

Diagnóstico da Vida Útil e do Balanço Hídrico para o Lago de Juturnaíba, Bacia do Rio São João, Estado do Rio de Janeiro

*Gustavo Carneiro de Noronha¹
Luciane Pimentel Costa Monteiro²*

Resumo: O presente trabalho apresenta uma estimativa da disponibilidade hídrica no Lago de Juturnaíba, localizado na bacia hidrográfica do rio São João, Estado do Rio de Janeiro. Além do atendimento da demanda local, existe a possibilidade de captação de água no lago para abastecimento do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ) localizado no município de Itaboraí, através de transposição de bacias. A partir de dados atualizados em 2008, foram calculadas as novas curvas cota x área x volume do reservatório e para a estimativa da sua vida útil foi considerada a deposição laminar dos sedimentos afluentes. A vazão regularizada permitiu determinar o balanço hídrico para o cenário atual e, desta maneira, subsidiar as decisões de repartição do uso da água no Lago de Juturnaíba.

Palavras-chave: Vida Útil, Regularização, Disponibilidade Hídrica.

Abstract: The main purpose of this study is to assess the water availability of Juturnaíba Lake located in São João river basin, Rio de Janeiro State. In addition to local demand, there is the possibility of using the water to supply the Petrochemical Complex of Rio de Janeiro (COMPERJ), located in the municipality of Itaboraí, by watershed transposition. From the data updated in 2008, the new pool level x reservoir surface x capacity curves were calculated in order to estimate the useful life of the reservoir, considering the laminar deposition of sediments in the lake. The regulated discharge allowed determining the water balance for the actual scenario to subsidize the allocation decisions of water use in the Juturnaíba Lake.

Key-words: life expectancy, regularity, water resource

¹ Professor Departamento Engenharia Agrícola – Universidade Federal Fluminense – E-mail: gcnoronha@terra.com.br

² Coordenadora do Mestrado Acadêmico em Engenharia Química – Universidade Federal Fluminense – E-mail: lucianemonteiro@predialnet.com.br

1 – INTRODUÇÃO

O rio São João é o principal curso d'água da bacia a qual pertence o Lago de Juturnaíba e tem suas nascentes na serra do Sambê, no município de Cachoeiras de Macacu. Ele ainda percorre cer-

ca de 150 km, entre os municípios de Rio Bonito, Araruama, Cabo Frio, Silva Jardim e Casimiro de Abreu, desaguando no oceano, entre os distritos de Barra de São João (Casimiro de Abreu) e de Tamoios (Cabo Frio), Figura 1.



Figura 1 – Municípios envoltórios ao Lago de Juturnaíba
Fonte: Adaptado de SEMADS/PLANÁGUA/GTZ, 1999.

O extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento - DNOS, através de programa coordenado pelo Ministério do Interior, realizou obras de retificação no leito do rio São João e de construções de canais e valas de drenagem, a partir de 1974. O Lago de Juturnaíba, que era alimentado apenas pelas águas dos rios Capivari e Bacaxá, passou a represar também as águas do rio São João, com a construção da barragem em 1980/84. A área do lago, que era de 8 km², passou a ter cerca de 43 km². A partir da construção da represa, as águas do rio São João passaram a abastecer as cidades de Armação dos Búzios, Araruama, Arraial do Cabo, Cabo Frio, Iguaba Grande, Saquarema, São Pedro da Aldeia, além de Casimiro de Abreu, Silva Jardim e parte de Rio Bonito (NORONHA, 2009).

O leito natural do rio São João, entre a foz do rio Aldeia Velha e o morro de São João, tem solo arenoso e águas límpidas, margens pla-

nas com remanescentes de brejos e matas ciliares, correndo em baixa velocidade e com largura de 3 metros, em média. Depois do morro de São João, o rio São João recebe o deságüe do canal do rio Novo pela margem direita, seguindo até a foz, por 13,5 km, em zigue-zague, sob influência das marés e com vegetação típica de manguezais em trechos das margens (NORONHA, 2009).

