

**METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO  
PERMANENTE DAS MARGENS DE CURSOS D'ÁGUA: UM ESTUDO DE CASO  
NA BACIA DO RIO PIABANHA**

**Mauro Medeiros de Carvalho Junior**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: José Paulo Soares de Azevedo

Rio de Janeiro  
Maio de 2013

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO  
PERMANENTE DAS MARGENS DE CURSOS D'ÁGUA: UM ESTUDO DE CASO  
NA BACIA DO RIO PIABANHA

Mauro Medeiros de Carvalho Junior

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA  
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE  
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

---

Prof. José Paulo Soares de Azevedo, Ph.D.

---

Prof. Marcelo Gomes Miguez, D.Sc.

---

Prof. André de Souza Avelar, D.Sc.

---

Prof. João Luiz Boccia Brandão, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MAIO DE 2013

Carvalho Junior, Mauro Medeiros de

Metodologia para determinação das Áreas de Preservação Permanente das margens de cursos d'água: um estudo de caso na bacia do rio Piabanha / Mauro Medeiros de Carvalho Junior. – Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE, 2013.

VIII, 147 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: José Paulo Soares de Azevedo

Dissertação (mestrado) – UFRJ / COPPE / Programa de Engenharia Civil, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 136-147.

1. Bacia do rio Piabanha/RJ. 2. Áreas de Preservação Permanente (APP). 3. Faixa Marginal de Proteção (FMP). 4. Hidrogramas Ambientais. 5. Vazões Ambientais. 6. Lei Federal 12.651 de 2012. 7. Decreto Estadual 42.356 de 2010. I. Azevedo, José Paulo Soares de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho só foi possível pelo grande apoio que tive das pessoas que de alguma forma puderam compartilhar seus conhecimentos, seu tempo e sua dedicação.

Aos meus pais, Mauro e Carmen, e minha irmã, Raysa, pela compreensão quanto à necessidade de, em muitos momentos, estar ausente para conclusão e revisão deste trabalho e pelo suporte e educação que me proporcionaram ao longo da vida.

A minha noiva, Ingrid Conte, pelo carinho e pela compreensão nos finais de semana que me dediquei a esta produção.

Ao meu orientador pela compreensão da dificuldade de estar mais presente nas atividades acadêmicas, devido ao trabalho.

Aos engenheiros da HICON, Maria Clara, Amanda Moraes e Lucas Peralta, pela grande dedicação e contribuição que tiveram para este estudo e pelas centenas de reuniões que tivemos para desenvolvimento de uma metodologia inovadora e consistente.

Ao engenheiro ambiental Thiago Pires de Paula, pelo material de estudo, pelas informações técnicas e pelo incentivo a este trabalho.

Aos funcionários do INEA em especial aos da Gerência de Licenciamento de Recursos Hídricos (GELIRH), que sempre apoiaram a conclusão deste trabalho.

A todos os professores, que compuseram esta banca, pelos comentários e sugestões, extramente pertinentes, que contribuíram para o refinamento deste estudo.

Ao meu querido avô, José Ferreira, que deve estar bastante orgulhoso por esta conquista, por sempre ter participado e incentivado os meus estudos.

*Seja você o que pretende que o mundo seja.*

*Gandhi*

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

**METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO  
PERMANENTE DAS MARGENS DE CURSOS D'ÁGUA: UM ESTUDO DE CASO  
NA BACIA DO RIO PIABANHA**

**Mauro Medeiros de Carvalho Junior**

Maio/2013

Orientador: José Paulo Soares de Azevedo

Programa: Engenharia Civil

Este trabalho objetiva apresentar uma metodologia para demarcação das Áreas de Preservação Permanente (APP) das margens de cursos d'água, baseado, juridicamente, no disposto na Lei Federal 12.651 de 2012 e no Decreto Estadual 42.356 de 2010 e, tecnicamente, nos dados secundários obtidos, que foram analisados e processados. Para exemplificação, foi escolhida a bacia do rio Piabanha, visando realizar um estudo de caso. Os resultados indicaram que a metodologia é perfeitamente aplicável na bacia, podendo ser estendida para o Estado do Rio de Janeiro e, com algumas adaptações para todo o Brasil. Além disso, foi feita uma grande revisão bibliográfica tanto nos aspectos jurídicos quanto nos técnicos, sendo propostas alterações na base legal, assim como novas regulamentações. Este trabalho buscou simplificar e padronizar procedimentos para que os órgãos ambientais competentes pudessem aplicar a metodologia de forma correta, clara e consistente.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

METHODOLOGY FOR DETERMINATING THE PERMANENT PRESERVATION  
AREAS OF RIVERSIDE: A CASE STUDY IN THE PIABANHA WATERSHED

Mauro Medeiros de Carvalho Junior

May/2013

Advisor: José Paulo Soares de Azevedo

Department: Civil Engineering

This work presents a methodology for demarcation of Permanent Preservation Areas (APP) of rivers, legally, based in the provisions of the Federal Act 12.351 of 2012 and in the State Decree 42.356 of 2010 and, technically, in the secondary data obtained, which was analyzed and processed. For exemplifying, the Piabanha river watershed was chosen, aiming to realize a case study. The results indicated that the methodology is perfectly applicable in this watershed and can be extended to the State of Rio de Janeiro, and throughout Brazil with some adjustments. Besides, it has been made a large literature review regarding both the legal and the technical aspects, where changes were proposed in the legal basis, as well as new regulations. This study aimed to simplify and standardize the procedures in a way that the environmental agencies could apply the methodology correctly, clearly and consistently.

# SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO .....	1
1.1 - CONTEXTO .....	1
1.2 - MOTIVAÇÃO .....	2
1.3 - OBJETIVO.....	3
1.3.1 - OBJETIVO GERAL.....	3
1.3.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.4 - LIMITAÇÕES CONSIDERADAS .....	4
1.5 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	5
2 - LEGISLAÇÃO APLICADA AO TEMA.....	6
3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	33
3.1 - DEFINIÇÕES .....	33
3.2 - REVISÃO DAS METODOLOGIAS APLICADAS PARA DEMARCAÇÃO DAS APPs EM MARGEM DE CURSOS D'ÁGUA .....	38
4 - ZONA RIPÁRIA, APPS DE MARGEM DE RIO E VAZÕES AMBIENTAIS .....	48
4.1 - ZONA RIPÁRIA .....	48
4.2 - FUNÇÕES DA ZONA RIPÁRIA .....	50
4.2.1 - ZONA RIPÁRIA E A REDUÇÃO DO PICO DE CHEIA.....	54
4.2.2 - ZONA RIPÁRIA E O CONTROLE DA EROSÃO.....	56
4.2.3 - ZONA RIPÁRIA E A RETENÇÃO DE SEDIMENTOS .....	57
4.2.4 - ZONA RIPÁRIA E A RETENÇÃO DE POLUENTES.....	59
4.2.5 - ZONA RIPÁRIA E A FAUNA.....	62
4.3 - ZONA RIPÁRIA E AS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE .....	63
4.4 - ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E A DETERMINAÇÃO DE HIDROGRAMAS AMBIENTAIS .....	64
5 - METODOLOGIA PROPOSTA .....	70
5.1 - METODOLOGIA GERAL .....	70
5.2 - DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM.....	71

5.3 - CÁLCULO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO .....	72
5.4 - CÁLCULO DA INTENSIDADE DE CHUVA .....	74
5.5 - CÁLCULO DA VAZÃO DE REFERÊNCIA .....	77
5.5.1 - CÁLCULO DA VAZÃO DE REFERÊNCIA UTILIZANDO O MÉTODO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO (HUT) DO SCS .....	79
5.5.2 - CÁLCULO DA VAZÃO DE REFERÊNCIA UTILIZANDO O MÉTODO RACIONAL.....	86
5.6 - CÁLCULO DA LARGURA DE REFERÊNCIA DO CURSO D'ÁGUA .....	90
5.7 - DETERMINAÇÃO DA LARGURA DA APP/FMP .....	91
6 - DIAGNÓSTICO DA BACIA DO RIO PIABANHA .....	101
6.1 - CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA .....	101
6.2 - GEOMORFOLOGIA .....	102
6.3 - USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	105
6.4 - CLIMA E REGIME PLUVIOMÉTRICO .....	109
6.5 - VEGETAÇÃO E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO .....	111
7 - DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DOS CURSOS D'ÁGUA DA BACIA DO RIO PIABANHA .....	113
8 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	133
8.1 - CONCLUSÕES.....	133
8.2 - RECOMENDAÇÕES.....	134
9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	136



# **1 - INTRODUÇÃO**

## **1.1 - CONTEXTO**

Com a intensificação da ocupação das bacias hidrográficas, o equilíbrio entre demanda e disponibilidade hídrica torna-se difícil, assim como o controle do uso e ocupação do solo, podendo resultar em escassez dos recursos hídricos, alteração do regime natural dos rios, danos ao ecossistema aquático natural, além de colocar em risco a população que se encontra nestas áreas próximas aos corpos hídricos. A estimativa correta da disponibilidade hídrica e o planejamento adequado do uso e ocupação do solo tornam-se então de suma importância para garantia dos usos múltiplos (agricultura, abastecimento de água para populações, geração de energia elétrica, pesca, navegação e recreação, etc), além de permitir a integração entre a gestão ambiental e a gestão de recursos hídricos.

A adoção, na prática, do conceito de Vazão Ambiental é um tema relativamente novo no Brasil, tendo seu conceito ainda bastante debatido como, por exemplo, na última oficina "Vazões Ambientais no Contexto do SINGREH" realizada nos dias 20 e 21 de outubro de 2009, em Brasília. No Brasil, sua determinação é realizada de maneira simplista pelos órgãos gestores, geralmente baseada em métodos hidrológicos apenas, com valor constante ao longo do ano. No entanto, sua determinação é muito importante para que possam ser previstas e monitoradas não só variáveis quantitativas, mas também qualitativas dos cursos d'água.

Neste contexto, as Áreas de Preservação Permanente (APP) das margens de rios, previstas na Lei Federal 12.651 de 2012, devem ser vistas como importante aliadas na questão das vazões ambientais, e consequentes hidrogramas ambientais que serão explicados mais adiante, pois estas áreas estão inseridas na zona ripária dos cursos d'água e sua preservação contribui para a proteção e melhoria da qualidade da água, manutenção da flora e fauna (especialmente da mata ciliar e da biota aquática), minimiza processos erosivos das margens e permite a manutenção da capacidade hidráulica da calha fluvial para conduzir as águas superficiais.

Em geral, quando se fala sobre vazões ambientais, o pensamento mais comum é sobre a necessidade de se determinar as vazões mínimas a serem mantidas nos cursos d'água, garantindo as funções ambientais. Porém, o conceito de vazões ambientais não

se restringe a determinar vazões mínimas, mas também as máximas ou pulsos de vazões, daí a introdução do conceito de hidrogramas ambientais. Nas áreas sujeitas às inundações é essencial conhecer as cotas seguras e o afastamento mínimo para que a população possa viver com segurança e, também, para que o ecossistema aquático possa ser preservado e mantido com suas características e funções.

Por este motivo, podemos entender que vazões ambientais não se referem a um número, mas sim de uma variação no regime hidrológico de um curso d'água. Assim, o conceito de hidrograma ambiental pode ser mais adequado e melhor compreendido para o alcance dos objetivos desta variável ambiental.

Nesse contexto, no estado do Rio de Janeiro, existem as Faixas Marginais de Proteção dos corpos d'água estaduais (FMP) que são consideradas Áreas de Preservação Permanente (APP) de margens de cursos d'água, nos termos do inciso III, do Artigo 268, da Constituição do Estado do Rio de Janeiro. Assim, as APPs e FMPs são tratadas de forma unificada. A FMP é um instrumento contido na Política Estadual de Defesa e Proteção das Bacias Fluviais e Lacustres do Rio de Janeiro (Lei Estadual nº 650, de 11 de janeiro de 1983).

As Áreas de Preservação Permanente, no estado do Rio de Janeiro são demarcadas, de forma pioneira, pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA) e até a presente data já foram demarcadas mais de 4.500 trechos de preservação desde 1983.

A escolha da bacia do rio Piabanha se justifica por diversos motivos tais como: ser um dos afluentes do rio Paraíba do Sul, um dos principais mananciais do estado do Rio de Janeiro; por estar inserido na região serrana do estado, na qual apresenta diversas peculiaridades e riscos de inundação; apresenta interesse energético para construção de PCHs, cujos arranjos propostos podem alterar localmente o regime de vazões e finalmente por fazer parte da bacia experimental de estudo do projeto submetido ao CT-HIDRO 01/2010.

## **1.2 - MOTIVAÇÃO**

No Instituto Estadual do Ambiente (INEA), do qual faço parte desde 2009 e atualmente como gerente da área de licenciamento de recursos hídricos, foi iniciado um trabalho em parceria com a empresa HICON Engenharia de Recursos Hídricos, em 2010, para desenvolvimento de metodologia para determinação das Faixas Marginais de Proteção (FMP) no estado do Rio de Janeiro.

Neste contexto foram realizadas dezenas de reuniões técnicas para que pudesse ser avaliada uma forma prática e consistente para determinação das Áreas de Preservação Permanente previstas na legislação. No entanto, como não existe nenhum trabalho nacional que defina esta metodologia foi definida uma específica para o estado do Rio de Janeiro, que pode ser perfeitamente aplicada para todo o Brasil, com as devidas adaptações.

Este trabalho apresenta a metodologia geral desenvolvida e uma específica para a bacia do rio Piabanha, na qual foi feito um estudo de caso visando avaliar as limitações do método, as devidas adequações legais e possíveis otimizações. Além disso, este estudo buscou utilizar ao máximo o Sistema de Informações Geográficas (SIG) para mostrar que é o melhor caminho para efetiva demarcação de forma contínua das Áreas de Preservação Permanente, já que no Brasil, quando demarcadas, ainda são feitas de forma pontual, que impede o efetivo objetivo de preservação destas áreas.

Considerando a relação direta da definição das APPs com a legislação houve necessidade de ser realizada uma extensa revisão do arcabouço legal relacionado ao tema, que vai desde a publicação do Código de Águas em 1934 até a publicação mais recente da Lei Federal 12.651 de 2012 que revogou o Código Florestal. Esta revisão permite expor o complicador criado para efetiva demarcação, além da dificuldade de integração do disposto nas legislações relacionadas ao tema.

## **1.3 - OBJETIVO**

### **1.3.1 - OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem como objetivo geral mostrar a importância das áreas de preservação permanente das margens dos cursos d'água, incorporando aspectos hidrológicos e ecológicos. Busca-se com este estudo a introdução do conceito de zona ripária que não é muito comentado dentro das discussões sobre gestão de recursos hídricos e meio ambiente.

Além disso, permitirá um planejamento e estudo de viabilidade mais refinado para os empreendedores quanto ao desenvolvimento de atividades que requerem o uso deste recurso natural ou que estejam previstas próximas a cursos d'água. Ainda, será proposta uma metodologia mais eficaz e clara para determinação e fiscalização destas áreas de preservação pelos órgãos gestores.

### **1.3.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Considerando a complexidade do tema, mas também a necessidade atual dos órgãos gestores, tendo em vista a escassa produção técnica relacionada e a dificuldade de aplicação prática da base legal existente, busca-se de forma específica:

- a) realizar um diagnóstico ambiental da bacia do Piabanha;
- b) mostrar as vantagens da utilização das ferramentas de geoprocessamento na determinação das Áreas de Preservação Permanente (APP);
- c) apresentar uma metodologia para determinação das Áreas de Preservação Permanente (APP) ao longo de cursos d'água;
- d) determinar as Áreas de Preservação Permanente (APP) ao longo dos rios que compõem a bacia do Piabanha;
- e) fornecer diretrizes para determinação de hidrogramas ambientais, introduzindo o conceito da zona riparia.

### **1.4 - LIMITAÇÕES CONSIDERADAS**

A metodologia para determinação das áreas de preservação permanente aqui apresentada possui critérios acadêmicos, devendo a mesma passar por adaptações para cada estado ou região hidrográfica nos quais seja aplicada.

Este trabalho não possui o objetivo de determinar hidrogramas ambientais para a bacia do Piabanha, mas sim fornecer parâmetros e diretrizes importantes como a determinação das áreas de preservação permanente de margem de cursos d'água, as quais serão consideradas como parte integrante do processo.

Não serão abordados critérios e metodologia para determinação das áreas de preservação permanente de ambientes lênticos, como lagos, lagoas e reservatórios.

Considerando que não foi possível realizar levantamento topobatimétrico nos principais cursos d'água na bacia, o trabalho não pode avançar com a delimitação da zona ripária utilizando também o conceito das áreas de inundação. No entanto, toda a metodologia foi discretizada para o desdobramento e continuidade em futuros trabalhos.

Apesar da existência de reservatórios artificiais para geração de energia, na bacia do Piabanha, não foi feito estudo específico de influência no regime de vazões.

## **1.5 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação está organizada em nove capítulos, contando com este capítulo introdutório e sendo o último a apresentação das referências bibliográficas.

O Capítulo 2 apresenta uma ampla revisão da legislação aplicada ao tema, abordando desde a publicação do Código de Águas em 1934 até a mais recente revogação do Código Florestal através da publicação da Lei Federal 12.651 de 2012.

O Capítulo 3 buscou realizar uma revisão das metodologias aplicadas para demarcação das APPs em cursos d'água, além de apresentar as definições dos termos técnicos que foram usados ao longo do trabalho. Desta forma, muitos destes termos que são expressos na legislação e em outras normativas que não possuem definições ou que não aprofundam o tema puderam ser compreendidos.

O Capítulo 4 apresentou a importância do conceito de zona ripária e suas diversas funções que vão ao encontro de toda a metodologia proposta para preservação das Áreas de Preservação Permanente. Além disso, foi apresentada a relação destas áreas com a determinação de hidrogramas ambientais.

No Capítulo 5 foi apresentada a metodologia passo a passo para determinação das Áreas de Preservação Permanente em consonância com a Lei Federal 12.651 de 2012 e o Decreto Estadual 42.356 de 2010.

O diagnóstico da bacia foi realizado no Capítulo 6, no qual foi apresentado o uso e ocupação do solo da bacia do rio Piabanha, o clima e regime pluviométrico, a vegetação e unidades de conservação, previstas na Lei Federal 9.9985 de 2000.

No Capítulo 7 foi realizado o estudo de caso na bacia do rio Piabanha, aplicando a metodologia desenvolvida nos cursos d'água contemplados na base hidrográfica 1:25.000 da extinta Fundação CIDE, atual CEPERJ (Fundação Centro Estadual, Pesquisa e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro).

Por fim, o Capítulo 8 trás as conclusões pertinentes e apresenta algumas recomendações para aprofundamento do presente trabalho, com sugestões para estudos futuros.

## **2 - LEGISLAÇÃO APLICADA AO TEMA**

Para o tema em questão existe um vasto arcabouço legal relacionado e neste capítulo, busca-se apresentar as principais Leis, Decretos e Portarias em ordem cronológica. Pode ser observado que a legislação que versa sobre os recursos hídricos teve seu início marcada pela criação do Código de Águas em 1934, que possuía um caráter mais voltado para dominialidade e uso deste recurso. Em 1965, com a publicação do código florestal, já pode ser notado o início de uma maior preocupação, não somente com o uso deste recurso, mas também com sua proteção. Esta discussão de uso e proteção também pode ser observada na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal nº 9.433 de 1997) que é voltada mais para o uso do recurso e na Política Nacional de Meio Ambiente (Lei Federal 6.938 de 1981) que é voltada mais para a proteção.

Ainda existe esta visão separada da gestão ambiental e da gestão de recursos hídricos, mas a tendência é buscar a integração, pois são assuntos interligados e não há como gerir de forma sustentável, sem avaliar os impactos ambientais sinérgicos e suas respectivas formas de mitigação.

### **1934**

O Código de Águas, Decreto Federal nº 24.643, de 10 de junho de 1934, introduziu o conceito de terrenos reservados e terrenos de marinha. Os terrenos reservados são os que, banhados pelas correntes navegáveis, fora do alcance das marés, vão até a distância de 15 metros para a parte de terra, contados desde o ponto médio das enchentes ordinárias. Já os terrenos de marinha são todos os que, banhados pelas águas do mar ou dos rios navegáveis, e vão até 33 metros para a parte da terra, contados desde o ponto a que chega o preamar médio.

Cabe ressaltar, que no caso de correntes não navegáveis, o Art. 12. estabeleceu uma faixa de servidão de trânsito de 10 metros para os agentes públicos quando da necessidade de execução de serviço.

Conforme relata o Art. 15. Do referido código, “o limite que separa o domínio marítimo do domínio fluvial, para o efeito de medirem-se ou demarcarem-se 33 (trinta e três), ou 15 (quinze) metros, conforme os terrenos estiverem dentro ou fora do alcance das marés, será indicado pela seção transversal do rio, cujo nível não oscile com a maré

ou, praticamente, por qualquer fato geológico ou biológico que ateste a ação poderosa do mar.”

Conforme disposto na orientação normativa (ON-GEADE-03), da Secretaria de Patrimônio da União (SPU), que disciplina a demarcação de terrenos marginais e seus acrescidos, *considerar-se-á, para efeito de cálculo da média das enchentes ordinárias, as cotas máximas anuais referentes às enchentes com período de recorrência igual a 3 anos, excluindo-se as enchentes com período de recorrência igual ou superior a 20 anos.*

Em seu Art. 30 e Art. 31 expõe que *pertencem a União os terrenos de marinha e os acrescidos natural ou artificialmente, conforme a legislação especial sobre o assunto, e que pertencem aos Estados os terrenos reservados as margens das correntes e lagos navegáveis, si, por algum título, não forem do domínio federal, municipal ou particular.*

Em resumo, o código de águas estabelece critérios e conceitos diretamente ligados a dominialidade, execução de obras hidráulicas e as questões relacionadas à navegação, que para a época eram os principais fatores que careciam de uma disciplina. Não havia ainda uma preocupação explícita com a questão da preservação das margens ou qualquer relação com as espécies que ali existiam. No entanto, introduziram, ainda que superficialmente, faixas de restrição de uso para as margens dos cursos d’água (terrenos reservados e faixa de servidão) e das áreas estuarinas (terrenos de marinha).

## **1965**

Recentemente, o código florestal de 1965 (Lei Federal 4.771 de 1965) foi revogado pela lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. No entanto, é importante fazer um breve histórico deste código para o entendimento correto das ações tomadas pela administração pública quanto à proteção dos cursos d’água e suas margens. O texto do Código Florestal instituído em 1965 definia como de preservação permanente apenas as florestas e demais formas de vegetação ao longo dos cursos d’água, no entanto não definiu o ponto de referência para demarcação da largura de APP (nível médio, nível de enchente, borda da calha, etc). A largura mínima era de 5 metros, para rios de até 10 metros de largura e a largura máxima era de 100 metros para os cursos d’água superiores a 200 metros de largura.

*Art. 2º Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:*

*a) ao longo dos rios ou de outro qualquer curso d'água, em faixa marginal cuja largura mínima será:*

*1 - de 5 (cinco) metros para os rios de menos de 10 (dez) metros de largura:*

*2 - igual à metade da largura dos cursos que meçam de 10 (dez) a 200 (duzentos) metros de distancia entre as margens;*

*3 - de 100 (cem) metros para todos os cursos cuja largura seja superior a 200 (duzentos) metros.*

## **1979**

A Lei federal 6.766 de 19 de dezembro de 1979, dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, e estabeleceu, em seu Art. 4º uma faixa não-edificável de 15 metros, para ambos os lados, ao longo das águas correntes e dormentes. No entanto, é fácil observar que esta faixa dificilmente é respeitada e observada em projetos urbanísticos para loteamento. Outras faixas sanitárias do terreno, necessárias ao escoamento das águas pluviais, devem ser indicadas na planta do loteamento pela Prefeitura, conforme disposto no Art. 7º da referido lei.

*Art. 4º. Os loteamentos deverão atender, pelo menos, aos seguintes requisitos:*  
(...)

*III - ao longo das águas correntes e dormentes e das faixas de domínio público das rodovias e ferrovias, será obrigatória a reserva de uma faixa não-edificável de 15 (quinze) metros de cada lado, salvo maiores exigências da legislação específica; (Redação dada pela Lei nº 10.932, de 2004)*

Ainda, em seu Art. 7º relata:

*Art. 7º. A Prefeitura Municipal, ou o Distrito Federal quando for o caso, indicará, nas plantas apresentadas junto com o requerimento, de acordo com as diretrizes de planejamento estadual e municipal:*  
(...)

*IV - as faixas sanitárias do terreno necessárias ao escoamento das águas pluviais e as faixas não edificáveis;*



No âmbito estadual cabe destacar o Decreto nº 2.330, de 08 de janeiro de 1979, que instituiu o Sistema de Proteção dos Lagos e Cursos d'água (SIPROL) do ERJ. Em seu Art. 6º, coloca a faixa marginal de proteção (FMP) como um instrumento do SIPROL.

*Art. 6º - São instrumentos de controle do Sistema de Proteção dos Lagos e Cursos d'Água, e de iniciativa da SERLA, o Projeto de Alinhamento de Rio (PAR), o Projeto de Alinhamento de Orla de Lago (PAL), a Faixa Marginal de Proteção (FMP) e a Licença para Extração de Areia (LA). (grifei)*

Ainda, o referido decreto estabeleceu faixas de multas para intervenções nas faixas marginais de proteção.

## 1981

Em 1981 temos o marco da Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. Em seu Art. 2º dispõe que:

*A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana.*

Assim, seus princípios e objetivos, expostos nos Art. 2º e Art. 4º, corroboram para a necessidade de preservação e recuperação das áreas de interesse ecológico, o que vai ao encontro das políticas de preservação e definição das faixas marginais de proteção dos cursos d'água.

## 1983

A lei Estadual nº 650, de 11 de janeiro de 1983, dispõe sobre a Política Estadual de Defesa e Proteção das Bacias Fluviais e Lacustres do Rio de Janeiro. Em resumo, esta lei corroborou as disposições já expostas no Decreto nº 2.330, de 08 de janeiro de 1979, que instituiu o Sistema de Proteção dos Lagos e Cursos d'água (SIPROL) do ERJ.

Em seu Art. 3º no Parágrafo Único relata que *a Faixa Marginal de Proteção (FMP), nos limites da definição contida no art. 2º da Lei nº 4771, de 15 de setembro de 1965, será demarcada pela Superintendência Estadual de Rios e Lagoas - SERLA, obedecidos os princípios contidos no art. 1º do Decreto-Lei nº 134, de 16 de junho de 1975, e artigos 2º e 4º da Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981, na largura mínima estabelecida no art. 14 do Decreto nº 24643, de 10 de junho de 1934.*

Em Art. 5º e Art. 6º, relatam as competências da SERLA, órgão gestor de recursos hídricos da época, quanto a defesa e proteção das bacias lacustres e fluviais.

*Art. 5º - Para os fins do disposto no artigo anterior, à SERLA compete o poder de polícia e medidas técnico-administrativas sobre as terras marginais e cursos ou coleções de água do domínio estadual, sobre as faixas marginais de servidão pública e sobre os álveos dos cursos de águas, lagoas e seus estuários, bem como sobre suas bacias fluviais e lacustres e respectivos mananciais.*

*Art. 6º - As pessoas físicas ou jurídicas, inclusive as entidades da administração indireta estadual ou municipal, que pretendam executar obras ou serviços que, de qualquer forma, interfiram nos lagos, nos canais ou nas correntes sob jurisdição estadual, nos terrenos reservados, nas faixas de servidão de trânsito, ou nas Faixas Marginais de Proteção (FMP) já demarcadas pela SERLA, deverão, sob pena de responsabilidade:*

*I - submeter à aprovação da SERLA, anteriormente à sua execução, os respectivos projetos, planos, especificações e dados característicos:*

*II - obter prévia autorização da SERLA para a execução das referidas obras ou serviços.*

## **1986**

Em 1986, alguns dispositivos do Código Florestal foram alterados. A largura mínima das florestas e demais formas de vegetação natural situadas ao longo dos rios, consideradas de preservação permanente, passaram a ter valores maiores, conforme descrito abaixo:

*Art. 1º Os números da alínea a do artigo 2º da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que institui o novo Código Florestal, passam a vigorar com as seguintes alterações e acréscimos:*

*Art. 2º.....*

*a) .....*

- 1. de 30 (trinta) metros para os rios de menos de 10 (dez) metros de largura;*
- 2. de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;*
- 3. de 100 (cem) metros para os cursos d'água que meçam entre 50 (cinquenta) e 100 (cem) metros de largura;*
- 4. de 150 (cento e cinquenta) metros para os cursos d'água que possuam entre 100 (cem) e 200 (duzentos) metros de largura; igual à distância entre as margens para os cursos d'água com largura superior a 200 (duzentos) metros;*

Desta forma, a largura mínima para a APP passou de 5 metros para 30 metros e a máxima também foi ampliada e passou a ser variável de acordo com a largura do corpo hídrico. Do ponto de vista ambiental, o ganho é inegável, mas cabe ressaltar que na prática, começaram os problemas técnicos e jurídicos para aplicação do disposto na legislação, pois teoricamente para avaliação, do poder público fiscalizador, do cumprimento dos limites da APP, as construções tiveram que ser analisadas caso a caso, já que poderiam estar implantadas antes da publicação das alterações dos limites.

Por exemplo, uma construção realizada em 1985, próxima a um rio de largura de 10 metros, teria que dar o afastamento mínimo de 5 metros, já outra, que fosse até mesmo ao lado, caso se iniciasse a construção em 1986, após a publicação das alterações no código florestal, teria que ter o afastamento mínimo de 30 metros. E assim, na prática a aplicação e validação da conformidade legal de um empreendimento, quanto ao afastamento mínimo exigido, começava a ser dificultada.

## **1987**

Lei Estadual nº 1.130, de 12 de fevereiro de 1987, define as áreas de interesse especial do Estado e dispõe sobre os imóveis de área superior a 1.000.000m² (um milhão de metros quadrados) e imóveis localizados em áreas limítrofes de municípios,

para efeito do exame e anuência prévia a projeto de parcelamento do solo para fins urbanos, a que se refere o artigo 13 da Lei nº 6.766/79, descrito abaixo:

*Art. 13. Aos Estados caberá disciplinar a aprovação pelos Municípios de loteamentos e desmembramentos nas seguintes condições:*

*I - quando localizados em áreas de interesse especial, tais como as de proteção aos mananciais ou ao patrimônio cultural, histórico, paisagístico e arqueológico, assim definidas por legislação estadual ou federal;*

*II - quando o loteamento ou desmembramento localizar-se em área limítrofe do município, ou que pertença a mais de um município, nas regiões metropolitanas ou em aglomerações urbanas, definidas em lei estadual ou federal;*

*III - quando o loteamento abranger área superior a 1.000.000 m<sup>2</sup>.*

*Parágrafo único - No caso de loteamento ou desmembramento localizado em área de município integrante de região metropolitana, o exame e a anuência prévia à aprovação do projeto caberão à autoridade metropolitana.*

A Lei Estadual nº 1.130, de 12 de fevereiro de 1987, em seu Art. 3º, considera como área de interesse especial as áreas de proteção dos corpos hídricos.

*Art. 3º - Consideram-se de Interesse Especial do Estado as seguintes áreas:*

*(...)*

*VI - Áreas de proteção de rios, ilhas fluviais e lacustres, lagos, lagoas e reservatórios;*

Em e em seu Art. 9º define que as áreas de interesse, citada no Art. 3º e destacada acima, são as faixas marginais de proteção dos cursos d'água. Cabe destacar, que ficou definida a demarcação da FMP a partir do eixo do curso d'água, sendo diferente, ainda da forma de demarcação das áreas de preservação permanente, previstas no código florestal, que considerava a margem como referência. Será destacado mais adiante que só em 1989, com a Constituição Estadual, que as FMPs passaram a ser consideradas como Áreas de Preservação Permanente, sendo tratadas de forma unificada.

*Art. 9º - As áreas de interesse especial, a que alude o art. 3º - inciso VI, compreendem as faixas marginais dos rios, lagos, lagoas e reservatórios d'água, as ilhas fluviais e lacustres, do domínio público, estabelecidas de acordo com critérios técnicos e regulamentares de ordem hidrográfica, geológica, geotécnica e ecológica, da seguinte forma:*

*I) rios: a largura das faixas correspondentes as áreas de interesse especial será demarcada pela Superintendência Estadual de Rios e Lagoas - SERLA e pela Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente - FEEMA, a partir do eixo do curso d'água;*

Na referida legislação surgiu a primeira definição legal das faixas marginais de proteção.

*Art. 9º. (...)*

*Parágrafo único – As faixas marginais de proteção de rios, lagos, lagoas e reservatórios d'água previstas neste artigo, são as faixas de terra necessárias à proteção, à defesa, à conservação e operação de sistemas fluviais e lacustres, determinadas em projeção horizontal e considerados os níveis máximos de água (NMA), de acordo com as determinações dos órgãos Federais e Estaduais competentes.*

Ainda em 1987, o Decreto Estadual nº 9.760, de 11 de março de 1987, regulamentou a Lei Estadual nº 1.130, de 12 de fevereiro de 1987 e em seu Art. 11, proíbe o parcelamento do solo nas faixas marginais de proteção.

*Art. 11 - Não será permitido o parcelamento do solo:*

*II - Nas faixas marginais de proteção de rios, definidas no Art. 9º da Lei no 1.130, sendo que a ocupação seguirá as disposições da Superintendência Estadual de Rios e Lagoas - SERLA e FEEMA.*

## **1988**

O principal artigo da Constituição Federal, que trata sobre as questões relacionadas ao meio ambiente é o Art. 225 que diz:

*Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.*

Cabe destacar que a responsabilidade pela preservação e defesa do meio ambiente não cabe somente ao poder público, mas também a coletividade. Isso é bastante relevante, pois é impossível impor somente aos órgãos fiscalizadores e gestores a responsabilidade exclusiva. Isto vai ao encontro das diversas políticas públicas que foram e estão em processo de elaboração. Para o tema em questão, um exemplo recente é a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, mais detalhada a frente, que coloca como responsabilidade de todos os atores da sociedade na preservação e restauração dos processos ecológicos.

*“a responsabilidade comum da União, Estados, Distrito Federal e Municípios, em colaboração com a sociedade civil, na criação de políticas para a preservação e restauração da vegetação nativa e de suas funções ecológicas e sociais nas áreas urbanas e rurais”.*

Ainda, coloca a obrigatoriedade do reflorestamento, por parte do proprietário do lote ou terreno, em uma parcela da área de preservação permanente existente nas margens dos cursos d'água.

A referida Constituição Federal torna o município ente federativo, com autonomia para legislar sobre o uso e ocupação do solo urbano, conforme exposto no Art. 30. Esta definição, de certa forma é positiva pelo ponto de vista de que os municípios possuem maior proximidade com o seu território e com o planejamento territorial existente e previsto. Porém, quanto as áreas de preservação permanente de cursos d'água, pode ocasionar certo entrave, pois no caso do estado do Rio de Janeiro, é atribuição estadual a demarcação das faixas marginais de proteção de cursos d'água estaduais e então os municípios deveriam, antes de aprovarem seu zoneamento ou as licenças competentes, observar os limites das faixas já demarcadas ou consultarem o órgão estadual. No entanto, como a densidade de drenagem é muito alta, ainda não foi possível a

demarcação de todos os corpos hídricos do estado, dificultando a compatibilização dos instrumentos e competências estaduais e municipais.

Além disso, considerando que os cursos d'água só podem ser de domínio federal ou estadual, e como existe a necessidade de adotar um ponto de referência para demarcação, que em geral é determinada através de informações hidrológicas, muitos municípios teriam maiores dificuldades para fazer tal demarcação, assim como a isonomia na aplicação do instrumento, já que os limites territoriais municipais nem sempre coincidem com os limites topográficos que permitem a definição da bacia hidrográfica, que é unidade de gestão de recursos.

Desta forma, a utilização de ferramentas de geoprocessamento e um ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), que serão abordadas mais a frente, pode ser uma excelente solução para acelerar o processo de demarcação e permitir um melhor casamento das esferas públicas.

*Art. 30. Compete aos Municípios:*

*I - legislar sobre assuntos de interesse local;*

*(...)*

*VIII - promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano;*

## **1989**

Em 1989, o código florestal sofreu novas alterações, bastante significativas, através da lei nº 7.803, de 18 de julho de 1989. Os limites foram alterados, e definidas novas larguras para as áreas de preservação permanente. Além disso, foi definida APP de 50 metros ao redor das nascentes e “olhos d'água”, antes somente declarados como áreas de preservação, porém sem definição do tamanho da área de proteção.

Ainda cabe destacar uma importante alteração no texto do Art. 2º, sendo incluída a seguinte redação: “*ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja:*” (**grifo próprio**). Esta inclusão passou a dar uma referência, ainda que com diferentes interpretações, do ponto a partir do qual seriam demarcadas as áreas de preservação permanente, já que até então não deixava claro qual era esta referência, sendo a margem uma suposta interpretação.

*I - O art. 2º passa a ter a seguinte redação:*

*" Art. 2º .....*

*a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja:*

*1) de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;*

*2) de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;*

*3) de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;*

*4) de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;*

*5) de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;*

*(...)*

*c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;*

Ainda no Art. 2º foi incluído um parágrafo único, que ficou extremamente subjetivo e de pouca ou nenhuma aplicação prática. Já que dá a entender que os limites das áreas de preservação permanente, em áreas urbanas, seria definida pelos municípios em suas leis e planos diretores. Porém o trecho final do parágrafo relata que apesar de serem definidos pelo município, devem ser respeitados os princípios e limites mínimos estabelecidos no código florestal, isto é, o mínimo de 30 metros para os cursos d'água. Portanto, o parágrafo se torna redundante, pois o referido artigo, já havia explicitado que os limites estabelecidos pelo código eram mínimos, isto é, poderiam ser ampliados.

*Parágrafo único. No caso de áreas urbanas, assim entendidas as compreendidas nos perímetros urbanos definidos por lei municipal, e nas regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, em todo o território*



*abrangido, observar-se-á o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso do solo, respeitados os princípios e limites a que se refere este artigo.*

## **Constituição Estadual de 1989**

Com a Constituição Estadual do Rio de Janeiro, de 1989, as faixas marginais de proteção (FMP), nos termos do inciso III, do artigo 268, passaram a ser consideradas como áreas de preservação permanente. Desta forma, todo o arcabouço legal associado às áreas de preservação permanente, também passaram a valer para as faixas marginais de proteção, assim como seus limites mínimos, estabelecidos no código florestal em vigor na época.

*Art. 268 - São áreas de preservação permanente:*

*I - os manguezais, lagos, lagoas e lagunas e as áreas estuarinas;*

*II - as praias, vegetação de restingas quando fixadoras de dunas, as dunas, costões rochosos e as cavidades naturais subterrâneas - cavernas (Ver art. 32, e ADCT, art. 89);*

*III - as nascentes e as faixas marginais de proteção de águas superficiais;*

*IV - as áreas que abriguem exemplares ameaçados de extinção, raros, vulneráveis ou menos conhecidos, na fauna e flora, bem como aquelas que sirvam como local de pouso, alimentação ou reprodução;*

*V - as áreas de interesse arqueológico, histórico, científico, paisagístico e cultural;*

*VI - aquelas assim declaradas por lei;*

*VII - a Baía de Guanabara.*

## **1999**

Em 1999 temos como destaque a Lei Estadual 3.239, de 02 de agosto de 1999, que institui a política estadual de recursos hídricos, criou o sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos, e regulamentou a Constituição Estadual, em seu Art. 261 (parágrafo 1º, inciso VII).

No Art. 4º, temos como as principais diretrizes da Política Estadual de Recursos Hídricos, ligadas ao tema em debate, como:

*Art. 4º. São diretrizes da Política Estadual de Recursos Hídricos*

*(...)*

*V - articulação do planejamento do uso e preservação dos recursos hídricos com os congêneres nacional e municipais;*

*(...)*

*VII - o controle das cheias, a prevenção das inundações, a drenagem e a correta utilização das várzeas;*

*(...)*

*X - o zoneamento das áreas inundáveis;*

*(...)*

*XIII - a utilização adequada das terras marginais aos rios, lagoas e lagunas estaduais, e a articulação, com a União, para promover a demarcação das correspondentes áreas marginais federais e dos terrenos de marinha;*

O Art. 33 determina quais serão os instrumentos para proteção dos corpos d'água estaduais. Cabe ressaltar que o Projeto de Alinhamento de Orla de Lagoa ou Laguna, hoje é denominado apenas como PAO (Plano de Alinhamento de Orla). Quanto a Plano de Alinhamento de Rio (PAR), praticamente não é mais utilizado, pois hoje para demarcação da FMP já é feita uma largura de referência associada a uma vazão máxima com tempo de recorrência de 10 anos. Também podemos associar o PAR aos projetos executados pelo INEA para implantação de seções hidráulicas com ou sem revestimento de margem em projetos de recuperação ambiental ou controle de cheias.

*Art. 33 - As margens e leitos de rio, lagoas e lagunas serão protegidos por:*

*I - Projeto de Alinhamento de Rio (PAR);*

*II - Projeto de Alinhamento de Orla de Lagoa ou Laguna (PAOL);*

*III - Projeto de Faixa Marginal de Proteção (FMP);*

*IV - delimitação da orla e da FMP; e*

*V - determinação do uso e ocupação permitidos para a FMP.*

O Art. 34 relata que o Estado **auxiliará** a União na proteção dos cursos d'água de domínio federal, mas não coloca como competência estadual a demarcação de FMP em

rios federais. No entanto, o órgão ambiental estadual, no caso do Rio de Janeiro, acaba tendo que demarcar a faixa de proteção, para que o licenciamento seja fornecido em conformidade técnica e legal, já que no âmbito federal não existe uma definição clara de quem é a competência pela demarcação das áreas de preservação permanente.

Como a demarcação é feita a partir de uma linha de referência, seja o leito regular (pela Lei 12.651 de 2012) ou nível mais alto, pelo revogado código florestal (Lei 4.771 de 1965 e alterações) e que o monitoramento hidrológico dos rios federais não é de competência estadual, a união deveria definir quem terá pelo menos esta atribuição, seja a Agência Nacional de Águas (ANA) e/ou o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis).

*Art. 34 - O Estado **auxiliará** a União na proteção das margens dos cursos d'água federais e na demarcação dos terrenos de marinha e dos acrescidos, nas fozes dos rios e nas margens das lagunas. (grifo próprio)*

## 2001

Em 04 de junho de 2001 a Secretária de Patrimônio da União (SPU) emitiu uma orientação normativa (ON-GEADE-003) que disciplinou, no âmbito federal, a demarcação de terrenos marginais e seus acrescidos. Além disto, introduziu o conceito de Linha Média das Enchentes Ordinárias (LMEO), associando a mesma as enchentes com tempos de recorrências entre 3 e 20 anos.

Segundo a referida normativa a Linha Média das Enchentes Ordinárias será determinada a partir de plantas e documentos de autenticidade irrecusável, relativos ao ano de 1867 ou, quando não obtidos, à época que do mesmo mais se aproxime, e de observações fluviométricas, considerando enchentes com período de recorrência igual a 3 anos ou superior, desde que devidamente justificado, excluindo-se as enchentes com período de recorrência igual ou superior a 20 anos.

Cabe destacar que LMEO e seus respectivos terrenos marginais, não possuem qualquer relação legal com a questão da demarcação das áreas de preservação permanente, já que sua única função é determinar a dominialidade dos terrenos e não possuem finalidade de preservação ambiental, ainda que quase sempre estarão contidos nas áreas de preservação permanente das margens dos corpos d'água.

