

AValiação DO REGIME FLUVIAL DO RIO PIRAÍ CONDICIONADO PELA TRANSPOSIÇÃO DE VAZÕES

*Ligia Maria N. de Araújo¹, Ernani Cleiton Cavalcante Filho², Magaly Vieira Costa dos Santos³,
Mauro Medeiros de Carvalho Junior⁴, Giselle Fundão de Menezes⁵, Tatiane Ramos Lima⁶, Paulo
José Poggi da Silva Pereira⁷, Madalena Sofia A. C. de Oliveira⁸, Simone Prazeres F. A. Sá⁹,
Mônica Miranda Falcão¹⁰*

RESUMO --- As vazões transpostas do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu têm múltiplos usos e os mais expressivos são o abastecimento de 90% da população da Região Metropolitana do Rio de Janeiro e a geração de energia elétrica pelas usinas do Complexo Hidrelétrico de Lajes (aproveitamento hidrelétrico dos rios Paraíba do Sul, Pirai e ribeirão das Lajes). A bacia do rio Pirai, através de três reservatórios, cede em média o total de 20m³/s à bacia do Guandu. Para seu afluente ribeirão das Lajes fluem 12m³/s retirados de Tócos e o complemento proveniente de Vigário e Santana. Essas transferências influenciaram significativamente o regime do rio Pirai, afetando inclusive a qualidade de suas águas próximo às cidades de Pirai e Barra do Pirai. A empresa Light S.A., operadora do sistema, dedica tempo e recursos ao estudo de medidas de mitigação desses efeitos. De forma a contribuir para a avaliação integrada de medidas mitigadoras, a equipe de hidrologia e hidráulica do INEA/RJ, juntamente com a Prefeitura Municipal de Barra do Pirai, estudam o comportamento hidrológico da bacia com base nos dados disponíveis, sugerindo adequações na rede de monitoramento, aumento das vazões remanescentes e restrições à ocupação da faixa marginal de proteção.

ABSTRACT --- The amount of flow being transferred from the Paraíba do Sul river to the Guandu river has multiple purposes, the more expressive are the uses for water supply of 90% of the inhabitants of Rio de Janeiro city's Metropolitan Region and for power generation in the plants of Lajes Complex (hydropower potential of Paraíba do Sul, Pirai and Lajes river streams). The Pirai river basin, through three reservoirs, gives 20m³/s of water to the Guandu river as an average. To its tributary Lajes flow 12m³/s of water taken from Tócos and the complement coming from Vigário and Santana. These withdrawals influenced significantly the regime of Pirai river, affecting also water quality figures in its reaches near to Pirai and Barra do Pirai cities. The company Light S.A., which operates the system, dedicates time and resources to assess these impacts and mitigate them. In order to contribute to the integrate evaluation of mitigating measures, the hydrology and hydraulics team of INEA/RJ, in conjunction with Barra do Pirai County Administration, study the hydrologic behavior of the basin based on available data and suggests improving its monitoring network, increasing the amount of remaining flows and restrictions to occupation of the floodplains.

Palavras-Chave: Transposição de vazões, planícies de inundação, rio Pirai.

1) Engenheira Hidráulica – Instituto Estadual do Ambiente (INEA/RJ), Campo de São Cristóvão 138, 22290-240, Rio de Janeiro/RJ. E-mail: ligiamna@rj.cprm.gov.br

2) Engenheiro Hidráulico – Instituto Estadual do Ambiente (INEA). E-mail: ernani.inea@gmail.com

3) Engenheira Civil – COHIDRO, Rua Medeiros Pássaro 404, 22290-240, Rio de Janeiro – RJ. E-mail: magalyvieira@yahoo.com.br

4) Engenheiro Hidráulico – Instituto Estadual do Ambiente (INEA). E-mail: mauromedeiros.inea@gmail.com

5) Engenheira Hidráulica – Instituto Estadual do Ambiente (INEA). E-mail: gfmenezes@gmail.com

6) Técnica de Hidrologia – Instituto Estadual do Ambiente (INEA). E-mail: thatix_lima@yahoo.com.br

7) Engenheiro Hidráulico – Instituto Estadual do Ambiente (INEA). E-mail: ligiamna@inea.rj.gov.br

8) Gestora Ambiental – Secretária Municipal de Meio Ambiente e Agricultura - Prefeitura Municipal de Barra do Pirai – Rua Cel. Nóbrega, 72 – Química, 27130-130, Barra do Pirai/RJ. E-mail: mada.sofia@hotmail.com

9) Gestora Pública – Prefeitura Municipal de Barra do Pirai. E-mail: smma@pmbp.rj.gov.br

10) Engenheira Hidráulica – Gerente de Faixa Marginal e Outorga – Instituto Estadual do Ambiente (INEA) . E-mail: monicafalcao.inea@gmail.com

1. DESCRIÇÃO DA BACIA E CONTEXTUALIZAÇÃO DOS ESTUDOS

A bacia do rio Piraí apresenta área de drenagem de 1.034km² inserida na região do bioma Mata Atlântica. No entanto, a análise do uso do solo e da cobertura vegetal atuais mostra alteração expressiva em consequência da urbanização, que avança sobre a calha do rio, e intensa erosão influenciada fortemente pela declividade, por altos índices pluviométricos e desmatamento desde o século XIX. O rio Piraí apresenta problemas de qualidade da água em períodos de estiagem e a população ribeirinha sofre com inundações durante as cheias mais expressivas do rio Paraíba do Sul. Durante os períodos de cheias, a operação dos reservatórios da bacia garante o controle das cotas atingidas nas principais cidades às margens do curso principal do rio Paraíba do Sul, impondo restrições de liberação de vazões como vertimento das barragens, como se pode depreender de ONS (2008).

As vazões transpostas do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu têm diversos usos na bacia receptora e também fora dela. Os mais expressivos usos dessas águas são o abastecimento de 90% da população Região Metropolitana do Rio de Janeiro e a geração de energia elétrica através das usinas do Complexo Hidrelétrico de Lajes, com o aproveitamento hidrelétrico dos rios Paraíba do Sul, Piraí e ribeirão das Lajes. A bacia do rio Piraí cede em média o total de 20m³/s para a bacia do rio Guandu, através de seu afluente ribeirão das Lajes que recebe em média 12m³/s águas do reservatório de Tócos no rio Piraí e águas retiradas do reservatório de Vigário que recebe águas do reservatório de Santana, na bacia do rio Piraí, que por sua vez, recebe águas do Paraíba do Sul. A figura 1 mostra as bacias dos rios Piraí e Guandu, seus reservatórios e locais de transposição.

