



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

LUIZ ANTÔNIO BERNARDES FILHO

**IDENTIFICANDO TRECHOS HIDROLÓGICOS COM POTENCIAL PARA
RENATURALIZAÇÃO DAS FUNÇÕES HÍDRICAS EM RIOS RETIFICADOS:
ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO SÃO JOÃO, RJ**

Prof. Dr. RICARDO VALCARCEL

Orientador

SEROPÉDICA, RJ

Dezembro de 2017



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

LUIZ ANTÔNIO BERNARDES FILHO

**IDENTIFICANDO TRECHOS HIDROLÓGICOS COM POTENCIAL PARA
RENATURALIZAÇÃO DAS FUNÇÕES HÍDRICAS EM RIOS RETIFICADOS:
ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO SÃO JOÃO, RJ**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. RICARDO VALCARCEL
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
Dezembro de 2017

**IDENTIFICANDO TRECHOS HIDROLÓGICOS COM POTENCIAL PARA
RENATURALIZAÇÃO DAS FUNÇÕES HÍDRICAS EM RIOS RETIFICADOS:
ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO SÃO JOÃO, RJ**

LUIZ ANTÔNIO BERNARDES FILHO

Monografia aprovada em 01 de dezembro de 2017.

Banca Examinadora:

Ricardo Valcarcel
Prof. Orientador

Bruno Araújo Furtado de Mendonça
Titular

Marcelle Nardelli Baptista
Titular

DEDICATÓRIA

*À sociedade como um todo,
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pelas portas abertas e pela vivência proporcionada.

Ao Prof. Ricardo Valcarcel, pelos conhecimentos passados que levarei para a vida, e também aos Colegas do Laboratório de Manejo de Bacias Hidrográficas.

Ao Prof. Bruno Araújo Furtado de Mendonça, pela fundamental disposição em acrescentar ao trabalho.

Ao Programa Ciência sem Fronteiras e à Monash University, que permitiram expandir meus horizontes.

Aos meus pais e à minha irmã, pelo precioso e eterno apoio.

À Anna Fischer, por ter sido tão companheira de todos os momentos.

RESUMO

As planícies de inundação possuem relevante papel na regulação hídrica de bacias hidrográficas, pois quando se retifica rios, se rebaixa o lençol freático, mudando o ecossistema ripário e seu entorno, reduzindo a capacidade de administração hídrica dos ecossistemas calha e planície que interagem entre si. A renaturalização das funções hídricas de rios retificados consiste em identificar oportunidades de atuação para que as funções e formas das paisagens possam ser reassumidas, promovendo a laminação das cheias, recarga do lençol freático e melhorando o abastecimento de água. Este estudo levantou as premissas básicas do funcionamento hidrológico da bacia do rio São João, suas obras de retificação que aceleraram o esgotamento hídrico, assim como obras de represamento, que concentraram água, para então promover um diagnóstico, em primeira aproximação, dos locais com diferentes potenciais para receber obras/medidas de renaturalização em 85% da planície de inundação de 64.800 ha. A existência de áreas consolidadas por ações antrópicas inviabiliza ações de renaturalização, uma vez que essas áreas não podem ser inundadas. O mesmo ocorre nas zonas de intrusão salina, onde a cunha salina adentra a calha e seu entorno em função das oscilações diárias de maré. Trechos que foram seccionados longitudinalmente e que sofrem inundações periódicas como resposta à chuvas intensas, desde que não sejam urbanizados, apresentam alta possibilidade de serem usados para renaturalização.

Palavras-chave: serviços ambientais; funções hidrológicas; obras de drenagens; planícies de inundação; vegetação ripária.

ABSTRACT

Floodplains are said to play an important role on water regulation in watersheds. The process of rivers channelization impacts negatively on lowering the riverbed and consequently the watertable level, as well as changing the riparian ecosystem and reducing the control capability of natural ecosystems which interact in between river channel and floodplain. In this framework, renaturation of hydrological functions of channelized rivers consists in identifying opportunities for action so that the landscapes functions and forms can be reassumed, promoting the water table recharge and therefore improving the conditions of water supply for public, industrial, agricultural and livestock purposes. This study raised the basic premises of the hydrological functioning of the São João River Basin, its river channelling historic that accelerated the depletion of water resources, as well as damming works, which concentrated water, and thus promoted a diagnosis of sites with different abilities to receive renaturalization measures. The existence of consolidated areas by humans actions such as urbanization makes it nonviable to receive renaturation measures since these areas can no longer be flooded. It was similar for the saline intrusion zone, where the salt wedge enters the river streams and its surroundings depending on the daily tidal oscillations. River stretches that were sectioned longitudinally and that is under periodic flooding events in response to intense rainfall, as long as it is not urbanized, perform great possibility of being used for renaturation purposes.

Keywords: environmental services, hydrological functions, drainage works, floodplains, riparian vegetation.

SIGLAS

BHRSJ - Bacia Hidrográfica do Rio São João
CILSJ - Consórcio Intermunicipal Lagos e São João
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
PSA - Pagamento por Serviços Ambientais
SEMADS - Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Bacia hidrográfica limitada pelo divisor topográfico e drenada pelos seus tributários (<i>Louisiana Floodplain Management</i> , 2008).....	3
Figura 2: Zonas Hidrogenéticas em bacias hidrográfica (VALCARCEL, 2003).....	5
Figura 3: Indicações morfológicas do rio regulando a formação das condições de vida (BINDER, 2001).....	7
Figura 4: Processos geomorfológicos dominantes, adaptado de Gerrard (1992).....	8
Figura 5: Comparação entre a morfologia de um curso fluvial natural e modificado (SANDER <i>et al.</i> , 2012).....	12
Figura 6: Evolução de rio retificado para rio renaturalizado por meio da retirada de diques longitudinais nas margens (BINDER, 2001).....	15
Figura 7: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio São João no estado do RJ, adaptado de CILSJ (2010).....	18
Figura 8: Elevação da Bacia Hidrográfica do Rio São João (MELLO, 2007).....	19
Figura 9: Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio São João (MELLO, 2007).....	19
Figura 10: Relevo da Bacia Hidrográfica do Rio São João (MELLO, 2007).....	20
Figura 11: Distribuição variável das chuvas na Bacia Hidrográfica do Rio São João (MELLO, 2007).....	21
Figura 12: Médias climatológica do período de 1961 à 2009 para o município de Silva Jardim segundo INMET.....	22
Figura 13: Cobertura dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio São João (MELLO, 2007)....	22
Figura 14: Leitões antigos e retificados do rio São João (CILSJ, 2010).....	23

Figura 15: Dinâmica na entrada e saída da maré de dentro da calha do Rio São João, até a represa de Juturnaíba., adaptado de Benigno <i>et al.</i> (2003).	25
Figura 16: Obtenção da planície por geoprocessamento usando o <i>software</i> ArcGIS.	27
Figura 18: Leitos originais e retificados do Rio São João.	30
Figura 19: Perfil longitudinal do leito original.....	31
Figura 20: Perfil longitudinal do leito retificado.....	31
Figura 21: População residente e número de domicílios para o município de Cabo Frio segundo IBGE, Censo 1970/2010.....	33
Figura 22: Planície da Bacia do Rio São João com destaque para zona consolidada.	34
Figura 23: Trecho com uso consolidado.	35
Figura 24: Planície pequena e estreita na porção norte da bacia.....	36
Figura 25: Trecho dentre planície pequena e estreita.	36
Figura 26: Planície pequena e alargada na porção sudoeste da bacia.....	37
Figura 27: Trecho em meio ao planalto dissecado.	38
Figura 28: Planície da Bacia do Rio São João com destaque para zona de alta probabilidade de intrusão salina.	39
Figura 29: Zona de intrusão salina.	39
Figura 30: Planície da Bacia do Rio São João com destaque para zonas que não passaram por processo de retificação.	40
Figura 31: Leito original com função plena.	40
Figura 32: Planície da Bacia do Rio São João com destaque para zonas do entorno do reservatório.	41
Figura 33: Área no entorno do reservatório.	41
Figura 34: Planície da Bacia do Rio São João com destaque para zonas que não sofreram forte processo de retificação.....	42
Figura 35: Trechos com meandros ativos.	43
Figura 36: Possível ação que utilizaria de medida físico-biológica.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Mudanças nas feições geomorfológicas, resultantes das interações entre a dinâmica hidrológica e as diferentes zonas do perfil longitudinal do rio (ROCHA, 2011).....	8
---	---

Tabela 2: Sequência de sistemas fluviais e feições gerais que diferenciam os trechos (ROCHA, 2011).....	9
Tabela 3: Medidas de renaturalização de rios implementadas em bacias no mundo (BAPTISTA <i>et al.</i> , 2017).....	13
Tabela 4: Síntese das principais técnicas que utilizam de métodos vegetativos, adaptado de Durlo <i>et al.</i> (2005).....	16
Tabela 5: Síntese das principais técnicas que utilizam de método germinativo, adaptado de Durlo <i>et al.</i> (2005).....	17
Tabela 6: Municípios inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio São João, suas respectivas áreas e relação com a superfície total da bacia de acordo com IBGE (2000), citado por MELLO (2007).....	32
Tabela 7: Demanda hídrica para abastecimento humano na área de contribuição (a montante) e no Reservatório de Juturnaíba, segundo CILSJ (2010).....	32
Tabela 8: Características hidrológicas do Reservatório de Juturnaíba segundo Hora <i>et al.</i> (2008) e Noronha (2009).....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO	3
2.1 Manejo de Bacias Hidrográficas	3
2.2 Geomorfologia fluvial.....	6
2.3 Planícies de Inundação.....	9
2.4 Retificação de canais fluviais.....	10
2.5 Renaturalização de rios.....	12
2.6 Bacia do Rio São João	17
2.6.1 Localização.....	17
2.6.2 Ambiente Físico.....	18
2.6.3 Distribuição das chuvas e cobertura dos solos	20
2.6.4 Intervenções humanas no curso d'água.....	22
3 MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1 Área de estudo.....	23
3.2 Sensoriamento Remoto	26
3.2.1 Planície de Inundação	26
3.2.2 Leito original e leito retificado.....	27
3.3 Identificação de trechos	28
3.4 Suprimento de água para a região	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Planície de inundação	29
4.2 Planta atual com canal retificado.....	29
4.3 Dados de abastecimento atual e demanda hídrica para região.....	32
4.4 Setorização da planície	34
4.5 Potenciais locais para renaturalização	43
5 CONCLUSÕES	44
6 REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

O aumento da frequência de enchentes e de estiagens prolongadas evidenciados nas últimas décadas (FAULKNER, 2004) tem justificativa entre combinação dos efeitos das mudanças climáticas e o mal uso dos recursos naturais (TOCKNER *et al.*, 2010; VOROSMARTY, 2010). Estes eventos extremos tendem à aumentar suas magnitudes para o futuro próximo, pois os efeitos das mudanças climáticas (TOCKNER *et al.*, 2010) e a falta de articulação de políticas globais que engajem todos os países os tornam cada vez mais intensos, reduzindo a oferta de água de qualidade e quantidade desejada.

Ao mesmo tempo, as demandas pelos recursos hídricos aumentam a cada dia, considerando os efeitos do aumento populacional, onde um dos principais agravantes é a expansão desordenada da urbanização sobre as planícies de inundações. A maior contribuição para o aumento da ocorrência de enchentes tem como origem atividades humanas que promovem alteração do regime hidrológico, assim como sistemas fluviais com morfologia fortemente modificada, que perdem a capacidade de armazenar grandes volumes de água de enchentes (SCHOBER *et al.*, 2015). Enquanto isso, os danos e prejuízos causados são partilhados pela sociedade na forma de passivos ambientais.

Neste contexto, as planícies de inundação desempenham importante papel no armazenamento de água e regulação do regime hidrológico da bacia, uma vez que interagem com o leito do rio e participam do processo de laminação de cheias durante a saturação do solo (MELLO, 2007). Sendo assim, possuem capacidade de controle do regime das cheias, conferindo reservatórios naturais de perenização das estiagens principalmente no período mais seco do ano, caracterizado por baixas precipitações pluviométricas (VALCARCEL, 1989; CUNHA, 1995; BAYLEY, 1995).

Devido a proximidade das planícies de inundação dos corpos d'água, a baixa declividade e os solos férteis, estas áreas são vistas como atrativos principalmente à agricultura e urbanização (SCHOBER *et al.*, 2015). Para suprir os interesses humanos, obras de mudanças e retificação de rios tem por objetivo, dentre outros propósitos, o controle artificial da vazão dos rios para o controle de enchentes, erradicação de doenças, assim como a transformação de ambientes frequentemente saturados em áreas propícias às atividades de agricultura e pecuária (CUNHA, 1995).

Na prática, a retificação é um processo no qual os rios são artificialmente modificados na sua forma através do aprofundamento e/ou alargamento da calha fluvial e da retirada de

meandros, alterando sobremaneira, a forma e o perfil longitudinal dos canais, o que interfere diretamente e indiretamente em todo o sistema fluvial da bacia (ASSUMPTÃO, 2012).

No entanto, tais alterações de natureza antrópica na hidrologia e morfologia dos rios demonstram as consequências de como se dá o manejo dos recursos hídricos, à nível de bacia hidrográfica, principalmente no que tange à obras de engenharia sobre o ambiente biofísico da bacia. Como consequência pode-se citar o aprofundamento da calha, a erosão das margens e consequentemente o rebaixamento do lençol freático (ASSUMPTÃO, 2009).

Sob o aspecto da conservação das planícies de inundação e manejo desses ecossistemas, a prática de retificações de rios envolve uma série de impactos os quais são oponentes ao desenvolvimento socioeconômico e ambiental, tais como a perda destes habitats e consequentemente de áreas inundáveis, perda de espécies que preferem viver tanto nas áreas inundadas quanto em águas correntes e desaparecimento de espécies sensíveis (CUNHA, 1995). Para reduzir os efeitos negativos, é fundamental que haja uma gestão integrada dos riscos de inundações através de medidas que se utilizem da conservação e restauração de planícies de inundação (SCHOBER *et al.*, 2015).

Embora as técnicas de renaturalização das funções hídricas de rios retificados sejam pouco difundidas no Brasil, o contrário pode ser observado em países como Estados Unidos, Canadá, Austrália e países europeus como: Inglaterra, Alemanha, França, Suécia, Escócia, República Tcheca e Dinamarca, onde existem exemplos de aplicações bem sucedidas. Segundo Binder (2001), a renaturalização de rios trata-se de uma possibilidade de evitar prejuízos para a população e oferecer compensações por eventuais impactos advindos de certos usos.

Como exemplos de renaturalização de grandes e importantes rios no mundo pode-se mencionar o Rio Sena na França, o Rio Anacostia nos Estados Unidos, também o Rio Tâmisa em Londres, o Rio Isar na Alemanha e o Danúbio, que atravessa 19 países europeus. A decisão de recuperá-los renaturalizando suas funções hídricas, nos faz repensar a eficiência do modelo convencional de obras estruturais como barragens e diques, uma vez que já se mostraram ser vulneráveis e parcialmente ineficientes durante eventos catastróficos (SCHOBER *et al.*, 2015).

A planície de inundação do Rio São João está situada nas zonas geomorfológicas de origem flúvio-marinha, que recebe influências na sua formação tanto do mar como das serras e seus tributários. Na década de 60, o rio passou por sucessivas retificações com o objetivo de controlar as enchentes, expandir as terras agricultáveis, assim como evitar a proliferação de doenças propagadas por vetores que dependem de ambientes alagadiços (CUNHA, 1995). O

que foi tido como uma solução no passado, atualmente se transformou em um problema, visto que toda a região que depende deste manancial está sofrendo com a escassez de água para o abastecimento da região dos Lagos, com alto incremento populacional nos períodos de verão e veraneio.

Visto isso, o presente estudo busca identificar trechos hidrológicos com potencial para implantação de medidas de renaturalização de funções hídras em canais de bacia que sofreu rebaixamento do lençol freático a partir de obras de retificação de drenagem.

2 REVISÃO

2.1 Manejo de Bacias Hidrográficas

As bacias hidrográficas, limitadas pelos divisores de água, representam uma ferramenta de análise fundamental para o manejo da água no sistema (VALCARCEL, 1998), por se constituir uma superfície de coleta e recipiente de armazenagem da precipitação, no qual a água e sedimentos são transportados até seu exutório. Este material segue para outro curso, lago e oceano (Figura 1). Sua utilização em estudos ambientais tem sido sugerida por muitos autores (VALCARCEL, 1988; CICCIO *et al.*, 1999; e PIRES *et al.*, 2002), tendo em vista que o uso dos recursos hídricos e ocupação do solo, interagem entre causa e efeitos na bacia hidrográfica.

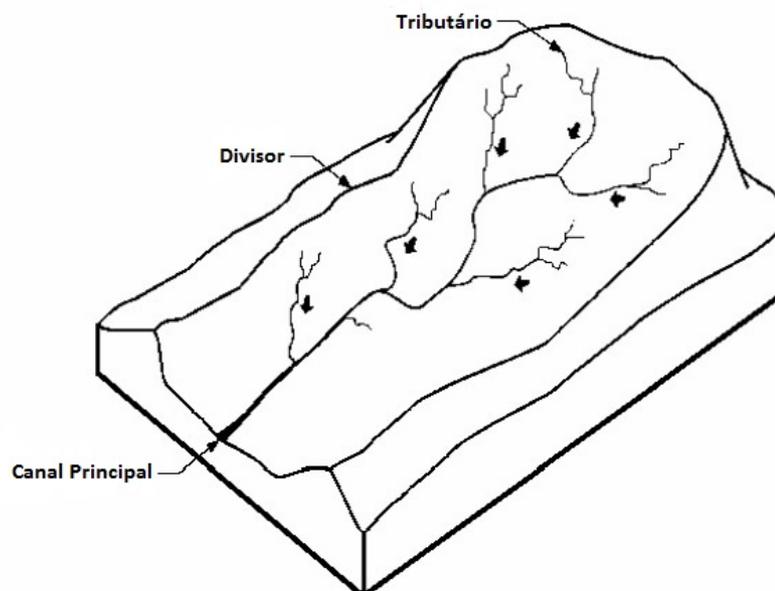


Figura 1: Bacia hidrográfica limitada pelo divisor topográfico e drenada pelos seus tributários (*Louisiana Floodplain Management*, 2008).

As bacias hidrográficas cobertas por vegetação florestal em alto grau de conservação, podem ser consideradas mananciais de água de elevada qualidade para os vários usos que a ela se dá (ARCOVA *et al.*, 1997), visto que a cobertura florestal original promove a proteção

contra a erosão dos solos, sedimentação, aquecimento excessivo da água e a lixiviação de elementos químicos, além da regularização do regime de vazão dos rios.

Portanto, sabe-se que a magnitude do desempenho destes serviços ecossistêmicos de natureza hidrológica está intrinsecamente relacionada à integridade dos ecossistemas, ou seja, à resiliência do sistema em se recuperar das ações e impactos ali decorrentes. Ecossistemas ajustados evolutivamente possuem melhor capacidade para assimilar a oferta de serviços ambientais disponível (MELLO, 2007). Sendo assim, é fundamental que se discuta a quantificação e a valoração destes serviços, como aliados ao uso racional dos recursos hídricos e ao desenvolvimento socioeconômico e ambiental.

De acordo com De Groot (1992), estes serviços ecossistêmicos, ou serviços ambientais, é dito como as interações e processos naturais que satisfazem e sustentam a vida humana. Dentre estes serviços, segundo Tonhasca (2004), pode-se citar o controle de erosão e sedimentação através da retenção solo, controle de distúrbios climáticos, proteção de habitats, controle de doenças e pragas, e fonte de material genético. Similarmente, os serviços de natureza hidrológica envolvem funções as quais se pode citar a proteção do solo contra impacto da gota de chuva, redução da susceptibilidade à erosão, infiltração de água no solo, redução dos riscos de cheias e deslizamentos, regulação do fluxo hidrológico, e outras variáveis que interferem no suprimento hídrico de qualidade (VALCARCEL, 1985).

