

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**KARLA LIBARDI GALLINA**

**ENQUADRAMENTO DE CORPOS DE ÁGUA EM  
PEQUENAS E MICRO BACIAS HIDROGRÁFICAS RURAIS DE  
BASE AGRÍCOLA FAMILIAR: SUBSÍDIOS À ELABORAÇÃO DA  
FASE DIAGNÓSTICA**

Vitória/ ES

2014

**KARLA LIBARDI GALLINA**

**ENQUADRAMENTO DE CORPOS DE ÁGUA EM  
PEQUENAS E MICRO BACIAS HIDROGRÁFICAS RURAIS DE  
BASE AGRÍCOLA FAMILIAR: SUBSÍDIOS À ELABORAÇÃO DA  
FASE DIAGNÓSTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Edmilson Costa  
Teixeira, Ph.D.

Vitória - ES

2014



KARLA LIBARDI GALLINA

**ENQUADRAMENTO DE CORPOS DE ÁGUA EM  
PEQUENAS E MICRO BACIAS HIDROGRÁFICAS RURAIS DE  
BASE AGRÍCOLA FAMILIAR: SUBSÍDIOS À ELABORAÇÃO DA  
FASE DIAGNÓSTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Ambiental**.

Aprovada em 17 de março de 2014.

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Prof. Edmilson Costa Teixeira, Ph.D.**  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador

---

**Prof. José Antônio Tosta dos Reis, D.S.C**  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador interno

---

**Prof. Yvonilde Dantas Pinto Medeiros**  
Universidade Federal da Bahia  
Examinador Externo

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pela vida.

Aos meus pais, Izabel e Carlos, e meu irmão, Carlos Eduardo, pelo amor, carinho, incentivo, paciência e auxílio para realização deste trabalho.

Ao professor e amigo Edmilson Costa Teixeira, pela oportunidade, paciência, atenção, orientação e apoio.

Aos companheiros e amigos do LabGest, Andressa, Danieli, Beatriz, Anna Paula, Sara, Taísa, Erick, Irlan, Cristina, Diogo e Marcos, pelas conversas sempre estimulantes, pelo apoio nos momentos difíceis e de cansaço.

Aos meus amigos, em especial a Laura e Kathy, e toda a minha família, que mesmo na incompreensão da minha ausência, torceram, rezaram e comemoram comigo.

Aos Grupos de Pesquisa GHIDROS (Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) e GERHI (Gestão de Recursos Hídricos) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), principalmente aos seus coordenadores, professores João Batista Dias de Paiva, Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva, Geraldo Lopes da Silveira e Jussara Cabral Cruz pelo apoio, atenção e disponibilização de conhecimento.

Aos examinadores professores José Antônio Tosta dos Reis e Yvonilde Dantas Pinto Medeiros.

Ao PPGEA/UFES, em especial a Rose Leão por toda atenção.

## RESUMO

Este trabalho tem como proposta geral fornecer subsídios para o desenvolvimento da fase diagnóstica do processo de Enquadramento de corpos de água superficiais de pequenas e micro bacias hidrográficas (PMBH). Sua justificativa ampara-se no fato de que a implementação de processos de Enquadramento ainda é restrita, principalmente, no que tange as PMBH, escala de gestão ainda não considerada pelo gerenciamento de recursos hídricos. Apresenta como objetivos a identificação, análise e seleção de itens de diagnósticos adotados em processos de Enquadramento; avaliação quanto as particularidades / especificidade quanto à utilização desses itens de diagnóstico para a realidade de PMBH, e por fim, a proposição de diretrizes para o estabelecimento de procedimentos orientativos para avaliações diagnósticas para fins de Enquadramento de corpos de água superficiais em PMBH. Metodologicamente, embasado por meio de análise de estudos técnicos e científicos, os itens de diagnóstico identificados foram agrupados de forma sistematizada, e realizada avaliação quanto a aplicabilidade desses itens na elaboração de diagnóstico para Enquadramento em PMBH. Como resultado, mostrou ser possível obter maior nível de detalhamento para os itens de diagnósticos sugeridos pela Resolução nº 91/08 do CNRH no Artigo 4º. Apresentou como produto, um conjunto de itens de diagnóstico de referência para a fase de avaliações diagnósticas do Enquadramento. Também demonstrou haver, de fato, particularidades que devem ser levadas em consideração quanto ao desenvolvimento de estudos de Enquadramento em pequenas regiões hidrográficas. Além disso, com a proposição de diretrizes para o estabelecimento de procedimentos orientativos para a fase de diagnósticos do Enquadramento, verificou que os desafios para tornar realidade o Enquadramento de corpos de água superficiais em PMBH são de natureza financeira, política e técnico-científica.

Palavras chaves: Enquadramento de corpos de água; pequenas e micro bacias hidrográficas; gestão de recursos hídricos.

## **ABSTRACT**

This work has the overall proposal provide grants for the development of the diagnostic phase of the framework of bodies of surface water from small and micro watersheds (PMBH). His justification sustains the fact that the implementation of processes framework is still limited, mainly regarding the PMBH, management scale not seen for managing water resources. Presented as objective the identification, analysis and selection of diagnostic criteria adopted in the framework processes; review as the particularities / specificity regarding the use of these diagnostic items for PMBH reality, and finally, to propose guidelines for the establishment of guidance procedures for diagnostic evaluations for purposes of framework of bodies of surface water in PMBH. Methodologically grounded through analysis of technical and scientific studies, diagnostic items identified were grouped in a systematic way, and conducted assessment as to the applicability of these items in preparation for diagnostic framework in PMBH. As a result, proved possible to obtain greater detail for the items of diagnoses suggested by Resolution No. 91/08 CNRH in Article 4. Presented as a product, a set of items of diagnostic reference to the stage of diagnostic evaluations of the Framework. Also showed that there was indeed particularities that should be taken into consideration for the development of studies in small river basin framework. Furthermore, with the proposal of guidelines for establishing a guideline for the diagnostic phase of the framework procedures, found that the challenges to make reality the framework of bodies of surface water in PMBH are financial and technical-scientific, political.

**Keywords:** water quality; small and micro watersheds; management of water resources.

## **LISTA DE SIGLAS**

|          |                                                                             |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------|
| ANA -    | Agencia Nacional de Águas                                                   |
| CIDR -   | Conjunto de Itens de Diagnóstico de Referência                              |
| CNARH -  | Cadastro nacional de Usuários de Recursos Hídricos                          |
| CNRH -   | Conselho Nacional de Recursos Hídricos                                      |
| CONAMA - | Conselho Nacional de Meio Ambiente                                          |
| PCJ -    | Rios Piracicaba, Capivarí e Jundiaí                                         |
| PMBH -   | Pequenas e Micro Bacias Hidrográficas                                       |
| PNRH -   | Política Nacional de Recursos Hídricos                                      |
| RGM -    | Roteiro Geral Metodológico para Enquadramento e Planos de Recursos Hídricos |
| UFSM -   | Universidade Federal de Santa Maria                                         |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 4-1– Relação de estudos de caso de proposta de Enquadramento de corpos de águas superficiais considerados na seleção de itens de diagnósticos para emprego no desenvolvimento da parte do trabalho que trata do Enquadramento aplicado a PMBH..... | 37 |
| Quadro 5-1 – Aspectos de diagnóstico identificados para as categorias “Caracterização Geral” e “Biofísico” para emprego em análises diagnósticas para fins de Enquadramento.....                                                                          | 40 |
| Quadro 5-2 - Aspectos de diagnóstico identificados para as categorias “Caracterização Geral” e “Biofísico” para emprego em análises diagnósticas para fins de Enquadramento.....                                                                          | 43 |
| Quadro 5-3 - Conjunto de itens de diagnóstico de referência para fins de elaboração de avaliações diagnósticas de propostas de Enquadramento de corpos de água ....                                                                                       | 49 |
| Quadro 5-4 - Subsídios à diretrizes para avaliações diagnósticas para fins de Enquadramento de corpos de água superficiais em PMBH. ....                                                                                                                  | 85 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3-1 – Usos das Águas Doces – Sistema de Classes – Adaptado de ANA (2012).....                                                                       | 19 |
| Figura 3-2 - Etapas do Processo de Enquadramento de Corpos de Água - ANA (2009).....                                                                       | 21 |
| Figura 3-3– Roteiro Geral Metodológico para Enquadramento e Planos de Recursos Hídricos [adaptado de LABGEST (2011b)].....                                 | 24 |
| Figura 4-1 - Agrupamento em categorias dos itens de diagnóstico para fins de Enquadramento de corpos de água do Art. 4º da Resolução 91/2008-CNRH. ....    | 35 |
| Figura 5-1 - Representação da dominialidade federal de bacia hidrográfica - bacia do rio Doce.....                                                         | 51 |
| Figura 5-2 - Identificação e mapeamentos de divisão político-administrativa de bacias hidrográficas em várias escalas.....                                 | 52 |
| Figura 5-3 - Delimitação das unidades de análise e dos rios de interesse para o Enquadramento de corpos de água na bacia do rio Paranaíba (ANA, 2012)..... | 53 |
| Figura 5-4 – Tipos de solo da unidade de análise Santa Maria do Doce / bacia do rio Doce (IGAM, 2010a) / Cartas Topográficas IBGE 2009 1:100.000 .....     | 55 |
| Figura 5-5 – Tipos de solo da microbacia do córrego Sossego - adaptado de POLONI (2010) .....                                                              | 56 |
| Figura 5-6 – Diversidade de uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas de escalas distintas .....                                                      | 58 |
| Figura 5-7 – Nível de detalhamento de vias de acesso terrestre em bacias hidrográficas de diferentes escalas de análise.....                               | 61 |
| Figura 5-8- Hidrografia bacia do rio Paranaíba ( ANA, 2010).....                                                                                           | 62 |
| Figura 5-9- Hidrografia da microbacia do córrego Três Barras, Marinópolis/SP - SILVA (2010).....                                                           | 63 |
| Figura 5-10– Identificação do uso da água para proposta de Enquadramento (ANA, 2012) .....                                                                 | 65 |
| Figura 5-11– Identificação dos usos preponderantes por trecho de corpos hídricos da bacia do rio Paranaíba (ANA, 2012).....                                | 67 |
| Figura 5-12 - Matriz da proposta de Enquadramento dos rios Santana e Aporé/ afluentes do rio Paranaíba (ANA, 2012).....                                    | 69 |
| Figura 5-13– Estações fluviométricas e pluviométricas localizadas na bacia do rio Verde – (IGAM 2009). ....                                                | 71 |
| Figura 5-14–Localização das estações fluviométricas na bacia do rio Santa Joana - (IGAM, 2010a).....                                                       | 72 |
| Figura 5-15– Localização das estações pluviométricas peq. bacia do córrego Sossego (Labgest, 2011a) .....                                                  | 73 |

|                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 5-16– Precipitação média anual e distribuição mensal em estações pluviométrica de bacia de grande escala – (ANA, 2012).....                                                          | 74 |
| Figura 5-17 – Exemplo de rede de monitoramento qualitativo em bacia de grande porte .....                                                                                                   | 78 |
| Figura 5-18- Exemplos de características de corpos hídricos de portes distintos .....                                                                                                       | 79 |
| Figura 5-19– Simulações matemáticas utilizadas para espacialização da qualidade de água em cursos de água em estudos de diagnósticos para fins de Enquadramento.....                        | 82 |
| Figura 5-20 – Percentuais de resultados não conformes em relação aos padrões de qualidade da classe 2, período de chuva e estiagem – Bacia dos rios das Mortes e Jacaré (IGAM, 2010b) ..... | 84 |

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                                                                                                                                                                                 | 14 |
| 2. OBJETIVOS.....                                                                                                                                                                                                                  | 17 |
| 2.1. Geral .....                                                                                                                                                                                                                   | 17 |
| 2.2. Específicos.....                                                                                                                                                                                                              | 17 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                                                                                                                                                                                                     | 18 |
| 3.1. Enquadramento de Corpos de Água.....                                                                                                                                                                                          | 18 |
| 3.2. Pequenas e Micro Bacias Hidrográficas (PMBH).....                                                                                                                                                                             | 25 |
| 3.3. Aspectos Quantitativo dos Recursos Hídricos .....                                                                                                                                                                             | 26 |
| 3.4. Aspectos Qualitativo dos Recursos Hídricos.....                                                                                                                                                                               | 28 |
| 3.5. Aspectos intervenientes na qualidade da água.....                                                                                                                                                                             | 31 |
| 4. METODOLOGIA.....                                                                                                                                                                                                                | 34 |
| 4.1. Identificação de itens de diagnósticos considerados em processos de Enquadramento de corpos de água superficiais.....                                                                                                         | 34 |
| 4.2. Análise dos itens de diagnósticos identificados e seleção de alguns para emprego no desenvolvimento da parte do trabalho que trata do Enquadramento aplicado a PMBH.....                                                      | 36 |
| 4.3. Identificação e avaliação das particularidades / especificidade quanto à utilização dos aspectos de diagnóstico selecionados no desenvolvimento de avaliações diagnósticas para o Enquadramento de corpos de água em PMBH.... | 38 |
| 4.4. Proposição de diretrizes para o estabelecimento de procedimentos orientativos ao desenvolvimento da fase diagnóstica do Enquadramento de corpos de água superficiais de PMBH.....                                             | 39 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                                                                                                                                                                                                    | 40 |
| 5.1. Identificação de itens de diagnóstico considerados em processos de Enquadramento de corpos de água superficiais.....                                                                                                          | 40 |
| Identificação de itens de diagnóstico para emprego em análises diagnósticas para fins de Enquadramento.....                                                                                                                        | 40 |
| 5.2. Análise dos itens de diagnósticos identificados e seleção de alguns para emprego no desenvolvimento da parte do trabalho que trata do Enquadramento aplicado a PMBH.....                                                      | 42 |
| 5.2.1. Itens de diagnóstico identificados - emprego na fase de Diagnóstico do Enquadramento por todos os estudos de caso.....                                                                                                      | 42 |
| 5.2.2. Itens de diagnóstico identificados – utilização nas fases de Prognóstico e Elaboração de Propostas de Enquadramento por todos os estudos de caso.....                                                                       | 48 |
| 5.2.3. Seleção de itens de diagnóstico para emprego na seção 5.3 .....                                                                                                                                                             | 48 |
| 5.3. Identificação e avaliação de particularidades / especificidade quanto à utilização dos itens de diagnóstico selecionados no desenvolvimento de avaliações diagnósticas para o Enquadramento de corpos de água em PMBH....     | 50 |
| 5.3.1. Caracterização Geral .....                                                                                                                                                                                                  | 50 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.3.1.1. Subcategoria I - caracterização geral da bacia hidrográfica e do uso e ocupação do solo incluindo a identificação dos corpos de água superficiais e subterrâneos e suas interconexões hidráulicas .....                                                                                     | 50 |
| 5.3.2. Biofísico.....                                                                                                                                                                                                                                                                                | 64 |
| 5.3.2.1. Subcategoria II - identificação e localização dos usos e interferências que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água, destacando os usos preponderantes .....                                                                                    | 64 |
| 5.3.2.2. Subcategoria III - identificação, localização e quantificação das cargas das fontes de poluição pontuais e difusas atuais, oriundas de efluentes domiciliares, industriais, de atividades agropecuárias e de outras fontes causadoras de degradação dos recursos hídricos superficiais..... | 67 |
| 5.3.2.3. Subcategoria IV – disponibilidade e condições de qualidade das águas superficiais.....                                                                                                                                                                                                      | 70 |
| 5.4. Propor diretrizes para o estabelecimento de procedimentos orientativos ao desenvolvimento da fase diagnóstica do Enquadramento de corpos de água superficiais de PMBH. ....                                                                                                                     | 84 |
| 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....                                                                                                                                                                                                                                                                  | 88 |
| 6.1. CONCLUSÕES.....                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 88 |
| 6.2. RECOMENDAÇÕES .....                                                                                                                                                                                                                                                                             | 90 |
| 7. REFERÊNCIAS .....                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 91 |

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda de água tem contribuído para uma constante evolução no gerenciamento dos recursos hídricos. Observa-se que a escassez e os conflitos envolvendo os usos múltiplos da água são cada vez mais significativos, uma vez que a disponibilidade hídrica é um fator fundamental ao desenvolvimento econômico, social e cultural de uma região (BRITES, 2010).

Na área da gestão de recursos hídricos muitos avanços já foram obtidos, principalmente com a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (Lei 9433/97), que apresenta o desenvolvimento sustentável regional como seu objetivo central, adotando a bacia hidrográfica como espaço geográfico para a sua implementação. Além disso, estabelece uma série de instrumentos de gestão de recursos hídricos que visam, entre outros objetivos, “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (BRASIL, 1997).

Como instrumentos da PNRH incluem-se os Planos de Recursos Hídricos, o Enquadramento de Corpos de Água, a Outorga, a Cobrança pelo Uso da Água e os Sistemas de Informações sobre Recursos Hídricos. Esses, teoricamente, no seu conjunto, permitem a atuação da gestão dos recursos hídricos nas várias escalas geográficas, incluindo as pequenas/micro bacias hidrográficas (LABGEST, 2011a).

Vale ressaltar, porém, que o Enquadramento é referência para os demais instrumentos de gestão de recursos hídricos (ANA, 2009) e que, portanto, é relevante criar subsídios que colaborem para sua operacionalização.

Segundo a resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005), o Enquadramento de corpos de água é definido como o “estabelecimento de metas de qualidade da água, as quais devem ser, obrigatoriamente, alcançadas e/ou mantidas em um segmento de corpo hídrico ao longo do tempo, para garantir aos usuários a qualidade necessária ao atendimento de seus usos”.

Apesar de se conhecer os benefícios do enquadramento de corpos de água, a sua implementação é considerada um desafio para o sistema de gerenciamento de recursos hídricos no Brasil (MAGALHÃES Jr., 2007), visto que são poucas as

experiências de aplicação desse instrumento de gestão, seguindo a nova política de recursos hídricos (ANA, 2011). Para Brites (2010) e Amaro (2009), sua implementação ainda é restrita devido, principalmente, a três fatores: falta de conhecimento/entendimento sobre o instrumento; dificuldades metodológicas para sua aplicação; e insuficiência de ações de gestão e de recursos fundamentais para sua efetivação.

Quando implementado, o Enquadramento tem, normalmente, sido feito apenas considerando as ordens maiores de cursos d'água, ou seja, dos rios principais. No geral, não chegando ao nível de corpos hídricos em pequena/micro bacias (IGAM, 2010, ANA, 2011).

Segundo a Resolução nº 91 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH nº 91/08), que dispõe sobre procedimentos gerais para o Enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos, para a implementação desse instrumento cinco fases são consideradas: diagnóstico da bacia; prognóstico da bacia; elaboração da proposta de enquadramento; análise e deliberações do Comitê da Bacia e do Conselho de Recursos Hídricos; e implementação do programa de efetivação.

A fase de diagnóstico da bacia, que é objeto do presente trabalho, consiste: de caracterização geral da bacia, incluindo a agregação de dados hidrológicos, físicos, bióticos e atividades econômicas; da identificação de fontes de poluição e dos conflitos (existentes e potenciais); da verificação do nível de participação; e da mobilização social local/regional e articulação institucional, etc.

Amaro (2009) e Vanzela (2010) reforçam a importância do desenvolvimento de um extenso diagnóstico da situação atual da bacia, principalmente em função dos usos dos recursos hídricos e os respectivos impactos sobre a qualidade da água. Porém, existem dificuldades técnicas e operacionais no que se refere ao desenvolvimento de avaliações diagnósticas para fins de Enquadramento de corpos de água na escala de pequenas/micro bacias hidrográficas.

Entre elas encontram-se os problemas relacionados à aplicação de modelos hidrológicos, principalmente em relação à precisão das estimativas, devido, entre outros, à baixa densidade de redes de monitoramento hidrológico (SILVEIRA e

TUCCI, 1998). Outra restrição refere-se à falta de preparação comunitária para atuar em suporte à co/auto-gestão de recursos hídricos, prevista na PNRH como sendo descentralizada e participativa (LOPES, 2011).

Experiências de projetos de manejo de recursos naturais em subsídio à gestão formal de recursos hídricos são observadas no Brasil a partir da década de 80 nos estados do Paraná e Santa Catarina, nos anos 90 em São Paulo, e no Rio de Janeiro em 2006 (POLONI, 2010). Esses programas definiram a microbacia hidrográfica como unidade de planejamento, intervenção e avaliação, estabelecendo um novo marco na abordagem das questões socioambientais para o meio rural (ATTANASIO, 2004).

No estado do Espírito Santo, o Planejamento Estratégico de Desenvolvimento da Agricultura Capixaba – PEDEAG-ES 2007-2025 (ESPIRITO SANTO, 2008), instrumento de importância central para o desenvolvimento rural do estado, adota a microbacia como unidade de planejamento e intervenção. Nessas regiões, em grande parte do Estado, compostas por pequenas propriedades de base agrícola familiar, os conflitos por acesso a água em quantidade têm sido grandes devido à escassez hídrica (LOPES, 2011), que, certamente, será agravada se a qualidade de água dos corpos hídricos passar a ser efetivamente considerada.

Face ao exposto acima, foram definidos os objetivos do presente trabalho, que são apresentados no capítulo a seguir.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

Fornecer subsídios para o desenvolvimento da fase diagnóstica do processo de Enquadramento de corpos de água superficiais, de pequenas e micro bacias hidrográficas (PMBH), situadas em regiões rurais e constituídas, principalmente, de pequenas propriedades agrícolas de base familiar.

### **2.2. Específicos**

- a. Identificar itens de diagnósticos considerados em processos de Enquadramento de corpos de água superficiais.
- b. Analisar os itens de diagnósticos identificados e selecionar alguns para emprego no desenvolvimento da parte do trabalho que trata do Enquadramento aplicado a PMBH.
- c. Identificar e avaliar as particularidades / especificidades quanto à utilização dos itens de diagnóstico selecionados no desenvolvimento de avaliações diagnósticas para o Enquadramento de corpos de água em PMBH.
- d. Propor diretrizes para o estabelecimento de procedimentos orientativos ao desenvolvimento da fase diagnóstica do Enquadramento de corpos de água superficiais de PMBH.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Enquadramento de Corpos de Água**

O Enquadramento de corpos de água é um dos instrumentos da PNRH fundamental para o gerenciamento de recursos hídricos, principalmente no que se refere à gestão integrada de quantidade e qualidade da água (PORTO, 2002a). Além de assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas, este instrumento também objetiva diminuir os custos de combate à poluição - mediante ações preventivas permanentes e assegurar a qualidade dos recursos hídricos, considerando a saúde e o bem-estar humano, assim como o equilíbrio ecológico aquático (BRITES, 2010).

Este instrumento não se baseia necessariamente no estado atual da qualidade das águas dos corpos hídricos a serem enquadrados, mas nos níveis de qualidade que um corpo d'água deveria possuir para atender as necessidades definidas pela sociedade (LEEUESTEIN e MONTEIRO, 2000).

O Enquadramento é o instrumento da gestão de recursos hídricos que apresenta a mais estreita relação com a ocupação, uso e manejo do solo - fatores determinantes para o nível de desenvolvimento de uma região (MARINATO, 2008; TEDESCO, 2009). É também o instrumento que mais favorece a aplicação de um dos principais fundamentos da PNRH (e de suas derivações estaduais, como é o caso da Política Estadual de Recursos Hídricos, Lei 5818/98) que é a gestão participativa.

Sendo um instrumento de planejamento, o enquadramento deve conter os critérios necessários para atender aos objetivos prioritários locais, determinando medidas eficazes para sua execução. Na medida em que as necessidades fundamentais e imediatas fossem atingidas, em prazos especificados pelo enquadramento, novas metas seriam especificadas para o atendimento dos parâmetros secundários.

As principais regulamentações para o enquadramento de corpos de água são as resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). A Resolução CONAMA 357/05, de 17 de março de 2005, define o sistema de classificação dos corpos d'água e diretrizes

ambientais para o enquadramento, e a Resolução CNRH 91/08, de 5 de novembro de 2008, trata dos procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos.