Ainda, no âmbito federal, foi sancionada a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, que altera os Arts. 1º, 4º, 14, 16 e 44, e acresce dispositivos à Lei nº 4.771/65 (Código Florestal), bem como altera o Art. 10 da Lei nº 9.393/96, que dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural – ITR. Esta medida provisória introduz em sua definição de área de preservação permanente, como uma área a ser protegida, **coberta ou não por vegetação nativa**. Esta consideração é bastante significativa, pois de certo modo, acaba com a dúvida se a preservação deveria ser feita apenas para áreas que não sofreram intervenção.

*Art. 1º.....*

*(...)*

*II - área de preservação permanente: área protegida nos termos dos arts. 2º e 3º desta Lei, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas*

A referida medida provisória também introduz o tema da supressão de vegetação nas áreas de preservação permanente e estabelece que serão permitidas, com a devida aprovação do órgão ambiental competente e definição de medidas compensatórias, nos casos de utilidade pública, interesse social e atividades de baixo impacto. Em 2006, através do CONAMA 369, o assunto é novamente debatido e mais discretizado.

*Art. 4º A supressão de vegetação em área de preservação permanente somente poderá ser autorizada em caso de utilidade pública ou de interesse social, devidamente caracterizados e motivados em procedimento administrativo próprio, quando inexistir alternativa técnica e locacional ao empreendimento proposto.*

*§ 1º A supressão de que trata o caput deste artigo dependerá de autorização do órgão ambiental estadual competente, com anuência prévia, quando couber, do órgão federal ou municipal de meio ambiente, ressalvado o disposto no § 2º deste artigo.*

*§ 2º A supressão de vegetação em área de preservação permanente situada em área urbana dependerá de autorização do órgão ambiental competente, desde que o município possua conselho de meio ambiente com caráter deliberativo e plano diretor, mediante anuência prévia do órgão ambiental estadual competente fundamentada em parecer técnico.*

*§ 3º O órgão ambiental competente poderá autorizar a supressão eventual e de baixo impacto ambiental, assim definido em regulamento, da vegetação em área de preservação permanente.*

*§ 4º O órgão ambiental competente indicará, previamente à emissão da autorização para a supressão de vegetação em área de preservação permanente, as medidas mitigadoras e compensatórias que deverão ser adotadas pelo empreendedor.*

*§ 5º A supressão de vegetação nativa protetora de nascentes, ou de dunas e mangues, de que tratam, respectivamente, as alíneas "c" e "f" do art. 2º deste Código, somente poderá ser autorizada em caso de utilidade pública.*

## **2002**

Em 2002 tivemos a aprovação e publicação de duas Resoluções CONAMA importantes para o tema, a CONAMA nº 302 e 303, que apesar de já terem sido incorporadas, em quase sua totalidade na Lei Federal 12.651 de 2012, ainda não foram revogadas, ficando sem validade, segundo entendimento de alguns juristas, apenas as disposições contrárias a referida lei federal.

### **RESOLUÇÃO CONAMA 303**

Esta resolução, que dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente, em seu Art. 2º, tentou definir o que se entendia como “nível mais alto”, pois tal nível era o ponto de referência para demarcação das áreas de preservação permanente, porém a definição continuou muito vaga do ponto de vista técnico e de difícil aplicação. Assim, para o estado do Rio de Janeiro o ponto de

referência para o “nível mais alto” era a linha d’água correspondente a vazão máxima associada ao tempo de recorrência de 10 anos. Também, introduziu uma definição de nascente, para fins de demarcação de APP, que também é extremamente vaga e que em prática não proporciona nenhum conforto técnico para classificação da mesma.

*Art. 2º Para os efeitos desta Resolução, são adotadas as seguintes definições:*

*I - nível mais alto: nível alcançado por ocasião da cheia sazonal do curso d’água perene ou intermitente;*

*II - nascente ou olho d’água: local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea;*

O texto repete as larguras mínimas e o ponto de referência para demarcação da faixa marginal de proteção, já dispostos no texto do código florestal vigente na época. Porém introduz alguns limites de APP que não foram definidos pelo código florestal, tais como os de lagos e lagoas naturais. Segundo entendimento de alguns juristas, a resolução CONAMA extrapola suas atribuições ao definir limites não estabelecidos em lei federal, portanto atribuindo inconstitucionalidade a tais definições. Cabe ressaltar que esta interpretação quanto a inconstitucionalidade citada não é entendimento unanime no âmbito jurídico, e em nenhum momento tais definições foram formalmente revogadas no âmbito federal.

*III - ao redor de lagos e lagoas naturais, em faixa com metragem mínima de:*

*a) trinta metros, para os que estejam situados em áreas urbanas consolidadas;*

*b) cem metros, para as que estejam em áreas rurais, exceto os corpos d’água com até vinte hectares de superfície, cuja faixa marginal será de cinquenta metros;*

## **RESOLUÇÃO CONAMA 302**

Esta resolução dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Conforme já citado acima existia uma vertente alegando inconstitucionalidade destes limites, porém os mesmos até antes da publicação da revisão do código florestal em 2012, eram utilizados como referência em todo Brasil, principalmente para reservatórios formados em barramentos para geração de energia. A referida resolução permitia certa

flexibilidade para redução ou ampliação destes limites, desde que repetidos as condicionantes impostas em seu conteúdo.

*Art 3º Constitui Área de Preservação Permanente a área com largura mínima, em projeção horizontal, no entorno dos reservatórios artificiais, medida a partir do nível máximo normal de:*

*I - trinta metros para os reservatórios artificiais situados em áreas urbanas consolidadas e cem metros para áreas rurais;*

*II - quinze metros, no mínimo, para os reservatórios artificiais de geração de energia elétrica com até dez hectares, sem prejuízo da compensação ambiental;*

*III - quinze metros, no mínimo, para reservatórios artificiais não utilizados em abastecimento público ou geração de energia elétrica, com até vinte hectares de superfície e localizados em área rural.*

Esta resolução abriu algumas exceções para acumulações artificiais de água, inferiores a cinco hectares de superfície, não havendo nestes casos, salvo as exceções, a necessidade de existir área de preservação permanente no entorno. Mas a frente será apresentado o desdobramento deste parágrafo na Lei 12.651 de 2012.

*Art. 3 (...)*

*§ 6º Não se aplicam as disposições deste artigo às acumulações artificiais de água, inferiores a cinco hectares de superfície, desde que não resultantes do barramento ou represamento de cursos d'água e não localizadas em Área de Preservação Permanente, à exceção daquelas destinadas ao abastecimento público.*

## **2003**

A Portaria SERLA nº 324, de 28 de agosto de 2003, que define a base legal para estabelecimento da largura mínima da FMP. O texto repete as larguras mínimas e o ponto de referência para demarcação de faixa marginal de preservação permanente encontrados no código florestal vigente na época, dando também o mesmo tratamento

às áreas urbanas, conforme descreve o seu parágrafo único no Art.1º. O trecho final do referido parágrafo pode ser interpretado que em áreas urbanas os limites da APPs estabelecidos no código florestal deverão ser os limites mínimos a serem respeitados. Em resumo, nas áreas urbanas os limites das APPs são iguais ou superiores as das áreas rurais.

*Parágrafo Único – No caso de áreas urbanas, assim entendidas as compreendidas nos perímetros urbanos definidos por lei municipal, e nas regiões metropolitanas, e aglomerações urbanas, em todo o território abrangido, observar-se-á o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso do solo, respeitados os princípios e limites a que se refere este artigo.*

## **2006**

A resolução CONAMA nº 369 de 28 de março de 2006 dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente (APP). Esta resolução foi bastante importante para que se iniciasse a discussão para a realidade brasileira, e de quase todos os países do mundo, quanto a herança de colonização e desenvolvimento nas margens dos cursos d'água.

Era de se esperar que a resolução não conseguisse atender a todas as exceções possíveis quanto a possibilidade de supressão e intervenção nas APPs, mas foi bastante relevante quanto a introdução do tema e explicitando a necessidade de se desdobrar no âmbito estadual, através do CONEMA. Foi prevista a possibilidade de intervenção nos casos de obras de utilidade pública, interesse social e de baixo impacto, sendo discretizadas ao longo da resolução.

Nos casos de intervenção em nascentes a resolução condicionou a obtenção da outorga de direito de uso de recursos hídricos.

*Art. 1º (...)*

*§ 3º A autorização para intervenção ou supressão de vegetação em APP de nascente, definida no inciso II do art. 3º da Resolução CONAMA nº 303, de*



*2002, fica condicionada à outorga do direito de uso de recurso hídrico, conforme o disposto no art. 12 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997.*

Cabe ressaltar, que a referida resolução condiciona, em seu Art. 3º, a autorização de supressão e intervenção ao cumprimento de quatro condicionantes descritas abaixo:

*Art. 3º A intervenção ou supressão de vegetação em APP somente poderá ser autorizada quando o requerente, entre outras exigências, comprovar:*

*I - a inexistência de alternativa técnica e locacional às obras, planos, atividades ou projetos propostos;*

*II - atendimento às condições e padrões aplicáveis aos corpos de água;*

*III - averbação da Área de Reserva Legal; e*

*IV - a inexistência de risco de agravamento de processos como enchentes, erosão ou movimentos acidentais de massa rochosa.*

A resolução ainda prevê autorização específica para os casos de regularização fundiária sustentável e a implantação de área verde de domínio público em áreas urbanas, respeitando suas peculiaridades e exceções.

## **2010**

O Decreto nº 42.356, de 16 de março de 2010, dispõe sobre o tratamento e a demarcação das faixas marginais de proteção nos processos de licenciamento ambiental e de emissões de autorizações ambientais no estado do Rio de Janeiro e dá outras providências. Atualmente, devido às mudanças ocorridas com a publicação da Lei Federal 12.651 de 2012, este Decreto está em fase de revisão.

Em seu Art. 3º ratifica a questão do tratamento unificado das faixas marginais de proteção e das áreas de preservação permanente e ainda relata a referência hidrológica da cheia de recorrência de 3 anos como a mínima a ser adotada, que mais a frente será tratada com mais detalhes.

*Art. 3º - Para os fins do presente Decreto as Áreas de Preservação Permanente (APPs) previstas no art. 2º, "a", do Código Florestal e as faixas*

*marginais de proteção (FMPs) a que se referem a Constituição e a legislação estadual serão tratadas de forma unificada, sendo demarcadas pelo Instituto Estadual do Ambiente, ao longo dos rios, nascentes, cursos d'água naturais ou retificados, lagos, lagoas e reservatórios a partir do limite da área atingida por cheia de recorrência não inferior a três anos.*

Em seu Art. 4º apresenta os critérios mínimos para o afastamento dos limites mínimos estabelecidos pelo código florestal, os quais serão abordados mais profundamente durante este trabalho. Cabe ressaltar que o referido decreto já foi ratificado quanto a sua constitucionalidade, através do ofício GAB/SUB-ASJUR CIVEL nº 508/2011, tanto pelo Ministério Público Estadual (MPE) e Procuradoria Geral do Estado (PGE). Cabe ressaltar que o decreto discorre não só sobre a faixa marginal de proteção, mas também sobre os limites a serem fixados pela aplicação da faixa não edificante.

*Art. 4º - Os limites mínimos fixados abstratamente pelo art. 2º, "a", do Código Florestal (Lei Federal nº 4.771/65 e suas alterações) poderão ser reduzidos, em cada caso concreto, unicamente para os fins do disposto no art. 1º, deste Decreto, desde que a área se localize em zona urbana do município e que vistoria local, atestada por pelo menos 03 (três) servidores do Instituto Estadual do Ambiente, comprove, cumulativamente:*

*I - que a área encontra-se antropizada;*

*II - a longa e consolidada ocupação urbana, com a existência de, no mínimo, quatro dos seguintes equipamentos de infra-estrutura urbana:*

*a) malha viária com canalização de águas pluviais;*

*b) rede de abastecimento de água;*

*c) rede de esgoto;*

*d) distribuição de energia elétrica e iluminação pública;*

*e) recolhimento de resíduos sólidos urbanos;*

*f) tratamento de resíduos sólidos urbanos; e*

*g) densidade demográfica superior a cinco mil habitantes por km².*

*III - a inexistência de função ecológica da FMP/APP em questão, desde que identificadas a inexistência de vegetação primária ou vegetação secundária no*

*estágio avançado de regeneração e a presença de, no mínimo, uma das seguintes características:*

*a) ocupação consolidada das margens do curso d'água a montante e a jusante do trecho em análise;*

*b) impermeabilização da FMP/APP;*

*c) capeamento do curso d'água, sendo que, no caso de obras recentes, deverá ser apresentado ao órgão ambiental competente o respectivo projeto aprovado pela prefeitura local ou o levantamento cadastral da obra;*

*IV - que a alternativa de recuperação da área como um todo seja inviável pelos custos manifestamente excessivos para a coletividade.*

*§ 1º - Exceto nos casos de cursos d'água de pequeno porte ou canalizados com margem revestida, a FMP/APP mínima, ainda que presentes os requisitos deste artigo, será de 15 metros, contados:*

*I - a partir de uma seção teórica, capaz de escoar sem extravasamento a vazão máxima de cheia de 10 (dez) anos de recorrência; ou*

*II - a partir das margens existentes se a distância entre as mesmas superar a largura da seção teórica acima citada.*

*§ 2º - Nos cursos d'água de pequeno porte, assim considerados aqueles com vazões máximas, associadas a cheias de 10 (dez) anos de recorrência, não superiores a dez metros cúbicos por segundo, deverão ser demarcadas, em ambas as margens, faixas non edificandi que permitam o acesso do Poder Público ao corpo hídrico, contados na forma dos incisos do § 1º deste artigo, com no mínimo:*

*I - 05 (cinco) metros de largura no caso de vazões iguais ou superiores a seis metros cúbicos por segundo e;*

*II - 01 (um) metro e meio de largura no caso de vazões inferiores a seis metros cúbicos por segundo.*

*§ 3º - Nos cursos d'água canalizados com margem revestida, de porte superior ao definido no § 2º deste artigo, deverão ser demarcadas, em ambas as margens, faixas non edificandi que permitam o acesso do Poder Público ao corpo hídrico, com no mínimo dez metros de largura, contados na forma dos incisos do § 1º deste artigo.*

*§ 4º - O disposto na cabeça do presente artigo não afasta a aplicação da Lei Federal nº 6.766/79, quando seja o caso de loteamentos urbanos.*

Ainda em 2010, foi publicada a Resolução CONAMA nº 425, de 25 de maio de 2010, que dispõe sobre critérios para a caracterização de atividades e empreendimentos agropecuários sustentáveis do agricultor familiar, empreendedor rural familiar, e dos povos e comunidades tradicionais como de interesse social para fins de produção, intervenção e recuperação de Áreas de Preservação Permanente e outras de uso limitado.

A referida resolução define os casos excepcionais de interesse social em que o órgão ambiental competente pode regularizar a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente-APP, ocorridas até 24 de julho de 2006, para empreendimentos agropecuários consolidados dos agricultores familiares e empreendedores familiares rurais.

## **2012**

Em 2012, após muitas discussões públicas, técnicas e políticas, foi feita uma revisão no código florestal e a revogação da Lei Federal 4.771 de 1965 e alterações, através da publicação da Lei Federal 12.651, de 25 de maio de 2012 e da Medida Provisória nº 571 da mesma data.

A referida lei em seu Art. 3º expõe todas as principais definições dos instrumentos que a compõe. Quanto a definição de áreas de preservação permanente, com exceção de algumas palavras, em nada mudou o objetivo e função em relação a definição anterior, incluída no código florestal pela medida provisória 2.166/67, de 2001. Segue abaixo a definição atual:

*II - Área de Preservação Permanente - APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas;*

Outra definição importante, e que no código antigo não existia foi a de área rural consolidada. Esta nova subdivisão das áreas rurais, não impactou diretamente nos

limites das áreas de preservação permanente, mas sim não questão da possibilidade de intervenção nestas áreas e também com as faixas de reflorestamento das APPs.

*IV - área rural consolidada: área de imóvel rural com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio;*

Outra importante e relativa mudança foi a distinção entre a definição de nascente e olho d'água, exposta na Resolução CONAMA n° 303, de 2002 e também a reformulação de seus conceitos, deixando claro que a caracterização de uma nascente está atrelada a formação de um curso d'água. Seguem abaixo as definições antiga (Art. 2°) e atual (Art. 3°).

*Art.2°(...)*

*II - nascente ou olho d'água: local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea; - Resolução CONAMA 303, de 2002*

*Art.3°(...)*

*XVII - nascente: afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d'água;*

*XVIII - olho d'água: afloramento natural do lençol freático, mesmo que intermitente;*

A definição de nascente, da referida resolução, era extremamente genérica e dava margem para muitas dúvidas, principalmente para aplicação da demarcação dos limites das áreas de preservação permanente do seu entorno. A nova definição permite uma melhor identificação em campo e ainda que não seja possível uma visita em loco, a utilização de ferramentas de geoprocessamento para caracterização e aplicação dos limites das APPs do entorno, já que só se caracteriza sua existência quando existe a formação de um curso d'água.

Uma alteração bastante representativa e que deverá ainda ser regulamentada foi a introdução do conceito de leito regular. No código anterior as APPs deveriam ser demarcadas a partir do nível mais alto do curso d'água e agora devem ser delimitadas a

partir do leito regular. Esta diferença será mais detalhada nos próximos capítulos que discutirão as vazões e larguras de referência para demarcação das APPs.

Ainda, foram introduzidos os conceitos de várzea de inundação ou planície de inundação e, também, o de faixa de passagem de inundação. Estes conceitos convergem para a metodologia que aqui será proposta, principalmente para as áreas urbanas, nas quais os problemas de inundação afetam a vida e a segurança da população.

*Art.3º(...)*

*XIX - leito regular: a calha por onde correm regularmente as águas do curso d'água durante o ano;*

*(...)*

*XXI - várzea de inundação ou planície de inundação: áreas marginais a cursos d'água sujeitas a enchentes e inundações periódicas;*

*XXII - faixa de passagem de inundação: área de várzea ou planície de inundação adjacente a cursos d'água que permite o escoamento da enchente;*

Quanto aos limites das Áreas de Preservação Permanente (APP) não houve alteração em relação a alteração anterior do Código Florestal, disposta na Lei Federal 7.803/89. A Figura 1 ilustra as diferentes larguras das APPs em função da largura de seus leitos regulares, conforme previsto no Art. 4º, inciso I, da lei Federal 12.651/12

*I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).*

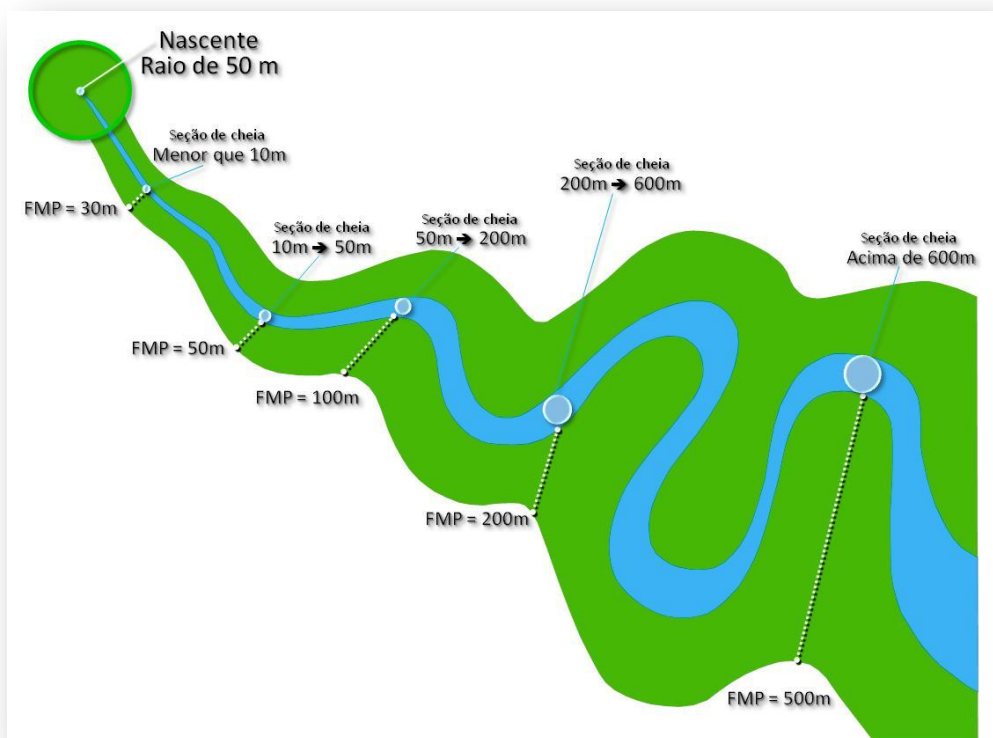
*a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;*

*b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;*

*c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;*

*d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;*

e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;



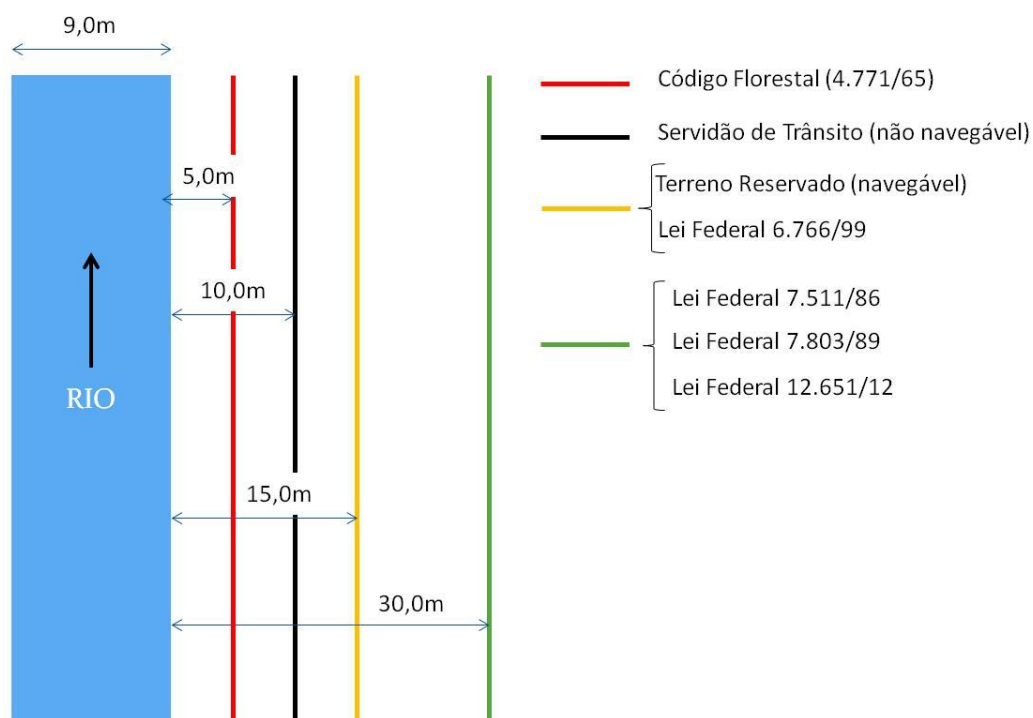
**Figura 1 - Limites das APPs em função da largura do leito regular**

Fonte: Cartilha do Serviço de Demarcação de Faixa Marginal de Proteção, INEA 2010.

Em resumo, atualmente, um curso d'água, com trecho em área de loteamentos urbanos, que tenha uma largura inferior a 10 metros, possui no mínimo três faixas distintas. A primeira é referente a prevista no Código de Águas, que no caso de ser navegável será de 15 metros (terreno reservado) e não navegável de 10 metros (servidão de trânsito). A segunda se refere à Lei Federal 6.766/99 que, conforme descrito neste capítulo, prevê uma faixa não-edificável de 15 metros. Por fim, ainda existe a Faixa Marginal de Proteção, também entendida com não-edificável, prevista na Lei Federal 12.651/12, que seria de 30 metros.

Ainda, dependendo da época de implantação de determinada atividade, empreendimento ou edificação em geral, as Faixas Marginais de Proteção, também podem ter larguras distintas, já que pelo entendimento jurídico, deve ser aplicado a legislação em vigor na época. Assim, para avaliação quanto a aplicação dos limites

previstos nas leis federais 4.771/65, 7.511/86, 7.803/89 e 12.651/12 deve ser observada a data de construção com os devidos registros/licenças aprovados pelos órgãos competentes. A Figura 2 ilustra esta discussão.



**Figura 2 - Instrumentos legais aplicados a um curso d'água de até 10 metros de largura**



### 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 - DEFINIÇÕES

Tendo em vista o vasto arcabouço de definições existentes sobre as variáveis hidrológicas, abaixo seguem as principais definições que estão relacionadas ao tema. A maioria destas estão sendo objeto de avaliação para publicação na Resolução INEA que regulamentará o procedimento de demarcação das Áreas de Preservação Permanente de margem de rios. Este item é de extrema importância, para compreensão dos assuntos aqui abordados e, para os referidos parâmetros e instrumentos, citados ao longo deste trabalho, serão atribuídas tais definições.

I - *Áreas de Preservação Permanente*: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (Lei nº 12.651, de maio de 2012).

II - *Corpo hídrico*: é o termo utilizado para representar as coleções hídricas existentes; curso d'água, trecho de rio, reservatório artificial, lago, laguna, lagoa ou aquífero. Também pode ser substituído pelo termo corpo d'água.

III - *Curso d'água*: é um fluxo de água em leito para drenagem de uma bacia hidrográfica, que é alimentado por uma ou mais nascentes. São ordenados de modo decrescente, conforme suas dimensões, as seguintes tipologias de cursos d'água: rios, ribeirões, riachos, córregos, arroio e igarapé. São tipos de cursos d'água:

a) *Curso d'água perene*: é um curso d'água que contém água durante todo o ano, isto é, o lençol subterrâneo mantém uma alimentação contínua e seu nível nunca fica abaixo do leito do rio, mesmo durante as estiagens mais severas;

b) *Curso d'água intermitente*: é um curso d'água que, em geral, contém água durante a estação chuvosa e seca durante a estação de estiagem. Nessa época, o lençol freático se encontra em um nível inferior ao do leito do rio, de modo que o escoamento superficial cessa;

- c) *Curso d'água efêmero ou Talvegue seco*: é uma linha sinuosa em terreno natural mais profunda que os terrenos adjacentes, pela qual as águas pluviais escoam como resposta direta e imediata à precipitação, contendo água apenas durante ou imediatamente após as chuvas, com escoamento de água pluvial apenas de forma esporádica e sem ligação com uma nascente;
- d) *Curso d'água capeado*: curso d'água que flui em galeria subterrânea com recobrimento ao nível dos terrenos adjacentes;
- e) *Curso d'água retificado*: é um curso d'água natural submetido a qualquer intervenção hidráulica que tenha como consequência alterar, total ou parcialmente, o seu traçado ou percurso original;
- f) *Curso d'água revestido*: é um curso d'água submetido a uma obra ou serviço que tenha sido impermeabilizado total ou parcialmente, seja todo o leito ou apenas as suas margens.

IV - *Faixa Marginal de Proteção – FMP*: são faixas de terra necessárias à proteção, à defesa, à conservação e operação de sistemas fluviais e lacustres, determinadas em projeção horizontal e considerados os níveis máximos de água (NMA), de acordo com as determinações dos órgãos Federais e Estaduais competentes (Lei nº 1130, de fevereiro de 1987).

Neste trabalho a Faixa marginal de Proteção e as Áreas de Preservação Permanente serão tratadas como semelhantes, tendo em vista que suas funções, atualmente são convergentes e que no estado do Rio de Janeiro as Faixas Marginais de Proteção dos corpos d'água estaduais são consideradas áreas de preservação permanente, nos termos do inciso III, do Artigo 268, da Constituição do Estado do Rio de Janeiro.

V - *Faixa Non Aedificandi – FNA*: É a faixa de terreno ao longo de águas correntes e dormentes, na qual é obrigatória a reserva de uma faixa non aedificandi, que permita o acesso do Poder Público ao corpo hídrico.

VI - *Nascente*: afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d'água (Lei 12.651, de 25 de maio de 2012).

VII - *Olho d'água*: afloramento natural do lençol freático, mesmo que intermitente (Lei 12.651, de 25 de maio de 2012).

VIII - Tempo de concentração: É o tempo necessário para que toda a área de determinada bacia hidrográfica contribua para o escoamento superficial em sua seção de saída (exutório).

IX - Terrenos reservados: são os que, banhados pelas correntes navegáveis, fora do alcance das marés, vão até a distância de 15 metros para a parte de terra, contados desde o ponto médio das enchentes ordinárias (Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934).

X - *Vazão de referência*: vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, tendo em vista o uso múltiplo das águas e a necessária articulação das instâncias do Sistema Nacional de Meio Ambiente - SISNAMA e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH (Resolução CONAMA nº 357 de março de 2005 e alterações).

XI - *Vazão mínima remanescente*: a menor vazão a ser mantida no curso d'água em seção topobatimétrica (adaptada Resolução CNRH nº 129 de junho de 2011).

XII - *Seção topobatimétrica*: seção transversal perpendicular a direção principal de escoamento do curso d'água, destinada a discretizar o mesmo e sua planície de inundação.

XIII - *Trechos de vazão reduzida*: trecho do curso de água compreendido entre a barragem ou o canal de adução e a seção do curso natural na qual as vazões são restituídas (Resolução CNRH nº 129 de junho de 2011).

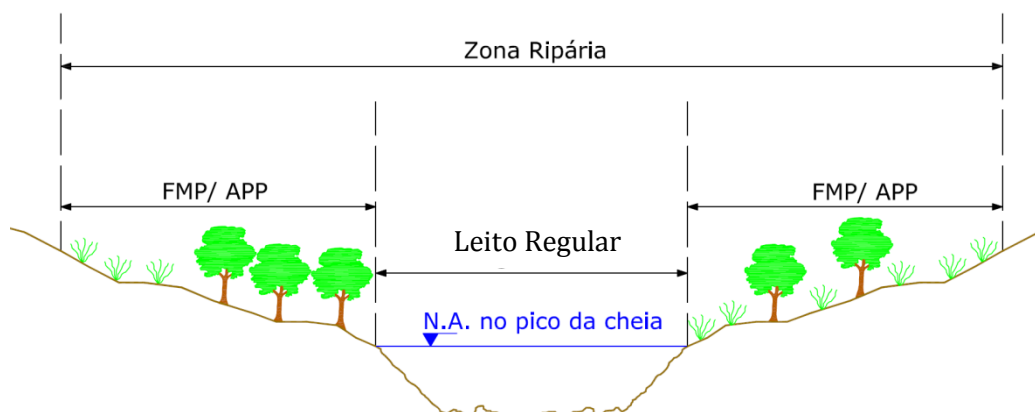
XIV - *Preservação*: conjunto de métodos, procedimentos e políticas que visem a proteção a longo prazo das espécies, habitats e ecossistemas, além da manutenção dos processos ecológicos, prevenindo a simplificação dos sistemas naturais (Lei Federal nº 9.985, de julho de 2000).

Existem, na literatura, diversas definições para zona ripária. Dentre muitas, podemos citar Gregory *et al.* (1991) que define zona ripária como sendo a “interface

entre os ecossistemas terrestre e aquático, que se estende horizontalmente até o limite que a inundação alcança, e verticalmente até o topo da copa da vegetação” ou, ainda, The Japan Society of Erosion Control Engineering (2000) que define a zona ripária como sendo a “zona próxima a rios, lagos, pântanos, etc. que influencia fortemente a transferência de energia, nutrientes, Gregory *et al.* (1991) – “interface entre os ecossistemas terrestre e aquático, que se estende horizontalmente até o limite que a inundação alcança e, verticalmente, até o topo da copa da vegetação”. Para este trabalho será atribuída a seguinte definição:

XV - *Zona Ripária*: zona compreendida pela soma do leito regular com as larguras das áreas de preservação permanente de ambas as margens.

A Figura 3 ilustra a definição e cabe ressaltar que o nível d’água no pico da cheia está associado a vazão máxima com tempo de recorrência de 2 anos, conforme será abordado com mais detalhes adiante. Ainda, será recomendado e explicado mais adiante, que a extensão da zona ripária deverá contemplar, minimamente, a largura de superfície da área molhada, correspondente a vazão máxima com tempo de recorrência de 50 anos, não afastamento a aplicação dos limites mínimos estabelecidos na Lei Federal 12.651 de 2012.



**Figura 3 - Zona Ripária**  
Fonte: Adaptado INEA/HICON, 2012.

Atualmente, existe uma corrente que busca diferenciar o conceito de vazão ecológica do de vazão ambiental, porém diante das pesquisas realizadas para execução deste trabalho, assim como da participação de diversos fóruns e seminários públicos e privados sobre o assunto, a diferenciação dos termos supracitados gira em torno da

inclusão da variável social no conceito de vazão ambiental. Esta inclusão pode ser tanto na gestão dos conflitos de uso dos recursos hídricos (outorga de direito de uso) quanto na preocupação com a população que se encontra dentro das manchas de inundação.

No entanto, na prática, ambos buscam representar a preservação dos cursos d'água, suas margens e da biota existente nestas áreas, convergindo para o conceito de zona ripária que será aqui abordado com mais detalhes. Desta forma, para este trabalho vazão ambiental e ecológica serão tratadas como semelhantes.

Abaixo seguem alguns conceitos de vazão ambiental encontrados na literatura:

- a) vazão necessária para manter as funções dos ecossistemas que compõem o rio, nos seus leitos menores e maiores. Em outras palavras, é um valor (ou valores) que preserva as condições de pulso hidrológico, transporte de sedimentos e nutrientes, sincronicidade com o ciclo da vida das espécies silvestres, da fauna, da flora e a taxa de perturbações necessárias à renovação e funcionamento dos ecossistemas associados ao curso de água (Jussara Cruz, *apud* J. Gondim, 2006);
- b) quantidade de água que deve ser mantida no rio, ou que é lançada dentro dele, para atender o objetivo o objetivo específico da gestão de tal ecossistema (Nota Técnica C1- Concepts and Methods do Banco Mundial, *apud* J. Gondim, 2006);
- c) quantidade de água que permanece no leito dos rios depois de retiradas para atender usos externos como abastecimento público, industrial, irrigação, dessedentação de animais, energia elétrica, etc. (Bennetti, A.D., 2003, *apud* J. Gondim, 2006);
- d) quantidade de água necessária à manutenção dos rios, terras úmidas adjacentes, zonas costeiras e sistemas de águas subterrâneas para que continuem exercendo suas funções, usos e benefícios a seus usuários; onde existam conflitos pelo uso da água e a vazão seja regulada. (Dyson et al. (2003);
- e) um termo que abarca todos os componentes do curso d'água, pois é dinâmico, reconhece a necessidade da variabilidade natural, e leva em conta as preocupações econômicas, sociais e biofísicas (World Bank 2003);

f) qualidade, quantidade e distribuição de água necessária para manter os componentes, funções e processos dos ecossistemas aquáticos, dos quais as pessoas dependem (O'Keefe, 2008).

Assim, para este trabalho será adotada uma definição própria, muito parecida com a citada por O'Keefe, 2008, mas com algumas adaptações e considerando o conceito de hidrograma ambiental, conforme descrito abaixo.

XVI - *hidrograma ambiental*: é a qualidade, quantidade e distribuição de água necessária para manter os componentes, funções e processos dos ecossistemas aquáticos, garantir os usos múltiplos e assegurar o bem-estar e a segurança da população humana, podendo ser entendido como um enquadramento quali-quantitativo.

### **3.2 - REVISÃO DAS METODOLOGIAS APLICADAS PARA DEMARCAÇÃO DAS APPs EM MARGEM DE CURSOS D'ÁGUA**

A demarcação da faixa marginal de proteção dos corpos hídricos envolve inúmeros assuntos técnicos e científicos e abrange diversas áreas de pesquisa, tais como: hidrologia, hidráulica fluvial, geomorfologia, geoprocessamento, ecologia e direito ambiental.

A delimitação das áreas de preservação permanente pode ser feita de forma pontual ou contínua. No estado do Rio de Janeiro, as Faixas Marginais de Proteção eram demarcadas pela extinta SERLA (Superintendência Estadual de Rios e lagoas), atual INEA (Instituto Estadual do Ambiente), e a delimitação destas sempre foi feita de forma pontual, com exceção de curso d'água submetidos a projetos hidráulicos e estudos hidrológicos específicos, nos quais foram demarcados de forma contínua.

Atualmente, no ERJ existem, aproximadamente, 4.500 trechos de cursos d'água demarcados oficialmente. Cabe ressaltar que, apesar do ERJ ainda não possuir todos os cursos d'água com suas áreas de preservação permanente demarcadas pelo órgão ambiental competente, não quer dizer que as mesmas não existam ou que não devam ser respeitadas, tendo em vista que sua proteção está prevista em Lei Federal e Estadual.

A delimitação tem a função de facilitar a fiscalização e também possibilitar a identificação cartográfica das áreas contidas na faixa. Em pesquisa no INEA, pode ser

verificado que a grande maioria dos pedidos de demarcação de FMP, cerca de 38%, ocorrem no município do Rio de Janeiro. Ainda, é importante ressaltar, que a maioria das solicitações é para áreas urbanas, onde já existe grande ocupação das margens, o que dificulta ainda mais a aplicação efetiva da legislação vigente.

De forma geral, as grandes limitações para aplicação de métodos que permitam uma avaliação e determinação das áreas de preservação permanente dos cursos d'água são a carência de dados hidrológicos, conhecimentos das seções topobatimétricas e informações cartográficas em escala adequada e consistidas.

As informações hidrológicas podem ser obtidas diretamente pelos dados das estações fluviométricas ou por modelos que correlacionam a chuva e a vazão. De forma geral, é aconselhável a utilização dos métodos diretos, porém devido a carência de postos fluviométricos, poucos anos de monitoramento, descontinuidades das séries históricas e, em algumas situações, a má distribuição espacial dos postos, dificultam a obtenção direta dos valores de vazão. Desta forma, muitos modelos que relacionam a chuva com a vazão acabam sendo amplamente usados nos estudos hidrológicos, com destaque para o método racional, para bacias com até 2 km<sup>2</sup> e o hidrograma unitário triangula (HUT), para bacias maiores que 2 km<sup>2</sup>.

Ainda existem os estudos de regionalização. Segundo Tucci (2002), os critérios mínimos desejáveis para um bom estudo de regionalização, são:

- a) boa espacialização dos locais de monitoramento;
- b) séries com históricos de pelo menos 20 anos de duração;
- c) homogeneidade das séries históricas;
- d) bom nível de consistência das séries.

Segundo Tucci (2002), a variabilidade das condições hidrológicas é um processo estocástico no tempo e no espaço, que depende da combinação de vários fatores como: precipitação; evapotranspiração; relevo; geologia; geomorfologia; solos; cobertura vegetal e uso do solo; e atividades antrópicas sobre o sistema fluvial. Esse grande conjunto de fatores transforma a estimativa das variáveis hidrológicas num problema complexo dependente das estatísticas de valores conhecidos. Com o infinito número de combinações possíveis entre estes fatores, podem ser produzidos resultados variados. Nenhum estudo de regionalização hidrológica substitui uma rede adequada de

monitoramento hidrológico. Assim, a falta generalizada de dados de pequenas bacias hidrográficas no Brasil não pode ser suprida pela regionalização.

Conforme enfatizado por Mendes & Cirilo (2001), uma característica única dos recursos hídricos é a grande variabilidade espacial de suas propriedades. Em geral, amostras destas propriedades são coletadas pontualmente no terreno sendo então assumido, através de uma análise estatística, que elas têm uma distribuição uniforme numa dada área. O problema desta abordagem é que a natureza apresenta uma complexa distribuição espacial destas propriedades, sendo necessário o uso desta informação distribuída no espaço para permitir uma representação mais realista do meio ambiente.

Um grande desafio para demarcação das áreas de preservação de cursos d'água é determinar a partir da onde serão aplicados os limites legais expostos no código florestal. O antigo código florestal (Lei nº 4771, de 15 de setembro de 1965 e alterações) informava que a demarcação deveria ser feita a partir do nível mais alto. Assim, o ERJ adotou como referência a largura de superfície correspondente a uma vazão associada a um tempo de recorrência de 10 anos. Para cursos d'água revestidos, com seção hidráulica implantada, nos quais, em geral é utilizada como referência a vazão associada a um tempo de recorrência de 25 anos, as margens são o critério de referência.

Atualmente, o ERJ está em processo de revisão da metodologia utilizada tendo em vista a recente mudança na legislação (Lei nº 12.551, de maio de 2012), na qual a demarcação não seria mais a partir do nível mais alto, mas sim a partir da borda da calha do leito regular, considerando este último como a calha por onde correm regularmente as águas do curso d'água durante o ano. Acredita-se que esta definição legal possa ser tecnicamente associada a uma vazão que preenche a calha transversal do rio, mas sem transbordamento. Esta vazão, também chamada de dominante, seria a principal responsável pela formação da seção transversal de um curso d'água.

Diversos estudos da literatura relacionam a vazão dominante a uma recorrência de 1 a 2,33 anos.

Allen *et al.* (1994) utilizaram em suas análises as descargas referidas às frequências de 2 e de 2,33 anos para determinação de equações preditivas das dimensões médias do canal.

De acordo com Leopold (1994), a descarga dominante tem uma média de intervalo de recorrência de 1,5 anos.



Cinotto (2003) descreve a descarga dominante como sendo aquela capaz de acomodar o transporte de água e sedimentos sem processos erosivos e de deposição. A descarga dominante é, portanto, a descarga responsável pela formação do canal.

Dunne e Leopold (1978) descrevem a descarga dominante como sendo o escoamento mais eficaz para mover os sedimentos, formar ou remover barras, formar ou alterar curvas e meandros e, geralmente, fazer o trabalho que resulte nas características morfológicas médias de canais.

Dunne e Leopold (1978) também descrevem que as características dominantes do canal, tais como área da seção transversal, largura, profundidade e vazão dominantes, estão fortemente correlacionadas com a área de drenagem. Eles mostram ainda que dada uma determinada área, rios não retificados com área de drenagem similar tendem a possuir geometria de canais similares.

Quanto a determinação da seção hidráulica de referência existem inúmeros estudos que relacionam a forma da seção transversal de canais com a vazão de escoamento. Estes estudos baseiam-se na teoria da geometria hidráulica, desenvolvida pioneiramente por Leopold e Maddock (1953). Eles utilizaram as medições de velocidade, largura e profundidade, de estações fluviométricas situadas em bacias hidrográficas do centro-oeste americano, e realizaram uma análise de regressão relacionando estes parâmetros à vazão de escoamento, através das seguintes equações de potência:

$$\text{➤} \quad w = a \times Q^b$$

$$\text{➤} \quad d = c \times Q^f$$

$$\text{➤} \quad v = k \times Q^m$$

$$\text{➤} \quad L = p \times Q^j$$

onde  $w$  é a largura,  $d$  é a profundidade média,  $v$  é a velocidade,  $L$  são os sedimentos em suspensão e  $Q$  é a vazão. Os coeficientes  $a$ ,  $c$ ,  $k$  e  $p$  são fatores multiplicadores e os coeficientes  $b$ ,  $f$ ,  $m$  e  $j$  são os expoentes da equação.

Devido à vazão ser dada pelo produto da velocidade pela área, as relações entre a vazão, largura, profundidade média e velocidade são normalmente as mais utilizadas em trabalhos sobre geometria hidráulica. Por isso, essas equações foram relacionadas da seguinte forma:

$$Q = a \times c \times k \times Q^{b+f+m}$$

então,

$$b + f + m = 1$$

$$a \cdot c \cdot k = 1$$

Estas equações foram desenvolvidas considerando o princípio do equilíbrio, onde um canal médio tende a se desenvolver de forma a produzir um equilíbrio aproximado entre a sua forma e o transporte de água e sedimentos (Leopold e Maddock, 1953).