Com os recentes desafios advindos da degradação ambiental, aumento da demanda de abastecimento de água nas cidades, manejo incorreto dos recursos hídricos e mudanças climáticas, fica cada vez mais evidente a dependência das condições naturais para oferta de serviços ambientais. Se no passado estes serviços apresentavam pequenos ou nenhum significado, recentemente esse quadro tem sido revertido para o conhecimento das implicações para com a conservação dos recursos naturais (EDWARDS *et al.*, 1998).

Segundo Valcarcel (1988) e Alves (2000), através de uma abordagem acerca do zoneamento hidrogenético em bacias hidrográficas, levando em consideração a vocação hidrológica dos setores que compõem a bacia, é possível identificar três diferentes zonas hidrogenéticas descritas a seguir (Figura 2).

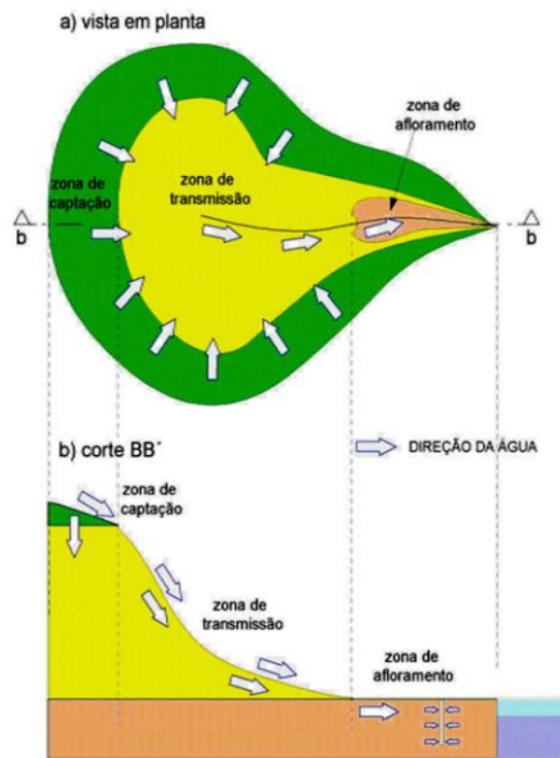


Figura 2: Zonas Hidrogenéticas em bacias hidrográficas (VALCARCEL, 2003).

- **Zona de captação (infiltração)** - áreas que constituem os divisores topográficos e platôs, de relevo relativamente suave, onde impera a variável infiltração, responsáveis pela recarga do lençol freático, devendo portanto ser conservadas, ou seja, mantidas sob vegetação nativa.
- **Zona de transmissão (escoamento)** - localiza-se logo abaixo da zona de recarga, constituindo terrenos de considerável declividade e potencial erosivo, predominando portanto o escoamento superficial. São as principais fontes de sedimentos difusos com potencial para provocar assoreamento e aumento de turbidez dos corpos d'água, exigindo, portanto o emprego de técnicas conservacionistas que estimulem a infiltração.
- **Zona de afloramento (sedimentação)** - responsável pela regulação hídrica, constitui-se de áreas mais baixas no perfil topográfico. São as planícies fluviais, de inundação, ou ainda várzeas, onde o nível do lençol freático está próximo à superfície e frequentemente aflorando. predominando o processo de sedimentação por deposição. Deve-se atentar à viabilidade de instalação de infra-estruturas e urbanização, bem como a prática de agricultura no período das cheias apesar da alta aptidão para a atividade.

No que tange ao aspecto físico desta unidade estrutural, a análise de bacias hidrográficas deve fundamentar-se na escolha de parâmetros capazes de vir a explicar significativamente o comportamento, em termos físicos, desse sistema. Visto isso, destacam-se aqueles voltados às análises dos componentes hidrológicos e geomorfológicos (IBGE, 2009).

2.2 Geomorfologia fluvial

Na condição de se trabalhar com os rios, tentando entender os processos de criação e ajustes de suas formas e como eles alteram seu comportamento buscando a estabilidade natural do sistema, se faz importante entender os processos geomorfológicos atuantes, utilizando como escala a bacia hidrográfica, pois segundo Binder (2003) as indicações morfológicas do rio determinam a formação das condições de vida (Figura 3).

Para melhor elucidar a dinâmica entre as relações solo-relevo, o clássico modelo teórico dos processos geomorfológicos contemporâneos dominantes de Dalrymple *et al.* (1968) estabelecem um modelo de vertente composto por nove unidades, que podem estar parcialmente ausentes, ou repetidas. São elas o topo, terço superior, terço inferior, terço médio, ombro, meia encosta, escarpa, sopé de transporte e sopé de deposição. O modelo em questão (Figura 4) enfatiza as interações entre os materiais do solo e sua movimentação, transporte e redeposição pela água e gravidade ao longo do perfil.

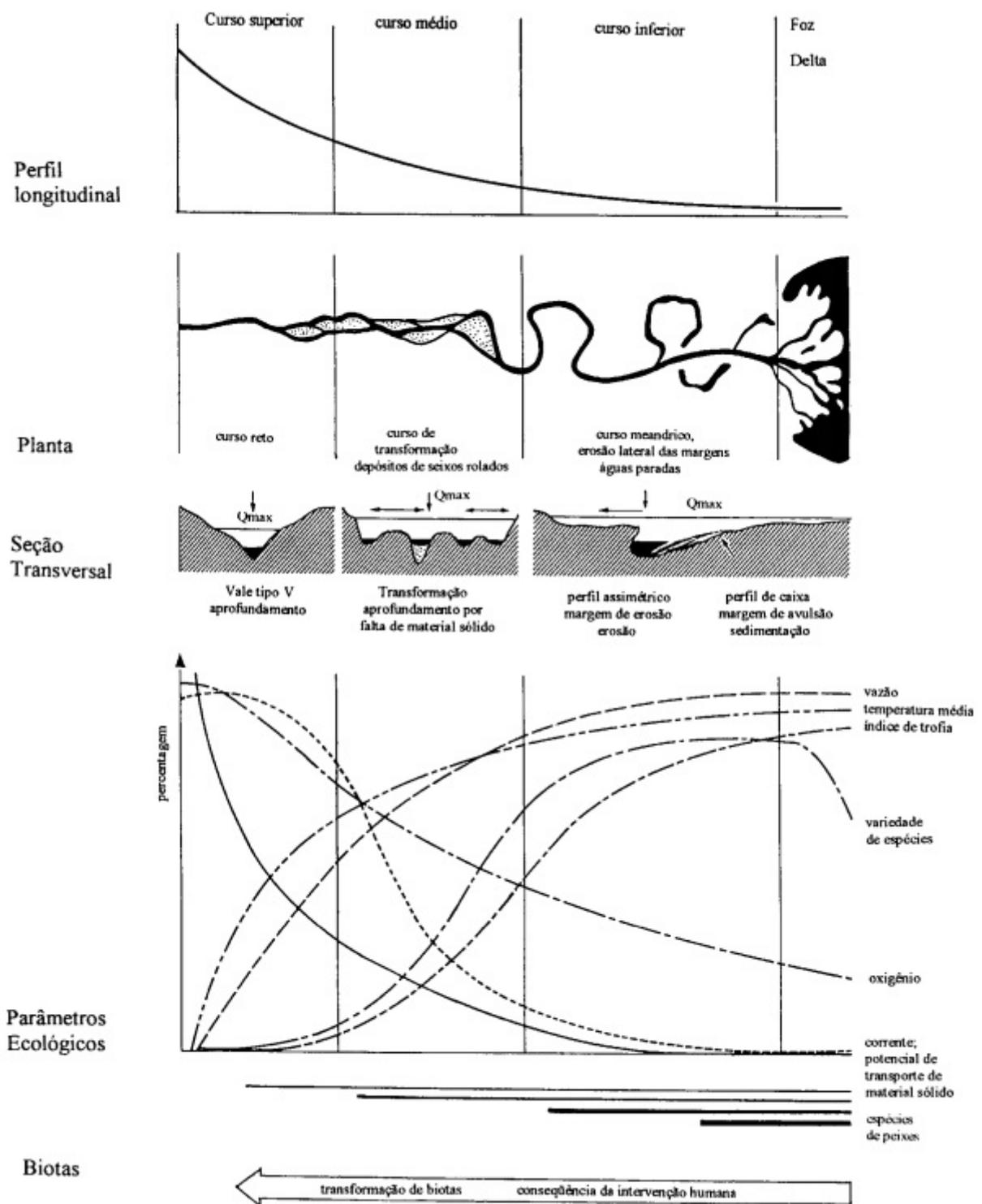


Figura 3: Indicações morfológicas do rio regulando a formação das condições de vida (BINDER, 2001).

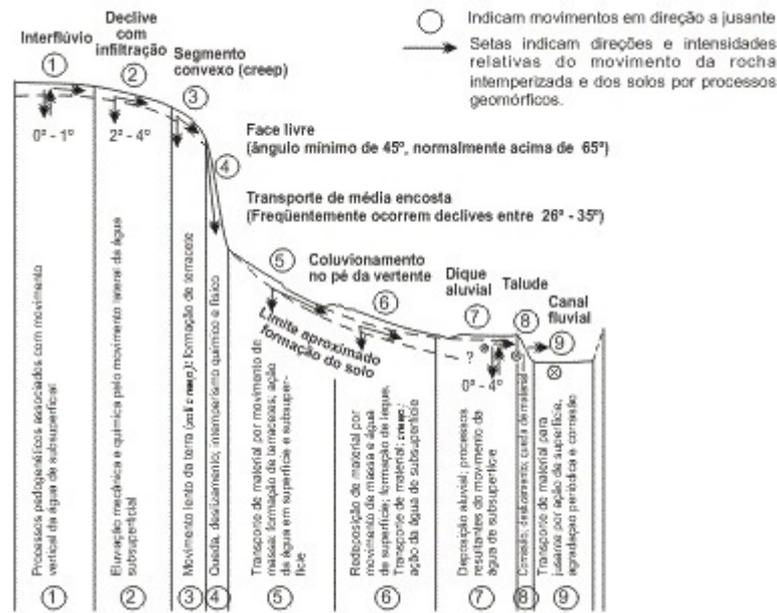


Figura 4: Processos geomorfológicos dominantes, adaptado de Gerrard (1992).

Os fatores físicos que determinam a organização dos processos de transporte, erosão e sedimentação presentes na água, combinam-se diferentemente ao longo da bacia de drenagem, produzindo distintos padrões de canais fluviais (CHRISTOFOLETTI, 1981), que podem ser classificados de acordo com sua geometria. Um único rio pode assumir diferentes formas em seu percurso, alternando vários tipos de canais. Os principais tipos são: encaixado, entrelaçado, meandrante e entrelaçado (Tabela 1). A sinuosidade é o principal parâmetro e resulta de uma combinação de fatores, tais como descarga, fluxo hidráulico, gradiente do terreno, natureza e granulometria dos sedimentos transportados e, sobretudo, da relação entre a carga de fundo e material em suspensão (IBGE, 2009).

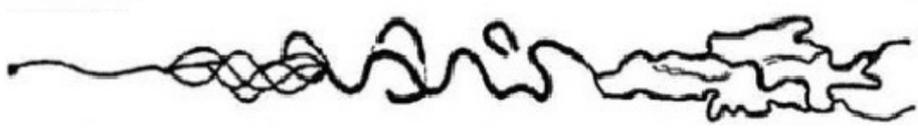
Tabela 1: Mudanças nas feições geomorfológicas, resultantes das interações entre a dinâmica hidrológica e as diferentes zonas do perfil longitudinal do rio (ROCHA, 2011).

	ENCAIXADO	ENTRELAÇADO	MEANDRANTE	ANAMOSTOSADO
PARÂMETRO				
SUPERFÍCIE DO CANAL	BAIXA	ALTA	MÉDIA	MÉDIA
ÁREA : DESCARGA	> veloc	> larg	> profund	> profund
ÁREA NUNDADA	PEQUENA	MÉDIA	GRANDE	GRANDE

Ainda segundo IBGE (2009), um rio do tipo meandrante descreve curvas sinuosas em regiões de gradiente moderadamente baixo. A descarga é relativamente contínua e regular, possuindo um único canal que transborda no período de chuvas. O perfil transversal do canal

é assimétrico em função do processo de erosão na margem côncava e de deposição na margem convexa. Segundo Rocha (2011), quando associado a extensas planícies de baixo gradiente hidráulico, constituídas predominantemente por sedimentos mais finos, a sinuosidade do canal é elevada e sua capacidade de migração se eleva à medida que o rio procura adaptar seu curso às variações de descarga, aproveitando a amplidão lateral que a extensa planície oferece (Tabela 2). Em virtude disto, surgem inúmeras feições correlacionadas à migração dos canais, resultantes tanto de processos erosivos como de processos de acumulação.

Tabela 2: Sequência de sistemas fluviais e feições gerais que diferenciam os trechos (ROCHA, 2011).

	Cabeceira de Drenagem	Trecho Entrelaçado	Trecho Meandrante	Trecho Anastomosado
				
Padrão de Canal	canal único	canais múltiplos	canal único	canais múltiplos
Estabilidade do Canal	confinado (encaixado)	altamente instável	migrante	estável
Desenvolvimento da Planície de Inundação	pequena ou inexistente	moderada	expansiva	extensa e estável
Vegetação nas Áreas Alagáveis	estreito corredor ripariano	comunidade de pioneiras	estágio de pioneiras à maturo	estágio de pioneiras à maturo
Habitat Aquático	lótico	lótico e semi-lótico	lótico, semilótico e lântico	lótico, semilótico e lântico
Vias de Interação				

Christofolletti (1990) enfatiza que os meandramentos realizados pelo canal fluvial em sua planície de inundação são um artifício usado pelos rios de modo que possam se evadir da bacia com menor e melhor gasto de energia. Eles também envolvem a segregação estratificada de sedimentos grosseiros dos finos, transportando-os em função da energia do canal até a tranquilização, ou seja, até onde a sua capacidade de arraste permite.

2.3 Planícies de Inundação

Segundo Christofolletti (1980) as planícies de inundação, são a faixa do vale fluvial sujeita a inundações periódicas, constituindo-se de uma superfície relativamente uniforme,

recoberta com materiais depositados pelas cheias em épocas distintas, onde se processam trocas de água entre a calha do rio e margens das áreas adjacentes. Desempenham um papel importante no balanço hídrico, modificando substancialmente o transporte de água e de sedimentos advindos das encostas de captação e transmissão da bacia hidrográfica (FRAPPART *et al.*, 2005).

De acordo com Mello (2007), é o local onde hidrológicamente se verifica a laminação das cheias e onde se processa os mecanismos de troca de água dos rios, de modo que nos períodos de cheia a água inunda estas planícies, satura os solos e recarrega os lençóis freáticos, de maneira a acumular e liberar nos períodos de estiagem (HAMILTON, 2002; FRAPPART *et al.*, 2011), onde os mecanismos são invertidos, fazendo com que parte da reposição das vazões sejam de contribuição destas áreas (CHRISTOFOLETTI, 1980; VALCARCEL, 1998), contribuindo assim para regularização hídrica e perenidade da vazão (FIGUEROA, 1996). São ainda ditas essenciais para a melhora da qualidade da água pelo fato de reterem substâncias tóxicas, mitigando processos erosivos de margens, reduzindo assoreamento nas calhas, e constituindo refúgio de fauna (FIGUEROA, 1996).

Neiff (2003) enfatiza que pequenos movimentos horizontais da água nas planícies e transversais ao leito, durante a troca de água entre a planície e o leito do rio, constituem gradientes hidráulicos pequenos, mas que vem a formar centenas de quilômetros inundados de superfícies que possuem diferentes profundidades.

Do ponto de vista de um sistema interligado, a capacidade de erosão das margens de um rio, assim como o transporte e deposição de sedimentos dependem, entre outros fatores, da vazão e da natureza das correntes fluviais, o que reflete em uma condição natural de equilíbrio do canal fluvial (BRENNER, 2016). Qualquer modificação de natureza antrópica rompe com esta estabilidade, repercutindo de imediato nas condições de erosão, transporte e deposição até chegar a uma nova condição de reajuste de equilíbrio (CHRISTOFOLETTI, 1980).

As modificações no uso do solo através dos desmatamentos e do aumento das superfícies impermeáveis, como também, as constantes mudanças na morfologia dos canais, através de obras de engenharia, vêm alterando drasticamente os cursos dos rios urbanos (VIEIRA *et al.*, 2008).

2.4 Retificação de canais fluviais

Segundo Assumpção *et al.* (2012), a retificação de canais fluviais trata-se de um processo no qual os rios são artificialmente modificados através do aprofundamento e/ou alargamento da calha fluvial e da retirada de meandros, de maneira a alterar a forma em planta

e o perfil longitudinal dos canais, o que vem então a interferir direta e indiretamente no sistema fluvial da bacia como um todo.

A retificação, ou canalização de canais, é um processo que já foi realizado em várias bacias hidrográficas de diferentes partes do mundo com o intuito, de maneira geral, de facilitar ou propiciar a navegação fluvial, controlar as cheias, tornar a várzea agricultável, viabilizar a construção de barragens, assim como melhorar a drenagem de zonas pantanosas de forma à contribuir para a eliminação de focos de possíveis doenças (CUNHA, 1995), tal como a malária.

Muitos são os benefícios, dessas obras para as regiões onde são realizadas, em termos urbanos, mas conseqüentemente inúmeros impactos negativos sobre os sistemas ambientais e fluviais podem ser observados. As possibilidades de modificações naturais dos cursos d'água passam a ser fortemente limitadas em rios retificados e mantidos por obras hidráulicas (BINDER, 2001).

Conforme Vieira *et al.* (2005), a retificação do leito de um rio implica em que, para uma mesma energia potencial, o rio percorra um percurso menor. Assim, muitos efeitos são percebidos, no que diz respeito à modificação no comportamento natural do rio (Figura 5), como a redução do perfil do rio e aprofundamento do leito, interrupção da conexão entre o leito e a planície de inundação, perda de sinuosidade do canal, modificações no padrão de drenagem, alterações no regime das descargas, no padrão de escoamento, na velocidade dos fluxos, elevação dos picos de descargas nos tributários, bem como aumento da carga de sedimentos, diminuição da rugosidade do leito, aumento da erosão nos afluentes ocasionado pelo abaixamento do nível de base, além da perda ou destruição de *habitats* naturais, da mata ciliar e de mangues, entre outros impactos (KELLER, 1978; BROOKES, 1988; CUNHA, 1995; BINDER, 2001; TUCCI *et al.*, 2003).