As mudanças de regime no rio Piraí em consequência das obras de reversão foram significativas, com implicações também na qualidade de suas águas nos trechos junto às cidades de Piraí e Barra do Piraí. Com a finalidade de estudar medidas de mitigação dos efeitos das obras de transposição, esforços têm sido feitos pela empresa Light S.A., operadora do sistema do parque gerador. De forma a contribuir para a avaliação integrada de tais medidas, a equipe de hidrologia e hidráulica do Instituto Estadual do Ambiente (INEA/RJ), em conjunto com a Prefeitura Municipal de Barra do Piraí, através de sua Secretaria de Meio Ambiente e Agricultura, estuda o comportamento hidrológico da região ao longo de dois períodos de tempo: antes da implantação dos reservatórios de Vigário e Santana e, na sequência, de sua implantação até a situação atual. Considerando as estações já instaladas na bacia, a rede de monitoramento hidrológico pareceria suficiente para o diagnóstico sobre as alterações sofridas e prognóstico de medidas mitigadoras para a bacia. No entanto, apesar da instalação em datas antigas, a maioria das estações não teve continuidade e, ainda dentro do período de operação, apresentam muitas falhas de dados em suas séries. As análises empreendidas neste trabalho foram feitas com base em muitas hipóteses

formuladas para se chegar a resultados cuja confiabilidade deverá ser testada com medições e levantamentos em campo. As tentativas de regionalização das vazões como forma de melhorar o conhecimento sobre a hidrologia da bacia não tiveram sucesso. Foi utilizado um modelo hidráulico para simulação da propagação das vazões máximas estimadas para o trecho do rio Pirai de jusante do reservatório de Santana até a foz no Paraíba do Sul.

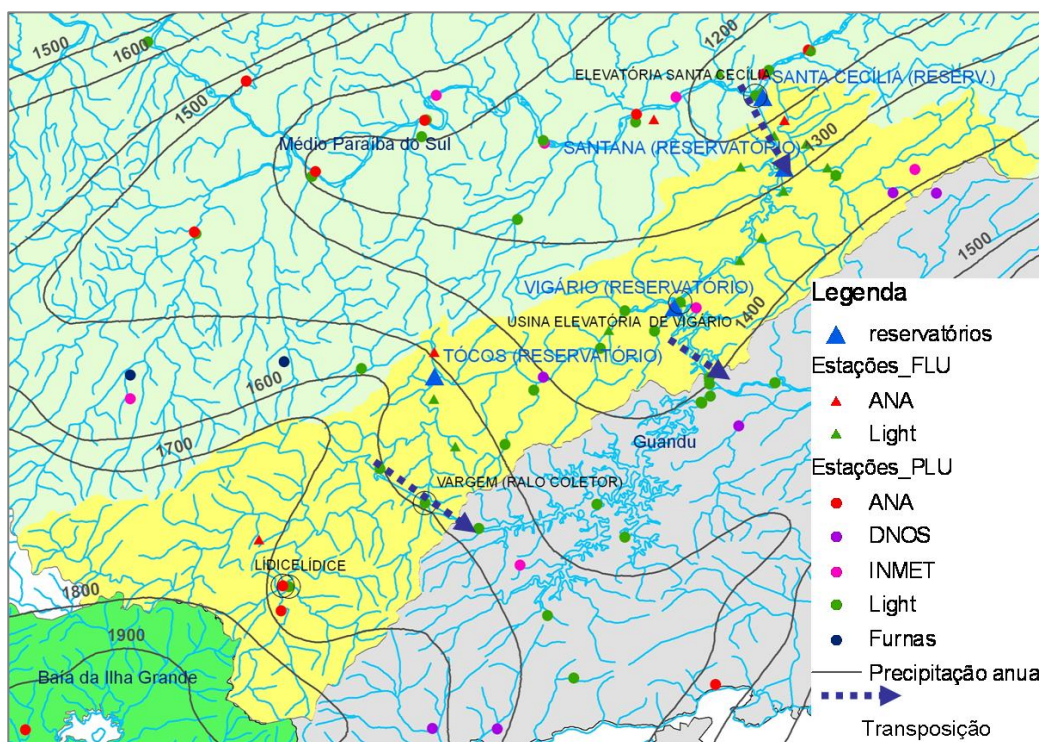


Figura 1: Bacia do rio Pirai, sua rede de monitoramento e isoietas totais anuais

Na divisão hidrográfica do estado do Rio e Janeiro, a bacia do Pirai pertence à Região Hidrográfica III – Médio Paraíba do Sul, vizinha das Regiões Hidrográficas do Guandu e da Baía da Ilha Grande.

1.1. Clima e regime pluviométrico

A figura 2 a seguir ilustra o regime pluviométrico na bacia e a variação da pluviosidade entre as porções mais altas, em Lídice/RJ, que está a 554m de altitude, e mais baixas, em Barra do Pirai/RJ, que está a 371m de altitude.

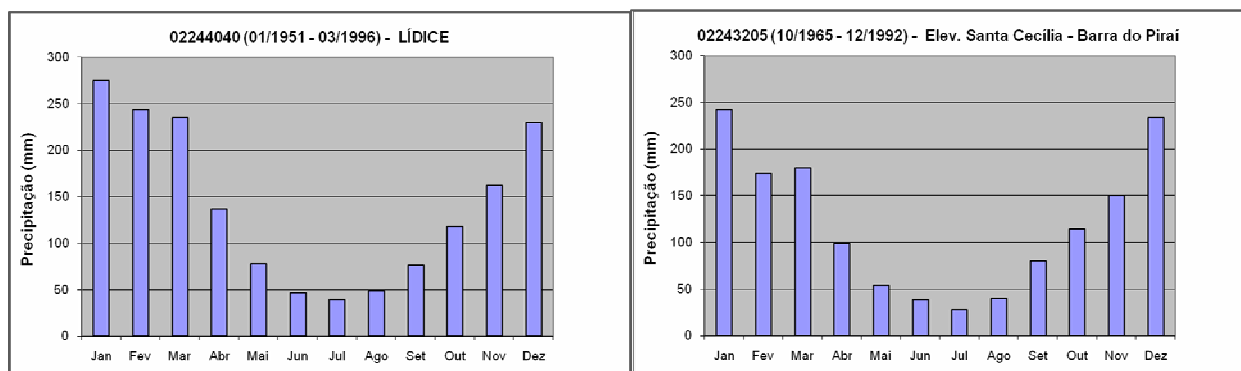


Figura 2 - Precipitação mensal ao longo da bacia do rio Pirai

As estações pluviométricas com séries de dados mais longas são Lídice, Vargem, U. E. Vigário e U. E. Santa Cecília, bem distribuídas ao longo da bacia.