A resolução CONAMA 357/05 classifica as águas do território brasileiro, de acordo com a sua salinidade, em águas doces (salinidade inferior ou igual a 0,5%) salobras (salinidade entre 0,5% e 30%) e salinas (salinidade superior a 30%). Quanto às águas doces, a referida Resolução as classifica em cinco classes, sendo elas: classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4. Uma esquematização resumida das classes definidas por essa resolução para as águas doces, bem como dos usos a que são destinadas, pode ser visualizada na Figura 3.1:

|                                                                                                                                               |                         |                                                             |                                                              |                                               |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---|
|  Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas |                         |                                                             |                                                              |                                               |   |
|  Proteção das comunidades aquáticas                         |                         | Mondolônio em Terras Indígenas                              |                                                              |                                               |   |
|  Recreação de contato primário                             |                         |                                                             |                                                              |                                               |   |
|  Aquicultura e pesca                                       |                         |                                                             |                                                              |                                               |   |
|  Abastecimento para consumo humano                         | Após desinfecção        | Após tratamento simplificado                                | Após tratamento convencional                                 | Após tratamento convencional ou avançado      |   |
|  Recreação de contato secundário                           |                         |                                                             |                                                              |                                               |   |
|  Pesca esportiva                                           |                         |                                                             |                                                              |                                               |   |
|  Irrigação                                                 |                         | Hortaliças consumidas cruas e frutas ingeridas com película | Hortaliças, frutíferas, parques, jardins e campos de esporte | Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras |   |
|  Dessedentação de animais                                  |                         |                                                             |                                                              |                                               |   |
|  Navegação                                                 |                         |                                                             |                                                              |                                               |   |
|  Harmonia paisagística                                     |                         |                                                             |                                                              |                                               |   |
|                                                                                                                                               | Especial                | 1                                                           | 2                                                            | 3                                             | 4 |
|                                                                                                                                               | CLASSE DE ENQUADRAMENTO |                                                             |                                                              |                                               |   |

**Figura 3-1 – Usos das Águas Doces – Sistema de Classes – Adaptado de ANA (2012)**

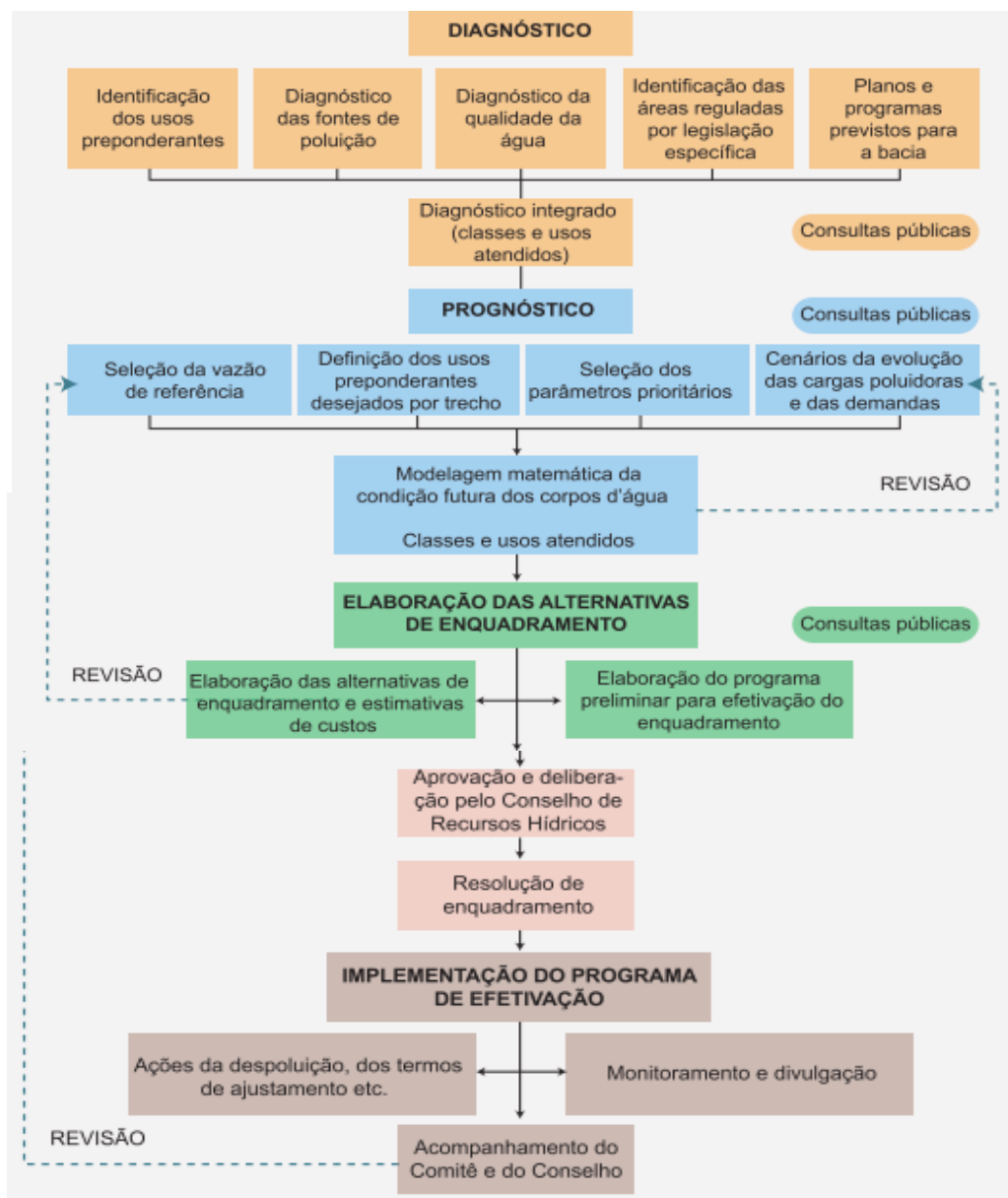
A publicação da Resolução CONAMA nº 357, de 2005, representou um importante avanço em termos técnicos e institucionais para a gestão da qualidade das águas. Entre estes avanços, podem ser destacados: a inclusão de novos atributos de

qualidade de águas; a definição de que as metas de qualidade da água deverão ser atingidas em regime de vazão de referência, excetuados os casos em que a determinação hidrológica dessa vazão não seja possível; e a definição do conceito de progressividade para o alcance das metas de enquadramento.

A identificação dos usos preponderantes equivale à análise das demandas mais importantes - ou que prevalecem - entre todos os outros usos dos recursos hídricos na bacia hidrográfica. Os usos a serem considerados são aqueles previstos nas classes de enquadramento pela Resolução Conama 357/05 (BRASIL, 2005): abastecimento para consumo humano; preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas, preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação e proteção integral; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário e secundário; irrigação; aquicultura e pesca; dessedentação de animais; navegação, harmonia paisagística, além da observação de outros usos como o industrial, a mineração e a produção hidroelétrica, caso sejam relevantes para a realidade da bacia hidrográfica.

O processo para implementação do enquadramento é dividido em cinco fases principais: diagnóstico da bacia; prognóstico da bacia; elaboração da proposta de enquadramento; análise e deliberações do Comitê da Bacia e do Conselho de Recursos Hídricos; e implementação do programa de efetivação (Figura 3.2).

Via de regra, a elaboração do “Diagnóstico” da bacia hidrográfica tem foco na situação atual da qualidade das águas em cursos d’água superficiais em relação aos seus usos, considerando, entre outros, aspectos biofísicos, socioeconômicos e geopolíticos interdependentes. São observados os aspectos relacionados à disponibilidade, à demanda, à qualidade da água, aos usos do solo, aos usos da água e aos conflitos a eles relacionados. Esses aspectos técnicos deverão estar referidos à dinâmica sócio-ambiental da região e envolver a articulação das diferentes áreas do conhecimento relacionadas ao tema (AMARO, 2009).



**Figura 3-2 - Etapas do Processo de Enquadramento de Corpos de Água - ANA (2009)**

Na etapa de “Prognóstico” devem ser determinados os cenários de desenvolvimento e de ocupação da bacia para o horizonte de planejamento adotado. Deve-se estabelecer adicionalmente os seguintes itens: usos pretendidos dos corpos d’água; estimativa do crescimento populacional, das atividades industriais e agrícolas; escolha dos parâmetros prioritários para o enquadramento; vazão de referência para o enquadramento; evolução das disponibilidades e demandas de água e das cargas poluidoras; modelagem da quantidade e qualidade dos corpos hídricos, entre outros.

Para a “elaboração das alternativas de enquadramento” é fundamental considerar as análises geradas nas fases de diagnóstico e prognóstico e, assim, realizar uma avaliação para o estabelecimento das classes de enquadramento. Com isso, identificar os trechos que apresentam homogeneidade com relação aos usos preponderantes e a condição atual, como também os trechos que apresentam parâmetros em desconformidade em relação à classe pretendida para o corpo d’água.

Quando se atinge a fase de “efetivação do enquadramento” são necessários investimentos e ações de natureza regulatória, a fim de se atingir a meta final da qualidade da água desejada. Assim, a definição das ações necessárias e prazos para o alcance dessas metas devem compor um programa a ser aprovado pelo respectivo Comitê.

O processo de enquadramento deverá ser elaborado no âmbito da bacia hidrográfica e deverá ser desenvolvido de maneira participativa e descentralizada. É um pacto entre todos os usuários, sociedade civil e governo, e suas metas somente podem ser alcançadas quando há compreensão da necessidade de se enquadrar e de suas consequências socioeconômicas e ambientais (BRITES, 2010 e LABGEST,2010) .

A implementação do Enquadramento de corpos de água apresenta uma situação bastante diversa entre os estados brasileiros. Com relação aos corpos d’água de domínio estadual, atualmente apenas 11 das 27 unidades da Federação (Alagoas, Bahia, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo) possuem instrumentos legais que enquadram total ou parcialmente seus corpos d’água (ANA, 2011). Outros estados, como Espírito Santo e Pernambuco, iniciaram o processo de contratação de empresa especializada para elaboração do Enquadramento e Plano. Com relação as bacias de domínio da união, as bacia do PCJ, Doce, Paranaíba e São Francisco apresentaram proposta de efetivação para o instrumento enquadramento de corpos de água (ANA, 2012a).

## **Procedimentos para elaboração da fase de diagnóstico para fins de Enquadramento de corpos de água**

Em ANA (2009), o procedimento para elaboração do diagnóstico é baseado em quatro etapas (Figura 3.2): identificação dos usos preponderantes; diagnóstico das fontes de poluição e da qualidade de água; identificação das áreas reguladas por legislação específica; e descrição dos planos e programas previstos para a bacia.

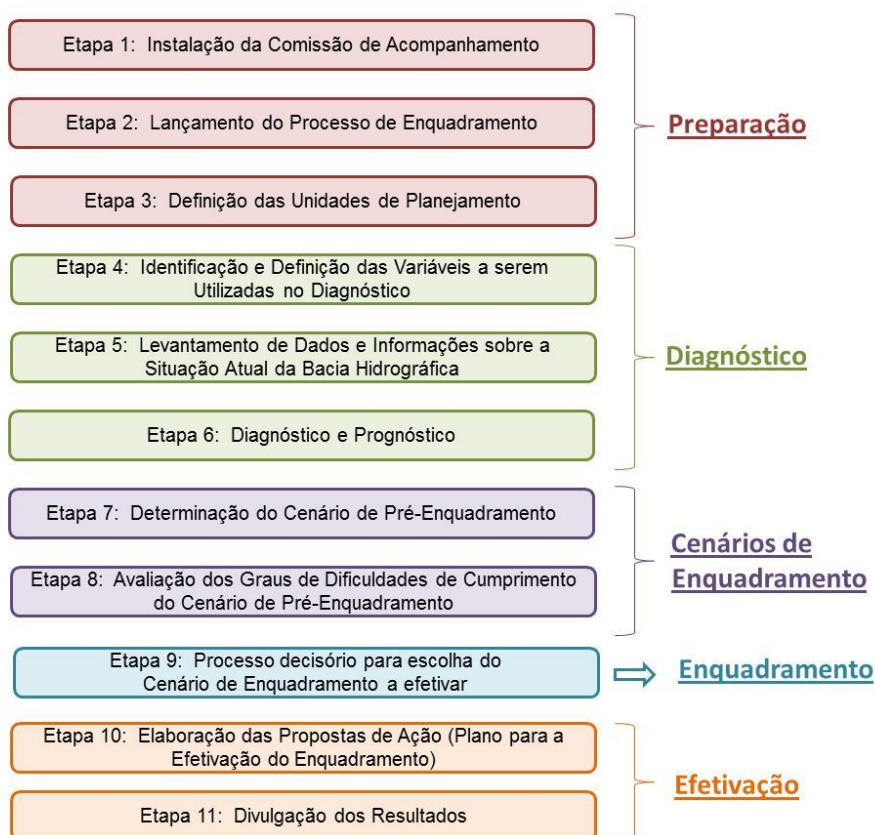
A Resolução CNRH 91/08 (BRASIL, 2008) aponta que o diagnóstico deve abordar os seguintes itens:

- I - caracterização geral da bacia hidrográfica e do uso e ocupação do solo incluindo a identificação dos corpos de água superficiais e subterrâneos e suas interconexões hidráulicas;
- II - identificação e localização dos usos e interferências que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água, destacando os usos preponderantes;
- III - identificação, localização e quantificação das cargas das fontes de poluição pontuais e difusas atuais, oriundas de efluentes domiciliares, industriais, de atividades agropecuárias e de outras fontes causadoras de degradação dos recursos hídricos superficiais;
- IV – disponibilidade, demanda e condições de qualidade das águas superficiais;
- V - potencialidade e qualidade natural das águas subterrâneas;
- VI - mapeamento das áreas vulneráveis e suscetíveis a riscos e efeitos de poluição, contaminação, superexploração, escassez de água, conflitos de uso, cheias, erosão e subsidência, entre outros;
- VII - identificação das áreas reguladas por legislação específica;
- VIII - arcabouço legal e institucional pertinente;
- IX - políticas, planos e programas locais e regionais existentes, especialmente os planos setoriais, de desenvolvimento socioeconômico, plurianuais governamentais, diretores dos municípios e ambientais e os zoneamentos ecológico-econômico, industrial e agrícola;
- X - caracterização socioeconômica da bacia hidrográfica;
- XI – capacidade de investimento em ações de gestão de recursos hídricos

LEEUESTEIN e MONTEIRO (2000), sugerem que a fase de diagnósticos deve conter a Caracterização geral da bacia hidrográfica; Aspectos jurídicos e institucionais; Aspectos socioeconômicos; Uso e ocupação atual do solo; Identificação das áreas reguladas por legislação específica e das áreas em processo de degradação; Usos, disponibilidade e demanda atual de águas superficiais e subterrâneas; Identificação das fontes de poluição pontuais e difusas atuais; Estado atual dos corpos hídricos, apresentando a condição de qualidade por trecho.

O Roteiro Geral Metodológico para Enquadramento e Planos de Recursos Hídricos (RGM), desenvolvido no âmbito de projeto de pesquisa no tema enquadramento de corpos de água na escala de bacia hidrográfica de gestão formal de recursos hídricos (LABGEST, 2011b), apresenta três etapas a serem seguidas na fase de Diagnóstico, ilustradas na Figura 3.3: identificação e definição das variáveis a serem utilizadas no Diagnóstico; levantamento de dados e informações sobre a situação atual da bacia hidrográfica; e elaboração do Diagnóstico. A especificação das atividades de cada etapa é similar à apresentada por ANA (2009), no entanto, o que difere é a ênfase na identificação dos aspectos sócio-econômico-culturais da região hidrográfica a ser estudada.

#### Roteiro Geral Metodológico para Enquadramento e Planos de Recursos Hídricos



**Figura 3-3– Roteiro Geral Metodológico para Enquadramento e Planos de Recursos Hídricos [adaptado de LABGEST (2011b)].**

Assim, ao analisar os procedimentos descritos acima, o diagnóstico para fins de Enquadramento de corpos de água deve reunir o maior número de informações

disponíveis sobre a situação atual da bacia hidrográfica, em especial, com relação aos usos dos recursos hídricos e aos impactos sobre os cursos d'água decorrentes das atividades antrópicas. Essas informações deverão ser sistematizadas e consolidadas, elaborando assim um diagnóstico integrado da situação atual da bacia, a ser apresentado à comunidade por meio de consultas públicas. É fundamental que o diagnóstico considere as relações de causa e efeito que determinam as condições de qualidade e quantidade de recursos hídricos da bacia hidrográfica a ser enquadrada (ANA, 2009; GONÇALVES, 2008; MEDEIROS, 2007).

### **3.2. Pequenas e Micro Bacias Hidrográficas (PMBH)**

A literatura aponta sobre a relevância de se realizar estudos sobre o comportamento hidrológico de pequenas bacias hidrográficas para, entre outros pontos, avaliar a sua real disponibilidade hídrica, e necessidade de complementar a rede de informações hidrológicas no país (SANTOS e HERNANDES, 2013; HORN, 2012).

No que tange à questão da preservação ambiental, quando do uso de uma pequena bacia hidrográfica para determinado tipo de aproveitamento dos recursos naturais, é necessário avaliar os impactos possíveis em relação às suas condições naturais, de modo a permitir um desenvolvimento sustentável para a região. Essas condições naturais da bacia devem ser caracterizadas pelas respectivas ofertas hídricas qualitativas (SILVEIRA, 1997).

De acordo com as características das PMBH, sua disponibilidade hídrica pode ser melhor aproveitada caso ocorra conservação e manejo do solo e das áreas de preservação permanente, a fim de se evitar os picos de vazão, favorecendo a infiltração e a disponibilidade de água nessas regiões hidrográficas (BARBOZA, 2010). Dessa forma, com a elaboração de informações quantificadas (diagnósticos) sobre as avaliações de qualidade e disponibilidade de água dos ecossistemas aquáticos é possível prever ações de manejo da água em uma bacia hidrográfica e propor soluções aos tomadores de decisões sobre as condições dos recursos hídricos de uma pequena região hidrográfica (FRANCO E HERNANDEZ, 2012).

Do ponto de vista da gestão de recursos hídricos, as pequenas e micro bacias hidrográficas rurais podem colaborar com o gerenciamento hídrico ao possibilitar estudos de aproveitamento de pequenos mananciais. Ao mesmo tempo, facilitam a identificação de conflitos e demandas de uso de água, já que as atividades nessas bacias são diretamente dependentes da água (TEIXEIRA et. al, 2010). O monitoramento quali-quantitativo das PMBH, pode ser uma ferramenta que auxilia no planejamento hidroagrícola e ambiental favorecendo o conhecimento da retirada de água ou lançamento de águas residuárias em um manancial.

### **Definição de dimensões**

A classificação de bacias hidrográficas em grandes e pequenas apresenta um certo grau de subjetividade (GOLDENFUM, 2001). Do ponto de vista da hidrologia, essa classificação não é vista somente pela dimensão da área de drenagem da bacia, mas também considera os efeitos de alguns fatores como: sensibilidade a precipitação, geração do deflúvio, topografia, uso do solo (cobertura vegetal). Sendo que, as alterações na quantidade e qualidade da água do deflúvio, em função de chuvas intensas e ou em função de mudanças no solo, são detectadas com mais sensibilidade nas pequenas e micros bacias do que nas bacias de grande porte (SILVA, 2010).

Com o objetivo de estruturar os programas de monitoramento hidrológicos, estudos como Silva (2010); Silveira e Tucci (1998); Tamiosso (2012); Molina (2006); Minoti (2006) definem e delimitam pequenas bacias hidrográficas como sendo aquelas com área em torno de 100 km<sup>2</sup>. Dessa forma, para facilitar a compreensão dos exemplos apresentados no presente estudo, pequenas bacias serão definidas com área de drenagem em torno de 100 km<sup>2</sup>, e micro bacias com área de drenagem em torno de 50 km<sup>2</sup>.

### **3.3. Aspectos Quantitativo dos Recursos Hídricos**

Para um gerenciamento satisfatório dos potenciais hídricos disponíveis em uma região, é fundamental conhecer o comportamento dos corpos d'água, suas sazonalidades e vazões. Com isso, a estimativa da disponibilidade hídrica de uma

bacia hidrográfica é considerada uma ferramenta necessária para a elaboração de diagnóstico para fins de Enquadramento de corpos de água. Uma vez que, o conhecimento dessas informações pode proporcionar um adequado planejamento do uso e da gestão compartilhada dos recursos hídricos, minimizando assim, os conflitos entre os diversos usuários de água de uma região hidrográfica (SILVA, 2010; SOARES et al., 2010).

A estimativa da disponibilidade hídrica define a parcela da vazão de uma corpo hídrico que pode ser utilizada pela sociedade para o seu desenvolvimento, sem comprometer o meio ambiente aquático. O hidrograma, a curva de permanência e a curva de probabilidade de vazões médias e mínimas são algumas das ferramentas utilizadas para determinar a disponibilidade hídrica de uma bacia (SOARES et al., 2010; CRUZ e SILVEIRA, 2007).

Assim, para desenvolver estudos sobre a quantificação hídrica de uma bacia hidrográfica é necessário ter uma série histórica de vazões e dados fluviométricos. No entanto, o monitoramento de bacias de pequeno porte é bem restrito no Brasil, pois a rede hidrometeorológica brasileira atende principalmente as grandes bacias hidrográficas, geralmente superiores a 500 km<sup>2</sup>, o que acarreta grande dificuldade para obtenção de dados hidrológicos (SANTOS e HERANDES, 2013 ; SOARES et al., 2010).

A regionalização hidrológica consiste na extrapolação de parâmetros ou variáveis hidrológicas para regiões sem ou com poucos dados disponíveis (CRUZ, 2001; TUCCI, 2002). Ou seja, essa técnica busca formas de transferências dos dados conhecidos de um local para outro, dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante.

Alguns métodos de estimativa de disponibilidade hídrica para PMBH com escassez de dados fluviométricos também são apresentados e avaliados por Silveira (1997); Soares (2010) e Tamiosso (2012). O método apresentado por Silveira (1997) consiste basicamente em:

- Etapa I: Amostragem de vazões – realiza-se o levantamento de uma amostra reduzida de vazões em período de estiagem num curto espaço de

tempo (uma a duas semanas), sem necessidade de instalações tradicionais de funcionamento contínuo (linígrafos). Esta amostra é a condição inicial para a aplicação do método.

- Etapa II: Simulação de série de vazões - envolve as seguintes fases (i) o ajuste de um modelo simplificado de balanço hídrico com a amostra reduzida, ou seja, com poucos valores de vazão conhecidos; (ii) síntese de vazões diárias através da simulação chuva- vazão, a partir do histórico de precipitações e evapotranspirações regionais; e, (iii) determinação da curva de permanência.

A metodologia proposta por Silveira (1997) baseia-se na combinação de um modelo chuva-vazão simplificado com uma amostragem reduzida de vazões, constituindo uma solução alternativa à necessidade da obtenção de séries contínuas de vazões, que é feita por um monitoramento convencional. O método proposto considera que uma rápida interação com o meio, através de algumas medições locais em período de estiagem, conduz a uma boa avaliação da disponibilidade hídrica, através de um modelo chuva-vazão com dois parâmetros. Os modelos hidrológicos utilizados foram o MPB2 (SILVEIRA, 1997), IPH (TAMIOSSO, 2012) e WIN\_IPH2 (SOARES, 2010).

Ressalta-se que o tipo de modelo empregado é condicionado pelo objetivo do estudo, disponibilidade de dados e as dimensões da bacia. A variabilidade temporal e espacial da precipitação pode embutir erros superiores a qualquer refinamento de metodologia que simule os processos hidrológicos na bacia. Os autores observam que independente do modelo chuva-vazão, seu uso eficiente para calcular vazões em bacias sem dados está condicionado à sua validação (TAMIOSSO, 2012).

### **3.4. Aspectos Qualitativo dos Recursos Hídricos**

A avaliação das características físicas, químicas e biológica da água fornece subsídios relevantes para a caracterização de corpos hídricos em bacias hidrográficas. Neste sentido, a análise e interpretação de variáveis de qualidade de água monitoradas vêm indicar as condições de uso do solo e as atividades antropogênicas desenvolvidas em uma bacia. Dessa forma, a avaliação da qualidade da água é uma das bases fundamentais de apoio ao gerenciamento integrado de recursos hídricos (GONÇALVES et al, 2012).

O programa de monitoramento qualitativo prevê o levantamento sistematizado de dados de qualidade de água em pontos de amostragem selecionados de modo a ser possível acompanhar a evolução das condições de qualidade da água ao longo do tempo, fornecendo séries temporais de dados (MOREIRA, 2007). A existência de água com qualidade adequada é requisito essencial para a manutenção dos ecossistemas aquáticos e para as variadas atividades humanas, tais como o abastecimento doméstico, a irrigação, o uso industrial, a dessedentação de animais, a aquicultura, a pesca, o turismo, dentre outras (ANA, 2012).

Os diversos contaminantes químicos presentes em águas superficiais podem ser retratados em termos de concentrações e variações através de parâmetros físicos, químicos e biológicos. Os principais agentes poluidores das águas são: sólidos em suspensão; matéria orgânica biodegradável; nutrientes; organismos patogênicos, como os coliformes; matéria orgânica não biodegradável, tais como agrotóxicos, alguns detergentes, produtos farmacêuticos, etc; metais; e sólidos inorgânicos dissolvidos. Estes potenciais poluentes são advindos tanto de áreas urbanas como de áreas rurais e são, frequentemente, originários de fontes como os esgotos domésticos, despejos industriais, efluentes agrícolas e de criação de animais, além do escoamento superficial (VON SPERLING, 2005).

Em casos onde a qualidade da água encontra-se inapropriada, degradada ou deteriorada por agentes poluidores, vários são os impactos ambientais, sociais e econômicos que podem ser observados. Dentre eles, podem-se citar, a perda da biodiversidade, o aumento de doenças de veiculação hídrica, o aumento do custo de tratamento das águas destinadas ao abastecimento doméstico e ao uso agrícola e industrial, a perda ou diminuição de produtividade na agricultura e na pecuária, a redução ou impossibilidade da pesca e o dano aos valores turísticos, culturais e paisagísticos (ANA, 2012).

O foco no desenvolvimento do diagnóstico deverá ser na qualidade das águas, que indissocia-se da quantidade de água. Cursos de água de pequenas bacias hidrográficas rurais, cujas vazões são pequenas e estão sujeitas a cargas de esgoto doméstico e aporte de fertilizantes/agrotóxicos e de sedimentos, podem tornar-se impróprios para abastecimentos de água e para diversos usos (irrigação de culturas

mais sensíveis, doméstico, lazer, ecológico, etc.), requerendo monitoramento periódico para verificação da compatibilidade de sua qualidade em relação aos usos. (LABGEST, 2011a).

Os padrões de qualidade da água são utilizados para regulamentar os níveis de qualidade a serem mantidos ou obtidos em um corpo d' água, estando de acordo com os usos a que se destinam. O uso dos padrões de qualidade atende a dois propósitos. O primeiro é manter a qualidade do curso d água ou definir a meta a ser atingida para o mesmo; e o outro é servir como base para definir os níveis de tratamento a serem adotados na bacia, de modo que os poluentes lançados não alterem as características do curso de água que foram estabelecidas pelo padrão (PORTO et al., 1991).

Os modelos matemáticos utilizados para simular a qualidade da água e o processo de autodepuração de corpos d'água são importantes ferramentas de auxílio à gestão dos recursos hídricos. Permite analisar os efeitos das ações naturais e antrópicas integradas sobre diferentes seções do corpo hídrico, podendo atuar tanto na prevenção como no controle da degradação dos recursos hídricos de uma bacia (LARENTIS et al., 2008).

Contudo, modelar um ambiente natural, respeitando todos os processos físicos, químicos e biológicos existentes nos corpos hídricos, não é uma tarefa fácil. Autores como Costa e Teixeira (2011), Larentis (2004) e Knapik et al. (2008) afirmam que existem restrições que devem ser consideradas quando se faz o uso de modelos matemáticos de qualidade de água, principalmente quanto à precisão satisfatória dos dados de entrada. Visto que a confiabilidade dos resultados obtidos através desses modelos depende diretamente da forma como o mesmo foi calibrado e validado (FRENI et al. ,2011).

Por essas razões, muitas vezes é difícil adaptar para a realidade das PMBH os modelos de qualidade da água mais utilizados, tais como: QUAL2E (BROWN E BARNWELL , 1987 ) e QUAL2K (CHAPRA E PELLETTIER , 2003) que necessitam de mais informações sobre a bacia do que se tem muitas vezes disponível (MARSILI-LIBELLI E GIUSTI, 2008).

### **3.5. Aspectos intervenientes na qualidade da água**

#### **Uso e ocupação do solo**

As características do solo e seus diferentes usos influenciam diretamente a qualidade da água das bacias hidrográficas. Segundo Gomes et al. (2007), é de se esperar que a dinâmica de uso e ocupação do solo afete a variabilidade de alguns atributos físicos do solo, principalmente aqueles que herdaram influência do manejo, caso da densidade e matéria orgânica.

