UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

REQUISITOS DE VAZÃO MÍNIMA NA TRANSIÇÃO DE CORPOS DE ÁGUA DE DOMÍNIO ESTADUAL PARA OS DE DOMÍNIO FEDERAL: APLICAÇÃO NA BACIA DO RIO PRETO (DF/GO/MG).

IZABELA HELENA VICENTINI AQUINO

ORIENTADOR: OSCAR DE MORAES CORDEIRO NETTO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS

PTARH. DM 142/2012

BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO/2012

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

REQUISITOS DE VAZÃO MÍNIMA NA TRANSIÇÃO DE CORPOS DE ÁGUA DE DOMÍNIO ESTADUAL PARA OS DE DOMÍNIO FEDERAL: APLICAÇÃO NA BACIA DO RIO PRETO (DF/GO/MG).

IZABELA HELENA VICENTINI AQUINO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU MESTRE EM CIÊNCIA

APROVADA POR:

OSCAR DE MORAES CORDEIRO NETTO, Doutor (UnB)
(ORIENTADOR)

_____

MARCO ANTONIO ALMEIDA DE SOUZA, PhD (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

_____

FRANCISCO DE ASSIS DE SOUZA FILHO, Doutor (UFC)
(EXAMINADOR EXTERNO)

FICHA CATALOGRÁFICA

AQUINO, IZABELA HELENA VICENTINI
REQUISITOS DE VAZÃO MÍNIMA NA TRANSIÇÃO DE CORPOS DE ÁGUA DE DOMÍNIO ESTADUAL PARA OS DE DOMÍNIO FEDERAL: APLICAÇÃO NA BACIA DO RIO PRETO (DF/GO/MG).
DF. [Distrito Federal] 2012.
xix, 110p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2012).
Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
1.Condições de Entrega 2.Vazões Mínimas
3. Bacia do Rio Preto 4. Modelagem Hidrológica
I. ENC/FT/UnB II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AQUINO, I. H. V (2012). *Requisitos de Vazão Mínima na Transição de Corpos de Água de Domínio Estadual para os de Domínio Federal: Aplicação na Bacia do Rio Preto (DF/GO/MG).* Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM–142/2012, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 122p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Izabela Helena Vicentini Aquino

TÍTULO: Requisitos de Vazão Mínima na Transição de Corpos de Água de Domínio Estadual para os de Domínio Federal: Aplicação na Bacia do Rio Preto (DF/GO/MG).

GRAU: Mestre ANO: 2012

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

_____

Izabela Helena Vicentini Aquino
izavicentini@gmail.com

Aos meus pais, Fernando e Rejane e a minha irmã, Julia,
os maiores incentivadores dessa bela aventura.
A toda a família que participou e torceu em cada etapa.
Aos amigos de trabalho e estudos, muito obrigada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, força da vida.

Aos meus pais, Fernando e Rejane, cuja fé em minha capacidade nunca se abalou e cujo apoio foi sempre incondicional.

À Julia, irmã e amor sem medidas e sem fronteiras, sempre ao meu lado.

Ao meu orientador, professor Oscar, que desde o início acreditou no bom andamento e na importância dessa pesquisa, mesmo quando os resultados pareciam distantes e nebulosos. Não poderia ter escolhido e convivido com melhor influência.

Aos demais professores do PTARH: Ariuska, Cristina, Góes, Marco Antônio, Koide, Nabil e Néstor, por inúmeras experiências e conhecimentos, dentro e fora de sala de aula.

Aos indispensáveis e queridos técnicos do PTARH: *Boy*, Marcilene e Júnior, sempre dispostos a dividir conhecimento, sorrisos e companhia.

Aos amigos "PTARHianos", de SG12, de turma e de vida: Laura, Nara, Elaine, Hileana, Jaqueline, Galileu, João Paulo, Wagner, Ivanildo, Anderson, Ígor, Renato, Wanessa, Talita, Felipe, Juliano, Juliana, Melissa, Bruna, Jana, Lucas, Morris, Orlandina, Leonor, Genilda, Alliny, Oscar Ocampo e Érica, pelo apoio, diversão e momentos inesquecíveis.

Aos amigos Bruno Machado e Diego Reyes, pela ajuda essencial no desenvolvimento dessa pesquisa, desde seu início.

Às amigas Glenda e Elvira, com quem compartilhei muito mais que pesquisas e a sala 22, vocês são presentes e anjos em meu caminho.

Aos especialistas da Agência Nacional de Águas e aos conselhos e suporte técnico sempre presentes, desde o estágio em 2005 até a conclusão do mestrado.