Com base nas isoietas do mapa da bacia hidrográfica (Brandão et al, 2000), verifica-se que a precipitação total anual média varia de 1.800 a 1.200mm, desde suas cabeceiras até a foz em Barra do Pirai.

1.2. Caracterização do regime hidrológico

O ano hidrológico na bacia do Pirai coincide com o da bacia do Paraíba do Sul, correspondendo ao período de setembro a agosto. As maiores vazões ocorrem em janeiro, fevereiro e março e as mínimas em julho, agosto e setembro, conforme se pode verificar nos histogramas de vazões mensais médias de longo período, figuras 3 e 4.

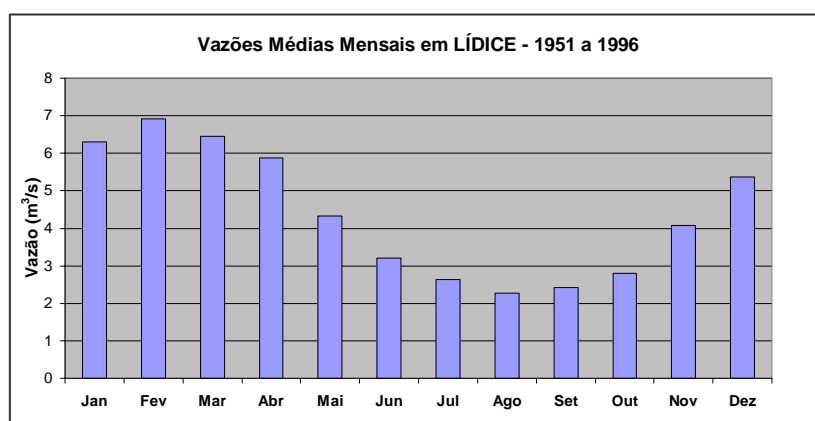


Figura 3 - Vazões médias mensais do rio Pirai em Lídice

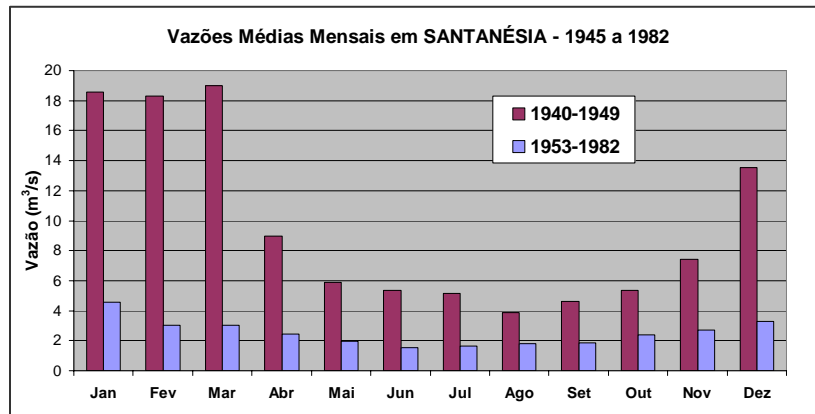


Figura 4 - Vazões médias mensais do rio Pirai em Santanésia

A cronologia de construção e entrada em operação dos reservatórios da bacia do rio Pirai é vista no quadro 1 a seguir.

Quadro 1 – Reservatórios da bacia do rio Pirai

Reservatório	Início de enchimento	Início da operação
Tocos	1903	1903
Santana	1953	1953
Vigário	1953	1953

Fonte: Light Energia (consulta em 2009)

Verifica-se na figura 4 que o reservatório de Santana teve grande influência sobre as vazões médias mensais em Santanésia.

Para estudo das vazões máximas anuais, que costumam ocorrer entre novembro e março, foram analisados os dados segundo o ano hidrológico e para as vazões mínimas, que ocorrem entre junho e outubro, foram analisados os dados segundo o ano civil. A tabela 1 a seguir apresenta características hidrológicas médias em quatro estações no rio Pirai e uma no Paraíba do Sul a jusante da confluência do Pirai.

Tabela 1 – Características médias de precipitação e vazão nas sub-bacias do rio Pirai

Código	Nome da estação	Nome do rio	Área calculada (km ²)	Q _{MLT} (m ³ /s)	Vazão Específica (l/s.km ²)	Precipitação anual média P (mm)	Coefficiente de escoamento Q _{MLT} / P
58335000	LIDICE	RIO PIRAI	107	4,28	39,98	1.751	0,72
58338000	FAZENDA SANTANA	RIO DO BRACO	137	6,6	48,29	1.752	0,87
58350000	FAZENDA BELA VISTA V1-104	RIO PIRAI	644	4,9	7,61	1.633	0,15
58358000	SANTANA-BARRAGEM V1-041	RIO PIRAI	879	14,6	15,52	1.553	0,32
58321000	BARRA DO PIRAI	RIO PARAIBA DO SUL	17.646	155	8,81	1.487	0,19

Fonte: CPRM (2002)

Lídice e Fazenda Santana estão a montante do reservatório de Tocos, onde ocorre a primeira transposição, Fazenda Bela Vista está a jusante de Tocos. Santana Barragem só tem dados até 1940, período anterior à construção da barragem de mesmo nome da estação.

Nos estudos de regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul (CPRM, 2002) os dados da bacia do rio Pirai foram avaliados, mas concluiu-se que para a bacia não valeriam as equações definidas para regiões vizinhas e também não foi possível considerá-la por si só uma região homogênea. Mesmo as estações situadas em sua parte superior, a montante do reservatório de Tocos, Lídice e Fazenda Santana (livre da influência dos reservatórios), não demonstraram ser parte de qualquer outra região hidrologicamente homogênea do Médio Paraíba.

2. METODOLOGIA E SISTEMATIZAÇÃO DA ANÁLISE

Para analisar as questões relativas aos principais problemas destacados para a bacia, frente à disponibilidade de dados hidrológicos, algumas considerações foram feitas, formulando-se algumas hipóteses, que para melhor compreensão devem ser observados o diagrama da figura 5, o quadro 2 e a tabela 3.