A ocupação antrópica concentrada nas margens dos rios, para os mais diversos fins, e o uso inadequado do solo e das águas, tanto urbano, quanto rural, associado às contínuas práticas não conservacionistas desses componentes ambientais, têm sido uma das principais causas da degradação do meio ambiente. No âmbito rural, alguns dos problemas ambientais mais graves decorrem do uso e ocupação inadequados do solo, os quais contribuem para o aumento da erosão do solo e o consequente assoreamento dos cursos d'água (MEDEIROS, 2007).

De acordo com resultados apresentados por Vanzela (2010), áreas ocupadas por matas favorecem o aumento da vazão específica em virtude da maior cobertura, estabilidade e capacidade de infiltração de água no solo. Promovendo assim, a redução da intensidade do escoamento superficial, o que contribui para a melhoria da qualidade da água. De maneira geral, as áreas habitadas (área urbana e moradias rurais), agricultadas (culturas perenes, perenes irrigadas e anuais) e as matas degradadas, contribuem para a redução da vazão específica e da qualidade de água em função da alteração na intensidade do escoamento superficial.

A cobertura vegetal tem importância significativa dentro do contexto do balanço hídrico de um determinado local, e pode alterar significativamente o mecanismo de entrada de água na superfície do solo. O tipo, a extensão e as condições de vegetação exercem influência nos modelos de deposição e na quantidade das precipitações pluviais que alcançam a superfície do solo. Então, toda modificação realizada na cobertura vegetal decorrente da intervenção do homem ou do seu desenvolvimento natural, afeta diretamente a quantidade de água que chega ao solo e sua reserva subterrânea. (ALBURQUEQUE, 2010).

As áreas de matas são áreas mais cobertas e estáveis, com maior capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo aumentando, assim, o tempo de deslocamento da água ao leito do manancial. Com isso, áreas com esse tipo de ocupação tendem a reduzir o escoamento superficial, bem como a perda do solo provenientes de processos erosivos, além de garantir a perenidade das fontes e nascentes. Outro fator positivo desse tipo de cobertura é a proteção dos cursos d'água quanto ao transporte de defensivos, corretivos e fertilizantes, o que interfere diretamente na melhoria da qualidade de água para consumo humano e agrícola (ALBURQUEQUE, 2010; VANZELA, 2010).

Todos os benefícios obtidos pela existência da cobertura vegetal em uma região hidrográfica não deve estar restrito apenas a proteção e preservação da mata ciliar. De acordo com resultados obtidos por Machado et al. (2003), há necessidade de se tratar a paisagem em microbacias hidrográficas de forma global. O ideal seria identificar as “áreas ambientalmente sensíveis”, em que são necessárias práticas de controle dos processos erosivos ou mudanças de uso da terra, e não somente a proteção dispensada aos cursos d'água por meio da mata ciliar.

Outro fator que pode intervir na qualidade das águas de uma bacia hidrográfica é a existência de vias de acesso terrestre. A análise dos impactos das rodovias e estradas nos recursos hídricos está relacionada ao transporte de sedimentos. Quanto maior o número de estradas, maior será o volume de sedimentos transportados para os corpos hídricos.

Em regiões agrícolas, é importante que se faça o mapeamento dos usos preponderantes e da cobertura vegetal do solo, através da identificação das atividades de lavoura e pastagem, indicando as categorias de ocupação e a participação percentual de cada uma, além de descrever e mapear as principais ocupações ali existentes (MEDEIROS, 2007).

## **Relevo**

O relevo de uma bacia hidrográfica tem grande influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, pois a velocidade do escoamento superficial é

determinada pela declividade do terreno, enquanto que a temperatura, a precipitação e a evaporação são funções da altitude da bacia (MOSCA, 2003).

Com isso, pode-se afirmar que o relevo de uma região hidrográfica tem relação direta com vários processos hidrológicos, tais como a infiltração, o escoamento superficial, a umidade do solo, etc. Além disso, é um dos principais fatores que regulam o tempo de concentração do escoamento superficial e da precipitação nos leitos dos cursos d'água (SILVA, 2010). A caracterização do relevo permite fornecer elementos para elaboração de planejamento regional, avaliação de facilidades/dificuldades de urbanização, reconhecimento pedológico, classificação da capacidade de uso da terra e manejo agrícola, bem como as suscetibilidades à erosão e a escorregamentos (ANA, 2012).

## **Pedologia**

A caracterização da Pedologia de uma região visa identificar, descrever e mapear os diferentes tipos de solo existentes. Após a precipitação, parte da água escorre diretamente sobre as superfícies sólidas para os rios e posteriormente, em diferentes escalas temporais, sendo transportadas até os oceanos. Outra parte evapora, retornando para a atmosfera. O restante dessa água infiltra-se nos solos desempenhando papel imprescindível na manutenção dos processos físico-químico-biológicos vitais para a vida vegetal, assim como na formação de reservatórios subterrâneos, retroalimentando, rápida ou lentamente, os cursos e as fontes superficiais de águas (GONÇALVES 2012).

Por isso, o conhecimento sobre o tipo de solo de uma região é de extrema relevância para o fornecimento de informações sobre a quantidade e a velocidade da infiltração da água no solo. Além do conhecimento sobre o tipo de sedimentos nos cursos hídricos, fatores que, interferem nos padrões de qualidade dos corpos hídricos.

## **4. METODOLOGIA**

Este capítulo trata da metodologia empregada no desenvolvimento do presente trabalho, que, seguindo seus objetivos, foi dividida em 4 partes, as quais são apresentadas nas seções 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4.

### **4.1. Identificação de itens de diagnósticos considerados em processos de Enquadramento de corpos de água superficiais**

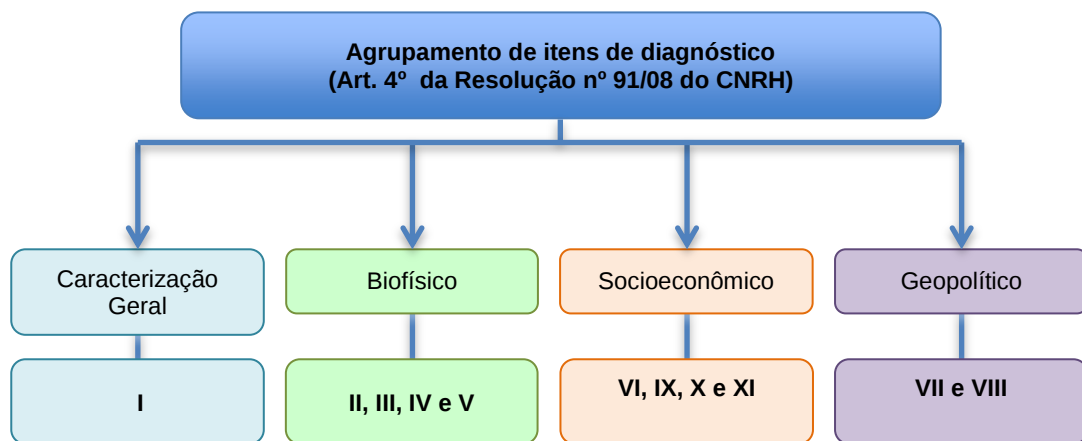
Para a identificação de tais aspectos de diagnóstico, partiu-se da análise da Resolução No. 91, de 2008, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2008), por ser a legislação atual que dispõe sobre os procedimentos gerais para a implementação do Enquadramento de corpos de água. Como já apresentado na seção 3.1, essa resolução apresenta uma relação de 11 (onze) itens que devem ser considerados na avaliação diagnóstica, fase de diagnóstico do Enquadramento.

Uma análise do caráter de cada um desses 11 itens permitiu agrupá-los em 4 categorias de aspectos de diagnóstico (ver Figura 4-1): Caracterização Geral; Biofísico; Socioeconômico; e Geopolítico.

Tendo em vista a natureza do programa de pós-graduação ao qual essa dissertação está vinculada, Engenharia Ambiental, decidiu-se, nessa pesquisa, que das quatro categorias, apenas duas seriam trabalhadas. São elas: “Caracterização Geral” e “Biofísico”. Ademais, considerando que o tema “Enquadramento de águas subterrâneas” não é objeto da presente pesquisa, em sua continuidade o “item V” / categoria “Biofísico”, “potencialidade e qualidade natural das águas subterrâneas”, não foi considerado. Em se tratando de uma caracterização geral, a menção feita a corpos hídricos subterrâneos no item “I” foi mantida para fins de desenvolvimento da pesquisa. A pesquisa também não trata de cursos d’água intermitentes.

Com o entendimento de que as descrições dos itens de diagnóstico que constam da Figura 4-1 apresentavam-se, para os objetivos do presente trabalho, de forma muito abrangente, buscou-se dar a elas um maior detalhamento. Para isso, foram consultados trabalhos técnicos – relatórios de empresas de consultorias sobre avaliações diagnósticas para a elaboração de propostas de enquadramento de corpos de água e de planos de recursos hídricos (BRASIL, 2008; ANA, 2009; ANA,

2012; SEMA/RS, 2008; AGENCIA PCJ, 2010; IGAM, 2009) –, e técnico-científicos – relatórios de projetos de pesquisa, teses e dissertações de mestrados, outros (LEEUESTEIN, 2000; MEDEIROS, 2007; LABGEST, 2010; ROCHA, 2007; BRITES, 2010; AMARO, 2009, etc.). Como resultado da organização e sistematização das informações levantadas se chegou a um número de subitens para cada item de diagnóstico, finalizando, assim, esta etapa do desenvolvimento da pesquisa.



**Legenda:**

*I - caracterização geral da bacia hidrográfica e do uso e ocupação do solo incluindo a identificação dos corpos de água superficiais e subterrâneos e suas interconexões hidráulicas;*

*II - identificação e localização dos usos e interferências que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água, destacando os usos preponderantes;*

*III - identificação, localização e quantificação das cargas das fontes de poluição pontuais e difusas atuais, oriundas de efluentes domiciliares, industriais, de atividades agropecuárias e de outras fontes causadoras de degradação dos recursos hídricos superficiais;*

*IV – disponibilidade, demanda e condições de qualidade das águas superficiais;*

*V - potencialidade e qualidade natural das águas subterrâneas;*

*VI - mapeamento das áreas vulneráveis e suscetíveis a riscos e efeitos de poluição, contaminação, superexploração, escassez de água, conflitos de uso, cheias, erosão e subsidência, entre outros;*

*VII - identificação das áreas reguladas por legislação específica;*

*VIII - arcabouço legal e institucional pertinente;*

*IX - políticas, planos e programas locais e regionais existentes, especialmente os planos setoriais, de desenvolvimento socioeconômico, plurianuais governamentais, diretores dos municípios e ambientais e os zoneamentos ecológico-econômico, industrial e agrícola;*

*X - caracterização socioeconômica da bacia hidrográfica;*

*XI – capacidade de investimento em ações de gestão de recursos hídricos*

**Figura 4-1 - Agrupamento em categorias dos itens de diagnóstico para fins de Enquadramento de corpos de água do Art. 4º da Resolução 91/2008-CNRH.**

#### **4.2. Análise dos itens de diagnósticos identificados e seleção de alguns para emprego no desenvolvimento da parte do trabalho que trata do Enquadramento aplicado a PMBH**

Um primeiro questionamento que surgiu no contexto da supracitada seleção foi o número de itens de diagnóstico a considerar: Todos? Os de maior relevância? Os normalmente considerados? Optou-se por considerar na seleção estes dois últimos pontos.

Essa decisão embasou-se na visão de que o produto dessa atividade não só permitiria cumprir uma meta parcial necessária ao desenvolvimento de etapa posterior da pesquisa, mas que tinha também o potencial de tornar-se elemento agregador do próprio Art. 4º da Resolução 91/2008-CNRH. Isto pela já mencionada limitada disponibilidade de procedimentos/ diretrizes orientativos ao desenvolvimento de avaliações diagnósticas em suporte ao Enquadramento de corpos de água, ou devido o baixo nível de detalhamento desses (seção 3.1).

Assim, tomando-se como base quatro estudos de caso (trabalhos de empresas de consultoria sobre elaboração de propostas de Enquadramento de corpos de água – ver detalhes na seção seguinte), o processo de seleção se baseou em duas verificações:

- A primeira verificou quais dos itens de diagnóstico identificados anteriormente foram empregados na fase de diagnóstico do Enquadramento por todos os estudos de caso.
- A segunda buscou identificar quais itens foram utilizados em duas fases seguintes do Enquadramento (prognóstico e elaboração de propostas de Enquadramento) por esses estudos de caso.

O cruzamento dos resultados dessas duas verificações levou à seleção dos itens de diagnóstico para emprego no desenvolvimento da etapa seguinte do trabalho, que se refere ao Enquadramento aplicado a PMBH. A esse grupo de itens denominou-se de **conjunto de itens de diagnóstico de referência**.

Antes de passar para a próxima seção desse capítulo, serão apresentadas a seguir algumas informações relativas aos estudos de caso referidos nesta seção.

## Definição e relação dos estudos de caso

Como visto na “Revisão de Literatura”, o número de bacias de corpos hídricos de domínio estadual e federal com o instrumento Enquadramento implementado, apesar de não se ter divulgado qual é exatamente esse número, mostra-se muito pequeno quando comparado ao número de planos de recursos hídricos já elaborados no país após a publicação da lei das águas (Lei 9433/97). Ressalta-se que em anos mais recentes, a elaboração de propostas de Enquadramento é feita conjuntamente com a elaboração de planos de recursos hídricos.

Nesse sentido, o número de estudos de caso considerados na presente pesquisa de propostas de Enquadramento de corpos hídricos, quatro torna-se representativo. Especialmente se for considerado que, entre os dois critérios de escolha incluiu-se, por questões metodológicas, a não utilização de mais de um trabalho desenvolvido por uma mesma empresa de consultoria. O outro critério foi a diversidade geográfica, ou seja, foram consultadas bacias hidrográficas de diferentes regiões do país.

O Quadro 4-1 apresenta a relação dos estudos de caso selecionados.

**Quadro 4-1– Relação de estudos de caso de proposta de Enquadramento de corpos de águas superficiais considerados na seleção de itens de diagnósticos para emprego no desenvolvimento da parte do trabalho que trata do Enquadramento aplicado a PMBH**

| <b>Título trabalho técnico</b>                                                                                                                                                                                                         | <b>Instrumentos</b>            | <b>Abrangência da bacia</b> | <b>Ano</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------|
| Proposta de Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais da Bacia do Rio Paranaíba                                                                                                                                                   | Enquadramento                  | GO, DF, MG, MS              | 2012       |
| Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010 a 2020 (com propostas de atualização do Enquadramento dos Corpos d'Água e de Programa Para Efetivação do Enquadramento dos Corpos d'Água até o ano de 2035) | Plano de bacia e Enquadramento | SP, MG                      | 2010       |
| Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Verde e Proposta para atualização e efetivação do enquadramento dos Corpos de água                                                                                     | Plano de bacia e Enquadramento | MG                          | 2009       |
| Plano de Bacia do Rio Tramandaí e Proposta de Enquadramento                                                                                                                                                                            | Plano de bacia e Enquadramento | RS                          | 2008       |

#### **4.3. Identificação e avaliação das particularidades / especificidade quanto à utilização dos aspectos de diagnóstico selecionados no desenvolvimento de avaliações diagnósticas para o Enquadramento de corpos de água em PMBH.**

Com vistas a facilitar a compreensão, antes de se apresentar as particularidades envolvidas na aplicação a PMBH de um item de diagnóstico de referência, decidiu-se fazer uma apresentação introdutória sobre o emprego desse item de diagnóstico no Enquadramento de corpos hídricos em bacias de maiores dimensões.

Para a preparação dessas apresentações introdutórias, buscaram-se subsídios em documentos técnicos relacionados à elaboração de propostas de Enquadramento de corpos de água.

Para se chegar às referidas particularidades, no caso de PMBH, foram principalmente documentos técnico-científicos e a experiência adquirida com visita técnica feita ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no Rio Grande do Sul, que propiciaram o embasamento necessário. Entre os documentos técnico-científicos têm-se relatórios de projetos de pesquisa, teses, dissertações e artigos.

##### **Sobre à visita técnica ao DESA/UFSM**

À visita ao DESA/UFSM se deu mais especificamente a dois grupos de pesquisa; são eles: 1- GHIDROS (Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), coordenado pelo pelos professores João Batista Dias de Paiva e Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva; e 2- GERHI (Gestão de Recursos Hídricos), coordenando pelos professores Geraldo Lopes da Silveira e Jussara Cabral Cruz.

Ambos os grupos de pesquisa possuem larga experiência na implantação e desenvolvimentos de estudos sobre recursos hídricos (aspectos quali-quantitativos) em bacias experimentais, incluindo se aí as avaliações diagnósticas de pequenas e microbacias hidrográficas rurais.

A visita, de cinco dias úteis, forneceu subsídios teórico-práticos em diversos assuntos voltados a PMBH. Entre eles: a: modelos de simulação (hidrológicos quali-quantitativos; de avaliação de impacto do uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos); procedimentos de representação georreferenciada de aspectos diversos

(físicos, bióticos, etc.); métodos de monitoramento ambiental de pequenos cursos d'água; tipos de dados e informações relevantes para estudos de procedimento para diagnósticos.

#### **4.4. Proposição de diretrizes para o estabelecimento de procedimentos orientativos ao desenvolvimento da fase diagnóstica do Enquadramento de corpos de água superficiais de PMBH.**

Após realização de análise a respeito das particularidades / especificidades da aplicação do conjunto de itens de diagnóstico de referencia em PMBH, como uma primeira contribuição, foram propostas diretrizes visando o estabelecimento de procedimentos orientativos ao desenvolvimento da fase de diagnóstico do Enquadramento de corpos de água superficiais de PMBH.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Identificação de itens de diagnóstico considerados em processos de Enquadramento de corpos de água superficiais

O principal objetivo dessa seção é oferecer subsídios para o desenvolvimento da seção 5.2, que trata de análise sobre o impacto da escala geográfica em avaliações diagnósticas para fins de Enquadramento de corpos de água em pequenas/micro bacias hidrográficas (PMBH).

#### Identificação de itens de diagnóstico para emprego em análises diagnósticas para fins de Enquadramento

No Quadro 5.1 são apresentadas, de forma sistematizada, as informações levantadas sobre os referidos itens considerados na etapa de diagnóstico, analisando, apenas, as categorias “Caracterização Geral” e “Biofísico”. Foram identificados 18 (dezoito) itens de diagnóstico, agrupados em quatro sub-categorias.

**Quadro 5-1 – Aspectos de diagnóstico identificados para as categorias “Caracterização Geral” e “Biofísico” para emprego em análises diagnósticas para fins de Enquadramento.**

| Categoria                  | Subcategoria                                                                                                                                                                                | Itens                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Categorização Geral</b> | <b>I - Caracterização geral da bacia hidrográfica e do uso e ocupação do solo incluindo a identificação dos corpos de água superficiais e subterrâneos e suas interconexões hidráulicas</b> | a) Identificação, descrição e mapeamento da divisão político-administrativa da região que abriga a bacia (estados, municípios, núcleos urbanos etc.)<br>b) Definição das unidades de análise (baseando-se em critérios técnicos, propor uma divisão de cada uma das bacias hidrográficas, permitindo a segmentação dos estudos para fins de análise e apresentação)<br>c) Caracterização da morfologia da bacia<br>d) Caracterização da geologia<br>e) Caracterização da pedologia, identificando, descrevendo e mapeando os diferentes tipos de solo<br>f) Caracterização do clima: temperaturas, insolação, incidência de radiação solar, umidade relativa do ar<br>g) Identificação e caracterização dos tipos de uso, manejo e ocupação do solo |

**Quadro 5-1– Aspectos de diagnóstico identificados para as categorias “Caracterização Geral” e “Biofísico” para emprego em análises diagnósticas para fins de Enquadramento - continuação.**

| <b>Categoria</b> | <b>Subcategoria</b>                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Itens</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Biofísico</b> | <b>II - Identificação e localização dos usos e interferências que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água, destacando os usos preponderantes</b>                                                                                     | <p>a) Identificação dos usos atuais de água (industrial, agropecuário, urbano, etc), por trecho de corpo hídrico, das áreas de uso consuntivo e não consuntivo e dos usuários da água</p> <p>b) Descrição e mapeamento dos usos preponderantes do corpo de água por trecho</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                  | <b>III - Identificação, localização e quantificação das cargas das fontes de poluição pontuais e difusas atuais, oriundas de efluentes domiciliares, industriais, de atividades agropecuárias e de outras fontes causadoras de degradação dos recursos hídricos superficiais</b> | <p>a) Identificação das fontes de poluição (domésticas, industriais, agropecuárias, etc.) e estimativa das cargas poluidoras potenciais e efetivamente lançadas nos corpos hídricos</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                  | <b>IV – Disponibilidade, demanda e condições de qualidade das águas superficiais</b>                                                                                                                                                                                             | <p><u>Disponibilidade de água superficial</u></p> <p>a) Descrição e mapeamento das estações pluviométricas e fluviométricas da bacia; levantamento de séries históricas (precipitação e vazão); se necessários, modelagem hidrológica para complementação de dados</p> <p>b) Determinação de parâmetros hidrológicos (valores de precipitação e vazão médios, máximos, mínimos, de referencia (<math>Q_{7,10}</math>, <math>Q_{95}</math>, etc.)</p> <p>c) Determinação de curvas de permanência</p> <p>d) Cálculo das vazões de eventuais transferências de água internamente ou externamente à bacia</p> <p>e) Avaliação de aspectos relevantes relacionados à dinâmica fluvial</p> |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p><u>Qualidade das águas superficiais:</u></p> <p>f) Definição de parâmetros representativos (feita a partir da correlação das fontes de poluição com os usos da água identificados na bacia)</p> <p>g) Levantamento e análise da qualidade da água, a partir de dados monitorados e modelados, com mapeamento e descrição dos postos de monitoramento</p> <p>h) Avaliação da compatibilidade da qualidade atual das águas superficiais com os usos existentes, classificando-se os parâmetros de análise quanto à classe do enquadramento por trecho de corpo hídrico</p>                                                                                                           |

## **5.2. Análise dos itens de diagnósticos identificados e seleção de alguns para emprego no desenvolvimento da parte do trabalho que trata do Enquadramento aplicado a PMBH**

### **5.2.1. Itens de diagnóstico identificados - emprego na fase de Diagnóstico do Enquadramento por todos os estudos de caso.**

Apresenta-se no Quadro 5.2 o resultado do mapeamento dos aspectos de diagnóstico apresentados no Quadro 5.1 que foram contemplados nas avaliações diagnósticas, para fins de Enquadramento e Plano de Recursos Hídricos, feitas para os estudos de caso considerados no presente trabalho (bacias hidrográficas dos rios Verde, Tramandaí, PCJ e Paranaíba).

**Quadro 5-2 - Aspectos de diagnóstico identificados para as categorias “Caracterização Geral” e “Biofísico” para emprego em análises diagnósticas para fins de Enquadramento**

| <b>Categoria</b>           | <b>Subcategoria</b>                                                                                                                                                                         | <b>Itens</b>                                                                                                                                                                                                | <b>Rio Verde</b> | <b>PCJ</b> | <b>Tramandaí</b> | <b>Paranaíba</b> |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------|------------------|------------------|
| <b>Categorização Geral</b> | <b>I - Caracterização geral da bacia hidrográfica e do uso e ocupação do solo incluindo a identificação dos corpos de água superficiais e subterrâneos e suas interconexões hidráulicas</b> | a) Identificação, descrição e mapeamento da divisão político-administrativa da região que abriga a bacia (estados, municípios, núcleos urbanos etc.)                                                        | X                | X          | X                | X                |
|                            |                                                                                                                                                                                             | b) Definição das unidades de análise (baseando-se em critérios técnicos, propor uma divisão de cada uma das bacias hidrográficas, permitindo a segmentação dos estudos para fins de análise e apresentação) | X                | X          | X                | X                |
|                            |                                                                                                                                                                                             | c) Caracterização da morfologia da bacia                                                                                                                                                                    | X                | X          | X                |                  |
|                            |                                                                                                                                                                                             | d) Caracterização da geologia                                                                                                                                                                               | X                | X          |                  |                  |
|                            |                                                                                                                                                                                             | e) Caracterização da pedologia, identificando, descrevendo e mapeando os diferentes tipos de solo                                                                                                           | X                | X          | X                | X                |
|                            |                                                                                                                                                                                             | f) Caracterização do clima: temperaturas, insolação, incidência de radiação solar, umidade relativa do ar                                                                                                   | X                | X          |                  |                  |
|                            |                                                                                                                                                                                             | g) Identificação e caracterização dos tipos de uso, manejo e ocupação do solo                                                                                                                               | X                | X          | X                | X                |

**Quadro 5-2- Resultado do mapeamento dos aspectos de diagnóstico apresentados no Quadro 5.1 que formam contemplados nas avaliações diagnósticas, para fins de Enquadramento e Plano de Recursos Hídricos – continuação**

| <b>Categoria</b> | <b>Subcategoria</b>                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Itens</b>                                                                                                                                                                       | <b>Rio Verde</b> | <b>PCJ</b> | <b>Tramandaí</b> | <b>Paranaíba</b> |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------|------------------|------------------|
| <b>Biofísico</b> | <b>II - Identificação e localização dos usos e interferências que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água, destacando os usos preponderantes</b>                                                                                     | a) Identificação dos usos atuais de água (industrial, agropecuário, urbano, etc), por trecho de corpo hídrico, das áreas de uso consuntivo e não consuntivo e dos usuários da água | X                | X          | X                | X                |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                  | b) Descrição e mapeamento dos usos preponderantes do corpo de água por trecho                                                                                                      | X                | X          | X                | X                |
|                  | <b>III - Identificação, localização e quantificação das cargas das fontes de poluição pontuais e difusas atuais, oriundas de efluentes domiciliares, industriais, de atividades agropecuárias e de outras fontes causadoras de degradação dos recursos hídricos superficiais</b> | a) Identificação das fontes de poluição (domésticas, industriais, agropecuárias, etc.) e estimativa das cargas poluidoras potenciais e efetivamente lançadas nos corpos hídricos   | X                | X          | X                | X                |

**Quadro 5-2 - Resultado do mapeamento dos aspectos de diagnóstico apresentados no Quadro 5.1 que formam contemplados nas avaliações diagnósticas, para fins de Enquadramento e Plano de Recursos Hídricos – continuação**

| <b>Categoria</b> | <b>Subcategoria</b>                                                         | <b>itens</b>                                                                                                                                                                                                  | <b>Rio Verde</b> | <b>PCJ</b> | <b>Tramandaí</b> | <b>Paranaíba</b> |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------|------------------|------------------|
| <b>Biofísico</b> | <b>IV – disponibilidade e condições de qualidade das águas superficiais</b> | a) Descrição e mapeamento das estações pluviométricas e fluviométricas da bacia; levantamento de séries históricas (precipitação e vazão); se necessários, modelagem hidrológica para complementação de dados | X                | X          | X                | X                |
|                  |                                                                             | b) Determinação de parâmetros hidrológicos (valores de precipitação e vazão médios, máximos, mínimos, de referencia ( $Q_{MLT}$ , $Q_{7,10}$ , $Q_{95}$ , etc.))                                              | X                | X          | X                | X                |
|                  |                                                                             | c) Determinação de curvas de permanência;                                                                                                                                                                     | X                | X          | X                | X                |
|                  |                                                                             | d) Cálculo das vazões de eventuais transferências de água internamente ou externamente à bacia;                                                                                                               |                  | X          | X                |                  |
|                  |                                                                             | e) Avaliação de aspectos relevantes relacionados à dinâmica fluvial.                                                                                                                                          |                  |            | X                |                  |
|                  |                                                                             | f) Definição de parâmetros representativos (feita a partir da correlação das fontes de poluição com os usos da água identificados na bacia);                                                                  | X                | X          | X                | X                |
|                  |                                                                             | g) Levantamento e análise da qualidade da água, a partir de dados monitorados e modelados, com mapeamento e descrição dos postos de monitoramento;                                                            | X                | X          | X                | X                |
|                  |                                                                             | h) Avaliação da compatibilidade da qualidade atual das águas superficiais com os usos existentes, classificando-se os parâmetros de análise quanto à classe do enquadramento por trecho de corpo hídrico.     | X                | X          | X                | X                |

Uma análise do conteúdo das informações no Quadro 5.2, com ênfase nos itens de diagnóstico comuns a todos os estudos de caso, é apresentada a seguir, por sub-categoria.