As equações determinadas por Leopold e Maddock servem como base para diversos trabalhos até hoje e, frequentemente, novos resultados são confrontados com os valores obtidos em 1953. Desde então, muitas teorias basearam-se neste estudo pioneiro. (INEA/HICON, 2012)

Singh (2003) fez uma ampla abordagem destas teorias. Buhman *et al.* (2002) afirmam que as definições baseadas em geometria hidráulica são úteis à geomorfologia fluvial, nos estudo da forma dos canais.

Knighton (1984) relata que os valores dos expoentes das equações da geometria hidráulica têm forte significado geomorfológico apenas em rios com leitos aluvionares, mas também podem ser usados para descrever a relação entre a geometria do canal e o escoamento em rios com sedimentos coesivos.

Helmiö (2004) relata que em rios aluviais, a geometria do canal depende da descarga dominante ou formadora do canal. Estes parâmetros podem ser interligados com a teoria da geometria hidráulica.

Helmiö (2004) estudou sobre o tamanho e a geometria em rios e canais com sedimentos coesivos em um universo de 34 rios e canais da Finlândia. Ela determinou a geometria hidráulica a partir das medições em campo e comparou com os valores obtidos em outros lugares, encontrando valores dentro da faixa apresentada na literatura.

Park (1976) analisou os expoentes da geometria hidráulica dos dados de uma série de estudos, que descrevem a geometria hidráulica de 139 estações e ao longo de 72 rios, em uma variedade de ambientes. Ele concluiu que, na maioria dos estudos publicados, há tentativas para explicar as variações nas relações de geometria hidráulica. As implicações geomorfológicas dessas variações são importantes, uma vez que a análise revela que foi observada uma grande variedade de combinações possíveis dos três

expoentes. Isso aponta para a necessidade de mais estudos dos fatores de controle nas variações das relações da geometria hidráulica ao longo dos rios, nos rios sem áreas homogêneas e entre as áreas.

Considerando a necessidade de se buscar cada vez mais padrões e critérios bem definidos para a aplicação dos instrumentos de gestão, e a carência de informações hidrológicas e hidráulicas, o desenvolvimento de curvas regionais que busquem aperfeiçoar e agilizar a obtenção destas informações é um caminho bastante importante e que vale a pena ser estudado e implantado quando possível. Além disso, nos órgãos gestores e reguladores a demanda é crescente e os recursos humanos limitados, assim o desenvolvimento de ferramentas e estudos técnicos que tenham uma visão holística com qualidade e aplicabilidade são extremamente importantes para atender as demandas e a expectativa de resposta em curto prazo à sociedade.

Neste contexto, o desenvolvimento de curvas regionais, que relacionem os parâmetros hidrológicos e hidráulicos até aqui citados, são instrumentos importantes e consonantes para agilização e padronização da análise técnica.

Cinotto (2003) relata que, para o problema da falta de dados, a utilização de curvas regionais pode ser uma valiosa ferramenta, desde que se percebam suas limitações. Cinotto (2003) ressalta também que as curvas regionais são as ferramentas mais comuns disponíveis para apoiar a seleção do canal dominante.

As curvas regionais podem ser desenvolvidas a partir de análises de regressão das relações entre a área de drenagem e a área transversal, profundidade média, largura e vazão dominantes de algumas estações e, a partir daí, serem utilizadas para toda uma região com carência de dados.

Cinotto (2003) estudou 14 estações de medição de vazão, operadas pelo U. S. Geological Survey (USGS), em seções de várzea dos rios Gettysburg-Newark e Piemonte e seções de montanha do rio Piemonte, na Província Fisiográfica da Pensilvânia e Maryland, nos Estados Unidos. Para esta região, ele mostrou que a área transversal e a descarga têm relação mais forte com a área de drenagem do que a largura e a profundidade.

O Programa de Bacias Hidrográficas em cooperação com o Serviço Geológico dos EUA (USGS), no Centro de Ciência da Água em Wyoming, propõe o desenvolvimento de curvas regionais que relacionam as dimensões do canal e a descarga dominante com a área de drenagem para as regiões hidro-fisiográficas de

Wyoming, onde faltam dados, já que as curvas regionais podem ser consideradas úteis para estimar a descarga e as dimensões dominantes dos canais.

Uma outra abordagem existente na literatura é a determinação de faixas marginais de proteção ao longo dos rios através de análises estatísticas e de geoprocessamento das características da bacia hidrográfica. (INEA/HICON, 2012)

Mapili (2005) utiliza o conceito de faixa variável ao longo do curso d'água e determina, através de análise estatística do GIS, os parâmetros intrínsecos, físicos e ecológicos contidos na bacia hidrográfica, a partir dos quais será feita a demarcação da faixa.

Ele também sugere que dentro de uma dada província fisiográfica, a análise multivariada, disponível no GIS, das variáveis derivadas da bacia, pode melhorar significativamente as estimativas da largura e da profundidade dos rios.

Os parâmetros intrínsecos podem ser descritos como os da própria faixa, tais como largura, comprimento, grau de fragmentação e posição da faixa na bacia hidrográfica. Os parâmetros físicos referem-se ao tipo de solo, a declividade, a largura da planície de inundação e a morfologia do vale. Os parâmetros ecológicos referem-se à cobertura vegetal, à taxa de crescimento da vegetação, à densidade da vegetação e à presença de pântanos (Mapili, 2005).

Ames *et al.* (2009) descrevem a estimativa da geometria do canal de escoamento, através da análise de regressão múltipla utilizando-se GIS, de características derivadas de bacias hidrográficas.

Ames *et al.* (2009) também apresentam uma técnica baseada em GIS para estimar a largura e a profundidade do canal para modelos de simulação de vazões. Para isto, incluíram diversas características da bacia hidrográfica tais como a área de drenagem, a precipitação média, a declividade média nas microbacias, a altitude, a cobertura florestal, a porcentagem de área com declives superiores a 30 % e a porcentagem de área com inclinações superiores a 30 % voltados para o norte.

O uso de técnicas de regressão múltipla através do SIG se torna útil já que a obtenção dos dados de medições da geometria completa do canal pode ser demorada e de custo proibitivo (Lacroix et al., 2002).

Wenger (1999) fez uma revisão dos tipos de faixas denominadas “larguras de amortecimento” e, após uma extensa revisão bibliográfica, propõe três tipos (INEA/HICON, 2012):

**Faixa 1:**

- a) Largura = 30,5 m + 2,0 m para cada 1% de declividade das margens;
- b) Estender até a borda da planície de inundação;
- c) Incluir áreas úmidas adjacentes (como pântanos, ou mangues);
- d) Não contar as áreas de superfícies impermeáveis para a largura da faixa, ela deve ser extentida além destas áreas;
- e) Não utilizar declividades das margens acima de 25% para estabelecimento das faixas;
- f) A adoção da faixa deverá ser aplicada para todos os rios, perenes e intermitentes.

**Faixa 2: Idem a 1, exceto:**

- a)  $L = 15,2 \text{ m} + 2,0 \text{ m}$  para cada 1% de declividade das margens;
- b) Não é necessário que toda a planície de inundação esteja contida na faixa, embora fontes potenciais de contaminações severas devam ser excluídas da planície de inundação;
- c) Não aplicar a faixa a rios efêmeros – rios perenes são aqueles que aparecem na escala 1:24.000 dos mapas do USGS.

**Faixa 3:**

- a)  $L = 30,5 \text{ m}$ ;
- b) A faixa é aplicada a todos os corpos d'água que aparecem na escala 1:24.000 ou, alternativamente, a todos os rios perenes mais os rios intermitentes de ordem 2 ou superior.

No artigo produzido por Ferranti (2007), foram obtidas informações a respeito da rede de drenagem a partir de um modelo digital de elevação (DEM) e a largura dos rios

foi estimada a partir da área de drenagem da bacia a montante através de seguinte fórmula:

$$B = 3,2466 \times A^{0,4}$$

onde B é a largura dos rios e A é a área de drenagem, em quilômetros quadrados (Collischonn, 2002). De posse dos dados relativos à largura dos corpos d'água, foi delimitada as áreas de preservação permanente usando geoprocessamento. As larguras obtidas foram comparadas usando as imagens disponíveis no software *Google Eath*.

Cabe observar, que ao ser considerada apenas a relação entre área e largura do rio, muitos parâmetros fluvio-morfométricos, como declividade e velocidade são desconsiderados, assim como as características do uso do solo da bacia.

Destaca-se outro artigo bastante interessante, desenvolvido por Catelani & Batista (2007), sobre o mapeamento de áreas de APP do município de Santo Antônio do Pinhal (SP), próximo a Campos de Jordão. O objetivo do trabalho foi a delimitação de APPs na escala 1:50.000, apoiado nas técnicas de geoprocessamento, com base na Lei Federal no 4.771/1965 (Código Florestal Brasileiro) e nas Resoluções CONAMA n° 302 e 303/2002. Foram mapeadas: as nascentes; as margens de rios e corpos d'água; as áreas com declividade superior a 45°; altitude superior a 1.800m; e topos de morro e linhas de cumeada.

Os resultados do mapeamento demonstraram situações interessantes. Na primeira, as APPs abrangem uma área de 7.218 ha, equivalente a 52,2% da área total do município, o que torna-se um fator muito restritivo em relação ao uso do solo. Apesar da escala utilizada não apresentar toda a hidrografia existente, as APPs de nascentes abrangeram 2,4% da área do município e as margens de rios e outros corpos d'água mais 18,8%, totalizando 21,2% de todo o território municipal. Se o mapeamento fosse realizado em uma escala maior, a hidrografia identificada seria mais densa e, conseqüentemente, esse tipo de APP abrangeria uma área ainda maior. O maior percentual de APPs ficou por conta dos topos de morros e linhas de cumeada, ocupando mais 30,7%, além dos anteriores, que foram considerados prioritários pelos autores do trabalho. (INEA/HICON, 2012).

Scartazzini (2007) et al. sugerem que as APPs sejam demarcadas ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água situados em planícies de inundação desde o umbral de seu leito menor em faixa marginal, cuja largura seja correspondente a cota ocupada pela

cheia com tempo de retorno igual ao da obra ou ocupação da área a ser licenciada. No entanto, é necessário avaliar esta sugestão com cautela, pois além de ser extremamente específica e pontual, atrelar o tempo de retorno de uma cheia ao tempo de uma licença é bastante complexo, já que cada licença para atividade/empreendimento pode ter uma validade e assim, teríamos um curso d'água com diversas faixas e com uma complexidade de análise que nenhum órgão público poderia atender com qualidade e a celeridade necessária.

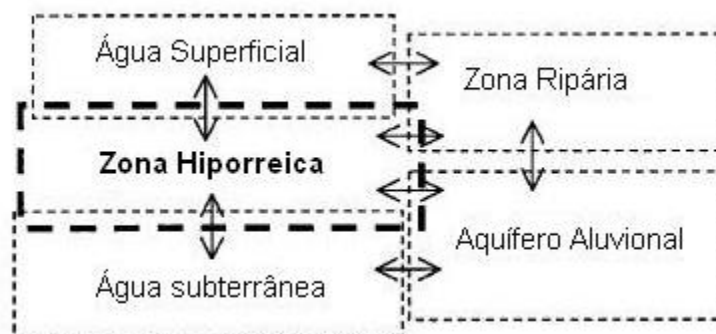
## 4 - ZONA RIPÁRIA, APPS DE MARGEM DE RIO E VAZÕES AMBIENTAIS

### 4.1 - ZONA RIPÁRIA

Dentre as diversas definições existentes para a zona ripária, cabe destacar a exposta por Gregory et al. (1991) que define zona ripária como sendo a “interface entre os ecossistemas terrestre e aquático, que se estende horizontalmente até o limite que a inundação alcança, e verticalmente até o topo da copa da vegetação” ou, ainda, The Japan Society of Erosion Control Engineering (2000) que define a zona ripária como sendo a zona próxima a rios, lagos, pântanos, etc, que influencia fortemente a transferência de energia, nutrientes, sedimentos, etc. entre os ecossistemas terrestre e aquático.

Outra abordagem bastante interessante e complementar as aqui expostas foi a de Push et al., 1998, no qual entende que a zona ripária é uma das zonas de interação das águas superficiais com águas subterrâneas, e trata-se de uma zona de transição. Esta zona é caracterizada pelas cabeceiras de drenagem dos cursos d’água, margens e leito dos corpos d’ água, acompanhadas por vegetação ciliar, sendo um ambiente de extrema dinâmica, complexidade e diversidade. Na zona ripária há uma interação entre a água superficial do corpo d’água com o aquífero freático, podendo um alimentar o outro (Andrade, *et. al.*, 2012).

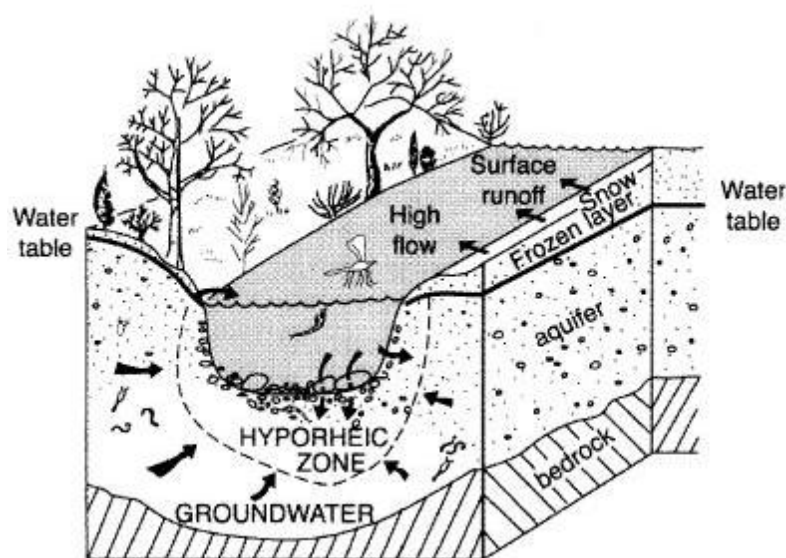
Este entendimento, com um olhar mais voltado para a questão da interação do aquífero com a água superficial, introduz outro conceito que é o da zona hiporreica. O curso d’água superficial forma apenas parte visível de um ecossistema de água doce, que inclui água subterrânea, aluviões e os sistemas ripários (Gibert et al., 1990). A parte central destas áreas é a zona de intercâmbio entre a água superficial e subterrânea é chamada zona hiporreica, conforme ilustra a Figura 4.



**Figura 4 - Zona hiporreica como modulador de ligações entre o fluxo de água superficial, água subterrânea, zona ripária e sistemas de aquífero aluvionais (Boulton, 2000)**



O tamanho da zona hiporreica depende da extensão e da força das interações água superficial – água subterrânea, que é em função da porosidade dos sedimentos, da morfologia do leito, força da ressurgência das águas subterrâneas e do fluxo de descarga (Dahm et al., 1998).



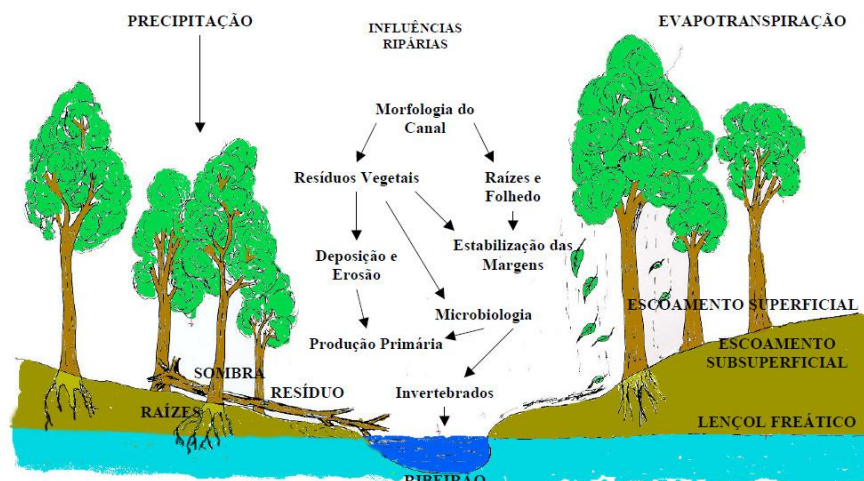
**Figura 5 - Modelo dinâmico da zona hiporreica**

Fonte: ABRH, 2012 – Andrade, et. al.

Algumas pesquisas recentes no Brasil, mas já aplicadas em outros lugares do mundo, é a utilização da técnica de Filtração em Margem. Esta consiste em utilizar poços localizados próximos às margens dos rios ou reservatórios, utilizando a zona ripária e a zona hiporreica, com os materiais sedimentares do fundo e das margens do manancial superficial como meio filtrante. Com a ação do bombeamento através dos poços, cria-se uma diferença de carga hidráulica entre o reservatório e o lençol freático, ocorrendo uma indução da água através do meio poroso até o poço por percolação nos vazios do solo o que caracteriza a integração de águas superficiais e águas subterrâneas.

Assim, o que já se pode notar é que a preservação da zona ripária, não está relacionada apenas com a questão da vegetação ciliar e fauna, mais também com a gestão de recursos hídricos.

De forma a facilitar o entendimento da zona ripária a Figura 6 mostra um esquema conceitual da mesma, assim como os processos que estão envolvidos nesta região.



**Figura 6 - Zona ripária e suas inter-relações**  
 Fonte: Zakia (1998), modificado de Likens (1992).

Além do termo zona ripária, existem muitos outros utilizados na literatura, com o mesmo significado, tais como “faixa de armazenamento” (Bren, 1998) e “floresta de galeria” (Schiavini, 1997 e Barbosa, 1997).

Para este trabalho buscou-se associar a demarcação das áreas de preservação permanente com os limites da zona ripária, visando convergir com a funcionalidade destes conceitos. Portanto, a zona ripária quanto a inundação deverá ser compreendida como a largura da seção molhada para uma vazão máxima com tempo de recorrência de 50 anos. Ainda, caso os limites mínimos das APPs, previstas na legislação, sejam inferiores a largura da seção para TR de 50 anos deverá ser estendida até esta zona de inundação. Deverão ser observados a questão da fauna e flora existente, o que também pode influenciar nos limites das zonas ripárias e consequentemente nas APPs.

## 4.2 - FUNÇÕES DA ZONA RIPÁRIA

Como visto no item anterior, a função da zona ripária vai além da preservação da vegetação ciliar. Em resumo algumas das principais funções são:

- a) manutenção/melhora da qualidade da água dos corpos d'água;
- b) interceptação de sedimentos, nutrientes, pesticidas e outros materiais provenientes do escoamento superficial;
- c) redução dos nutrientes e outros poluentes do fluxo subsuperficial;
- d) estabilização dos taludes e as planícies aluviais, reduzindo a erosão;

- e) habitat para fauna;
- f) controle ou amenização da temperatura da água através da sombra proporcionada pela mata ciliar;
- g) redução dos picos de cheia;
- h) proteção da população quanto as inundações dos cursos d'água;
- i) manutenção de corredores ecológicos;
- j) paisagismo e recreação.

A função da zona ripária em uma área urbana é um pouco distinta de uma área rural, apesar da legislação (Lei Federal 12.651 de 2012) não distinguir os limites e a forma de aplicação destas áreas, considerando que as áreas de preservação permanente podem ser também entendidas como zonas ripárias.

Para as áreas urbanas, a preocupação deve ter um maior foco na questão da redução dos picos de cheia e no controle da erosão, podendo em algumas situações também estar atrelado o valor paisagístico e recreativo, como pode ser observado o exemplo do rio Cheonggyecheon em Seul, Coréia do Sul (Figura 7).



**Figura 7 - Área de recuperação do rio Cheonggyecheon em Seul, Coréia do Sul.**

Fonte: INEA/RJ

Na Figura 8, pode ser observado o resultado da recuperação do curso d'água na área urbana consolidada, na qual foi realizado um projeto hidráulico adequado para o escoamento das vazões, assim como a função recreativa e paisagista, principalmente nas épocas de estiagem. À esquerda da referida figura pode-se notar a área antes da realização do projeto, na qual o curso d'água escoava por debaixo da via pública que existia no local, já a direita é possível visualizar as grandes intervenções realizadas. A Figura 9, ilustra com mais detalhes o projeto implantado e comprova a função paisagística e recreativa das margens do curso d'água. No caso em questão é possível notar que foi utilizada não só as margens do novo curso d'água, mas também sua calha secundária.



**Figura 8 - Projeto de recuperação do rio Cheonggyecheon.**

Fonte: INEA/RJ





**Figura 9 - Funções Recreativa e Paisagística do Projeto**

Fonte: INEA/RJ

O exemplo exposto, ainda que não necessariamente possa ser aplicado para os cursos d'água existente no Brasil, que atravessam áreas urbanas, reforça a necessidade de revermos a legislação, ainda que tenha sido publicada recentemente, ou regulamentarmos a mesma para que possa efetivamente ser aplicada com a finalidade correta nas nossas áreas urbanas consolidadas, tendo em vistas que nestas áreas, pelo próprio histórico de colonização a ocupação das áreas marginais é intensa e de difícil remoção, portanto devem ser estudadas outras formas de aplicação de uma faixa ripária para a finalidade que se tem em áreas urbanas.

Silva (2003), através da revisão bibliográfica de diversos artigos, definiu nove funções da vegetação ripária: estabilização de taludes e encostas; manutenção da morfologia do rio e proteção a inundações; retenção de sedimentos e nutrientes; mitigação da temperatura da água e do solo; fornecimento de alimento e habitat para criaturas aquáticas; manutenção de corredores ecológicos; paisagem e recreação; fixação de gás carbônico e interceptação de escombros rochosos.

Wenger (1999), após uma extensa revisão bibliográfica, também cita diversas funções para a zona ripária: retenção/remoção de sedimentos provenientes do escoamento superficial; estabilização dos bancos e redução da erosão do canal;

retenção/remoção de fósforo, nitrogênio e outros nutrientes que possam causar eutrofização de ecossistemas aquáticos; retenção/remoção de outros contaminantes, como pesticidas; armazenamento das águas provenientes de inundações, diminuindo assim os danos à propriedade; manutenção de habitat para peixes e outros organismos aquáticos, moderando a temperatura da água e provendo alimentos; fornecimento de habitat para organismos terrestres; melhoramento da estética das regiões próximas aos cursos d'água, valorizando as propriedades adjacentes e oferecimento de oportunidades recreacionais e educacionais. (INEA/HICON,2012)

Muscutt et al. (1993) apud Simões (2001) ressalta que tanto as faixas de filtro vegetativo quanto as vegetações ripárias reduzem a conexão entre a fonte de poluição potencial e o corpo d'água receptor e podem fornecer uma barreira física e bioquímica contra a entrada de poluição de fontes distantes do curso d'água.

Apesar da existência de diversos trabalhos internacionais sobre larguras e eficiências relacionadas a diversas funções da vegetação ripária, Simões (2001) destacou a existência de poucos estudos nas regiões de climas tropicais.

#### **4.2.1 - ZONA RIPÁRIA E A REDUÇÃO DO PICO DE CHEIA**

Em Dillaha *et al.* (1989), tem-se que uma das mais importantes funções da vegetação ripária é o aumento da infiltração deplecionada do escoamento superficial. A mata ripária aumenta a rugosidade da superfície, diminuindo a velocidade. Com isso, a infiltração é facilitada aumentando a recarga do aquífero. Um fator a ser observado é a regulação da quantidade de água que entra na calha fluvial. Com a infiltração, este volume é diminuído.

FRY *et al.* (1994) citando DEBANO & SCHMIDT (1989) relatam que zonas ripárias providenciam um natural controle das cheias. Árvores e pequenas espécies vegetativas promovem a estabilização de taludes, os quais permitem ao rio a manutenção dos meandros e da profundidade. A formação de meandros é uma das formas mais efetivas para redução da velocidade das cheias. Reduzir as velocidades do escoamento permite garantir mais tempo para que as águas das cheias sejam absorvidas pela vegetação ou pelo próprio leito do rio.

Young *et al.* (1980) mediram continuamente o escoamento superficial durante a precipitação simulada para uma determinada área. As condições do experimento foram controladas, tais como: a umidade do solo, a duração e a intensidade da precipitação. A

vegetação utilizada foi a cultura de milho, alguns tipos de grama e aveia. O autor relata que, em média, o escoamento diminuiu em 67%, com redução significativa na área de cultivo do milho (82%) e mínimo de 41% para a aveia. Embora o artigo faça mensurações na redução do escoamento superficial, este também observa a redução de sedimentos e nutrientes. O artigo finaliza com o valor de 36,0 m para a faixa de vegetação considerando uma redução aceitável na concentração de poluentes e microrganismos associado ao escoamento superficial.

Ding (2011) realizou um experimento com o objetivo de avaliar a influência da vegetação presente na zona ripária na redução do escoamento superficial em áreas com declividade acentuada. Foi utilizado um arranjo de 24 áreas (declividade média 28%) com quatro tipos de vegetação em dois comprimentos, 4,5 e 9,0 m, e a largura de 1,2 m. O autor aponta que a redução do escoamento é diretamente proporcional ao comprimento da área para os quatro tipos de vegetação. Média de 86,6% para áreas de 4,5 m de comprimento e 93,8% para áreas com 9,0 m de comprimento. Foi constatado índice maior em área com cobertura de coníferas e menor valor para cultura de milho (esparsa). O autor conclui ainda que a largura bem como a presença de vegetação na zona ripária possui influência na infiltração oriunda do escoamento superficial. Esta redução no escoamento superficial contribui na diminuição do aporte de sedimentos carregados ao curso d'água. De forma contígua, minimiza a erodibilidade das margens (INEA/HICON, 2012).

Estudos qualitativos sobre o efeito da zona ripária, quando vegetada, sobre o escoamento superficial pode ser observado em Butler (2004) e em Butler *et al.* (2007). Os autores compararam quatro áreas, três das quais com tipos de cobertura vegetal distintas e a quarta área com o solo exposto. Estes verificaram que para as três áreas com cobertura vegetal, a redução no escoamento superficial foi similar. Para a área com solo exposto, o escoamento superficial foi três vezes maior, em relação às áreas com cobertura vegetal.

Desta forma, conforme já esperado, os experimentos acima concluíram que uma faixa de vegetação nas margens auxilia diretamente na redução de picos de cheia, pois permitem uma maior infiltração da água no solo, além de contribuir no controle da erosão.

#### **4.2.2 - ZONA RIPÁRIA E O CONTROLE DA EROSÃO**

O curso d'água, com seu fluxo dinâmico, tende a ter um processo natural de migração lateral, devido à força que a água exerce sobre as margens, provocando a erosão destas e fazendo com que haja uma mudança de sua localização. Este processo pode ser mais lento ou mais rápido, de acordo com o grau de estabilidade das margens. A estabilidade das margens de cursos d'água está diretamente ligada às condições físicas e biológicas do seu entorno. Como fatores físicos, podemos citar o tipo e o uso do solo e, como fator biológico, a vegetação ripária.

Quando esta estabilidade é quebrada, pela intervenção humana ou mesmo por questões naturais, o leito do rio tende a mudar de local mais rapidamente, devido à menor resistência apresentada pela margem frente à força da água, causando a erosão da calha. Essa erosão é sempre maior em eventos chuvosos intensos, quando a vazão do rio aumenta, aumentando, também, o efeito erosivo nas suas margens pela força exercida pela água.

A estabilidade das margens é diminuída quando ocorre uma mudança repentina nas características naturais do rio. Uma das mudanças pode ser a retirada da vegetação ripária natural, que pode gerar consequências danosas para o corpo hídrico, já que a vegetação ripária exerce funções importantes na interface dos ecossistemas aquático e terrestre (INEA/HICON, 2012).

Beeson e Doyle (1995) estudaram o efeito da retirada da vegetação ripária em quatro rios da província de British Columbia, no Canadá. O foco do estudo foi a comparação da erosão dos leitos dos rios nas margens vegetadas e não-vegetadas. Para essa comparação, os autores aferiram as características hidráulicas e hidrológicas dos rios com idas ao campo e valendo-se de cartas topográficas na escala 1:100.000. A partir destas informações foi possível comparar a erosão em diferentes locais. A erosão foi medida em 748 meandros (curvas) dos quatro rios estudados, sendo descartados os meandros que apresentavam intervenções humanas, como “rip-raps”, para que o resultado fosse mais representativo da condição natural.

A erosão das margens vegetadas e das não-vegetadas foi comparada através de imagens aéreas, comparando-se duas fotos dos meandros em dois momentos distintos, o primeiro momento anterior à cheia do mês de junho de 1990 e, o segundo momento, posterior a essa cheia. A diferença na localização dos meandros foi um indicador da intensidade da erosão no local.



Nos resultados apresentados no estudo pode-se concluir que nos meandros nos quais não havia vegetação ripária o processo de erosão foi mais intenso, sendo o número de meandros não-vegetados erodidos até quatro vezes maior que o número de meandros vegetados.

A mesma conclusão é apresentada no trabalho de Micheli e Kirchner (2002), no qual um rio do estado da Califórnia, nos EUA, foi analisado para comparação entre meandros com vegetação nativa de zonas ripárias, ou seja, vegetação adaptada à interface dos ecossistemas aquático e terrestre, e meandros com outros tipos de vegetação. Neste trabalho, os autores utilizaram imagens aéreas de três anos diferentes (1955, 1976 e 1995) e SIG (Sistema de Informações Geográficas) para calcular a migração lateral dos meandros com e sem vegetação ripária original. Além disto, os autores utilizaram um modelo linear para estimar a erodibilidade das margens do canal.

Os resultados obtidos através da análise das imagens aéreas mostraram que os meandros com vegetação ripária tiveram deslocamento seis vezes menor que os meandros com outros tipos de vegetação e a erodibilidade encontrada para as margens com vegetação ripária foi aproximadamente dez vezes menor que a erodibilidade das margens com outros tipos de vegetação.

Desta forma, os autores concluíram que a manutenção da vegetação ripária ao longo das margens dos corpos d'água é uma das formas de se preservar a geometria do canal e de diminuir a intensidade da erosão diminuindo, também, o aporte de sedimentos no corpo d'água (INEA/HICON, 2012).

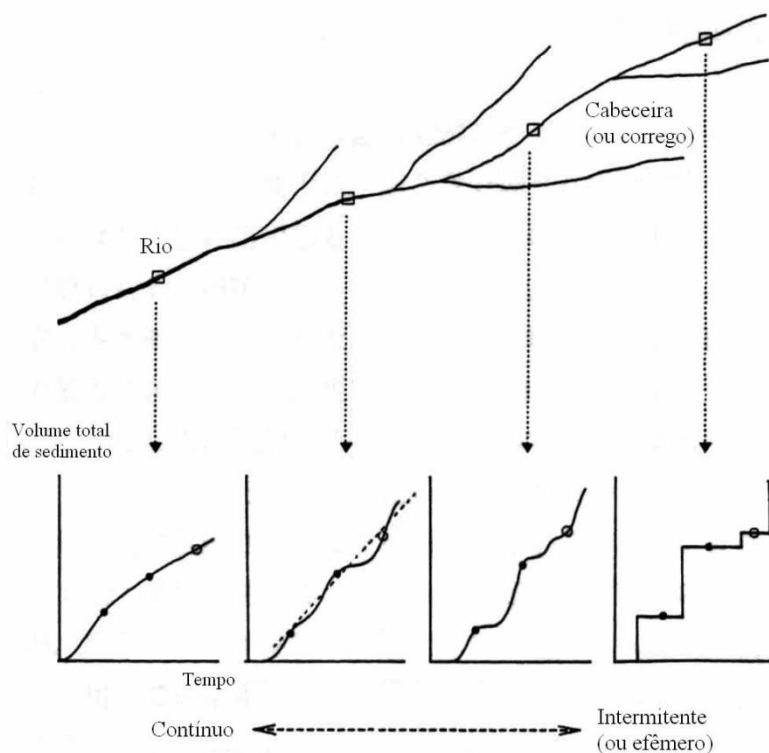
#### **4.2.3 - ZONA RIPÁRIA E A RETENÇÃO DE SEDIMENTOS**

Sedimento é o solo desprendido, pulverizado da sua matriz durante um evento erosivo ou chuvoso (RITTER; SHIRMOHAMMADI, 2001). Deposição se refere à quantidade de sedimento acumulado num determinado período de tempo (t), que não ultrapassou os limites de uma dada área em questão. Para que haja tal deposição deve haver transporte ou movimento descendente de água e sólidos em suspensão, através de sulcos ou do fluxo laminar nas áreas entressulcos. Essa deposição é segmentada, com parte dos sedimentos sendo levados pelos cursos d'água, parte depositados próxima à fite de sedimentos e também uma parte redistribuída em uma grande extensão da planície aluvial da bacia à jusante (COOPER, 1987; DOUGLAS, 1990)

Os sedimentos gerados pelo movimento de massa e extensas voçorocas podem alterar características do canal localmente e extensivamente, com efeitos que incluem alargamento do canal, redução do tamanho de sedimento no leito, aumento de turbidez (HARVEY, 1991; MADEJ & OZAKI, 1996).

Na região de cabeceiras dos rios, o transporte de sedimentos é caracterizado pela descontinuidade temporal de produção de sedimento (perda de solo) e de vazão, também pelo consequente desequilíbrio do potencial de transporte de sedimento. Em outras palavras, mesmo que ocorra erosão superficial (perda de solo) e deslizamento em grande parte de uma bacia, os cursos d'água, em geral os considerados de pequeno porte ou mesmo os intermitentes e efêmeros (talvegues secos), não conseguem transportar esses sedimentos, que conseqüentemente ficam depositados nos seus leitos, sendo careados somente em eventos de chuvas.

Conforme ilustra a Figura 10, quanto mais próximo à fonte de sedimento, ou seja, cabeceira de um curso d'água, os sedimentos vêm sendo transportados eventualmente, e quando transportados, a quantidade é elevada. Já, à medida que se avança para jusante de uma bacia, tende-se a formar cursos d'água com maior perenidade e a quantidade de sedimento transportado tende a ser menor, porém a uma taxa mais constante.



**Figura 10 - Conceito de transporte de sedimentos de montante para jusante.**

Fonte: Kobiyama, Masato. 2003

Neste contexto, a vegetação ripária exerce a influência significativa sobre geomorfologia fluvial por afetar resistência ao fluxo, resistência mecânica do solo em barranco, armazenamento de sedimento, estabilidade de leito e morfologia do canal (HICKIN, 1984) e é importante para função de ecossistema aquático (GREGORY et al., 1991).

#### **4.2.4 - ZONA RIPÁRIA E A RETENÇÃO DE POLUENTES**

As zonas ripárias podem funcionar como corredores ecológicos ou como faixas de proteção. A grande questão envolvida neste assunto é que existem diversos trabalhos científicos recomendando larguras diferentes, seja para a manutenção da vida aquática, seja para a proteção da vida silvestre. Considerando apenas a remoção (retenção) de poluentes, a literatura científica apresenta trabalhos baseados em distintas configurações o que dificulta a adoção das medidas citadas (Fish & Fischenich, 2000).

Castelli et al. (1994) afirmam que a delimitação da zona ripária é baseada na aceitabilidade política e não por mérito científico e sua largura é o principal fator para determinar seu efeito “tampão”. Se esta for subestimada, coloca em risco o corpo hídrico e, se for superestimada, impede outro uso econômico do solo, causando prejuízo desnecessário aos proprietários da terra.

Segundo Corbett e Lynch (1978), em uma floresta não perturbada as perdas de nutrientes ocorrem por volatilização, erosão do solo e lixiviação de elementos químicos dissolvidos. Esse processo pode ser muito acelerado pelo manejo inadequado de florestas e pode levar a eutrofização dos corpos d’água. A quantidade de nutrientes aumenta, quando a taxa de decomposição dos resíduos florestais excede a assimilação pela vegetação e a capacidade de troca do solo. Os nutrientes também chegam à zona ripária carregados de terras mais altas artificialmente fertilizadas.

Orbone e Kovacic (1993) registram que a preservação (ou plantio) de zonas ripárias tem sido recomendada como um procedimento eficaz para redução do aporte de nitrogênio e de fósforo. Entre os processos envolvidos estão: retenção de nutrientes no escoamento superficial e subsuperficial, absorção de nutrientes solúveis pela vegetação, assimilação/eliminação por micróbios e a absorção (e adsorção) de nutrientes solúveis por partículas orgânicas e inorgânicas do solo (U. S. Department of the Army, 1991). Os autores questionam, ainda, se a vegetação ripária pode modificar, incorporar, diluir

ou concentrar substâncias, antes de introduzi-las em um sistema lótico. E comparam a eficiência de uma faixa de proteção de floresta com outra de capim para a redução de inputs sub-superficiais de nutrientes provenientes da agricultura.

Ao final, Orbone e Kovacic (1993) concluem que ambas as faixas reduziram as concentrações de nitrato em águas sub-superficiais, em até 90%. Contudo, a faixa de floresta foi mais eficaz em reduzir as concentrações de nitrato do que a composta por capim, embora menos eficiente na retenção de fósforo total e fósforo dissolvido. Como os autores observaram maiores concentrações de fósforo nas águas sub-superficiais da faixa de floresta, eles sugerem que a vegetação ripária madura pode acumular fósforo em maior quantidade, mas também pode permitir uma maior taxa de vazamento para as águas. Este fato é importante, pois, ao escoamento sub-superficial, deve-se parte da recarga dos cursos d'água.

Com a tramitação de um novo Código Florestal e a possibilidade de ser permitida a plantação de culturas agrícolas na zona ripária, este fato deveria ser objeto de estudos futuros. O trabalho citado sugere que podem ser cultivadas gramíneas, algumas com valor agregado, em parte da APP exigida por lei ou como uma extensão desta, para auxiliar na remoção de poluentes.

Corbett e Lynch (1978) observaram o efeito do desmatamento na perda de nutrientes. Eles verificaram que esta é inicialmente pequena. Contudo, como o desmatamento promove um aumento da temperatura e, com a umidade disponível, a decomposição se acelera, ocorre o aumento de nitrogênio disponível, pelo aumento da taxa de nitrificação. Isto explica, em parte, o rápido processo de recomposição que ocorre após o desmatamento. Mas, sequencialmente, há um aumento da lixiviação de nutrientes (solúveis), sendo necessária uma rápida recomposição vegetal da área, para não permitir o empobrecimento do solo. Além disso, a maior incidência de luz e o aumento da disponibilidade de nutrientes nos corpos hídricos promovem uma maior produtividade de algas, podendo alterar a qualidade da água e eutrofizar o curso d'água.

Fry et al. (1994) propuseram um método para estimar as larguras eficientes de vegetação ripária em regiões áridas (para o estado da Pensilvânia, EUA). Para avaliação da zona ripária, três critérios de regime hídrico foram considerados (perene, intermitente e efêmero), assim como dez atributos específicos da área (densidade da cobertura vegetal, morfologia do canal, estado da erosão, diversidade de habitats, uso da terra relacionado a funções naturais, fatores de melhoria da qualidade da água, fatores de

recarga, potencial de recreação, condições das terras altas). Cada atributo recebeu um número de pontos como, por exemplo:

- a) Cobertura vegetal: 1 a 3 pontos para nenhuma vegetação; 4 a 6 pontos para alguma vegetação; e 7 a 10 pontos para cobertura vegetal em boas condições;
- b) Condições de regime: rio perene – 50 pontos, rio intermitente - 25 pontos e rio efêmero – 10 pontos;
- c) Tipo de vegetação: hidroripária – 50 pontos, mesoripária – 25 pontos; e xeroripária ou similar à vegetação das terras adjacentes mais altas – 10 pontos.

Pela metodologia proposta, para os trechos de rio com escore acima de 100 pontos (em bom estado de conservação), a largura de mata ripária indicada foi de 30 m (para preservação da vida selvagem e da qualidade da água). Para os trechos com escores entre 60 e 99 (áreas degradadas), a vegetação ripária indicada foi de 23 m (proteção apenas para a qualidade da água, pois, em zonas áridas, esta faixa só pode sustentar uma escassa vida silvestre) e, para áreas com menos de 60 pontos (áreas muito degradadas), a largura sugerida voltou a ser de 30 m, uma vez que estas áreas necessitam de maior proteção para promover sua regeneração.

Castelle et al. (1994), com base em revisão bibliográfica, registraram larguras eficientes de vegetação ripária entre 3 m e 200 m, dependendo das condições específicas do local. Os autores apontaram ainda que larguras menores que 5 m a 10 m fornecem pouca proteção aos recursos hídricos, na maior parte das condições. Segundo a literatura, são necessárias larguras mínimas entre 15 a 30 m para proteção dos corpos hídricos, na maior parte das circunstâncias. Geralmente, larguras mínimas de 15 m podem fornecer a manutenção das características físico-químicas dos recursos aquáticos, dependendo das condições adjacentes. Larguras acima de 30 m parecem ser o mínimo necessário para a manutenção dos componentes biológicos das várzeas e dos rios.

São poucos os estudos experimentais realizados em solo brasileiro que observam a largura eficiente para remoção de poluentes pela vegetação ripária, como o de Oliveira e Daniel (1999). Estes autores desenvolveram um trabalho em São Carlos, no estado de São Paulo, para estimar as larguras mínimas para reter e assimilar poluentes transportados pelo escoamento superficial e subsuperficial e compararam os resultados

encontrados com os valores apresentados pela legislação vigente no Brasil. Os valores obtidos para a largura da vegetação ripária oscilaram 10 e 50 m.

O trabalho de Young et al. (1980), melhor detalhado na seção 6, mostra que a utilização de faixas de vegetação, mesmo não sendo do tipo ripária natural, podem reter o aporte de poluentes biológicos e de nutrientes. Os autores demonstraram que os nutrientes dissolvidos provenientes da água de enxurrada foram reduzidos para todos os tipos de vegetação utilizados no experimento (milho, grama, sorgo, capim e aveia). A redução foi em média de 84% para o nitrogênio total (kjeldahl + nitrato), de 63% para o nitrogênio amoniacal, de 83% para o fósforo total e de 76% para o fosfato. O trabalho mostrou também que todas as parcelas funcionaram como faixas de proteção, independente da cultura.

Lindner e Silveira (2003), referindo-se à literatura internacional, constataram que, na maioria dos países, a largura da vegetação ripária é definida em relação aos diferentes objetivos a serem alcançados. Os autores citaram também que, no Reino Unido, é recomendado que a vegetação ripária estenda-se de 5 a 30 m de largura. Estes valores foram baseados em trabalhos da Agência de Meio Ambiente (1996) e do Ministério de Agricultura, Pesca e Alimentos (1997), que destacaram que a dimensão ideal da vegetação ripária dependerá de um número considerável de variáveis, incluindo-se entre elas: a função a ser desempenhada; o grau de eficiência requerido para o desempenho das funções desejadas; o tamanho, a topografia, a hidrologia e a hidrogeologia da área de drenagem da zona ripária.

#### **4.2.5 - ZONA RIPÁRIA E A FAUNA**

Quanto aos componentes bióticos de uma bacia hidrográfica, a cobertura florestal nas áreas ciliares podem desempenhar a função de “corredor ecológico” que favorece a manutenção da biodiversidade também propiciando um ambiente sombreado e ventilado nos canais, ajudando a manter temperaturas mais amenas nas épocas mais quentes do ano, o que favorece a biota local (CORREL, 1997).

Do ponto de vista ecológico, as zonas ripárias têm sido consideradas como corredores extremamente importantes para o movimento da fauna silvestre ao longo da paisagem, assim como para a dispersão vegetal; oferecendo, desta forma, condições favoráveis de vida para a fauna silvestre e aquática, servindo-lhes de proteção e abrigo e produzindo o alimento que necessitam, tais como: raízes, folhas, flores, frutos e até

mesmo os insetos que nelas proliferam servem de alimento, principalmente para os peixes.