Além de garantir o uso da água para consumo humano da população dessa região, o rio São João e seus afluentes são de vital importância para atividades agropecuárias da área, como irrigação de lavouras, dessedentação de animais, pesca, e especialmente para a manutenção da biodiversidade dos ecossistemas a ele associados. Foi também prevista uma possível retirada de água para o abastecimento industrial do Complexo Petroquímico do Estado do Rio de Janeiro (COMPERJ) localizado no município de Itaboraí. O COMPERJ é o maior investimento em andamento no país e será

instalado em uma área de 45 milhões de metros quadrados, entre as margens dos rios Macacu e Caceribu. Durante a sua fase de operação serão gerados mais de 200 mil empregos diretos e indiretos, aumentando o processamento de petróleo do país em 150 mil barris diários, (PETROBRAS, 2010).

Como a disponibilidade atual de água na região do COMPERJ é baixa (UFF/FEC, 2010), alternativas para o seu incremento foram estudadas, dentre as quais se destacam a dessalinização da água do mar, exploração de águas subterrâneas, a construção de barragens na bacia rios Macacu e Caceribu, o reuso da água de lavagem dos filtros da ETA do Guandu e a transposição de águas da represa de Juturnaíba, localizada na bacia do rio São João (CONCREMAT, 2007).

O estudo realizado buscou tratar especificamente da última alternativa, tendo em vista que a transposição de águas entre bacias hidrográficas é uma questão de suma importância na gestão de recursos hídricos, uma vez que a retirada de água de uma bacia implica diretamente na restrição de um possível desenvolvimento social e econômico, além das questões ambientais associadas, nos demais usuários localizados a jusante da transposição.

2. OBJETIVO

O presente trabalho apresenta um diagnóstico das condições hidráulico-sedimentológicas do reservatório de Juturnaíba, a partir de dados de medições de descarga sólida e da determinação da vida útil do reservatório. Com base nesta informação e da estimativa da vazão regularizada pelo reservatório, foi calculada a disponibilidade hídrica para o cenário atual.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. DISPONIBILIDADE HÍDRICA

A disponibilidade hídrica se refere à vazão ainda disponível para outorga em um curso d'água, descontadas, da vazão máxima outorgável, as parcelas de vazões retiradas ou outorgadas e de vazões ecológicas neste mesmo rio. Para a sua avaliação, foram definidas as seguintes variáveis:

Vazão de referência: é aquela disponível para o uso em um curso d'água. No âmbito do estudo,

adotou-se a vazão $Q_{95\%}$ como sendo de referência e, segundo Noronha (2009), no Lago de Juturnaíba é igual a 13,1 m³/s.

Vazão máxima outorgável (VMO): adotou-se que esta vazão corresponde a 50% de $Q_{95\%}$.

Vazão ecológica: adotou-se que esta vazão corresponde a 50% de $Q_{95\%}$.

Vazão média de longo termo (Q_{MLT}): média das vazões do período histórico de 1974 a 1980, e, de acordo com Noronha (2009), é igual a 28,99 m³/s.

Vazão de retirada: é aquela captada o uso consuntivo da água, ou seja, limitada a 50% de $Q_{95\%}$. Segundo Noronha (2009), a vazão de retirada projetada para as atividades agropecuárias é de 2,12 m³/s a montante ao lago. De acordo com o Departamento de Hidrologias Interiores DHI (2008), a vazão de retirada prevista para o lago em função do pedido de outorgas para captação para abastecimento humano é de 7,0 m³/s.

Uso consuntivo:

- Irrigação;
- Abastecimento urbano;
- Abastecimento rural;
- Criação animal; e,
- Abastecimento industrial.

Volume morto: corresponde à parcela do volume total indisponível para fins de adução de água, ou seja, é o volume do reservatório abaixo do nível d'água mínimo normal;

Nível d'água máximo normal: cota máxima de operação do reservatório, correspondente ao volume útil, em m;

Nível d'água mínimo normal: corresponde a cota mínima de operação do reservatório, e define o limite superior do volume morto e o limite inferior do volume útil do reservatório, em m;

Vazão regularizada (Q_{reg}): vazão que pode ser retirada de forma constante do reservatório, em m³/s. É calculada a partir das curvas cota x área x volume, contabilizando nas vazões mensais afluentes, o saldo relativo da diferença entre a evaporação de lago e a precipitação;

Área do espelho d'água: área do reservatório no intervalo de tempo (t), em km²;

Para o cálculo da evaporação de lago (ELa) foi utilizado o modelo CRLE - *Complementary Relationship Lake* desenvolvido por Morton, (MORTON, 1983). Vale destacar que este modelo é o mesmo adotado pelo Operador Nacional do

Sistema Elétrico – ONS para a geração de vazões naturais nos reservatórios dos aproveitamentos hidrelétricos. Os dados de entrada foram as normais climatológicas da estação Niterói, código 83803, sob responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Além disso, foi estimado o saldo relativo da diferença entre a evaporação de

lago (ELA) e a precipitação (P) oriunda da normal climatológica da estação. O produto deste saldo pela área do espelho d'água do lago dividido pelo número de segundos do mês em questão representou a vazão somada ou retirada das vazões afluentes à represa. A Tabela 1 relaciona os resultados encontrados.

