitantes, população próxima ao total da residente e flutuante atual. Seria possível suportar uma população de 300 mil habitantes, segundo o critério de disponibilidade de espaço urbanizável, sob duas

condições 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.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A.N. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo. Ateliê. 2003.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 2002.
- 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. *Poluição: a morte de nossos rios*. São Paulo: ASCETESB. 1983.166p.
- 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
- 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: www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/consulta/perh2000id_x.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.
- 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.
- 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.
- GOMES, H. P. *Sistemas de abastecimento de água: dimensionamento econômico*. João Pessoa: Ed.Universitária/UFPB, 2002.
- GOLDENFUM, J.A. Pequenas Bacias Hidrológicas: Conceitos Básicos 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.3-13.
- 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: <http://www.fcca.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 apontam 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.
- LANNA, A.E; PEREIRA, J.S.; Silva, L.M. Análise de critérios de outorga de direitos de uso da água. . In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, Vitória. Anais...Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997.
- 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.
- 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.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. *Plano Nacional de Recursos Hídricos. Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil*. Volume 1. Brasília, 2006. Disponível em: <http://pnrh.cnrh-srh.gov.br>. Acesso em: 08 de agosto 2007.
- 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.
- 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
- 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.
- 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.
- SETTI, Arnaldo Augusto et al. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional de Águas, 2001. 326p.
- 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.
- 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.
- TCHOBANOGLOUS, G.; SCHROEDER, E. D. *Water quality: characteristics, modeling, modification*. Reading Mass. 1985.
- 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.
- 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. 1991.

Evaluation of Water Sustainability in Municipalities Supplied by Small Watersheds: The Case of Angra dos Reis, RJ

ABSTRACT

The objective of this paper is to present a methodology made to evaluate water sustainability in municipalities supplied by small watersheds. The study area is Angra dos Reis, with 120 thousand inhabitants increasing by 40% during tourist season. It has an annual demographic growth rate of 3% and 80% of the territory is covered by the Atlantic Rain Forest. The main use of the watershed waters is for urban supply. The town of Angra dos Reis was chosen for its physiographic characteristics, that make it representative of small and medium-sized towns located in the Atlantic Tropical Domain, which have their own water supply independent of the great hydro supply systems of Rio de Janeiro, São Paulo and Curitiba.

Water sustainability was evaluated comparing four indicators: (1) water availability, calculated by hydrologic regionalization; (2) water demand, estimated by demographic and social-economic data; (3) water quality, defined by association between efficient levels of sewage treatment to eliminate BOD, and limits of classes of water bodies concerning their uses, according to Brazilian law; and (4) the limits of urban area expansion, evaluated by demographic density and the interpretation of pertinent laws. Applying Geographical Information System, these indicators, expressed as number of inhabitants, were spatially represented and used to classify the hydrographic regions. The result can be applied to model water and land use scenarios, helping decision making in process such as water use grants and water resources management.

Key-words: *water sustainability; watersheds.*