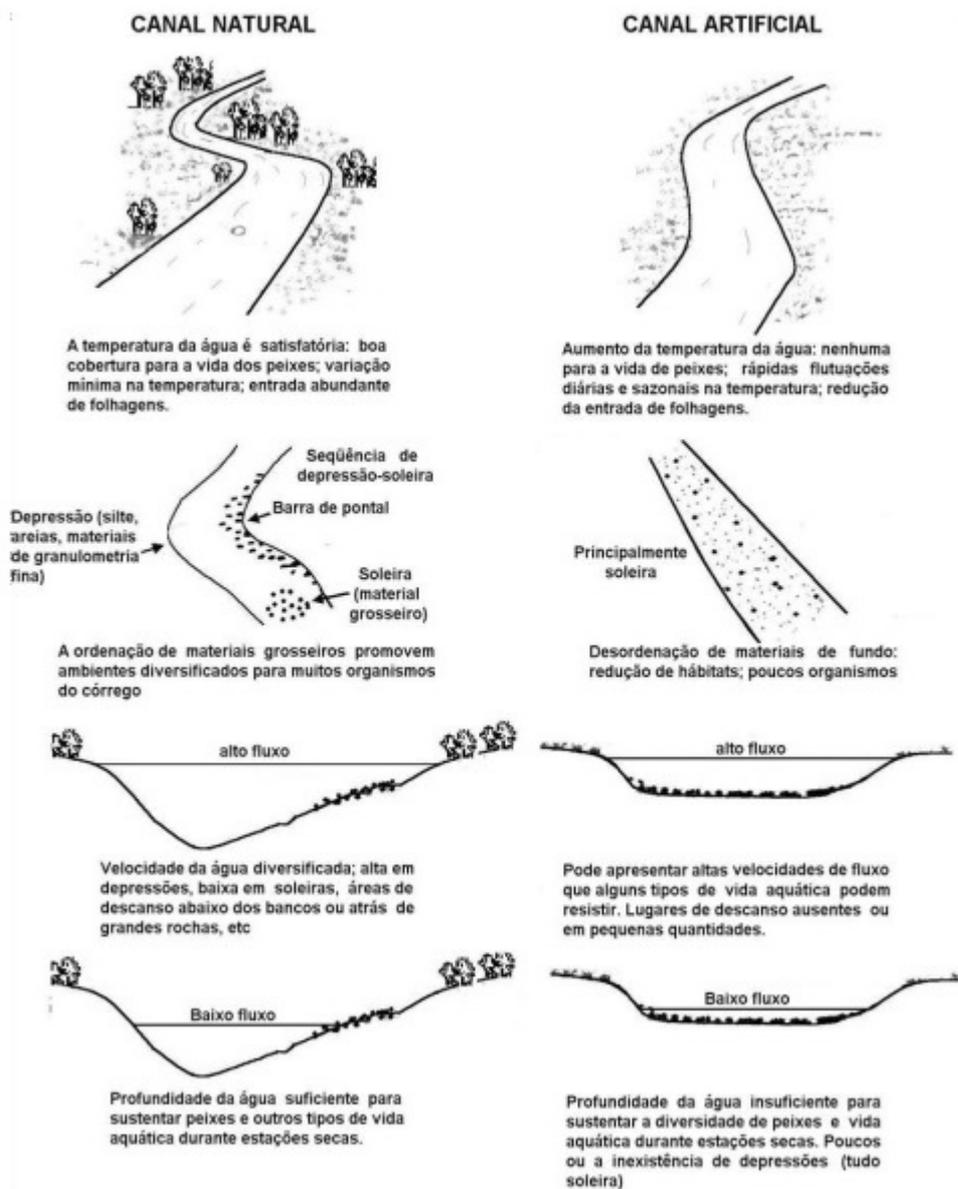


Figura 5: Comparação entre a morfologia de um curso fluvial natural e modificado (SANDER *et al.*, 2012).

2.5 Renaturalização de rios

Na tentativa de potencializar as funções hidrológicas e os serviços ecossistêmicos providos pelas planícies de inundação, a renaturalização de rios não significa a volta a uma paisagem ao seu estado original, não influenciada pelo homem. Corresponde a retomada de um novo estado próximo ao funcionamento hidrológico normal, porém com sustentabilidade dos rios e da paisagem em conformidade com os níveis de antropização existentes (BINDER, 2001), uma vez que a proposta de renaturalização diz respeito ao processo de trazer aos rios a condição mais natural possível para uma paisagem fortemente antropizada através do manejo regular ou de programas de renaturalização e conservação das áreas naturalmente inundáveis impedindo usos que inviabilizem tais funções (BROOKS, 1988; BINDER, 2001).

Rios são considerados naturais quando não poluídos e quando possuem capacidade natural de modificar seu leito e curso, ou seja, quando possuem dinâmica de fundo, dinâmica de margens e dinâmica de áreas de inundação (BINDER, 2001). Após a retificação qualquer mudança natural passa a ser limitada.

A implementação do processo de renaturalização de rios exige profundos conhecimentos a respeito da sua dinâmica morfológica (BINDER, 2001). Nesse contexto, atualmente em diversos países (Tabela 3) já se buscam o estudo ambiental interdisciplinar, de várias áreas do conhecimento, para a recuperação de bacias hidrográficas degradadas a partir da renaturalização dos rios (BINDER, 1998), assim como a condução participativa do processo (SAUNDERS *et al.*, 2006).

Ainda segundo Saunders *et al.* (2006), são indicadas algumas medidas gerais imprescindíveis para renaturalização, tais como buscar a morfologia natural dos rios, arborizar e/ou estabelecer a vegetação espontânea ripária, a continuidade dos cursos d'água para fauna migratória, locais para desova e biótipos aquáticos, entre outras medidas. A renaturalização pode depender de muitos fatores, inclusive da intensidade e extensão do esquema de retificação.

Tabela 3: Medidas de renaturalização de rios implementadas em bacias no mundo (BAPTISTA *et al.*, 2017).

Referência	Rio/País	Área da bacia (Km ²)/Extensão do canal (km)	População (milhões)	Atividades de Renaturalização
Baldwin, 2004	Anacostia/EUA	200/40	1,1	Remoção de plantas exóticas/ invasoras, reflorestamento, recuperação de áreas inundáveis
Poudevigne, 2002	Sena/França	100.000/70.000	7,6	Revitalização através de pagamento por serviços ambientais
Duranel, 2007	Thames/Inglaterra	130.000/5.330	30	Monitoramento biológico, renaturalização de canais e diques artificiais, aumento das áreas inundáveis para ambiente de recreação
Binder, 2010	Isar/Alemanha	9.000/270		Remoção de diques artificiais, controle de vazão, aumento da capacidade de retenção de água através da renaturalização de planícies de inundação
Lamers, 2006	Rheine/Alemanha, Holanda, Suíça e França	200.000/1320	58	Redução de processos erosivos, remoção de diques, recuperação de áreas inundáveis
Riquier, 2015 Schiemer, 1999	Danúbio/União Européia (19 países)	801.000/2.850	81	Restauração hidromorfológica, proteção contra enchentes, redução das fontes de poluição

Binder (2001) afirma que a renaturalização envolve entre outros benefícios os de natureza hidrológica, como a regulação hídrica, administradas no leito original em interação com as planícies de inundação, sendo potencializadas em suas funções, ou seja, captando e armazenando nos períodos de chuva e liberando nos períodos da seca, reduzindo assim a ocorrência de enchentes, os efeitos das estiagens prolongadas e restaurando os ecossistemas ripários e adjacentes, incluindo fauna e flora, as rotas de migração dos peixes, assim como melhora na qualidade e quantidade de água ao longo do ano, restauração do valor recreacional do rio, além da queda na poluição gerada por erosão e sedimentos.

Sutuli (2004) afirma que a aplicação de pequenas medidas físicas, de forma a intervir no leito original e no canal retificado, acompanhadas ou não por medidas vegetativas (Figura 6), pode levar a alteração de características do sistema fluvial como a velocidade da água e processos erosivos sobre o leito, controlando assim os processos fluviais e proporcionando um direcionamento do sistema à renaturalização.

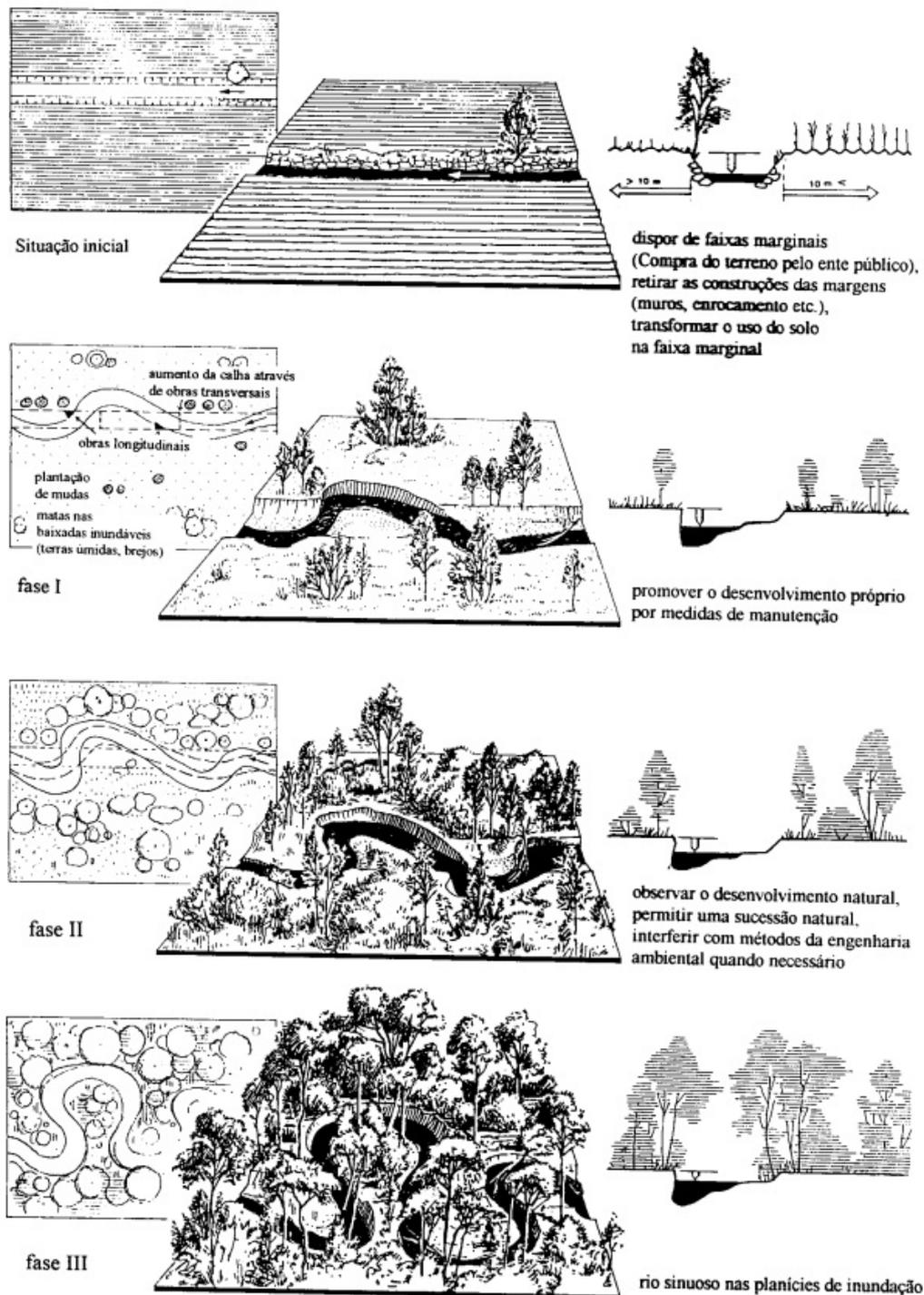


Figura 6: Evolução de rio retificado para rio renaturalizado por meio da retirada de diques longitudinais nas margens (BINDER, 2001).

O uso de medidas de renaturalização pode se dar por meio de obras estruturantes tanto dispostas transversalmente como longitudinalmente ao leito. Segundo Durlo (2005), estas medidas compostas com outras medidas consolidantes, que podem ser biológicas ou físico-biológicas, ou seja, que combinam métodos germinativos com métodos vegetativos e materiais inertes compõem um cenário de reabilitação de rios (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4: Síntese das principais técnicas que utilizam de métodos vegetativos, adaptado de Durlo *et al.* (2005).

Métodos vegetativos		
Nome	Breve descrição	Característica principal
Estacas	Estacas simples, com cerca de 40cm, que são cravadas no talude.	Fácil implementação, preparo e transporte do material vegetal. Resultados menos imediatos. As estacas podem ser facilmente levadas pela força da água.
Feixes	Ramos longos, amarrados, formando feixes. São usados parcialmente enterrados e fixados com estacas e pedras, dispostos ao longo da margem.	Além do efeito normal, esperado pelo desenvolvimento da vegetação, produz imediatamente uma proteção física. É a forma ideal para ser usada dentro dos vãos das estruturas de madeira.
Banquetas	Degraus transversais à inclinação do talude são preenchidos com estacas que são, por vezes, presas com madeiras e/ou pedras e cobertas com solo.	Ideal para taludes artificiais, como os que resultam da construção de estradas, e onde se queira criar um efeito de retenção dos sedimentos que descem da encosta.
Esteiras	Ramos no seu máximo comprimento são dispostos acompanhados a inclinação do talude e com as suas bases dentro da água, firmemente presas por pedras e/ou troncos. Pilotos de madeira ou varas de bambu ou arame são usados para fixar os ramos contra o talude, coberto por uma fina camada de solo.	Restringe-se a taludes fluviais e requer uma grande quantidade de material vegetal. Quando possível de ser implantado, produz os efeitos protetivos mais rápidos. Muito eficiente em taludes nos quais a força da água é de impacto frontal. Logo após a implantação já suporta tensões muito altas.
Tranças	Ramos longos tem suas bases encravadas no solo e são trançados entre pilotos.	Produz ótimos efeitos quando usado para proteger a linha da água em pequenos cursos e para reter sedimentos em taludes que não sofram impacto frontal da água.
Leivas	Leivas, normalmente de gramíneas, são transplantadas para a área, que é completamente recoberta, ou o plantio pode ser feito em faixas ou quadrículas.	Pode produzir um efeito estético e de proteção quase imediato. É caro e não muito importante para taludes fluviais de grande instabilidade.

Tabela 5: Síntese das principais técnicas que utilizam de método germinativo, adaptado de Durlo *et al.* (2005).

Métodos germinativos		
Nome	Breve descrição	Característica principal
Sementes	Sementes são lançadas manualmente sobre o talude, previamente modelado.	Suficiente para locais com pequena inclinação. Em taludes fluviais, é normalmente uma medida complementar.
Geotêxteis	Malhas construídas com restos culturais ou fibras vegetais degradáveis são impregnadas de sementes e adubos, e fixadas com estacas contra o talude.	Uma das alternativas mais caras, mas produz estabilização rápida. Pode ser usada em taludes muito íngreme e bastante degradados.
Hidrosemeadura	Sementes são misturadas à água, cola e adubo e lançadas mecanicamente sobre o talude.	Método dispendioso técnica e economicamente. Rápido e fácil de ser implantado quando se dispõe dos meios.
Mudas	Mudas são produzidas em viveiros e, quando adquirem o tamanho ideal, são plantadas no talude.	É importante para as espécies que não se reproduzem vegetativamente bem.

Deve-se atentar, todavia, que a escolha das medidas à serem utilizadas, assim como a capacidade de recuperação do sistema fluvial, estarão intrinsecamente relacionada à resiliência deste sistema assim como ao nível de modificação sofrido.

2.6 Bacia do Rio São João

2.6.1 Localização

A Bacia Hidrográfica do Rio São João (BHRSJ) situa-se na região centro - norte do Estado Rio de Janeiro, sudeste do Brasil (Figura 7), entre as coordenadas 22° 50'S e 42° 00'W. Localiza-se na Mata Atlântica, tendo em sua porção mais a montante, ao norte, o corredor da serra do Mar, estendendo-se até o litoral Atlântico. De acordo com o Consórcio Intermunicipal Lagos São João (CILSJ, 2017), a BHRSJ compreende uma superfície de 2.160 km² e perímetro de 266 km, abrangendo 8 municípios, alguns integralmente e outros parcialmente. Segundo Relatório do CILSJ a BHRSJ está inserida na Região Hidrográfica VI do Estado do RJ (antiga Macrorregião Ambiental IV – Decreto N° 26.058/2000).

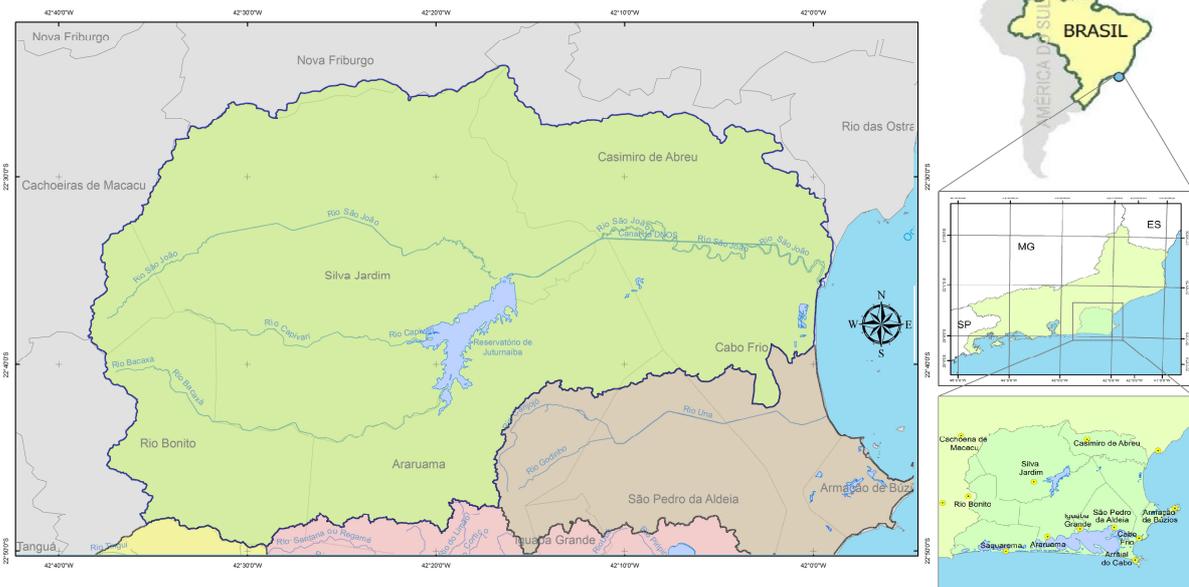


Figura 7: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio São João no estado do RJ, adaptado de CILSJ (2010).

2.6.2 Ambiente Físico

São registrados diferentes domínios morfoesculturais, uma vez que a porção norte da bacia caracteriza-se por apresentar relevo montanhoso e escarpado. Na porção oeste, encontra-se o planalto dissecado, onde o Rio São João nasce, na Serra do Sambê, a 800m de altitude, e percorre uma pequena seção dentre vale encaixado. Após, adentra os vales alargados e colinas do tipo meia laranja, percorrendo a extensa planície flúvio-marinha, passando pelo reservatório de Juturnaíba, e seguindo até o litoral onde deságua no Oceano Atlântico (CUNHA, 1995).

Destaque para as vazões dos afluentes da margem esquerda do Rio São João, a montante do reservatório de Juturnaíba, que são expressivamente maiores quando comparados aos demais trechos da bacia (MELLO, 2007), além de apresentarem melhor qualidade (BIDEGAIN *et al.*, 2003), resultando em regimes fluviais perenes com vazões altas no verão e baixas no inverno (CUNHA, 1995).

Também, a ampla e contínua planície costeira, ou baixada litorânea, que ocupa aproximadamente $\frac{1}{3}$ da área de toda a bacia, sofrendo uma interrupção abrupta à medida que se aproxima a faixa de altitudes mais elevadas da bacia, dando lugar às escarpas da Serra do Mar, onde atinge altitudes superiores à 1700 m (Figura 8) e declividades acima de 45 graus (Figura 9).

Segundo o Consórcio Intermunicipal Lagos São João (2010), o relevo é composto por: serras (21%), planaltos (13%), colinas (32%), baixadas (30%) e restinga (4%). As formas mais detalhadas da paisagem se encontram espacializadas na Figura 10.