Aos amigos do Ministério da Pesca e Aquicultura e grandes incentivadores: Michelle, Anderson, Lucilene, Guilherme Bueno, Guilherme Cortes, Bruno, Rafael e Penélope.

Aos novos amigos e colegas de trabalho da CAERN, pelo apoio na etapa final dessa pesquisa e pela torcida. Em especial a Eduardo, o "outro geógrafo" e a Wesley, que conquistou admiração, carinho e um lugar especial em minha vida.

À Capes e ao CNPQ, pelo incentivo financeiro concedido com a bolsa de mestrado.

RESUMO

A existência de situações de interesses conflitantes pelo uso de recursos hídricos entre estados e entre países configura-se como cenário cada vez mais presente na realidade mundial. O atendimento aos usos múltiplos das águas e a garantia de sua permanência em padrões de qualidade e quantidade suficientes às atuais e futuras gerações configura-se em desafio a ser vencido no processo de gestão de recursos hídricos. No Brasil, a definição de requisitos de vazão mínima e de concentração máxima de poluentes na transição de corpos de água de domínio Estadual para os de domínio Federal, prevista em lei, emerge como alternativa na busca pela prevenção e resolução de conflitos pelo uso da água em bacias hidrográficas compartilhadas por mais de um ente federado, ainda que esse mecanismo não tenha sido implantado de forma efetiva no País. O presente trabalho buscou desenvolver um suporte metodológico passível de ser utilizado para a definição de requisitos de entrega de vazões mínimas entre unidades políticas diferentes, considerando-se os usos múltiplos das águas, com aplicação específica para a bacia hidrográfica do rio Preto, compartilhada por três Unidades da Federação (Distrito Federal, Goiás e Minas Gerais).

A formulação e a verificação de critérios, que devem ser considerados quando da definição das condições de entrega entre entes federados diferentes, englobaram a análise da experiência de outros países, a discussão com especialistas e gestores da área de recursos hídricos, a construção de um modelo conceitual sobre a questão e o teste do modelo e dos critérios tendo, como caso de estudo e aplicação, a bacia hidrográfica do rio Preto, utilizando-se o programa de simulação de rede de fluxo *Acquanet*.

Como resultado da pesquisa, obteve-se a representação de uma abordagem metodológica proposta para definição dos requisitos de vazão mínima em forma de um fluxograma de decisão, passível de ser utilizado em outras bacias hidrográficas, ressaltando-se a pertinência da utilização de dados secundários para atender aos objetivos propostos na pesquisa desenvolvida.

ABSTRACT

The existence of conflicting interests in the use of water resources shared between states and between countries appears as an emerging scenario in world reality. The fulfillment of the requirements of water multiple uses and the assurance of its stay in quality and in quantity standards that meet the present and the future generations needs set in the challenge to be overcome in the process of water management. In Brazil, the definition of minimum flow requirements and maximum concentration of pollutants in the transition from State domain water bodies and the Federal ones, established by law, emerges as an alternative in the quest to prevent and resolve conflicts over water use in river basins shared by more than one federal entity, although this mechanism has not been effectively implemented in the country yet. This study aimed to develop a methodological support that can be adopted for the definition of minimum flow requirements between different political units, considering the multiple uses of water with specific application to the Rio Preto basin, shared by three Federal Entities (Distrito Federal, Goiás and Minas Gerais).

The criteria formulation and verification that should be considered when determining the transition conditions between different Federal units included the analysis of international experience, discussion with water resources management experts, construction of a conceptual model on the issue and the model and criteria test developed in the study and application case, the Rio Preto basin, using the *AcquaNet* network flow simulation program.

As a result of this research, it was obtained the representation of a methodological decision support to define the minimum flow requirements in the form of a decision flowchart that can be used in other watersheds, highlighting the relevance of using secondary data to meet the proposed objectives in the developed research.