- Há 14 estações fluviométricas com dados disponíveis para o rio Pirai (figura 5), sendo que com dados suficientes para análise há somente nove (quadro 2), sendo duas com dados relativos apenas ao período anterior à existência de Santana Cecília e Vigário.
- As análises seriam feitas para o período posterior à construção e início da operação do reservatório de Tocos, pois os dados fluviométricos disponíveis, à exceção dos dados de Lídice e Fazenda Santana, já contêm a influência do reservatório;
- As vazões máximas e mínimas seriam estudadas com os dados das estações separados para o período anterior à construção e operação de Vigário e Santana, caso das estações 8 a 12 e 14, e para todo o período disponível, caso das estações de 1 a 7 e 13 ;
- Para avaliação das planícies de inundação a jusante da barragem de Santana, seriam estimadas as vazões máximas para tempos de retorno dez e 100 anos nas diversas

- estações para uma análise regional, avaliando-se a influência das retiradas em Vigário e a operação de Santana sobre as séries de dados;
- Seria simulada a propagação das vazões de referência no trecho entre a barragem de Santana e a foz no rio Paraíba do Sul com uso de modelo hidráulico;
 - As simulações seriam empreendidas considerando-se a calha do Pirai em sua situação atual, dada pelo levantamento realizado pela Light/Geoprojetos (Light Energia, 2007) para aproximadamente 3km de extensão, e aproximando-se uma seção para os 7km restantes até a foz. Seriam utilizadas as vazões de referência definidas em cada seção transversal através de relação da vazão específica com a área de drenagem;
 - As condições de contorno para a simulação seriam: de montante, as vazões na estação Santana Barragem consideradas para primeira seção do levantamento, e, de jusante, o nível d'água no rio Paraíba do Sul em Barra do Pirai estimado entre as estações 58322000 e 58370000 para as vazões de referência, considerando-se a situação atual, com a operação de Santa Cecília;
 - Foram consideradas as restrições impostas para a operação dos reservatórios da bacia durante os períodos de cheias, quanto à liberação de vazões por vertimento das barragens e manutenção de níveis a jusante e montante apresentadas na tabela 2.
 - Outras suposições foram feitas para suprir a ausência de dados, como a estimativa da seção do Pirai na chegada ao Paraíba do Sul. Esta seção deverá ser levantada em campo, mas por hora foi estimada considerando-se a manutenção da declividade do trecho anterior, a largura estimada com base em imagens Google Earth (acesso em 7 de junho de 2009) e a forma igual a da última seção levantada.

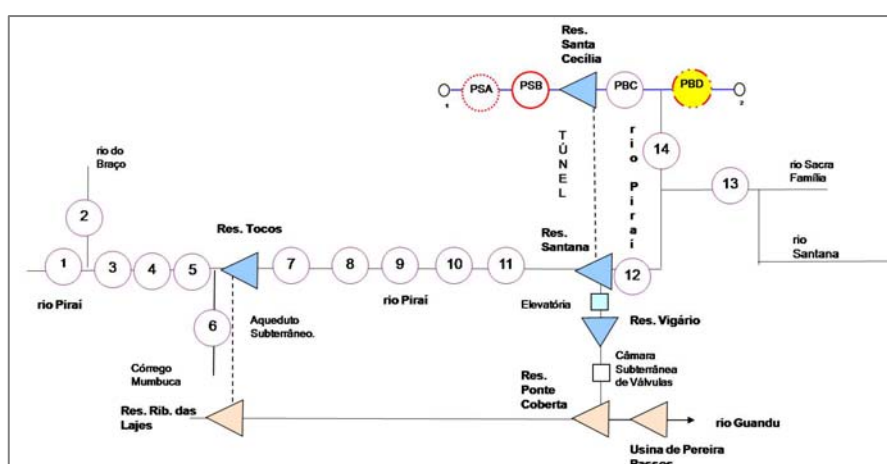


Figura 5 - Diagrama unifilar da bacia hidrográfica do rio Pirai e Paraíba do Sul

Quadro 2 – Estações na bacia do rio Pirai com séries mais longas de dados

No diagrama	Código	Nome da estação	Nome do rio	Período com dados
1	58335000	LIDICE	RIO PIRAI	Out/1951 a Mar/2009 (*)
2	58338000	FAZENDA SANTANA	RIO DO BRACO	Out/1951 a Mar/2009 (*)
8	58350001	FAZENDA NOVA ESPERANÇA	RIO PIRAI	Jan/1989 a Mar/2009
9	58350000	FAZENDA BELA VISTA	RIO PIRAI	Jan/1962 a Dez/1989
10	58352800	PIRAÍ PONTE DA CIDADE	RIO PIRAI	Mai/1928 a Jul/1954
11	58353000	PIRAÍ	RIO PIRAI	Fev/1941 a Jun/1951
12	58358000	BARRAGEM SANTANA	RIO PIRAI	Out/1934 a Dez/1974
13	58339000/ 58339001	MORSING	RIO SACRA FAMÍLIA	Ago/1935 a Dez/1992 (*) Fev/2003 a Mar/2009
14	58359000	SANTANÉSIA	RIO PIRAI	Ago/1935 a Nov/1992

Nota: (*) Séries com interrupções de dez a 40 anos

Tabela 2 - Características operativas dos reservatórios do trecho em estudo

EMPRESAS OPERADORAS	RESERVATÓRIO/USINA	RIO	DIST. ATÉ A FOZ (km) (1)	A.D. (km ²)	V.U. (km ³)	POT. INST. (MW)	RESTRICÇÕES	
							MONT.(m)	JUS.(m ³ /s)
FURNAS	FUNIL	Paraíba do Sul	448	13.410	0,606	222	NAmáx=466,7	Qmín=80
							NAmín=449	(2) Qmáx=700
LIGHT	Sta. Cecília	Paraíba do Sul	337	16.694	0,002	-32 (3)	NAmín=352	Qmín=71
LIGHT	Santana	Piraí	346	889	0,008	-	-	Qmáx=10
LIGHT	Vigário	Rib. Vigário	362	30	0,001	-88 (3)	-	-
LIGHT	Nilo Peçanha	-	71	-	-	380	-	-
LIGHT	Tócos	Piraí	402	382	0,002	-	-	-
LIGHT	Lajes	Rib. das Lajes	74	305	0,45	-	NAmín=397,5	(4) Qmín=6,5
LIGHT	P. Passos	Rib. das Lajes	66	322	0,004	100	-	Qmín=120

Nota: (1) Refere-se à foz no oceano Atlântico; (2) Valor condicionado às restrições nas cidades de Resende, Barra Mansa, Volta Redonda e Barra do Piraí (850, 800, 880 e 1.100 m³/s, respectivamente); (3) Usina elevatória; (4) Para atendimento à calha da CEDAE. Fonte: ONS (2008).