Tabela 1 – Vazões Somadas ou Retiradas das Vazões Afluentes à Represa

Dados de Entrada				Resultados		
Posto: Niterói Altitude: 14 m Latitude: -22°54'00"				Lago de Juturnaíba		
Meses	Temperatura (°C)	Insolação (horas)	UR (%)	ELA (mm)	P (mm)	Saldo (mm)
Jan	26,4	196,7	74,8	174,3	147,1	-27,2
Fev	26,5	179,8	76,0	153,3	136,7	-16,6
Mar	25,7	189,3	77,5	146,3	149,4	3,1
Abr	23,6	159,9	79,5	104,4	124,0	19,6
Mai	21,5	144,2	80,8	76,3	89,9	13,6
Jun	20,2	134,7	81,2	60,5	55,9	-4,6
Jul	19,6	156,6	79,4	66,7	52,3	-14,4
Ago	20,5	182,5	75,9	89,1	50,1	-39,0
Set	21,4	139,8	76,3	96,4	59,3	-37,1
Out	22,6	146,0	76,8	120,2	57,9	-62,3
Nov	23,6	157,3	76,7	136,8	115,8	-21,0
Dez	25,0	161,5	76,9	151,9	139,3	-12,6

3.2 – CARACTERÍSTICAS DO RESERVATÓRIO

A partir de dados disponibilizados em DHI (2008), a cota mínima de operação do vertedouro está situada na elevação 8,40 metros, o volume morto do reservatório encontra-se entre as cotas mínima e máxima de 2,92m e 4,92 m, respectivamente, e o comprimento do reservatório é de 4,75 km. Os valores atuais de cota x área x volume do reservatório de Juturnaíba estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de Cota x Área x Volume

Cota do nível d'água (m)	Área (km ²)	Volume (106 m ³)
2,92	0,400	0,000
3,92	0,801	0,802
4,92	4,800	5,585
5,92	11,800	17,430
6,92	15,900	33,290
7,92	19,500	52,840
8,42	22,100	63,910
8,80	23,800	72,940
9,02	25,300	78,510
9,42	28,700	90,000
9,92	42,000	105,000

3.3 – ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DO RESERVATÓRIO

Segundo ELETROBRAS (1999), a construção de um barramento altera o equilíbrio hidráulico-sedimentológico de um curso d'água, devido à desaceleração da corrente líquida ocasionada pela presença do reservatório, dando início a um processo de assoreamento. Desta forma, os aspectos sedimentológicos se revestem de grande importância, uma vez que este processo reduz o volume útil dos reservatórios.

O assoreamento é função do valor médio diário da descarga sólida total afluente ao reservatório (D_{ST}). Este valor é estimado a partir de equações matemáticas que relacionam a vazão com a descarga sólida ou a partir de valores médios de concentração de sedimentos em suspensão. O deflúvio sólido anual (D_{ST}) é obtido multiplicando-se Q_{ST} pelo número de dias do ano, ou seja:

$$D_{ST} = Q_{ST} \cdot 365 \quad (1)$$

O volume de assoreamento em um ano pode ser calculado através da seguinte equação:

$$S = \frac{D_{ST} \cdot E_r}{\gamma_{ap}} \quad (2)$$

onde:

S = volume de sedimentos, em m^3 /ano.
 D_{ST} = deflúvio sólido médio, em t/ano.
 E_r = eficiência de retenção, adimensional.
 γ_{ap} = peso específico aparente, em t/m^3 .