SUMÁRIO

1- Introdução 1
2- Objetivos 4
3- Fundamentação Teórica 5
3.1 Quadro Normativo *5*
3.1.1 Mudanças introduzidas pela lei 9433/1997 ao Código de Águas de 1934 5
3.1.2 Dominialidade 6
3.1.2.1 Tipologia de transição de cursos d'água 7
3.1.3 A lei 9984/2000, O Decreto 3692/2000 e a Resolução nº 082, de 24 de abril de 2002 7
3.1.4 A outorga do direito de uso de recursos hídricos 9
3.2 Alocação de Água *11*
3.2.1 Principais usos da água 11
3.2.2 Conflitos pelo uso da água 12
3.2.3 Alocação de água como mecanismo de solução de conflitos 12
3.2.4 Mecanismos de alocação da água 14
3.3 Requisitos de Vazão Mínima *17*
3.4 Modelos de Simulação de Sistemas Hídricos *20*
3.4.1 Modelo Acquanet 21
4- Revisão Bibliográfica 24
4.1 Definição de requisitos de vazão mínima *24*
4.1.1 Vazão mínima de entrega 24
4.1.2 Vazões ecológicas 26
4.1.3 Metodologias utilizadas no Brasil 31
4.2 Estudo de caso da bacia hidrográfica do Rio Colorado - EUA *33*
4.3 Estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Delaware - EUA *36*
4.4 Estudo de caso das bacias hidrográficas transfronteiriças de Portugal e Espanha *38*
4.5 Experiências Nacionais *41*
4.5.1 Bacia hidrográfica do rio São Francisco *42*
5- Metodologia da pesquisa 45
5.1 Revisão bibliográfica e referencial teórico *45*
5.2 Seleção e caracterização do caso de estudo *47*
5.3 Desenvolvimento da abordagem metodológica *48*

6- Caso de estudo – Bacia Hidrográfica do Rio Preto 51
6.1 Contexto da Análise *54*
6.2 Disponibilidade hídrica na bacia do rio Preto *55*
6.3 Demandas hídricas na bacia do rio Preto *63*
6.3.1 Abastecimento humano 64
6.3.2 Dessedentação animal 64
6.3.3 Irrigação 65
6.3.4 Geração de Energia 67
7- Seleção de objetivos, critérios e indicadores 68
7.1 Objetivo ambiental/ecológico *69*
7.2 Objetivo legal-normativo *70*
7.2.1 Outorga Quantitativa 70
7.2.2 Outorga Quali-Quantitativa 71
7.3 Objetivo econômico *74*
7.4 Objetivo social *75*
7.5 Objetivo hidrometeorológico *76*
7.6 Agregação dos critérios *76*
8- Simulação de cenários de alocação de água na bacia do rio Preto 79
8.1 Definição do sistema de representação *81*
8.2 Simulação de cenários de alocação de água na bacia do rio Preto *86*
9- Conclusões e recomendações 93
Referências Bibliográficas 98
APÊNDICE 103
Avaliação dos indicadores junto aos especialistas 104

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Leis relativas à outorga de uso de recursos hídricos nos estados da bacia do rio Preto (Reyes, 2009, modificado)..... 10
Tabela 3.2 – Elementos da Alocação de Água (UNESCAP 2000 *apud* Wang 2005, modificado)..... 13
Tabela 3.3 – Objetivos e princípios da alocação de água (UNESCAP 2000 *apud* Wang 2005, modificado)..... 14
Tabela 3.4 – Critérios de outorga em estados brasileiros (Lopes e Freitas, 2007)..... 18
Tabela 4.1 – Principais fatores associados à definição de vazões mínimas garantidas (Bezerra, 2001)..... 25
Tabela 4.2 – Principais Métodos para Determinação da Vazão Ecológica (modificado de Sarmento, 2007b)..... 30
Tabela 4.3 – Estudos sobre determinação de vazões ambientais no Brasil (modificado de Galvão, 2008 e Sarmento, 2007a)..... 32
Tabela 4.4 – Alocação de água por Estado - Sub-bacia Inferior..... 34
Tabela 4.5 – Alocação de água por Estado - Sub-bacia Superior..... 35
Tabela 4.6 – Vazões mínimas a serem obtidas na seção do açude de Badajoz (em hm^3/ano) (CACD, 1998)..... 40
Tabela 6.1 – Vazão natural da UHE Queimado (Reyes, 2009)..... 57
Tabela 6.2 – Médias mensais das vazões naturais estimadas, Alto Preto DF (Reyes, 2009). 58
Tabela 6.3 – Médias mensais das vazões naturais estimadas, Alto Preto GO (Reyes, 2009). 59
Tabela 6.4 – Médias mensais das vazões naturais estimadas, Alto Preto Queimado (Reyes, 2009)..... 60
Tabela 6.5 – Médias mensais das vazões naturais estimadas, Médio Preto (Reyes, 2009). 61
Tabela 6.6 – Médias mensais das vazões naturais estimadas, Baixo Preto (Reyes, 2009).. 62
Tabela 6.7 – Médias mensais das vazões naturais estimadas, reservatório Queimado (Reyes, 2009)..... 63
Tabela 6.8 – Demandas para abastecimento por zona de estudo. (Reyes, 2009)..... 64
Tabela 6.10 – Demandas para irrigação por zona de estudo. Ciclo 1..... 66
Tabela 6.11 – Demandas para irrigação por zona de estudo. Ciclo 2..... 66
Tabela 6.12 – Demanda para geração de energia (m^3/s)..... 67
Tabela 7.1 – Limites de outorga definidos pela União e estados da bacia do rio Preto..... 71