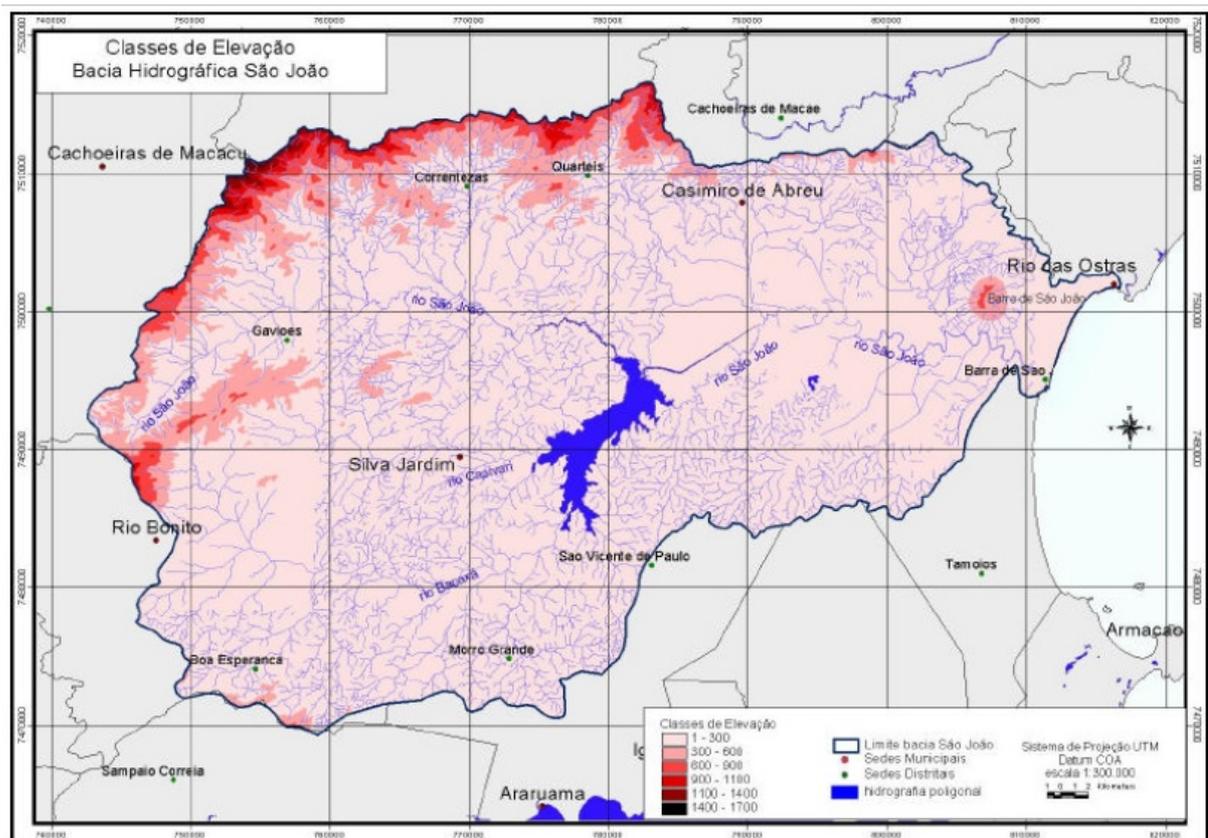


Figura 8: Elevação da Bacia Hidrográfica do Rio São João (MELLO, 2007).

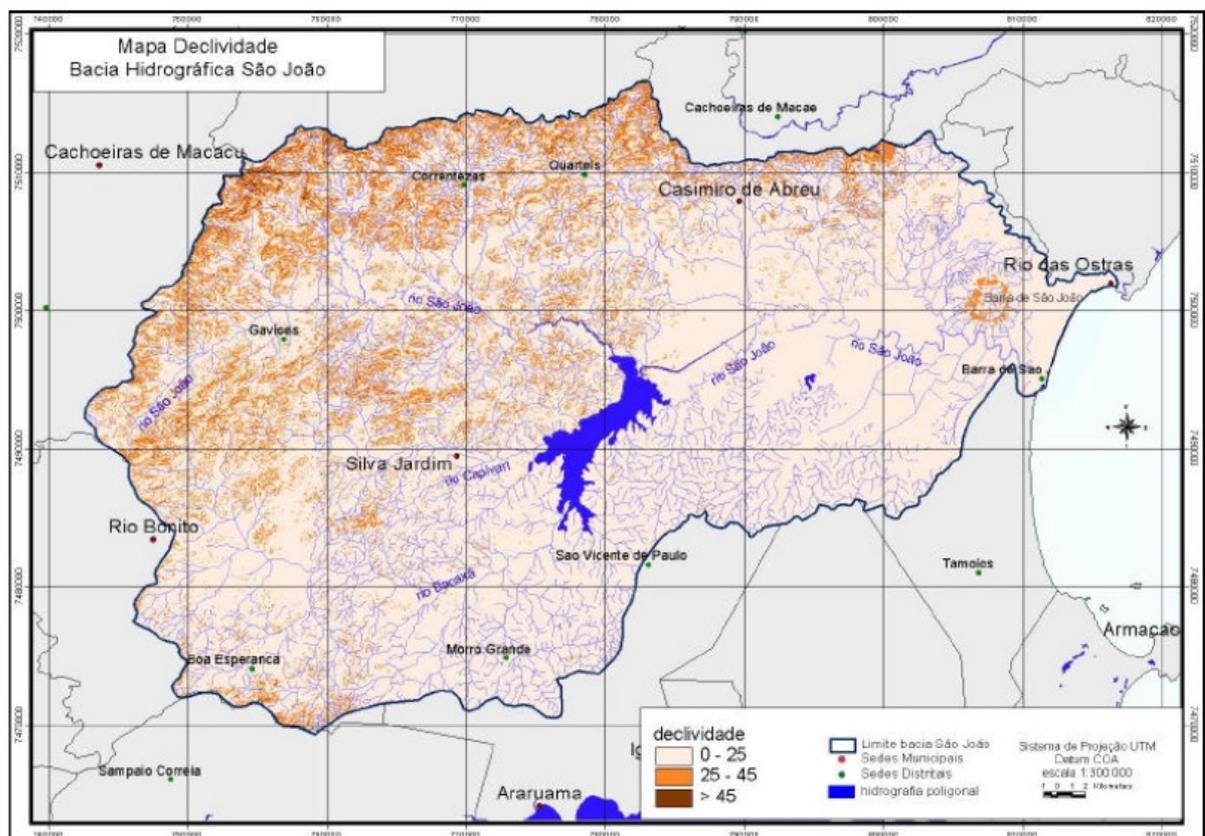


Figura 9: Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio São João (MELLO, 2007).

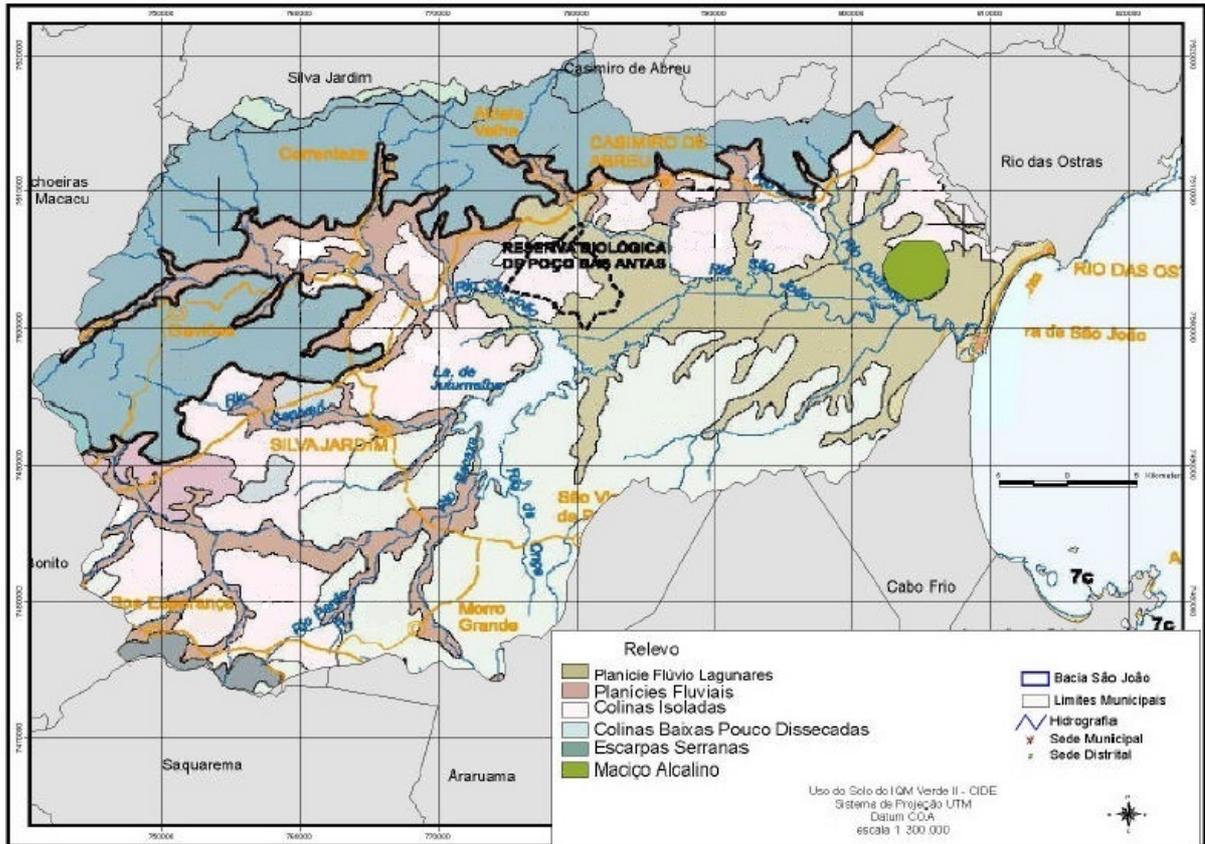


Figura 10: Relevo da Bacia Hidrográfica do Rio São João (MELLO, 2007).

2.6.3 Distribuição das chuvas e cobertura dos solos

A precipitação influi diretamente na lâmina de água do rio (BENIGNO *et al.*, 2003) e do ponto de vista hidrológico, este elemento climático tem grande importância na determinação das quantidades de água disponível para a infiltração, escoamento superficial e evapotranspiração (CUNHA, 1995). Esta variável apresenta distribuição variável ao longo da bacia (Figura 11), da parte mais litorânea e seca, até o interior mais úmido à medida que aproxima da parte norte da bacia, observada a influência das chuvas orográficas nos contrafortes da Serra do Mar.

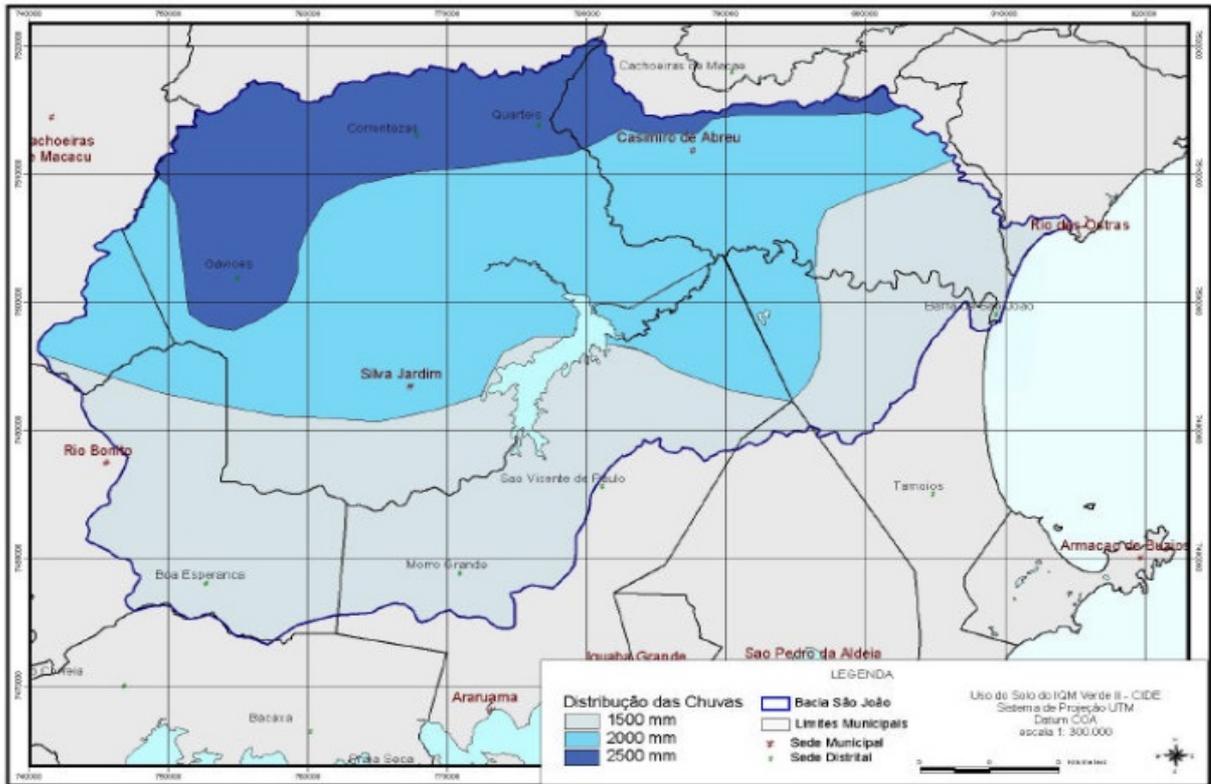


Figura 11: Distribuição variável das chuvas na Bacia Hidrográfica do Rio São João (MELLO, 2007).

O relevo escarpado da Serra do Mar limita a porção norte e noroeste da bacia e apresenta regime de chuvas onde a precipitação atinge o índice de 2.500 mm anuais ou ainda superior. Nessa porção da bacia existem, em maior proporção, a presença de remanescentes florestais contínuos de Mata Atlântica, apresentando fitofisionomias em estágio de sucessão avançada, como é o caso da Floresta Ombrófila Densa e Floresta Pluvial Montana e Baixo Montana (IBGE, 2012). Logo abaixo, na faixa em que as precipitações variam entorno de 2.500 mm anuais, é possível encontrar em relevo montanhoso, fragmentos de Floresta Pluvial Baixa Montana em estágio de sucessão secundária. Nas colinas verifica-se um alto grau de fragmentação, que se intensifica à medida que se aproxima da planície fluvial, onde a cobertura é escassa e há predomínio de pastagens e agricultura (Figura 13). O município de Silva Jardim se localiza próxima à confluência destas duas últimas faixas e tem a distribuição de chuvas ao longo do ano apresentado na Figura 12. A faixa em que a precipitação é inferior à 2.000 mm anuais compreende o setor sul da bacia, além da porção leste da bacia onde são encontrados na planície lagunar poucos remanescentes de restinga e mangue, restrito aos meios salobros (CUNHA, 1995).

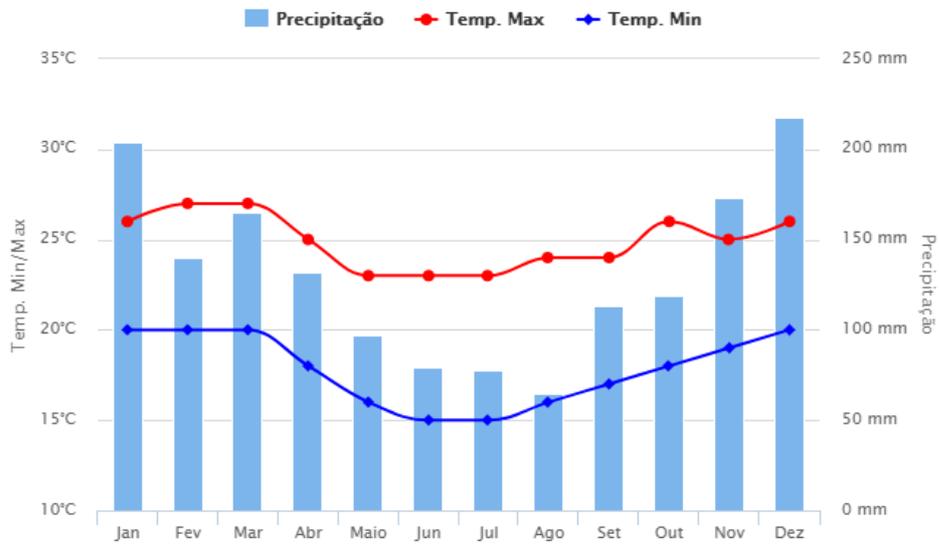


Figura 12: Médias climatológicas do período de 1961 à 2009 para o município de Silva Jardim segundo INMET.

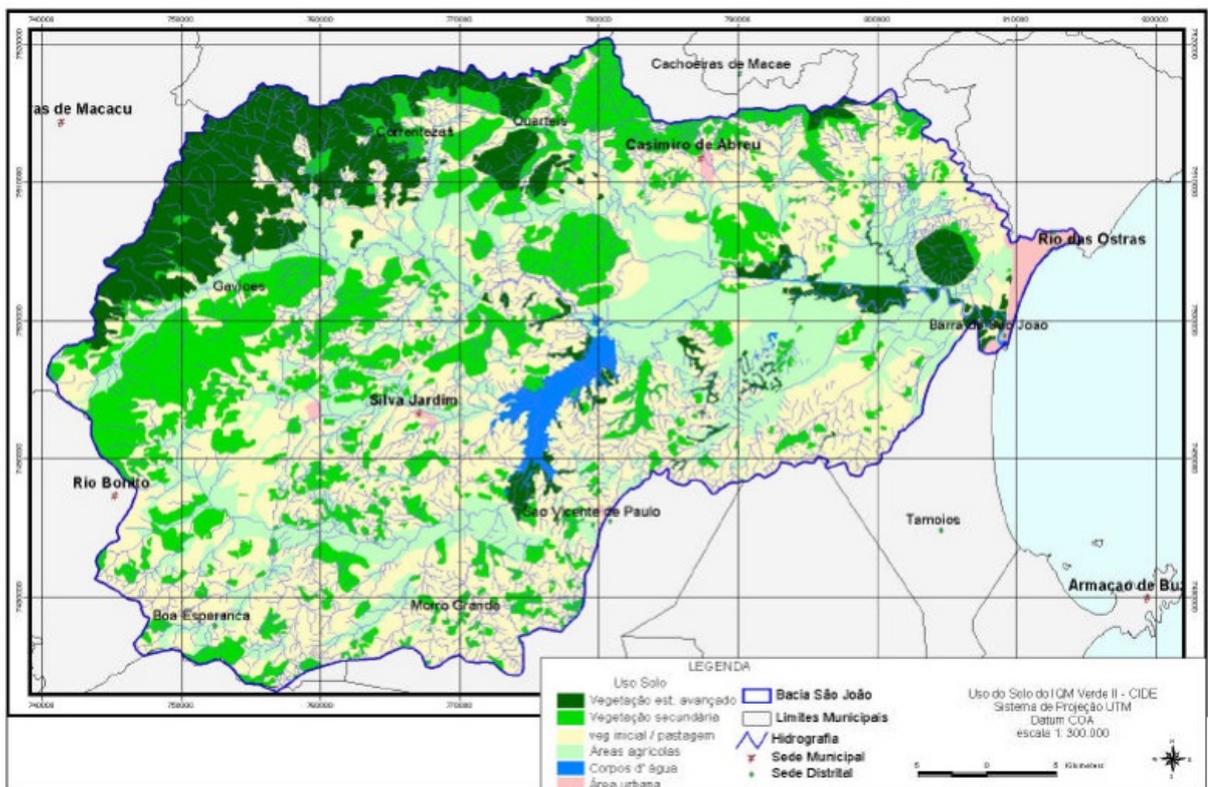


Figura 13: Cobertura dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio São João (MELLO, 2007).

2.6.4 Intervenções humanas no curso d'água

Segundo Cunha (1995), a BHRSJ teve seu ecossistema fluvial alterado, tanto pelas sucessivas retificações ao longo de seu curso principal e os baixos cursos de seus afluentes mais a montante, com os consequentes alargamento e aprofundamento de seus leitos que iniciaram na década de 60 com o objetivo de erradicar os mosquitos, vetores de doenças relacionadas a malária, e abrir novas frentes de agricultura nas áreas brejosas, concentrando o

armazenamento de água no reservatório de Juturnaíba, construído entre 1978 e 1984 com o plano de ampliar o abastecimento público de água na região e entorno.

As planícies destes rios sempre se apresentaram consideravelmente vulneráveis à ocorrência de enchentes e, de modo consequente, à proliferação de mosquitos transmissores de doenças (CUNHA, 1995; ASSUMPCÃO *et al.*, 2012). De fato, as obras de retificação dos canais principais da bacia vieram a reduzir substancialmente os problemas relacionados a doenças e saneamento nas baixadas, assim como permitiu a instalação e manutenção da agropecuária na região através de canais de drenagem. Contudo, as enchentes persistiram até os dias atuais e, além delas, o assoreamento do reservatório de Juturnaíba ameaçam o futuro da região, uma vez que prejudica e limita a captação de águas para as cidades abastecidas.