- *Quanto à Caracterização Geral da Bacia Hidrográfica*

Para essa sub-categoria, os trabalhos referentes às bacias dos rios Verde e PCJ contemplaram todos os itens de diagnóstico identificados. No caso da bacia do rio Paranaíba, menos itens de diagnóstico foram levados em consideração – são eles (c), (d), (f). E na bacia do rio Tramandaí apenas o itens (d) e (f) não foram contemplados pelo estudo.

Dos sete itens de diagnóstico apresentados no Quadro 5.1 para a sub-categoria “Caracterização Geral”, quatro foram contemplados em todas os quatro trabalhos, os quais são relacionados a seguir:

- a) Identificação, descrição e mapeamentos da divisão político-administrativa da região;
  - b) Definição das unidades de análise;
  - e) Caracterização da pedologia; e
  - g) Identificação dos tipos de uso e ocupação do solo.
- *Quanto à identificação e localização dos usos e interferências que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água*

Os dois itens identificados para essa sub-categoria foram considerados nas avaliações diagnósticas das quatro estudos de caso. São eles:

- a) Identificação dos usos atuais, usos consuntivo e não consuntivos e usuários da água; e
  - b) Descrição e mapeamentos dos usos preponderantes do corpo d'água.
- *Quanto à identificação, localização e quantificação das cargas das fontes de poluição pontuais e difusas atuais causadoras de degradação dos recursos hídricos superficiais*

Aqui, também, o item identificado para essa sub-categoria foi considerado nas avaliações diagnósticas das quatro estudos de caso:

- a) Identificação de fontes e estimativa de cargas poluidoras;
- *Quanto à disponibilidade hídrica e condições de qualidade das águas superficiais*

Para essa sub-categoria, no que se refere a “*disponibilidade hídrica*” tem-se que: no caso da avaliação diagnóstica para o Enquadramento da bacia dos rio Tramandaí, todos os itens identificados foram contemplado; no caso da bacia dos rios Verde e Paranaíba os itens de diagnóstico (a), (b) e (c) foram os utilizados; e para as bacias dos rios PCJ foram contemplados os itens (a), (b), (c) e (d).

Dessa forma, três itens foram contemplados nas avaliações diagnósticas dos quatro estudos de caso aqui considerados, que são apresentados a seguir:

- a) Descrição e mapeamentos das estações pluviométricas e fluviométricas;
- b) Determinação de parâmetros hidrológicos; e
- d) Determinação de curvas de permanência.

Já ao que se diz respeito à “*avaliação da qualidade das águas superficiais*”, todos os itens identificados foram contemplados nas avaliações dos quatro estudos de caso. São eles:

- f) Definição de parâmetros representativos;
- g) Realização do levantamento da qualidade da água; e

h) Avaliação da compatibilidade da qualidade atual das águas com os usos existentes

A avaliação mostrou que são 13 (treze) os itens de diagnóstico que foram empregados na fase diagnóstica do Enquadramento por todos os quatro estudos de caso, de um total de 18 (dezoito) considerados.

#### **5.2.2. Itens de diagnóstico identificados – utilização nas fases de Prognóstico e Elaboração de Propostas de Enquadramento por todos os estudos de caso.**

Como resposta dessa verificação, tem-se que os mesmos 13 (treze) itens de diagnóstico empregados na fase diagnóstica do Enquadramento por todos os quatro estudos de caso, também foram os utilizados por todos eles de forma direta no desenvolvimento dessas duas supracitadas fases posteriores do Enquadramento.

Os 5 itens de diagnóstico que não foram empregados por todos os quatro estudos de caso na fase de diagnóstico do Enquadramento, nem de forma indireta pelos mesmos estudos nas fases de prognóstico e de elaboração das propostas de Enquadramento são: caracterização da morfologia da bacia; caracterização da geologia; caracterização do clima; cálculo das vazões de eventuais transferências de água internamente ou externamente à bacia; e avaliação dos aspectos relevantes relacionados à dinâmica fluvial.

#### **5.2.3. Seleção de itens de diagnóstico para emprego na seção 5.3**

Os resultados obtidos em 5.2.1 e 5.2.2 levaram a adotar esses 13 (treze) itens de diagnóstico no desenvolvimento da seção seguinte do trabalho, que trata do Enquadramento aplicado a PMBH, que foi denominado de **conjunto de itens de diagnóstico de referência** (ver Quadro 5.3).

**Quadro 5-3 - Conjunto de itens de diagnóstico de referência para fins de elaboração de avaliações diagnósticas de propostas de Enquadramento de corpos de água**

| Categoria           | Subcategoria                                                                                                                                                                                                                                                              | Itens                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Categorização Geral | I - Caracterização geral da bacia hidrográfica e do uso e ocupação do solo incluindo a identificação dos corpos de água superficiais e subterrâneos e suas interconexões hidráulicas.                                                                                     | <p>a) Identificação, descrição e mapeamento da divisão político-administrativa da região que abriga a bacia (estados, municípios, núcleos urbanos etc.)</p> <p>b) Definição das unidades de análise (baseando-se em critérios técnicos, propor uma divisão de cada uma das bacias hidrográficas, permitindo a segmentação dos estudos para fins de análise e apresentação)</p> <p>c) Caracterização da pedologia, identificando, descrevendo e mapeando os diferentes tipos de solo</p> <p>d) Identificação e caracterização dos tipos de uso, manejo e ocupação do solo</p> |
|                     | II - Identificação e localização dos usos e interferências que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água, destacando os usos preponderantes                                                                                     | <p>a) Identificação dos usos atuais de água (industrial, agropecuário, urbano, etc), por trecho de corpo hídrico, das áreas de uso consuntivo e não consuntivo e dos usuários da água</p> <p>b) Descrição e mapeamento dos usos preponderantes do corpo de água por trecho</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Biofísico           | III - Identificação, localização e quantificação das cargas das fontes de poluição pontuais e difusas atuais, oriundas de efluentes domiciliares, industriais, de atividades agropecuárias e de outras fontes causadoras de degradação dos recursos hídricos superficiais | <p>a) Identificação das fontes de poluição (domésticas, industriais, agropecuárias, etc.) e estimativa das cargas poluidoras potenciais e efetivamente lançadas nos corpos hídricos</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                     | IV – Disponibilidade e condições de qualidade das águas superficiais                                                                                                                                                                                                      | <p><u>Disponibilidade de água superficial</u></p> <p>a) Descrição e mapeamento das estações pluviométricas e fluviométricas da bacia; levantamento de séries históricas (precipitação e vazão); se necessários, modelagem hidrológica para complementação de dados</p> <p>b) Determinação de parâmetros hidrológicos (valores de precipitação e vazão médios, máximos, mínimos, de referencia (<math>Q_{7,10}</math>, <math>Q_{95}</math>, etc.)</p> <p>c) Determinação de curvas de permanência</p>                                                                         |
|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p><u>Qualidade das águas superficiais:</u></p> <p>d) Definição de parâmetros representativos (feita a partir da correlação das fontes de poluição com os usos da água identificados na bacia)</p> <p>e) Levantamento e análise da qualidade da água, a partir de dados monitorados e modelados, com mapeamento e descrição dos postos de monitoramento</p> <p>f) Avaliação da compatibilidade da qualidade atual das águas superficiais com os usos existentes, classificando-se os parâmetros de análise quanto à classe do enquadramento por trecho de corpo hídrico</p>  |

### **5.3. Identificação e avaliação de particularidades / especificidade quanto à utilização dos itens de diagnóstico selecionados no desenvolvimento de avaliações diagnósticas para o Enquadramento de corpos de água em PMBH**

O desenvolvimento dessa seção dar-se-á em duas grandes partes: uma para a categoria “Caracterização Geral” e outra à categoria “Biofísico”.

#### **5.3.1. Caracterização Geral**

##### *5.3.1.1. Subcategoria I - caracterização geral da bacia hidrográfica e do uso e ocupação do solo incluindo a identificação dos corpos de água superficiais e subterrâneos e suas interconexões hidráulicas*

##### *a) Identificação, descrição e mapeamentos da divisão político-administrativa da região que abriga a bacia*

O mapeamento da divisão político-administrativa de uma bacia hidrográfica, na escala de gestão formal, de corpo hídrico de dominialidade estadual, envolve de poucos a vários municípios de um mesmo estado; para as bacias de corpos hídricos de dominialidade federal, por definição, mais de um estado é envolvido. Nesse caso são destacadas as localizações de regiões urbanas, incluindo as sedes municipais e capitais estaduais.

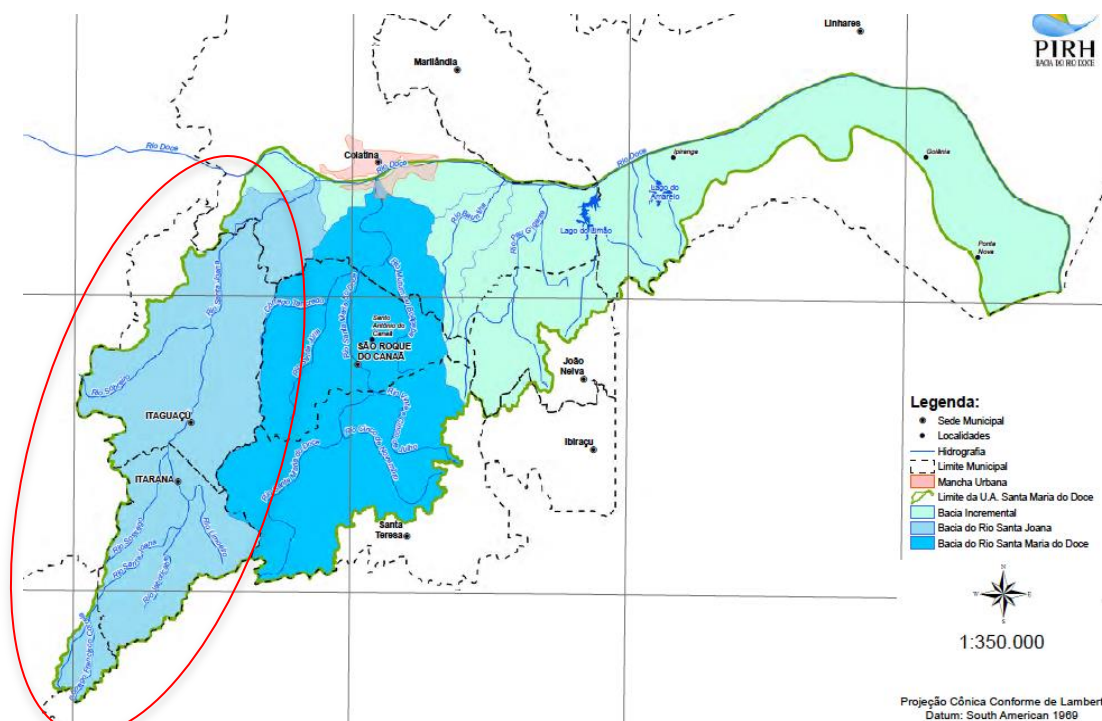
No caso de PMBH, esse mapeamento envolve, na maioria dos casos, apenas um ou dois municípios de um mesmo estado. E devido à relativamente pequena dimensão espacial de cobertura, quando comparada à das bacias de maior porte, a representação das delimitações das comunidades locais é recomendável (QUARENTEI, 2010), uma vez que as mesmas podem exercer relevantes papéis no contexto do Enquadramento, tanto no aspecto político (ex.: representação e mobilização social) quanto no técnico (ex.: auxílio no levantamento de informações sobre o local) (LOPES, 2011).

O exemplo apresentado na Figura 5.1 trata da bacia hidrográfica do rio Doce (de aproximadamente 86.715 km<sup>2</sup>), formada por porção do território dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, e por 230 municípios. A bacia do rio Santa Joana (em

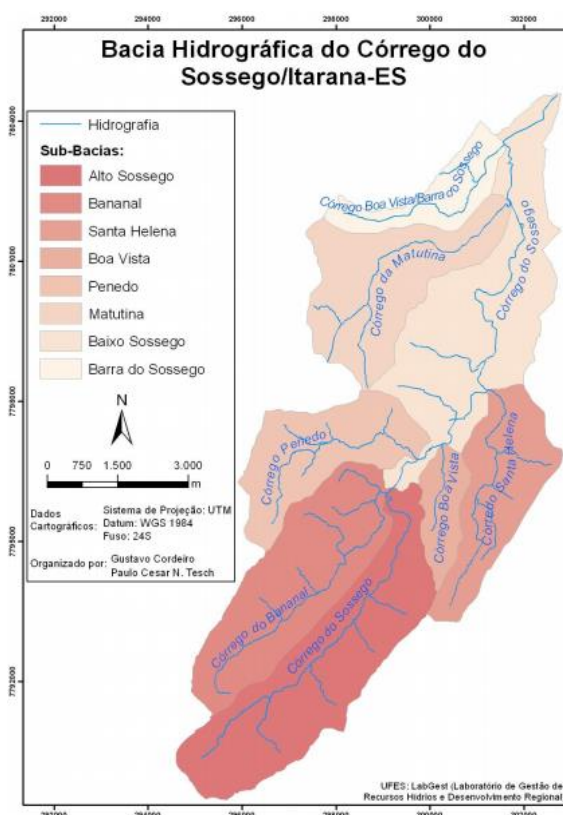
torno de 891 km<sup>2</sup>), afluente do rio Doce, é formada por contribuições em área dos municípios, espírito-santenses, de Itarana, Itaguaçu, Afonso Cláudio e Colatina. Já a pequena bacia hidrográfica do córrego Sossego (aproximadamente 65 km<sup>2</sup>), afluente do rio Santa Joana, se insere integralmente no município de Itarana. A Figura 5.2 mostra, ainda, a localização das doze comunidades da bacia.



**Figura 5-1 - Representação da dominialidade federal de bacia hidrográfica - bacia do rio Doce**



A – Representação de dominialidade estadual - bacia do rio Santa Joana/ES (IGAM, 2010a)



B – Microbacia Hidrográfica do Córrego Sossego, Itarana/ES – LABGEST (2011)

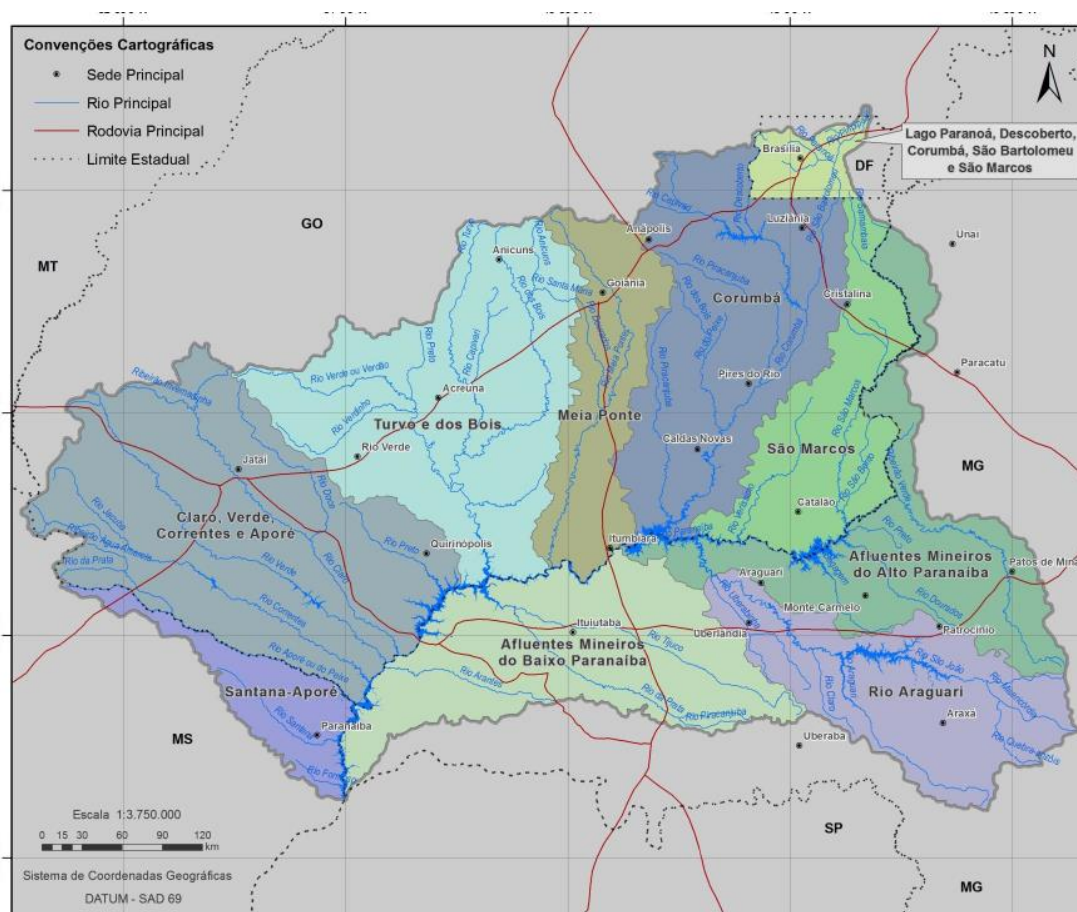


C - Comunidades do córrego Sossego/ES e seus representantes –QUARENTEI (2010).

**Figura 5-2 - Identificação e mapeamentos de divisão político-administrativa de bacias hidrográficas em várias escalas**

### *b) Definição das unidades de análise*

Aspectos fisiográficos e hidrológicos (ex.: rede hidrográfica, homogeneidade de variáveis hidrológicas, posição das estações de monitoramento quali-quantitativo de recursos hídricos, etc.) têm sido os principais determinantes para definição das unidades de análise para fins de elaboração das propostas de Enquadramento de corpos de água. A Figura 5.3 apresenta um exemplo. Para a definição das unidades de análise e dos corpos hídricos superficiais de interesse para o Enquadramento da bacia hidrográfica do rio Paranaíba, que envolve regiões do DF e estados de GO, MG, MS e SP e com aproximadamente 222.767 km<sup>2</sup>, os seguintes fatores foram considerados: hidrográficos (principais rios e afluentes), hidrológicos (presença de estações fluviométricas, barramentos que alterem a dinâmica fluvial ou estações de monitoramento qualitativo) e de usos da água (presença de grandes centros urbanos ou de intensa irrigação).



**Figura 5-3 - Delimitação das unidades de análise e dos rios de interesse para o Enquadramento de corpos de água na bacia do rio Paranaíba (ANA, 2012)**

Tendo em vista que, segundo a legislação brasileira, a elaboração de propostas de Enquadramento deve se dar por meio do envolvimento da sociedade nas suas diversas fases (ANA, 2009.), considerar aspectos da dimensão social na definição das unidades de análise mostra-se pertinente (GONÇALVES, 2008).

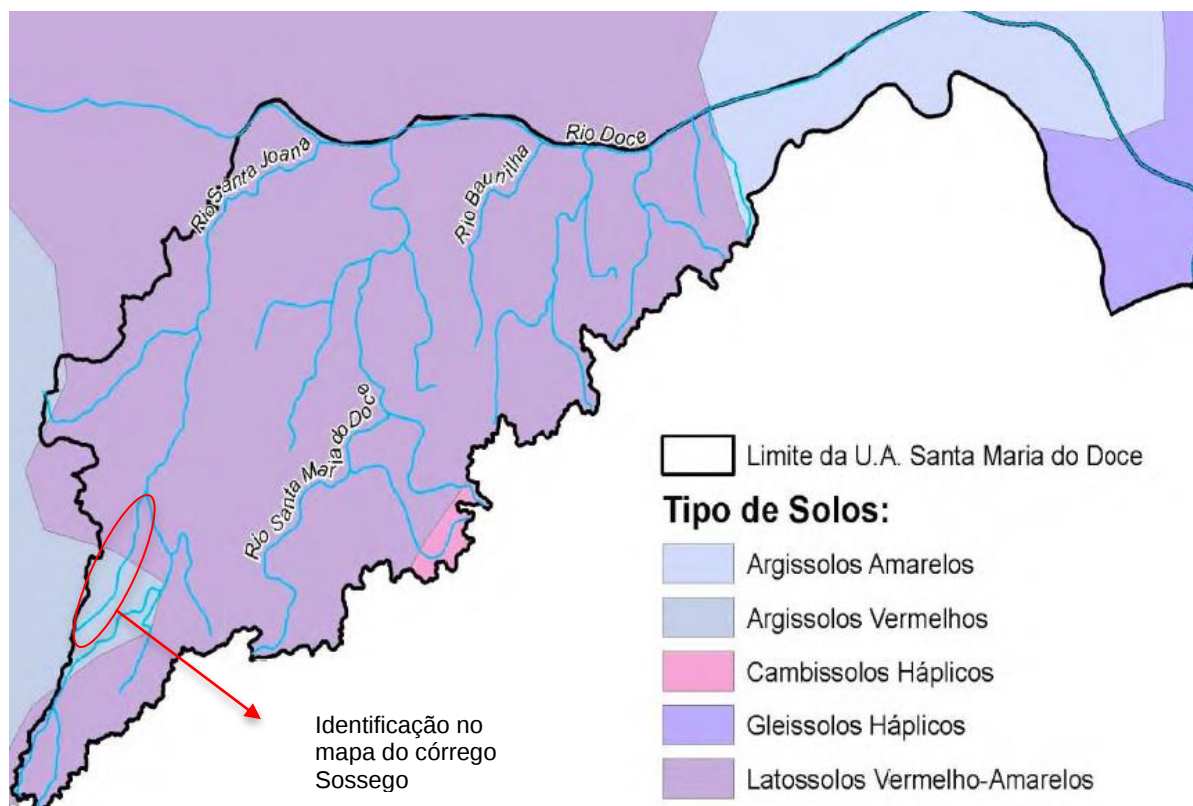
No caso de PMBH, a configuração da rede hidrográfica e a homogeneidade de variáveis hidrológicas deverão estar entre os aspectos determinantes na definição de unidades de análise. Ainda em relação a esse item de diagnóstico, as comumente verificadas baixas densidades de estações de monitoramento qualitativos de recursos hídricos nessas bacias, fará com que seja pouco justificada a utilização da “existência de tais estações” como critério geral de definição de unidade de análise. Na dimensão social, como exemplo de aspecto social possível de se considerar tem-se: a dinâmica social das comunidades locais (LOPES, 2011; GONÇALVES, 2008; CUNHA e CALIJURI, 2010).

*c) Caracterização da pedologia, identificando, descrevendo e mapeando os diferentes tipos de solo*

O conhecimento sobre as características dos solos (propriedades físicas, químicas, biológicas...) é de suma importância para a realização de avaliações sobre a qualidade de água em bacias hidrográficas (aspecto abordado seção 3.4.1 “Revisão Bibliográfica”).

Chama-se atenção aqui para os possíveis problemas de representação da diversidade de tipos de solo em regiões de PMBH, pela normalmente baixa densidade espacial dos levantamentos de solo nessa escala (COELHO, 2010). Isso é ilustrado no exemplo da Figura 5.4, em que se destaca na parte “a” da figura a região da bacia hidrográfica do córrego Sossego (afluente da bacia do rio Santa Joana / bacia do rio Doce, no Espírito Santo). Como pode ser observado, com base no levantamento de solos que se encontra representado na região em destaque, identificam-se na bacia do córrego Sossego apenas dois tipos de solo (argissolo amarelo e latossolo vermelho-amarelo). Já, com base em outro levantamento de solo feito especificamente para bacia do córrego Sossego, Figura 5.5, são identificados oito tipos de solo. Dessa forma, a densidade amostral de coleta de solos, possivelmente baixa para a escala da PMBH, para elaboração do mapa da

parte “a” da figura, pode ser um motivo dessa diferença (OLIVEIRA, 2013). Diferença essa que chama à atenção para a importância do detalhamento do levantamento da informação na escala apropriada, em função do tipo do parâmetro em análise e o objeto da análise (nesse caso, o Enquadramento de corpos de água).