Tabela 7.2 – Contribuições unitárias de fósforo total consideradas no estudo (Silva, 2012) 73
Tabela 7.3 – Contribuição da carga de fósforo total para a bacia do rio Preto (Silva, 2012) 73
Tabela 8.1 – Volumes máximo, mínimo e inicial do reservatório de Queimado (Reyes, 2009). 80
Tabela 8.2 – Tabela cota-área-volume do reservatório de Queimado (Reyes, 2009). 80
Tabela 8.3 – Taxa de evaporação líquida do reservatório de Queimado (Reyes, 2009). 80
Tabela 8.4 – Vazão natural afluente ao reservatório de Queimado (Reyes, 2009). 81
Tabela 8.5 – Resumo da topologia utilizada no *Acquanet* 83
Tabela 8.6 – Prioridades de atendimento às demandas inseridas na simulação 88
Tabela 8.7 – Frequência em que as demandas não foram atendidas (% do tempo) 89

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Situações de entrega e transição - rios estaduais e federais 7
Figura 3.2 – Vazões para fins de alocação (Brasil, 2004) 19
Figura 4.1 – Bacia do rio Colorado (*Colorado River Comission of Nevada*) 33
Figura 4.2 – Bacia do rio Delaware (*Delaware River Basin Comission*)..... 36
Figura 4.3 – Bacias hidrográficas luso-espanholas (*CACD*) 38
Figura 4.4 – Bacia hidrográfica do rio São Francisco 42
Figura 4.5 – Divisão da bacia hidrográfica do rio São Francisco proposta para a gestão dos recursos hídricos (Brasil, 2004)..... 43
Figura 5.1 – Fluxograma das etapas de desenvolvimento do suporte metodológico 46
Figura 5.2 – Fluxograma consolidado da metodologia para aplicação em qualquer bacia hidrográfica..... 50
Figura 6.1 – Bacia hidrográfica do rio Preto 51
Figura 6.2 – Fluxograma da metodologia de aplicação na bacia do rio Preto..... 53
Figura 6.3 – Pontos de controle selecionados para a bacia do rio Preto..... 54
Figura 7.1 – Propriedades principais dos critérios e indicadores (Silva, 2012) 69
Figura 8.1– Representação do sistema hídrico da bacia do rio Preto – configuração pristina. 84
Figura 8.2 – Representação do sistema hídrico da bacia do rio Preto – configuração atual. 85
Figura 8.3 – Fluxograma consolidado da metodologia para aplicação em qualquer bacia hidrográfica..... 92

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIAÇÕES

ANA	Agência Nacional de Águas
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal
CBHSF	Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CNARH	Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRH	Conselho de Recursos Hídricos
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
LABSID	Laboratório de Sistema de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
MODSIM	Modelo de Simulação em Rede de Fluxo
ONS	Operador Nacional do Sistema
PBHSF	Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
Q7,10	Média das vazões mínimas de sete dias consecutivos com 10 anos de tempo de retorno
Q90%	Vazão igualada ou superada 90% do tempo
Q95%	Vazão igualada ou superada 95% do tempo
SEMARH	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UHE	Usina Hidrelétrica

1- INTRODUÇÃO

A Constituição Brasileira de 1988 estabelece, de acordo com a definição contida no art. 225, o meio ambiente como sendo "bem de uso comum do povo", tendo a água como um de seus elementos. A Lei 9.433 de 08/01/97 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e estabelece, em seu artigo 1°, a água como um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, que, de acordo com os artigos 20 e 26 da Constituição Federal, pode assumir duas dominialidades: federal e estadual.

Segundo os fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e tem como uma de suas diretrizes gerais a articulação entre a União e os Estados, tendo em vista o gerenciamento dos recursos hídricos de interesse comum.