Estas obras são anteriores às exigências da legislação brasileira sobre os impactos ambientais, não tendo sido realizados os estudos prévios a respeito do ambiente. Como consequência disso, a bacia sofre impactos da construção da barragem de Juturnaíba e das sucessivas retificações do canal do rio São João sobre o ambiente (Figura 14), em especial no que se refere aos aspectos hidrológicos, micro-climáticos, geomorfológicos, bióticos, sociais e econômicos. Ainda segundo Cunha (1995), com a supressão da vegetação nativa que deu lugar a atividades produtivas, ainda com as sucessivas obras de drenagens e retificação de rios, o lençol freático foi drasticamente rebaixado gerando reflexos no balanço hídrico local, sendo comum as cheias repentinas causadoras de distúrbios ou passivos ambientais.



Figura 14: Leitões antigos e retificados do rio São João (CILSJ, 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

As planícies de inundação da Bacia do Rio São João constituem uma unidade morfoescultural que compreende um conjunto de baixadas aluviais, planícies flúvio-marinhas

e flúvio-lagunares, que ocupam extensas áreas baixas encontradas próximo ao litoral, assim como os baixos cursos dos principais canais que deságuam diretamente no oceano, como os rios São João, Macaé e Itabapoana. Essas baixadas são caracterizadas por uma sedimentação de interface entre ambientes continentais e marinhos, ou ainda transicionais e foram originadas pelas flutuações do nível relativo do mar durante o Pleistoceno Superior e o Holoceno por uma interação de processos fluviais, lagunares e marinhos (IBGE, 2009). Localizam-se de forma abrangente junto à linha da costa e adquire expressão ao longo do curso do Rio São João (CPRM, 2000).

As planícies flúvio-marinhas do rio São João são áreas de inundação, possuem relevo plano e dinâmica condicionada ao regime pluviométrico e à oscilação das marés. Os declives dominantes são inferiores à 1%, exceto nos altos cursos, em especial nas colinas do tipo meio laranja, quando chegam a atingir 6% de declividade (CUNHA, 1995). São comuns os rios divagantes, com uma série de meandros abandonados e colmatados, denotando uma dinâmica instável do leito, ou seja, sujeito às mudanças de condições do escoamento, com inundações periódicas. Essas áreas de acumulação de sedimentos, contrabalançam a erosão promovida nos altos cursos dos rios, de maneira a detê-los nas largas planícies de inundação, nas margens convexas dos meandros e nos bancos marginais dos leitos.

A planície fluvial localizada a montante do reservatório de Juturnaíba, abrange os principais rios da bacia do Rio São João, sendo eles o Rio São João, Rio Capivari e Rio Bacaxá. Sofre influência direta do regime de chuvas das áreas escarpadas ao norte da bacia, principalmente das microbacias dos afluentes do lado esquerdo do Rio São João, aonde as precipitações ultrapassam os 2.500 mm, podendo atingir até 5.000 mm anuais em alguns pontos isolados. Estas áreas exercem importante função hidrológica em bacias hidrográficas visto seu efeito regulatório sobre os recursos hídricos oriundos das encostas de captação e transmissão, mas que após a substituição da Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas por atividades produtivas, em destaque a pecuária e, ainda, com as sucessivas obras de drenagens e retificação de rios, o lençol freático foi fortemente rebaixado gerando reflexos no balanço hídrico local, sendo comum as cheias repentinas causadoras de distúrbios (MELLO, 2007).

Ainda segundo Mello (2007), trata-se do local onde hidrologicamente se verifica a laminação das cheias e onde se processa os mecanismos de troca de água dos rios, de modo que nos períodos de cheia a água inunda estas planícies, satura os solos e recarrega os lençóis freáticos de modo a acumular água para liberá-la nos períodos de estiagem, onde os mecanismos são invertidos, ou seja, parte da reposição das vazões sejam de contribuição destas planícies de inundação. A grande extensão da planície aluvial, de baixa declividade e

constantemente sujeita a inundações, resultam numa enorme capacidade natural de armazenamento.

Por outro lado, as planícies flúvio-lagunares, localizadas a jusante do reservatório de Juturnaíba até a foz do Rio São João no Oceano Atlântico, estão submetidas a precipitações expressivamente inferiores ao encontrado a montante do reservatório, chegando a uma média de 1.500 à 2.000 mm anuais. Assim como a montante do reservatório, a cobertura florestal nativa foi fortemente substituída pela pecuária e agricultura de irrigação, restando poucos remanescentes de matas ciliares, que estão em avançado estágio de sucessão ecológica (MELLO, 2007).

Ainda, estas planícies se encontram expressivamente consolidadas pelos diversos usos e atividades que ali tomaram lugar, como a urbanização, além de estarem sob influência do controle artificial de vazão realizado pela barragem do reservatório de Juturnaíba. Como agravante, existe a influência da flutuação da maré, e o processo de intrusão salina (Figura 15), fruto da alteração da dinâmica hidrológica da bacia, em específico o uso impróprio do solo da planície de inundação e obras de retificação realizadas no Rio São João, mas que segundo Benigno *et al.* (2003) não é tão significativa.

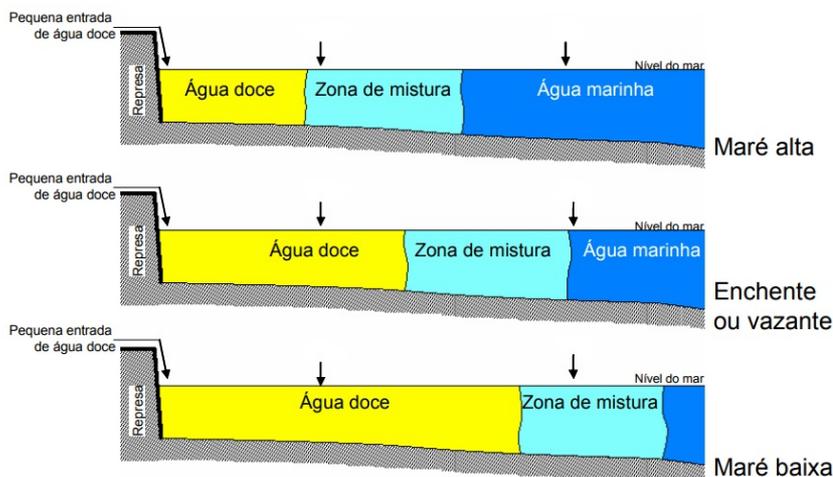


Figura 15: Dinâmica na entrada e saída da maré de dentro da calha do Rio São João, até a represa de Juturnaíba., adaptado de Benigno *et al.* (2003).

Conforme afirmado por Mello (2007), a descaracterização da planície a jusante do reservatório somado ao seu regime hídrico, apontam para um quadro de baixo desempenho de serviços ambientais hidrológicos e, portanto, ações que se façam nesta área não poderão ser sentidas diretamente pela sociedade, também considerando que a captação de água para seu abastecimento se dá a montante.

3.2 Sensoriamento Remoto

Foram analisadas quatro cenas do satélite ALOS (*Advanced Land Observing System*), sensor de imageamento PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*), referentes ao ano de 2016. As imagens possuem resolução espectral de 12,5m e foram obtidas através do banco de dados do ASF (*Alaska Satellite Facility*), disponibilizadas pela NASA no endereço eletrônico <<http://www.earthexplorer.usgs.gov>>. Estes dados referem-se a dados altimétricos obtidos por radar.

O programa ArcGIS 10.2.1 foi usado na análise e elaboração dos mapas da bacia. As imagens foram georreferenciadas para o sistema de projeção UTM, *datum* WGS84 Zona 23S.

3.2.1 Planície de Inundação

O fluxograma a seguir (Figura 16) demonstra o passo-a-passo para obtenção das áreas de planície da Bacia do Rio São João, através do *software* ArcGIS 10.2.1.

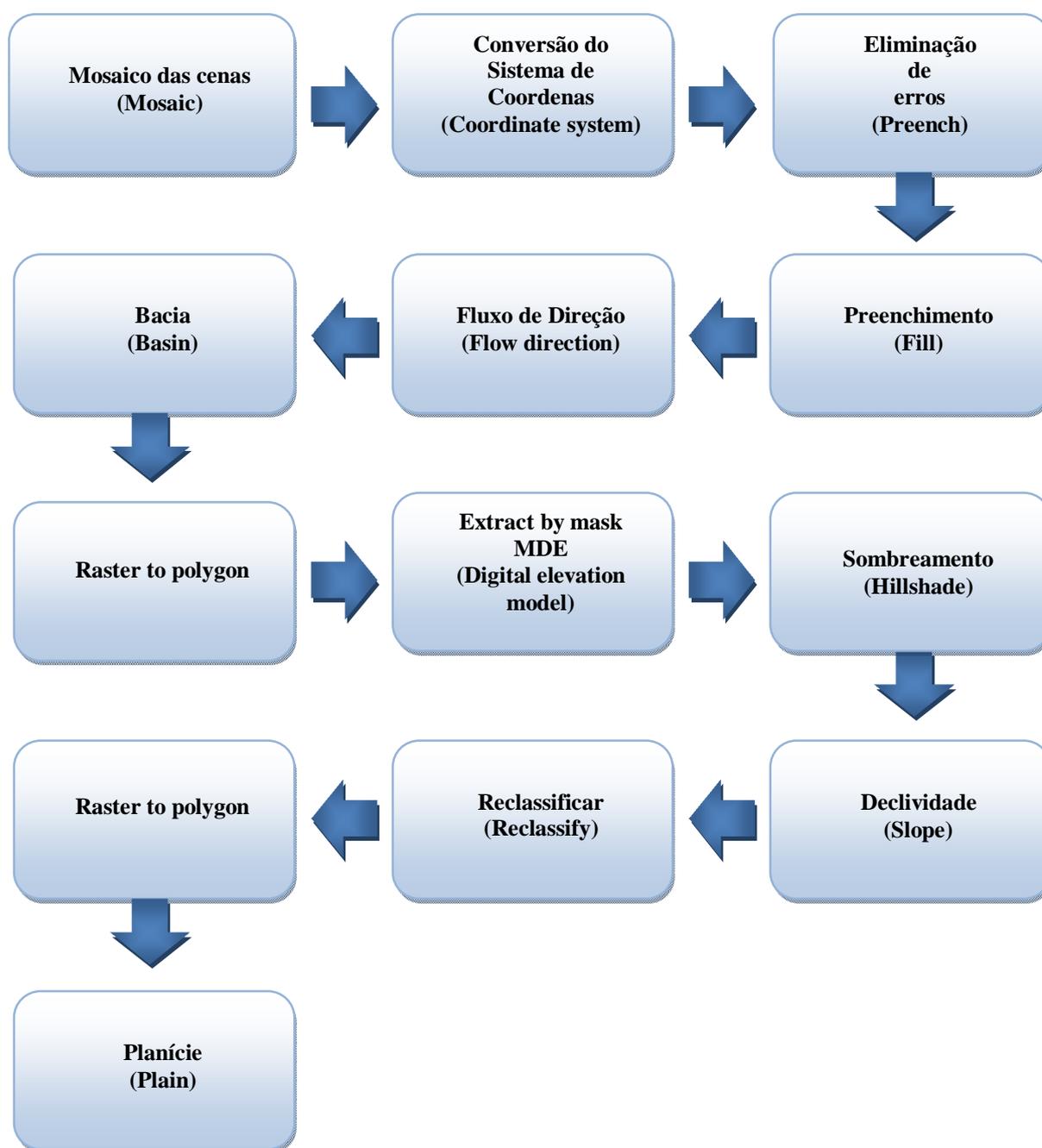


Figura 16: Obtenção da planície por geoprocessamento usando o *software* ArcGIS.

3.2.2 Leito original e leito retificado

A obtenção do traçado original do leito do rio foi feita tendo como base nas informações sobre hidrografia do IBGE, na escala 1:50.000. Os dados pós-retificação foram obtidos a partir do delineamento manual no programa ArcGIS, interpretando visualmente os elementos cartográficos que compõem a paisagem, em especial o leito do rio após processo de retificação, a partir do banco de imagens de alta resolução do ArcGIS.

A partir dos dados originais e retificados do leito, se trabalhou a construção dos perfis longitudinais usando a ferramenta '3D Analyst', levantando-se as mudanças de forma e tamanho, e inferindo sobre a dinâmica dos sedimentos, velocidade de fluxo e vazão. Também, foram levados em consideração os processos de reajustamento do canal retificado e estimados os impactos das obras de retificação no rebaixamento do lençol freático.

3.3 Identificação de trechos

A identificação dos trechos hidrológicos com potencial para implantação de medidas de renaturalização de funções hídras nos canais da Bacia do Rio São João foi feita baseando-se em critérios funcionais, ou seja, procurando constatar quais são as zonas que ainda resguardam atributos ambientais para desempenhar funções hidrológicas similares aquelas que desempenhavam antes do processo de retificação.

A planície foi setorizada em função dos seguintes critérios funcionais, no que tange ao funcionamento hidrológico: a) Áreas com uso consolidado (urbanização, estradas, barragens, drenos, terraplanagem, etc.); b) Áreas com alta probabilidade de se verificar o fenômeno de intrusão salina; c) Áreas que exerçam influência direta ao reservatório de Juturnaíba; d) Trechos que não sofreram retificação; e) Trechos que sofreram intensos processos de retificação.

O regime hídrico, tamanho e forma das planícies, frequência de saturação, meandros ativos abandonados, assim como facilidades e dificuldades dos processos construtivos do canal em função da operacionalidade de máquinas pesadas (dragas) foram incluídas nas análises dos setores.

A partir desse conjunto de fatores e tipos de setores se delimitou os polígonos circunscritos a cada tipo de área. Assim, pôde-se descrever os cenários, ilustrar algumas planícies contidas em cada uma das zonas encontradas utilizando-se da confecção de cortes transversais, e espacializá-las, a fim de realizar o diagnóstico teórico.

3.4 Suprimento de água para a região

As demandas de água foram feitas a partir dos dados do CILSJ, assim como os dados de oferta de água para o abastecimento público, dentre outras atividades principais que dependem expressivamente do suprimento de água, tais como indústrias e irrigação de plantios agrícolas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Planície de inundação

A planície de inundação compõe cerca de 64.800 ha da área total da BHRSJ, sendo portanto a forma predominante de relevo da região, que condiciona as paisagens da bacia (Figura 17).

Como a regulação hídrica em bacias grandes se realiza a partir das planícies (CHRISTOFOLETTI, 1980), isto evidencia a sua importância para a produção hídrica, sendo indispensável a adoção de medidas de planejamento ambiental sustentáveis por parte das autoridades que atuam na parte de produção hídrica.

Como a sociedade que compartilha os usos não tem a real dimensão da importância hídrica da bacia e de sua planície, manejo, uso e ocupação dos solos, estas práticas acabam por influir negativamente na produção de recursos hídricos.

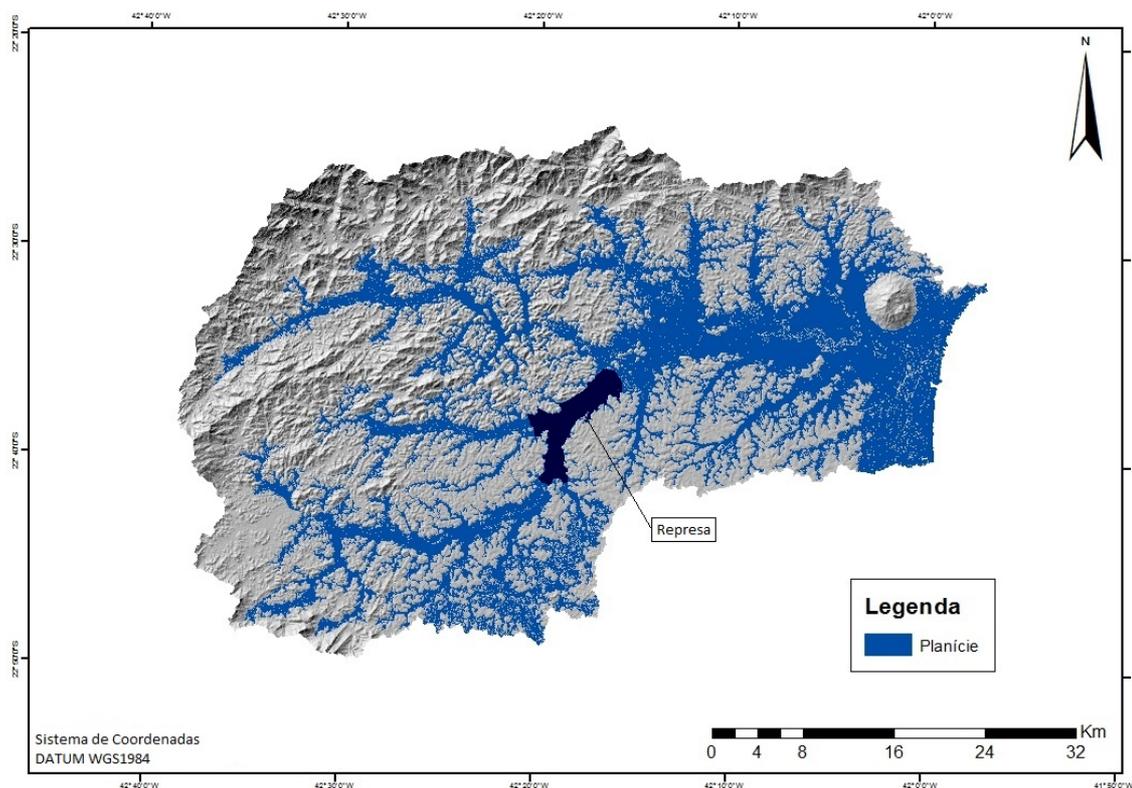


Figura 17: Planície de inundação da Bacia do Rio São João com rios retificados e com a construção da represa, para esgotar a planície e aumentar a capacidade de armazenamento.

4.2 Canal retificado

O Rio São João teve 69% do curso alterado por meio de obras de retificação. O canal principal, originalmente, apresentava 131,4 km de comprimento. Após as sucessivas obras de

retificação, foi reduzido para 90,7 km, ou seja, houve uma diminuição expressiva no comprimento do leito de 40,7 km (Figura 18). Estes números exprimem as transformações na forma e feição do canal nos trechos que sofreram processo de retificação, passando de um padrão meandrante para retilíneo.

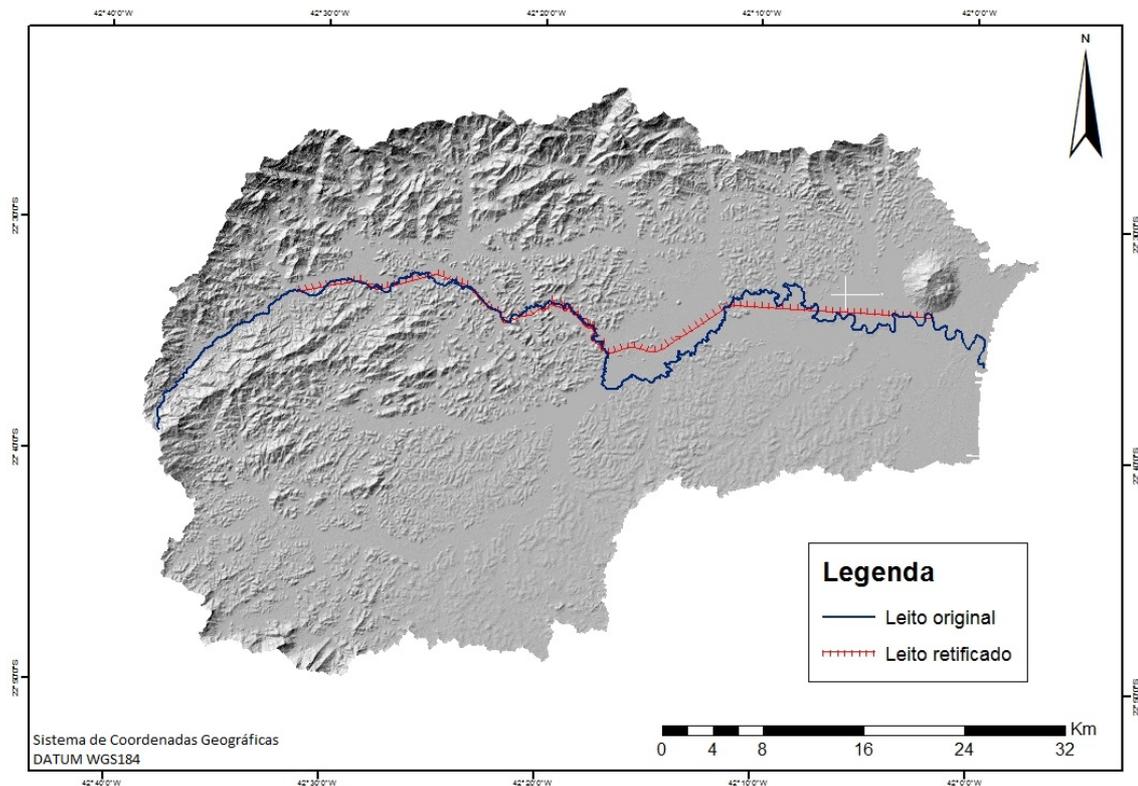


Figura 18: Leitões originais e retificados do Rio São João.