2.1 Análise das vazões máximas anuais

Foram estimadas as vazões máximas com tempo de retorno dez anos e 100 anos para as nove estações do quadro 2. Os valores foram utilizados em uma análise regional que mostrou que as duas estações a montante de Tocos não poderiam ser parte da região homogênea e também não teve bom resultado para o subconjunto de jusante de Tocos, confirmando o já observado em CPRM (2002).

A tabela 3 a seguir apresenta um resumo das vazões máximas de referência utilizadas para simulação das cheias na bacia no trecho entre Santana e a Foz, valores que foram obtidos com os dados das próprias estações, ajustando-se a cada série a distribuição de Gumbel.

Tabela 3 – Vazões máximas e níveis correspondentes pra TR=10anos e TR=100anos

Código	Nome da estação	Nome do rio	A.D. (km ²)	Q ₁₀ anos (m ³ /s)	NA ₁₀ anos (m ³ /s)	Q ₁₀₀ anos (m ³ /s)	NA ₁₀₀ anos (m ³ /s)
58358000	BARRAGEM SANTANA	RIO PIRAI	879	183	MODELO	244	MODELO
58359000	SANTANÉSIA	RIO PIRAI	1.060	191	MODELO	277	MODELO
58322000	BARRA DO PIRAI V1-037	RIO PARAIBA DO SUL	16.593	1.694	349,06	2.356	350,03
58370000	BARRA DO PIRAI – OFICIAL V-1-090	RIO PARAIBA DO SUL	17.646	1.201	349,54	1.820	350,47

Os valores de níveis d'água (NA da tabela 3) foram obtidos das curvas-chaves das estações e são referidos a marco da Light, que apresenta uma diferença relativa ao do IBGE. Assim, para se ter a cota altimétrica correspondente, é necessário somar 2,48m aos valores dos níveis e cotas das seções transversais das estações da Light. Os níveis em Santana e Santanésia serão estimados com o uso do modelo.

Os valores de vazão para 58322000 foram obtidos com dados de período anterior à construção de Santa Cecília e os valores para 58370000 com dados do período posterior a 1978, representativos da situação atual. A partir de 1978 já estavam em operação todos os reservatórios da bacia a montante e já havia o decreto que regulamenta a transposição de vazões no sistema Light-Guandu, influências confirmadas pelos resultados dos testes de continuidade e homogeneidade das séries

realizados em CPRM (2002). Por este motivo, os valores da tabela 3 são maiores para a estação de montante. Os dados da estação de jusante representam a situação atual para a condição de contorno ao final do trecho a ser simulado – níveis correspondentes a vazões com tempos de retorno de dez e 100 anos que ocorreriam na época atual. Para determinar a cota do nível d'água do Paraíba do Sul na foz do Piraí tem-se que considerar a declividade da linha d'água no trecho, que poderia ser obtida entre a estação 58322000, que está situada 0,42km a montante da foz, e a 58370000, que está 3,76km a jusante da foz. A estação de montante não possui dados posteriores a 1953, assim para estimativa do desnível da linha d'água entre as estações de montante e jusante foram usados dados de um mesmo dia do breve período simultâneo de dados, em 25/02/1952 ocorreram as vazões 1.280m³/s e 1.310m³/s a montante e jusante da foz do Piraí, valores intermediários entre os estimados para dez e 100 anos. Para essas vazões o desnível entre as cotas de nível d'água nas duas estações foi 2,40m. Assim, para condições de contorno de jusante do trecho Santana-foz, foram adotados os valores 353,78m e 355,01m para dez e 100 anos, já referentes a cotas altimétricas do IBGE, uma vez que as seções topobatimétricas disponíveis (figura 6) foram levantadas com esta referencia (Light Energia, 2007).

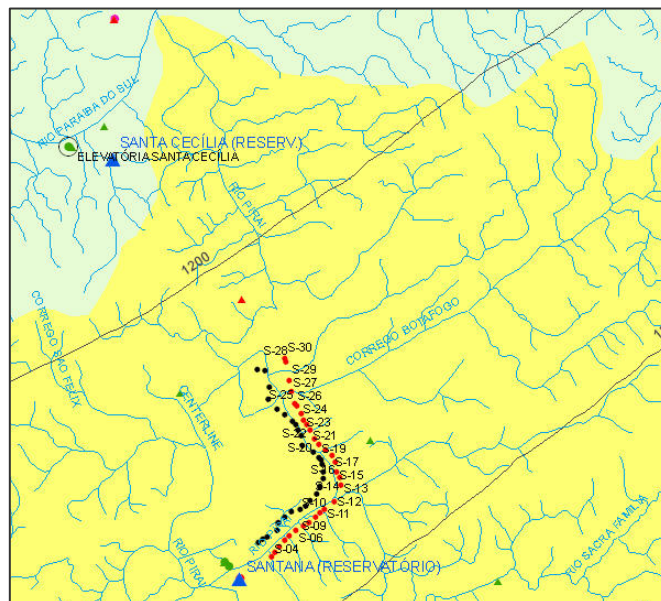


Figura 6 - Localização das seções topobatimétricas

Para caracterizar a geometria do trecho inicial de extensão aproximada de 3km foram utilizadas 14 das seções 30 disponíveis - S1, S3, S5, S7, S10, S12, S13, S15, S16, S17, S20, S23, S26, S28 e S30. O mapa da figura 6 foi composto com a base cartográfica em escala 1:50.000 (IBGE, 2006).

2.2 Análise das vazões mínimas

No estado do Rio de Janeiro, para os rios de jurisdição estadual, as outorgas de direitos de usos da água são concedidas até o limite de 50% da vazão mínima de duração de sete dias e tempo de retorno igual a dez anos ($Q_{7,10}$). Em rios de jurisdição federal a Agência Nacional de Águas (ANA) concede outorgas até o limite de 70% da vazão de permanência 95% (Q_{95}) e por usuário individualmente o limite total outorgável é 20% da Q_{95} . No entanto, para os rios de jurisdição da bacia do rio Paraíba do Sul, a ANA adotaria como vazão de referência a $Q_{7,10}$ em razão de ser esta a vazão de referência adotada pelos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. O rio do Braço, afluente do Pirai, tem suas nascentes no estado de São Paulo, no município de Bananal. Assim, para a bacia do rio Pirai, foram determinadas as duas vazões de referência que são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 – Vazões mínimas de referência calculadas para as estações na bacia do rio Pirai