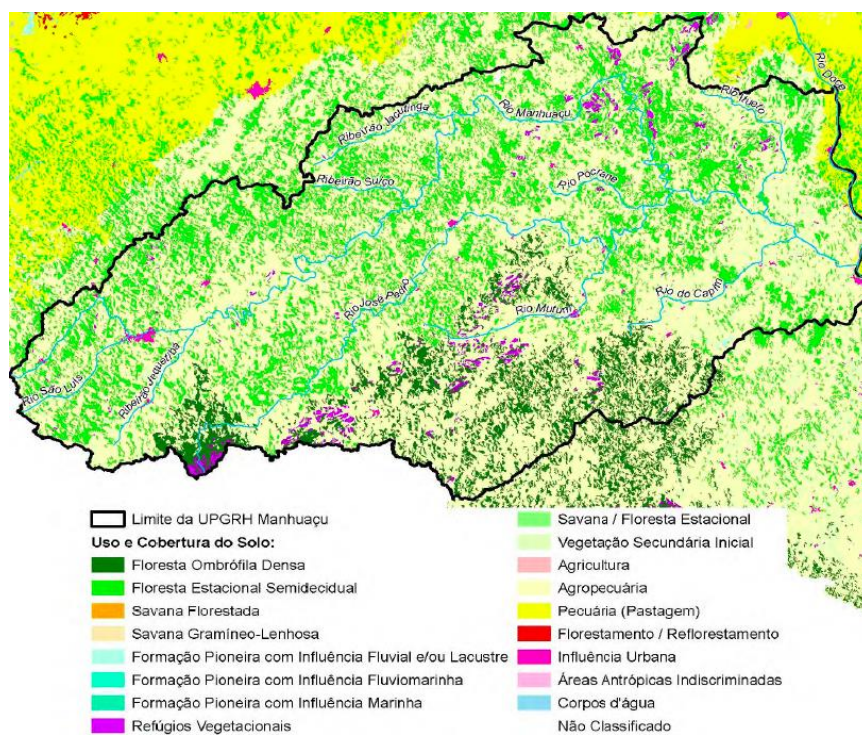
**Figura 5-4 – Tipos de solo da unidade de análise Santa Maria do Doce / bacia do rio Doce (IGAM, 2010a) / Cartas Topográficas IBGE 2009 1:100.000**



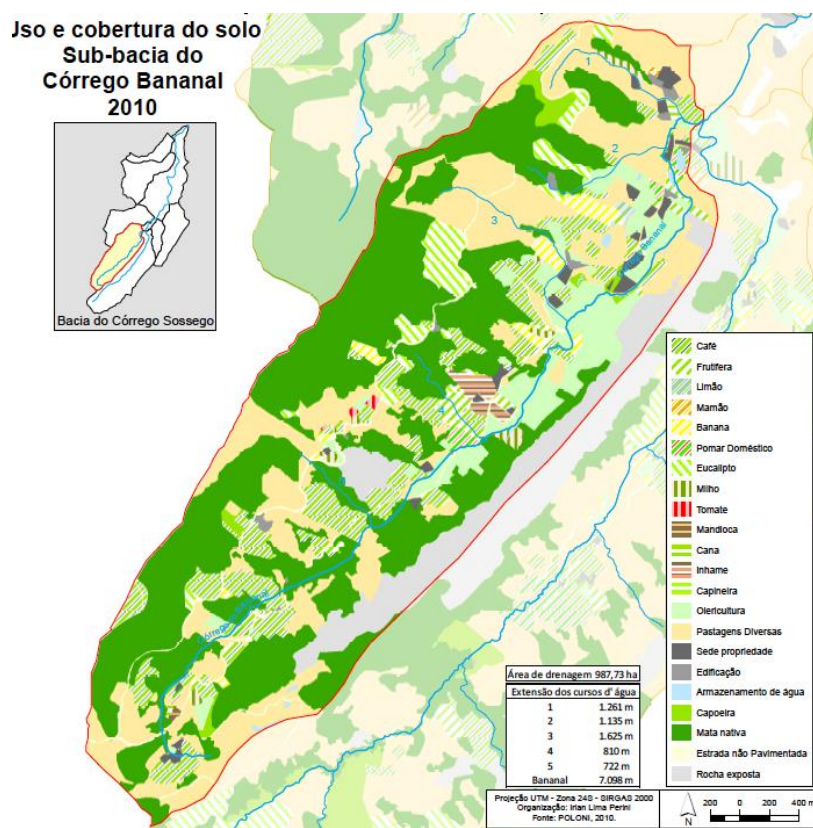
Diferentemente do caso da pedologia, os crescentes avanços tecnológicos na área de levantamento aeroespaciais têm permitido cada vez mais precisão na identificação espacial da ocupação, uso e manejo do solo de bacias hidrográficas (CAMPOS et al., 2013). Ou seja, possibilita o levantamento mais preciso de relevantes aspectos de diagnósticos para fins de Enquadramento, como cobertura vegetal, áreas com atividades agropecuárias, áreas urbanas, vias de acesso terrestre, corpos hídricos superficiais, não apenas para a representação de grandes áreas, mas também no nível da PMBH.

Mesmo para bacias hidrográficas rurais, ênfase dada ao presente trabalho, a diversidade de ocupação, uso e manejo do solo dependerá de região para região, e do porte da bacia em análise (grande, pequena/micro).

O mapa de uso e ocupação do solo apresentado na Figura 5.6a refere-se à área de gestão do Comitê da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu (aproximadamente 8.800 km<sup>2</sup>), no estado de Minas Gerais/bacia do rio Doce. Com base no mapa e descrição dada em IGAM (2010a), entre os setores de uso têm-se: agrícola, florestal, pecuário, urbano, industrial e mineração. Já as informações na Figura 5.6b referem-se à microbacia do córrego Bananal (em torno de 9 km<sup>2</sup>), afluente do córrego Sossego/ES. O que se observa é que, mesmo para uma microbacia de base agrícola familiar, a diversidade da ocupação do solo pode ser significativa, ainda que sem ocorrer muitos setores de ocupação do solo envolvidos (no presente exemplo destacam-se os setores agrícola e florestal).



A - Uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu (IGAM, 2010a)



B - Uso e cobertura do solo da microbacia do córrego Bananal – adaptado de POLONI (2010)

**Figura 5-6 – Diversidade de uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas de escalas distintas**

A seguir, tomando-se os subitens “cobertura florestal”, “vias de acesso terrestre” e “sistema hídrico superficial”, como exemplos de temas relevantes ao Enquadramento de corpos de água, dar-se-á continuidade à análise do item de diagnóstico em questão (caracterização da ocupação, uso e manejo do solo).

- Cobertura florestal

A influência da cobertura florestal na quantidade e qualidade das águas em bacias hidrográficas foi apresentada inicialmente na seção 3.4.1 (Revisão de Literatura), como o favorecimento à infiltração da água no solo, a redução da capacidade de transporte do escoamento sobre os terrenos da bacia em eventos de chuva e consequente redução do aporte de constituintes (nutrientes, sedimentos, etc.) a corpos hídricos.

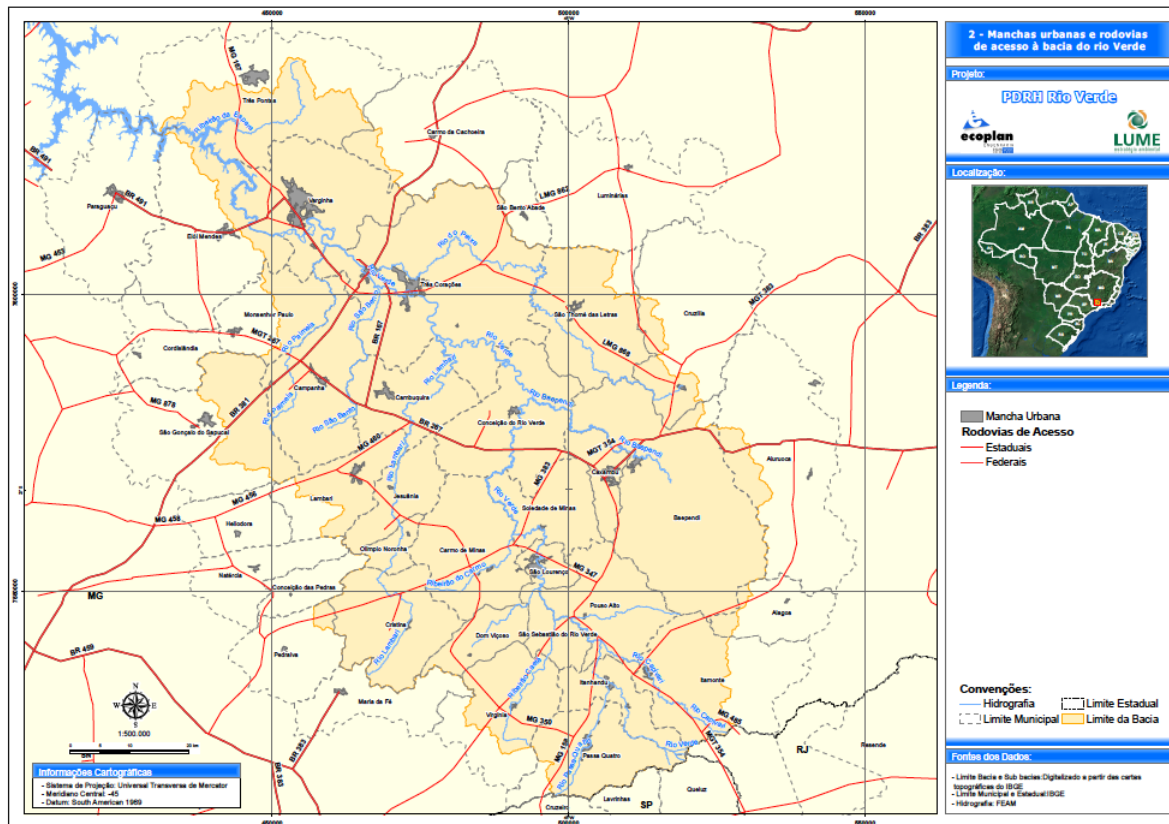
Se, como mencionado na introdução desse aspecto de diagnóstico, a utilização de imagens de satélite para o levantamento detalhado da cobertura florestal ao nível de PMBH não é um problema, o cuidado que se deve tomar é com a utilização da informação em escala apropriada. Um exemplo de representação adequada da cobertura florestal em microbacia hidrográfica é o apresentado na Figura 5.6b, na qual se pode identificar nitidamente, entre outros, as regiões cobertas por florestas nativas e plantadas, e sua posição em relação ao sistema hídrico. O detalhamento do tipo e distribuição da cobertura florestal poderá, ainda, auxiliar na identificação e proteção de regiões que contribuam para o bom estado de qualidade da água (especialmente para as classes de Enquadramento “Especial” e “1” – Figura 3.1-Revisão), como regiões de cabeceira de cursos d’água e adjacências.

- Vias de acesso terrestre

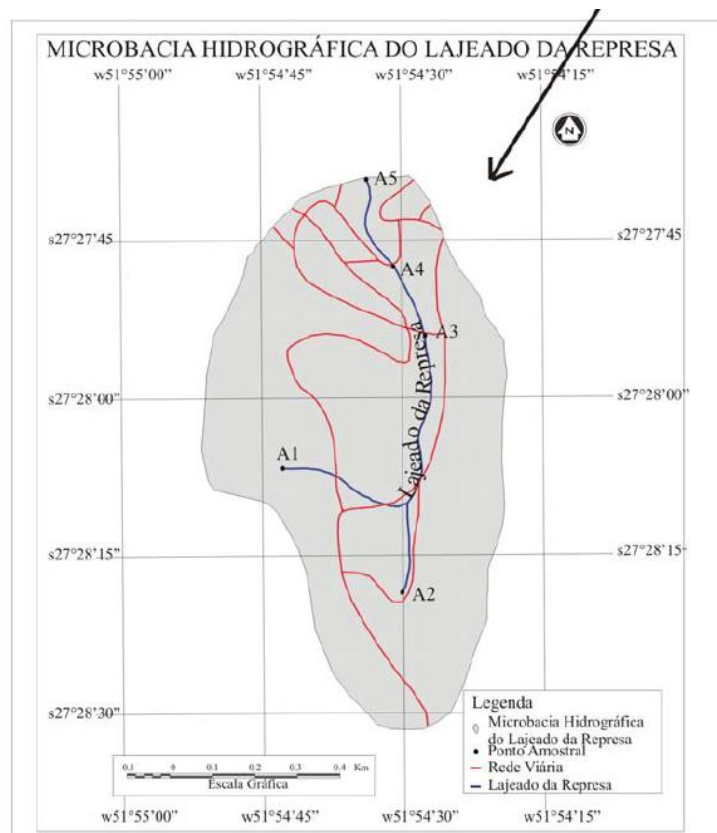
Como já abordado na “Revisão de Literatura”, as vias de acesso podem afetar a dinâmica do movimento da água na bacia hidrográfica, interrompendo ou desviando fluxos. Servem também, em eventos de chuva, de caminho preferencial do aporte de sedimentos e de outros constituintes potencialmente poluidores a corpos hídricos superficiais.

Em avaliações diagnósticas para fins de Enquadramento de corpos hídricos de grande porte, devido às escalas tomadas como de interesse na representação de elementos geoespaciais, as vias identificadas e caracterizadas são as principais dos sistemas viários federais, estaduais e municipais, normalmente asfaltadas. No caso da PMBH, destacam-se as vias vicinais, na maioria das vezes municipais e sem pavimentação, incluindo também as vias dentro das propriedades rurais, que com as altas resoluções das imagens de satélites hoje disponíveis é possível identificá-las.

Na Figura 5.7a são mostradas as vias de acesso caracterizadas no estudo de caso da bacia do rio Verde, em Minas Gerais, com aproximadamente 6.890 km<sup>2</sup> - mapa elaborado na escala 1:5.000.000. Por ser um trabalho realizado em bacia de grande porte, o nível de detalhamento foi menos abrangente, considerando-se apenas as principais de vias de acesso, ou seja, rodovias federais e estaduais. Já na Figura 5.7b, que se refere a microbacia do Lajeado da Represa (área em torno de 3 km<sup>2</sup>) localizada no município de Marcelino Ramos, Rio Grande do Sul, somente as vias vicinais apresentam-se representadas e identificadas.



A – Principais vias de acesso da bacia do rio Verde/MG – (IGAM, 2009)



B – Rede viária microbacia do Lajeado da Represa/RS – adaptado de TÁPIA (2006).

**Figura 5-7 – Nível de detalhamento de vias de acesso terrestre em bacias hidrográficas de diferentes escalas de análise**

- Sistema hídrico superficial

No caso do Enquadramento de corpos hídricos de maior porte, na fase diagnóstica, normalmente, buscam-se identificar e caracterizar elementos que compreendem o sistema hídrico superficial da região, compatível com a escala de análise. Nesse caso de bacias rurais, podem ser citados entre os elementos do sistema hídricos: rios principais e principais afluentes, canais, lagos, lagoas, pântanos e reservatórios. A Figura 5.8 exemplifica isso ao apresentar uma representação do sistema hídrico da bacia hidrográfica do rio Paranaíba - escala 1:2.750.000. Como elementos do sistema hídrico identificados no referido estudo de caso têm-se: rio principal, principais afluentes, barragens/reservatórios e lagos.

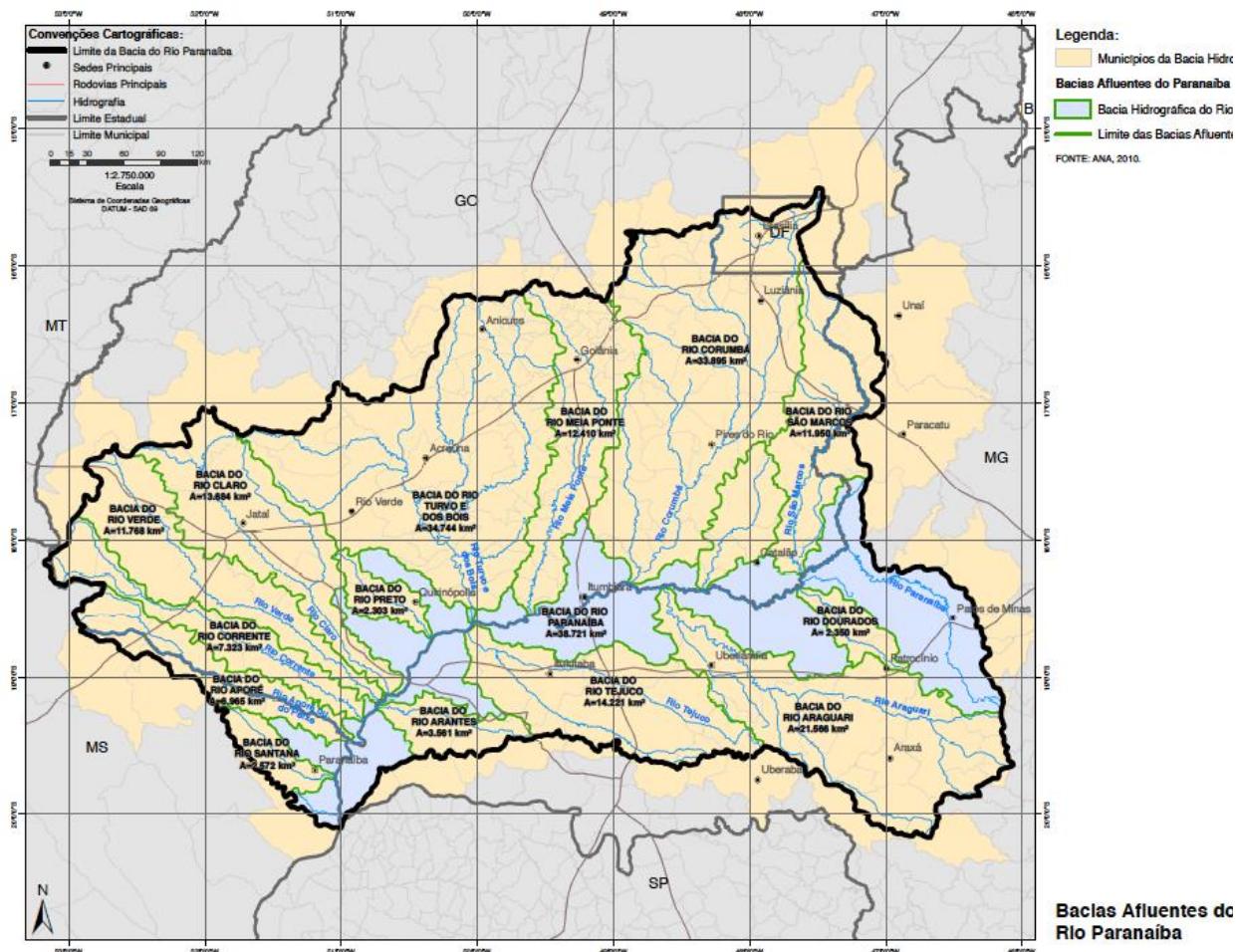


Figura 5-8- Hidrografia bacia do rio Paranaíba ( ANA, 2010).

No caso de PMBH rurais, rios e canais de menor porte, córregos, lagoas, pântanos poderão estar entre os elementos a compor o sistema hídrico. Outro elemento são as unidades privadas de reservação de água nas propriedades agrícolas, que poderão ter um efeito significativo na disponibilidade e distribuição de água na região. A água nessas unidades de reservação precisa ser diagnosticada, não apenas quantitativamente, mas também em termos de qualidade de água, visto os usos múltiplos possíveis. As “caixas secas”, unidades utilizadas em primeira instância para ampliar as taxas de infiltração da água no solo, ampliando tempos de concentração na bacia, são muito utilizadas no meio rural, que poderão também ser identificadas por imagens de satélites. A Figura 5.9 representa a hidrografia da microbacia do córrego Três Barras, no município de Marinópolis, São Paulo – área de drenagem em torno de 17 km², mapa elaborado na escala 1:10.000 (SILVA, 2010). O estudo realiza um diagnóstico dos recursos hídricos dessa microbacia, e

além de identificar os córregos apresentados na figura, também relaciona os açudes e pequenas represas existentes.



**Figura 5-9- Hidrografia da microbacia do córrego Três Barras, Marinópolis/SP - SILVA (2010)**

Ressalta-se que, apesar da importância para o sistema hídrico geral da bacia hidrográfica de maior porte, as unidades aqui evidenciadas na escala da PMBH (ex.: caixas secas; pequenas unidades de reservação de água nas propriedades agrícolas, açudes e pequenos córregos), não são normalmente consideradas nas análises da dinâmica do escoamento superficial (como foi o caso dos estudos de casos: Rios Verde, Tramandaí, PCJ e Paranaíba) o que deve trazer reflexos para o Enquadramento dos corpos hídricos de maior porte.

### **5.3.2. Biofísico**

*5.3.2.1. Subcategoria II - identificação e localização dos usos e interferências que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água, destacando os usos preponderantes*

*a) Identificação dos usos consuntivos e não consuntivos atuais de água (industrial, agropecuário, urbano, etc.), por trecho de corpo hídrico, e dos usuários da água*

No Enquadramento de corpos hídricos, a identificação dos usos atuais da água e de seus usuários tem sido realizada, entre outros, por meio: da análise de mapas de uso e ocupação do solo; de dados obtidos de cadastros de outorga estaduais; do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH-ANA); de informações levantadas em trabalhos de campo; e de análise de imagens aéreas (ANA, 2012).

Entre os usos a serem considerados têm-se aqueles previstos nas classes de Enquadramento da Resolução CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005), ver seção 3. 1, que sejam relevantes para a bacia hidrográfica em análise. A Figura 5.10 apresenta mapa de usos da água na bacia do rio Paranaíba (aproximadamente 222.767 km<sup>2</sup> – escala 1:3.000.000), incluindo: consumo humano e industrial, dessedentação de animais, irrigação, navegação esportiva, hidroelétrico, paisagístico, lançamento de efluentes doméstico e industrial, mineração e aquicultura.

No caso de PMBH, é provável que vários dos pequenos usuários dos recursos hídricos dessas bacias não constem no cadastro de outorga dos órgãos gestores estaduais ou no CNARH-ANA. Com isso, deverá surgir a demanda por levantamento das demandas de captação de água desses usuários antes do início do processo de elaboração do Enquadramento.

Experiências em bacias de pequeno porte de base agrícola familiar (LABGEST, 2011c; TEIXEIRA et al., 2010) têm mostrado que o uso do solo e da água pode variar significativamente no espaço e no tempo, não apenas por questões de sazonalidade hidrológica, mas também de mercado. Isso chama à atenção para a necessidade, neste caso, de se realizar frequentes atualizações dos cadastros de usuário.



*b) Descrição e mapeamento dos usos preponderantes do corpo de água por trecho*

A identificação de sua demanda se dá por levantamento de dados de cadastros de usuários da bacia e junto aos usuários durante o processo de Enquadramento, ou de forma mais indireta, as estimativas de demanda poderão ser feitas com o auxílio, entre outros, do levantamento do uso e ocupação do solo. Dessa forma, ressalta-se novamente a importância de se ter disponível mapeamentos detalhados do uso e ocupação do solo e da água, que representem, de fato, a diversidade de usos na região hidrográfica.

A Figura 5.11 apresenta o mapa de usos preponderante da água na bacia do rio Paranaíba, considerando-se avaliações feitas por trechos do rio principal e de seus principais afluentes, deixando-se de considerar usos que somente seriam evidenciados aumentando-se o nível de detalhamento das informações ao nível de corpos hídricos de menores áreas de drenagem, incluindo-se aí as PMBH.

No caso de PMBH, retomando o exemplo da Figura 5.6 (seção 5.3.1.1/ *“Identificação e caracterização dos tipos de ocupação, uso e manejo do solo”*), ressalta-se que a avaliação dos usos preponderantes recaía sobre a diversidade de usos dentro de poucos setores usuários. Isso se diferencia do apresentado acima para o caso da bacia do rio Paranaíba, em que o destaque sobre preponderância de usos se dá especialmente entre os setores usuários envolvidos.

LEGENDA

|                                       |                                   |                          |                       |                                |                     |
|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------|
| Preservação das comunidades aquáticas | Aquicultura e pesca               | Pesca esportiva          | Navegação             | Captação para mineração        | Endemismo de peixes |
| Proteção das comunidades aquáticas    | Abastecimento para consumo humano | Irrigação                | Harmonia paisagística | Aproveitamento hidroenergético |                     |
| Recreação de contato primário         | Recreação de contato secundário   | Dessedentação de animais | Captação industrial   | Unidade de conservação         |                     |

Figura 3.7 – Usos Preponderantes em cada Trecho de Análise

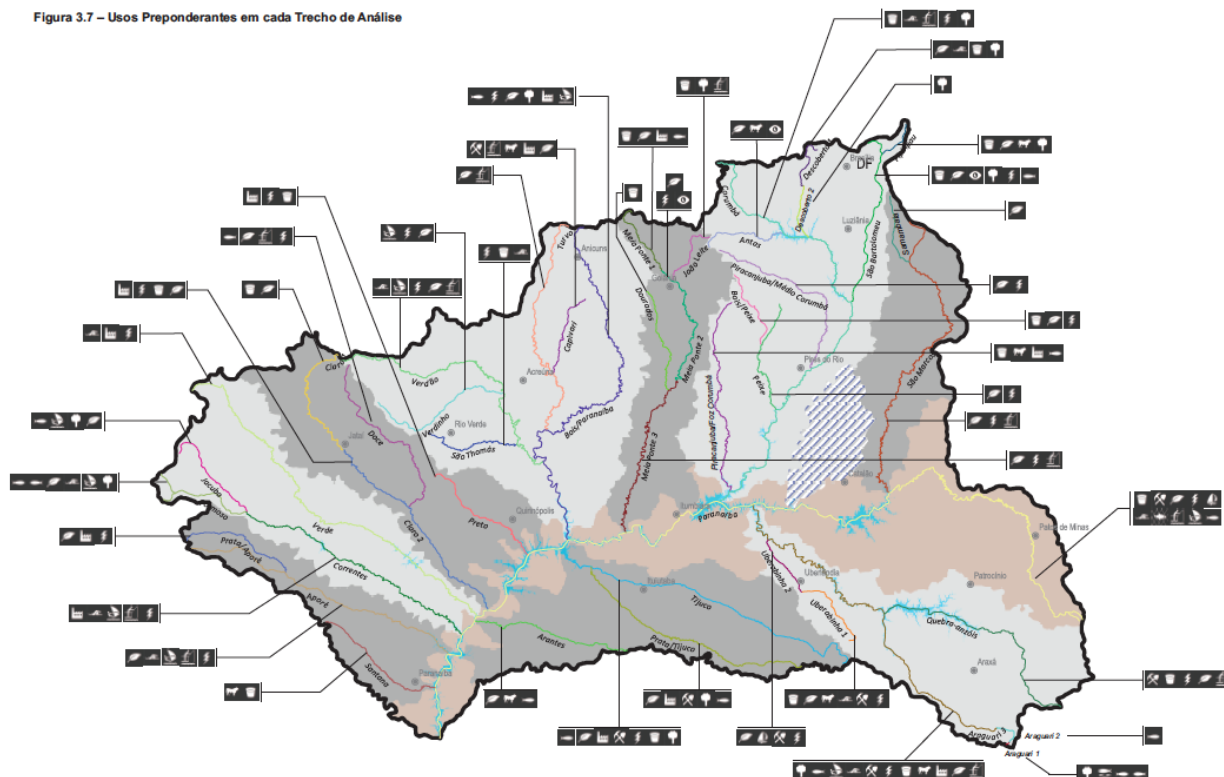


Figura 5-11– Identificação dos usos preponderantes por trecho de corpos hídricos da bacia do rio Paranaíba (ANA, 2012).