Os canais fluviais vêm gradualmente se ajustando às novas condições impostas pela retificação do canal e demais intervenções, modificando assim a dinâmica geomorfológica e hidrológica, além da dinâmica dos sedimentos do sistema fluvial. Este, por sua vez, gera o aumento de fornecimento de sedimentos para o reservatório, modificando muitas vezes o seu tempo útil previsto antes da construção da barragem, alterando a biota fluvial (CUNHA, 1995).

O ajustamento do perfil do canal após as obras de retificação (Figuras 19 e 20) geraram impactos (CUNHA, 1995), que não se limitam apenas às áreas próximas da faixa de inundação e do reservatório. As retificações aprofundaram o talvegue que gerou efeitos remontantes ao longo do perfil, numa tentativa de compensar os efeitos de redução de velocidade da água causados pela meandrização e alcançar o novo equilíbrio dinâmico do sistema. Segundo Assumpção (2012), essa mudança se reflete, por sua vez, na granulometria e na carga sedimentar do canal. Além disso, pode-se verificar que o rebaixamento do lençol

freático original, é muito expressivo quando analisado do ponto de vista da extensão da planície da bacia, onde, por exemplo, um gradiente de 3 metros resultaria num número, em metros cúbicos de lâmina d'água, de enorme grandeza.

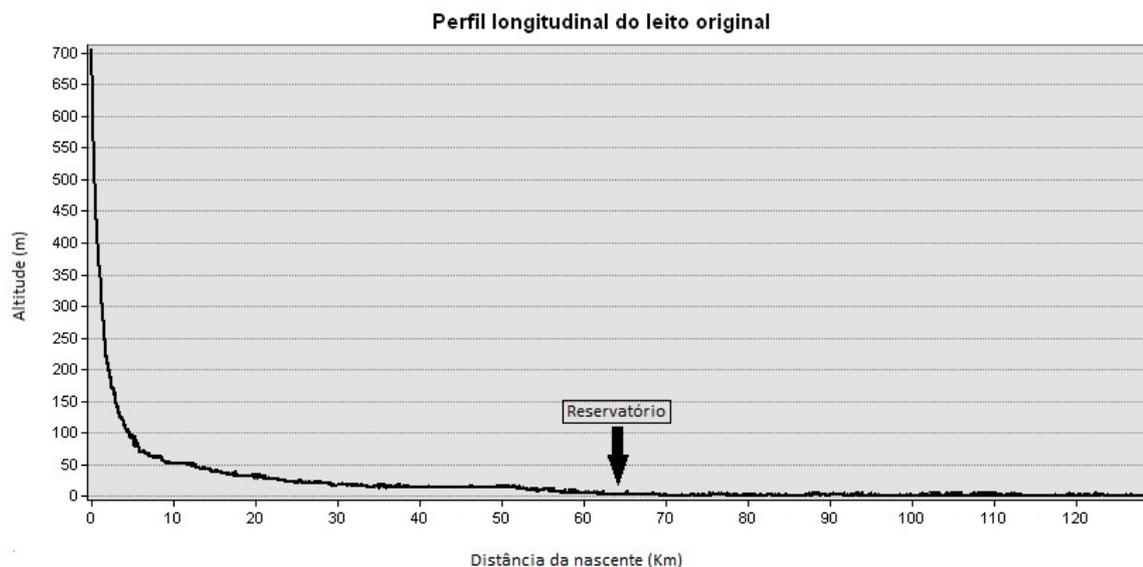


Figura 19: Perfil longitudinal do leito original.

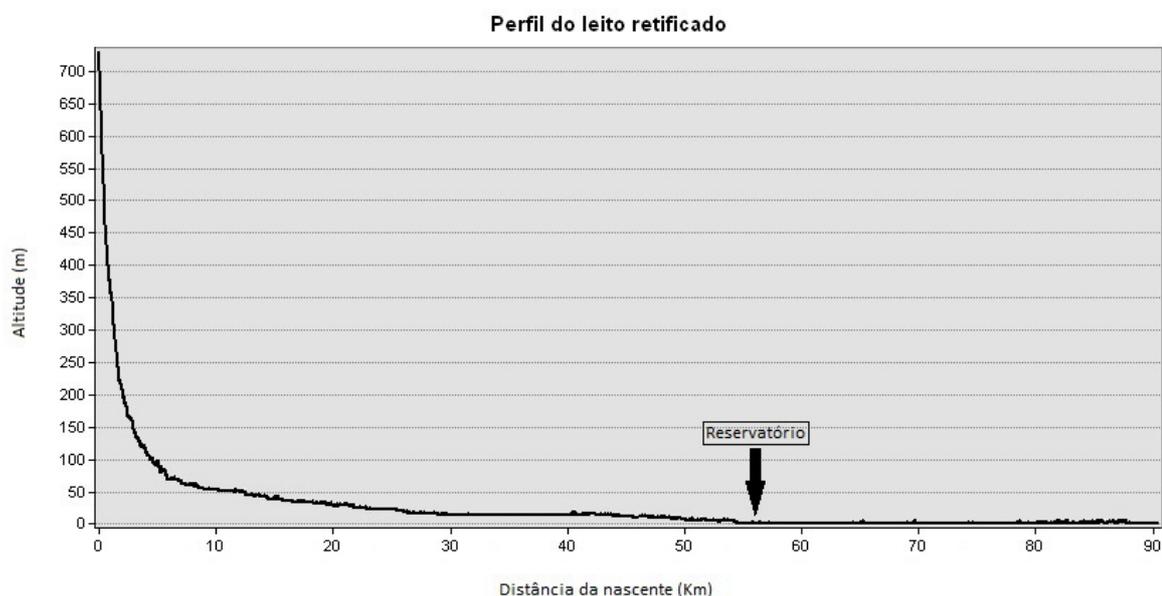


Figura 20: Perfil longitudinal do leito retificado.

Devido ao rebaixamento do lençol freático original, a calha fluvial tende à aprofundar, aumentando a ação erosiva sobre as margens fluviais. Então, fica evidente a presença de arestas vivas nas suas bordas da calha, assim como os processos erosivos diversos. Assumpção (2012) afirma que o alargamento da calha fluvial desencadeia uma série de efeitos sobre a hidrodinâmica fluvial. Segundo Friedenreich *et al.* (2002) isto inclui, nas áreas à montante da obra de retificação, no aumento da velocidade do escoamento, provocando

simultaneamente a redução do nível de cheias e o aumento dos processos erosivos das suas margens. Como consequência, a jusante da obra aumenta a tendência de cheias, que também eleva as possibilidades da ocorrência de erosão das margens, através do processo de escorregamento. Ainda segundo estes autores, quando se aumentam as variações no nível da água de um determinado canal, o solo saturado, a frequência de cheias e, a energia da água na calha aumentam a instabilidade do terreno e com isto a propensão a movimentos de massa.

4.3 Demanda hídrica para região

Segundo relatório do CILSJ (2010) a represa de Juturnaíba, principal manancial da bacia, é responsável pelo suprimento de água para abastecimento público de aproximadamente 75% da população da bacia (Tabela 6), especialmente dos municípios da zona costeira, que frequentemente sofrem com a crise hídrica, também devido ao expressivo fluxo de turistas na região, constituindo um sinal inequívoco dos problemas de abastecimento.

Tabela 6: Municípios inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio São João, suas respectivas áreas e relação com a superfície total da bacia de acordo com IBGE (2000), citado por MELLO (2007).

Município	Área (Km ²)	População		Área na Bacia		Abastecimento (%)
		Urbana	Rural	Km ²	%	
Araruama	633.8	74.992	7.725	351	16.26	100
Cabo Frio	403.0	106.326	20.568	188	8.7	100
Cachoeiras de Macacu	958.2	41.071	7.389	53	2.46	-
Rio Bonito	462.1	32.319	17.28	258	11.94	100
Rio das Ostras	230.3	34.893	1.876	10	0.44	-
São Pedro da Aldeia	358.0	51.932	11.077	8	0.38	100
Silva Jardim	940.0	14.193	70.46	940	43.52	100
Casemiro de Abreu	462.9	18.248	3.804	352	16.3	100
Totais	4448.3	373.794	69.789.46			

Tabela 7: Demanda hídrica para abastecimento humano na área de contribuição (a montante) e no Reservatório de Juturnaíba, segundo CILSJ (2010).

Concessionária	Corpo de Água	Vazão (L/s)
CEDAE	Rio Bacaxá	150,0
Águas de Juturnaíba	Reservatório de Juturnaíba	1100,0
Prolagos S/A	Reservatório de Juturnaíba	1200,0
	Total	2450,0

Segundo o CILSJ (2010), a demanda de uso dos recursos hídricos da bacia contribuinte do reservatório de Juturnaíba (Tabela 7), somadas as vazões retiradas é de 4575,8 L/s. Assim, é possível estimar a disponibilidade hídrica do reservatório. Hora *et al.* (2008) e

Noronha (2009) em seus estudos, geraram dados referentes às características hidrológicas do Reservatório de Juturnaíba, sendo estas a vazão regularizada, a vazão de referência, a vazão máxima outorgável e a vazão ecológica (Tabela 8).

Tabela 8: Características hidrológicas do Reservatório de Juturnaíba segundo Hora *et al.* (2008) e Noronha (2009).

Descrição	Vazão (m ³ /s)
Vazão regularizada (Qreg)	17,40
Vazão de referência (Q95%)	13,10
Vazão máxima outorgável (50% de Q95%)	6,55
Vazão ecológica (50% de Q95%)	6,55
Vazão de retirada - Montante (Qret)	4,50
Total disponível do reservatório	2,00

A quantidade de água disponível para abastecimento natural (vazão ecológica) para o reservatório é de 2,0 m³/s. Portanto, qualquer uso adicional desse recurso poderia afetar a disponibilidade de água e causar problemas de escassez de oferta. Num cenário tendencial onde a população cresce exponencialmente (Figura 21), e também considerando o êxodo rural, estes podem resultar em uma demanda de água cada vez maior.

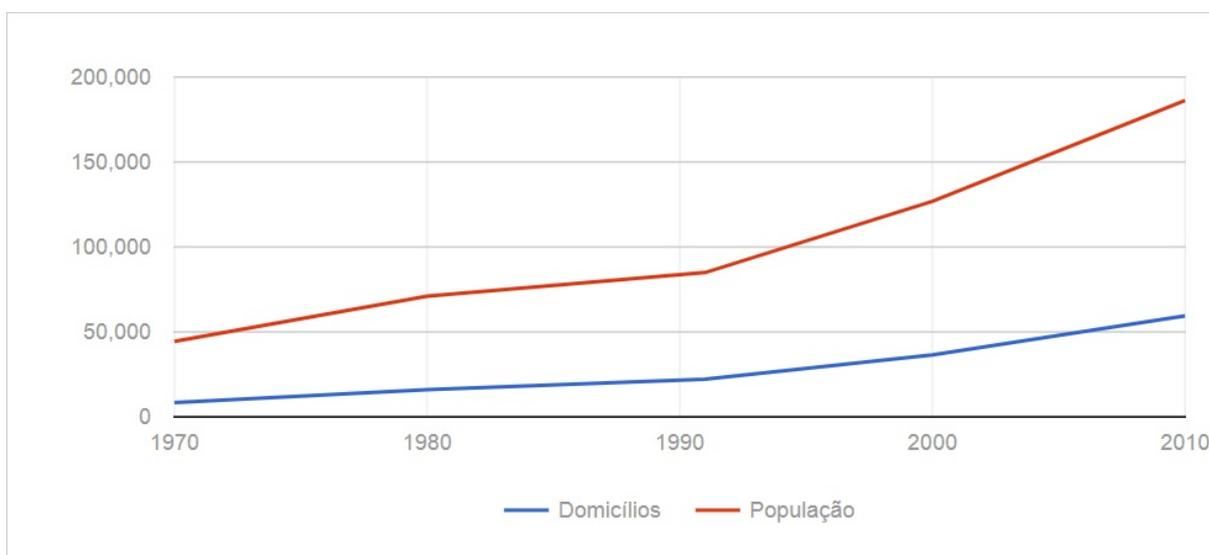


Figura 21: População residente e número de domicílios para o município de Cabo Frio segundo IBGE, Censo 1970/2010.

Deve-se salientar, entretanto, que os estudos mencionados não contemplaram no cálculo os usos a jusante do reservatório, e consequentemente a vazão necessária para a manutenção dos ecossistemas que dele dependem. Para que o cálculo do balanço hídrico possa refletir de fato a real situação da bacia, seria necessário quantificar os volumes destinados ao abastecimento humano, uso industrial, agropecuário, dentre outros, sendo

fundamental as informações acerca dos volumes outorgados. Também seria preciso obter dados de precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial, reservas subterrâneas, entre outros dados auxiliares.

4.4 Setorização da planície

A planície de inundação (aprox. 64.800 ha) foi espacializada e, baseado em suas habilidades hidrológicas foram setorizadas cerca de 85% da área nos seguintes setores: a) Zona de alta probabilidade de intrusão salina; b) Zona de uso consolidado; c) Zona de amortecimento e reforço de recarga; d) Zonas de armazenamento; e) Zonas sem retificação; f) Zona do entorno do reservatório; g) Zonas intensamente retificadas.

Zona de uso consolidado

A zona de uso consolidado representa uma parte substancial da planície da bacia (Figura 22), observado a preferência pelo homem em se estabelecer em áreas planas e próximas à água. Entretanto, a urbanização inviabiliza o funcionamento hidrológico adequado das planícies de inundação e sua capacidade em prover serviços ecossistêmicos (BAPTISTA *et al.*, 2017).

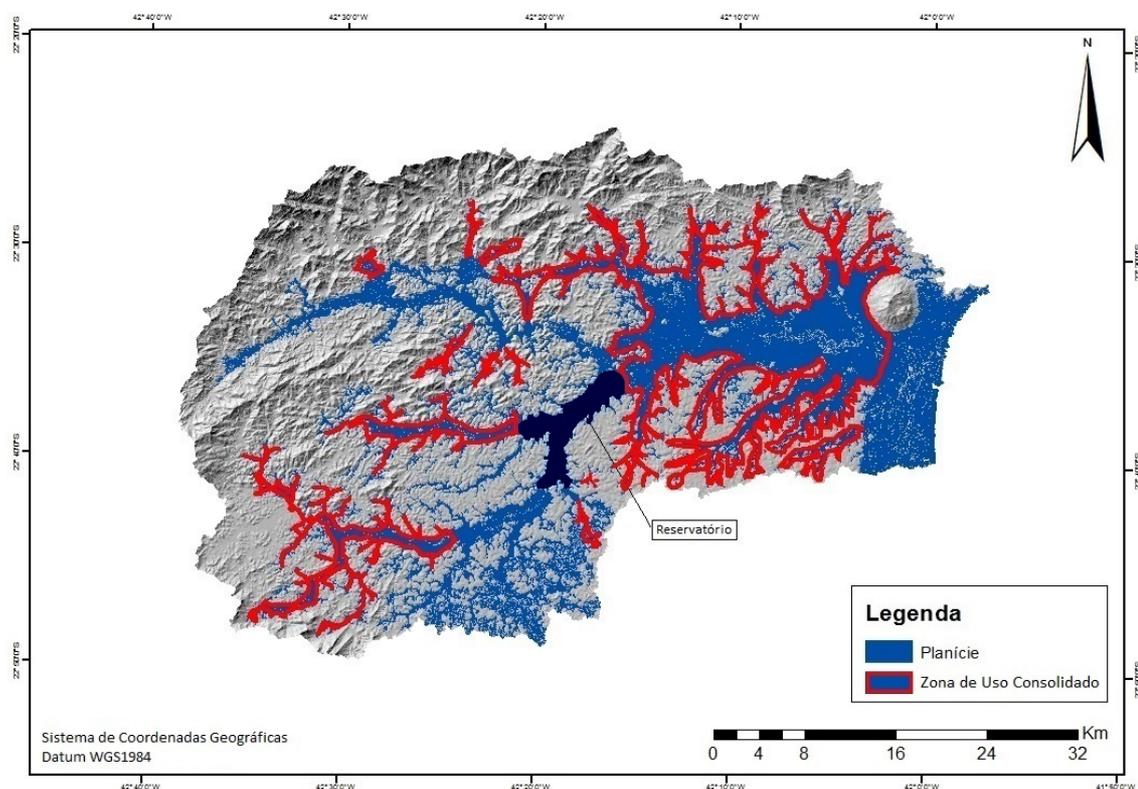


Figura 22: Planície da Bacia do Rio São João com destaque para zona consolidada.

A jusante do reservatório, a planície cedeu lugar à cidades e estradas, conferindo uma série de medidas que impactam o meio, tal como terraplanagem, cortes do terreno, além de drenos para tornar as terras agricultáveis (Figura 23). O efeito artificial de controle da vazão realizado pela barragem do reservatório de Juturnaíba também é um fator limitante no que tange à habilidade dessas áreas em reservar água. Estes lugares não mais suportam inundações haja vista o nível de consolidação atingido. Em resposta à esse conjunto de ações de natureza antrópica, o nível do lençol freático sofreu forte rebaixamento e, estas áreas que teoricamente no passado resguardavam muita umidade, já não o fazem como no presente devido à estes efeitos.



Figura 23: Trecho com uso consolidado.

Também é possível encontrar, mas em menor nível de consolidação quando comparado as planícies a jusante do reservatório, as seguinte zonas: zonas de amortecimento e reforço de recarga e zonas de armazenamento.

-Zonas de amortecimento e reforço de recarga

À montante do reservatório, entre os vales das microbacias, na parte norte da bacia, existem planícies de inundação pequenas e estreitas (Figura 24). Estas são extremamente importante pois recebem água das partes altas e declivosas, onde as precipitações chegam a atingir enormes proporções, na faixa de 5.000mm anuais, principalmente quando observados seu tamanho. Nessas zonas, a água chega com muita energia e, por isso, a planícies atuam como zonas de amortecimento de energia dos fluxos das cabeceiras. Se eventualmente fosse necessário ser tomada alguma medida ali, seria necessário represar essas planícies, ou seja,

fazer obras transversais dentro da calha. A seguir, a Figura 25 evidencia a planície após as obras de retificação, assim como a urbanização relativamente baixa desta planície.