As zonas riparianas assumem uma importância histórica na manutenção da fauna de mamíferos das áreas de vegetação aberta do Brasil. Como, geralmente, tornaram-se os últimos redutos de florestas a serem destruídos nas propriedades rurais, representam excelentes fontes de estudos do potencial alimentício, bem como farmacológico e artesanal de suas espécies, sendo esses fatores possíveis vias de desenvolvimento social de comunidades urbanas e rurais, através da domesticação e cultivo dessas espécies. (I Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas Ripárias, 2003).

Cabe ressaltar, que algumas espécies vivem e/ou se reproduzem nas planícies de inundação e estão diretamente ligadas as variações do regime de vazões dos cursos d'água. Desta forma, a preservação da planície de inundação, aqui podendo ser compreendida como também a zona ripária, é de extrema importância para a preservação destas espécies.

Pode-se concluir que as zonas riparianas estabelecem com a fauna silvestre relações que determinam a formação de corredores ecológicos, constituindo-se em áreas propícias a reprodução e fonte de alimentos necessários para a manutenção do equilíbrio ambiental. O desmatamento diminui a disponibilidade de alimento para a fauna e é responsável pela extinção de muitas espécies silvestres.

#### **4.3 - ZONA RIPÁRIA E AS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE**

A zona ripária está intimamente ligada ao curso d'água, mas os seus limites não são facilmente demarcados. Em tese, os limites laterais se estenderiam até o alcance da planície de inundação. Todavia, os processos físicos que moldam continuamente os leitos dos cursos d'água, que vão desde intervalos de recorrência curtos das cheias anuais, até fenômenos mais intensos das enchentes decenais e seculares, impõem, também, a necessidade de se considerar um padrão temporal de variação da zona ripária (GREGORY et al., 1992). O limite a montante, por exemplo, seria a nascente, mas durante parte do ano a zona saturada da microbacia se expande consideravelmente, o que implica na necessidade de se considerar também as áreas côncavas das cabeceiras ("stream-head hollows") como parte integrante da zona ripária.

Devido a esta elevada frequência de alterações que ocorrem na zona ripária, a vegetação que ocupa normalmente esta zona (mata ciliar) deve, em geral, apresentar

uma alta variação em termos de estrutura, composição e distribuição espacial. Esta variação deve ocorrer tanto ao longo do curso d'água, refletindo variações de micro-sítios resultantes da dinâmica dos processos fluviomórficos, que resultam em trechos característicos de deposição de sedimentos, assim como trechos característicos de erosão fluvial. Lateralmente, as condições de saturação do solo diminuem à medida que se distancia do canal, o que deve, também, influenciar a composição das espécies.

Do ponto de vista ecológico, as zonas ripárias têm sido consideradas como corredores extremamente importantes para o movimento da fauna ao longo da paisagem, assim como para a dispersão vegetal. Além das espécies tipicamente ripárias, nelas ocorrem também espécies típicas de terra firme, e as zonas ripárias, desta forma, são também consideradas como fontes importantes de sementes para o processo de regeneração natural (TRIQUET et al., 1990), (GREGORY et al., 1992). Por outro lado, trabalhos em andamento mostram que na área de mata ciliar algumas espécies de terra firme não ocorrem, o que faz com que a idéia de "corredor" tenha que ser visto sob esta nova perspectiva (KAGEYAMA et al, 1996).

Esta função ecológica já é, sem dúvida, razão suficiente para justificar a necessidade da conservação das zonas ripárias. A isto, deve-se somar a função hidrológica das zonas ripárias na manutenção da integridade da microbacia hidrográfica, representada por sua ação direta numa série de processos importantes para a estabilidade da microbacia, para a manutenção da qualidade e da quantidade de água, assim como para a manutenção do próprio ecossistema aquático.

#### **4.4 - ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E A DETERMINAÇÃO DE HIDROGRAMAS AMBIENTAIS**

As atividades humanas como a irrigação, o abastecimento público e industrial de água e a geração de energia elétrica têm causado profundas alterações nos regimes naturais de vazão dos rios. Ao longo do tempo, percebeu-se que esta alteração de regimes tem profundos impactos sobre os ecossistemas associados ao rio e à área de inundação. Em diversos casos as alterações no regime fluvial contribuíram para a extinção de espécies nativas e para a invasão por espécies exóticas (Craig, 2000).

Atualmente, há uma grande preocupação com a questão da modificação do regime hidrológico. Ao longo do século XX foram construídas muitas barragens em todo o mundo, com o principal objetivo de modificar o regime hidrológico para algum uso



humano, como por exemplo, aumentar a disponibilidade de água durante a estiagem ou reduzir os problemas de inundação durante as cheias. Estas modificações tiveram impacto significativo sobre a biodiversidade, facilitaram a introdução de espécies exóticas, contribuíram para o desaparecimento de espécies comercialmente interessantes, inviabilizaram algumas atividades de comunidades tradicionais dependentes dos recursos naturais e resultaram na perda de fertilidade de solos de planície, que dependiam dos nutrientes depositados durante as cheias (Craig, 2000).

O conceito de vazão ecológica surgiu ao longo da segunda metade do século XX, quando os problemas associados ao manejo da água começaram a ser percebidos no meio ambiente. Nos Estados Unidos, por exemplo, pesquisadores constataram que a redução da vazão de um rio estava associada à redução da diversidade de espécies ou da população de determinada espécie. As observações destes pesquisadores, que resultaram no que atualmente é conhecido como o Método Tennant, ou Montana, de determinação de vazão ecológica, indicaram qual a porcentagem de vazão que deveria ser deixada no rio para manter diferentes níveis de qualidade de habitat para peixes. (COLLISCHON, W., 2005)

Conforme exposto na revisão bibliográfica deste trabalho a diferenciação dos termos “vazão ecológica” e “vazão ambiental” gira em torno da inclusão da variável social no conceito desta última, tanto para assegurar o bem estar da população quanto à sua segurança. Esta inclusão reforça a necessidade de avaliarmos a questão da variação no regime de vazões nos cursos d’água, observando tanto as vazões mínimas, garantindo a harmonização quanto aos diferentes usos dos recursos hídricos, quanto as vazões máximas, restringindo a ocupação de áreas sujeitas a inundações e observando a necessidade de preservação das planícies de inundação que podem ser “habitat” de muitas espécies.

Desta forma a introdução do conceito de hidrograma ambiental é perfeitamente convergente a necessidade acima exposta e recomendável, abordado neste trabalho como a qualidade, quantidade e distribuição de água necessária para manter os componentes, funções e processos dos ecossistemas aquáticos, garantir os usos múltiplos e assegurar o bem-estar e a segurança da população humana, podendo ser entendido como um enquadramento quali-quantitativo.

Um grande limitador é que a maioria das metodologias existentes, conforme Tabela 1, estão focadas para a determinação das vazões mínimas a serem mantidas nos

curtos d'água de forma a atender aos aspectos ecológicos e não consideram a questão dos pulsos de vazão, a preocupação com as vazões máximas e os riscos de inundação.

**Tabela 1 - Metodologias para Determinação de Vazões Ecológicas**

Fonte: Collischonn et al. (2005)

<i>Grupo</i>	<i>Método</i>
Métodos Hidrológicos	Vazão Q7,10 Curva de Permanência de Vazões Vazão mínima anual de 7 dias Método Tennant//Montana Método da Vazão Aquática de Base Método da Mediana das Vazões Mensais Método da Área de Drenagem
Métodos Hidráulicos	Método do Perímetro Molhado Método das Regressões Múltiplas
Métodos de Classificação de Habitats	Método Idaho Método do Dep. de Pesca de Washington Método IFIM
Métodos Holísticos	Método de construção de blocos (BBM)
Outros Métodos	Vazão de Pulso e de enchentes

Os métodos hidrológicos caracterizam-se por estabelecerem vazões de restrição usando somente dados de séries históricas de vazão, entendendo que esta vazão é suficiente para a manutenção de certas características do ecossistema. São métodos considerados simples, baratos, de fácil aplicação e necessitam basicamente de dados hidrológicos coletados em estações fluviométricas, que, muitas vezes, são os únicos disponíveis para a região de estudo. Os métodos dessa categoria utilizam ferramentas da hidrologia estatística, como média, mediana e curva de permanência para fornecer as recomendações de vazão mínima garantida (Gonçalves, 2003). Das 207 metodologias identificadas em todo o mundo, os métodos hidrológicos possuem o maior percentual de utilização, correspondente a 29,5% (Tharme, 2003).

Os métodos hidráulicos baseiam-se na relação entre a vazão e os parâmetros hidráulicos (nomeadamente: perímetro molhado, profundidade máxima, velocidade, área molhada, entre outros), para uma ou mais seções transversais representativas.

A principal característica desses métodos é a possibilidade de seleção de uma ou mais variáveis físicas que sejam afetadas pela variação da vazão, que, por sua vez, constitui um fator limitante para as espécies piscícolas e/ou outras espécies aquáticas. Admite-se que a garantia de um valor mínimo para essas variáveis permitirá a manutenção da integridade do ecossistema.

A aplicação desse método envolve a seleção de seções transversais representativas dos vários tipos de “habitats” existentes, ou seções consideradas críticas para uma determinada espécie. Nesses locais as variáveis físicas devem ser sensíveis à variação de vazão (FARIAS JÚNIOR, 2006).

A vantagem desses métodos é que são de simples aplicação, utilizando modelos hidráulicos como o HEC-RAS (US Army Corps of Engineers) e o MODCEL (COPPE/UFRJ), permitindo um menor trabalho de campo e utilizando os levantamentos planialtimétricos existentes para a bacia em estudo.

Dentre as categorias de métodos de determinação de vazão ambiental, as metodologias hidráulicas posicionam-se em terceiro lugar entre as mais utilizadas no mundo (11,1%) (Tharme, 2003).

Os métodos classificados por Collischonn et al. (2005) como de avaliação de habitats, caracterizam-se por análises detalhadas de qualidade e quantidade de habitat disponível para tipos de organismos aquáticos selecionados, em relação a diferentes regimes de vazão, por meio de informações sobre o espaço físico necessário ao desenvolvimento de determinadas espécies aquáticas, indicam-se vazões que proporcionam aos peixes a maior quantidade de habitat propício, esses métodos requerem estudos de campo intensivos sobre as características hidráulicas do rio e condições de habitat necessárias para os peixes (Gonçalves, 2003).

Os métodos de classificação de habitats posicionam-se em segundo lugar dentre as categorias de métodos mais utilizadas no mundo com 28%, dentre as metodologias utilizadas nos EUA, 51% são metodologias que utilizam o habitat para a avaliação (Tharme, 2003).

Os métodos holísticos surgiram no início da década de 90, visando contribuir de modo efetivo para a mitigação da degradação ambiental proveniente da regularização de vazão provocada por grandes obras hidráulicas, destacando-se as hidroelétricas.

Esses métodos têm como pressuposto a manutenção do regime hidrológico natural do curso hídrico. O grau de manutenção do regime hidrológico é estabelecido a partir da

análise de todos os interesses existentes, avaliando os aspectos econômicos, sociais e ambientais (FARIAS JÚNIOR, 2006).

O ponto forte destes métodos é que visam definir vazões mínimas, máximas e de cheia (hidrograma ambientais) visando a manutenção ou a restauração de aspectos físicos, bióticos e de qualidade das águas, buscando atender, também, os usos humanos no rio ou bacia hidrográfica em questão. Portanto, a avaliação pode ser considerada holística não só por procurar mimetizar as vazões naturais, observando suas interações com o ecossistema aquático e terrestre, como também por priorizar o envolvimento das partes interessadas no seu uso e preservação (GALVÃO, 2008)

Os métodos holísticos, assim como os métodos de classificação de “habitats”, contemplam várias etapas, incluindo uma identificação das características físicas e ambientais do local de estudo, um plano de estudo elaborado por uma equipe multidisciplinar, chegando até a análise de diferentes alternativas antes da tomada de decisão (Collischonn et al., 2005).

O regime hidrológico natural de vazões está associado a diversas variáveis ambientais, como a temperatura da água, a concentração de sedimentos, nutrientes e oxigênio dissolvido. Cada componente do regime hidrológico é importante na manutenção dos ecossistemas associados ao rio; entre essas componentes estão as estiagens, as cheias e o tempo e o período de ocorrência das cheias (Collischonn et al., 2005).

Na Figura 11 são apresentadas algumas características ecológicas importantes, associadas aos diferentes componentes do regime hidrológico. Nem todas estas características são encontradas juntas em um rio particular, entretanto várias podem ser importantes (Collischonn et al., 2005).

Vazões mínimas	Vazões altas	Cheias
<ul style="list-style-type: none"> <li>• São suficientemente baixas para concentrar presas em áreas limitadas, e assim, favorecer os predadores durante um período limitado do tempo;</li> <li>• São suficientemente baixas para eliminar, ou reduzir a densidade de espécies invasoras;</li> <li>• São suficientemente altas para manter o habitat das espécies nativas;</li> <li>• São suficientemente altas para manter a qualidade da água, especialmente a temperatura e a concentração de oxigênio dissolvido;</li> <li>• São suficientemente altas para manter o nível do lençol freático na planície;</li> <li>• São suficientemente baixas para expor bancos de areia e praias que são utilizados para reprodução de répteis ou aves;</li> <li>• São suficientemente baixas para secar áreas de inundação temporária.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinam o tipo de sedimento do fundo do rio;</li> <li>• Evitam a invasão do leito do rio por plantas terrestres;</li> <li>• Renovam a água armazenada em lagos marginais, braços mortos do rio e em regiões de estuários.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modificam a calha do rio, criando curvas, bancos de areia, ilhas, praias, áreas de maior ou menor velocidade de água, e diversidade de ambientes;</li> <li>• Inundam as planícies, depositando sedimentos e nutrientes necessários para a vegetação terrestre;</li> <li>• Inundam e criam lagoas marginais na planície, criando oportunidades de reprodução e alimentação para peixes e aves;</li> <li>• Indicam o início do período de migração ou de reprodução para algumas espécies de peixes;</li> <li>• Eliminam ou reduzem o número de espécies invasoras ou exóticas;</li> <li>• Controlam a abundância de plantas nas margens e na planície;</li> <li>• Espalham sementes de plantas pela planície.</li> </ul>

**Figura 11 - Características ecológicas associadas a componentes do regime hidrológico**

Fonte: (Collischonn et al., 2005).

Desta forma, este trabalho ao propor a demarcação das áreas de preservação permanente, observando as vazões máximas, o uso e ocupação do solo, as áreas sujeitas a inundação e o conceito da zona ripária, convergem para a determinação das vazões máximas dos hidrogramas ambientais, que devem estar alinhados também com a segurança da população (risco de cheias). Isto é, sugere-se que o limite mínimo da largura de superfície da seção molhada correspondente ao limite máximo das vazões dos hidrogramas ambientais esteja associado a vazão máxima com tempo de recorrência de 50 anos, que poderá ser ampliado em atendimento a disposto na Lei 12.651/2012.

As vazões mínimas, não foram objeto de avaliação deste trabalho, mas devem estar contempladas na determinação dos hidrogramas ambientais. No entanto, o conceito do leito regular dos cursos d'água, definido como a calha hidráulica associada a vazão máxima com tempo recorrência de 2 anos, pode auxiliar no estudo de vazões mínimas por estar relacionado a calha principal para escoamento das vazões.

## **5 - METODOLOGIA PROPOSTA**

### **5.1 - METODOLOGIA GERAL**

A metodologia, aplicada para determinação da largura mínima das faixas marginais de proteção, envolve principalmente critérios hidrológicos e hidráulicos, nos quais são avaliados o comportamento dos parâmetros fluviomorfológicos da bacia hidrográfica de interesse. Cabe ressaltar que as larguras mínimas estabelecidas podem ser estendidas, observando também os parâmetros ecológicos e áreas sujeitas a inundações.

A caracterização física da bacia hidrográfica e do sistema de drenagem constitui uma das etapas iniciais, para a maioria dos estudos hidrológicos. Tradicionalmente, tais informações eram preparadas manualmente a partir de mapas topográficos impressos. Atualmente, ferramentas de geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm sido empregadas para obter as mesmas informações a partir do processamento automático de dados de elevação do terreno (BURROUGH,1986).

A metodologia desenvolvida busca apresentar as diversas possibilidades oferecidas pelas ferramentas de geoprocessamento para determinação dos parâmetros hidrológicos, necessários para a delimitação das áreas de preservação permanente de margem de cursos d'água.

De forma geral, a metodologia utilizada neste trabalho teve como base técnica o estudo desenvolvido pela parceria entre a HICON engenharia e o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) e que pode ser dividido em 6 etapas:

- 1° - Delimitação da área de drenagem;**
- 2° - Cálculo do tempo de concentração;**
- 3° - Cálculo da intensidade de chuva;**
- 4° - Cálculo da vazão de referência;**
- 5° - Cálculo da largura de referência do curso d'água (leito regular);**
- 6° - Determinação da largura da FMP.**

Os dois principais parâmetros que devem ser definidos antes de qualquer determinação da largura da FMP são: a vazão e a largura de referência. Para este trabalho, a vazão de referência adotada foi a vazão máxima anual para um tempo de recorrência (TR) de 2 anos.

A vazão máxima associada ao tempo de recorrência de 2 anos, foi escolhida após revisão bibliográfica realizada, visando atender a nova determinação exposta na Lei Federal nº 12.651 de 2012, a qual expõe que a área de preservação permanente de margem de rio deverá ser demarcada a partir da borda da calha do leito regular, assim entendido como a calha por onde correm regularmente as águas do curso d'água durante o ano.

A escolha do método a ser utilizado para definição da vazão e da largura de referência depende dos dados fluviométricos disponíveis e da área de drenagem até o ponto de interesse. Para este trabalho, buscou-se utilizar a teoria da geometria hidráulica para determinação da correlação entre a vazão e a largura de referência. No entanto, informações hidrológicas e hidráulicas mais localizadas podem servir como refinamento para o método, já que tendem a possuir melhor precisão.

A demarcação da FMP pode ser realizada de forma pontual ou na extensão total do curso d'água. Nos dois casos, são utilizados recursos de geoprocessamento e informações georreferenciadas disponíveis, que incluem dados hidrológicos e pluviométricos. Além disso, são utilizados mapas de uso do solo, de tipo de solo e de unidades de conservação.

Para demarcação da FMP, aqui com o mesmo significado de APP, na extensão total de um curso d'água, são necessários dados adicionais da bacia, tais como: modelo digital de terreno (MDT) e base cartográfica digital na melhor e maior escala possível. Para este estudo, foi utilizada a base hidrográfica 1:250.000 da extinta fundação CIDE, hoje fundação CEPERJ (Fundação Centro Estadual, Pesquisa e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro). Cabe ressaltar que, para o ERJ, já existem disponíveis as bases hidrográficas 1:50.000 do IBGE e também, em processo de validação, a base 1:25.000 do INEA. Porém, como a finalidade deste trabalho é apresentar a metodologia, foi escolhida a base de menor escala disponível, para facilitar a didática e apresentação dos resultados.

## **5.2 - DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM**

A área de drenagem (AD) ou bacia hidrográfica pode ser entendida como uma unidade territorial, na qual o escoamento superficial em qualquer ponto converge para um único ponto fixo, também chamado de exutório.

A área de drenagem do ponto fixo desejado, pode ser delimitada de forma automática com uso dos modelos digitais de terreno (MDT) e de softwares de geoprocessamento como o ArcGis. Nos casos em que a bacia está inserida em áreas muito planas, que não é uma característica da bacia do Piabanha, ou o MDT não estiver disponível, devem ser utilizados a carta topográfica existente, para delimitação manual com o auxílio de software de geoprocessamento.

No caso da bacia do Piabanha, foi utilizado o MDT, gerado a partir das curvas de nível e dos pontos cotados, ambos na escala 1:50.000, disponíveis no acervo cartográfico digital do IBGE. Em seguida, após ajustes no MDT gerado para tornar o mesmo hidrologicamente consistente, devem ser definidos pontos de controle, que correspondem aos exutórios e nascentes de cada sub-bacia. A partir destes pontos foram traçadas as áreas de drenagem, utilizando as ferramentas disponíveis no software ArcGis e ArcHidro.

Além das ferramentas de geoprocessamento, foram utilizados dois softwares disponíveis gratuitamente pela Agência Nacional de Águas (ANA). O primeiro é o “*ETGeoWizard*”, que permite a geração dos nós de forma automática, isto é, permite a determinação das nascentes e dos exutórios existentes na bacia hidrográfica. O segundo é o “*Sultrace*”, solução desenvolvida pela Sul Soft em atendimento a uma demanda da ANA, para segmentação dos cursos d’água. Os mesmos serão detalhados mais adiante na aplicação da delimitação automática para os cursos d’água que compõem a bacia do Piabanha.

### **5.3 - CÁLCULO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO**

Define-se como tempo de concentração o tempo necessário para que toda a bacia hidrográfica esteja contribuindo com a água sobre ela precipitada, desde o início da chuva, para uma determinada seção do curso de água ou da superfície da bacia objeto de análise. Dessa forma, o conhecimento do tempo de concentração é fundamental para a determinação da vazão máxima que estará contribuindo para um determinado local da bacia após o início da chuva.

O tempo de concentração da bacia é um parâmetro fisiográfico utilizado nos dois métodos de chuva x vazão: HUT e Racional. O tempo de concentração da bacia contribuinte até o local de interesse pode ser calculado através de diversas fórmulas empíricas, tendo sido adotada para este trabalho a fórmula de Kirpich, exposta na



equação 5.1. Esta fórmula já vem sendo adotada no ERJ para a prática de estudos hidrológicos, tendo em vista o bom ajuste nas bacias estaduais.

$$T_c = 0,0663L^{0,77}S^{-0,385} \quad (5.1)$$

onde:

T<sub>c</sub> - tempo de concentração da bacia, em horas;

L - comprimento do talvegue ou curso d'água, em km;

S - declividade média do curso d'água, em m/m.

A declividade média do curso d'água (S) até o local de interesse é a relação entre o desnível e o comprimento do talvegue desde a nascente até o local de interesse. Existem outras formas mais complexas para a determinação da declividade de um curso d'água e que podem apresentar valores muito próximos do método mais simples descrito. No entanto, como a intenção é simplificar, mantendo o compromisso com a consistência técnica, foi adotado o método mais simples, o que não invalida sua precisão e conformidade técnica.

O comprimento do talvegue e a declividade média do curso d'água podem ser obtidos a partir do perfil longitudinal, gerado de forma automática no ArcGIS usando as informações do MDT, ou por consulta e medida da base cartográfica disponível.

Para obtenção dos valores altimétricos dos pontos de nascente e foz do cursos d'água, pode ser utilizada a ferramenta do ArcGis: Spatial tools>Extraction>Extract Values to Point, observando que o arquivo de entrada deverá estar no formato "raster".

Outros métodos para o cálculo do tempo de concentração podem ser utilizados, porém para a bacia hidrográfica em estudo foi adotada apenas a fórmula de Kirpich.

Para chuvas com duração inferior ao tempo de concentração, somente os deflúvios de parte da bacia hidrográfica se somam para formar o fluviograma da enchente, enquanto que para chuvas de duração maior que o tempo de concentração, os deflúvios de todas as partes da bacia estão contribuindo para a enchente, embora com o pico de cheia já atenuado.

Isto se deve ao fato das intensidades de chuva para igual frequência decrescerem com a sua duração, assim as chuvas com duração próxima ao tempo de concentração da bacia fornecem maiores vazões para um determinado tempo de recorrência. Para fins de

projeto e deste trabalho a duração da chuva a ser utilizada na etapa do cálculo da intensidade de chuva será igual ao tempo de concentração obtido.

#### **5.4 - CÁLCULO DA INTENSIDADE DE CHUVA**

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos hidrometeorológicos de qualquer região. Tal importância deve-se as conseqüências que o excesso de precipitação pode ocasionar, principalmente em eventos de chuvas intensas.

Chuvas intensas são aquelas que registram um grande volume de água precipitado em um curto espaço de tempo. Essas chuvas, freqüentemente, causam prejuízos materiais e humanos consideráveis. (CPRM, 2001)

A intensidade de chuva pode ser compreendida como a razão entre o volume de chuva e seu tempo de duração. Em geral, é expressa em mm/h e pode ser medida em pluviógrafos.

Nos métodos chuva x vazão, que serão explicitados mais adiante e usados neste trabalho, é necessário conhecer a intensidade máxima de chuva associada a um tempo de recorrência. Para isso, podem ser utilizadas equações de chuvas intensas estabelecidas para as estações pluviométricas, que relacionam intensidade, duração e frequência da chuva.

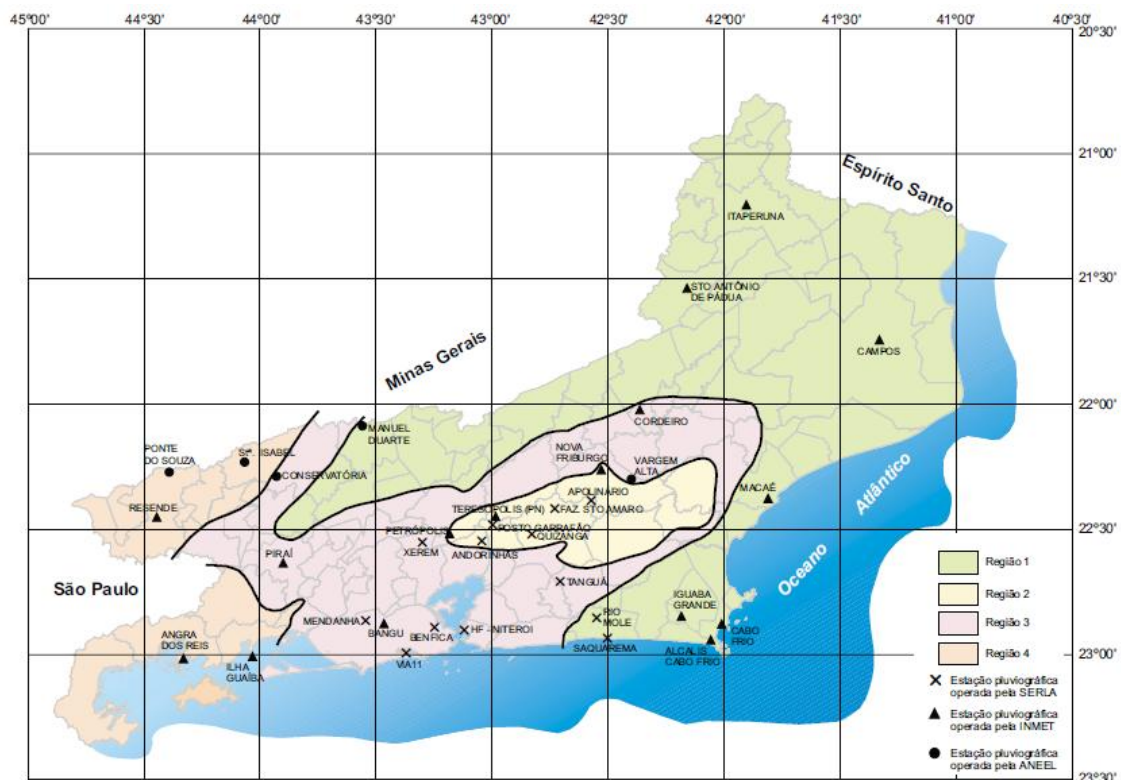
De acordo com o estudo desenvolvido pela HICON e INEA, no ERJ os principais estudos de chuvas intensas disponíveis estão listados a seguir:

- a) Chuvas Intensas no Brasil. Otto Pfafstetter. DNOS. 2ª edição. Rio de Janeiro, 1982;
- b) Características Fundamentais da Chuva no Brasil. J.L. Denardin e P.L. Freitas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.17, n.10, p.1409-16, Brasília, 1982;
- c) Estudo de Chuvas do Estado do Rio de Janeiro. Departamento de Estradas e Rodagem - DER-RJ. 1989;
- d) Estimativa e Espacialização dos Parâmetros da Equação de Intensidade-Duração-Frequência da Precipitação para o Rio de Janeiro e o Espírito Santo. D. D. Silva, F. R. L. Pinto, F. F. Pruski, F. A. Pinto. Engenharia Agrícola, v.18, n.3, p.11-21, Jaboticabal, mar. 1999;
- e) Projeto Equações I-D-F de Chuvas Intensas. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro – Fundação Rio Águas;

f) Estudo de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro, CPRM, 2001.

Como se pretende buscar uma padronização para obtenção das variáveis hidrológicas, para este trabalho, foi utilizado como referência o estudo feito pela CPRM em 2001, que já é uma adoção do ERJ para os estudos de regionalização e de projetos nos quais não são possíveis utilizar diretamente os dados fluviométricos das estações de monitoramento. Ainda, no referido trabalho já foi contemplado a estáticas para chuvas com recorrência de 2 anos, facilitando sua aplicação para obtenção da vazão máxima com recorrência de 2 anos, que será abordada mais adiante.

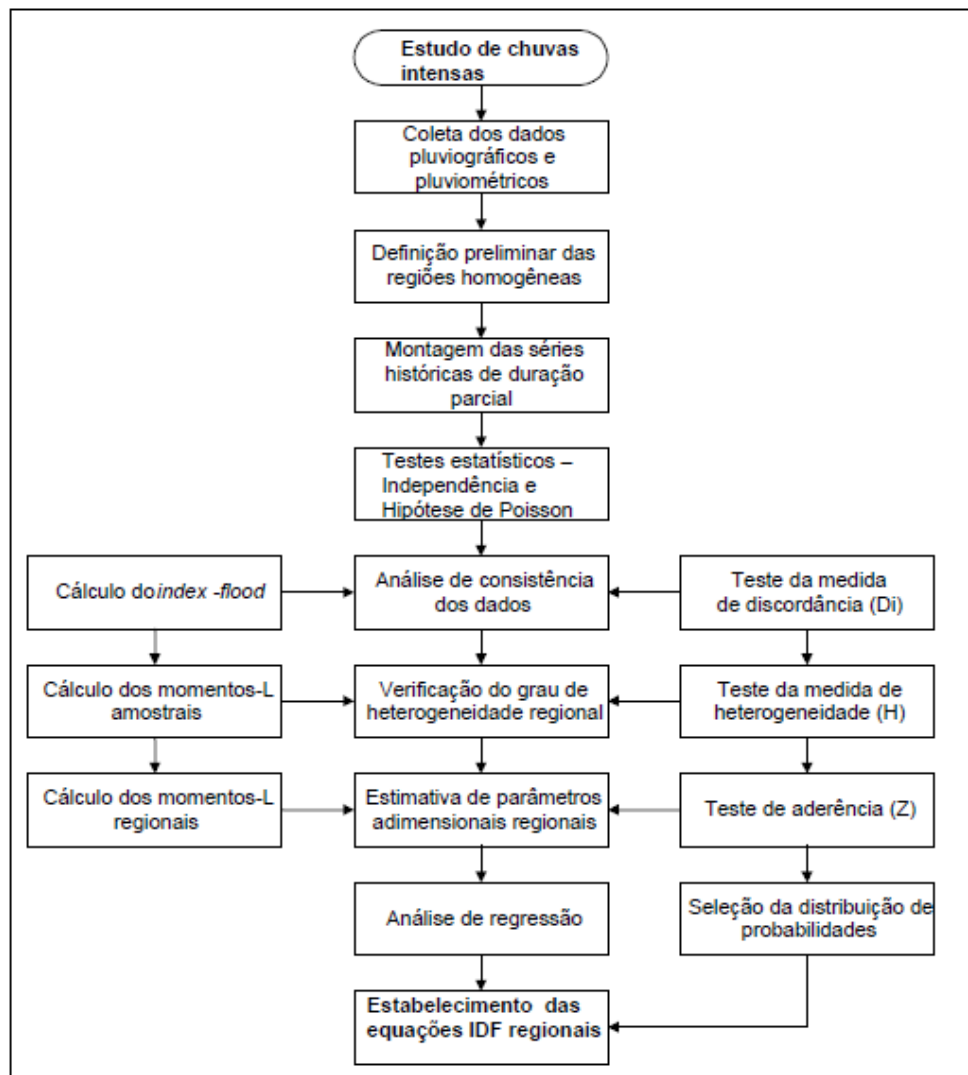
Neste estudo, desenvolvido pela CPRM, foi realizada a regionalização das chuvas intensas no ERJ. Na análise foram utilizadas 50 estações pluviométricas distribuídas espacialmente ao longo do estado. Ainda, segundo o relatório da CPRM, definiram-se preliminarmente quatro regiões homogêneas para o ERJ, conforme ilustrado na Figura 12.



**Figura 12 - Mapa das Regiões Homogêneas do Estudo de Chuvas Intensas**

Fonte: CPRM, 2001

O diagrama da Figura 13 sintetiza as diversas etapas da metodologia utilizada para a análise regional de frequências dos eventos de chuvas intensas no estado do Rio de Janeiro.



**Figura 13 - Síntese metodológica para análise regional de chuvas intensas**

Fonte: CPRM, 2001

As equações de chuvas intensas definidas para as 4 regiões homogêneas delimitadas para o ERJ estão dispostas na Tabela 2. A obtenção da intensidade de chuva ( $i_d$  em mm/h) deve ser calculada para cada sub-bacia previamente definida, pois será necessária para os cálculos de vazão, que serão abordados mais adiante.

**Tabela 2 - Equações de Chuvas Intensas. CPRM, 2001**

	Para 5 min. $\leq d < 1$ hora			Para 1 hora $\leq d \leq 24$ horas		
	$i_d = A \times d^\alpha \times P^\beta$			$i_d = B \times d^\gamma \times P^\delta$		
REGIÃO	A	$\alpha$	$\beta$	B	$\gamma$	$\delta$
1 e 4	44,888	-0,385	0,244	81,432	-0,771	0,371
2	39,445	-0,339	0,234	16,204	-0,761	0,564
3	36,301	-0,392	0,276	85,264	-0,789	0,367

Ainda, na Tabela 2, duas variáveis são necessárias para o cálculo da intensidade de chuva. A primeira “d” representa a duração da chuva (min) que terá o mesmo valor do tempo de concentração (tc) já abordado na etapa anterior. O segundo parâmetro “P” representa a precipitação média anual (mm) que pode ser obtida pelo método de Thiessen, pelos mapas das isoietas ou utilizando diretamente uma média aritmética dos valores de precipitação da série dos postos pluviométricos inseridos na bacia ou sub-bacia.

Cabe uma observação, que apesar da região 1 e 4 possuírem a mesma equação para obtenção da intensidade, os valores dos quantis adimensionais regionais anuais ( $\mu_{T,d}$ ) que possibilitam a associação com o tempo de recorrência desejado, possuem valores distintos. Isto pode ser compreendido, de forma mais clara, observando a fórmula final, equação 5.2, do valor da intensidade  $i_{T,d,j}$ , conforme ilustra a equação abaixo:

$$i_{T,d,j} = i_d \times \mu_{T,d} \quad (5.2)$$

Para este trabalho, preferencialmente, foi utilizado como base os valores das precipitações médias anuais dos postos distribuídos pela bacia, que possuem variações de precipitação média anual de 2.500 mm até 1.110 mm (mais próximo da foz do Piabanha) e serão abordados, com mais detalhes, no capítulo do estudo de caso. Também, de forma auxiliar, as isoeitas devem orientar na escolha dos postos mais representativos para a bacia hidrográfica.

## 5.5 - CÁLCULO DA VAZÃO DE REFERÊNCIA

A vazão e a largura de referência, para a demarcação das áreas de preservação permanente, são os parâmetros mais difíceis de serem determinados de forma

automatizada e padronizada. Isso se agrava com a vaga definição na legislação quanto à associação hidrológica do termo “leito regular” no processo de definição das APPs. O inciso “I” do Art.4º da Lei Federal 12.651 relata:

*Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:*

*I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).*

Desta forma, na legislação ficou “em aberto” a definição do “leito regular”, para que os órgãos gestores fizessem suas próprias definições. Este trabalho sugere, após a revisão bibliográfica realizada, que o leito regular seja representado pela vazão máxima associada ao tempo de recorrência (TR) de 2 anos.

Para o cálculo das vazões de referência é sugerido a adoção dos seguintes critérios:

- a) Para bacias com áreas de drenagem menores que 2km<sup>2</sup> deverá ser utilizado o método racional. Para bacias maiores deverá ser utilizado o método do hidrograma unitário (HUT) do SCS (Soil Conservation Service).
- b) A vazão de referência para o leito regular deverá estar associada a vazão máxima com tempo de recorrência de 2 anos.
- c) Para o cálculo do coeficiente de escoamento (*runoff*) e do curva número (CN) foi utilizado o estudo desenvolvido pela HICON/INEA, que determinou os grupos hidrológicos no ERJ, associando o uso e ocupação do solo (ZEE) com o tipo de solo (EMBRAPA);
- d) Para fins de padronização e simplificação deve ser utilizada como referência a foz do curso d'água para representar a vazão do trecho;
- e) Os postos fluviométricos devem ser utilizados para validação dos métodos indiretos utilizados e no caso de bacias com valores de área que estejam no intervalo entre o dobro e metade do valor de área do posto mais representativo, os dados de vazão dos postos podem ser usados diretamente por correlação entre as áreas.

Recomenda-se que não sejam utilizados postos fluviométricos com menos de 10 anos de dados, para dar maior consistência as informações geradas. Ainda, para este trabalho foi ajustada a curva-chave para cada um dos sete postos fluviométricos selecionados como referência para cálculo das vazões.

### **5.5.1 - CÁLCULO DA VAZÃO DE REFERÊNCIA UTILIZANDO O MÉTODO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO (HUT) DO SCS**

Em bacias hidrográficas com carência de dados fluviométricos, é comum o emprego do método do hidrograma unitário triangular sintético para definição de hidrogramas de cheias de projeto. Este método é de uso bastante difundido em todo o mundo e costuma ser aplicado em bacias hidrográficas com áreas de drenagem inferiores a 1.000 km<sup>2</sup>, para as quais normalmente não se dispõe de registros adequados. (HICON/INEA, 2012).

A chuva, ao precipitar-se sobre uma bacia hidrográfica, tem parte de suas águas interceptada pela vegetação e outros obstáculos, de onde evapora posteriormente. Do volume que atinge a superfície do solo, parte é infiltrada no solo e o restante escoar pela superfície. A porção restante da precipitação vai gerar um hidrograma de cheia na calha do rio, sendo denominada precipitação efetiva.

A precipitação efetiva depende do complexo solo-cobertura vegetal da bacia e das condições de umidade que antecedem o temporal, podendo ser calculada pela equação 5.3:

$$Pe = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \quad (5.3)$$

onde:

$$S = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN} \quad (5.4)$$

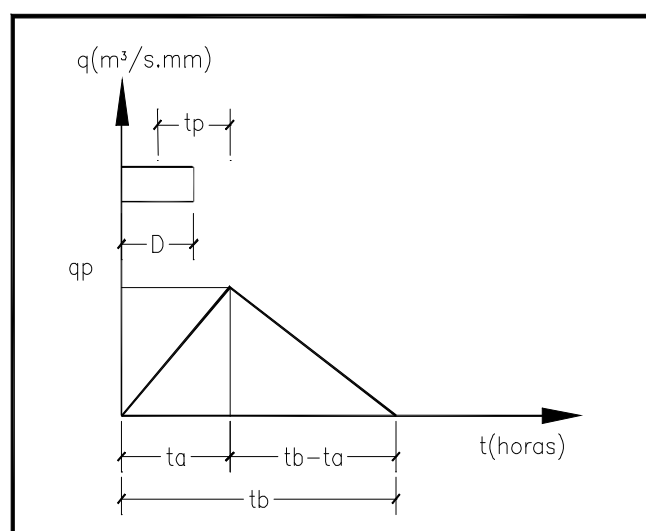
onde:

S é a infiltração potencial e CN é a curva número (ou número da curva de deflúvio).

O valor de CN varia de 0 a 100. Para áreas completamente impermeáveis considera-se o CN = 100, já para outras superfícies o CN < 100.

Quando se dispõe de dados observados no local, pode-se estimar CN comparando-se os volumes escoados superficialmente com os volumes simulados pelo método do hidrograma unitário. Quando não se dispõe destas informações, associa-se o valor de CN ao complexo solo-cobertura vegetal, com auxílio de tabelas e estudos existentes na literatura especializada.

A precipitação efetiva se propaga pela superfície da bacia até atingir os cursos d'água, através dos quais é conduzida para jusante. O método do hidrograma unitário sintético do SCS assume que uma dada precipitação efetiva  $P_e$ , de duração  $t$ , transforma-se, neste processo de propagação, em um hidrograma de forma triangular, cujas dimensões (pico, tempo de ascensão e tempo de recessão) são estimadas a partir das características fisiográficas da bacia. A Figura 14 ilustra este processo.



**Figura 14 - Esquema ilustrativo do Método do Hidrograma Unitário do SCS (Soil Conservation Service).** Fonte: Eletrobrás, 1999 – apud Projeto Macacu

O tempo de ascensão do hidrograma é calculado pela equação 5.5:

$$Ta = \frac{D}{2} + 0,60 \cdot Tc \quad (5.5)$$

onde:

$D$  é a duração da precipitação (1 hora) e  $Tc$  o tempo de concentração da bacia (em horas), que pode ser calculado através da fórmula de Kirpich apresentada anteriormente. Já o tempo de recessão do hidrograma é dado pela equação 5.6:

$$Trec = \frac{5}{3} \cdot Ta \quad (5.6)$$



e, finalmente, o pico de vazão ( $Q_p$ ), para a precipitação de 1 mm, é calculado pela equação 5.7:

$$Q_p = \frac{A}{1,8 \cdot (T_a + T_{rec})} \quad (5.7)$$

Para a determinação do pico de cheia associado a um tempo de recorrência desejado ( $T_R$ ) toma-se a precipitação de mesmo tempo de recorrência, com duração igual ao tempo de concentração ( $T_c$ ) da bacia hidrográfica e calcula-se a precipitação efetiva. Essa precipitação efetiva é multiplicada pelo  $Q_p$  para obtenção da vazão de pico.

Em resumo, o método do hidrograma unitário triangular sintético do Soil Conservation Service, é constituído dos seguintes passos listados a seguir:

- a) Determinação da distribuição de probabilidade de chuvas intensas na bacia hidrográfica, com várias durações, a partir de dados pluviométricos disponíveis na região;
- b) Estabelecimento do hidrograma unitário triangular da bacia hidrográfica a partir de características fisiográficas da mesma;
- c) Cálculo das parcelas da chuva de projeto que se transformam em escoamento superficial (chuva efetiva), considerando características do solo e da cobertura vegetal da bacia;
- d) Determinação da vazão de pico associada a diversos tempos de recorrência.

O Curva Número (CN), ou Número da Curva de Deflúvio, representa o complexo solo-cobertura vegetal da bacia e as condições de umidade que antecedem o temporal no Método do Hidrograma Unitário do SCS. O parâmetro CN depende de vários fatores como uso e tipo de solo, umidade precedente e grau de saturação.

As condições precedentes de umidade do solo influenciam o deflúvio, de modo que solos secos apresentam CN menor e solos úmidos CN maior. A literatura técnica apresenta valores de CN corrigidos para três condições de umidade precedente, onde:

- a) Condição I: solos secos: as chuvas nos últimos 5 dias não ultrapassaram 15 mm;
- b) Condição II: situação média na época das cheias: as chuvas nos últimos 5 dias totalizaram entre 15 e 40 mm;

- c) Condição III: solo úmido (próximo da saturação): as chuvas nos últimos 5 dias foram superiores a 40 mm e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

As correções usualmente propostas para as condições I e III podem minimizar ou maximizar o CN em até 50% do seu valor médio. Como o cálculo da vazão máxima no presente estudo tem como objetivo a demarcação de FMP, e não o dimensionamento de estruturas de drenagem, julgou-se mais adequado admitir que as condições antecedentes de umidade são médias, evitando assim subestimar ou superestimar vazões e níveis d'água.