5.3.2.2. *Subcategoria III - identificação, localização e quantificação das cargas das fontes de poluição pontuais e difusas atuais, oriundas de efluentes domiciliares, industriais, de atividades agropecuárias e de outras fontes causadoras de degradação dos recursos hídricos superficiais*

*a) Identificação das fontes de poluição (domésticas, industriais, agropecuárias, etc.) e estimativa das cargas poluidoras potenciais e efetivamente lançadas nos corpos hídricos*

A poluição das águas superficiais pode originar-se de várias fontes, em que se destacam os efluentes domésticos e industriais (cargas *pontuais*) e os deflúvios superficiais urbanos e agrícolas (cargas *difusas*). A identificação dessas fontes de poluição está associada ao tipo de uso e ocupação do solo na região. Pode seguir

métodos semelhantes aos já apresentados na seção 5.3.2.1 (identificação dos usos atuais de água por trecho de corpo hídrico), além de análises de dados levantados em planos de saneamento básico, processos de licenciamento e de controle ambiental de empreendimentos diversos, inclusive industriais.

A análise das fontes de poluição é de grande importância para o Enquadramento, porque em função das características das cargas poluidoras, por segmento de corpo hídrico, é possível determinar os parâmetros prioritários de análise de qualidade de água para implementação desse instrumento (ANA, 2012).

A Figura 5.12 apresenta a matriz proposta para Enquadramento dos rios Santana e Aporé / afluentes do rio Paranaíba. Para cada trecho de corpos hídricos as fontes de poluição foram identificadas a partir de análise do uso e ocupação do solo e de informações diretamente coletadas na bacia, por meio de trabalho de campo e sobrevoo, bem como apresenta informação sobre quantificação de cargas de poluição.

Em PMBH, entre os cuidados para que se possa realizar uma análise adequada desse aspecto de diagnósticos está à utilização de mapas e imagens em escala compatível. Uma vez que, como já mencionado na seção anterior, os cadastros de outorga e de usuários da água dos órgãos gestores, estaduais e nacional, podem não estar preparados para oferecer informações ao nível das pequenas/micro bacias; essa adequação e o cadastramento far-se-ão necessários à implementação do Enquadramento no âmbito de PMBH.

| UPH                                                                                                       | Curso Hídrico         | Trecho                              | Uso da água do Trecho referente                                                                                                                        | Classe proposta | Pontos de Monitoramento do Trecho referente | Parâmetros Monitorados                | CONDIÇÃO ATUAL (% de desconformidade do período de 2008 a 2010 em relação à classe proposta) |                                              | Fontes de Poluição a partir do Uso do solo e de Observações do Sobrevo                                                                                                                                                          | Ações necessárias                                                                                                               | Carga Remanescente de origem Doméstica dos Municípios contidos nos Trechos referentes |                |             |              |                          |             |              |                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------|--------------|--------------------------|-------------|--------------|--------------------------------|
|                                                                                                           |                       |                                     |                                                                                                                                                        |                 |                                             |                                       | – Ordem Montante Jusante –                                                                   |                                              |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                 | Município                                                                             | CONDIÇÃO ATUAL |             |              | CENÁRIO PLANSAB AMPLIADO |             |              |                                |
|                                                                                                           |                       |                                     |                                                                                                                                                        |                 |                                             |                                       | Período Seco                                                                                 | Período Chuvoso                              |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                 |                                                                                       | DBO (kg/dia)   | Pt (kg/dia) | CT (NMP/dia) | DBO (kg/dia)             | Pt (kg/dia) | CT (NMP/dia) | % da carga de DBO do município |
|  Rio Santana / Rio Aporé | Rio da Prata          | Prata/Aporé (da nascente até a foz) | Irrigação; Captação Industrial; Aproveitamento hidroenergético (PCH Pontal da Prata; Retiro Velho); *Uso Previsto – (PCHs Lajeadinho; Engano)          | 2               |                                             |                                       |                                                                                              |                                              | Poluição difusa de origem agrícola da cabeceira até a confluência com o Ribeirão Água Amarela; Poluição difusa de origem pecuária da confluência com o Ribeirão Água Amarela até a foz                                          | Instalação de rede de monitoramento de qualidade da água                                                                        | Chapadão do Céu                                                                       | 254,0          | 4,7         | 5,E+11       | 303,5                    | 8,6         | 7,E+11       | 100%                           |
|                                                                                                           |                       |                                     |                                                                                                                                                        |                 |                                             |                                       |                                                                                              |                                              |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                 | Aporé                                                                                 | -              | -           | -            | -                        | -           | -            | -                              |
|                                                                                                           | Rio Aporé ou do Peixe | Aporé (da nascente até a foz)       | Irrigação – cabeceira; Aproveitamento hidroenergético (PCH Planalto); Recreação de contato primário; Recreação de contato secundário; Pesca esportiva; | 2               | 00MS19AR2321                                | OD, CT, DBO, Turbidez, Namoniacal, Pt | SD                                                                                           | 17% (OD); 17% (CT); 50% (Pt)                 | Poluição difusa de origem agrícola na cabeceira; Poluição difusa de origem pecuária da confluência do Rio da Prata com o Rio Aporé até a foz; Lançamento de Efluente doméstico das cidades de Cassilândia, Aporé e Lago Santana | Manejo conservacionista das áreas agropecuárias. Melhoria do saneamento básico das cidades de Cassilândia, Aporé e Lago Santana | Chapadão do Céu                                                                       | -              | -           | -            | -                        | -           | -            | -                              |
|                                                                                                           |                       |                                     |                                                                                                                                                        |                 | 00MS19AR2243                                |                                       | 17% (Pt)                                                                                     | 17% (CT) 33% (Pt)                            |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                 | Chapadão do Sul                                                                       | 624,3          | 13,2        | 1,E+12       | 692,9                    | 21,1        | 2,E+12       | 100%                           |
|                                                                                                           |                       |                                     |                                                                                                                                                        |                 | 00MS19AR2233                                |                                       | 67% (Pt)                                                                                     | 50% (Pt)                                     |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                 | Aporé                                                                                 | 110,0          | 2,0         | 2,E+11       | 91,2                     | 2,6         | 2,E+11       | 100%                           |
|                                                                                                           |                       |                                     |                                                                                                                                                        |                 | 00MS19AR2143                                | 67% (Pt)                              | 17% (OD); 17% (CT); 50% (Pt)                                                                 | Cassilândia                                  |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                 | 819,5                                                                                 | 15,2           | 2,E+12      | 533,6        | 15,1                     | 1,E+12      | 100%         |                                |
|                                                                                                           |                       |                                     |                                                                                                                                                        |                 | 00MS19AR2138                                | 40% (CT); 20% (Namoniacal); 80%(Pt)   | 20% (CT); 60% (Pt)                                                                           | Itajá                                        |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                 | 161,7                                                                                 | 3,0            | 3,E+11      | 92,5         | 2,6                      | 2,E+11      | 100%         |                                |
|                                                                                                           |                       |                                     |                                                                                                                                                        |                 | HW60970000                                  | OD, DBO                               | SD                                                                                           | Lagoa Santa                                  |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                 | 33,6                                                                                  | 0,6            | 6,E+10      | 22,5         | 0,6                      | 5,E+10      | 100%         |                                |
|                                                                                                           |                       |                                     |                                                                                                                                                        |                 | 00MS19AR2039                                | OD, CT, DBO, Turbidez, Namoniacal, Pt | 33% (CT); 50% (Pt)                                                                           | 17% (OD); 67% (CT); 17% (Turbidez); 83% (Pt) |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                 | Paranaíba                                                                             | -              | -           | -            | -                        | -           | -            | -                              |
|                                                                                                           | Rio Santana           | Santana (da nascente até a foz)     | Abastecimento da cidade de Paranaíba (Trat. Convencional); Dessedentação de animais                                                                    | 2               |                                             |                                       |                                                                                              |                                              | Poluição difusa de origem pecuária; efeito de assoreamento observado no sobrevo; Lançamento de efluente doméstico da cidade de Paranaíba                                                                                        | Instalação de rede de monitoramento de qualidade da água                                                                        | Cassilândia                                                                           | -              | -           | -            | -                        | -           | -            |                                |
|                                                                                                           |                       |                                     |                                                                                                                                                        |                 |                                             |                                       |                                                                                              |                                              |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                 | Paranaíba                                                                             | 1.265,7        | 26,9        | 2,E+12       | 866,0                    | 26,4        | 2,E+12       | 100%                           |

Legenda: SD : sem desconformidade | - : sem medição para o período de análise

Lançamento de efluente doméstico no afluente do trecho de análise

Lançamento de efluente doméstico no trecho de análise

Lançamento de efluente doméstico em outro trecho

Figura 5-12 - Matriz da proposta de Enquadramento dos rios Santana e Aporé/ afluentes do rio Paranaíba (ANA, 2012)

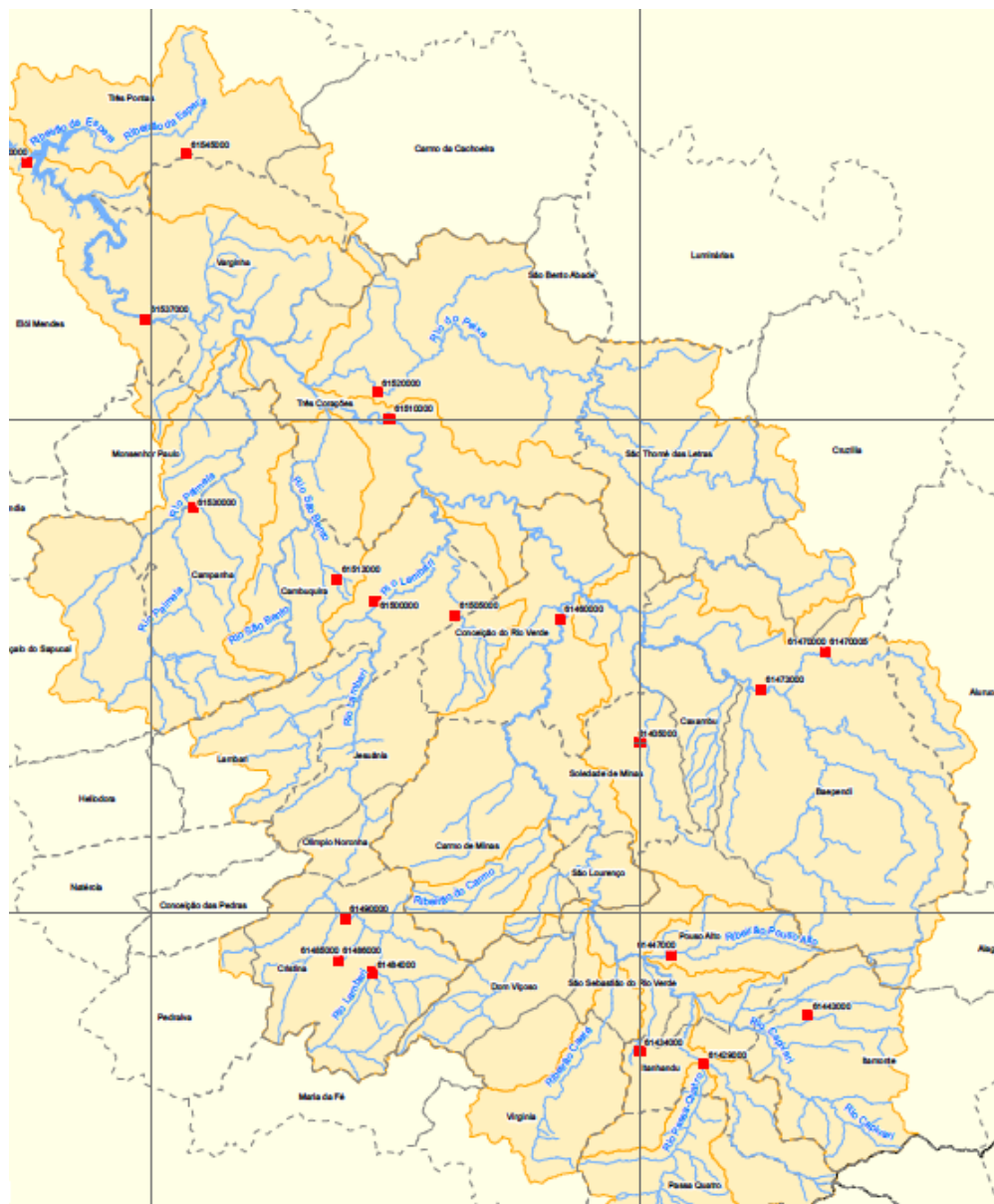
#### *5.3.2.3. Subcategoria IV – disponibilidade e condições de qualidade das águas superficiais*

- *Disponibilidade de água superficial*

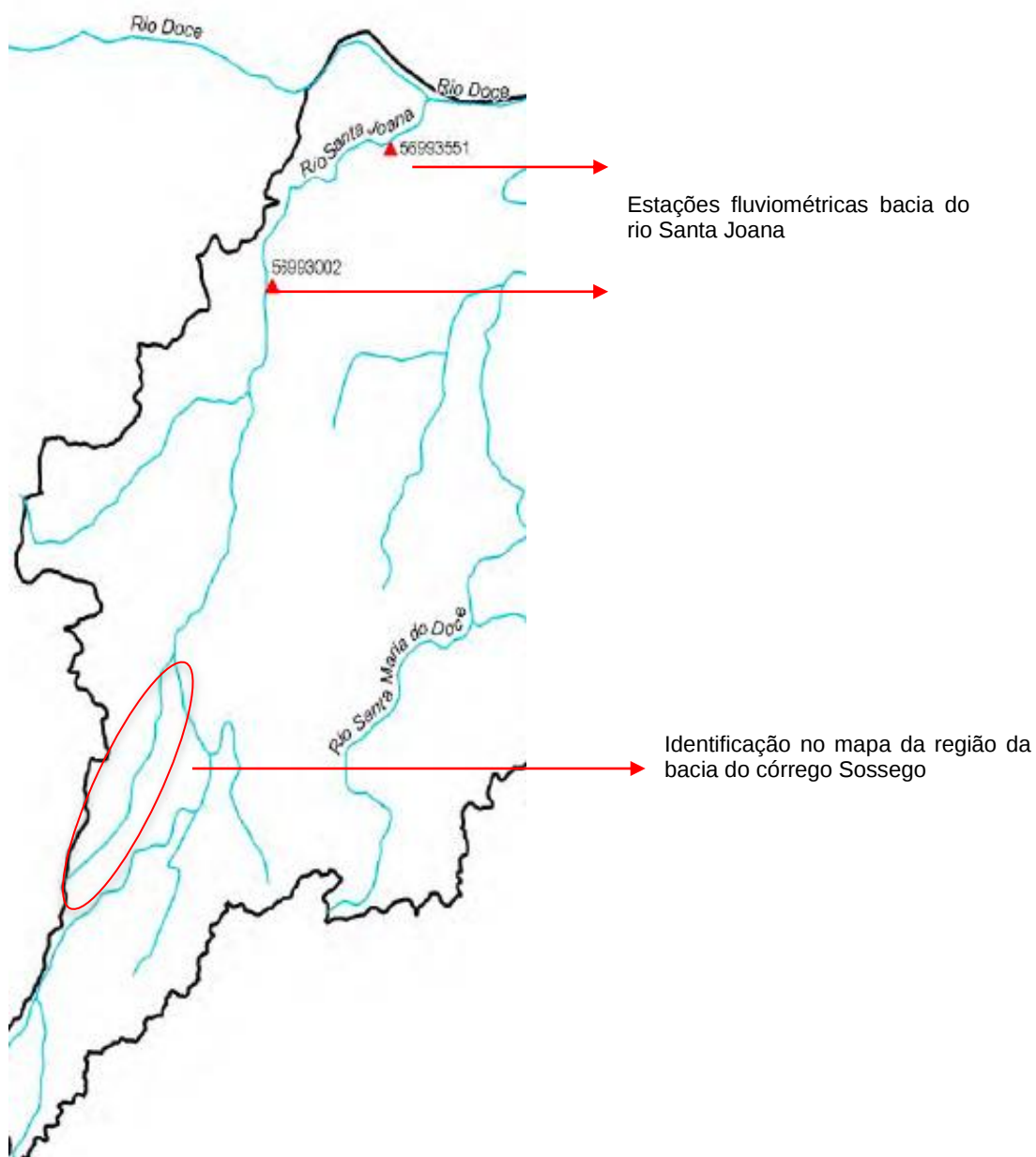
*a) Descrição e mapeamento das estações pluviométricas e fluviométricas da bacia; levantamento de séries históricas (precipitação e vazão); se necessários, modelagem hidrológica para complementação de dados*

Conforme relatado na “Revisão de Literatura”, as redes de monitoramento hidrológico no Brasil foram concebidas para, principalmente, fornecer informações a bacias de grande porte. Por isso, o relativamente reduzido número dessas estações em bacias com menos de 500 km<sup>2</sup> (limite máximo de referência para a classificação de pequenas bacias hidrográficas), podendo levar, em várias situações, a significativas imprecisões da espacialização das variáveis hidrológicas na escala de PMBH.. Na parte Figura 5.13, apresenta-se no mapa a distribuição das 20 estações fluviométricas da bacia do rio Verde/MG (aproximadamente 6.890 m<sup>2</sup>) e relaciona no quadro as 19 estações pluviométricas instaladas dentro dos limites territoriais e as 7 localizadas nas proximidades dessa bacia. Já na Figura 5.14, são representadas as 2 estações fluviométricas da bacia rio do Santa Joana/ES, afluente do rio Doce (em torno de 890 km<sup>2</sup>), e pode-se constatar a inexistência de estações fluviométricas na delimitação feita no mapa da região na bacia do córrego Sossego/ES (aproximadamente 65 km<sup>2</sup>). Na Figura 5.15, são identificadas as estações pluviométricas localizadas no entorno da bacia do córrego Sossego; no entanto, nenhuma está instalada no seu interior.

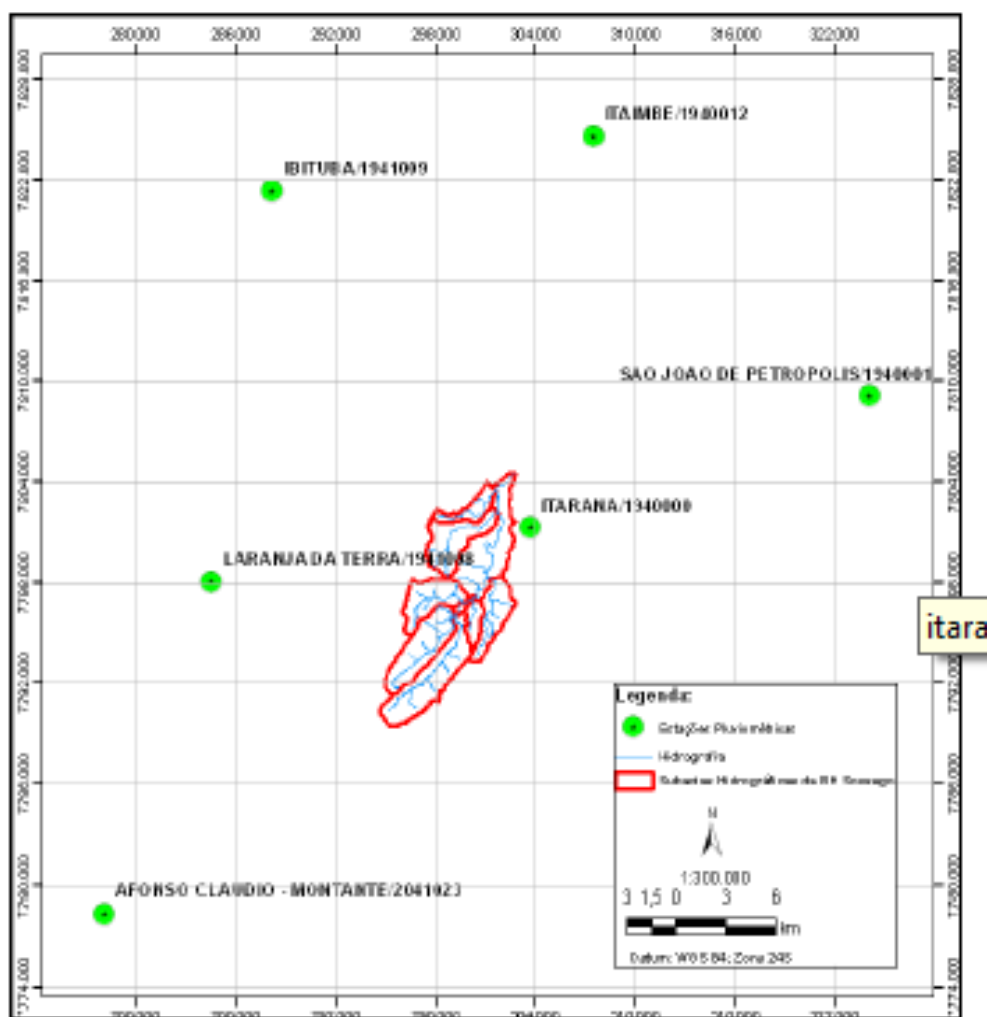
A falta de representativas estações de monitoramento hidrológico em bacias de pequeno porte pode trazer, na maior parte dos casos, dificuldades / muita imprecisão no estabelecimento de séries históricas, como, por exemplo, de precipitação e vazão, ocasionando, assim, algumas limitações aos estudos de disponibilidade hídrica em PMBH.



**Figura 5-13– Estações fluviométricas e pluviométricas localizadas na bacia do rio Verde – (IGAM 2009).**



**Figura 5-14—Localização das estações fluviométricas na bacia do rio Santa Joana - (IGAM, 2010a)**



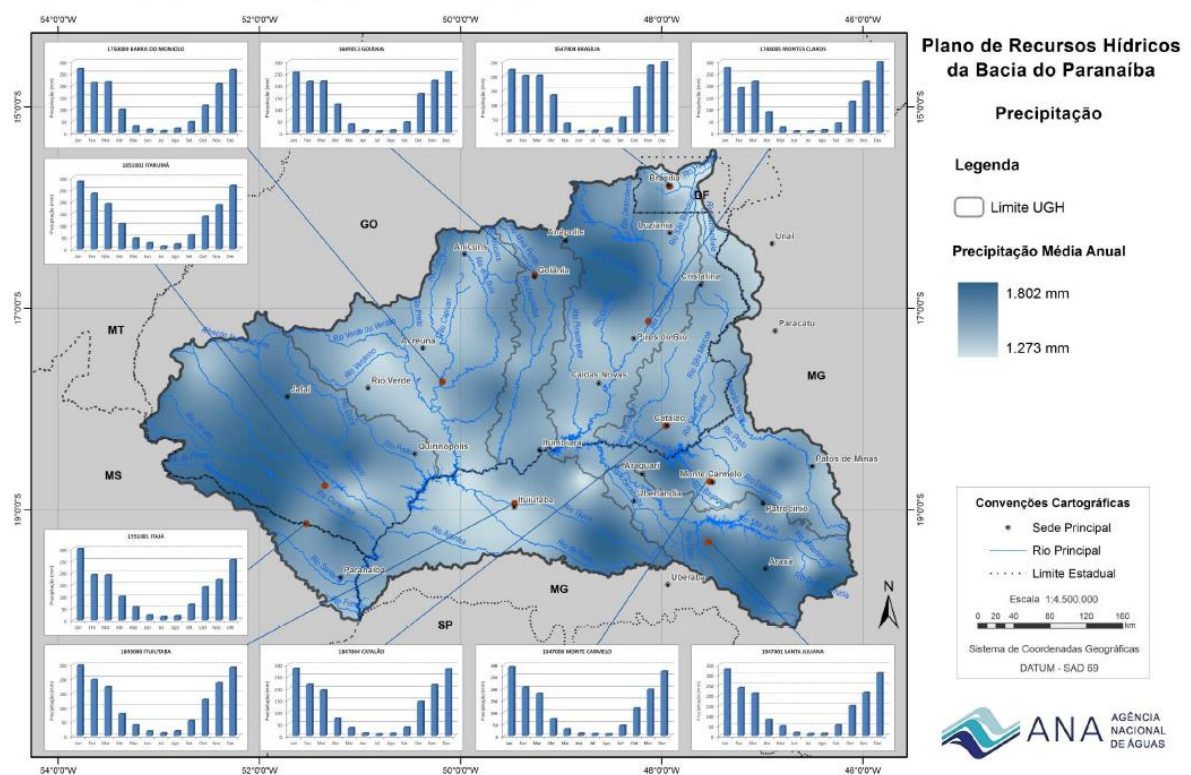
**Figura 5-15– Localização das estações pluviométricas peq. bacia do córrego Sossego (Labgest, 2011a)**

*b) Determinação de parâmetros hidrológicos (valores de precipitação e vazão médios, máximos, mínimos)*

- Precipitação

Com a análise dos dados fornecidos pelas estações pluviométricas, é possível obter informações sobre a distribuição espacial e temporal das precipitações em bacias hidrográficas, o que, para o Enquadramento são informações relevantes, pois fornecem conhecimento sobre o comportamento hidrológico da região que se pretende enquadrar.

Como apresentado no aspecto de diagnóstico acima, as bacias de maiores portes têm chance de ser cobertas por estações de monitoramento hidrológico, o que permite a interpolação dos dados de precipitação, mesmo que com algum problema de precisão. A Figura 5.16 apresenta tanto a média mensal de longo termo para 10 estações pluviométricas situadas internamente à bacia do rio Paranaíba (mapa em escala 1:4.500.000), bem como, por meio de interpolação, valor da média anual para qualquer ponto da bacia.