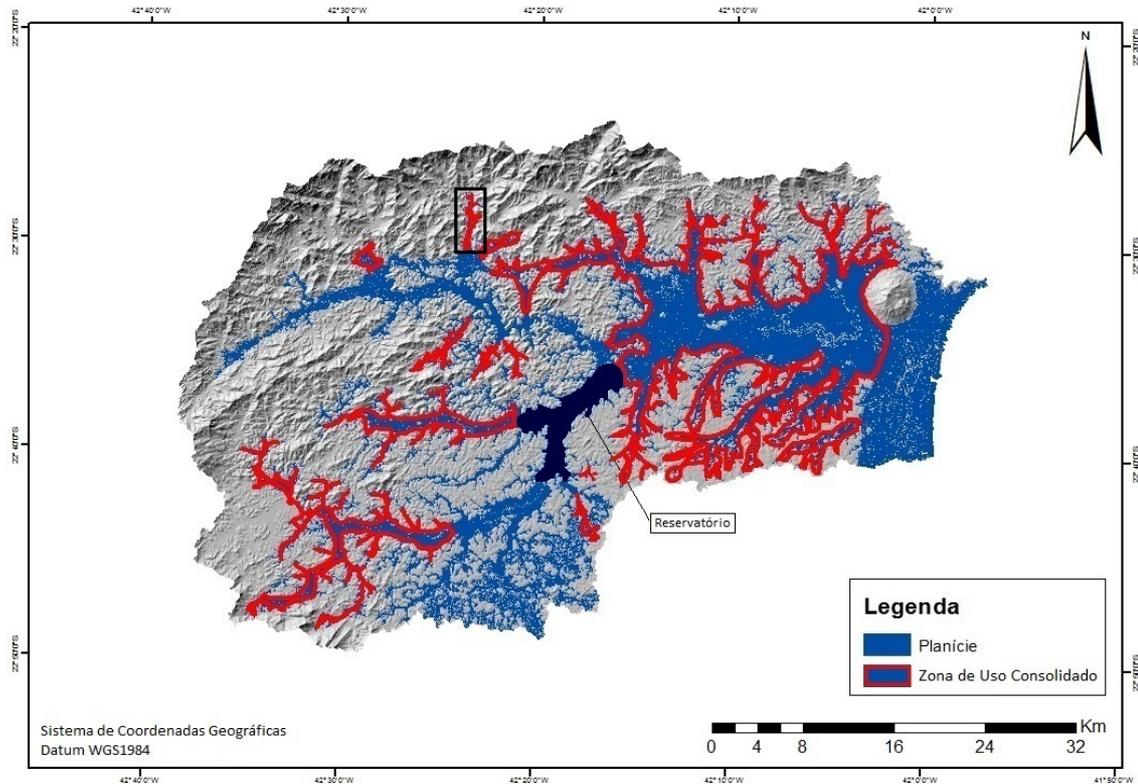


Figura 24: Planície pequena e estreita na porção norte da bacia.

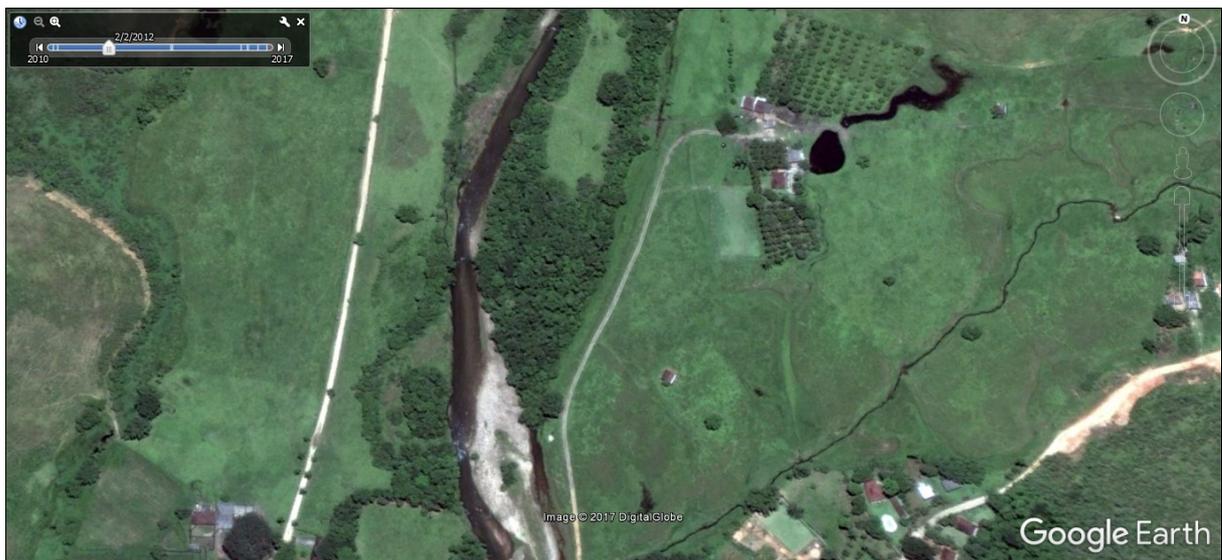


Figura 25: Trecho dentre planície pequena e estreita.

-Zonas de armazenamento

Ainda à montante do reservatório, na parte sudoeste da bacia, existem planícies pequenas e alargadas, cujo tamanho é ínfimo frente a grande importância para reservar água de bacias baixas e que não chegam com muita energia (Figura 26). Trata-se de uma zona substancialmente seca em meio aos planaltos dissecados. Essas áreas também sofreram forte rebaixamento do lençol freático, e também encontram-se parcialmente consolidadas, salvo algumas exceções (Figura 27).

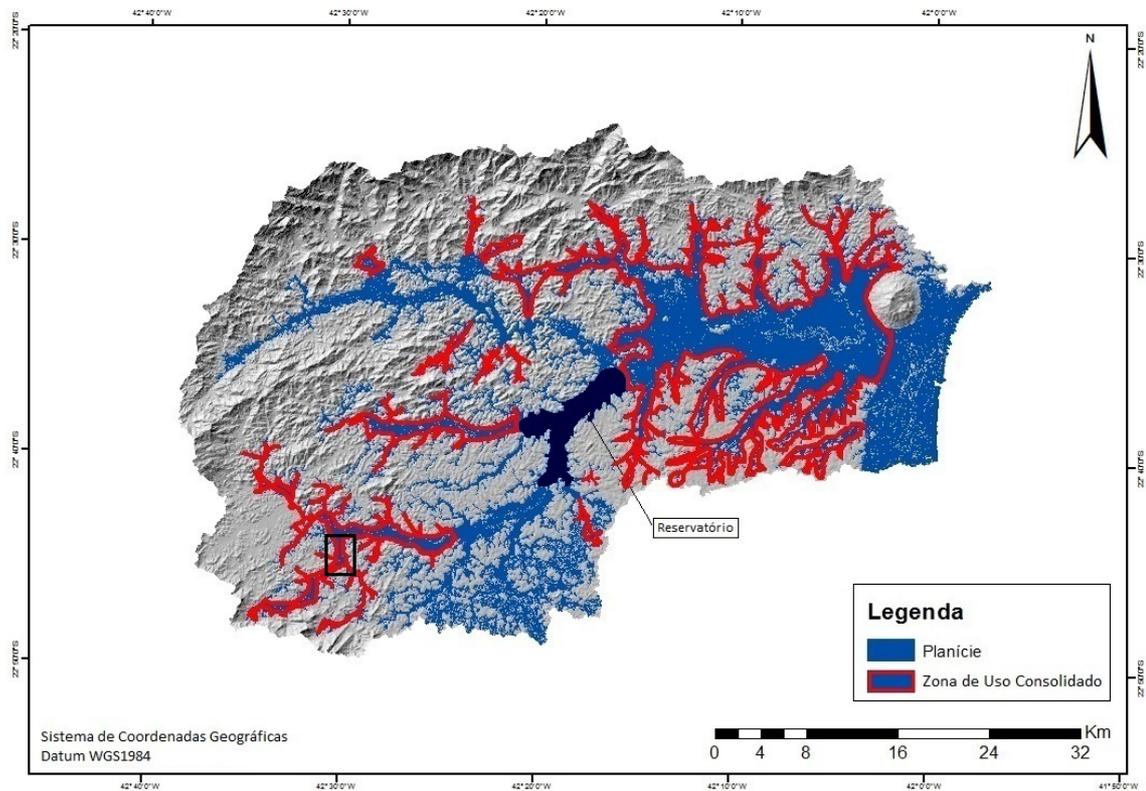


Figura 26: Planície pequena e alargada na porção sudoeste da bacia.

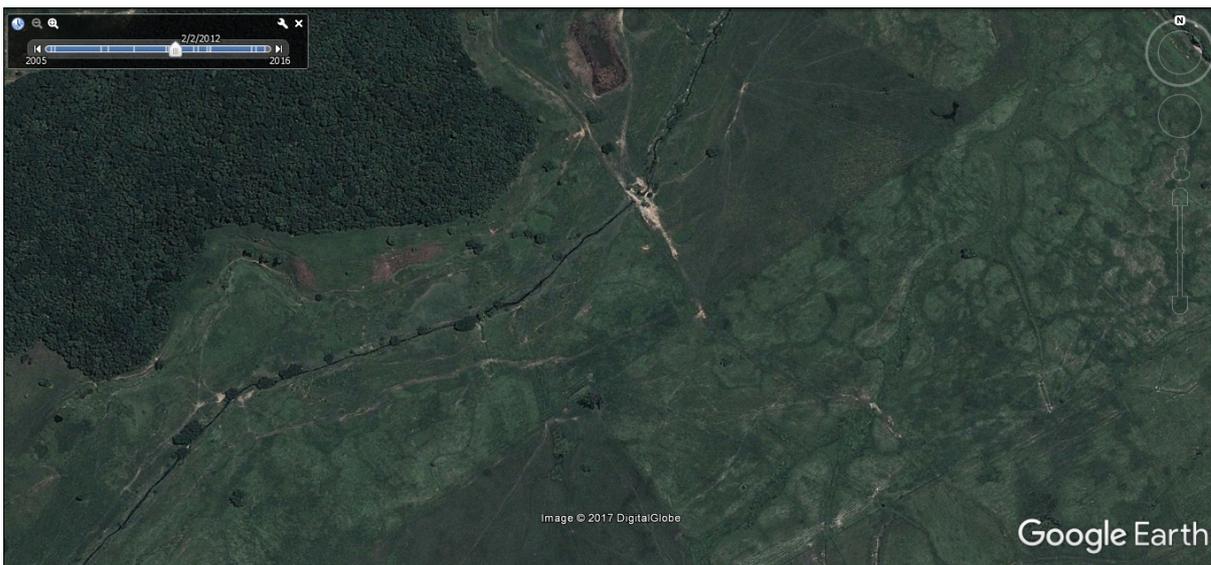


Figura 27: Trecho em meio ao planalto dissecado.

Zona de alta probabilidade de intrusão salina

Situada próximo ao mar (Figura 28), no exutório da bacia, onde se dá o encontro da cunha de água doce com a de água salgada, essa zona está sob alta influência ou probabilidade de intrusão salina, devido a oscilação da maré. Coincidentemente consolidada (Figura 29), o mau manejo e uso dos solos somados às obras de retificação, fazem com que a cunha de água doce seja empurrada para o interior da bacia causando assim a intrusão salina. Entretanto, o bom manejo dessas áreas, que incluem práticas conservacionista de uso e ocupação do solo, ensinaria no oposto dessa dinâmica, de forma a ocorrer como em alguns casos ao longo da costa, árvores de água doce adentrando um pouco o mar, evidenciando a quantidade e quantidade de água no sistema.

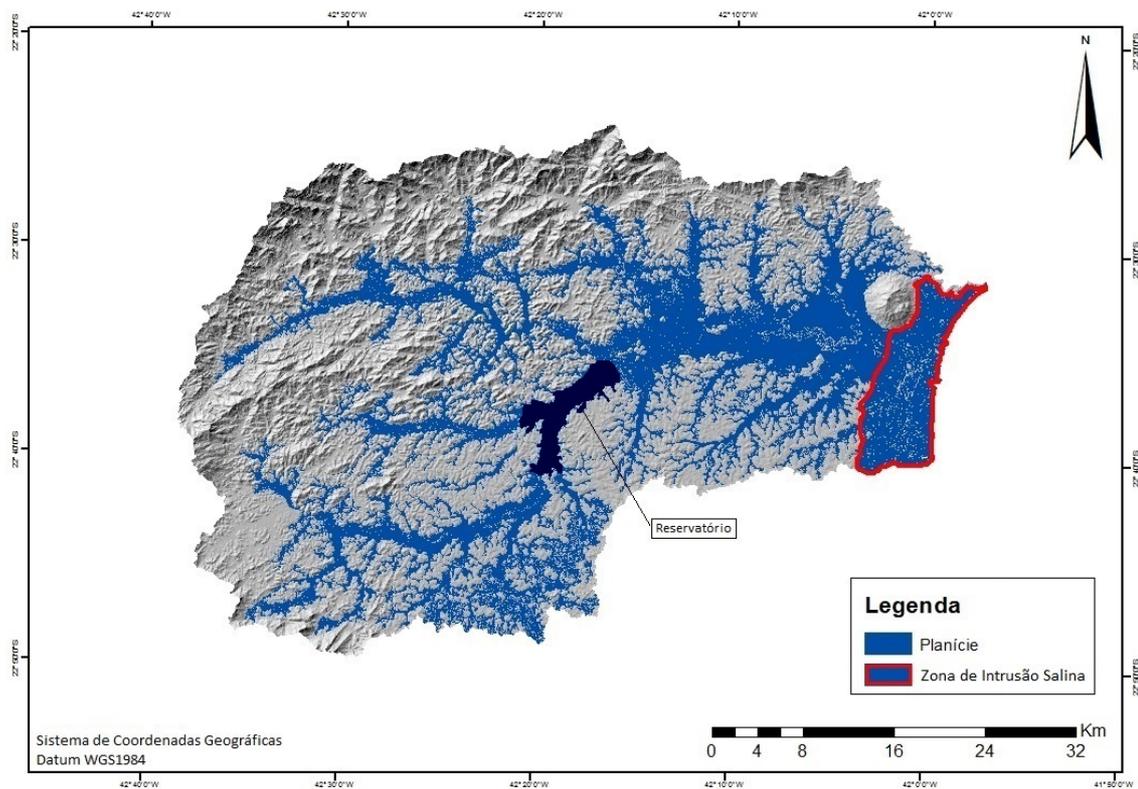


Figura 28: Planície da Bacia do Rio São João com destaque para zona de alta probabilidade de intrusão salina.

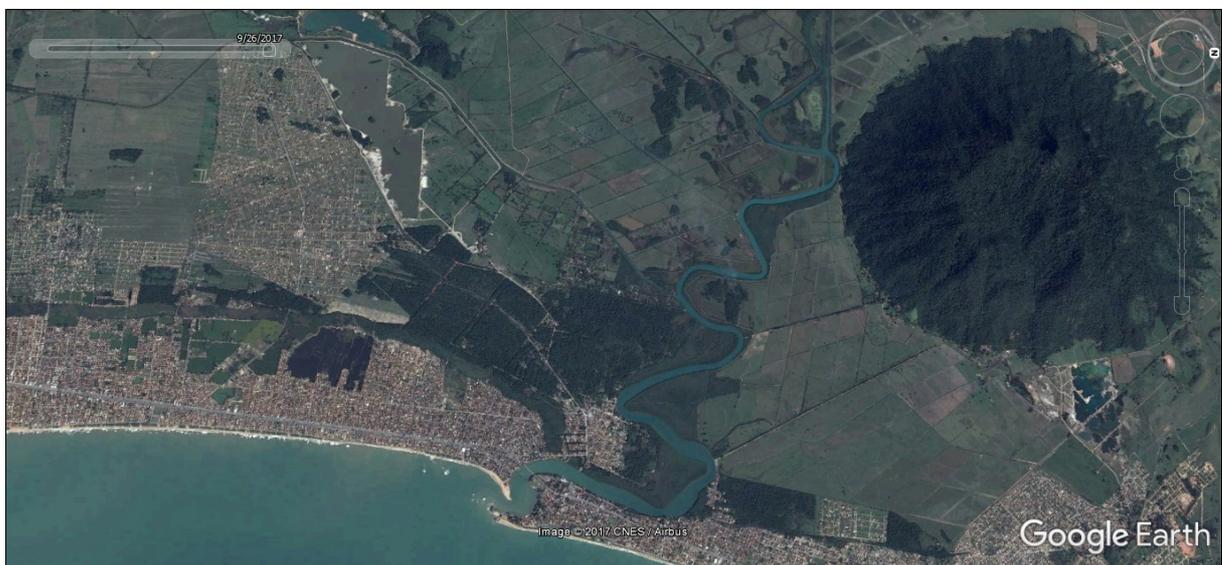


Figura 29: Zona de intrusão salina.

Zonas sem retificação

Estas zonas são compostas por trechos em que o leito original ainda desempenha plenamente sua função (Figura 30). Entretanto, as práticas de uso e ocupação do solo que vem sendo empregadas, principalmente no seu trecho inicial, não condizem com um bom manejo e, portanto comprometem a sustentabilidade dos recursos hídricos. As planícies de inundação

se encontram sem vegetação ripária, cobertas maiormente por pastagem ou culturas agrícolas (Figura 31). Isto se constitui uma ameaça ao funcionamento hidrológico destas planícies e consequentemente às habilidades em prestar serviços ecossistêmicos de natureza hidrológica.

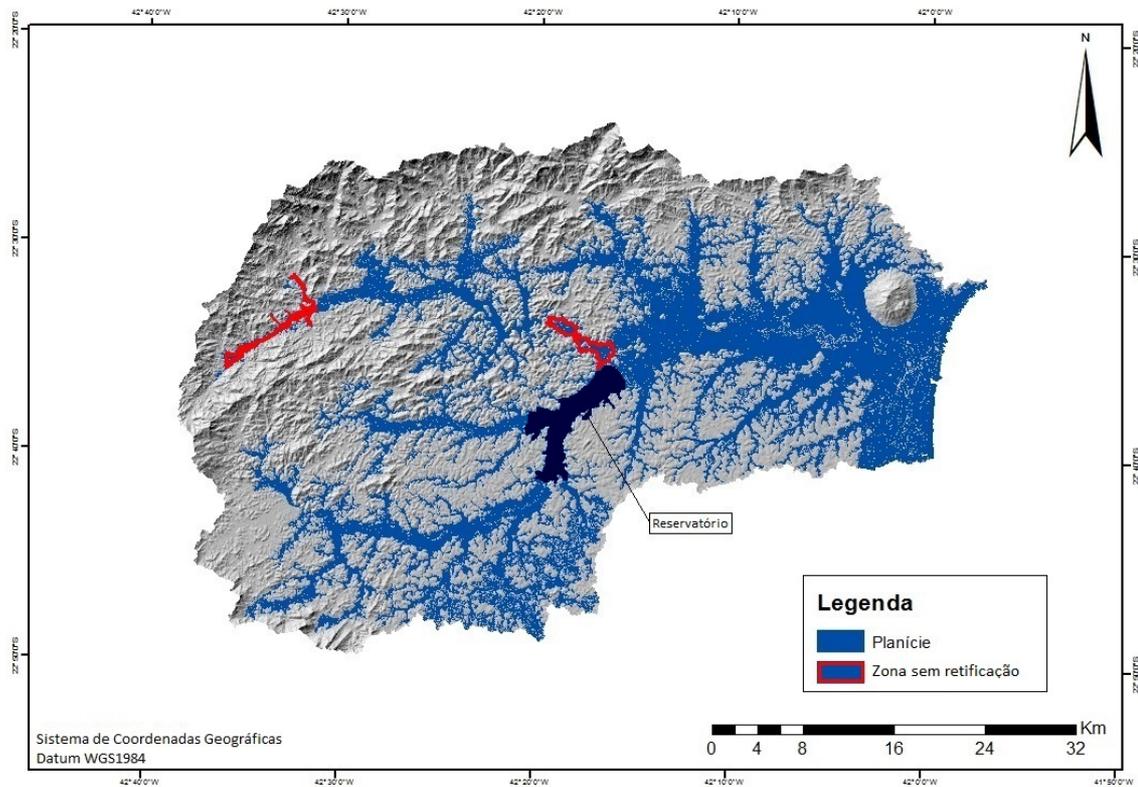


Figura 30: Planície da Bacia do Rio São João com destaque para zonas que não passaram por processo de retificação.



Figura 31: Leito original com função plena.

Zona do entorno do reservatório

Constitui as planícies localizadas na zona de influência direta no reservatório de Juturnaíba (Figuras 32 e 33), fonte de abastecimento público de vários municípios da região como um todo. Nestes locais, o manejo deve ser realizado com bastante cuidado evitando sobremaneira práticas e medidas que não venham a prejudicar a qualidade da água, uma vez que o reservatório é a fonte de abastecimento de água da bacia.