Quanto ao tipo de solo, o SCS agrupou os solos com base na premissa de que os perfis de solo com características semelhantes (espessura, textura, conteúdo de matéria orgânica, estrutura e expansão) respondem de forma semelhante a uma chuva de grande duração e intensidade. Os quatro grupos estabelecidos podem ser definidos como: A (baixo potencial de escoamento); B (moderado potencial de escoamento); C (alto potencial de escoamento); D (muito alto potencial de escoamento).

Lombardi Neto et al. (1989) proposuram uma adaptação da classificação americana às características dos solos brasileiros e Sartori et al. (2005) fizeram uma extensão dessa classificação hidrológica, utilizando dados do Estado de São Paulo, que pode ser aplicada em todo Brasil, com exceção de regiões muito úmidas ou muito secas, como o Nordeste, o Pantanal e a Amazônia.

No cálculo das vazões máximas para demarcação de FMP no Estado do Rio de Janeiro, trabalho que está sendo desenvolvido pelo INEA em parceria com a HICON Engenharia, a classificação de Sartori é muito adequada, pois define o grupo hidrológico de cada tipo de solo classificado segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa. Por isso, no presente estudo, o grupo hidrológico de cada tipo de solo do Estado foi estabelecido com base no trabalho de Sartori.

No mapeamento da EMBRAPA, além dos tipos de solo, também constam as áreas de Afloramento de Rocha, Dunas, Mineração, Salinas, Ilhas, Ocupação urbana e Corpos D'água, que são locais onde não se pode classificar o tipo de solo.

Como na presente metodologia julgou-se adequado utilizar como referência a classificação de uso do solo adotada no mapeamento do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), realizado para todo o território do Estado do Rio de Janeiro, foram

pesquisados valores de CN para cada classe de uso do solo. A partir dos diversos valores de CN sugeridos na literatura, foi elaborado a

Tabela 3, a seguir, que mostra os valores adotados pela presente metodologia e suas respectivas fontes de referência, para a condição II de umidade precedente.

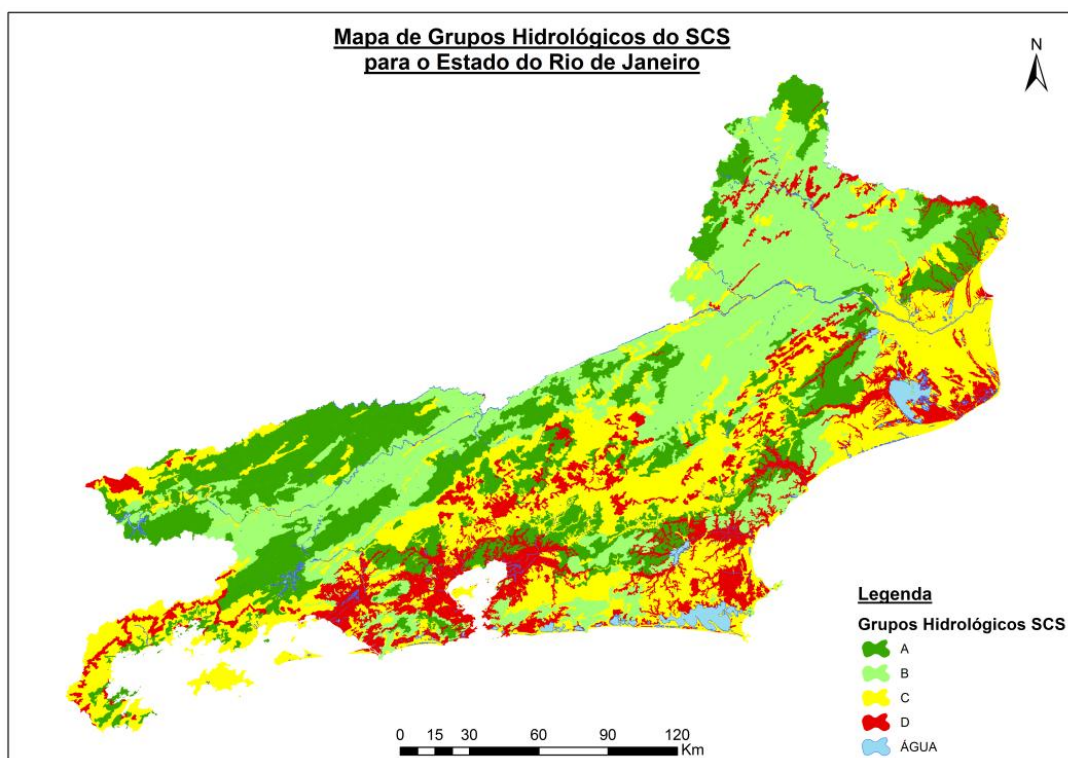
**Tabela 3- Valores de Curva Número e Respectivas Fontes de Referência.**

Usos do Solo (ZEE)	Grupo Hidrológico				Origem do Valor da Curva Número
	A	B	C	D	
Água	100	100	100	100	SCS, National Engineering Book, Section 4, Hydrology, Chapter 9
Afloramento Rochoso	98	98	98	98	SCS, National Engineering Book, Section 4, Hydrology, Chapter 9
Ocupação Urbana de Alta Densidade	89	92	94	95	NRCS, TR-55 Urban Hydrology for Small Watersheds
Ocupação Urbana de Média Densidade	77	85	90	92	NRCS, TR-55 Urban Hydrology for Small Watersheds
Ocupação Urbana de Baixa Densidade	61	75	83	87	NRCS, TR-55 Urban Hydrology for Small Watersheds
Solo exposto	77	86	91	94	SCS, National Engineering Book, Section 4, Hydrology, Chapter 9
Pastagem - terreno montanhoso, escarpado e forte ondulado	68	79	86	89	SCS, National Engineering Book, Section 4, Hydrology, Chapter 9
Pastagem - terreno ondulado	49	69	79	84	SCS, National Engineering Book, Section 4, Hydrology, Chapter 9
Pastagem - suave ondulado e plano	39	61	74	80	SCS, National Engineering Book, Section 4, Hydrology, Chapter 9
Comunidade relíquia <sup>1</sup>	37	51	68	70	SCS, National Engineering Book, Section 4, Hydrology, Chapter 10
Pastagem em Várzea	37	51	68	70	SCS, National Engineering Book, Section 4, Hydrology, Chapter 11
Áreas Úmidas	37	51	68	70	SCS, National Engineering Book, Section 4, Hydrology, Chapter 12
Agricultura (café)	49	69	79	84	SCS, National Engineering Book, Section 4, Hydrology, Chapter 13
Agricultura	49	69	79	84	SCS, National Engineering Book, Section 4, Hydrology, Chapter 14
Agricultura (cana)	49	69	79	84	SCS, National Engineering Book, Section 4, Hydrology, Chapter 9
Agricultura (cítricos-coco)	41	55	69	71	SCS, National Engineering Book, Section 4, Hydrology, Chapter 9
Reflorestamento	56	75	86	91	Handbook of Applied Hydrology (Ven te Chow, 1964), Table 22-9
Vegetação Secundária em	51	72	82	88	Média entre Reflorestamento e Floresta Caducifólia

Usos do Solo (ZEE)	Grupo Hidrológico				Origem do Valor da Curva Número
	A	B	C	D	
Estágio inicial					
Floresta - Caducifólia	46	68	78	84	Handbook of Applied Hydrology (Ven te Chow, 1964), Table 22-9
Floresta - Subcaducifólia	36	60	70	76	Handbook of Applied Hydrology (Ven te Chow, 1964), Table 22-9
Floresta - Subperenifólia	26	52	62	69	Handbook of Applied Hydrology (Ven te Chow, 1964), Table 22-9
Floresta - Perenifólia	15	44	54	61	Handbook of Applied Hydrology (Ven te Chow, 1964), Table 22-9
Cordões Arenosos	12	35	43	49	80% do CN da Floresta Perenifólia
Dunas	12	35	43	49	80% do CN da Floresta Perenifólia
Restinga	12	35	43	49	80% do CN da Floresta Perenifólia
Salinas	0	0	0	0	
Mangue	0	0	0	0	

<sup>1</sup> vegetação predominante associa-se a campos de altitude (gerais) e domínios rupestres (Clements, 1949).

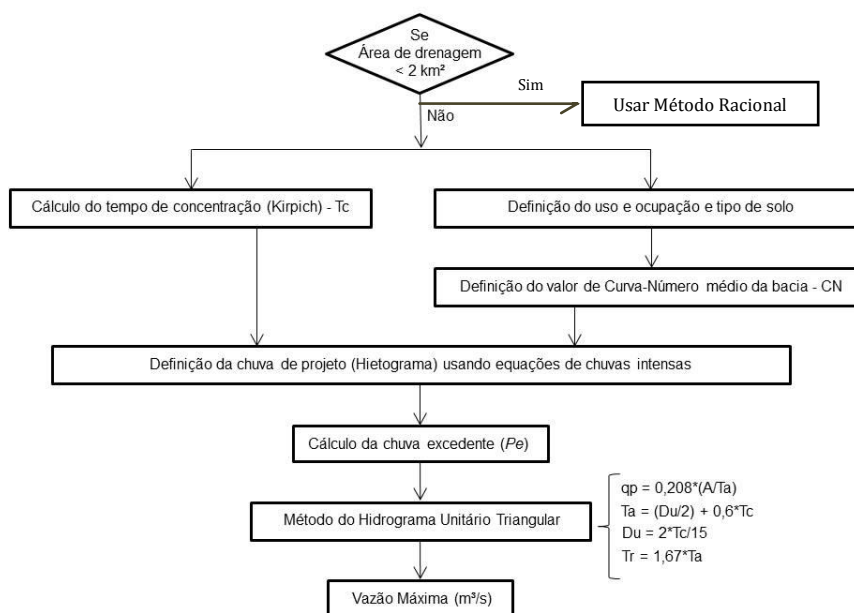
No método do HUT, os diversos tipos de solo são classificados em quatro grupos hidrológicos (A,B,C,D), em função de suas características relacionadas com a permeabilidade e a capacidade de infiltração. A partir do mapa de solos da EMBRAPA, na escala 1:100.000, que cobre todo o estado do Rio de Janeiro, adotou-se a classificação recomendada por Sartori et al (2005), o que permitiu a definição do grupo hidrológico dos solos fluminenses, conforme ilustra a Figura 15.



**Figura 15 - Grupos Hidrológicos dos Solos do Rio de Janeiro (INEA/HICON, 2012)**

A Figura 16 ilustra o fluxograma para o cálculo de vazão máxima utilizando o método do Hidrograma Unitário (HUT).

#### Método do Hidrograma Unitário



**Figura 16 - Fluxograma para o cálculo da vazão de projeto através do Método do Hidrograma Unitário (HICON/INEA,2012).**

### 5.5.2 - CÁLCULO DA VAZÃO DE REFERÊNCIA UTILIZANDO O MÉTODO RACIONAL

O Método Racional é utilizado usualmente para estimar a vazão de pico durante uma cheia extrema em locais (exutórios) com áreas de drenagem iguais ou inferiores a 2 km<sup>2</sup>. Portanto, esse é o método hidrológico das cabeceiras de todas as bacias e sub-bacias dos rios de qualquer ordem fisiográfica.

Nesse método, a vazão é determinada em função da precipitação, do porte da área de contribuição e das características de recobrimento da bacia. O Método Racional pode ser expresso pela equação 5.8:

$$Q = 0,278 \times C \times i \times A \quad (5.8)$$

onde:

- ✓ Q = vazão (m<sup>3</sup>/s);
- ✓ C = coeficiente de escoamento;
- ✓ i = intensidade máxima média de precipitação (mm/h);
- ✓ A = área da bacia (km<sup>2</sup>);
- ✓ 0,278 é uma constante para a adequação das unidades utilizadas para os parâmetros da equação. Este valor pode variar de acordo com as unidades adotadas.

O conceito básico deste método é que a contribuição máxima ocorrerá quando toda a bacia de montante estiver contribuindo para a seção de interesse. O deflúvio é uma parcela da precipitação média na área com duração igual ao tempo de concentração da bacia.

Uma restrição deste método é que ele não leva em consideração que as condições de permeabilidade do terreno, notadamente nos não pavimentados, variam durante a precipitação com o aumento do escoamento superficial. Ele não considera também o retardamento natural do escoamento cujo fenômeno acarreta alteração do pico de cheia, sendo esta a principal razão da limitação deste método para bacias maiores.

Outra restrição do Método Racional é que ele considera a intensidade de chuva de projeto como sendo constante, tanto no tempo como no espaço, ou seja, admite uma precipitação uniforme em toda a área de contribuição (HICON/INEA,2012). Estas simplificações não impedem sua aplicação em bacias pequenas, já que as possíveis alterações devido a esta simplificação se tornam desprezíveis.

O coeficiente de escoamento, também chamado de coeficiente de runoff ou coeficiente de deflúvio, é um valor adimensional, definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. Ele depende de características fisiográficas da bacia tais como: declividade, tipo e uso do solo.

Existem na literatura diversos valores ou faixas de coeficientes de escoamento a serem adotados de acordo com o tipo e uso do solo. A escolha destes valores é feita de acordo com os dados disponíveis a serem utilizados.

Os coeficientes de escoamento adotados pela presente metodologia foram obtidos do livro “Hydrology Analysis and Design” (McCuen, 2004), que considera o grupo hidrológico e a declividade da bacia para a definição do valor de C. Neste trabalho adotaram-se os valores referentes a declividades médias (2% a 6%) e tempos de recorrência menores que 25 anos.

A Tabela 4, a seguir, mostra os valores de coeficientes de escoamento, ajustado pela parceria INEA/HICON, adotados pela presente metodologia, relacionados ao plano de informação de uso do solo do Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) do estado do Rio de Janeiro.

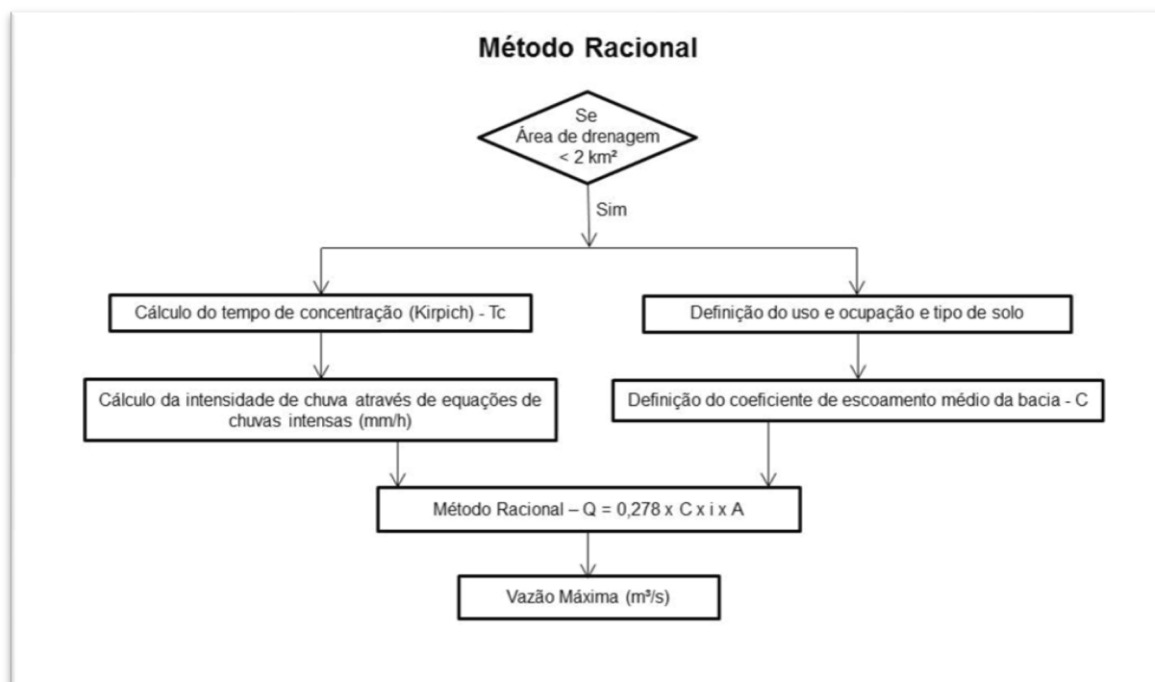
**Tabela 4 - Valores do Coeficiente de Escoamento para as classes de uso do solo do ZEE.**

Usos do Solo (ZEE)	A	B	C	D
	Declividade Média	Declividade Média	Declividade Média	Declividade Média
Água	1.00	1.00	1.00	1.00
Áreas Úmidas	0.10	0.13	0.17	0.21
Afloramento Rochoso	0.86	0.86	0.86	0.86
Agricultura	0.13	0.15	0.19	0.23
Agricultura (café)	0.13	0.15	0.19	0.23
Agricultura (cana)	0.13	0.15	0.19	0.23
Agricultura (citricos-coco)	0.13	0.15	0.19	0.23
Comunidade relíquia	0.16	0.22	0.28	0.30
Cordões arenosos	0.06	0.09	0.10	0.13
Dunas	0.06	0.09	0.10	0.13
Floresta	0.08	0.11	0.13	0.16

Usos do Solo (ZEE)	A	B	C	D
	Declividade Média	Declividade Média	Declividade Média	Declividade Média
Mangue	0.00	0.00	0.00	0.00
Ocupação Urbana de Alta Densidade	0.86	0.86	0.86	0.86
Ocupação Urbana de Média Densidade	0.71	0.72	0.72	0.72
Ocupação Urbana de Baixa Densidade	0.68	0.68	0.69	0.69
Pastagem	0.20	0.28	0.34	0.40
Pastagem em Várzea	0.16	0.22	0.28	0.30
Reflorestamento	0.16	0.22	0.28	0.30
Restinga	0.06	0.09	0.10	0.13
Salinas	0.00	0.00	0.00	0.00
Solo exposto	0.68	0.68	0.69	0.69
Vegetação Secundária em Estágio Inicial	0.16	0.22	0.28	0.30

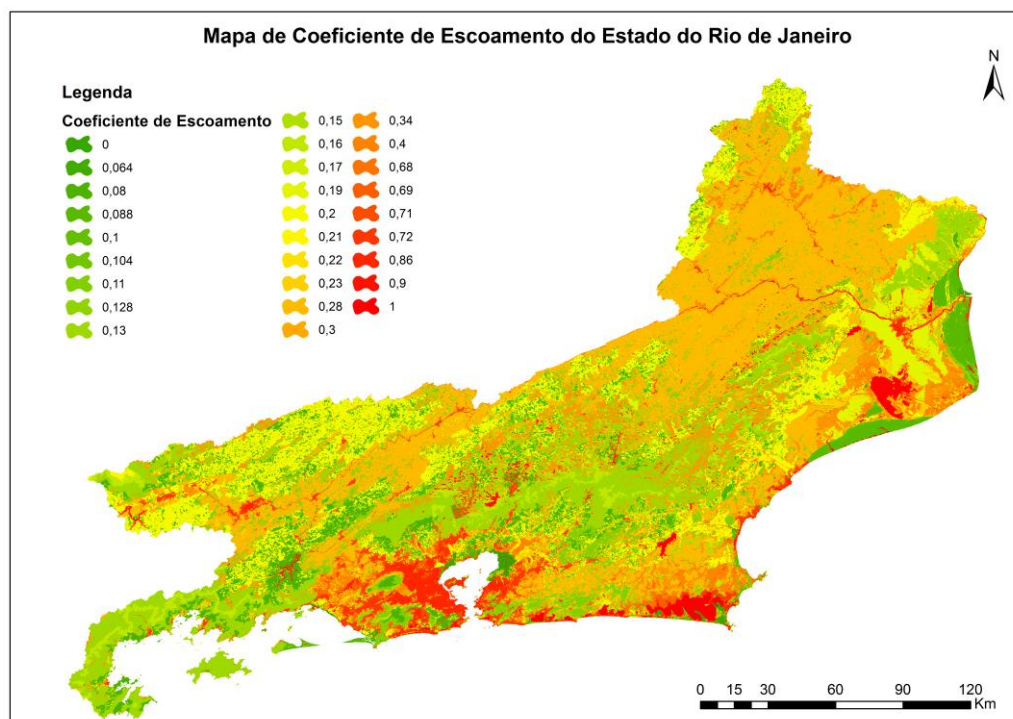
A Figura 17 ilustra de forma didática como é feito o cálculo da vazão máxima utilizando o método racional e as ferramentas aplicadas na metodologia de demarcação da FMP.





**Figura 17 - Fluxograma para o cálculo da vazão máxima através do Método Racional**  
**Fonte: (INEA/HICON, 2012)**

A Figura 18 ilustrada os valores dos coeficientes de escoamento calculados com a metodologia supracitada para o ERJ. Pode-se notar que os maiores valores do coeficiente são nas áreas urbanas, que estão mais concentradas na Região Hidrográfica da Baía de Guanabara.



**Figura 18 - Valores dos Coeficientes de Escoamento Superficial para o ERJ**

## 5.6 - CÁLCULO DA LARGURA DE REFERÊNCIA DO CURSO D'ÁGUA

Para determinação da largura de referência, isto é, da largura correspondente ao leito regular do curso d'água, foi utilizada a teoria da geometria hidráulica, já abordada neste trabalho.

Existem inúmeros estudos que relacionam a forma da seção transversal de canais com a vazão de escoamento. Estes estudos baseiam-se na teoria da geometria hidráulica, desenvolvida pioneiramente por Leopold e Maddock (1953). Eles utilizaram as medições de velocidade, largura e profundidade, de estações fluviométricas situadas em bacias hidrográficas do centro-oeste americano, e realizaram uma análise de regressão relacionando estes parâmetros à vazão de escoamento, através das seguintes equações (5.9) de potência:

$$\begin{aligned}w &= a \times Q^b \\d &= c \times Q^f \\v &= k \times Q^m \\L &= p \times Q^j\end{aligned}\tag{5.9}$$

onde  $w$  é a largura,  $d$  é a profundidade média,  $v$  é a velocidade,  $L$  são os sedimentos em suspensão e  $Q$  é a vazão. Os coeficientes  $a$ ,  $c$ ,  $k$  e  $p$  são fatores multiplicadores e os coeficientes  $b$ ,  $f$ ,  $m$  e  $j$  são os expoentes da equação.

Estas equações foram desenvolvidas considerando o princípio do equilíbrio, onde um canal médio tende a se desenvolver de forma a produzir um equilíbrio aproximado entre a sua forma e o transporte de água e sedimentos, (Leopold e Maddock, 1953).

As equações determinadas por Leopold e Maddock servem como base para diversos trabalhos até hoje e, frequentemente, novos resultados são confrontados com os valores obtidos em 1953. Desde então, muitas teorias basearam-se neste estudo pioneiro.

Neste trabalho foi sugerida a elaboração de curvas-regionais baseadas na teoria da geometria hidráulica. Para isto, primeiramente, deve ser feita uma seleção dos postos fluviométricos que se pretende usar na regionalização, para que a referida curva seja consistente e representativa da região de sua aplicação. Conforme Tucci (2002) a regionalização envolve as seguintes etapas:

- a) definição dos limites da área a ser estudada;
- b) definição das variáveis dependentes e explicativas da regionalização;
- c) seleção dos dados das variáveis;
- d) funções regionais: relações regionais e definição das regiões homogêneas.

Neste sentido, o limite da área de estudo é a bacia do rio Piabanha e a variável usada para a obtenção da largura de referência do leito regular, foi a vazão máxima associada ao tempo de recorrência de 2 anos. Ainda, a seleção dos postos foi feita baseada na quantidade de dados da série histórica, assim como, sua qualidade e número de falhas. Cabe ressaltar que para o caso em tela foram ajustadas as curvas-chave para cada posto utilizado. Por fim, foi verificado que a bacia do Piabanha pode ser compreendida como uma região homogênea quanto a definição de uma função regional, que relacione as vazões dos cursos d'água com a largura de leito regular ( $w=a*Q^b$ ), conforme a metodologia da geometria hidráulica.

Para validar a teoria da geometria hidráulica foram utilizados os dados (largura, velocidade e vazão) das medições de descarga disponíveis para cada um dos postos fluviométricos, verificando a conformidade da estação quanto aos requisitos para aplicação da teoria.

Assim, para definição de uma curva regional que relacione a largura do leito regular a vazão do curso d'água ( $TR = 2$  anos), deve-se plotar um gráfico que relacione a vazão com a largura da seção molhada correspondente para todos os postos fluviométricos selecionados. O valor desta largura deve ser obtido utilizando os coeficientes (“a” e “b”) da curva de ajuste ( $w=a*Q^b$ ), usando os dados de medição de descarga, feita para cada posto durante a validação da teoria da geometria hidráulica.

Desta forma, com os valores de largura e vazão, para cada posto selecionado, pode-se traçar a curva de tendência, usando as ferramentas do próprio “Excel” e gerar a curva regional para a bacia de interesse.

## **5.7 - DETERMINAÇÃO DA LARGURA DA APP/FMP**

A determinação da largura da FMP é definida, no ERJ, por duas legislações principais: a Lei Federal 12.651 de 2012 e o Decreto Estadual 42.356 de 2010. A primeira é aplicada tanto para áreas urbanas quanto para áreas rurais, conforme descrito

neste trabalho na revisão sobre legislação. O ERJ possui uma particularidade, que se aplica para áreas urbanas consolidadas, conforme disposto no referido Decreto.

Para estas áreas é previstas a redução dos limites das FMPs dispostos na legislação federal, inclusive demarcação de Faixa Non Aedificandi (FNA) que pode variar, minimamente, de 1,5 até 10 metros. Esta sendo proposto, por este estudo, que a FNA passe a ter o limite mínimo de 5 metros, sendo retirada do Decreto Estadual 42.356/2010, a previsão do limite mínimo de 1,5 metro, já que esta última possui a intenção de reservar área marginal para limpeza de curso d'água de forma mecânica, mas que na prática, fica bem restrita para acesso, além das divergências que podem ocorrer devido ao próprio erro cartográfico. Ainda, o referido Decreto relata que as informações necessárias para sua aplicação devem ser atestadas por três técnicos através de vistoria.

Neste sentido, este trabalho, propõe uma otimização destas vistorias através do uso das ferramentas de geoprocessamento, dos mapas de uso e ocupação do solo, das imagens de satélite e dos dados disponíveis nos setores censitários do IBGE.

De forma geral os quatro requisitos mínimos para aplicação do Decreto Estadual estão previstos no seu Art. 4º conforme disposto abaixo:

*Art. 4º - Os limites mínimos fixados abstratamente pelo art. 2º, “a”, do Código Florestal (Lei Federal nº 4.771/65 e suas alterações) poderão ser reduzidos, em cada caso concreto, unicamente para os fins do disposto no art. 1º, deste Decreto, desde que a área se localize em zona urbana do município e que vistoria local, atestada por pelo menos 03 (três) servidores do Instituto Estadual do Ambiente, comprove, cumulativamente:*

*I - que a área encontra-se antropizada;*

*II - a longa e consolidada ocupação urbana, com a existência de, no mínimo, quatro dos seguintes equipamentos de infra-estrutura urbana:*

- a) malha viária com canalização de águas pluviais;*
- b) rede de abastecimento de água;*
- c) rede de esgoto;*
- d) distribuição de energia elétrica e iluminação pública;*
- e) recolhimento de resíduos sólidos urbanos;*
- f) tratamento de resíduos sólidos urbanos; e*
- g) densidade demográfica superior a cinco mil habitantes por km².*

*III - a inexistência de função ecológica da FMP/APP em questão, desde que identificadas a inexistência de vegetação primária ou vegetação secundária no estágio avançado de regeneração e a presença de, no mínimo, uma das seguintes características:*

*a) ocupação consolidada das margens do curso d'água a montante e a jusante do trecho em análise;*

*b) impermeabilização da FMP/APP;*

*c) capeamento do curso d'água, sendo que, no caso de obras recentes, deverá ser apresentado ao órgão ambiental competente o respectivo projeto aprovado pela prefeitura local ou o levantamento cadastral da obra;*

*IV - que a alternativa de recuperação da área como um todo seja inviável pelos custos manifestamente excessivos para a coletividade.*

A validação do **item I** é possível ser realizada com a utilização de imagens atuais de satélite ou ortofotos que permitam avaliar a intervenção na área. Além disto, pode ser utilizado o mapa de uso e ocupação do solo para caracterização de área antropizada podendo ser definida como área cujas características originais (solo, vegetação, relevo e regime hídrico, etc) foram alteradas por consequência de atividade humana. Além disto, quando os demais itens, que serão debatidos abaixo, são aplicados quase que em 100% das vezes a área já está antropizada.

Para validação do **item II**, este estudo propõe utilizar os setores censitários como referência, e para isto pode ser admitido que se um equipamento de infra-estrutura está contido em valores iguais ou superiores a 60% dos domicílios existentes nos limites do setor, logo este setor contém o referido equipamento de infra-estrutura. Por exemplo, se temos em um setor com 65% dos domicílios abastecidos com rede de esgoto, podemos atribuir que o setor censitário possui aquele equipamento de infraestrutura. Logo, se o trecho do curso d'água estiver contido naquele setor, este item estará validado. Lembrando, que deve conter, no mínimo, quatro dos sete equipamentos de infraestrutura previstos no Decreto.

Uma única limitação desta automatização é que nos dados dos setores censitários não há informação sobre o tratamento de resíduos sólidos, mas no caso do ERJ está sendo elaborado um estudo específico para mapeamento das áreas que possuem tratamento de resíduo, em escala de melhor qualidade, que permita confrontar com os

dados dos setores, mas para este trabalho esta foi a única informação que não foi possível automatizar.

Considerando a metodologia descrita, foi possível produzir a Figura 19 que destaca todos os setores censitários que possuem no mínimo quatro dos sete equipamentos de infra-estrutura mencionados no Decreto Estadual. Além do critério mínimo de 60%, só foram avaliados os setores considerados como áreas legalmente urbanas, que segundo a classificação do IBGE são as **áreas urbanizadas de cidade ou vila, áreas não-urbanizadas de cidade ou vila e as áreas urbanas isoladas**. Ainda, pode-se estimar que apenas 8% (3.648 km<sup>2</sup>) do território do ERJ possui áreas consideradas urbanas pelos setores censitários.

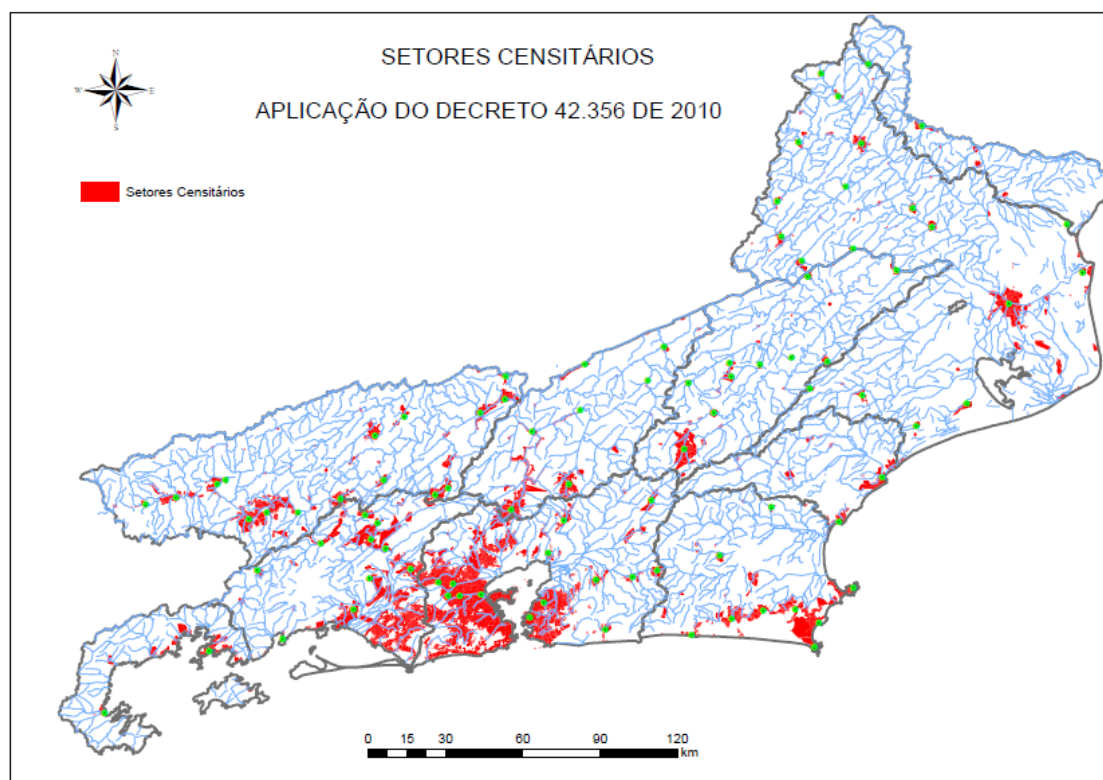
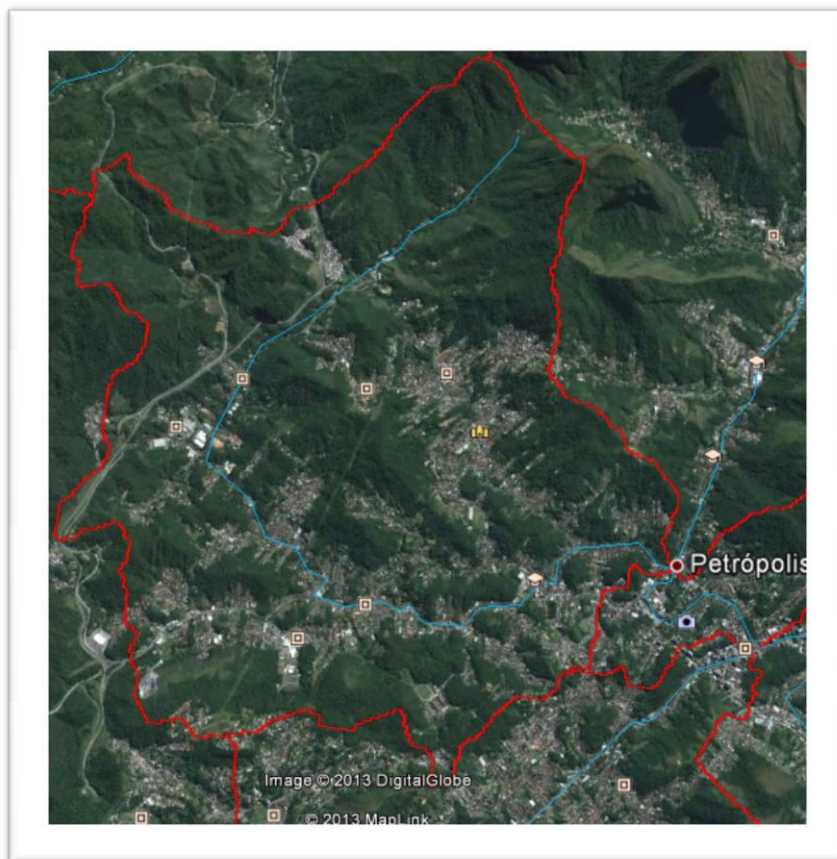


Figura 19 - Setores Censitários Urbanos

Para validação do **item III**, e talvez o mais polêmico, pode ser usado o mapa de uso e ocupação do solo, que para o ERJ recomenda-se o produzido no projeto de zoneamento ecológico econômico (ZEE) do Estado. É importante ressaltar, que a divisão dos setores censitários não está relacionada aos limites topográficos da bacia, nem tampouco com os limites do zoneamento. Logo, nem toda área inserida dentro dos

setores censitários será possível aplicar o Decreto Estadual. Desta forma, um segundo filtro se torna necessário, que nesta etapa é a interseção com o mapa de uso e ocupação do solo, filtrado somente com as áreas urbanas (alta, média e de baixa densidade).

A Figura 20 ilustra o mencionado acima. Como pode ser observado, o polígono em vermelho limita um dos setores censitários, que abrange a nascente do rio Piabanha, no qual não é possível aplicar o decreto em toda a sua extensão, por conter áreas ainda sem ocupação consolidada.

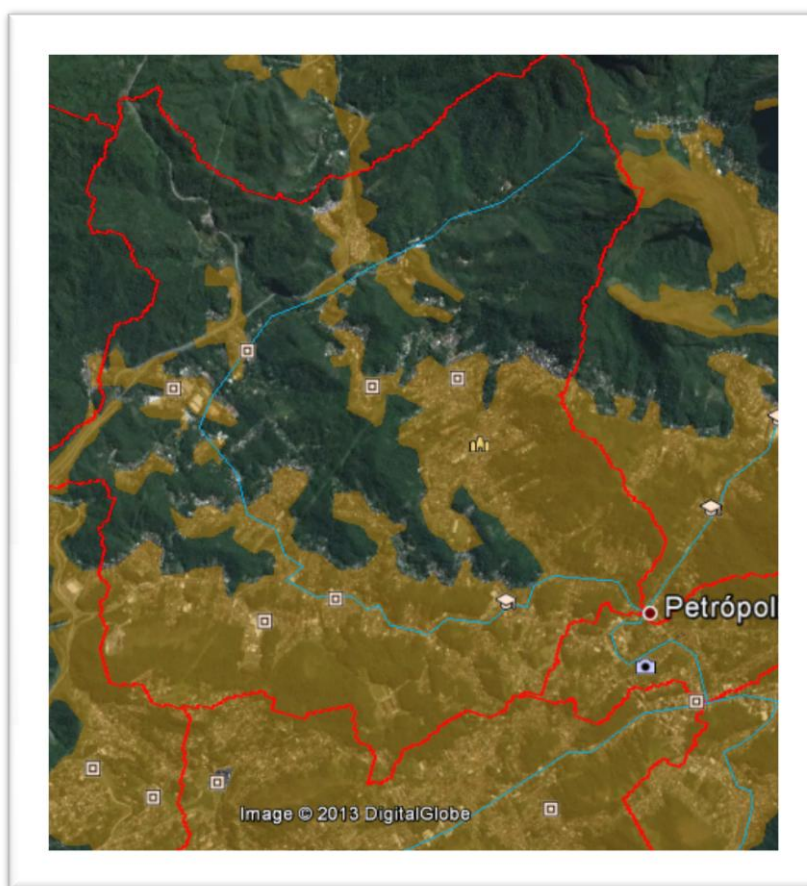


**Figura 20 - Limite de setor censitário passível de Aplicação do decreto Estadual 42.356 de 2010**

A Figura 21 mostra em laranja as áreas consideradas como urbanas pelo mapa de uso e ocupação do solo do ZEE. Desta forma, é possível verificar que nem toda a área do setor censitário é urbana consolidada. Conclui-se que para avaliação deste item é necessário utilizar tanto os setores censitários como o mapa de uso e ocupação do solo.

Quanto à inexistência de vegetação primária ou secundária em estágio avançado de regeneração, já é possível descartar quando utilizado o filtro de áreas urbanas pelo ZEE, já que a probabilidade de existir um tipo de vegetação nestes estágios sucessionais nas áreas urbanas é praticamente nulo.





**Figura 21 - Uso e ocupação do Solo nos Limites do Setor Censitário**

Ainda no mesmo **item III** também é exigida a presença de, no mínimo, uma das seguintes características:

- a) ocupação consolidada das margens do curso d'água a montante e a jusante do trecho em análise;*
- b) impermeabilização da FMP/APP;*
- c) capeamento do curso d'água, sendo que, no caso de obras recentes, deverá ser apresentado ao órgão ambiental competente o respectivo projeto aprovado pela prefeitura local ou o levantamento cadastral da obra;*

Assim, a validação deste item também pode ser feita, ainda que com margens de erro, por interpretação das imagens de satélite, mapa de uso do solo com o filtro de áreas urbanas e também com ortofotos disponíveis. Em geral, nestas áreas urbanas dentro dos setores censitários filtrados com o critério exposto acima, a probabilidade de impermeabilização da FMP e da ocupação consolidada das margens é muito grande. O

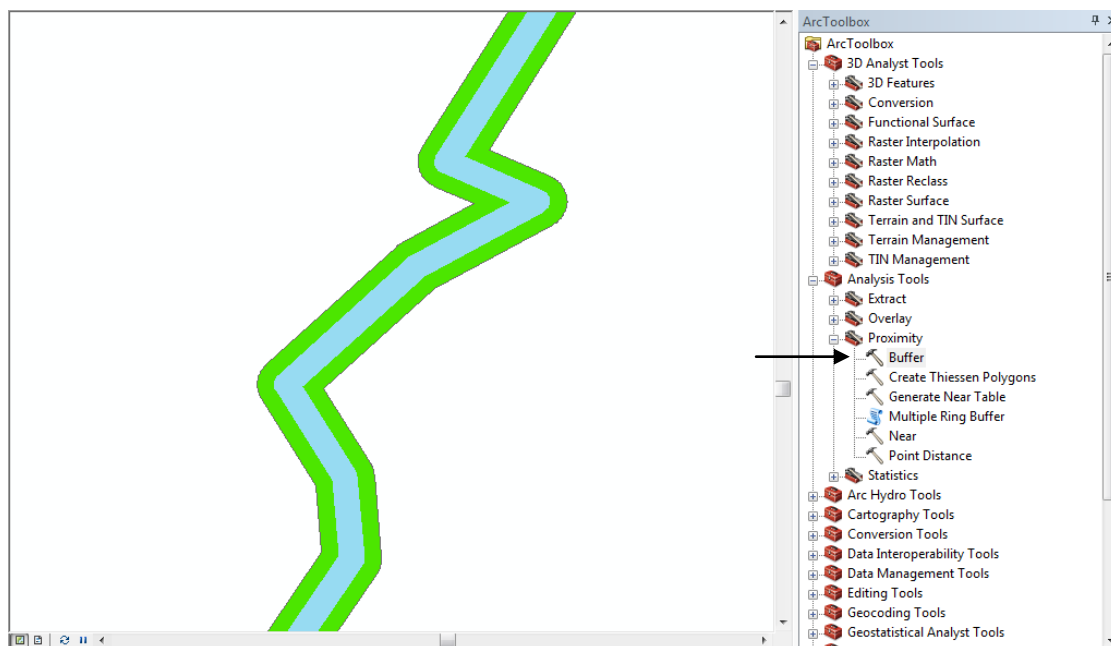


único subitem que não é possível observar pelos recursos aqui expostos é o capeamento do curso d'água, só sendo averiguado em vistoria local.

Por fim, para validar o **item IV**, no qual relata que a alternativa de recuperação da área como um todo deve ser inviável pelos custos manifestamente excessivos para a coletividade, é também passível de avaliação pela interpretação das imagens, devendo ser observado a ocupação consolidada dos trechos de montante e jusante, já que os custos para remoção de ocupações de margem, em geral, são muito elevados e de difícil implementação quanto a realocação das famílias.

A proposição de buscar reduzir o número de vistorias, otimizar e normatizar a aplicação da delimitação das FMP em áreas urbanas é possível com o uso das ferramentas supracitadas. Ainda está em discussão no INEA, a metodologia final para delimitação das áreas passíveis de aplicação do Decreto Estadual 42.356/2010, mas o descrito acima pode ser facilmente compreendido que um filtro, mínimo, podendo ser entendido como perfeitamente viável e razoável para sua aplicação. Isto é, nos trechos de curso d'água, fora dos limites dos setores censitários, que contenham quatro dos sete itens de infraestrutura exigidos, não deve ser aplicada a possibilidade de redução dos limites da FMP, salvo casos em que as áreas urbanas consolidadas extrapolem os limites dos setores censitários e que em vistoria local possa ser atestado a conformidade com o disposto no referido Decreto.