Código	Nome da estação	Nome do rio	A.D. (km ²)	Q_{MLT} obs. (m ³ /s)	$Q_{min,7,10}$ obs. (m ³ /s)	Q_{95} obs. (m ³ /s)	$Q_{95}/Q_{min,7,10}$
58335000	LIDICE	RIO PIRAI	107	4,28	0,94	1,44	1,53
58338000	FAZENDA SANTANA	RIO DO BRACO	137	6,6	0,98	1,90	1,94
58350001	FAZENDA NOVA ESPERANÇA	RIO PIRAI	600	4,69	0,80	1,147	1,43
58350000	FAZENDA BELA VISTA	RIO PIRAI	644	4,9	0,43	0,709	1,65
58358000	BARRAGEM SANTANA	RIO PIRAI	879	14,6	2,01	2,66	1,32
58339000/ 339001	MORSING	RIO SACRA FAMÍLIA	97	2,52	(*)	0,39	(*)
58359000	SANTANÉSIA	RIO PIRAI	1.060	9,90	1,66	2,50	1,51

Nota: (*) A série de dados de Morsing apresenta muitas falhas e por isto não foi calculada a $Q_{7,10}$.

Na determinação das vazões mínimas de referência em Barragem Santana e Santanésia, foram usados somente os dados do período anterior à construção de Santana e Vigário.

Caso a construção de Santana acontecesse nos dias de hoje, tendo ocorrido histórico de dados fluviométricos semelhante ao dos anos 1930 e 1940, as vazões de referência para o cálculo da vazão outorgável no rio Pirai em Santana, seriam 2,01 e 2,66m³/s ($Q_{7,10}$ e Q_{95}). Sendo o Pirai considerado como rio de jurisdição federal, a retirada outorgável para a bacia do Guandu seria, a rigor, no máximo 0,532m³/s (= 20% de 2,66m³/s), sendo estadual, poderiam ser retirados até 1,05 m³/s, caso não houvesse outros usuários e não se considerasse qualquer reserva para futuros usuários no trecho entre a barragem e a confluência com o rio Sacra Família.

Na realidade para garantir maior confiabilidade a estes valores, seria necessário obter um bom ajuste da curva chave para as vazões mais baixas e ter mais estações no trecho com séries de dados sem falhas. Após todas as outorgas concedidas no trecho, deveriam permanecer 1,05 m³/s (50% da $Q_{7,10}$) a jusante da barragem de Santana.

2.3 Análise das precipitações na bacia

As precipitações foram analisadas para verificar se houve mudanças nos índices pluviométricos entre dois períodos: anterior à construção das barragens de Santana e Vigário e posterior, até os dias atuais. As hipóteses formuladas para permitir as análises das vazões basearam-se na continuidade das características pluviométricas ao longo do histórico de dados. O quadro 3 apresenta as estações com dados pluviométricos disponíveis na bacia. As estações com séries de dados mais longas e menor quantidade de lacunas são ao quatro em negrito no quadro 3, que se encontram distribuídas ao longo da bacia: Lídice, Vargem, U. E. Vigário e U. E. Santa Cecília.

Quadro 3 - Estações em operação na bacia do Pirai – Hidroweb (ANA,2009)

Entidade responsável	Código	Nome	C. Adic	Altitude (m)	Instalada em
INMET	2243198	BARRA DO PIRAI		358	1/1/1930
LIGHT	2244099	LÍDICE	P1-299	554	1/3/1951
LIGHT	2244097	VARGEM (RALO COLETOR)	P3-278	510	1/1/1915
LIGHT	2243205	ELEVATÉRIA SANTA CECÍLIA	RES./396	371	1/11/1949
LIGHT	2243216	USINA ELEVATÉRIA DE VIGÁRIO	RES./396	369	1/10/1928
LIGHT	2243219	BARRAGEM DE LAJES	RES./396	462	1/3/1989
LIGHT	2243263	BARRAGEM DE SANTANA	RES./396	367	1/10/2002
LIGHT	2243264	MORSING	RES./396	387	1/10/2002
LIGHT	2243265	FAZENDA NOVA ESPERANAA	RES./396	372	1/10/2002
LIGHT	2243266	CANAL DE VIGÁRIO	RES./396	400	1/10/2002
LIGHT	2243267	UHE PEREIRA PASSOS	RES./396	55	1/10/2002
LIGHT	2244103	BARRAGEM DE TOCOS	RES./396	453	1/1/1915
LIGHT	2244107	PASSA TRÊS	RES./396	450	1/10/2002

Para verificação da evolução das precipitações ao longo do tempo foram analisados os dados de três estações: Lídice, Vargem e U. E. Santa Cecília. Para elas foram determinadas as tendências das médias móveis para os períodos de três, cinco e dez anos, como apresentado nas figuras 7, 8 e 9.

Pode-se dizer que não há variação de pluviosidade entre os períodos anterior a 1953 e posterior a este ano, ainda que os dados disponíveis para o período anterior correspondam a um número bem menor de anos. Pode-se assim confirmar que as alterações de regime fluvial nas estações da bacia são decorrentes das obras hidráulicas ali construídas. A utilização de dados das estações com diferentes períodos para uma análise conjunta das características hidrológicas seria, portanto, aceitável, tendo-se que considerar apenas a posição das estações relativamente às obras de intervenção e as datas de início de enchimento e operação dos reservatórios e reversões.

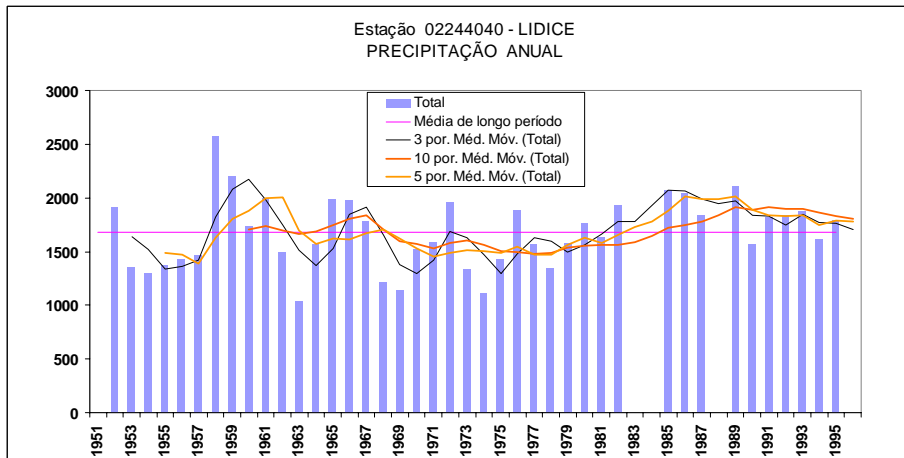


Figura 7 – Totais anuais de precipitação em Lídice.