**Figura 5-16– Precipitação média anual e distribuição mensal em estações pluviométrica de bacia de grande escala – (ANA, 2012)**

Já as PMBH, no geral, não são cobertas por estações de monitoramento hidrológico, como mostra a Figura 5.15 (item acima). Dessa forma, a precisão das informações geradas pela interpolação dos dados de precipitação pode não retratar os valores realmente que ocorrem no lugar.

- *Vazão*

A determinação da vazão subsidia a avaliação da qualidade de água em corpos hídricos em diferentes condições hídricas / de escoamento.

Para a determinação da vazão (médias espaciais; vazões máximas, mínimas e médias temporais num ponto; vazão específica; instantâneas...) fazem-se usos de séries históricas de dados de vazão obtidos em estações de monitoramento fluviométrico, de campanhas de monitoramento, de modelos matemáticos, etc.

Há na literatura técnico-científica uma variedade de métodos e modelos disponíveis para a determinação / estimativa da vazão, considerando a escassez ou abundância de dados para a calibração e validação dos modelos (TUCCI, 2000; TUCCI e SILVEIRA, 2001; NOAVES, 2005; BALTOKOSKI et al., 2010). Da mesma forma, há também uma diversidade de métodos e técnicas para se chegar à determinação indireta da vazão em seções de cursos d'água por meio da medição/do monitoramento em campo de parâmetros relacionáveis/correlacionáveis, considerando dimensões geométricas do curso d'água, magnitudes da vazão, regimes de escoamento, etc. (SILVEIRA, 1997; SILVEIRA e TUCCI, 1998; SILVEIRA e SILVEIRA, 2001).

Importante ressaltar que a adoção de um dado método ou técnica para a medição de vazão envolve outros fatores além do porte do curso d'água. Entre eles, o nível de precisão requerido, a disponibilidade de equipamentos de monitoramento e/ou de recursos para a contratação de serviço especializado.

*c) Determinação da curva de permanência (vazões de referencias)*

A curva de permanência relaciona a vazão e a porcentagem do tempo em que ela é superada ou igualada sobre todo o período histórico utilizado para sua construção (CRUZ e TUCCI, 2008). Sendo que, os dados gerados pelas curvas de permanência subsidiam a obtenção da vazão de referencia utilizada nos estudos de disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas.

Dessa forma, quando a PMBH possui uma série contínua de dados de vazão, seja por monitoramento hidrológico contínuo ou por utilização de métodos alternativos (ex. modelos chuva-vazão), é possível determinar vazões de referência e curvas de permanência por meio de métodos convencionais apresentados pela literatura (TUCCI, 2002; CRUZ E TUCCI, 2008).

- *Qualidade das águas superficiais:*

*d) Definição de parâmetros representativos (feita a partir da correlação das fontes de poluição com os usos da água identificados na bacia)*

A Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) estabelece que o conjunto de parâmetros a ser adotado para a avaliação das condições de qualidade de água nas bacias a serem enquadradas deve ser definido em função dos usos atuais e pretendidos dos recursos hídricos superficiais. Com isso, após o levantamento dos usos atuais de água e a identificação das fontes de poluição (aspectos abordados na seções 5.3.2.1. e 5.3.2.2 / subcategorias II e III), é possível definir os parâmetros representativos de qualidade de água a serem considerados na fase diagnóstica.

Ao se analisar os estudos de caso de proposta de Enquadramento considerados na presente pesquisa, constatou-se que os parâmetros de qualidade de água mais utilizados foram os incorporados pelo Índice de Qualidade de Água – IQA (CETESB): oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrogênio total, temperatura, turbidez e sólidos totais. Em alguns casos também foram empregados nitrito e nitrato.

Como para as bacias de portes maiores, em PMBH de base agrícola familiar, os parâmetros de qualidade de água a serem analisados resultarão da avaliação de usos, ocupação e manejo do solo (LABGEST, 2011b; POLETO, 2010; VANZELA, 2004).

*e) Levantamento e análise da qualidade da água, a partir de dados monitorados e modelados, com mapeamento e descrição dos postos de monitoramento*

O estabelecimento da variação da qualidade de água nos trechos dos corpos hídricos se dá por meio do monitoramento e/ou modelagem matemática.

- Aspectos de monitoramento

Em bacias hidrográficas de maior porte, a rede de monitoramento qualitativo da água pode ser formada por postos de monitoramento de responsabilidade de órgãos gestores de recursos hídricos (estaduais e nacional), das empresas de saneamento (captação de água bruta e/ou disposição de efluentes), de empreendedores (como parte da licença ambiental), etc. Há ainda dados levantados esporadicamente, em casos de campanhas de campo específicas, a exemplo daqueles para fins de calibração e validação de modelos matemáticos de simulação da qualidade da água, temática tratada ainda nesta seção.

A Figura 5.17 apresenta a rede de monitoramento qualitativo da bacia do Rio Verde/MG (6.890 km<sup>2</sup> – mapa escala 1:500.000).

Sabendo-se da baixa densidade da rede nacional de monitoramento hidrológico quali-quantitativo, em suporte à gestão de recursos hídricos, aí considerando-se bacias de maiores portes, pode-se afirmar que, no que concerne a disponibilidade de postos de monitoramento continuados de qualidade de água, as PMBH estão, hoje, deficientemente servidas. Isso indica que para a avaliação da qualidade de água em PMBH, será, no geral, necessária a obtenção de parâmetros de qualidade de água em campanhas de campo específicas.

Na comparação entre corpos hídricos de pequeno porte e de maior porte, da mesma forma que identificada / discutida especificidades quanto ao levantamento e análise de parâmetros quantitativos de água, aqui também a identificação e discussão são pertinentes. Para isso, e a efeito de exemplificação, alguns aspectos serão tratados: medição *in situ*, coleta de amostras para a realização de análises laboratoriais, e número de pontos de medição de qualidade de água/coleta de amostra de água.



**- Medição de parâmetros de qualidade de água in situ e coleta de amostras de água para a realização de análises laboratoriais.**

No caso de pequenos corpos d'água (estreitos, pouco profundos, etc.), algumas adaptações podem ser necessárias para permitir a inserção de sondas na massa líquida e a coleta de amostras de água, como pequenos barramentos provisórios que elevem a profundidade do escoamento em cursos d'água. Por outro lado, no caso de corpos hídricos de maior porte, entre as dificuldades está o acesso a pontos mais internos ao corpo hídrico, o que pode demandar maiores esforços em termos de logística, a exemplo da utilização de embarcações. A Figura 5.18 dá exemplos disso (a parte “a” e “b” referindo-se, respectivamente, a corpos hídricos de maior e pequeno porte).



A – Rios Paraná e Monday / PR



B – Córregos: Campus da UFSM/RS ; Silveira Martins – Santa Maria/ RS; Bananal – Itarana/ES.

**Figura 5-18- Exemplos de características de corpos hídricos de portes distintos**

## **- Número de pontos de medição de qualidade de água/coleta de amostra de água**

Para corpos hídricos de maiores dimensões, comparados aos de pequenos portes inseridos na mesma área de drenagem, o número requerido de pontos de medição/de coleta para uma adequada representação da qualidade de água ao longo da sua extensão torna-se maior. Entre as razões para isso têm-se: maior número e diversidade de fontes de poluição, como já discutido anteriormente; e verificação de seções de escoamento mais largas e profundas, possibilitando maiores variações de qualidade da água nas mesmas.

Na fase de diagnóstico do Enquadramento, os modelos matemáticos de qualidade de água superficiais são normalmente utilizados para interpolar/ extrapolar informações pontuais sobre parâmetros de qualidade de água obtidos por medições em campo (FLECK et al, 2013). Com isso, possibilitam avaliações mais extensivas da qualidade de água por meio de simulações numéricas, inclusive de condições não monitoradas, desde que se tenham modelos calibrados/validados.

Nos estudos de caso considerados na presente pesquisa, os modelos matemáticos de qualidade de água utilizados foram o QUAL2E e QUAL-UFMG, que são bastante empregados no Brasil e possuem grande quantidade de material bibliográfico a respeito (VON SPERLING, 2007; GASTALDINI et al., 2002; OPPA, 2007; GONÇALVES, 2012; SANTOS, 2011).

O emprego desses modelos se deu na avaliação de qualidade de cursos de água principais de bacias hidrográficas diagnosticadas e de seus principais afluentes. A seguir, apresentam-se algumas informações necessárias utilizadas para a execução dos modelos de simulação, bem como informações por eles produzidas:

- Regimes de escoamento admitidos: uniforme e permanente;
- Cargas poluidoras pontuais: localizadas na hidrografia, provenientes de lançamentos de efluentes sanitários, industriais, de atividades de mineração, etc.;

- Cargas poluidoras difusas: consideradas de forma incremental ao longo dos rios, com valores definidos durante a calibração do modelo (principalmente de atividades agropecuárias);
- Dados hidrológicos: vazão de referência de interesse, considerando valores incrementais ao longo do trecho em análise. Consideram-se ainda os acréscimos e decréscimos de vazão em consequência dos lançamentos de esgoto e captações conhecidas, respectivamente;
- Dados de profundidade, largura, comprimento e velocidade (obtida por meio de estudos estatísticos provenientes das estações fluviométricas existentes na bacia);
- Dados de qualidade de água obtidos de postos de monitoramento continuado / campanhas de campo específicas;
- Dados de coeficientes cinéticos reacionais,
- Parâmetros modelados: Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO; Oxigênio Dissolvido – OD; Série de Nitrogênio: orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato; Fósforo: orgânico e inorgânico; Organismos indicadores de contaminação fecal: Coliformes Termotolerantes.

Os resultados da modelagem são apresentados na forma de tabelas, estatísticas básicas, gráficos de distribuição de frequência e de comportamento dos parâmetros estudados ao longo dos trechos modelados. Apresenta-se também representação gráfica da espacialização da atual qualidade de qualidade de água ao longo dos trechos modelados, tomando-se como referência as classes de Enquadramento de corpos hídricos, segundo a Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005).

A Figura 5.19 apresenta exemplo de avaliação diagnóstica (Enquadramento dos Rios das Mortes e Jacaré/MG; bacia de aproximadamente 18.710 km<sup>2</sup>), em que espacialização da qualidade de água de cursos de água, por trecho, é apresentada, fruto de resultado de simulações matemáticas.

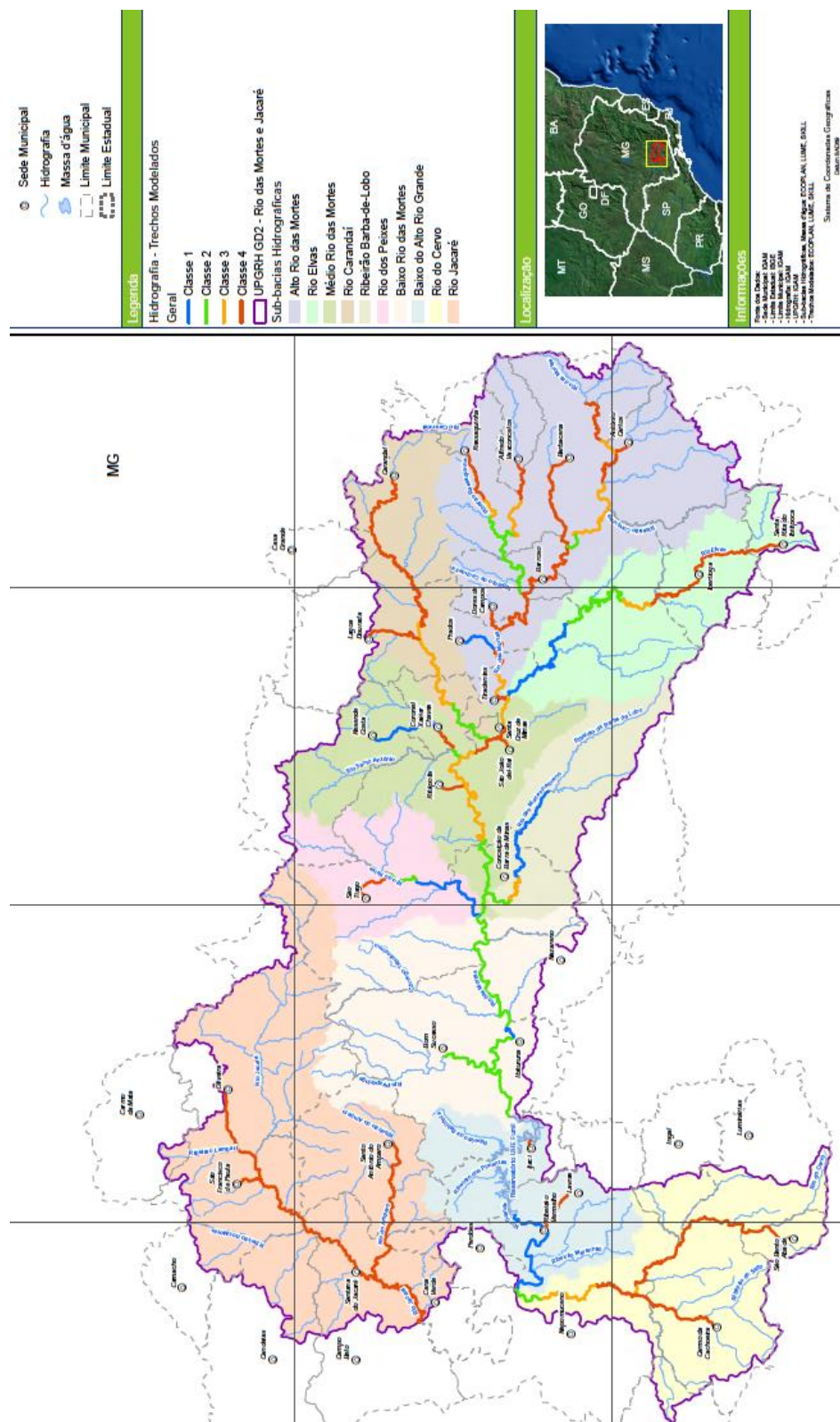


Figura 5-19– Simulações matemáticas utilizadas para espacialização da qualidade de água em cursos de água em estudos de diagnósticos para fins de Enquadramento

No caso de corpos d'água de pequeno porte, é possível a utilização de modelos matemáticos de qualidade de água para interpolação de valores de parâmetros de qualidade medidos, desde que: as restrições impostas pelos modelos sejam atendidas (ex.: regime de escoamento uniforme); os mesmos sejam adequadamente calibrados e validados. Para qualquer porte de corpo hídrico, o não atendimento a essas exigências levará a imprecisões nos resultados da modelagem, podendo, conseqüentemente, afetar, a qualidade do Enquadramento. Ao se analisar a Figura 5.18, apresentada no item anterior, é possível imaginar a dificuldade de atendimento da exigência de escoamento uniforme em pequenos cursos d'água naturais.

Nas avaliações de qualidade de água dos trabalhos técnicos analisados nesta pesquisa de proposta de Enquadramento, não foi possível encontrar exemplos de utilização de modelos de dispersão difusa.

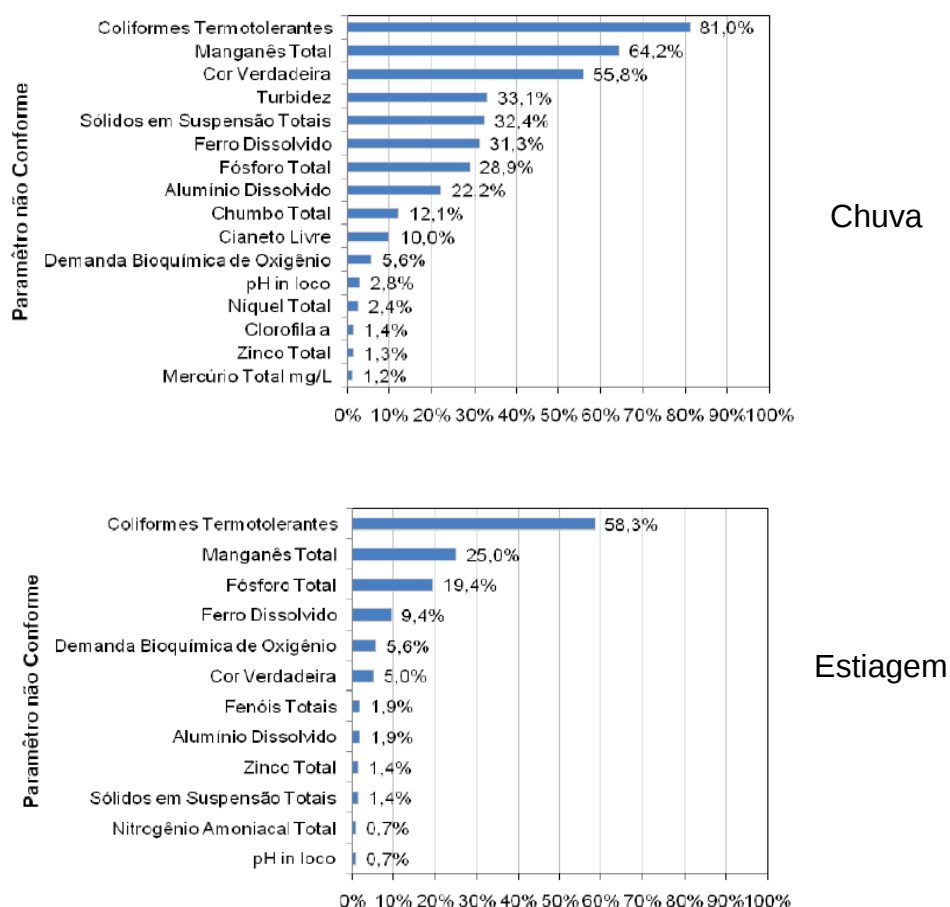
Acredita-se que se para ter uma avaliação mais consistente da qualidade de água de corpos hídricos em PMBH, seria necessária a utilização de modelos de dispersão difusa acoplada a modelos tradicionalmente usados de qualidade de água em cursos d'água. Com o emprego de modelos de dispersão difusa alguns itens de diagnósticos apresentados na seção 5.3.1., "Caracterização geral", como tipo de solo, uso/ocupação e manejo do solo, passariam ter uma utilização mais direta na avaliação diagnóstica de corpos hídricos superficiais para fins de Enquadramento.

A literatura identifica alguns tipos de modelos de dispersão difusa, como SWAT, KINEROS e LINES (UZEIKA, 2009), que têm apresentado resultados satisfatórios quando utilizados em bacias de pequeno porte.

*f) Avaliação da compatibilidade da qualidade atual das águas superficiais com os usos existentes, classificando-se os parâmetros de análise quanto à classificação de trecho por corpo hídrico.*

Após realização da avaliação da qualidade de águas, as informações são comparadas quanto ao atendimento à legislação, indicando os percentuais de resultados não conformes em relação a classificação. Elabora-se análise por trecho de corpo hídricos e por análise dos resultados laboratoriais, englobando,

respectivamente, os parâmetros não conformes e a condição média sazonal frente a classe de qualidade para Enquadramento. Neste contexto, define-se os parâmetros prioritários para avaliar a evolução da qualidade das águas das bacias a serem enquadradas. Conforme exemplo apresentado na Figura 5.20.



**Figura 5-20 – Percentuais de resultados não conformes em relação aos padrões de qualidade da classe 2, período de chuva e estiagem – Bacia dos rios das Mortes e Jacaré (IGAM, 2010b)**

#### **5.4. Propor diretrizes para o estabelecimento de procedimentos orientativos ao desenvolvimento da fase diagnóstica do Enquadramento de corpos de água superficiais de PMBH.**

Após realização de análise a respeito das particularidades / especificidades da aplicação do conjunto de itens de diagnóstico de referencia em PMBH (seção anterior – 5.3), foram propostas diretrizes visando o estabelecimento de procedimentos orientativos ao desenvolvimento da fase de diagnóstico do Enquadramento de corpos de água superficiais de PMBH. As diretrizes foram organizadas por item de diagnóstico e são apresentadas no Quadro 5.4.

**Quadro 5-4 - Subsídios à diretrizes para avaliações diagnósticas para fins de Enquadramento de corpos de água superficiais em PMBH.**

| Categorização Geral                                   |                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Subcategoria                                          | Itens                                                                                                    | Subsídio à diretrizes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>I - Caracterização geral da bacia hidrográfica</b> | a) Identificação, descrição e mapeamento da divisão político-administrativa da região que abriga a bacia | Além do mapeamento de elementos mais usuais da referida divisão político-administrativa (limites municipais, de bacias e sub-bacias hidrográficas, ..), ressalta-se a relevância de se mapear as comunidades populacionais inseridas na bacia a ser diagnosticada, especialmente no contexto do envolvimento/da participação da sociedade nas diversas etapas e atividades do processo de Enquadramento. A mobilização social e o levantamento de dados/informações estão entre as atividades.                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                       | b) Definição das unidades de análise                                                                     | Adicionalmente aos aspectos fisiográficos e hidrológicos, sugere-se valorizar a utilização de aspectos sociais pertinentes, a exemplo da dinâmica social na região, entre os fatores de definição das unidades de análise para fins de elaboração das propostas de Enquadramento. Tanto a elaboração da proposta de enquadramento quanto a sua efetivação requerem o estabelecimento de consensos, a atuação cooperada, a mediação/atenuação de conflitos, e a delimitação das unidades de análise podem ser feitas de forma a favorecer tudo isso. O mapeamento das comunidades populacionais, citado no item anterior, dá suporte, entre outros, ao entendimento da dinâmica social aqui referido.                                                     |
|                                                       | c) Caracterização da pedologia                                                                           | Para a adequada caracterização da pedologia será necessário maior detalhamento da malha amostral de solos em comparação ao que se tem, normalmente, tido de disponível. Mas, empreender esse esforço só será justificado se a informação levantada com esse nível de detalhamento for efetivamente utilizada de forma mais direta com a finalidade de dar suporte à avaliação de qualidade de água dos corpos hídricos a ser enquadrados. Por exemplo, em auxílio à simulação matemática do aporte de sedimentos, e de outros constituintes potencialmente poluidores, a corpos de água superficiais, em dado evento de chuva.                                                                                                                           |
|                                                       | d) Identificação e caracterização dos tipos de uso, manejo e ocupação do solo.                           | O levantamento do uso, ocupação e manejo do solo tem que se dar em nível de detalhe compatível com a dimensão da PMBH. Para isso, poderá contar com imagens aéreas de alta resolução e técnicas de processamento de imagens que se encontram, a cada dia, mais disponíveis e acessíveis. Atenção também deve ser dada para que a representação da informação se dê em escala adequada, possibilitando evidenciar relevantes elementos de diagnósticos não considerados normalmente em avaliações diagnósticas de bacias de maiores portes. Como exemplos disso têm-se: a diversidade de uso, mesmo para poucos setores usuários normalmente envolvidos; as estradas vicinais; pequenas unidades de reserva hídrica e para a infiltração de água no solo. |

**Quadro 5.4 – Subsídios à diretrizes para avaliações diagnósticas para fins de Enquadramento de corpos de água superficiais em PMBH.**

| Biofísico                                                                                                           |                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Subcategoria                                                                                                        | Itens                                                                                                                                                             | Subsídio à diretrizes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>II - identificação e localização dos usos, destacando os usos preponderantes</b>                                 | a) Identificação dos usos atuais de água por trecho de corpo hídrico, das áreas de uso consuntivo e não consuntivo e dos usuários da água                         | Considerando que atualmente pequenos produtores rurais, no geral, não constam nos cadastros de usuários de água de órgãos estaduais e nacional gestores de recursos hídricos, o levantamento das demandas de captação de água desses usuários deverá ocorrer antes do início do ou durante o processo de elaboração do Enquadramento. E como esses produtores estão muito susceptíveis à dinâmica de mercado, a ocorrência de alta rotatividade das culturas agrícolas comercializadas é algo de concreto, levando, consequentemente, a variações temporais na demanda de água. Isso sugere a realização de frequentes atualizações dos cadastros de usuários.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                                                                                                                     | b) Descrição e mapeamento dos usos preponderantes do corpo de água por trecho                                                                                     | Em situação de existência de cadastros de usuários da bacia ou de levantamento de demanda de água junto aos usuários durante o processo de Enquadramento, a identificação dos usos preponderantes da água poderá se dar de forma mais direta. Caso contrário, estimativas de demanda poderão ser feitas indiretamente com o auxílio, entre outros, do levantamento do uso e ocupação do solo realizado de forma suficientemente detalhada, seguindo diretrizes já apresentadas, anteriormente, sobre isso.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>III - identificação, localização e quantificação das cargas das fontes de poluição pontuais e difusas atuais</b> | a) Identificação das fontes de poluição e estimativa das cargas poluidoras potenciais e efetivamente lançadas nos corpos hídricos                                 | Analogamente ao já comentado sobre cadastro de usuários versus demanda por captação de água de pequenos produtores rurais, será necessário levantar as demandas de lançamento de efluentes e informações que subsidiem avaliações da dispersão difusa antes do início do ou durante o processo de elaboração do Enquadramento.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>IV – disponibilidade e condições de qualidade das águas superficiais</b>                                         | a) Descrição e mapeamento das estações pluviométricas e fluviométricas da bacia; levantamento de séries históricas                                                | As relativamente baixas densidades de rede de monitoramento de precipitação e vazão hoje implantadas no Brasil comprometerão, em termos de precisão, as estimativas/avaliações de precipitação e vazão em pequenas regiões hidrográficas ( em torno de 100 Km <sup>2</sup> ). Tornar essas redes mais densas será uma necessidade para garantir qualidade ao Enquadramento de corpos de água, especialmente as pluviométricas, pelo fato de o emprego de modelos chuva-vazão se mostrar como uma boa alternativa para suprir as deficiências de monitoramento de vazão em pequenas bacias hidrográficas (como será visto adiante).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                                                     | b) Determinação de parâmetros hidrológicos (valores de precipitação e vazão médios, máximos, mínimos, de referencia (Q <sub>7,10</sub> , Q <sub>95</sub> , etc.)) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Como já mencionado acima, a falta de cobertura de pequenas regiões hidrográficas por estações pluviométricas conduzirá a imprecisões nas estimativas de informações sobre precipitação nessas áreas.</li> <li>- Para os portes de cursos d'água possíveis de se encontrar em pequenas e micro bacias, há uma gama de possibilidades de métodos e técnicas de medição da vazão. A escolha do método dependerá de alguns fatores; entre eles: aspectos geométricos do curso d'água, magnitude das velocidades; disponibilidade de equipamentos de medição e recursos disponíveis, entre outros para a contratação de serviço especializado.</li> <li>- Em situações que não se tenha estações de monitoramento de vazão para as pequenas bacias hidrográficas, a utilização de métodos de regionalização de vazão, será uma alternativa. Havendo estações de monitoramento na bacia, o emprego de vazões específicas para cálculo da vazão em seções de escoamento não monitoradas também pode ser estar entre as alternativas.</li> </ul> |

| Biofísico                                                                   |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Subcategoria                                                                | Itens                                                                                                                                                                                                   | Subsídio à diretrizes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>IV – disponibilidade e condições de qualidade das águas superficiais</b> | c) Determinação de curvas de permanência                                                                                                                                                                | De posse de séries históricas de dados de vazão, obtidas por monitoramento direto ou por meio de modelos de estimativa (ex. chuva-vazão), pode-se determinar curvas de permanência e vazões de referência.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                                             | d) Definição de parâmetros representativos (feita a partir da correlação das fontes de poluição com os usos da água identificados na bacia)                                                             | Os parâmetros de qualidade de água a serem analisados resultarão da avaliação de usos, ocupação e manejo do solo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                             | e) Levantamento e análise da qualidade da água, a partir de dados monitorados e modelados, com mapeamento e descrição dos postos de monitoramento                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Considerando a baixa disponibilidade de postos de monitoramento continuados de qualidade de água em pequenas bacias hidrográficas, haverá grande demanda por realizações de campanhas de campo específicas para a obtenção de parâmetros de qualidade em suporte ao Enquadramento de corpos de água.</li> <li>- Os métodos de medição de parâmetros de qualidade de água in situ e para a coleta de amostras de água para realização de análises laboratoriais podem ser os convencionais. Entretanto, para os corpos hídricos de pequenas dimensões, algumas intervenções físicas nesses poderão ser necessárias (ex.: barramento para aumento da profundidade d'água) para criar condições adequadas de medição/coleta.</li> <li>- Na utilização de modelos matemáticos para a simulação da qualidade de água em corpos d'água de pequeno porte, atenção deve ser dada ao cumprimento dos requisitos estabelecidos para o adequado uso, incluído as condições de escoamento verificadas na prática e calibração/validação do modelo.</li> </ul> |
|                                                                             | f) Avaliação da compatibilidade da qualidade atual das águas superficiais com os usos existentes, classificando-se os parâmetros de análise quanto à condição de qualidade por trecho de corpo hídrico. | A classificação dos parâmetros de qualidade de água à classe do Enquadramento resultarão da comparação da avaliação da qualidade de água e usos atuais identificados.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo realizado teve o propósito de subsidiar avaliações diagnósticas para fins de Enquadramento de corpos hídricos superficiais em PMBH, mas, direta ou indiretamente, oferece também contribuições para o caso de Enquadramento de corpos hídricos de maior porte.