Após a definição das áreas passíveis de aplicação do Decreto Estadual 42.356/2010, deve-se utilizar a ferramenta “buffer” do AcrGis, usada primeiramente para determinação da área do leito regular, para delimitar a FMP tantos com os limites do Decreto quanto com o previsto na Lei Federal 12.651, como ilustra a Figura 22. Recomenda-se que todas as informações que foram geradas para os trechos dos cursos d'água (distância entre a nascente e foz de um curso d'água ou entre pontos de junção da foz de um curso d'água com o rio principal), como vazão, declividade, tempo de concentração, largura do leito regular e da FMP, devem estar associadas na tabela de atributos do “shape file” da hidrografia, visando facilitar a aplicação da metodologia, este passo será mais detalhado no estudo de caso.



**Figura 22 - Delimitação de FMP usando a ferramenta "buffer" do ArcGis**

O passo final para o refino da definição da extensão da FMP/APP é verificar se a zona ripária, que corresponde a faixa de inundação associada a vazão máxima com tempo de recorrência de 50 anos, está inserida nos limites da FMP demarcada pela previsão legal. Esta verificação deve ser feita mediante simulação hidrológica no trecho em estudo, discretizado com o levantamento das seções topobatimétricas.

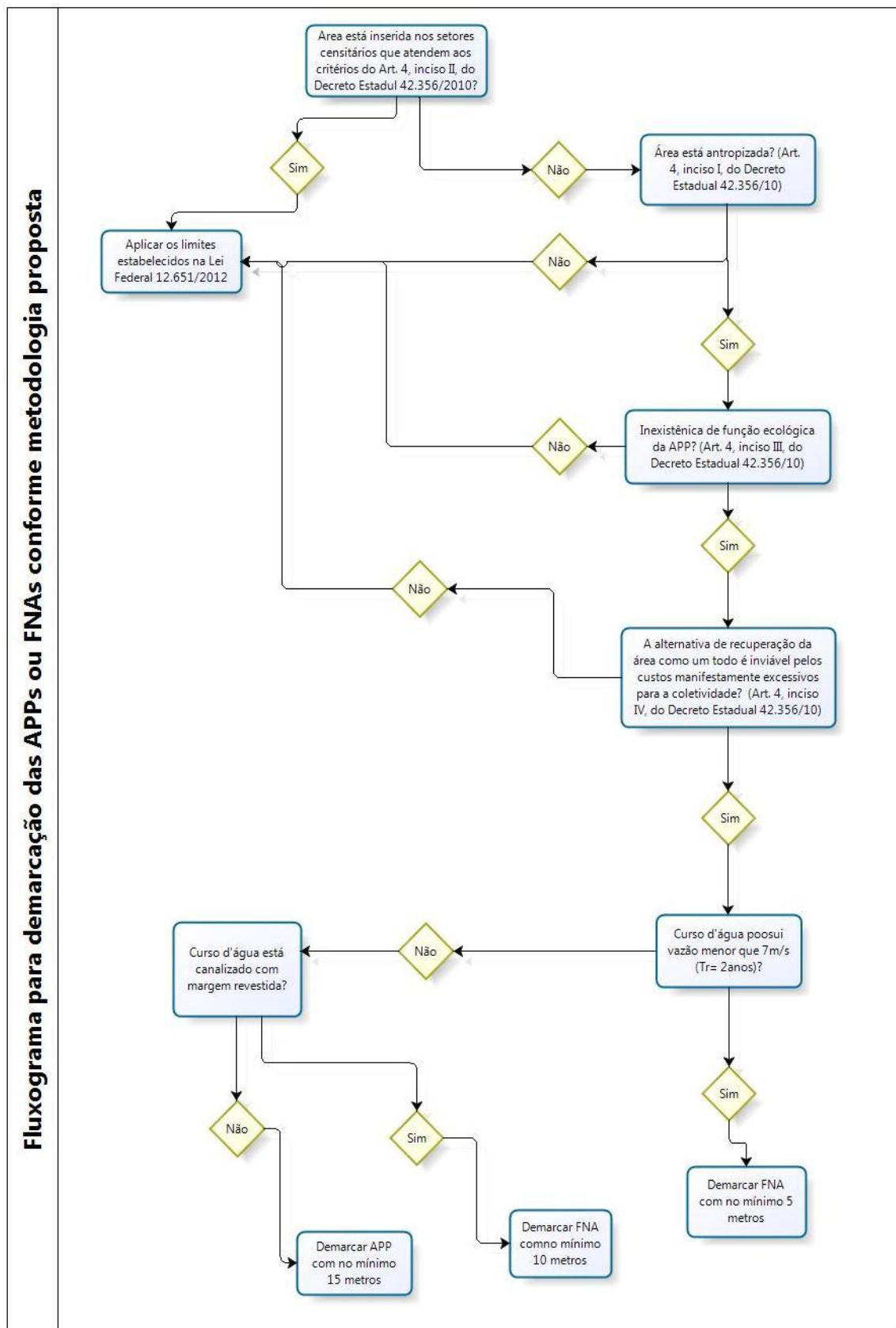
As áreas de inundação identificadas devem passar por uma avaliação quanto ao risco para a população e, também, quanto a sua importância ecológica para as espécies que estão adaptadas a esta variação de nível do curso d'água. Neste sentido, está sendo recomendado que não seja ocupada a faixa correspondente a elevação de nível associada a vazão de 50 anos (largura mínima da zona ripária), que por sua vez, deve estar associada ao valor do pico máximo do hidrograma ambiental nas áreas urbanas, podendo ser maior em áreas rurais ou em locais que necessitam de maior extravasamento para manutenção das funções ecológicas.

Desta forma, minimamente, nos trechos em que a mancha de inundação exceder os limites mínimos da FMP, a mesma deverá ser estendida até contemplar a referida área de inundação. Este trabalho foi feito pelo INEA, para as áreas afetadas pelas fortes chuvas na região serrana em 2011.

Infelizmente, devido a limitação de recursos financeiros não foi possível fazer levantamento de seções dos trechos dos cursos d'água inseridos na bacia do Piabanha,

para que as áreas de inundação pudessem ter sido identificadas, mas para aplicação completa da metodologia aqui debatida, é recomendado.

A Figura 23 apresenta um fluxograma que busca facilitar o entendimento para definição da largura mínima das APPs e das FNAs para os cursos d'água, segundo a metodologia proposto neste estudo.



**Figura 23 - Fluxograma para demarcação das APPs ou FNAs conforme metodologia proposta**

## **6 - DIAGNÓSTICO DA BACIA DO RIO PIABANHA**

A bacia do rio Piabanha, foi a escolha para aplicação da metodologia de determinação das áreas de preservação permanente de margem e avaliação de sua influência na determinação dos hidrogramas ambientais. Desta forma, uma caracterização dos parâmetros ambientais da mesma, se faz necessário para o entendimento da dinâmica da bacia, assim como na avaliação de suas correlações, suas influências na precipitação, infiltração, escoamento, uso e ocupação do solo.

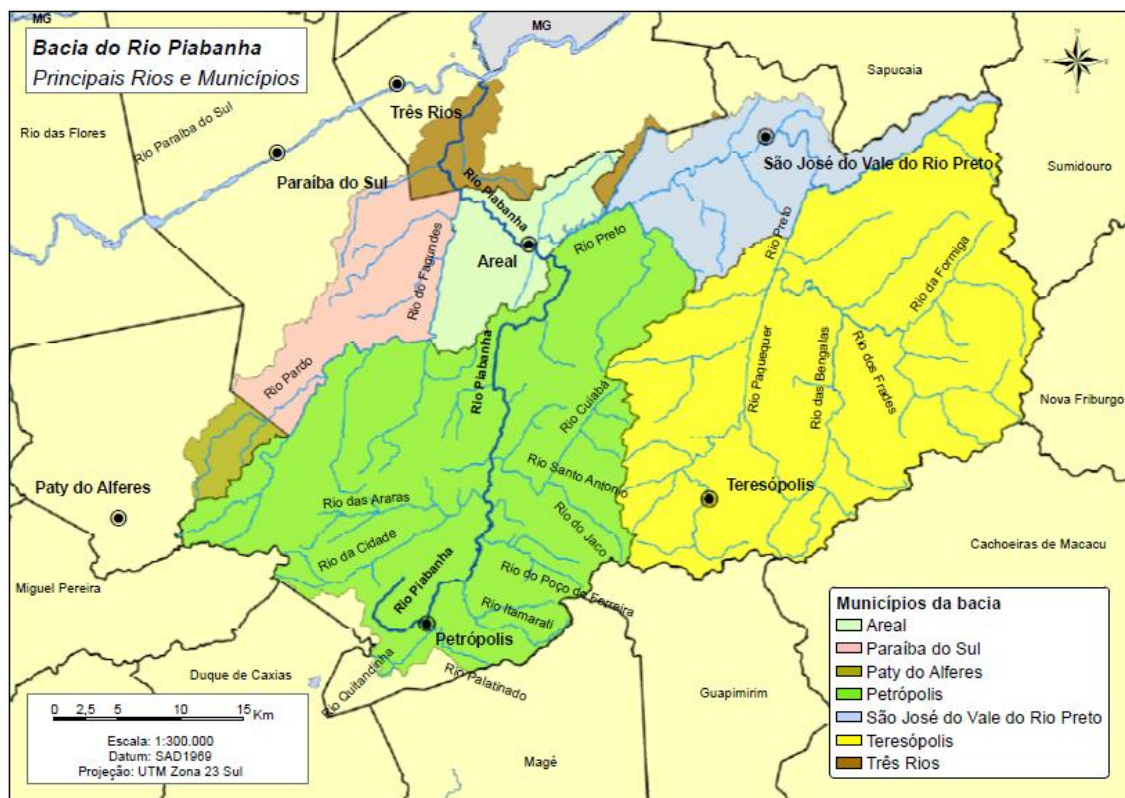
A bacia do Piabanha é estratégica para o estado do Rio de Janeiro, não só por se localizar na Região Serrana, na qual a influência das cheias afeta bastante a população mais próxima dos cursos d'água, mas também pela tendência de se tornar uma bacia experimental do órgão gestor do estado (INEA – Instituto Estadual do Ambiente). Além disso, a referida bacia está inserida na bacia do Paraíba do Sul, um dos principais mananciais do estado do Rio de Janeiro, conforme pode ser observado no Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, aprovado pelo CEIVAP (Comitê de Integração da Bacia do Paraíba do Sul).

### **6.1 - CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA**

A bacia do rio Paraíba do Sul, que possui aproximadamente 55.500 km<sup>2</sup>, e a sub-bacia do rio Piabanha estão inseridas dentro da região hidrográfica Atlântico Sudeste, de acordo com a divisão hidrográfica nacional estabelecida pela Resolução n° 32, de 15 de outubro de 2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

O rio Piabanha, com 80 km de extensão, é afluente pela margem direita do rio Paraíba do Sul e sua bacia ocupa uma área de, aproximadamente, 2.060 km<sup>2</sup>. Seus principais afluentes são os rios Fagundes (50 km de extensão), pela margem esquerda e rio Preto (54 km de extensão), pela margem direita. A bacia do rio Piabanha é composta pelos municípios de Areal, Paraíba do Sul, Paty do Alferes, Petrópolis, São José do Vale do Rio Preto, Teresópolis e Três Rios com população total de aproximadamente 452.073 habitantes (fonte: setores censitários - IBGE, 2010).

A Figura 24 apresenta o mapa político da bacia do rio Piabanha, para facilitar o entendimento e localização dos principais afluentes, municípios integrantes da bacia e limítrofes.

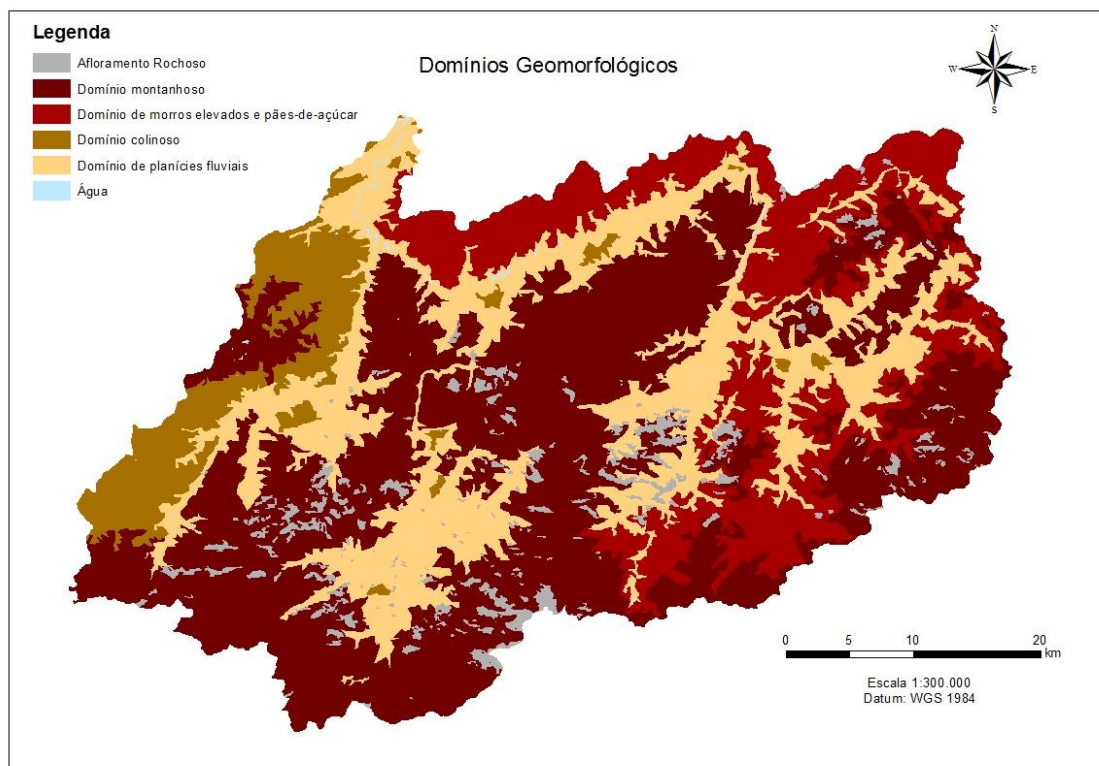


**Figura 24 - Mapa Político da Bacia do Piabanha**

Fonte: De Paula, 2011

## 6.2 - GEOMORFOLOGIA

A bacia apresenta relevo montanhoso, muito acidentado de modo geral, no curso médio e superior, com afloramentos rochosos e altitudes que ultrapassam os 2.200m. De acordo com os domínios geomorfológicos classificados pelo Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Rio de Janeiro (ZEERJ, 2008) conforme exposto na Figura 25, as áreas montanhosas representam mais de 67% da bacia, tendo como predominante o domínio montanhoso (cerca de 50% da bacia). Os morros elevados e Pães de Açúcar ocupam cerca de 17%. O domínio de Planícies Fluviais, que é um indicador de áreas susceptíveis a inundação, ocupa aproximadamente 25% da área da bacia e o de áreas de colinas, mais concentrado a noroeste da bacia, ocupa 7,3%.



**Figura 25 - Domínios Geomorfológicos**

Fonte: Adaptado do ZEERJ, 2008

As fortes restrições à ocupação dadas pelo relevo são a principal razão do nível relativamente alto de cobertura florestal natural da bacia do Piabanha (mais de 20%), se comparado com a média das sub-bacias do Paraíba do Sul (11%) (COPPE/UFRJ, 2006). Apesar da expressiva cobertura florestal, as condições de relevo e solos e a elevada pluviosidade resultam em alta vulnerabilidade à erosão na maior parte da bacia do Piabanha. Os intensos processos erosivos da sub-bacia do rio Preto se refletem no assoreamento do reservatório situado entre Areal e São José do Rio Preto, Morro Grande, utilizada para abastecimento de água e geração de energia pela Ampla S/A. Estudos realizados há 10 anos atrás pelo DRM-RJ (Departamento de Recursos Minerais) indicavam que o reservatório (na época com cerca de 40 anos de existência) já havia perdido mais de 50% de sua capacidade de armazenamento.

Em 12 de janeiro de 2011 as chuvas que atingiram a Região Serrana do Rio de Janeiro provocaram um dos maiores desastres já registrados no Brasil, deixando sete municípios em situação de calamidade pública, 889 óbitos, 13.741 desabrigados e 22.496 desalojados, segundo dados coletados até o dia 10 de fevereiro pela Secretaria



Nacional de Defesa Civil (Tabela 5). Dos sete municípios, quatro estão inseridos na bacia do Piabanha (Petrópolis, Areal, São José do Vale do rio Preto e Teresópolis).

**Tabela 5 - Situação dos municípios que decretaram estado de calamidade pública na região serrana do Rio de Janeiro**

<i>MUNICÍPIO</i>	<i>TIPO DE DESASTRE</i>	<i>ÓBITOS</i>	<i>DESABRIGADOS</i>	<i>DESALOJADOS</i>	<i>AFETADOS</i>
AREAL	ENXURADAS	0	1.031	1.469	2.500
BOM JARDIM	ENXURADAS	2	632	1.186	12.380
NOVA FRIBURGO	INUNDAÇÕES/DESLIZAMENTO	420	2.051	3.820	18.000
PETRÓPOLIS	INUNDAÇÕES/DESLIZAMENTO	71	2.800	3.600	50.000
SÃO JOSÉ DO VALE DO RIO PRETO	ENXURADAS / INUNDAÇÕES	2	300	3.000	20.000
SUMIDOURO	ENXURADAS / INUNDAÇÕES	22	200	311	20.000
TERESÓPOLIS	INUNDAÇÕES/DESLIZAMENTO	372	6.727	9.110	17.000
TOTAL		889	13.741	22.496	139.880

Fonte: SEDEC/MI, em 10/02/2011.

Geomorfologicamente a região está situada na Unidade Serra dos Órgãos (RADAMBRASIL, 1983). O reverso deste conjunto topográfico é definido por seu aspecto morfoestrutural, caracterizado por lineações de vales estruturais de cristas serranas, maciços graníticos, morros com desníveis altimétricos acentuados e alvéolos intermontanos. Essas feições refletem áreas de dobramentos remobilizados sob forma de blocos justapostos. A drenagem da Serra dos Órgãos se desenvolve sob o controle lito-estrutural, apresentando padrões paralelos e sub-paralelos.

Os Reversos da Serra do Mar, pela sua localização, extensão e posição geográfica, apresenta formas de uso e ocupação inadequados como desmatamentos e desenvolvimento de atividades agropecuárias e urbanas em núcleos intermontanos, expandindo-se às vertentes íngremes. A região tem expressiva amplitude topográfica, vertentes predominantemente retilíneas a côncavas e escarpadas com topos e cristas. A vegetação predominante é composta de Floresta Ombrófila Densa Montana, Alto Montana, Campos de Altitude e Floresta Estacional Semidecidual para NE, adaptada às estações úmidas e secas.

O ambiente de Formação Montana se estende sobre litologia pré-cambriana, em formação de Latossolos, Podzólicos, Cambissolos e subordinadamente Litossolos com afloramentos rochosos nas vertentes mais íngremes, normalmente ocupando locais de difícil acesso, quase sempre constituindo áreas de preservação ambiental (GONÇALVES, 2008, LOU, 2010).



### 6.3 - USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A sua ocupação remonta ao período colonial do início do século XIX. Os principais núcleos urbanos, localizados nos municípios de Petrópolis e Teresópolis, que juntos concentram 92% da população humana inserida na bacia do Piabanha, que por sua vez possui aproximadamente 452.073 habitantes (dados calculados pelo último censo de 2010 com auxílio do ArcGis). A população de forma geral se instalou em regiões intermontanas, em fundo de vales nos exíguos terraços fluviais, por vezes atingindo as encostas íngremes expandindo-se pelos vales dos rios Piabanha e Preto, respectivamente.

A proximidade com o Rio de Janeiro induz a um crescimento urbano acentuado e inadequado para as condições ambientais da bacia. Além dos conhecidos problemas com situações de risco de erosão das encostas e de inundação na calha dos rios, a qualidade dos recursos hídricos é prejudicada pelo lançamento de esgotos in natura. Não há tratamento adequado dos esgotos e as vazões naturais dos rios são muito baixas para a diluição das cargas lançadas, resultando em altos índices de poluição.

A bacia do Piabanha destaca-se também pelo uso industrial (mais de 50 indústrias de alto potencial poluidor) e pelas áreas de pastagens (aproximadamente 36% da bacia, segundo o zoneamento ecológico econômico – ZEE/RJ), co-responsáveis pela erosão dos solos e degradação das águas, juntamente com a ocupação urbana, ainda que pequena (4%) em relação a área da bacia, porém que se concentra nas sedes de Petrópolis e Teresópolis, e ainda nas cabeceiras dos rios Piabanha e do Paquequer, contribuindo para a poluição ao longo destes cursos d'água. Isto pode ser facilmente identificado pelas áreas em vermelho na Figura 26.

Quanto a agricultura, que representa aproximadamente 2,5% da área da bacia e está concentrada na sub-bacia do rio Preto, predominam as culturas de ciclo curto (verduras e legumes) e não se verifica o uso de técnicas de conservação de solo, como terraceamento e plantio em curva de nível, apesar das fortes declividades e do potencial de erosão hídrica da região.

Em geral, as áreas cultivadas se localizam nas margens dos rios e córregos, ocupando áreas de preservação permanente (APPs). Uso abusivo de agrotóxicos, lançamento de esgotos de origem doméstica e animal (currais e pocilgas) e erosão das margens são problemas comuns aos cursos d'água nessas áreas, comprometendo a qualidade das águas utilizadas para a irrigação das culturas e abastecimento doméstico.

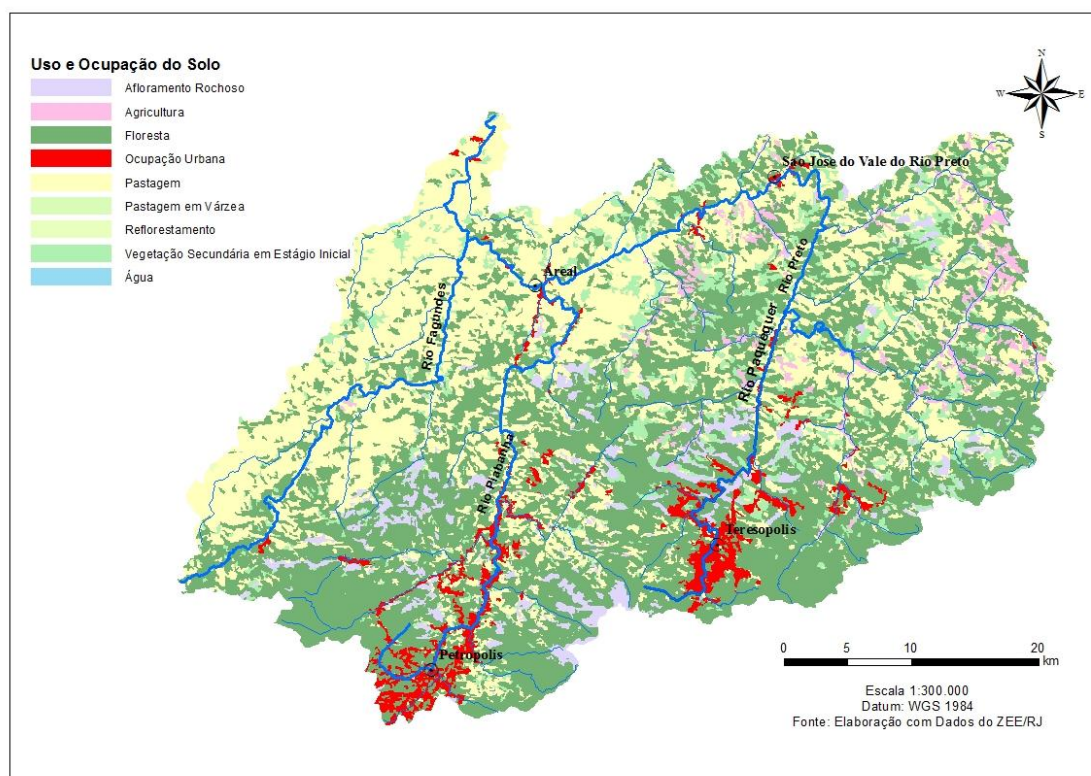
Ressalta-se que a captação de água para abastecimento de Teresópolis situa-se no rio Preto, a jusante de diversas áreas agrícolas.

Essas características descritas, associada ao fato de a bacia do Piabanha ser contribuinte para o rio Paraíba do Sul, a tornam com de alta prioridade para a realização de ações de proteção e recuperação de florestas, solos e águas. Recomendam-se medidas rigorosas de restrição de uso, especialmente no curso superior do rio Piabanha e de seu afluente Preto, devendo receber prioridade máxima para a proteção das florestas, recuperação de áreas degradadas, planejamento e controle do parcelamento do solo urbano e dos usos da água, em geral, e do uso agrícola em especial (COPPE-LABHID, 2002).

Abaixo estão dispostos, na Tabela 6 os valores percentuais, em relação a área total da bacia, de cada tipo de uso e ocupação de solo levantada pela classificação do zoneamento ecológico-econômico feito pela Secretária do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro.

**Tabela 6 - Valores Percentuais do Uso e Ocupação do Solo**

<b>Uso e Ocupação do Solo</b>	<b>Percentual</b>
Afloramento Rochoso	4,02%
Agricultura	2,35%
Floresta	47,40%
Ocupação Urbana	3,99%
Pastagem	35,34%
Pastagem em Várzea	0,01%
Reflorestamento	0,01%
Vegetação Secundária em Estágio Inicial	6,71%
Espelho d'água	0,16%



**Figura 26 - Uso e Ocupação do Solo - ZEE/RJ**

Os setores censitários também são uma boa unidade de gestão para fins de avaliação e obtenção de dados da bacia, apesar de seus limites não serem obtidos pela topografia, e consequentemente não coincidem com os limites de uma bacia hidrográfica. Portanto, para compatibilização da análise, foram trabalhados os dados do último censo (2010) usando o *software* ArcGis® 10, conforme já abordado no início de tópico, quando foi estimada a população inserida na bacia do Piabanha.

Além da estimativa da população, os setores censitários também podem fornecer informações quanto aos itens de infraestrutura existentes, que serão mais à frente abordados com maior detalhe, tais como: rede pluvial, rede de abastecimento de água, rede de esgoto, distribuição de energia elétrica, recolhimento de resíduos sólidos.

Fazendo uma análise nos dados do último censo, também é possível obter uma boa informação para planejamento através dos setores censitários inseridos em áreas definidas pelo poder público municipal como urbanas, mas que não necessariamente estão ocupadas. Segue abaixo os três tipos de classificação usada pelo IBGE para que possam ser definidas estas áreas (Glossário, censo 2010 – IBGE):

- a) **Áreas urbanizadas de cidade ou vila** - Áreas legalmente definidas como urbanas e caracterizadas por construções, arruamentos e intensa ocupação

humana; áreas afetadas por transformações decorrentes do desenvolvimento urbano e aquelas reservadas à expansão urbana.

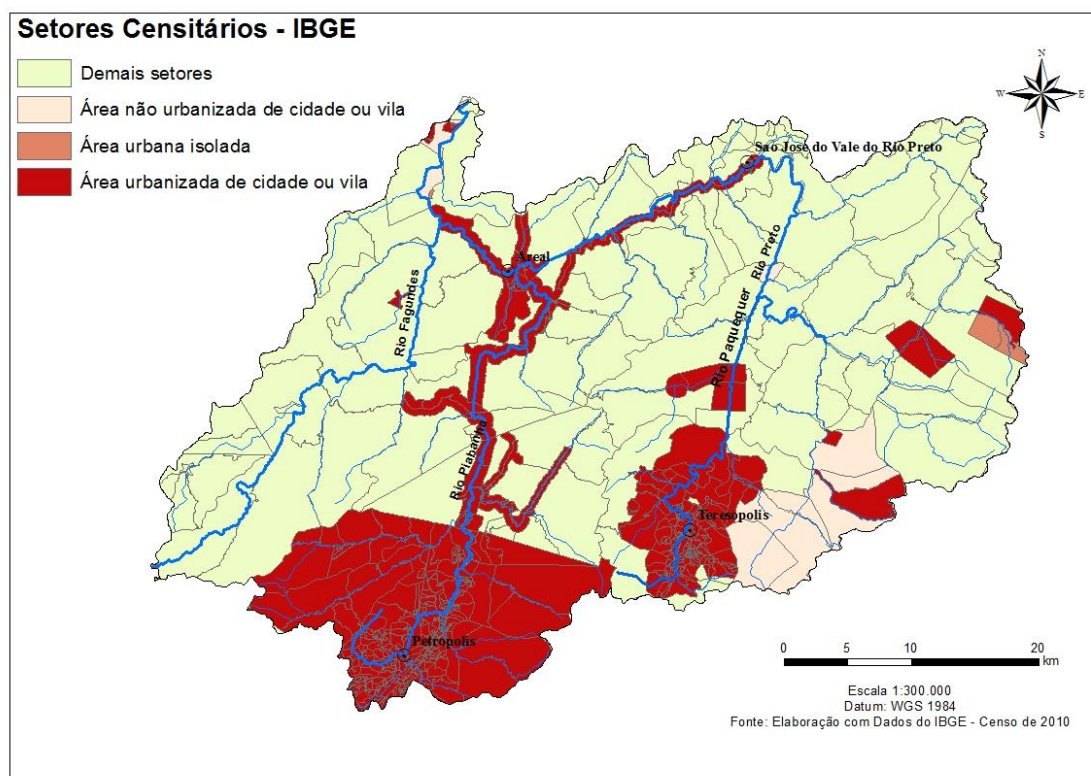
**b) Áreas não-urbanizadas de cidade ou vila** - Áreas legalmente definidas como urbanas, mas caracterizadas por ocupação predominantemente de caráter rural.

**c) Áreas urbanas isoladas** - Áreas definidas por lei municipal e separadas da sede municipal ou distrital por área rural ou por outro limite legal.

Desta forma foi feito este filtro com o auxílio do software ArcGis, e pode ser verificado que 89% da população vive nestas áreas consideradas pelo poder público como urbanas, sendo deste valor percentual apenas 1% localizada em “áreas não-urbanizadas de cidade ou vila”.

A área definida pelo poder público como urbana representa, aproximadamente, 30% da bacia do Piabanha, conforme Figura 27, mas pela análise feita no ZEE/RJ, a ocupação urbana se dá apenas em 4% da bacia. Mesmo fazendo apenas o filtro dos setores censitários considerados com “áreas urbanizadas de cidade ou vila”, que se aproximaria mais das áreas realmente ocupadas pela população, o valor ainda é bem superior (25% da bacia) ao encontrado no ZEE/RJ.

Isto se deve ao fato de serem metodologias bem diferentes e com objetivos distintos. O ZEE/RJ trabalhou diretamente com interpretação de imagens, já o censo com pesquisa de campo e com setores censitários com áreas pré-definidas. Porém, são complementares, pois o censo é muito importante para planejamento urbano e para avaliar as tendências da expansão urbana e de investimentos em infraestrutura. É facilmente observado na Figura 27, através das áreas em vermelho escuro, a tendência histórica de ocupação das margens dos cursos d'água, com destaque para o rio Piabanha.



**Figura 27 - Classificação dos Setores Censitários**

## 6.4 - CLIMA E REGIME PLUVIOMÉTRICO

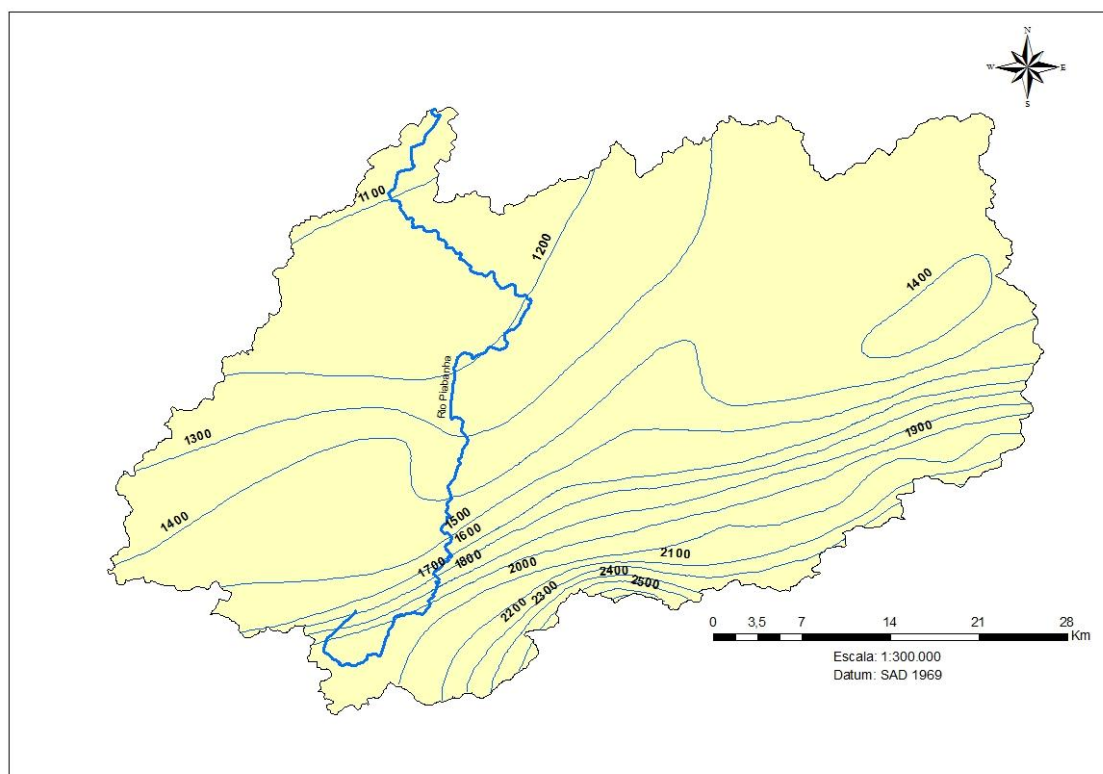
A localização da bacia em região tropical e a proximidade da superfície oceânica não explicam por si só a elevada pluviosidade da região. A esses fatores, que criam pré-condições à alta pluviosidade, estão associados mecanismos dinâmicos, de massas de ar polares e oceânicas e linhas de instabilidade, e fatores estáticos orográficos proporcionados pela orientação SO/NE da Serra do Mar.

Esse posicionamento expõe a região ao fluxo meridional de ar frio, oriundo do Pólo Sul sobre as águas quentes oceânicas, assegurando-lhe ainda maior frequência de invasão de frentes frias e de linhas de instabilidade tropical. A sua topografia bastante acidentada, que é proporcionada por rochas cristalinas do Escudo Brasileiro, aumenta a turbulência do ar pela ascendência orográfica, favorecendo as precipitações.

Os fatores dinâmicos e estáticos determinam para a bacia o clima tropical de altitude úmido na região serrana, com altos índices pluviométricos e temperaturas médias a baixas. A região mais baixa, tanto pelo efeito adiabático como pela continentalidade, está condicionada a amplitudes térmicas distintas de inverno e verão de um clima sub-úmido.

Nas encostas íngremes a pluviosidade média anual ultrapassa os 2.500mm, como nas cidades de Petrópolis e Teresópolis, como ilustra a Figura 28. Nas vertentes mais íngremes e elevadas, acima dos 2000m, identificam-se formações rupestres e campos de altitude como nas proximidades dos campos do Sino e do Açú, onde podem ocorrer temperaturas negativas, inclusive com geada. Nas proximidades dos municípios de Areal e São José do Rio Preto, a média pluviométrica decresce abruptamente para 1.300mm, com períodos secos e déficits hídricos bastante pronunciados. Observando-se o mapa de isoietas da bacia hidrográfica (BRANDÃO et al, 2000) sobre o mapa topográfico, constata-se a influência do relevo na distribuição pluviométrica total. O relevo acidentado condiciona também a variação das temperaturas.

É possível identificar, através da análise da distribuição das precipitações ao longo do ano, que o período chuvoso está distribuído de novembro a março. Também foi identificado que o mês mais seco é julho e que as chuvas têm início no mês de agosto. (GONÇALVES, 2008).



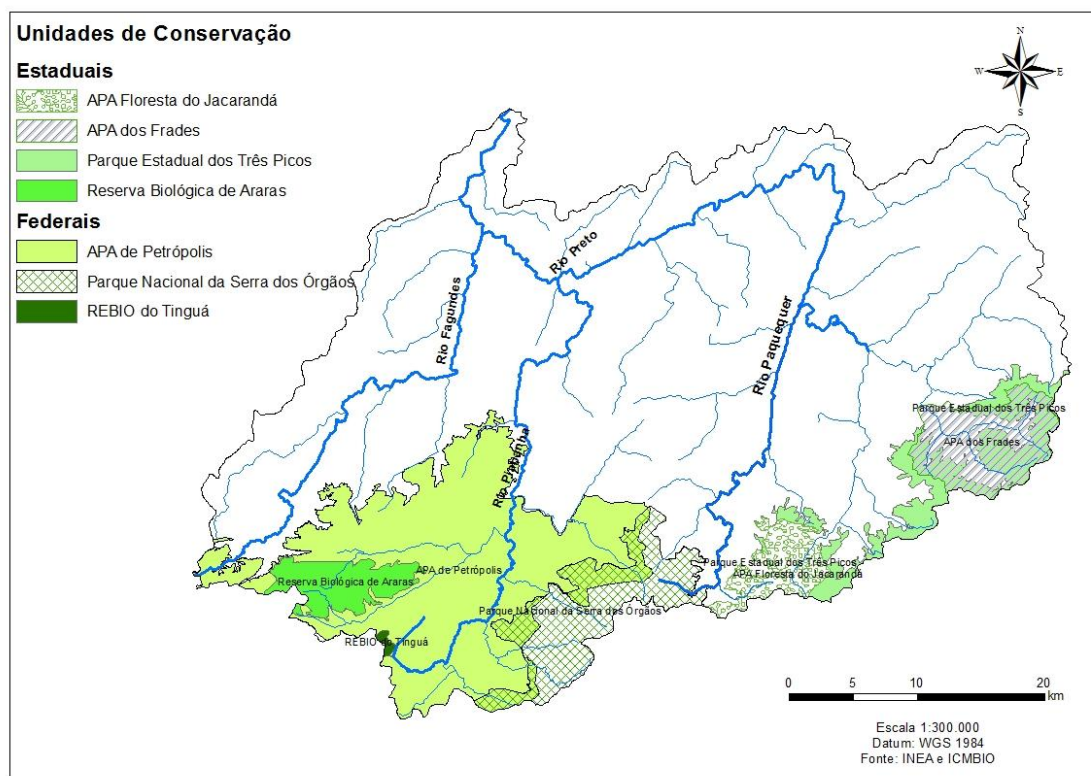
**Figura 28 - Disposição das isoietas (médias anuais) na Bacia do Piabanha.**

Fonte: elaborado com os dados do IBGE e CPRM (2001)



## 6.5 - VEGETAÇÃO E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

Dentre as grandes sub-bacias formadoras do rio Paraíba do Sul, a bacia do rio Piabanha é a que apresenta a maior cobertura florestal. Destaca-se também que a bacia do rio Paqueta, sub-bacia do Piabanha, apresenta o maior percentual de cobertura florestal (46%) entre todas as sub-bacias individualizadas do Paraíba do Sul (COPPE/UFRJ, 2006). Este aspecto é evidenciado pela existência de inúmeras unidades de conservação dentro da bacia, tanto de uso sustentável quanto de proteção integral, conforme ilustrado na Figura 29.



**Figura 29 - Unidades de Conservação**  
Fonte: Elaborada com dados do INEA (2012).

Conforme Tabela 7, a bacia do Piabanha possui aproximadamente 34,4% (705 km<sup>2</sup>) de sua área delimitada por Unidades de Conservação (UC), sendo 11,8% sob jurisdição estadual e 22,6% federal. A maior unidade em extensão é a APA de Petrópolis, representando 17,8% da área da bacia do Piabanha, sendo uma unidade de uso sustentável.

**Tabela 7 - Unidades de Conservação na Bacia do Piabanha**

<b>Unidade de Conservação</b>	<b>Área inserida na Bacia (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentual de área da Bacia</b>	<b>Jurisdição</b>	<b>Tipo</b>	<b>Instrumento Jurídico</b>
APA de Petrópolis	365,8	17,8%	Federal	Uso Sustentável	Decreto 87.561 de 13/09/1982
Parque Estadual dos Três Picos	106,1	5,2%	Estadual	Proteção Integral	Decreto nº 31.343, de 06/06/02
Parque Nacional da Serra dos Órgãos	95,6	4,7%	Federal	Proteção Integral	Decreto 1.822 de 10/11/1939
APA dos Frades	68,3	3,3%	Estadual	Uso Sustentável	Decreto 1.199 de 31/05/1988
Reserva Biológica de Araras	35,4	1,7%	Estadual	Proteção Integral	Resolução da SEAAP, de 22/06/1970
APA Floresta do Jacarandá	32,2	1,6%	Estadual	Uso Sustentável	Decreto 8.280 de 23/07/1985
REBIO do Tinguá	1,6	0,1%	Federal	Proteção Integral	Decreto 97.780, de 23/05/1989

A bacia do rio Piabanha está inserida no bioma Mata Atlântica cuja peculiar vegetação formada por montanhas, vales, rios e variadas espécies de fauna e flora, acumulam diferentes formas de degradação ambiental oriundas do modelo de desenvolvimento urbano e rural historicamente adotado. O comprometimento causado pelo desmatamento promove constantes mudanças na paisagem, alterando a biodiversidade. (KLING, 2005).

No município de Petrópolis, na região denominada Araras, encontram-se formações vegetais dos tipos floresta perenifólia higrófila costeira e campos de altitude. Nos campos de altitude aparecem diversas espécies endêmicas, entre elas a *Worsleya rayneri*, que atualmente ocupam reduzidas manchas. Ocorrem ainda espécies endêmicas e raras como: *Prepusa conata*, *Benevidesia organensis*, *Tillandsia grazielae*, *Mandevilla pendula*, *Glaziophyton* e *Tillandsia reclinata* (Fundação SOS Mata Atlântica, 2002).

Apesar da bacia do rio Piabanha apresentar grande cobertura vegetal, há significativa percentual (13,1%) de áreas com alta vulnerabilidade à erosão e perda de solos, em função das suas características fisiográficas e de ocupação do solo, conforme estudos realizados pela COPPE/UFRJ, 2006.

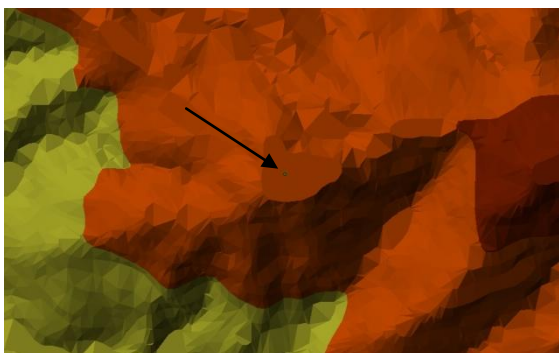


## **7 - DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DOS CURSOS D'ÁGUA DA BACIA DO RIO PIABANHA**

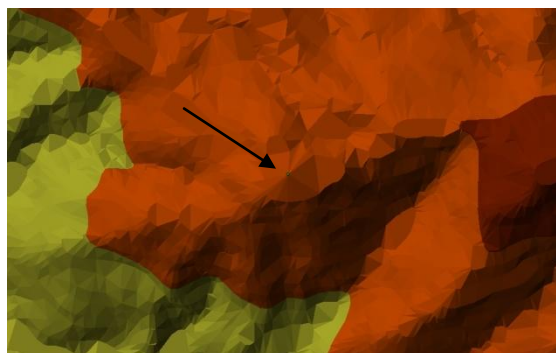
Neste capítulo será apresentado a metodologia descrita na bacia do rio Piabanha, demonstrando uma aplicação real em uma área que é considerada como bacia experimental para a UFRJ, CPRM e INEA.