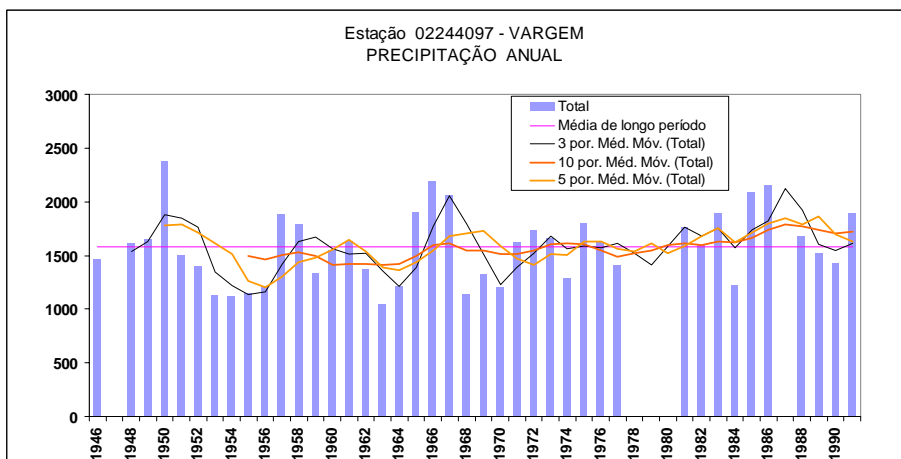


Figura 8 – Totais anuais de precipitação em Vargem.

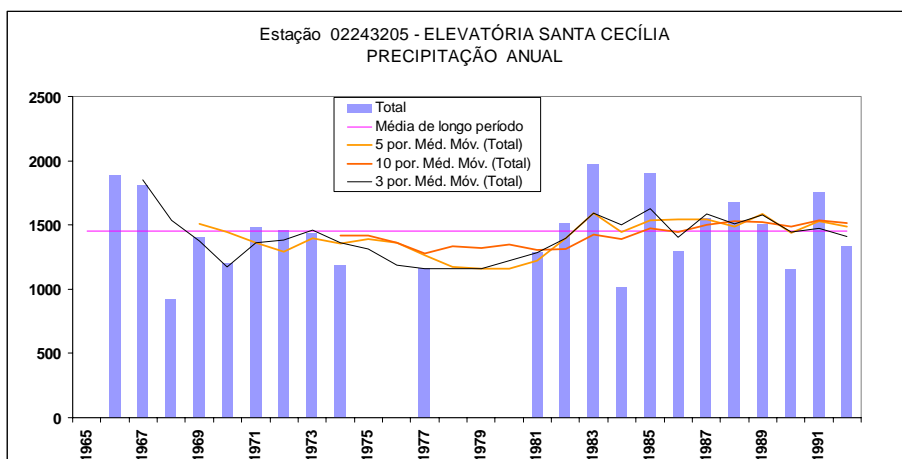


Figura 9 – Totais anuais de precipitação em Santa Cecília.

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES COM AS VAZÕES DE REFERÊNCIA

As simulações da propagação do escoamento no estirão do rio Pirai, entre a barragem de Santana e sua foz no Paraíba do Sul, foram feitas com o modelo HEC-RAS versão 4.0 (US Army Corps of Engineers, 2006), considerando as vazões de dez e 100 anos de recorrência nas estações Barragem de Santana e Santanésia, informadas na tabela 3, considerando escoamento permanente e regime subcrítico. Os dados geométricos de entrada foram os correspondentes a 15 das 30 seções topobatimétricas disponíveis (Light, 2007), para o trecho inicial de extensão aproximada de 3km, sendo o trecho final simulado com características estimadas. No modelo as seções recebem uma numeração interna em ordem inversa à de entrada das seções (de montante para jusante) que resulta então crescente de jusante para montante. Os valores do coeficiente de Manning foram 0,03 para a calha principal e 0,035 para a planície de inundação, margens esquerda e direita, indistintamente. Nesta primeira aproximação não foram detalhadas as diversas pontes existentes sobre o rio Pirai.

Verifica-se na figura 10, que mostra os resultados da simulação para as vazões de dez anos de retorno, que em vários pontos as vazões extravasam a calha principal e escoam pela planície de inundação. O mesmo acontece para as vazões de 100 anos de retorno, com níveis mais altos representados por linhas verdes. Os números entre parênteses, na denominação das seções, são os originais do levantamento de campo. A seção 0 (zero) não tem denominação entre parênteses, pois não faz parte do levantamento, tem uma forma fictícia, aproximada com base na última seção levantada e considerando-se a declividade do trecho anterior adotada para a extensão de 8,5km de comprimento deste trecho final para determinar a cota do fundo da seção na foz. Esta seção precisará ser levantada em campo, assim como várias outras no trecho para o qual não há dados disponíveis.