As principais conclusões resultantes do desenvolvimento do estudo, dispostas por objetivo específico, são apresentadas a seguir, assim como recomendações para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

### 6.1. CONCLUSÕES

**Objetivo específico “a”:** Identificar itens de diagnósticos considerados em processos de Enquadramento de corpos de água superficiais.

- Apesar de a diretriz de referência nacional para a elaboração de propostas de Enquadramento de corpos de água, Resolução nº 91/08 do CNRH, oferecer, em seu Artigo 4º, 11 (onze) itens de diagnóstico em suporte desenvolvimento da etapa de diagnóstico, esses se mostram muito abrangentes, gerais.
- Considerando 4 (quatro) desses itens, dado o escopo da presente pesquisa, mostrou-se, por meio de análise de estudos técnicos e científicos, ser possível obter maior nível de detalhamento para o Artigo 4º da referida resolução. Esses 4 (quatro) itens de diagnóstico foram desmembrados em 18 (dezoito), que divididos em duas grandes categorias e quatro sub-categorias de diagnóstico resultaram no Quadro 5.1.

**Objetivo específico “b”:** Analisar os itens de diagnósticos identificados e selecionar alguns para emprego no desenvolvimento da parte do trabalho que trata do Enquadramento aplicado a PMBH.

- O procedimento metodológico que levou à seleção de 13 (treze) itens (Quadro 5.3) para emprego na etapa seguinte da pesquisa, dos 18 (dezoito) considerados (Quadro 5.1), possibilitou concluir que esses 13 itens, por terem relação mais direta com as fases de prognóstico e de proposição do

Enquadramento, devem ser utilizados nas avaliações diagnósticas do Enquadramento de corpos de água superficiais, enquanto que o emprego dos demais 5 itens dependerá da região hidrográfica em análise. Assim, à totalidade desses 13 itens deu-se o nome de **conjunto de itens de diagnóstico de referência**.

**Objetivo específico “c”:** Identificar e avaliar as particularidades / especificidade quanto à utilização dos itens de diagnóstico selecionados no desenvolvimento de avaliações diagnósticas para o Enquadramento de corpos de água em PMBH.

- O estudo demonstrou haver, de fato, particularidades que devem ser levadas em consideração quanto ao desenvolvimento de avaliações diagnósticas em suporte ao processo de Enquadramento de corpos de água superficiais em PMBH quando comparado ao Enquadramento a corpos hídricos de maiores portes. Particularidades foram identificadas para todos os itens do conjunto de itens de diagnóstico de referência, e cobre diversos aspectos. Entre elas: tipo da informação a ser levantada / analisada; escala de representação geoespacial; e procedimentos para o levantamento, produção e análise de dados / informação.

**Objetivo específico “d”:** Propor diretrizes para o estabelecimento de procedimentos orientativos ao desenvolvimento da fase diagnóstica do Enquadramento de corpos de água superficiais de PMBH.

- As diretrizes apresentadas no Quadro 5.4 representam uma primeira contribuição para o estabelecimento de orientações em suporte ao desenvolvimento de avaliações diagnósticas para fins de Enquadramento de corpos de água superficiais, ao nível de PMBH.

Como uma avaliação geral, tomando-se como referência de análise as diretrizes apresentadas no Quadro 5.4, é possível dizer que não são poucos os desafios a superar para tornar realidade o Enquadramento de corpos de água superficiais em PMBH, para uma realização abrangente e apropriada. Desafios esses de natureza diversas: financeira (ex.: ampliação da densidade de estações de monitoramento hidrológico); técnico-científica (ex.: aperfeiçoamento/adequação de modelos de estimativa de variáveis hidrológicas para PMBH, em situação de escassez de

dados); e técnico-política-científica (ex.: fortalecimento da autogestão comunitária de recursos hídricos em PMBH), entre outros.

## **6.2. RECOMENDAÇÕES**

Como este trabalho, de caráter prospectivo, em tema muito pouco explorado pela literatura científica, Enquadramento de corpos de água superficiais em PMBH, abriu possibilidades para o desenvolvimento de trabalhos futuros. Nesse sentido, algumas recomendações são apresentadas a seguir:

- Que detalhamento equivalente ao apresentado para os 4 itens de diagnóstico do Art. 4º da Resolução nº 91/08 do CNRH, como dados no Quadro 5.1, seja feito para os demais 7 itens, que também envolvem as dimensões socioeconômicas e geopolíticas.
- Que na sequência / em complementação ao estudo proposto no item de recomendação anterior, outros sejam realizados no sentido de ampliar e validar os itens de diagnóstico de referência apresentados no Quadro 5.3, para aplicação a PMBH espírito-santenses, entre outras, de agrícola de base familiar.
- Que em analogia ao que foi desenvolvido no presente estudo seja feito também para às duas fases seguintes do processo de Enquadramento: prognóstico e elaboração das propostas de Enquadramento.
- Que pesquisas sejam realizadas para se avaliar as implicações no Enquadramento de corpos de água superficiais de maiores portes, por não considerar elementos de diagnóstico que somente são evidenciados na escala da PMBH, mas que têm o potencial de interferir significativamente na quantidade e na qualidade dos corpos hídricos sendo Enquadrados.
- Que sejam realizados estudos mais específicos na área da hidrologia / recursos hídricos com ênfase no Enquadramento de PMBH, a se destacar alguns como de grande relevância: determinação da vazão para seções de escoamento de pequenos cursos d'água com registros históricos; impacto da dispersão difusa em corpos hídricos de PMBH; e monitoramento e modelagem participativos em PMBH.

## 7. REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas/ANA. Proposta de Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais da Bacia do Rio Paranaíba. Brasília, 2012a.
- Agência Nacional de Águas/ANA; Ministério do Meio Ambiente/MMA. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2012. Brasília - DF. 2012b.
- Agência Nacional de Águas/ANA; Ministério do Meio Ambiente/MMA. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2011. Brasília - DF. 2011.
- Agência Nacional de Águas/ANA; Ministério do Meio Ambiente/MMA. Caderno de Recursos Hídricos 2009. Brasília - DF. 2009.
- AGENCIA PCJ. Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010 a 2020 (com propostas de atualização do Enquadramento dos Corpos d'Água e de Programa para Efetivação do Enquadramento dos Corpos d'Água até o ano de 2035). São Paulo, 2010.
- ALBUQUERQUE, F.A. Estudos hidrológicos em microbacias com diferentes usos do solo na sub-bacia do Alto Natuba. Universidade Federal de Pernambuco. 2010.
- AMARO, C. A.. Proposta de um índice para avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento. Dissertação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. 2009.
- ATTANASIO, C. M. Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade. 2004. 206 f. Tese (Doutorado em Conservação em Ecossistemas Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- BALTOKOSKI, V.; TAVARES, M.H.F; MACHADO, R.E.; OLIVEIRA, M.P. Calibração de modelo para a simulação de vazão e de fósforo total nas sub-bacias dos rios Conrado e Pinheiro – Pato Branco (PR). R. Bras. Ci. Solo, 34:253-261, 2010.
- Brasil. 1997. Lei Federal n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Versão publicada pela ABRH - Comissão de Gestão, São Paulo, 31 de janeiro de 1997.
- Brasil. Resolução CNRH n. 91, de 5 de novembro de 2008. Brasília, 2008.
- Brasil. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Brasília, 2005.
- BRITES, A. P. Z. Enquadramento dos corpos de água através de metas progressivas: probabilidade de ocorrência e custos de despoluição hídrica. Tese. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. 2010.
- BROWN, L.C., BARNWELL, T.O. The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS. EPA/600/3-87-007. U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA, 189 pp. 1987.
- CAMPOS, S.; SILVEIRA, G.R.P; PISSARRA, T.C. Diagnóstico do uso do solo em app na microbacia do córrego Santo Antônio São Manuel (SP) em função da legislação ambiental. Revista Eletrônica Geoaraguaia. Barra do Garças-MT. V 3, n.2, p 198 - 210. agosto/dezembro. 2013.

COELHO, F. F.; GIASSEN E. Métodos para mapeamento digital de solos com utilização de sistema de informação Geográfica. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.40, n.10, p.2099-2106, out, 2010

COSTA, D. J. L.; TEIXEIRA, D. Análise de incerteza em um modelo matemático de qualidade da água aplicado ao Ribeirão do Ouro, Araraquara, SP, Brasil. *Revista Ambiente e Água*. v.6, n.2, p.232-245, 2011.

CHAPRA, S., PELLETTIER, G. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality. Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA. Available from: <http://www.epa.gov/athens/wwwqtsc/html/qual2k.html>. 2003.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. (2007a). Disponibilidade Hídrica para outorga (i): Avaliação por seção hidrológica de referência. In: *Revista Rega – Revista de Gestão de Água da América Latina*. Vol. 4, nº. 2, jul/dez 2007.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. (2007b). Disponibilidade Hídrica para outorga (ii): Avaliação integrada por bacia. In: *Revista Rega – Revista de Gestão de Água da América Latina*. Vol. 4, nº. 2, jul/dez 2007.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M.; Estimativa da Disponibilidade Hídrica Através da Curva de Permanência. In: *RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos* . v. 13, n.1 Jan/Mar 2008, p.111-124. 2008.

CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C. Análise probabilística de ocorrência de incompatibilidade da qualidade da água com o enquadramento legal de sistemas aquáticos – estudos de caso do rio Paraquera-Açu(SP). *Eng Sanit Ambient* , v.15 n.4, out/dez 2010 | 337-346. 2010.

ESPÍRITO SANTO. 1998. Lei Estadual nº 5.818, de 31 de dezembro de 1998. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gerenciamento e Monitoramento dos Recursos Hídricos, do Estado do Espírito Santo - SIGERH/ES, e dá outras providências. Versão publicada pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo. Vitória. 1998.

ESPÍRITO SANTO. GOVERNO DO ESTADO DO ESPIRITO SANTO. Plano Estratégico de Desenvolvimento da Agricultura Capixaba – Novo PEDEAG 2007-2025. 2008.

FLECK, L.; TAVARES, M.H.F.; EYNG, E. Especificidades e importância de modelo matemáticos de qualidade da água. *Revista EIXO*, Brasília, DF, V.2, p. 106-119, jan/jun. 2013.

FRENI, Gabriele; MANNINA, Giorgio; VIVIANI, Gaspare. Assessment of the integrated urban water quality model complexity through identifiability analysis. *Water Research*. v.45, n.1, p.37-50, jan. 2011.

GASTALDINI, M.C.C; SEFRIN, G.F.F.; PAZ, M.F. Diagnóstico atual e previsão futura da qualidade das águas do rio Ibicuí utilizando o modelo Qual2E. *Revista Engenharia Sanitária e ambiental*. Vol. 7 - Nº 3 - jul/set e Nº 4 - out/dez, 2002.

GOLDENFUM, J. A. Pequenas Bacias Hidrológicas: conceitos básicos. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Org.) *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*, Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001.

GONÇALVES, J.C.S.I.; SARDINHA, D.S.; SOUZA, A.D.G.; DIBIAZI, A.L.B.; GODOY, L.H.; CONCEIÇÃO, F.T. Avaliação espaço-temporal da qualidade da água e simulação de autodepuração na bacia hidrográfica do córrego São Simão, SP. *Revista Ambiente & Água* -

An Interdisciplinary Journal of Applied Science: v. 7, n.3, 2012.

GONÇALVES, Maria do S. Experiência de gestão participativa no enquadramento de corpos d'água no semi-árido. [Dissertação]. Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. 2008. 154f.

GUIMARÃES V., GUYOT J.L., FILIZOLA N., Oliveira E. 1997. O uso do ADCP (correntômetro de perfilagem acústico por efeito Doppler) para medição de vazão e estimativa do fluxo de sedimentos nos grandes rios da bacia amazônica, 545-552. In XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Anais 1, ABRH, Vitória, Nov. de 1997.

HORN, J.F.C. Regime hidrológico de duas microbacias contíguas: um comparativo entre uso urbano e rural. Dissertação. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Santa Maria. 2012

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Plano Diretor de Recursos Hídricos e Proposta de Enquadramento da Bacia Hidrográfica do Rio Verde. Minas Gerais, 2009.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Plano diretor de recursos hídricos e proposta de enquadramento da bacia hidrográfica dos rios das mortes e jacaré. Minas Gerais, 2010b.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e Planos de Ações para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce. Minas Gerais, 2010a.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS/IGAM; Programa para Efetivação do enquadramento das águas da bacia hidrográfica do Rio Piracicaba. Belo Horizonte – MG. 2010.126 f.

KNAPIK, H.G.; FRANÇA, M.S.; FERNANDES, C.V.S.; MASINI, L.S.; MARIN, M.C.F.C; PORTO, M.F.A. Análise crítica da calibração do modelos de qualidade de água QUAL2E – estudo de caso da bacia do Alto Iguaçu. REGA. V. 5, n. 2, p. 25-37, jul/dez. 2008.

LABORATÓRIO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E DESENVOLVIMENTO REGIONAL– LABGEST. Desenvolvimento de Procedimento Metodológico para Enquadramento de Cursos D'água de Pequenas Bacias Hidrográficas Rurais do Estado do Espírito Santo. Fundação Espiritosantense de Ciência e Tecnologia - FAPES. Edital Universal 012/2011. Projeto de pesquisa. Universidade Federal do Espírito Santo. 2011a.

LABORATÓRIO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E DESENVOLVIMENTO REGIONAL– LABGEST. Enquadramento de Corpos de Água e Outorga: Suporte Científico e Tecnológico para o Desenvolvimento do SIADES/NIADES-CPID e definição de procedimentos metodológicos. Fundação Espiritosantense de Ciência e Tecnologia - FAPES. Relatório final de pesquisa. Universidade Federal do Espírito Santo. 2011b.

LABORATÓRIO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E DESENVOLVIMENTO REGIONAL– LABGEST. Estudo Integrado de Conservação de Águas e Solo, Saneamento Ambiental e Conservação Florestal em Microbacia Experimental na Bacia do Rio Doce. Edital MCT/CNPq/CT AGRONEGÓCIO/CTHIDRO - Nº 27/2008. Relatório final de pesquisa. Universidade Federal do Espírito Santo. 2011c.

LABORATÓRIO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E DESENVOLVIMENTO REGIONAL– LABGEST. Relatório Final do Projeto DESAGUA - Enquadramento de corpos

d'água como instrumento de planejamento regional sustentável. Edital MCT/FINEP/CT-HIDRO-GRH (01/2004). Universidade Federal do Espírito Santo. 2008. PAIM, P. R., IEMA, LABGEST/UFES. "Roteiro Geral Metodológico" - Projeto Executivo para o Enquadramento dos Corpos de Água em Classes e Plano de Bacia para os Rios Santa Maria da Vitória e Jucu. 2010.

LARENTIS, D. G.. Modelagem matemática da qualidade da água de grandes bacias: Sistema Taquari-Antas- RS. 2004. 138 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

LARENTIS, Dante Gama; COLLISCHONN, Walter; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Simulação da Qualidade de Água em Grandes Bacias: rio Taquari-Antas, RS. Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH. v. 13, n. 3, jul./set., p. 5-22, 2008.

LEEUWESTEIN, J. M.; MONTEIRO, R. A. Procedimentos técnicos para enquadramento de corpos de água – Documento orientativo. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. Diretoria de Programa de Implementação. Brasília, 2000.

LOPES, M. E. P. de A. Avaliação de racionalidades do uso da água na agricultura: desenvolvimento de modelos conceituais e de procedimento metodológico em apoio à co/auto gestão de microbacias. Tese. Programa de pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. 2011.

MACHADO, R.E.; VETTORAZZI, C.A.; XAVIER, A.C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. R. Bras. Ci. Solo, 27:727-733, 2003.

MAGALHÃES JR. A. P. Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 688p. 2007

MANNINA, Giorgio; VIVIANE, Gaspare. Water quality modelling for ephemeral rivers: Model development and parameter assessment. Journal of Hydrology. v.393, n.3-4, p.186-196, nov. 2010.

MARINATO, C. F.. Integração entre a gestão de recursos hídricos e a gestão municipal urbana: estudo da interrelação entre instrumentos de gestão. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. 2008.

MARSILI-LIBELLI, S.; GIUSTI, E. Water quality modelling for small river basins. Environmental Modelling & Software V. 23, p. 451e 463. June 2008

MEDEIROS, Y. D. P. Proposta Metodológica para Enquadramento dos Corpos d'Água em Bacias de Regiões Semi-Áridas – PROENQUA. Relatório Final Projeto de Pesquisa FINEP/CT-HIDRO. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2007

MEDEIROS, G.A. ; ARCHANJO, P; SIMIONATO,R ; REIS, F.A.G.V. (2009). Diagnóstico da qualidade da água na microbacia do córrego Recanto, em Americana, no estado de São Paulo. Geociências- UNESP, v. 28, n. 2, p. 181-191.

Minoti, R. T. (2006). Abordagens Qualitativa e Quantitativa de Micro-bacias Hidrográficas e Áreas Alagáveis de um Compartimento do Médio Mogi-Superior / SP. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 247p.

MOLINA, P. M. Diagnóstico da qualidade e disponibilidade de água na microbacia do córrego Água da Bomba, no município de Regente Feijó. Dissertação. Universidade Estadual Paulista. 2006.

MOREIRA, H. Diagnóstico da qualidade ambiental da bacia do rio Jabotão: sugestão de enquadramento preliminar. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco. 2007.

MOSCA, A.A.O. Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas. Dissertação. Universidade Estadual Paulista, 2003.

NOVAES, L.F. Modelos para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa. 2005

OLIVEIRA, L. F. C. Potencial do uso dos solos da bacia hidrográfica do Alto rio Meia Ponte, Goiás. Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science: v. 8, n.1, 2013.

OPPA, L. F. Utilização de modelo matemático de qualidade de água para análise de alternativas de enquadramento do rio Vacacaí Mirim. Dissertação – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

POLETO, C.; CARVALHO, S. L. de; MATSUMOTO, T. Avaliação da qualidade da água de uma microbacia hidrográfica no município de Ilha Solteira (SP). Holos Environment, Rio Claro, v. 10, n. 1, p. 95-110, 2010.

POLONI, D. M. Desenvolvimento e aplicação de procedimento metodológico em suporte ao planejamento participativo para redução de perda de solos em pequenas bacias hidrográficas com emprego da EUPS. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, 2010.

PORTO, M. F. A. . A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil. In: Agência Nacional de Águas. (Org.). A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2002a.

PORTO, M. F. A. Sistemas de gestão da qualidade das águas: uma proposta para o caso brasileiro. 2002. 131 p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002b.

PORTO, R.L.; BRANCO, S.M.; CLEARY, R.W.; COIMBRA, R. M.; EIGER, S.; LUCA, S.J.; NOGUEIRA, V.P.Q.; PORTO, M.F.A. Hidrologia Ambiental. Edusp- Editora da USP. 441p. 1991.

PRUSKI, F.F; RODRIGUEZ, R.D.G.; SOUZA, J.F; SILVA, B. M. B; SARAIVA, I. Conhecimento da disponibilidade hídrica natural para a gestão dos recursos hídricos. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.31, n.1, p.67-77, jan./fev. 2011

QUARENTEI, L. M. Território e territorialidades na bacia hidrográfica do Córrego Sossego: o uso de escalas de análise para a apreensão de conflitos de gestão de recursos hídricos. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal do Espírito Santo. 2010.

ROCHA, D. PROPOSTA METODOLÓGICA PARA INTEGRAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS .UFRJ . DOURADO, 2007.

SANTOS, G.O.; HERNANDEZ, F.B.T. (2013). Uso do solo e monitoramento dos recursos hídricos no córrego do Ipê, Ilha Solteira, SP. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.1, p.60-68.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M.; FEITOSA, D. G.; BARBOSA, G. C.; LIMA, R. C. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade de água para fins de irrigação no córrego do Ipê, noroeste do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 15., 2011, Curitiba. Anais... Curitiba: SBSR, 2011. p.1263-1270.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO SUL - DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS. Relatório de alternativas de compatibilização das disponibilidades qualitativas e demandas hídricas e proposta de enquadramento dos recursos hídricos superficiais. Rio Grande do Sul, 2008.

SILVA, M. Diagnóstico dos recursos hídricos na microbacia dos córrego Três Barras, município de Marinópolis, SP. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia. Universidade Estadual Paulista – UNESP. 2010

SILVEIRA, A. L. da; SILVEIRA, G. L. da. Vazões Mínimas: hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

SILVEIRA, G. L. da; SILVA, C. E. da; IRION, C. A. O.; CRUZ, J. C.; RETZ, E. F. Balanço de Cargas Poluidoras pelo Monitoramento Quali-quantitativo dos Recursos Hídricos em Pequena Bacia Hidrográfica. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.8, n.1. 2003. p.5-11. 2003

SILVEIRA, G. L. da; TUCCI, C. E. M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 3, n. 3, p. 97-110, jul/set.1998a.

SILVEIRA, G. L. da; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. da Quantificação de Vazão em Pequenas Bacias sem Dados. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 3, p. 111-131, 1998b.

SILVEIRA, G.L.; Quantificação de vazão em pequenas bacias com carência de dados fluviométricos. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SOARES, P. A.; PINHEIRO, A.; SOARES, K. H.; ZUCCO, E. Estimativa de Disponibilidade Hídrica em pequenas bacias hidrográficas com escassez de dados fluviométricos. Revista de estudos ambientais.v12, n.1, p. 29-38, jan./jun. 2010.

TAMIOSSO, M. F. Avaliação do método Silveira com uso de dois modelos chuva-vazão para estimativa de disponibilidade hídrica em pequenas bacias com pequena amostragem de vazão. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. 2012.

TAPIA,B.T. As condições ambientais da microbacia hidrográfica do lajeado da represa, município de Marcelino Ramos/RS. Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria. 2006.

TEDESCO, A. N. de S. Subsídios para integração da gestão das águas com a gestão urbana: desenvolvimento de um modelo conceitual para a conexão de mecanismos e instrumentos de gestão. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. 2009.

TEIXEIRA, E. C., LOPES, M. E. P. de A, GIRARDI, G., OLIVEIRA, S. de, QUARENTEI, L. M. Experiência prática em subsídio a novas alternativas de uso/gestão da água na agricultura irrigada: o caso do Projeto Sossego, Itarana-ES. In: CONGRESO

LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 9, & CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 39. 2010, Vitória-ES. Anais... 2010. Vitória-ES: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola – SBEA, 2010.

TEIXEIRA, E. C., LOPES, M. E. P. de A, GIRARDI, G., OLIVEIRA, S. de, DARÉ, J. C. Avaliação de processos sociais e institucionais envolvidos na constituição de “laboratório vivo” para o desenvolvimento de estudos/pesquisas sobre gestão integrada, participativa e adaptativa de recursos hídricos. In: X SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA. Porto de Galinhas – PE. 2011 Anais... 2011.

TUCCI, C. E. M; SILVEIRA, G.L. QUANTIFICAÇÃO DO RECUROS HÍDROCOS. In: PAIVA, João Batista Dias de; PAIVA, Eloiza Maria Cauduro Dias de. (Orgs.) Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2001

TUCCI, C. E. M. Regionalização de vazões. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS. 2002.

TUCCI, C.E.M. Hidrologia, ciência e aplicação, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; ABRH, 2000.

UZEIKA, T. Aplicabilidade do modelo SWAT na simulação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009.

VANZELA, L. S. QUALIDADE DE ÁGUA PARA A IRRIGAÇÃO NA MICROBACIA DO CÓRREGO TRÊS BARRAS NO MUNICÍPIO DE MARINÓPOLIS, SP. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia. Universidade Estadual Paulista - UNESP. 2004

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do córrego Três Barras, Marinópolis. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 55-64, 2010.

VILLELA, S. M. Hidrologia aplicada. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil. 1975.

VON SPERLING, M. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. Volume 1. 3.ed. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Volume 1. 3.ed. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.