Primeiramente, foi trabalhado o modelo digital de terreno (MDT) para aplicação de todos os passos no software de geoprocessamento, ArcGis 10, sendo utilizada as curvas de nível, discretizada de 20 em 20 metros, escala 1:50.000, e os pontos cotados, ambos produzidos pelo IBGE.

Usando a extensão do ArcGis, “3D Analyst” foi criado o TIN e ajustado com os pontos cotados, para refinar o modelo, conforme . É possível verificar, comparando as Figura 30 e Figura 31, que com os pontos cotados os picos dos morros e morrotes foram ajustados permitindo uma melhor representatividade do modelo.

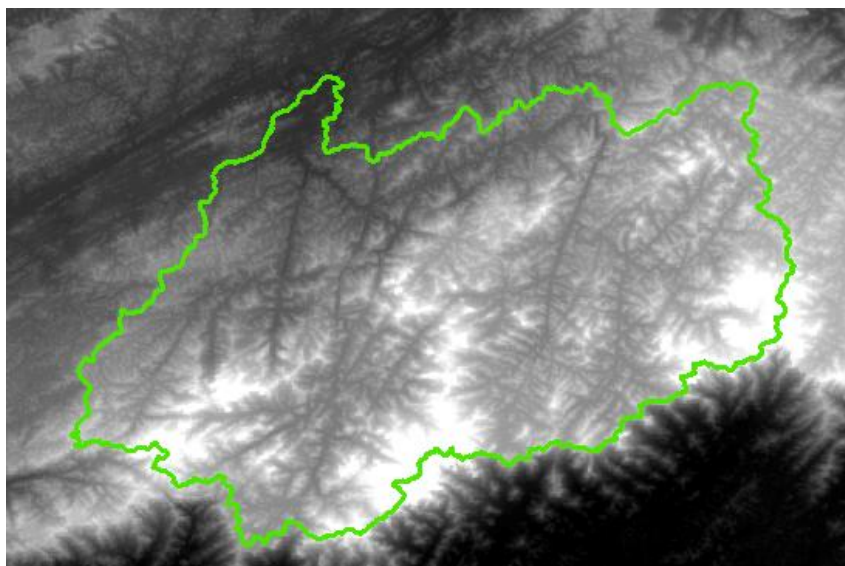


**Figura 30 - TIN sem ajuste dos pontos cotados**



**Figura 31 - TIN ajustado com os pontos cotados**

Em seguida é necessário converter o arquivo TIN para “Raster”, utilizando a ferramenta “TIN To RASTER” da extensão “3D Analyst”. Com o arquivo “Raster” a representação da altimetria ocorre através de um elemento do plano, no caso em questão através de uma célula, que foi definida para este trabalho o tamanho de 30 x 30m, isto é 900 m². A Figura 32 ilustra o arquivo “Raster” gerado, sendo recomendável que seja sempre maior que o limite da bacia que se pretende estudar, para evitar erros durante o processo de delimitação das bacias de drenagem, entre outros parâmetros fluviomorfológicos.

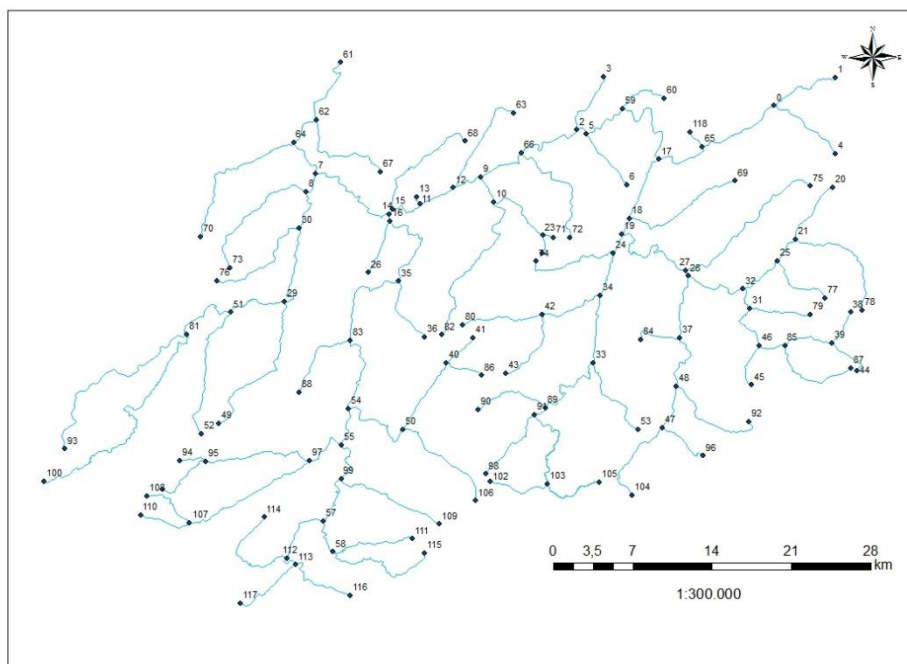


**Figura 32 - Arquivo Raster da bacia do Piabanha**

O próximo passo é trabalhar com o “shape” da hidrografia, que para o caso foi utilizado na escala 1:250.000 (extinta Fundação CIDE). Apesar da diferença de escala do MDT gerado, não houve incompatibilidade durante o processo, sendo necessário pequenos ajustes para compatibilizar com as curvas de nível do IBGE.

Com a hidrografia é necessário detectar e desfazer os enlases, isto é, possíveis linhas duplas, linhas sem junção ou com problemas na restituição. Desta forma, utiliza a função do ArcGis “**Arc Toolbox> Data Management Tools> Features> Feature To Polygon> InputFeatures> hidrog> ok**”. São gerados polígonos nos enlases detectados para que possam ser feitas as devidas correções. No total, foram encontrados apenas 5 enlases.

Em seguida, é necessário gerar os “nós”, isto é, os pontos de nascentes e do exutório de cada sub-bacia. Para esta etapa foi utilizado o software disponibilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA), chamado de “ETGeoWizard”. Este funciona como uma extensão do ArcGis e permite a geração automática dos nós, atribuindo valores referenciados na tabela de atributos do “shape” de hidrografia. A Figura 33 ilustra a geração dos “nós”, totalizando 61 nascentes e 57 exutórios.



**Figura 33 - Geração das Nascente e Exutórios**

Ainda nesta fase, é necessário criar um “shape” somente com as nascentes, pois em etapa seguinte isto será necessário.

Desta forma, até o momento já foram geradas as seguintes informações: pontos de nascentes e exutórios, hidrografia ajustada e Modelo Digital de Terreno (MDT).

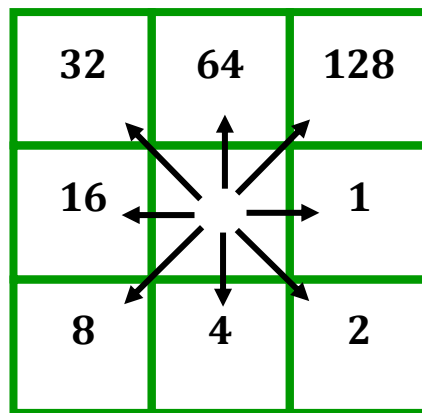
A próxima etapa é trabalhar com o MDT, sendo inicialmente necessário realizar o “afundamento” do modelo utilizando como referência a hidrografia. Para isto deve-se usar as funcionalidades da extensão ArcHidro, com os seguintes passos: “Terrain Preprocessing> Dem Manipulation>Dem Reconditioning>enter”.

Dando continuidade a consistência hidrológica do “Raster” o passo seguinte é eliminar as depressões existentes, ou seja, certificar que, quanto a direção do escoamento, toda as células possuem escoamento para as suas vizinhas. Isto é feito através dos seguintes passos no ArcHidro. “Terrain Preprocessing> Dem Manipulation>Fill Sinks> enter”.

Agora, o Raster já está pronto para ser usado e processado para que possa fornecer as informações subseqüentes.

A direção de fluxo é o próximo e de forma sucinta o cálculo da direção do escoamento consiste na determinação da direção do escoamento a partir de uma célula central para uma de suas 8 vizinhas, conforme Figura 35. Cada direção é representada

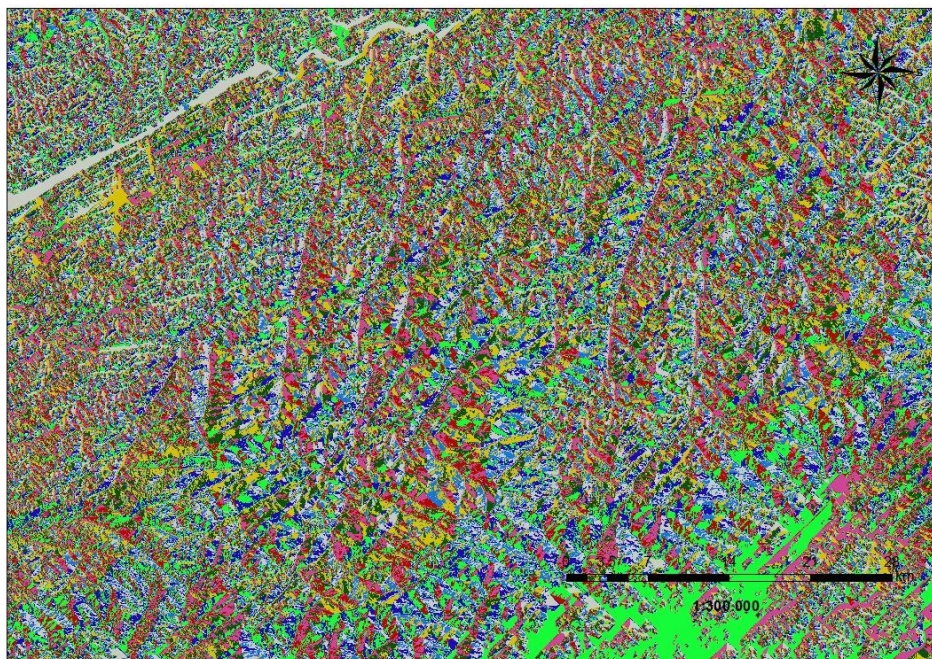
através de um código, começando com “1” no sentido leste e assim por diante no sentido horário, assumindo as direções cardeais e colaterais.



**Figura 34 - Representação esquemática das 8 possíveis direções**

O método descrito acima, de fato, traduz apenas uma das formas de representação da direção do escoamento, que pela sua estrutura é denominado D8 ou método das oito direções.

Esta etapa pode ser realizada usando os passos “Terrain Preprocessing>Flow Direction>Fil>enter”, também no ArcHidro. A Figura 35 ilustra o resultado desta etapa.



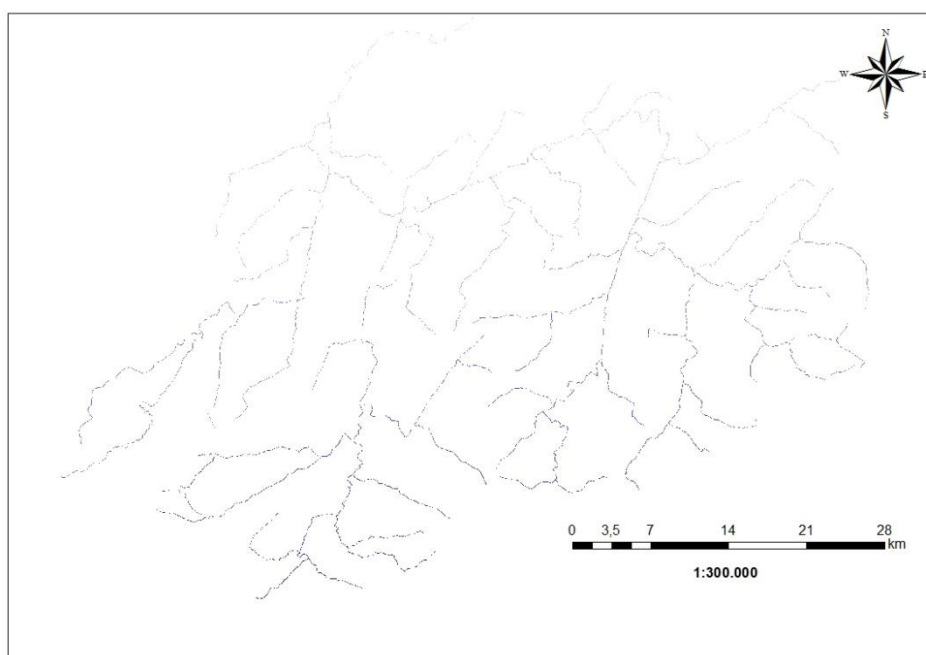
**Figura 35 - Mapa das direções de fluxo**



A seguir, foi convertido o arquivo gerado com as direções de fluxo para o formato “.TIFF”, o mesmo foi processado juntamente com o arquivo “shape” de nascentes, previamente gerado, para alimentar o software “SulTracer”, já em processo fora do ArcGIS. Este software foi fornecido gratuitamente pela Agência Nacional de Águas (ANA).

O referido software tem uma rotina que gera uma hidrografia sintética, elaborada pelos algoritmos, com a mesma quantidade e formato da hidrografia vetorial cartográfica. Com esta operação não é mais necessário utilizar as rotinas de fluxo acumulado e definição da drenagem a partir da quantidade de pixels, etapas previstas na extensão “ArcHydroTools”. Os testes realizados com a rotina “SulTracer” foram extremamente satisfatórios.

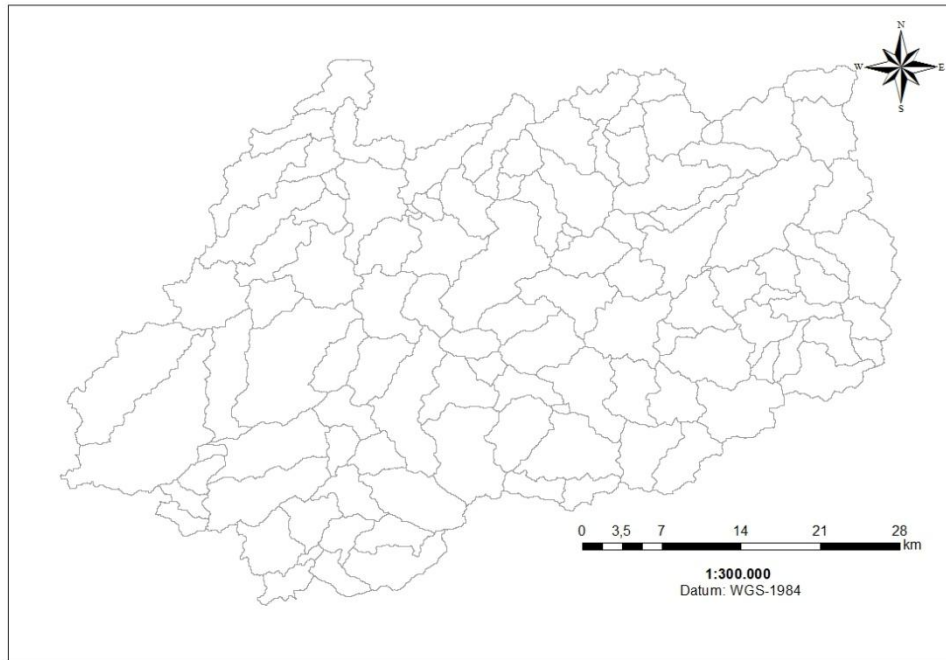
Com o arquivo .TIFF gerado pelo “SulTracer” deve ser roda a rotina “Terrain Preprocessing> Stream Segmentation >enter” na extensão “ArcHydroTools”. A Figura 36 ilustra o produto gerado no “SulTracer”.



**Figura 36 - Hidrografia gerada pelo software "SulTracer"**

O passo final é a delimitação das bacias de drenagem que se inicia pelo processo de rasterização da grade que irá gerar o arquivo “Raster” com as áreas de contribuição discretizadas por trecho de curso d’água. Nesta etapa deve-se seguir os seguintes passos: “Terrain Preprocessing> Catchment Grid Delineation>enter.” Em seguida, foi executada a transformação de Raster para polígono do arquivo com as áreas de

contribuição, com os passos: “Terrain Preprocessing> Catchment Polygon Processing>enter”. A Figura 37 ilustra as 117 bacias de drenagem que estão inseridas na bacia hidrográfica do rio Piabanha.



**Figura 37 - Bacias de contribuição do rio Piabanha**

Após a delimitação de todos os trechos de cursos d’água e suas respectivas bacias de contribuição foi determinado o tempo de concentração de cada trecho, considerando a sua foz como ponto de referência.

Como já abordado no capítulo que descreve a metodologia, foi utilizado a fórmula de Kirpich para o cálculo do tempo de concentração.

$$T_c = 0,0663L^{0,77}S^{-0,385}$$

onde:

T<sub>c</sub> - tempo de concentração da bacia, em horas;

L - comprimento do talvegue ou curso d’água, em km;

S - declividade média do curso d’água, em m/m.

A declividade média do curso d’água (S) até o ponto de referência e o comprimento do talvegue foram obtidos pelas ferramentas disponíveis no próprio ArcGis, usando as informações do MDT, do “shape” de nascente e foz e da hidrografia.

O tempo de concentração da bacia do Piabanha foi calculado em, aproximadamente, 10 horas e 30 minutos.

Após a determinação do tempo de concentração de cada sub-bacia o passo seguinte foi determinar a intensidade de chuva. Para esta etapa foram utilizadas as equações de chuvas intensas da CPRM, que são 4 no total, mas apenas 3 estão inseridas na bacia do Piabanha, conforme mostra a Figura 38 e a quarta coluna da Tabela 8.

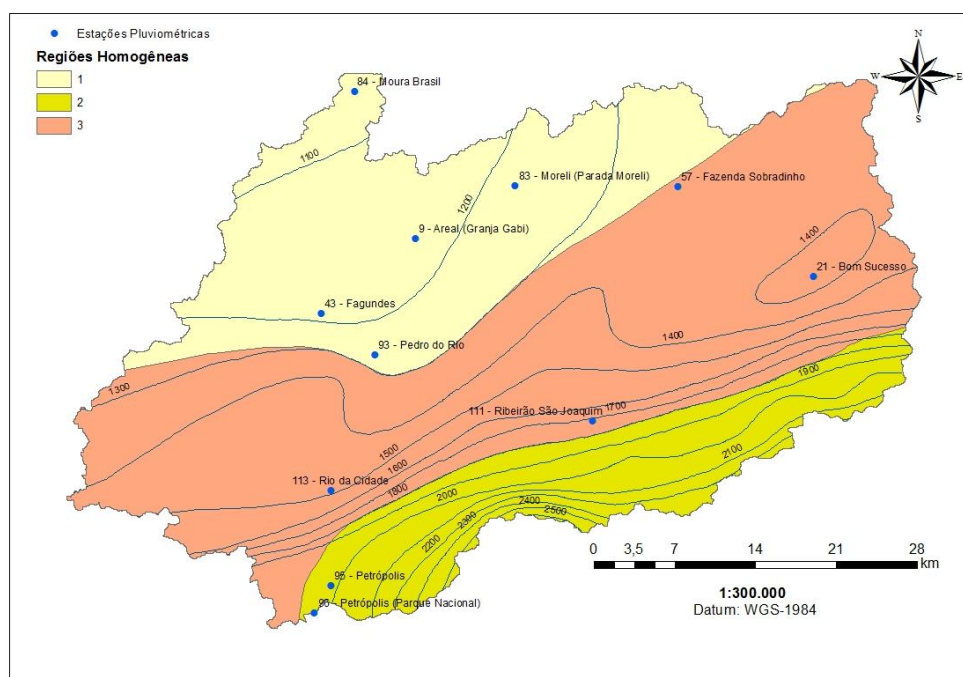
Além disso, foi determinada a precipitação média anual das estações a serem utilizadas no estudo através da série de dados que consta no banco Hidro da ANA. Ao todo foram utilizadas 11 estações pluviométricas que estão dispostas na Tabela 8.

**Tabela 8 - Estações Pluviométricas da bacia do Piabanha**

Número do Posto	Código	Estação	Região Homogênea	Período (anos)	Período sem falhas (anos)	Período total	Latitude	Longitude	Precipitação média anual (mm)
9	2243013	Areal (Granja Gabi)	1	72	60	1939 a 2010	-22,241944	-43,104444	1274,4
21	2242026	Bom Sucesso	3	46	40	1965 a 2010	-22,271389	-42,794722	1303,4
43	2243014	Fagundes	1	73	49	1938 a 2010	-22,299722	-43,178056	1110,9
57	2242027	Fazenda Sobradinho	3	75	69	1936 a 2010	-22,201111	-42,9	1324,2
83	2243016	Moreli (Parada Moreli)	1	56	44	1955 a 2010	-22,200833	-43,026944	1225,2
84	2243015	Moura Brasil	1	75	68	1936 a 2010	-22,127222	-43,152222	1111,3
93	2243012	Pedro do Rio	1	73	65	1938 a 2010	-22,3325	-43,136111	1229,6
95	2243009	Petrópolis	2	70	46	1938 a 2007	-22,511667	-43,170833	2030,9
96	2243188	Petrópolis (Parque Nacional)	2	48	35	1912 a 1959	-22,533333	-43,183333	1988,9
111	2242034	Ribeirão São Joaquim	3	69	64	1942 a 2010	-22,383818	-42,967037	1776,4
113	2243011	Rio da Cidade	3	73	69	1938 a 2010	-22,438056	-43,170278	1438,4

Na Figura 38 pode ser observada a distribuição espacial das estações pluviométricas. Conforme localização e extensão da bacia e com o auxílio das isoeitas foram selecionados os postos mais representativos de cada sub-bacia. Para evitar muita subjetividade, foi estabelecido que no máximo poderia ser escolhido 2 postos representativos, mas nada impede de serem escolhidos mais do que este valor. Ainda, poderia ser refinado com o uso de vários postos pelo método de Thiessen, mas como a intenção deste trabalho é simplificar e padronização a metodologia foi escolhido o método mais simples sem perder a validade e consistência das informações.

Após determinação das intensidades, usando as equações da CPRM, a mesma foi multiplicada pela duração da chuva, adotada como o próprio tempo de concentração, para se obter o valor da precipitação a ser utilizada no método do HUT. No método racional a intensidade pode ser usada diretamente.

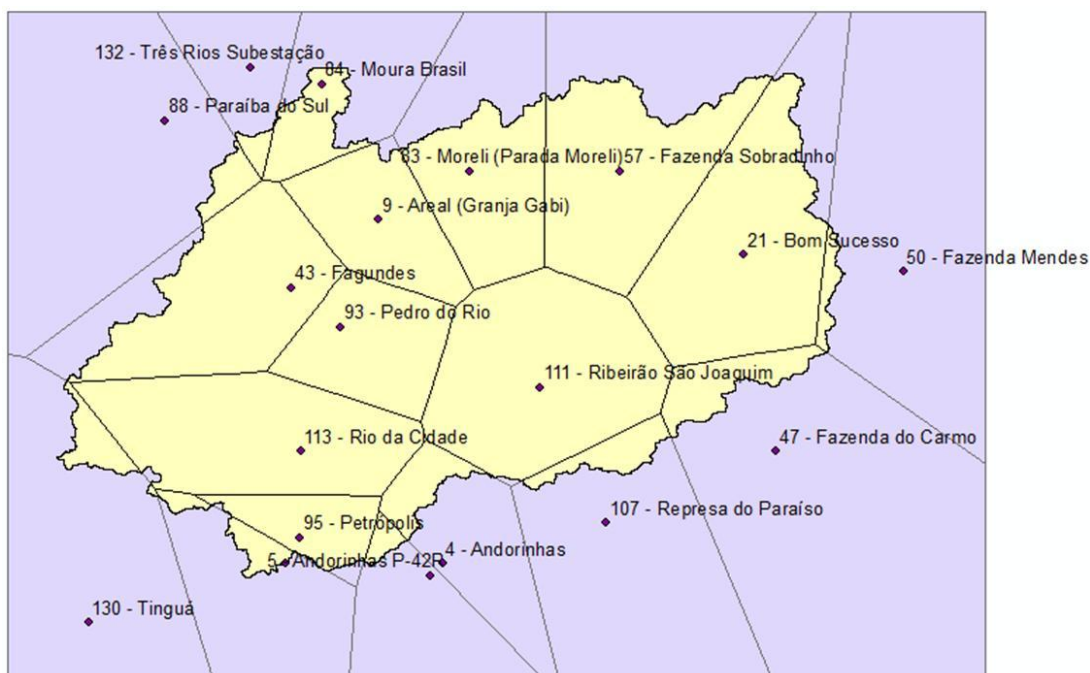


**Figura 38 - Estações Pluviométricas da Bacia do Piabanha**

Desta forma, alguns grupos das 117 bacias foram agrupados observando a situação topográfica e as isoeitas, visando a utilização do mesmo conjunto de postos pluviométricos para dar consistência a informação.

Por exemplo, para a bacia do Piabanha, utilizando sua foz como referência, foram selecionados os postos 2243188 (96 – Petrópolis) e 2242027 (43 – Fagundes). A média das precipitações anuais destes postos é igual a 1.570mm, valor que se aproxima muito da média de todos os 11 postos pluviométricos inseridos na referida bacia (1.438mm), tornando-os bastante representativo. Ressalto que este valor da média poderia ser refinado, usando a ponderação pela área da região homogênea da CPRM ou pelos polígonos de Thiessen (devem também ser usadas postos fora dos limites da bacia) que apresentou uma precipitação média da bacia de 1.451 mm, sendo usados 19 postos, conforme Figura 39 ou até mesmo pelo método das isoeitas, porém como já mencionado, buscou-se uma simplificação para avaliar sua consistência e validade, que será feita mais adiante.

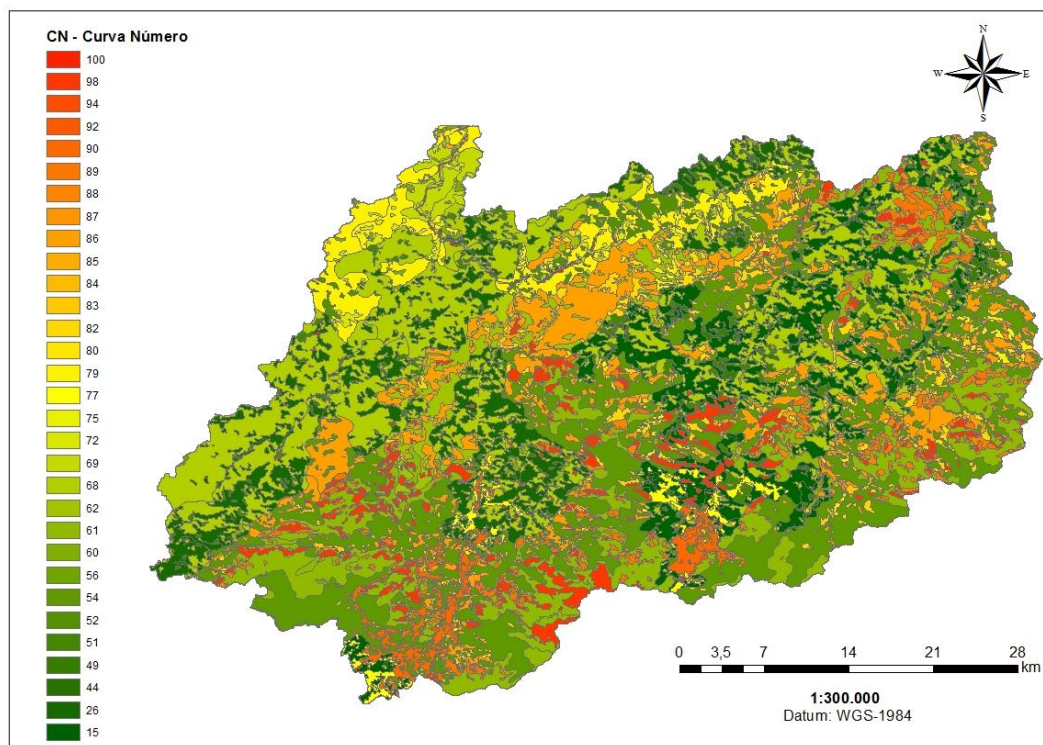




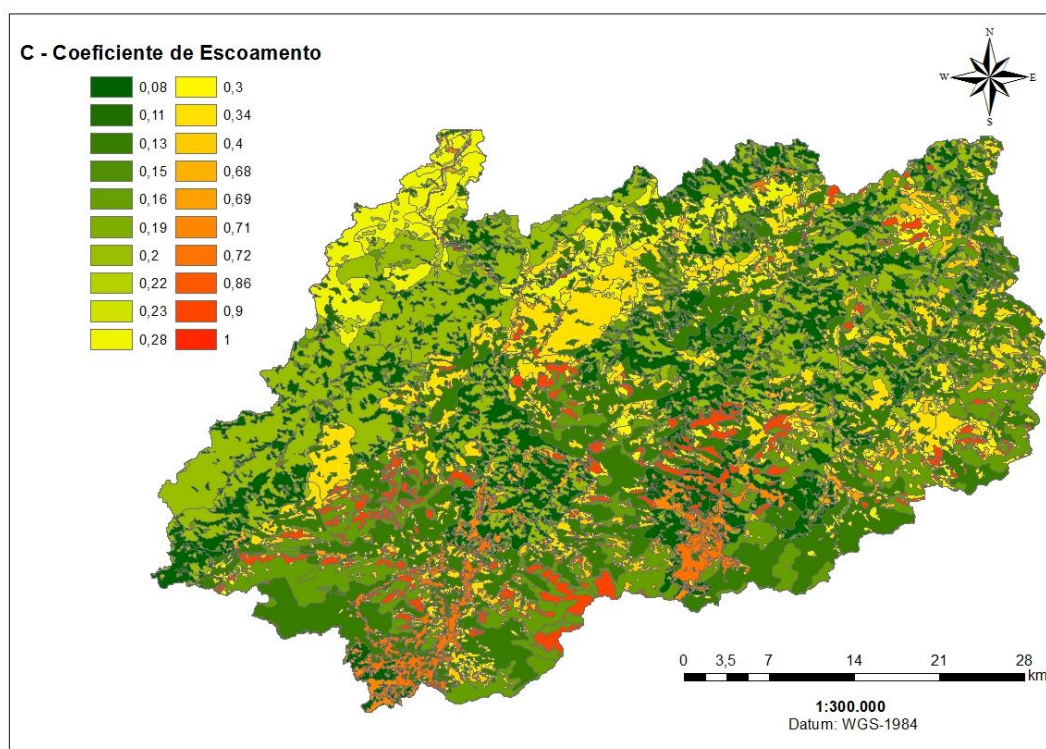
**Figura 39 - Métodos dos polígonos de Thiessen**

Em seguida, já com os valores das precipitações atribuídos para cada sub-bacia, foi realizado o cálculo da vazão de referência. Para esta etapa, para as bacias que possuíam mais do que 2 km<sup>2</sup> foi utilizado o método do Hidrograma Unitário (HUT) e para as menores o método Racional. Porém, antes do cálculo final foi preciso definir os coeficientes de escoamento (método racional) e o curva-número (HUT), passo descrito no capítulo da metodologia.

Os valores dos coeficientes são feitos observando a média ponderada e tendo como a área o valor de referência na ponderação. Os valores de C estão ilustrados na Figura 41 e os de CN na Figura 40.



**Figura 40 - Valores do Coeficiente CN (Curva-Número)**



**Figura 41 - Valores do Coeficiente de Escoamento (C)**

O CN, determinado por esta metodologia, para a bacia do Piabanha resultou no valor de 62, o que tende a ser coerente considerando ser uma bacia com uma ocupação

urbana de 4% de sua área. Segue abaixo, na Tabela 9, os valores de CN das principais sub-bacias e da bacia do Piabanha.

**Tabela 9 - Valores de CN para as principais bacias**

Bacias	CN – Curva Número
rio Paquequer	59
rio Fagundes	63
rio Preto	60
rio Piabanha	62

De posse da declividade das sub-bacias, dos tempos de concentração, das precipitações e intensidade de chuva, dos valores dos coeficientes de escoamento e do curva-número foi possível determinar as vazões máximas pelos métodos indiretos. Cabe ressaltar, que foi aplicado o método racional em apenas 3 sub-bacias, já que as demais possuíam valores de área de drenagem superiores a 2 km².

Para a bacia do Piabanha foram selecionadas 7 (sete) estações fluviométricas para elaboração da curva regional. Para cada estação foi ajustada uma curva-chave e em seguida realizada a estatística hidrológica para obtenção das vazões máximas associadas ao tempo de recorrência de 2 anos, conforme mostra a Tabela 10.

**Tabela 10 - Vazões com tempo de recorrência de 2 anos para os postos fluviométricos**

Código	Nome	Área (km²)	Q <sub>2 anos</sub> (m³/s)
58400000	Petrópolis	43,1	28,5
58434000	Fagundes	275	37,17
58409000	Areal-RN	514	95,2
58405000	Pedro do Rio	435	95,7
58420000	Fazenda Sobradinho	719	118,03
58425000	Moreli (Parada Moreli)	930	136,34
58440000	Moura Brasil	2040	280,71

No Tabela 11 é possível verificar que a diferença (%) entre os valores calculados ( $Q_{calculada}$ ) e os valores medidos nas estações fluviométricas selecionadas para o estudo não passou de 18,4%, possibilitando validar as informações calculadas. Cabe ressaltar, que as vazões expostas como medidas ( $Q_{medida}$ ) foram ajustadas usando a proporcionalidade entre a área do posto e a área de drenagem do ponto de foz dos referidos cursos d'água.

**Tabela 11 - Comparação entre as vazões calculadas e as medidas nos postos fluviométricos.**

Bacias	CN – Curva Número	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	$Q_{calculada}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{medida}$ (m <sup>3</sup> /s)	Código do Posto	Diferença (%)
rio Paquequer	59	267,6	37,1	43,9	58420000	18,4%
rio Fagundes	63	364,8	42,3	49,3	58434000	16,6%
rio Preto	60	1072,2	150,6	157,2	58425000	4,4%
rio Piabanha	62	2061,1	285,7	283,6	58440000	0,7%

O penúltimo passo é a determinação da largura de referência do curso d'água, que para este trabalho foi considerada como o leito regular, conforme determinação da Lei Federal 12.651 de 2012.

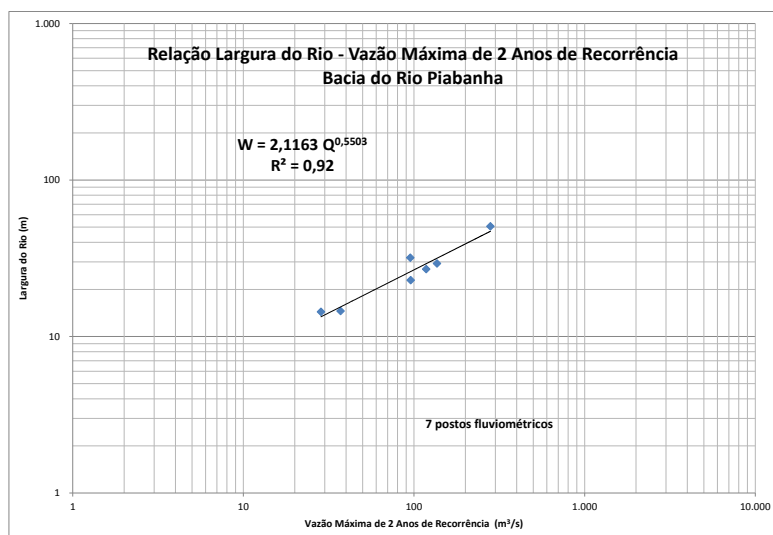
Desta forma, conforme descrito na metodologia foi ajustada um curva regional elaborada conforme metodologia descrita, que relaciona a vazão máxima associada ao TR = 2 anos ( $Q$ ) com a largura de referência ( $L$ ).

Para cada posto foi feita a correlação dos dados de largura, velocidade e profundidade obtidos das medições de descarga realizada para os postos. Após verificação da conformidade quanto a aplicação da teoria de geometria hidráulica, foi utilizada a correlação “ $w=a*Q^b$ ”, para obtenção dos valores de largura corresponde ao leito regular de cada posto. Os resultados estão dispostos na Tabela 12.

**Tabela 12 - Largura do Leito Regular dos postos fluviométricos**

Código	Nome	Área (km²)	Q 2 anos( m³/s)	a	b	L regular (m)
58400000	Petrópolis	43,1	28,5	10,8799	0,0835	14,4
58434000	Fagundes	275	37,17	10,9699	0,0781	14,5
58409000	Areal-RN	514	95,2	26,9796	0,0365	31,9
58405000	Pedro do Rio	435	95,7	15,5069	0,0854	22,9
58420000	Fazenda Sobradinho	719	118,03	18,5537	0,0783	27,0
58425000	Moreli (Parada Moreli)	930	136,34	16,2336	0,1200	29,3
58440000	Moura Brasil	2040	280,71	33,637	0,0722	50,5

Correlacionado, em um gráfico, os dados das vazões de 2 anos e da largura do leito regular expostos na Tabela 12, pode-se traçar uma curva regional ( $L = 2,1163 \times Q^{0,5503}$ , com  $R^2 = 0,92$ ) para a bacia do Piabanha, conforme ilustra a Figura 42.



**Figura 42 - Curva Regional para a Bacia do Piabanha**

Fonte: INEA/HICON, 2012

A largura de referência nas áreas urbanas deve ser, preferencialmente, estimada através do uso de modelo de hidráulica fluvial, utilizando seções topobatimétricas levantadas em campo. A largura de referência será obtida pela simulação do escoamento da vazão de referência (TR 2 anos). Na ausência de seções topobatimétricas, a curva regional pode ser válida e utilizada em determinados rios de áreas urbanas, desde que o trecho fluvial de interesse ainda esteja em condições naturais. Como não foi possível

realizar levantamento de seção para este estudo, foi utilizada a curva regional para todos os cursos d'água.

O último passo é a determinação da largura das APPs das margens dos cursos d'água observando os limites mínimos exposto na Lei Federal 12.651 de 2012 e, para o ERJ devem ser observados também o Decreto Estadual 42.356 de 2010.

Para esta etapa não foi possível utilizar todos os critérios propostos na metodologia (além dos mínimos previsto nas legislações de referência), que também levam em consideração os aspectos ecológicos e o risco de inundação (cota associada a vazão máxima com  $TR = 50$  anos), por uma questão de limitação de recursos financeiros para obtenção dos dados de entrada.

No entanto, após o cumprimento do mínimo estabelecido na legislação, deve-se verificar se a zona ripária (APPs + leito regular) está contemplando a largura correspondente a seção molhada associada a vazão máxima com o tempo de recorrência de 50 anos, caso contrário deverá ser entendida até este limite. Ainda, devem ser observados possíveis habitat de espécies que utilizem as margens dos cursos d'água, para serem contemplados dentro das APPs.

Cabe ressaltar, que projetos de controle de cheias que definam área de controle de inundação ou com restrição de ocupação, também podem ser considerados para a delimitação das APPs, já que possuem, com um dos seus objetivos, auxiliar o controle dos picos de cheias.

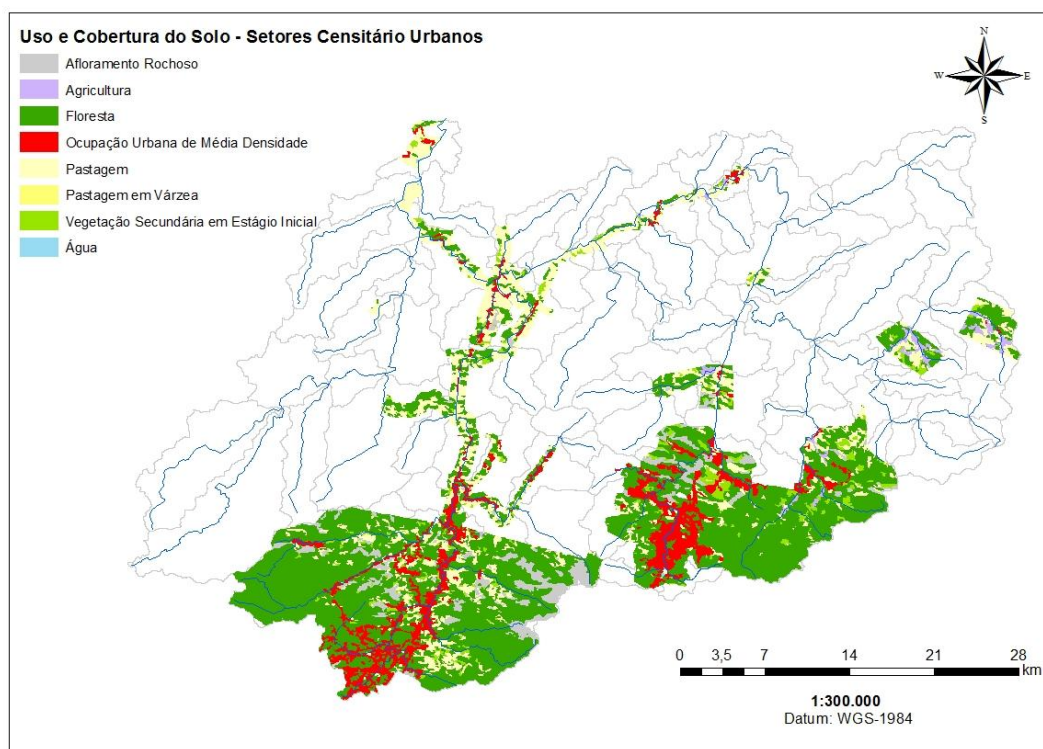
O passo básico é observar o disposto na Lei Federal 12.651 de 2012, associando a largura do leito regular obtido na etapa anterior com a largura de APP prevista na referida legislação. Para o caso em tela os valores observarão o limite de 50 metros, podendo ser superior mediante manifestação técnica, já que todas as larguras do leito foram inferiores a 47,5 metros.

Em seguida, devem ser observadas as áreas onde se pretende aplicar o Decreto estadual 42.356 de 2010, que possui limites inferiores ao estabelecido na Lei Federal. Como descrito na metodologia, para esta etapa foram utilizadas as informações do uso e ocupação do solo e dos setores censitários.