Segundo Carvalho (2008), para sedimentos com maior concentração de argila o γ_{ap} pode ser adotado entre 0,42 e 0,96 t/m^3 , e para maior concentração de silte entre 1,12 e 1,17 t/m^3 . Segundo DHI (2008), as análises dos sedimentos coletados no lago no dia 21/04/2008 resultaram em alta

porcentagem de argila e silte, portanto, adotou-se o valor de γ_{ap} igual a 1,1 t/m^3 .

Para a estimativa da eficiência de retenção é usual a adoção da curva de Churchill (Figura 3) que fornece a porcentagem de sedimentos efluentes para o reservatório em função do índice de sedimentação (IS) definido pela seguinte expressão:

$$IS = \frac{\text{Período de retenção}}{\text{Velocidade média no reservatório}} = \frac{V_T}{Q_{MLT}} \quad (3)$$

onde:

V_T = volume total do reservatório, em m^3 .
 Q_{MLT} = vazão média afluente, em m^3/s .
 L = comprimento do reservatório, em m.

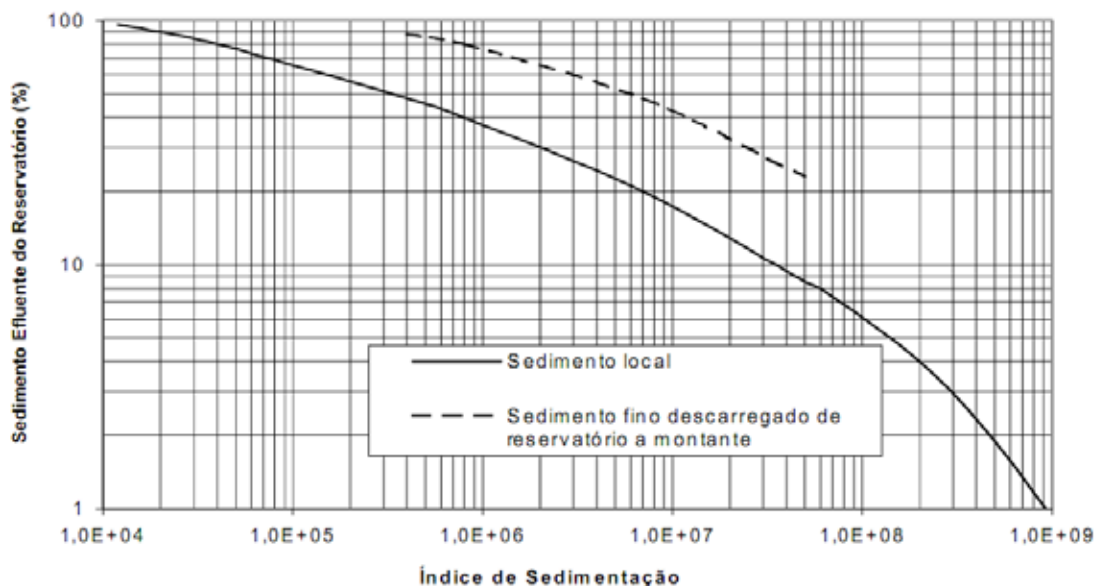


Figura 3 – Curva de eficiência de retenção de sedimentos segundo Churchill.

Fonte: Adaptado de ELETROBRAS, 1999.

O tempo de assoreamento, ou vida útil do reservatório, é expresso por:

$$T = \frac{V_T}{S} \quad (4)$$

onde:

T = tempo de assoreamento, em anos.
 S = volume total de sedimentos, em m^3 /ano.

4. RESULTADO DA PESQUISA

Segundo Noronha (2009), as vazões médias do período histórico (1974 a 1980) para os rios São João, Bacaxá e Capivari são, respectivamente: 18,91; 6,33 e 3,75 m^3/s .

Com base nas medições sedimentométricas realizadas por DNOS (1980) no posto Ponte BR-101, localizado no rio São João, que abrangeu um período de 1976 a 1980, foi definida a equação que relaciona a descarga sólida total com a vazão líquida, expressa por:

$$Q_{ST} = 7,1576 \cdot (Q)^{1,4434} \quad r^2 = 0,641 \quad (5)$$

onde:

Q_{ST} = descarga sólida total média afluente ao reservatório, em t/dia.
 Q = a vazão, em m^3/s .