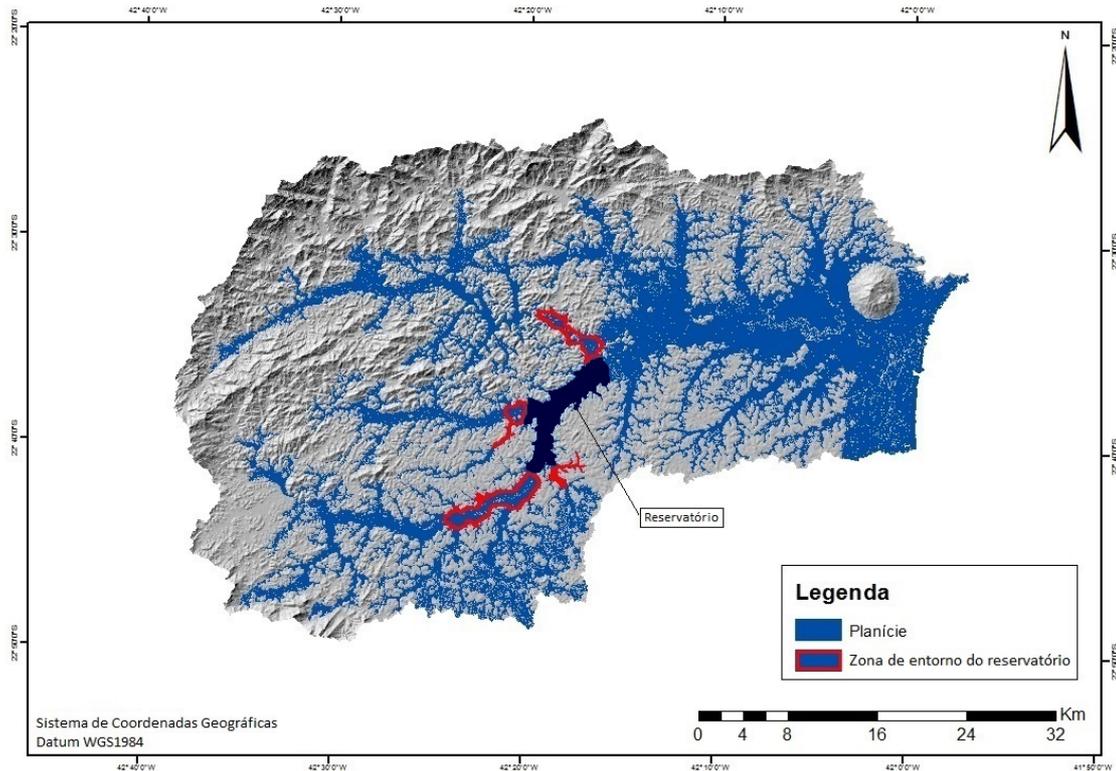


Figura 32: Planície da Bacia do Rio São João com destaque para zonas do entorno do reservatório.



Figura 33: Área no entorno do reservatório.

Zonas intensamente retificadas

Nestas zonas concentram-se os trechos que possuem alto potencial em receber medidas de renaturalização (Figura 34), haja vista que algumas áreas ainda resguardam relevante capacidade de resposta às ações realizadas. Estas ações, do ponto de vista de um sistema aberto, visariam aumentar o tempo de permanência de água dentro das planícies da bacia, realizando dessa forma a regulação dos recursos hídricos.

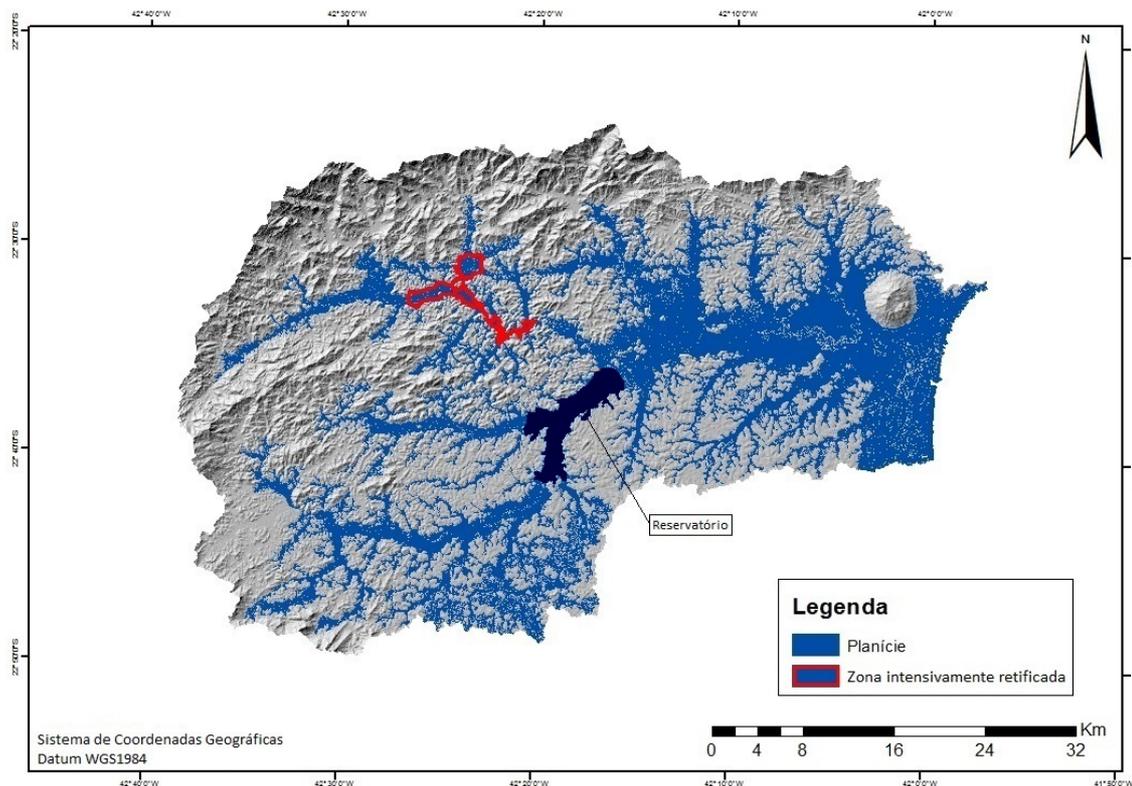


Figura 34: Planície da Bacia do Rio São João com destaque para zonas que não sofreram forte processo de retificação.

Alguns trechos contam com a presença de meandros abandonados, parcialmente ativos, e que possuem a capacidade de prestar serviços hidrológicos presumíveis. O regime hídrico ainda se assemelha aquele antes das obras de retificação, observada a maior frequência de saturação. Existem ainda planícies que, hidrológicamente, funcionam sob influência do regime hídrico das microbacias, outras que funcionam sob influência do regime hídrico do Rio São João e, ainda, aquelas que se encontram sobrepostas umas às outras.

A seguir, a Figura 35 evidencia uma planície a montante do reservatório, de relevante área, sob influência do regime hídrico do Rio São João, com uma série de meandros abandonados que eventualmente se saturam e demonstram atividade. O canal retilíneo segue

paralelamente ao leito original meandrante abandonado por uma extensão expressivamente grande.



Figura 35: Trechos com meandros ativos.

4.5 Potenciais locais para renaturalização

As limitações para com aqueles trechos do rio em que as planícies de inundação se encontram urbanizadas ou em algum estágio de consolidação de seus usos, assim como aqueles trechos que foram profundamente retificados, anulam as possibilidades de serem usados para renaturalização.

Para os trechos que ainda desempenham função plena, ou seja, que não foram retificados, é importante que se atente ao uso e ocupação das planícies de inundação, assim como as margens dos rios, utilizando de medidas biológicas para restauração destes ambientes. Similarmente, a proteção das margens e planícies de inundação que circundam o reservatório de Juturnaíba se faz necessário através de medidas biológicas.

Trechos não consolidados, seccionados longitudinalmente, com uma série de meandros abandonados, poderiam ser aproveitados dentro de um PSA a partir de serviços ecossistêmicos presumíveis, onde os provedores dos serviços são reconhecidos economicamente pelos beneficiários dos mesmos (TOGNETTI *et al.*, 2003). Segundo Baptista *et al.* (2014), a seleção de planícies de inundação que conferem baixo nível de urbanização, significativa capacidade de reservar água bem como alto potencial para regulação hídrica, pode ser uma alternativa eficaz quando o objetivo é aumentar a reservação de água no sistema. Ainda, alguns trechos ao longo do Rio São João com a presença de meandros ativos demonstram maior frequência de inundações em resposta a ocorrência de chuvas e, portanto,

apresentam habilidades para serem usados para o estabelecimento de medidas físico-biológicas de renaturalização.

A gestão destes setores da planície pode passar desde a supressão de diques longitudinais até medida físico-biológica potencial adequada para cada setor, tanto dispostas transversalmente à calha como longitudinalmente, dentro ou fora da calha, com o objetivo de redirecionamento do fluxo de água, vertendo-a do leito retificado para o leito original e meandros ativos, promovendo assim os efeitos de renaturalização, conforme observado na Figura 36.

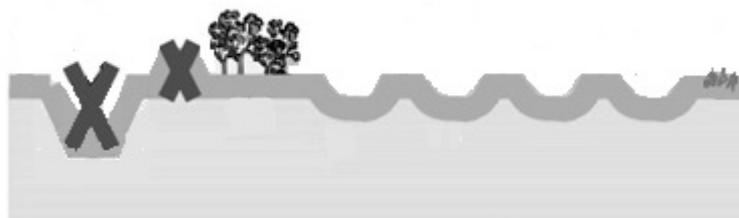


Figura 36: Possível ação que utilizaria de medida físico-biológica.

5 CONCLUSÕES

Faz-se fundamental o conhecimento dos processos naturais pretéritos e atuantes, para o entendimento acerca das ações antrópicas no meio e como este modifica os serviços ecossistêmicos prestados.

As planícies de inundação possuem importante vocação no que tange ao aumento de retenção hídrica no lençol freático. É importante que se faça o ordenamento do uso e ocupação das mesmas, a fim de desenvolver práticas conservacionistas que sustentem a capacidade em prestar serviços ecossistêmicos de natureza hidrológica os quais são presumíveis à sociedade.

A renaturalização de rios deve priorizar trechos hidrológicos que possuam potencial para renaturalização das funções hídricas, ou seja, zonas que ainda resguardam atributos ambientais para desempenhar funções similares àquelas que desempenhava antes do processo de retificação. Trechos onde o rio foi profundamente retificado e encontra-se urbanizado tem seus usos consolidados, anulando assim a possibilidade de serem usados para o estabelecimento de medidas de renaturalização.

6 REFERÊNCIAS

- ALVES, S. C. A água como elemento fundamental da paisagem em microbacias. **Informe Agropecuário**, v. 21, n. 207, p. 9-14. 2000.
- ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. de. Características de deflúvio de microbacias hidrográficas no laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha-SP. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 153-170, 1997.
- ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. de. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo. **Scientia Florestalis**, n. 56, p. 125-134, 1999.
- ASSUMPÇÃO, A. P. Retificação de canais fluviais e mudanças geomorfológicas na planície do rio Macaé (RJ). **Revista de Geografia**, Recife, v.29, n. 3, p. 19-36, abr/2012.
- ASSUMPÇÃO, André Polly. Retificação de canais fluviais no baixo curso da bacia do rio Macaé (RJ) - uma abordagem geomorfológica. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BAPTISTA, M. N.; VALCARCEL, R.; MAYA, V.; CANTO, F. Selection of preferred floodplains for the renaturalization of hydrologic functions: a case study of the paraíba do sul river basin, Brazil. **Water Resource Management**, v. 28, n. 13, p. 4781-4793, oct/2014.
- BAPTISTA, M. N.; VALCARCEL, R.; MATEUS F. A.; MEDEIROS, W. Impact of urbanization on the hydrodynamics of a water table in a floodplain with high potencial for renaturation. **Water Resource Management**, v. 31, p. 4091-4102, oct/2017.
- BAYLEY, P. Understanding large river: floodplain ecosystems. **Bioscience**, v. 45, p. 153-158, 1995.
- BENIGNO, E.; SAUNDERS, C.; WASSERMAN, J. C. 2003. Estudo dos efeitos da Renaturalização no Regime Hídrico do Baixo Curso do Rio São João (Departamento de Análise Geoambiental e PGCA - UFF). Consórcio Intermunicipal Lagos São João Fundo Mundial para Natureza (WWF).
- BIDEGAIN, P.; VOLCKER, C. M. **Bacia Hidrográfica do Rio São João e das Ostras: Águas, Terras e Conservação Ambiental**. Rio de Janeiro: Consórcio Intermunicipal para gestão das Bacias Hidrográficas da Região dos Lagos, Rio São João e Zona Costeira. 2003. 177p.
- BINDER, W. (1998). **Rios e córregos: preservar, conservar e renaturalizar**. SEMADS. Rio de Janeiro, 39 p.
- BINDER, W. Rios e Córregos, Preservar - Conservar – Renaturalizar: A Recuperação de Rios, Possibilidades e Limites da Engenharia Ambiental. SEMADS: Rio de Janeiro, 2001.
- BRENNER, V. C. Proposta metodológica para renaturalização de trecho retificado do rio gravataí - RS. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BROOKES, A. (1988). **Channelized Rivers: Perspectives for environmental management**. Wiley - Interscience. 326p.

BROOKES, A. River channel adjustments downstream from channelization works in England and Wales. **Earth Surface Processes Landforms**, v. 12, p. 337-351, 1987

CHRISTOFOLETTI, A. (1990) Geomorfologia Fluvial. E. Blucher, São Paulo, 313 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª Edição. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CILSJ - Consórcio Intermunicipal Lagos São João. **Consórcio Intermunicipal para Gestão Ambiental das Bacias da Região dos Lagos, do Rio São João e Zona Costeira**. Disponível em <http://www.lagossaojoao.org.br/>. Consultado em Março de 2017.

CILSJ - Consórcio Intermunicipal Lagos São João. **Relatório de Situação da Bacia: Diagnóstico dos Recursos Hídricos - Relatório Final**. Rio de Janeiro, 2010/2011. 49 p.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2000. **Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro**. 2ª ed. Brasília, CPRM. CD-ROM.

CUNHA, S. B. **Impacto das obras de engenharia sobre o ambiente biofísico da baía do Rio São João (Rio de Janeiro - Brasil)**. 1ª ed. Rio de Janeiro: edição do autor, 1995. 415 p.

DALRYMPLE, J. B.; BLONG, R. J.; CONACHER, A. J. (1968) **A hypothetical nine unit land a surface model**. Z. Geomorphology, v.12, p.60-76.

De GROOT, R. S. (1992). Function of nature: evaluation of nature in environmental planning, management and decision making. Groningen, Wolters-Noordhoff BV.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. Bioengenharia: Manejo biotécnico de cursos de água. Porto Alegre: EST Edições, 2005.

EDWARDS, P.J.; ABIVARDI, C. The value of biodiversity: where ecology and economy blend. **Biological Conservation**. Elsevier Science Ltd. V.83, n. 33. p.239-246, 1998.

FRAPPART, F.; PAPA, F.; GUNTNER, A. Satellite-based estimates of groundwater storage variations in large drainage basins with extensive floodplains. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 6, p. 1588-1594, 2011.

FRAPPART, F.; SEYLER, F.; MARTINEZ, J. M. Floodplain water storage in the Negro River basin estimated from microwave remote sensing of inundation area and water Levels. **Remote Sensing of Environment**, v. 99, n. 4, p. 387-399, 2005.

FRIEDENREICH, G.; PINHEIRO, A. (2002) Transformações Geomorfológicas e Fluviais Decorrentes da Canalização do Rio Itajaí-Açu na Divisa dos Municípios de Blumenau e Gaspar (SC) Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 3, nº 1, p. 1-9.

GERRARD, J. Soil geomorphology - an integration of pedology and geomorphology. London: Champman & Hall, 269 p., 1992.

HORA, A. F.; HORA, M. A. G. M.; BRUM, B. L. Reservoir Multiple Uses - Case Selection: Juturnaíba Lake. In: International Conference of Agricultural Engineering, Foz do Iguaçu, 2008.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de geomorfologia**. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182p. ISBN: 978-85-240-4110-5. ISSN: 0103-9598.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Disponível em:

<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 06 de agosto de 2017.

KELLER, E.A. Pools, riffles and channelization. **Environmental Geology**, v. 2, p. 119-127, 1978.

LOUISIANA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND DEVELOPMENT. **Louisiana Floodplain Management** - Desk Reference. Louisiana: LA Bond Associates, 2008. 546 p.

MELLO, Adriano Lopes de. **Serviços ambientais hidrológicos das reservas particulares do patrimônio natural (RPPN) da Mata Atlântica: bacia hidrográfica do rio São João, RJ**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

NEIFF, J. Planícies de inundação são ecótonos. **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos**. São Carlos: Rima, p. 29-46, 2003.

NORONHA, G. C. Avaliação Hídrica do Lago de Juturnaíba como alternativa de abastecimento de água do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro – COMPERJ. UFF, 2009.

PIRES, J. S.; SANTOS, J. E. dos; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Ed.). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, BA: Editus, 2002. p. 17-35.

ROCHA, P. C. Sistemas rio-planície de inundação: geomorfologia e conectividade hidrodinâmica. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n. 33, v. 1, p. 50-70, 2011.

SANDER, C.; WANKLER, F. L.; EVANGELISTA, R. A. O. Intervenções antrópicas em canais fluviais em áreas urbanizadas: rede de drenagem do igarapé Caraná, Boa Vista/RR. **Acta Geográfica**. v. 6, n. 12, 2012.

SAUNDERS, C.; NASCIMENTO, E. Proposta para renaturalização de rios da Bacia Hidrográfica do Rio São João - RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2006. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2006.

SCHOBER, B.; HAUER, C.; HABERSACK, H. A novel assessment of the role of Danube floodplains in flood hazard reduction (fem method). **Natural Hazards**, v. 75. p. 33-50. 2015.

SEMADS - SECRETARIA DO ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2001. **Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses: Síntese Informativa por Macrorregião Ambiental. Cooperação técnica Brasil-Alemanha, Projeto PLANÁGUA/SEMADS/GTZ**, Rio de Janeiro, 73 p.

TOCKNER, K.; PUSCH, M.; BORCHARDT D. Multiple stressors in coupled river-floodplain ecosystems. **Freshwater Biology**, Berlin, v. 55, p. 135-151, jan/2010.

TOGNETTI, S. S.; MENDOZA, G.; SOUTHGATE, D.; AYLWARD, B.; GARCIA, L. Evaluación de la efectividad de pagos para servicios ambientales en las cuencas hidrológicas. Anais: III Congresso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales. Arequipa, Peru, 9-12 Junho 2003.

TONHASCA, A. Os serviços ecológicos da Mata Atlântica. **Revista Ciência Hoje**, vol. 35, n. 205, p. 64-65, 2004.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (2003). Inundações urbanas na América do Sul. Ed. Universidade, GWP WMO – ABRH. Porto Alegre. 150p.

VALCARCEL, R. (2003) Capítulo sobre Meio Ambiente do Perfil (coord. R. Valcarcel). In: Plano Diretor do Município de Armação dos Búzios, RJ. Documento Técnico. FGV.

VALCARCEL, R. (coord.). Diagnóstico Conservacionista do Sistema Light-Cedae. UFRRJ - Seropédica, RJ. 1988. 264 p.

VALCARCEL, R. 1985. Balanço hídrico no ecossistema florestal e sua importância conservacionista na região ocidental dos Andes venezuelanos. In: Seminário Sobre Atualidades e Perspectivas Florestais - A influência das Florestas no Manejo de Bacias Hidrográficas.. Anais. Curitiba.

VALCARCEL, R. Propostas de ação para o manejo da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 5, n. 1, p. 68-88, 1998.

VIEIRA DA SILVA, R. C.; WILSON-JR., G. **Hidráulica Fluvial**. COPPE/UFRJ, v. II, 256 p. Rio de Janeiro, 2005.

VIEIRA, V. T.; CUNHA, S. B. Mudanças na morfologia dos canais urbanos: alto curso do rio Paqueta, Teresópolis-RJ (1997/98-2001). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 1, p. 3-22, 2008.

VOROSMARTY, C.J.; MCINTYRE, P. B.; GRESSNER, M. O. Global threats to human water security and river biodiversity. **Nature**, v. 467, p. 555-561, sep/2010.