O primeiro filtro foi feito com os setores censitários, observando o critério de 60% dos domicílios que devam conter o equipamento de infraestrutura necessário para validar e habilitar o setor para aplicação do Decreto. Em seguida foi feita a classificação

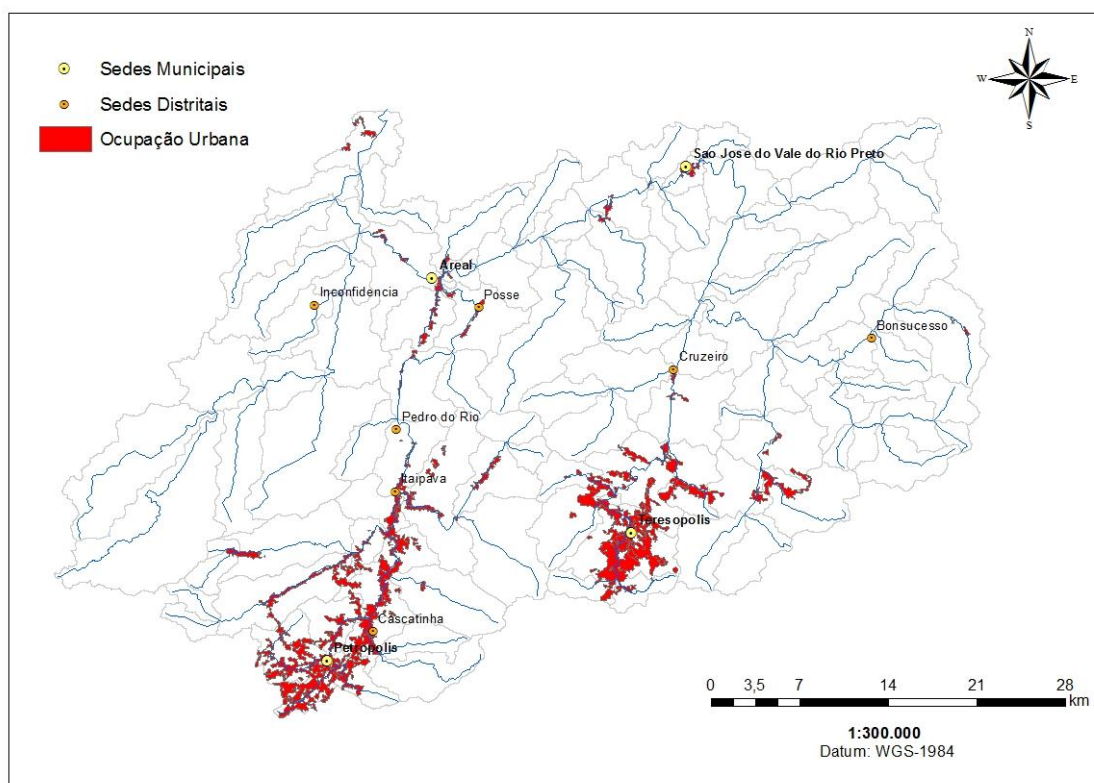


destes setores de acordo com o uso e ocupação do solo do ZEE, resultando na Figura 43.



**Figura 43 - Uso e cobertura do Solo nos Setores Censitários Urbanos**

Em seguida foi realizado no filtro, deixando somente as áreas consideradas como urbanas pelo ZEE e que estão inseridas nos setores censitários urbanos, também já filtrado, conforme descrito acima, resultado na Figura 44. Neste resultado é possível observar que a grande ocupação urbana se dá nas sedes municipais de Petrópolis, Areal, Teresópolis e São José do Vale do Rio Preto.

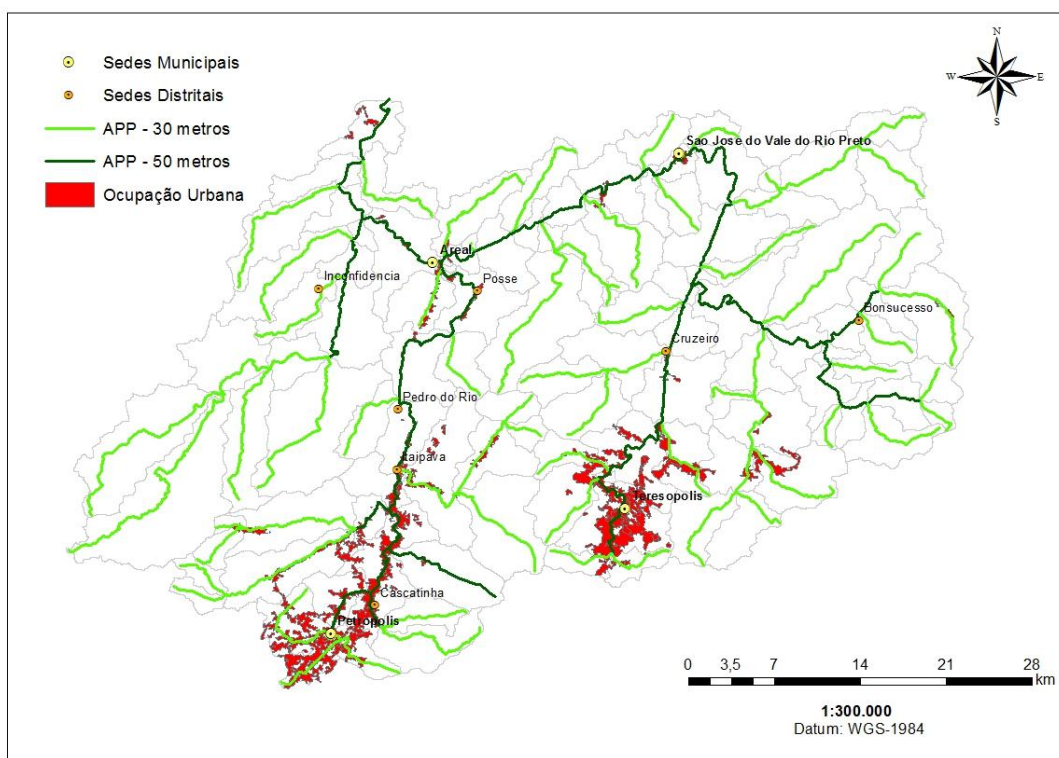


**Figura 44 - Áreas Urbanas dos Setores Censitários Urbanos**

Desta forma, somente nas áreas filtradas, expostas na Figura 44, é possível aplicação do Decreto Estadual 42.356 de 2010. Cabe ressaltar, que nem toda a extensão do curso d'água está inserida nas áreas passíveis de aplicação, devendo ser validado por realização de vistoria ao local pela área técnica do órgão de meio ambiente. No entanto, para simplificação, neste trabalho adotou-se que se um trecho de curso d'água estiver inserido no filtro realizado, para o referido trecho poderá ser aplicado os limites estabelecidos pelo Decreto.

A Figura 45 ilustra os limites das APPs aplicando apenas as larguras estabelecidas na Lei Federal 12.651 de 2012. Considerando que a extensão total, dos cursos d'água inseridos na bacia do Piabanha, é de 748.148m, em 28% o leito regular possui largura superior a 10 metros e, portanto, foi aplicada a APP de 50 metros, nos demais 72% a largura da APP foi de 30 metros.

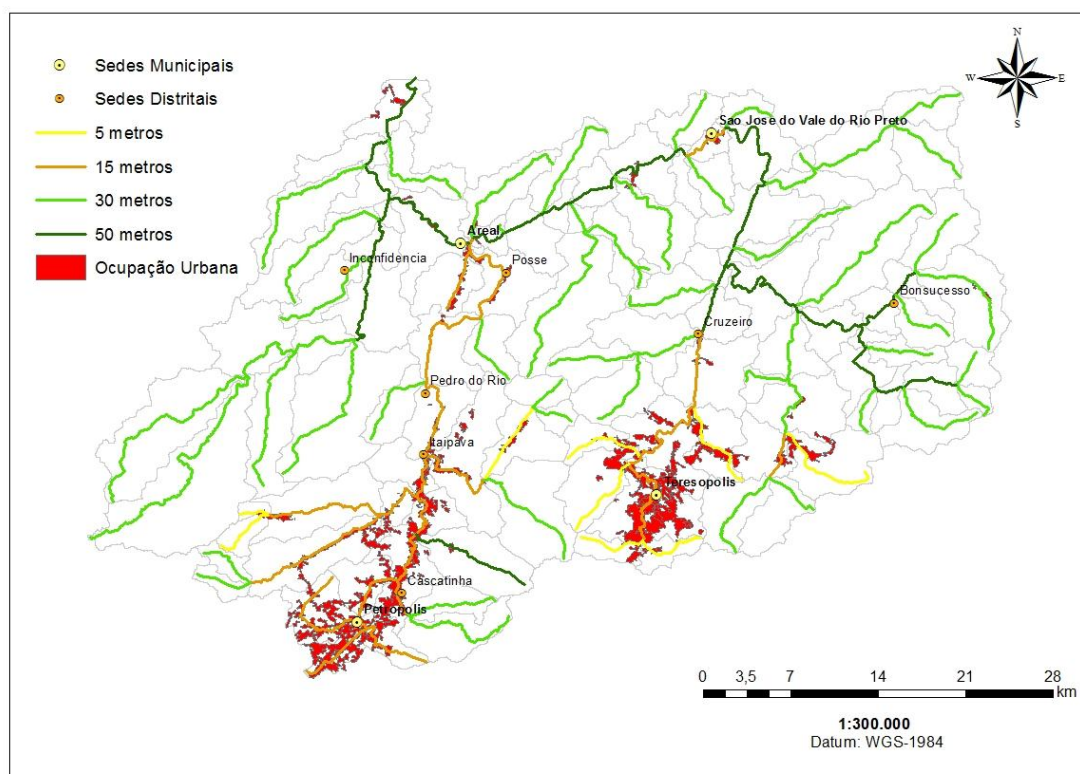




**Figura 45 - APPs baseadas nos limites da Lei Federal 12.651 de 2012**

A Figura 46 ilustra as diferentes larguras das APPs, considerando tanto a Lei Federal 12.651 de 2012 quanto o Decreto Estadual 42.356 de 2010. No caso específico do Decreto existe a variação da largura da APP em função da vazão. Para os cursos d'água de pequeno porte, considerados pelo Decreto como aqueles com vazões máximas, associadas a cheias de 10 (dez) anos de recorrência, não superiores a dez metros cúbicos por segundo foi utilizada a proporcionalidade sugerida no capítulo da metodologia e aplicado a largura de APP de 5 metros, para os que possuem vazões superiores foi aplicado a largura de 15 metros.

Cabe ressaltar, que a referida proporcionalidade foi sugerida para evitar a realização de novos cálculos de vazões, com recorrência de 10 anos, para os trechos. Conforme descrito neste trabalho, pode-se perceber que as vazões máximas no ERJ, com recorrência de 10 anos, são, em geral, 44% superiores as calculadas com recorrência de 2 anos. Desta forma, foram considerados cursos d'água de pequeno porte, aqueles que possuem vazões, com recorrência de 2 anos, não superiores a 7 (sete) m<sup>3</sup>/s.



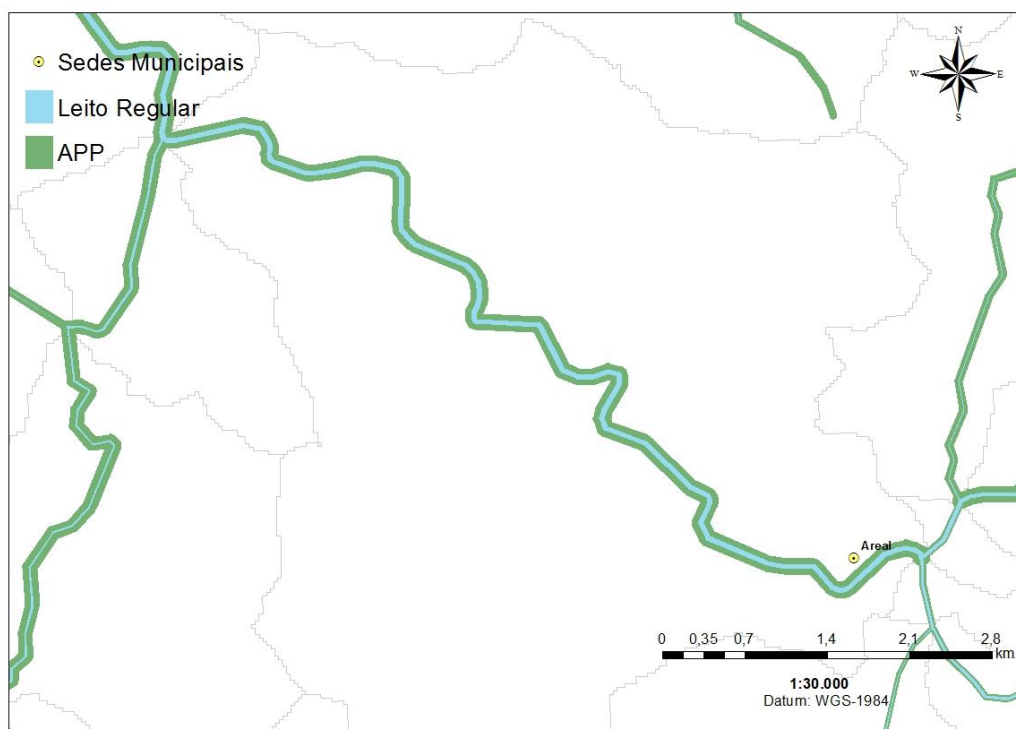
**Figura 46 - APPs com os limites da Lei Federal 12.651 de 2012 e do Decreto 42.356 de 2010.**

A Tabela 13 expõe a proporcionalidade de aplicação das diferentes larguras de APPs nos trechos dos cursos d'água existentes na bacia do Piabanha. Em mais da metade da extensão foi aplicado a largura de 30 metros, representando 56% do total.

**Tabela 13 - Proporção (extensão) dos diferentes valores de APPs nos cursos d'água.**

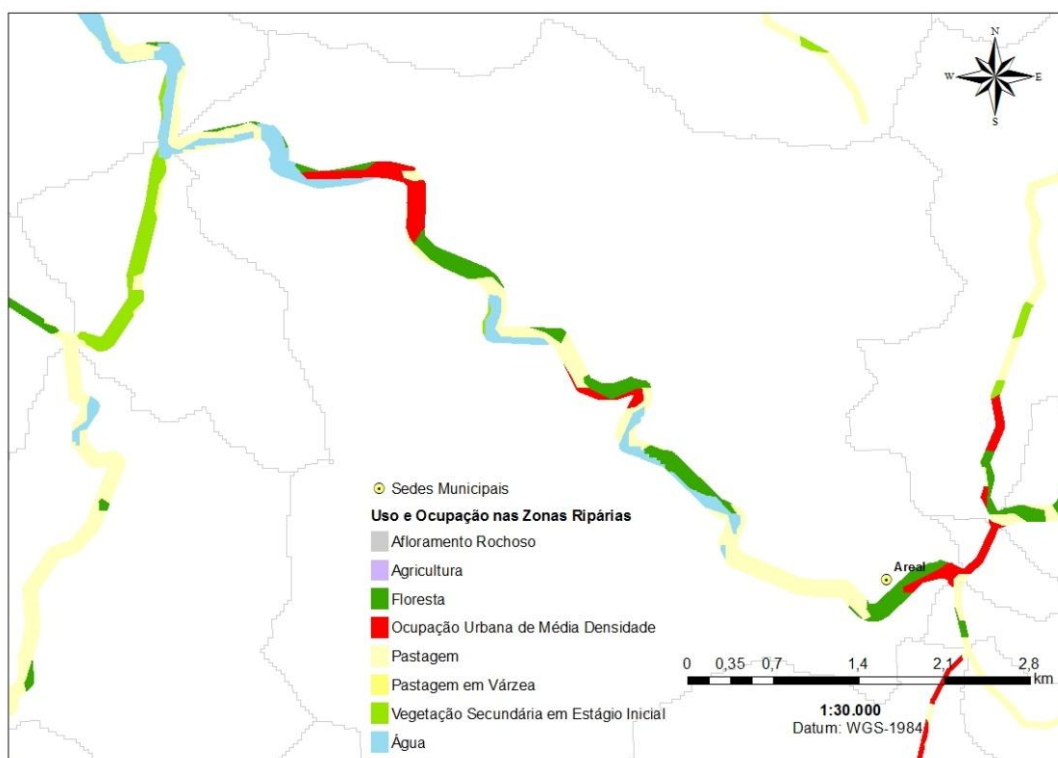
APP (m)	Extensão do Curso d'água (m)	Proporção (%)
5	56.981	8%
15	145.986	20%
30	416.405	56%
50	128.775	17%

O passo final é usar a ferramenta “Buffer” disponível no ArcGis para criação dos polígonos correspondentes ao leito regular e a APP, delimitando a zona ripária, para cada trecho do curso d'água. A Figura 47 ilustra este passo final em um trecho do rio Piabanha e outros afluentes, próximo ao município de Areal.



**Figura 47 - Leito Regular e APP (Zona Ripária)**

Ainda, como ilustra a Figura 48, pode ser usada a ferramenta “Clip” para que possa ser obtido apenas o uso e ocupação do solo (ZEE) da zona ripária (APP + Leito Regular), permitindo a identificação de áreas que necessitam de recuperação, assim como de realocação da população. Desta forma, a bacia do Piabanha possui 50,8 km<sup>2</sup> de zona ripária de cursos d’água e ainda 0,43 km<sup>2</sup> de APP nas nascentes (APP de 50 metros).



**Figura 48 - Uso e Ocupação do Solo nas Zonas Ripárias**

Desta forma a Tabela 14 apresenta os valores absolutos e percentuais, para toda a bacia do Piabanha, dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo na zona ripária. É possível verificar que quase metade (42,1%) ainda está preservada com florestas, mas grande parte já foi ocupada pelas áreas de pastagem (33,1%).

**Tabela 14 - Valores Absolutos e Percentuais de Área nas Zonas Ripárias**

USO e OCUPAÇÃO	Área (km <sup>2</sup> )	Percentual (%)
Água	1,8	3,4%
Afloramento Rochoso	0,3	0,6%
Agricultura	3,6	7,0%
Floresta	21,6	42,1%
Ocupação Urbana	4,2	8,2%
Pastagem	17,0	33,1%
Pastagem em Várzea	0,1	0,2%
Vegetação Secundária em Estágio Inicial	2,8	5,4%
Total geral	51,3	100,0%

## **8 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **8.1 - CONCLUSÕES**

Diante da grande dificuldade enfrentada pelos órgãos ambientais quanto a demarcação das áreas de preservação permanente de margem de rios, tanto pela falta de regras claras e objetivas quanto pelas complicações legais, este trabalho apresentou uma metodologia prática, consistente técnica e juridicamente e, ainda, passível de padronização, fazendo com que o princípio da isonomia seja aplicado para todos os atores da sociedade.

A definição técnica do que representa o leito regular, conceito introduzido pela Lei Federal 12.651 de 2012, traz grande avanço para aplicação da demarcação contínua das APPs, assim como o uso de ferramentas de geoprocessamento que permitem a obtenção de dados hidrológicos e cartográficos necessários para definição das vazões e das larguras das APPs.

Ainda, foi introduzido o conceito de zona ripária (APP + Leito Regular), que busca avaliar não somente a questão hidrológica, mas também a preservação e recuperação das funções ambientais dos cursos d'água. A metodologia de demarcação contínua traz, realmente, um ganho ambiental, pois permite avaliar toda a extensão da zona ripária, assim como seu uso e ocupação do solo. O conhecimento dessas informações permite o planejamento de ações governamentais para controle de erosão e recuperação de áreas degradadas das margens de cursos d'água e nascentes, assim como a fiscalização dos órgãos competentes quanto à aplicação do disposto na legislação de controle ambiental.

Foi percebido que as automatizações propostas, ainda que possam gerar erros como qualquer automatização de procedimentos, trazem grande ganho para a gestão ambiental nos órgãos. No caso das curvas regionais, cabe ressaltar, que não devem ser usadas como parâmetros para projetos hidráulicos, pois se entende que a definição das APPs é vista como ferramenta de planejamento territorial sustentável e não de implantação de intervenções hidráulicas nos cursos d'água.

Pela limitação de recursos não foi possível aplicar a metodologia na íntegra, principalmente quanto à questão da identificação de áreas com risco de inundação, mas foi proposto que a zona ripária não possua largura inferior a que corresponda a largura

da seção molhada associada a vazão máxima com tempo de recorrência de 50 anos, observando, também, o mínimo estabelecido na legislação.

A proposta envolveu algumas sugestões de modificação no Decreto Estadual 42.356 de 2010 e, também, na regulamentação da Lei Federal 12.651 de 2012. Além disso, foi proposta uma padronização para identificação dos equipamentos de infraestrutura e das áreas urbanas consolidadas, relatados no referido Decreto, utilizando os dados dos setores censitários de 2010 e os mapas de uso e ocupação do solo do ZEE/RJ.

A delimitação das APPs podem auxiliar na determinação dos hidrogramas ambientais, principalmente quanto aos limites máximos de vazão e sua necessidade de variação sazonal, permitindo a manutenção e recuperação do ecossistema, assim como o bem estar e segurança da população que habita próxima das áreas marginais dos cursos d'água.

Por fim, é necessário aprofundar este trabalho, principalmente com a obtenção de dados primários, visando o refinamento do estudo. Porém, com as informações aqui apresentadas já é possível determinar com boa precisão os limites das áreas de preservação permanente.

## **8.2 - RECOMENDAÇÕES**

Para refinamento deste trabalho é necessário que sejam levantadas seções topobatimétricas para possibilitar a aplicação na íntegra da metodologia proposta, incluindo a simulação heterodinâmica para vazão máxima associada ao tempo de recorrência de 50 anos.

Ainda, devem ser obtidas informações sobre os processos ecológicos que acontecem nas margens dos cursos d'água e em suas proximidades, para que possam ser incorporados, de acordo com sua relevância, nas Áreas de Preservação Permanente.

O monitoramento hidrometeorológico deve ser ampliado na bacia, além de ser realizada a consistência de todos os dados hidrológicos já obtidos. Parcerias entre as instituições públicas, através da celebração de convênios, podem auxiliar neste processo.

Sugere-se que a Lei Federal 12.651 de 2012, seja adaptada por cada estado através de outros instrumentos legais, que possibilitem considerar as respectivas peculiaridades e funcionalidades, principalmente, na tratativa da demarcação das APPs para áreas

urbanas, ainda que a referida legislação não tenha feita esta distinção. Contradições legais, expostas no capítulo que versa sobre a revisão do arcabouço legal devem ser observadas e revogadas, para evitar conflitos na aplicação dos instrumentos, assim como, definidas regras claras quanto à responsabilidade de cada ente federativo quanto a preservação e recuperação das APPs.

No tocante a trabalhos e estudos futuros, recomenda-se que sejam aprofundadas as relações entre a zona ripária e determinação dos hidrogramas ambientais, principalmente quanto a vazão de referência a ser utilizada. Ainda, que possam ser elaborados estudos mais aprofundados sobre a importância da vegetação ripária na manutenção dos processos ecológicos nas planícies de inundação.

Por fim, recomenda-se que possam ser feitos trabalhos que abordem também metodologias de demarcação de corpos hídricos lânticos, como lagos, lagos e reservatórios, já que estes não foram abordados nesta dissertação.

## 9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, P. M., Arnold, J. C. and Byars, B.W. (1994). “Downstream Channel Geometry for Use in Planning Level”. *Water Resources Bulletin* – American Water Resources Association – Vol. 30, n°4.

AMES D. P., Rafn, E. B., Kirk, R. V., and Crosby B., 2009, *Estimation of stream channel geometry in Idaho using GIS-derived watershed Characteristics*, Idaho State University, Geosciences Science Center, USA.

ANA, 2012, Hidroweb – *Banco de Dados Hidrológicos*. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>.

ARAÚJO JÚNIOR, G. J. L. Dória de *et.al. Metodologia de delimitação de áreas de drenagem por trecho de curso d'água coincidente com a cartografia em diferentes escalas utilizando modelo digital de elevação*. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0679.pdf>>

BEESON, C. E., DOYLE, P. F. (1995). “Comparison of bank erosion at vegetated and nonvegetated channel bends”. *Water Resources Bulletin*, v.31, p. 983-990.

BOULTON, A. J.; QUINN, J. M. (2000) “A simple and versatile technique for assessing cellulose decomposition potential in floodplain and riverine sediments”. *Archiv für Hydrobiologie* 150:133–151.

BRASIL. CNRH, *Resolução nº 129 de 29 de junho de 2011*. Diretrizes gerais para a definição de vazões mínimas remanescentes. Publicada no D.O.U. em 26/09/2011. CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

BRASIL. CNRH, *Resolução nº 129 de 29 de junho de 2011*. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional, em Regiões Hidrográficas. Publicada no D.O.U. em 17/12/2003. CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

BRASIL. Código de Águas. *Decreto Federal nº 24.643, de 10 de junho de 1934*.

BRASIL. CONAMA . *Resolução nº 425, de 25 de maio de 2010*. Dispõe sobre critérios para a caracterização de atividades e empreendimentos agropecuários sustentáveis do



agricultor familiar, empreendedor rural familiar, e dos povos e comunidades tradicionais como de interesse social para fins de produção, intervenção e recuperação de Áreas de Preservação Permanente e outras de uso limitado. Publicado no DOU nº 100, de 27/05/2010, pág. 53. CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente.

BRASIL. CONAMA, *Resolução nº 302, de 20 de março de 2002*. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Publicada no DOU nº 90, de 13 de maio de 2002, Seção 1, páginas 67-68. CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente.

BRASIL. CONAMA, *Resolução nº 303, 20 de março de 2002*. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Publicada no DOU nº 90, de 13 de maio de 2002, Seção 1, página 68. CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente.

BRASIL. CONAMA, *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília - DF, de 8 de março de 2005, nº 53, Seção 1, páginas 58-63. CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente.

BRASIL. CONAMA, *Resolução nº 369, de 28 de março de 2006*. Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente-APP. Publicada no DOU nº 061, de 29/03/2006, págs. 150-151. CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente.

BRASIL. *Constituição Federal*. Art. 225. 1988.

BRASIL. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. *Lei Federal 9.985/2000*. 2000.

BRASIL. Orientação Normativa que disciplina a demarcação de terrenos marginais e seus acréscidos (*ON-GEADE-03*), Secretaria de Patrimônio da União (SPU), 2001.

BRASIL. Parcelamento do Solo Urbano, *Lei Federal 6.766/1979 e alterações*, 1979.

- BRASIL. Política Nacional de Meio Ambiente, *Lei Federal 6.938/81*, 1981.
- BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos, *Lei Federal 9.433/97*, 1997.
- BRASIL. Proteção da Vegetação Nativa. *Lei Federal 12.651/2012 e alterações*. 2012.
- BREN, L. J. (1998). "The geometry of a constant buffer-loading design method for humid watersheds". *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.110, p.113-125.
- BUTLER, D. M. (2004). "Runoff, sediment, and nutrient export from manured riparian pasture as affected by simulated rain and groundcover". Ph.D. Dissertation. North Carolina State University.
- CASTELLE, A. J.; JONHSON, A. W.; and CONOLLY, C. (1994). "Wetland and stream buffer size requirement: a review". *J. Environ. Qual.* v. 23, p.878-882.
- CATELANI, C.S., Batista G.T. 2007. "Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente (APP) do Município de Santo Antonio do Pinhal – SP: Um Subsídio à Preservação Ambiental". *Revista Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*: v.2, n.1, 2007. Universidade de Taubaté. Brasil.
- CINOTTO, P. J., 2003, *Development of Regional Curves of Bankfull-Channel Geometry and Discharge for Streams in the Non-Urban, Piedmont Physiographic Province, Pennsylvania and Maryland*, U.S. Department of the Interior -U.S. Geological Survey e Pennsylvania Department of Environmental Protection, New Cumberland, Pennsylvania, U.S.A.
- COLLISCHONN, W. ,2002, *Simulação hidrológica de grandes bacias*. Tese de doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil.
- COLLISCHONN, W.; Agra, S.G.; de Freitas, G.K.; Priante, G.; Tassi, R. e Souza, C.F. (2005). "Em busca do Hidrograma Ecológico" In: *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, João Pessoa, Nov. 2005, CD-ROM.
- COOPER, C. M. (1993). "Biological effects of agriculturally derived surface water pollutants on aquatic systems: a review". *Journal of Environmental Quality* 22:402-408.

COPPE/UFRJ, 2006, *Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul*. In: Relatório Contratual R-7 PSR-010-R0, ANA, LabHid COPPE/UFRJ, Fundação COPPETEC.

COPPE/UFRJ, 2006, *Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Caderno de Ações da Bacia do Rio Piabanha*. In: Relatório Contratual R-10, elaborado como parte dos documentos que compõem o Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Paraíba do Sul, ANA, LabHid COPPE/UFRJ, Fundação COPPETEC.

COPPE/UFRJ, 2010, Projeto EIBEIX-I: “Estudos Integrados de Bacias Experimentais – Parametrização Hidrológica na Gestão de Recursos Hídricos das Bacias da Região Serrana do Rio de Janeiro.” In: *Relatório Técnico Parcial 2, Chamada Pública MCT/FINEP/CT-HIDRO – Bacias Representativas 04/2005*. Elaborado conjuntamente pela fundação COPPETEC-COPPE-UFRJ com colaboração do IGEO-UFRJ-UERJ-CPRM-SERLA (INEA).

COPPE/UFRJ, 2010, *Projeto EIBEIX-I: Estudos Integrados de Bacias Experimentais – Parametrização Hidrológica na Gestão de Recursos Hídricos das Bacias da Região Serrana do Rio de Janeiro*. In: Relatório Técnico Parcial 2, Chamada Pública MCT/FINEP/CT-HIDRO – Bacias Representativas 04/2005. Elaborado conjuntamente pela fundação COPPETEC-COPPE-UFRJ com colaboração do IGEO-UFRJ-UERJ-CPRM-INEA.

CORBETT, E. S.; LYNCH, J. A.; and SOPPER, W. E. (1978). “Timber harvesting practices and water quality in the eastern United States”. *Journal of Forestry*, v. 76, nº 8, p. 484–488.

COUTINHO, L.M. *et al.*, 2007, *Delimitação de Áreas de Preservação Permanente a partir de Técnicas de Geoprocessamento*, UFES - Departamento Engenharia Florestal, XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação.

CPRM, 2003, *Relatório-síntese do trabalho de Regionalização de Vazões da Sub-bacia 58*. In: Relatórios-Síntese de Regionalização de Vazões Elaborados em Convênio com a

ANEEL. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/rehi/regionalizacao/sint\\_reg58.pdf](http://www.cprm.gov.br/rehi/regionalizacao/sint_reg58.pdf). Acesso em 20 de abril. 2012.

D' ALMEIDA, C. R.. *Parecer Técnico sobre FNA – O/SUB-RIOÁGUAS/CGAF* Subsecretaria. de Gestão de Bacias Hidrográficas – P. M do Rio de Janeiro, 3p. 22 de julho de 2009.

DAHM, C. N.; N. B. GRIMM, P.; MARMONIER, H. M. VALETT; P. VERVIER. (1998) “Nutrient dynamics at the interface between surface waters and groundwaters”. *Freshwater Biology* 40:427–451.

DE PAULA, T. P., 2011, *Diagnóstico e modelagem matemática da qualidade da água em trecho do rio Piabanha/RJ*. Dissertação de M.Sc., UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, RJ, BRASIL.

DEBANO, L. F.; SCHMIDT, L. J. *Improving southwestern riparian areas through watershed management*. Gen. Tech. Rep. RM-182. US Forest Service. Fort Collins. CO. 1989.

DEBANO, L. F.; SCHMIDT, L. J. *Improving southwestern riparian areas through watershed management*. Gen. Tech. Rep. RM-182. US Forest Service. Fort Collins. CO. 1989.

DILLAHA, T. A.; RENEAU, R. B.; MOSTAGHIMI, S.; and LEE, D. (1989). “Vegetative Filter Strips for Agricultural Nonpoint Source Pollution Control”. *Transactions of the ASAE* 32(2):513-519.

DUNNE, T., and Leopold, L.B., 1978, *Water in environmental planning*: San Francisco, Calif., W.H. Freeman, 818 p

DYSON, M., Bergkamp, G. e Scalon, J. (2003). (eds). *Flow: the Essentials of Environmental Flows*. 2nd edition. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 132p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. xxvi, 412p. : il.

FARIAS JÚNIOR, J. E. F., 2006, *Análise das metodologias utilizadas para a determinação da vazão ecológica. Estudo de caso: Rio Coruripe/AL e Rio Solimões/AM*. Dissertação de M.Sc., UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, RJ, BRASIL.

FERRANTI, E. M. (2007). *Identificação de Áreas de Preservação Permanente e de Uso Conflitivo do Solo, Utilizando Tecnologia SIG*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH.

FRY, J. F.; STEINER, F. R.; GREEN, D. M. “Riparian evaluation and site assessment in Arizona”. *Landscape and Urban Planning*. Amsterdam. v. 28. p. 179 – 199. 1994.

FRY, J. M., STEINER, F. R., GREEN, D. M. (1994). “Riparian evaluation and site assessment in Arizona”. *Landscape and Urban Planning*, v.28, p.179-199. GRAF, W. (1988). "Definition of flood plains along arid-region rivers". *Flood Geomorphology*, Ed. V.R. Baker, R.C. Kochel, and P.C. Patton, p. 231-242.

GIBERT, J., M. J. DOLE-OLIVIER, MARMONIER, P.; VERVIER, P. (1990) “Surface water– groundwater ecotones”. Pages 199–225 In: *R.J.H. NAIMAN and H. DE CAMPS (eds.)*, The ecology and management of aquatic–terrestrial ecotones. UNESCO and The Parthenon Publishing Group, London, England.

GONÇALVES, M.A., Koide, S., E Cordeiro Netto, O.M., 2003. “Revisão e aplicação de alguns métodos para determinação de vazão mínima garantida em cursos de água.” *XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Curitiba.

GONÇALVES, R.C., 2008, *Modelagem Hidrológica do tipo chuva-vazão via SMAP e TOPMODEL - Estudo de Caso: Bacia do Rio Piabanha/RJ*. Dissertação de M.Sc, Curso de Engenharia Civil – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

GONDIM J., 2006. *Apresentação na 51ª Reunião da CTAP – Câmara Técnica de Análise de Projetos do CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos*.

GREGORY, S. V.; SWANSON, F. J.; McKEE, W.A.; and CUMMINS, K. W. (1991). “An ecosystem perspective of riparian zones. Focus on links between land and water”. *BioScience*, v.41, p.540-551.

GREGORY, S. V.; SWANSON, F. J.; McKEE, W.A.; and CUMMINS, K. W. (1991). "An ecosystem perspective of riparian zones. Focus on links between land and water". *BioScience*, v.41, p.540-551.

HARVEY, A.M. "The influence of sediment supply on the channel morphology of upland streams: Howgill Fells, North-west England." 1991; *Earth Surf. Processes Landforms*, v.16, p.675-684, 1991.

HELMIO, T., 2004, *Hydraulic geometry of cohesive lowland rivers*, Laboratory of Water Resources - Helsinki University of Technology, Finland.

HICKIN, E.J. "Vegetation and river channel dynamics". *Canadian Geographer*, v.28, p.111-126, 1984.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Glossário*. Acesso em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/es/materiais/guia-do-censo/glossario>>

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual Técnico de Pedologia*. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manuais Técnicos em Geociências - número 4, 2007.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Setores Censitários*. Acesso em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas\\_estatisticos/censo\\_2010/mapas\\_de\\_setores\\_censitarios/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_estatisticos/censo_2010/mapas_de_setores_censitarios/)>

INEA/HICON, 2012. *Metodologia para Demarcação de Faixa Marginal de Proteção (FMP) no Estado do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro.

KLING, A.S.M., 2005, *Aplicação do Método Battelle na avaliação do impacto ambiental na bacia hidrográfica do rio Piabanha*. Dissertação de M.Sc, Curso em Ciências da Área de Saúde Pública da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca. Fiocruz, Rio de Janeiro, Brasil.

KLING, A.S.M., 2005, *Aplicação do Método Battelle na avaliação do impacto ambiental na bacia hidrográfica do rio Piabanha*. Dissertação de M.Sc, Curso em Ciências da Área de Saúde Pública da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca. Fiocruz, Rio de Janeiro, Brasil.

- KNIGHTON D., 1984, *Fluvial forms and processes*, John Wiley & Sons, Chichester.
- KOBIYAMA, M. “Conceitos de zona ripária e seus aspectos geobiohidrológicos”. In: *Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas Ripárias* (1: 2003: Alfredo Wagner) Florianópolis: UFSC/PPGEA, Anais, 2003. p.1-13.
- LACROIX, M.P., Martz, L.W., Kite, G.W., Garbrecht, J., 2002, *Using digital terrain analysis modeling techniques for the parameterization of a hydrologic model*, Environmental Modelling & Software 17 (2), 125–134.
- LEOPOLD, L. B. and Maddock, T. Jr., 1953, *The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications*, United States Department of the interior – U.S. Geological Survey, U.S.A.
- LEOPOLD, L.B., 1994, *A view of the river: Cambridge, Mass.*, Harvard University Press, 298 p.
- LIKENS, G. E. (1992). “The Ecosystem Approach: its Use and Abuse” in Excellence in Ecology Kinne”, *O. Ed. Book 3*, 165p.
- LINDNER, E. A.; and SILVEIRA, N. F. Q. (2003). “A legislação ambiental e as áreas ripárias”. In: *Anais do I Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas Ripárias*, Florianópolis, Set 2003, pp. 49-63.
- LOU, R.F., 2010, *Modelagem Hidrológica Chuva-vazão e Hidrodinâmica Aplicada na Bacia Experimental do Rio Piabanha/RJ*. Dissertação de M.Sc, Curso de Engenharia Civil – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- MADEJ, M.A.; OZAKI, V. *Channel response to sediment wave propagation and movement*, Redwood Creek, California, USA. Earth Surf. Processes Landforms, v.21, p.911-927, 1996.
- MAPILI, M, 2005, *A GIS Model for Identification of a Variable Width Buffer Zone in the Lower Fraser River Watersheds based on Land Use Water Quality Interactions*, Institute of Applied Science and Technology, Saskatchewan, Canada.

MCCUEN R. H.. *Hydrologic Analysis and Design*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 07458, 3rd edition, 2004. Acesso em: < <http://www.prenhall.com> >;

MENDES, C. A. B., Cirilo, J. A. 2001. “Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação.” *ABRH – Associação Brasileira de recursos Hídricos*, Porto Alegre, 2001.

MICHELI, E. R., KIRCHNER, J. W. (2002). “Effects of wet meadow riparian vegetation on streambank erosion. 1. Remote sensing measurements of streambank migration and erodibility”. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.27, p.627-639.

MUSCUTT, A. D.; HARRIS, G. L.; BAILEY, S. W.; and DAVIES, D. B. (1993). “Buffer zones to improve water quality: a review of their potential use in UK agriculture”. *Agriculture, Ecosystems and Environments*, v. 45, p. 59-77.

O’KEEFFE J., What are environmental flows? Background and rationale, UNESCOIHE, (2008), Disponível em:< [www.grh.ufba.br/%5Cecovazao%5CO'Keeffe\\_ENVIRONMENTAL%20FLOWS\\_alt.ppt](http://www.grh.ufba.br/%5Cecovazao%5CO'Keeffe_ENVIRONMENTAL%20FLOWS_alt.ppt) >

ORBONE, L. L.; and KOVACIC, D. A. (1993). “Riparian vegetated buffer strips in water quality restoration and stream management”. *Freshwater Biology*, v. 29, p. 243-258.

PARK, C. C., 1976, “World-wide variations in hydraulic geometry exponents of stream channels an analysis and some observations.” *Department of Geography - Saint David's University College, Lampeter, Dyfed, Great Britain*

PUSCH, M.; FIEBIG, D.; BRETTAR, I.; EISENMANN, H.; ELLIS, B. K.; KAPLAN, L. A.; LOCK, M. A.; NAEGELI, M. W.; TRAUNSPURGER, W. (1998) “The role of micro-organisms in the ecological connectivity of running waters”. *Freshwater Biology* (1998) 40, 453-495.

RADAMBRASIL (PROJETO), 1983, *Levantamento de Recursos Naturais do Brasil*, folhas SF.23/24, Rio de Janeiro/Vitória, vol. 32. 775p.

RIO DE JANEIRO. *Constituição Estadual do Rio de Janeiro*. 1989.



RIO DE JANEIRO. Define a base legal para estabelecimento da largura mínima da FMP. *Portaria SERLA (INEA) n° 324/2003*. 2003

RIO DE JANEIRO. Define as áreas de interesse especial do ERJ. *Lei Estadual 1.130/1987 e regulamentações*. 1987.

RIO DE JANEIRO. Demarcação das Faixas Marginais de Proteção nos processos de Licenciamento Ambiental e de Emissões de Autorizações Ambientais no ERJ. *Decreto Estadual 42.356/2010*. 2010.

RIO DE JANEIRO. Política Estadual de defesa e proteção das bacias fluviais e lacustres do Rio de Janeiro. *Lei Estadual n° 650/83*. 1983.

RIO DE JANEIRO. Política Estadual de Recursos Hídricos. *Lei 3.239/1999*. 1999.

SARTORI, A.; LOMBARDI N. F.; GENOVEZ, A. B., (2005) “Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação”. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, volume 10, n. 4, Out/Dez de 2005, p. 5 - 18.

SCARTAZZINI, L. S.; Kautzmann R. M.; FISCHER A. C.; (2007) “Critérios para Delimitar Áreas de Preservação Permanente em Rios de Planície de Inundação”. *RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, volume 13, n.3, Jul/Set de 2008, p. 83-91.

SCHIAVINI, I. (1996). “Environmental characterization and groups of species in gallery forests” in International Symposium on Assessment and Monitoring of Forests in Tropical Dry Regions with Special reference to Gallery Forests. Brasília: UNB, Proceedings, 1997. p. 107-113.

SILVA, R. V. (2003). “Estimativa de largura de faixa vegetativa para zonas ripárias: uma revisão” In: *Anais do I Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas Ripárias*, Florianópolis, Set 2003, pp. 74-86.

SIMÕES, L. B. ,2001, *Integração entre um modelo de simulação hidrológica e SIG na delimitação de zonas tampão ripárias*. Tese de D.Sc.. Faculdade de Ciências Agronômicas. UNESP-Botucatu, Brasil.

SINGH, Vijay P , 2003, *On the theories of hydraulic geometry*, Department of Civil and Environmental Engineering - Louisiana State University, Baton Rouge, LA.

THARME, R.E., 2003. "A Global Perspective on Environmental Flow Assessment: Emerging Trends in the Development and Application of Environmental Flow Methodologies for Rivers." *River Research and Applications*. 19: 397-441. Published online in Wiley Interscience ([www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com)).

THE JAPAN SOCIETY OF EROSION CONTROL ENGINEERING. (2000). "Management of Riparian Zone". Tokyo, Kokon-Shoin. 329p.

THE WORLD BANK, 2003. *Environmental Flows: Concepts and Methods*. Technical Note C.1. Washington D.C.

TUCCI, C.E.M. 2002. *Regionalização de Vazões*. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS. Agência Nacional de Águas e Agência Nacional de Energia Elétrica.

U.S. Soil Conservation Service, 1985, *National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology*, U.S. Department of Agriculture, D.C.

WAGNER. A. "Zonas Ripárias." *I Seminário de Hidrologia Florestal*. Anais. Santa Catarina. Setembro de 2003

WENGER, S. (1999). "A Review of the Scientific Literature on Riparian Buffer Width, Extent and Vegetation". *Institute of Ecology*. University of Georgia.

WENGER, S., 1999, "A Review of the Scientific Literature on Riparian Buffer Width, Extent and Vegetation". *Institute of Ecology* - University of Georgia , Athens, Georgia

WORLD BANK, 2003, *Environmental flows: concepts and methods*. Thecnical note C.128p.

YOUNG, R. A.; HUNTRODS, T.; and ANDERSON, W. (1980). "Effectiveness of vegetated buffer strips in controlling pollution from feedlot runoff". *J. Environ. Qual.* 9:483-487. 1980.

ZEERJ, 2008, *Uso e Cobertura do Solo do Estado do Rio de Janeiro* (escala 1:100.000). Disponível em: <<http://www.rj.gov.br/web/sea/exibeConteudo?article-id=282959>>. Acesso em 20 de março de 2012.