Substituindo o valor da vazão média do rio São João na equação (5), obtém-se o resultado de 498,4 t/dia de descarga sólida total que corresponde a um deflúvio sólido médio de 182.000 t/ano. Para os rios Bacaxá e Capivari, foram adota-

dos os valores médios de concentração obtidos de COHIDRO (2008), adotando-se que a descarga sólida por arraste representa 20% da descarga sólida em suspensão, (ELETROBRAS, 1999). Os resultados alcançados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Deflúvio Sólido Médio dos Rios Bacaxá e Capivari

Rio	Q_{MLT} (m^3/s)	Concentração (mg/L)	$Q_{SS}^{(1)}$ (t/dia)	$Q_{ST}^{(2)}$ (t/dia)	$D_{ST}^{(3)}$ (t/ano)
Bacaxá	6,33	618,11	337,88	388,56	141.900
Capivari	3,75	321,00	104,06	119,67	43.700

(1) Descarga diária de sólidos em suspensão. (2) Descarga diária de sólidos totais. (3) Descarga anual de sólidos totais.

Efetuada as devidas substituições na equação (3), o índice de sedimentação corresponde ao valor de $1,01 \times 10^9$ o que conduz a uma porcentagem de sedimentos efluentes de 1% e, conseqüentemente, 99% são retidos no reservatório. De posse do valor da eficiência de retenção e, estimando-se o peso específico do sedimento sub-

merso em $1,1 t/m^3$, o volume de assoreamento em um ano (S) corresponderá a um valor de $330.850 m^3/ano$, conduzindo a uma vida útil de 192 anos.

As equações cota x área x volume ajustadas aos valores de DHI (2008) estão mostradas na Tabela 4, bem como os coeficientes de correlação encontrados. .

Tabela 4 – Equações ajustadas às curvas Cota x Área x Volume

Curvas	Equação	r^2
Cota x Área	$A = 0,0288464.C^5 - 0,7898807.C^4 + 8,0657463.C^3 - 37,4552580.C^2 + 80,2037642.C - 63,9846662$	0,997
Cota x Volume	$V = -0,0403319.C^3 + 3,0522421.C^2 - 18,7690830.C + 29,7027719$	0,999
Volume x Cota	$C = -0,0000023018.V^3 + 0,0002152149.V^2 + 0,0491570054.V + 4,9943974549$	0,700

O volume útil foi adotado como sendo aquele referente à diferença entre as cotas 8,40 e 4,92 m, ou seja, 57,06 milhões de m^3 , o que permite regularizar uma vazão de $18,22 m^3/s$.

A Tabela 5 consolida o cálculo da disponibilidade hídrica no reservatório de Juturnaíba, e nela são relacionados os valores encontrados das vazões. Como pode ser observado, os usuários dos recursos hídricos são beneficiados pelo saldo correspondente a diferença entre a vazão regularizada (Q_{reg}) e a vazão de referência ($Q_{95\%}$) no lago, linha (III). O total de água disponível para reti-

rada no reservatório é dado pela diferença entre a vazão regularizada e a vazão à jusante, linha (V). Para a determinação da vazão de retirada, linha (VIII), foi considerada a seguinte situação crítica: a maior vazão para abastecimento humano definida a partir das outorgas requisitadas, linha (VI), e o potencial de consumo de água a montante ao lago, devido usos agropecuários, linha (VII).

A diferença entre a vazão total para montante e a vazão de retirada representa a vazão disponível no Lago de Juturnaíba, linha (IX).

Tabela 5 – Cálculo da vazão disponível no Lago de Juturnaíba

Linha	Vazões Resultantes	m ³ /s	Observação
(I)	Vazão regularizada	18,22	-
(II)	Q _{95%}	13,10	-
(III)	Saldo no lago	5,12	(I) – (II)
(IV)	Vazão para jusante	8,00	-
(V)	Total para montante	10,22	(I) – (IV)
(VI)	Consumo humano	7,00	-
(VII)	Usos agropecuários	2,12	-
(VIII)	Vazão de retirada	9,12	(VI) + (VII)
(IX)	Total disponível no lago	1,10	(V) – (VIII)

Segundo DHI (2008), a vazão para jusante é igual a 8,0 m³/s, ou seja, 1,45 m³/s além da vazão ecológica cujo valor é de 6,55 m³/s (50% de Q_{95%}).