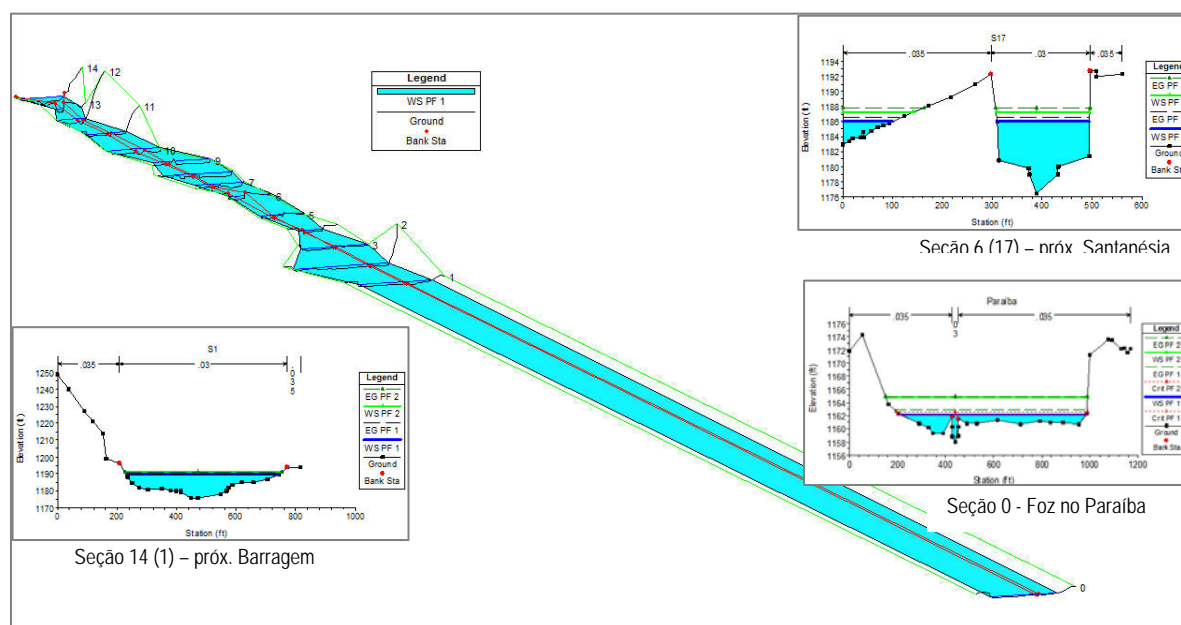


Figura 10 – Estirão do rio Pirai simulado para a vazão de dez anos de recorrência

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho é parte de um estudo em desenvolvimento no âmbito INEA/RJ para a bacia do rio Pirai, por solicitação da Prefeitura Municipal de Barra do Pirai, através da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Agricultura. Deve ser considerado como uma ilustração da metodologia proposta para estudar as questões do rio Pirai a jusante da barragem de Santana e um exercício com os dados disponíveis. Os resultados ora apresentados dão uma idéia do que poderá ser obtido após o levantamento de campo que se pretende realizar. Essa primeira simulação com o modelo HEC-RAS apresentou diversos avisos de erros, dados pelo relatório do programa, e praticamente todos sugeriam um maior detalhamento do trecho para solucionar o problema, com o acréscimo de seções transversais intermediárias.

Foi feito um esforço inicial de exploração dos dados disponíveis para a bacia do rio Pirai. Foram baixados todos os dados do Hidroweb da ANA e solicitados à Light os dados referentes às estações de sua responsabilidade, como fichas descritivas, seções transversais, históricos, medições de descarga líquida e sólida, níveis d'água, vazões e curvas-chaves, e ainda características hidráulicas e construtivas dos reservatórios. A Light atendeu completamente essa solicitação, entregando um enorme acervo digital, além de um levantamento topobatimétrico da calha do rio de parte do trecho estudado. Um aspecto notável de seus dados é que todas as estações estão referenciadas a um mesmo marco altimétrico, cuja cota relativa à altimetria do IBGE é conhecida. Este fato é importantíssimo para facilitar a modelagem para simulação da propagação de vazões.

Os estudos sugerem, preliminarmente, uma estimativa das vazões mínimas a serem mantidas no trecho mais degradado do rio Pirai - que se encontra assoreado e que recebe uma grande carga poluidora de esgotos sanitários. Com base nos dados disponíveis, também é possível estimar um valor para a vazão máxima de referência, correspondente a dez anos de recorrência, que seria usada para definir uma seção transversal ótima de projeto para dragagem. Essa seção ótima deveria conciliar o atendimento à legislação vigente com a realidade de ocupação atual da calha. A largura da seção que comporte a vazão de dez anos de recorrência ou a extensão de extravasamento desta é que definiria a largura da faixa marginal de proteção (FMP) a ser garantida com restrições de ocupação da planície de inundação do rio Pirai. No entanto, para se ter maior confiabilidade quanto aos resultados, em especial, quanto a cotas de inundação, será necessário um intenso trabalho de campo para complementar o levantamento topobatimétrico até a foz do rio Pirai no Paraíba do Sul, quando então será possível simular apropriadamente os níveis d'água ao longo da planície de inundação. Atualmente, a vazão máxima utilizada como restrição a jusante para a barragem de Santana em períodos de cheias é $10\text{m}^3/\text{s}$, informada na tabela 2, que é um valor inferior à média de longo período do histórico anterior à construção da barragem ($14,6\text{m}^3/\text{s}$). Essas condições de fluxo possivelmente contribuíram para a ocupação irregular da calha.

Propõe-se, ainda, uma adequação da rede de monitoramento com instalação de estações complementares, a reativação de algumas que já existiram e ou a modernização, com instalação de registradores automáticos de chuva e nível d'água, de outras que operam até os dias de hoje.

A rede hidrometeorológica da bacia do rio Pirai já foi razoavelmente densa, no entanto, atualmente, das 33 estações pluviométricas um dia existentes, há apenas dez em funcionamento, sendo todas elas estações instaladas ou modernizadas para atender à Resolução 396/1998 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o mesmo pode-se verificar quanto a estações pluviométricas. Essas estações são automáticas e telemétricas, mas seus dados não estão disponíveis na página eletrônica da ANA, para que se pudesse ter acesso direto a eles. Sabe-se que a ANA e o CT-Hidro (FINEP) vêm envidando esforços para desenvolver um sistema de banco de dados que contemplará o armazenamento e o tratamento dos dados de intervalo menor do que um dia e que, tão logo esteja finalizado, este sistema poderá receber os dados de estações automáticas de todas as entidades operadoras de rede.

AGRADECIMENTOS

À Light S.A., aos engenheiros Adalésio Guimarães e Oswaldo Pires, que forneceu a maior parte dos dados disponíveis para a realização destes estudos.

BIBLIOGRAFIA

- BRANDÃO, A. M. P. M.; SILVEIRA JUNIOR, D. R.; TAVARES, J. C. & DANTAS, M. E. (2000). “*Mapa de Isoietas do Estado do Rio de Janeiro. Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro*”, Brasília, CPRM-DEGET, mapa.
- CPRM (2002). “*Regionalização de Vazões da Sub-Bacia 58 – rio Paraíba do Sul*” – Convênio ANEEL/CPRM. Rio de Janeiro.
- IBGE (2006) – “*Base cartográfica digital escala 1:50.000*” – In www.ibge.gov.br .
- Light Energia (2007) – “*Projeto Executivo de Desassoreamento do Rio Pirai*”. Geoprojetos Engenharia Ltda.
- ONS (2008) – “*Diretrizes para as regras de operação de controle de cheias*” – bacia do rio Paraíba do Sul (ciclo 2008-2009). Rio de Janeiro.
- US Army Corps of Engineers (2006) – “*River Analysis System - HEC-RAS*”. - Users Manual. Versão 4.0.0 Beta. Hydrologic Engineering Center <<http://www.hec.usace.army.mil>>. Acesso em 19/03/2009.