Caso a vazão de retirada no lago aumente em apenas 1,10 m³/s, folga existente conforme os cálculos apresentados na Tabela 5, o mês mais crítico irá corresponder ao esvaziamento de todo o volume útil do reservatório, ou seja, seria atingido o desnível máximo de 3,48 m, relativo a diferença entre as cotas máxima (8,40 m) e mínima (4,92 m) do volume útil do lago.

5. CONCLUSÕES

O uso dos recursos hídricos disponíveis no Lago de Juturnaíba deve ser feito de forma criteriosa. É necessário um monitoramento sistemático na bacia, com instalação de estações pluviométricas, fluviométricas, e de qualidade de água para geração de séries mais representativas a fim de se definir com segurança os aportes, a real disponibilidade e a condição da qualidade da água.

Da avaliação do aporte de sedimentos ao reservatório, estima-se que a sua vida útil ainda se prolongará pelo período de 192 anos, entretanto, cabe ressaltar que o volume útil do lago irá se reduzir gradativamente, conduzindo a uma redução contínua no saldo de água propiciado pela regularização de vazões pelo reservatório.

Para assegurar os critérios de uso dos recursos hídricos na bacia e garantir o efetivo controle na emissão de outorgas é recomendado que o poder concedente elabore um cadastro de usuários.

O cenário proposto neste artigo apresenta uma folga de cerca de 1,10 m³/s na quantidade de água disponível para os diversos usos, sendo que

a utilização integral deste saldo causará o esvaziamento total do volume útil do reservatório.

Por outro lado, o esvaziamento parcial do reservatório tenderá a piorar os parâmetros de qualidade de água, uma vez que os poluentes estarão diluídos em um volume menor. O aumento da concentração de poluentes poderá reduzir a eficiência do tratamento da água pelas estações da ProLagos e Águas de Juturnaíba. Desta forma, é recomendada a elaboração de um estudo mais detalhado da dispersão e diluição dos poluentes.

Em conclusão, a utilização das águas do Lago de Juturnaíba como alternativa de abastecimento industrial de regiões vizinhas poderá causar prejuízos irreparáveis para o meio ambiente e aos usuários locais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, N. O. (2008). *Hidrossedimentologia Prática*. 2ª edição. ISBN 978-85-7193-181-7. 599 p. Editora Interciência Ltda. Rio de Janeiro, RJ.
- COHIDRO (2008). *Serviços de Hidrometria nos Rios São João, Capivari e Bacaxá. Relatório de Entrega de Serviços*. Rio de Janeiro: COHIDRO Consultoria, Estudos e Projetos Ltda. Maio de 2008.
- CONCREMAT (2007). *Estudo de Impacto Ambiental*. EIA – COMPERJ. 2007. Rio de Janeiro, RJ.
- DHI (2008). “*Water balance of Juturnaíba Reservoir – Final Report*”. Project nº 11800076. Rio de Janeiro: DHI Water & Environment. October, 2008.

DNOS (1980). Departamento Nacional de Obras de Saneamento. *Resumo de Medição de Descarga Sólida*. Cópias de 1975 a 1980. Rio de Janeiro. RJ.

ELETROBRAS (1999). *Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Capítulo 6: Estudos Básicos*. Disponível em: <<http://www.eletrobras.gov.br/elb/portal/data/Pages/LUMISF99678B3PTBRIE.htm>>. Acessado em agosto de 2010.

MORTON, F. I. (1983). "Operational Estimates of Lake Evaporation". *Journal of Hydrology*, October, 1983, v.66, n.114, p.77-100.

NORONHA, G. C. (2009). *Avaliação Hidrica do Lago de Juturnaíba como Alternativa de Abastecimento de Água do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro – COMPERJ*. Latec. Universidade Federal Fluminense. Niterói. RJ

PETROBRAS (2010). *COMPERJ – Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro*. Disponível em: <<http://www2.petrobras.com.br/portal/frame.asp?pagina=/Petrobras/portugues/comperj.asp&area=apetrobras&lang=pt>>. Acessado em agosto de 2010.

SEMADS/PLANÁGUA/GTZ(1999). *Subsídios para Gestão dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Macacu, São João, Macaé e Macabu*. Secretaria Estadual de Meio Ambiente e

Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro. RJ.

UFF/FEC (2010). *Planejamento Estratégico da Região Hidrográfica dos Rios Guapi-Macacu e Caceribu-Macacu*. Universidade Federal Fluminense. Niterói. Rio de Janeiro. 544p.