A Lei 9984/2000 criou a Agência Nacional de Águas (ANA) e estabelecem, também, mecanismos regulatórios para promoção dessa articulação entre União e Estados, garantindo os usos múltiplos das águas e a gestão descentralizada. O Decreto 3692/2000, que dispõe sobre a instalação da ANA, estabelecem, em seu artigo 17, referente à ação de regulação própria da Agência, que "observado o disposto no art. 4° da Lei no 9.433, de 1997, a ANA exercerá ação reguladora em corpos de água de domínio da União, inclusive mediante a definição de requisitos de vazão mínima e de concentração máxima de poluentes na transição de corpos de água de domínio Estadual para os de domínio Federal", atribuição corroborada com a Resolução nº 082, de 24 de abril de 2002, da Agência Nacional de Águas, que dispõe sobre procedimentos e define as atividades de fiscalização da ANA, inclusive para apuração de infrações e aplicação de penalidades e que fixa, em seu artigo 3º, que essa ação reguladora deverá ocorrer "considerando os respectivos planos de bacia e, preferivelmente, em articulação com os Estados e o Distrito Federal".

Considerando o fato de os cursos d'água de domínio federal terem, quase sempre, cursos d'água estaduais como afluentes, a efetivação dessa articulação torna-se essencial para a gestão das águas de domínio da União e a garantia de sua disponibilidade para uso futuro.

A definição de requisitos de vazões mínimas na transição de corpos de água estaduais para federais constitui-se em mecanismo ainda não adotado no País, porquanto o processo de regulação tem-se dado por meio do estabelecimento de metas na relação União/Estados, de forma cooperativa e voluntária. No entanto, conforme observado em outras regiões do mundo e em outros países, a tendência é que haja uma demanda crescente por esse dispositivo regulatório, uma vez que a existência de situações de interesses conflitantes no uso da água entre Estados de uma mesma Federação e entre países configura-se como situação cada vez mais presente e frequente no cenário mundial.

Sob essa perspectiva, o presente trabalho teve como objetivo a formulação de uma abordagem metodológica que possibilitasse a adoção de critérios para definição e implementação de condições de entrega de água em áreas de transição de dominialidade de cursos d'água, considerando-se os requisitos de vazão mínima necessários. Configura-se, assim, como pesquisa de caráter exploratório e multidisciplinar, envolvendo diferentes dimensões de gestão de recursos hídricos (hidrologia, legislação, administração, entre outros).

A formulação e a verificação dos critérios que devem ser considerados, quando da definição das condições de entrega, englobaram, nesta pesquisa, uma análise da experiência de outros países, a discussão com especialistas e gestores da área de recursos hídricos, a construção de um modelo conceitual sobre a questão e o teste da abordagem e dos critérios em um caso de estudo, com verificação junto a especialistas e gestores. Para o presente trabalho, selecionou-se, como caso de estudo e aplicação da metodologia proposta, a bacia hidrográfica do rio Preto, compartilhada pelos estados de Goiás e Minas Gerais e pelo Distrito Federal.

O trabalho está organizado em nove capítulos, sendo o primeiro este capítulo introdutório. O segundo capítulo apresenta os objetivos geral e específicos do estudo proposto. O terceiro capítulo é dedicado à discussão sobre os marcos conceituais associados aos diferentes temas englobados por esta pesquisa. No quarto capítulo, apresenta-se a revisão bibliográfica, incluindo estudos de casos de gestão compartilhada de bacias hidrográficas transfronteiriças.

O quinto capítulo consiste na apresentação da metodologia adotada nesta pesquisa para construção da abordagem metodológica a ser proposta para a definição de requisitos de vazão mínima e o fluxograma de decisão em cursos d'água de domínio da União

No sexto e sétimo capítulos, são apresentadas uma breve caracterização do caso de estudo, a bacia hidrográfica do rio Preto e a abordagem metodológica proposta para definição de requisitos de vazão mínima para essa bacia. O oitavo capítulo apresenta as simulações de cenários de alocação de água nessa bacia hidrográfica e os resultados obtidos após a aplicação da abordagem metodológica proposta.

O nono capítulo apresenta as considerações finais e recomendações sobre o desenvolvimento da pesquisa e seus resultados.

2- OBJETIVOS

O trabalho objetivou desenvolver uma abordagem metodológica, suscetível de ser adotada para definição de requisitos de vazões mínimas de entrega nas transições de corpos d'água de domínios diferentes (estadual/distrital e federal), considerando-se o ponto de vista do órgão gestor de recursos hídricos, com aplicação específica para o caso de cursos d'água da bacia do rio Preto, compartilhada entre Minas Gerais, Goiás e Distrito Federal.

Os objetivos específicos foram:

1. Analisar a experiência internacional na definição de requisitos de entrega de vazões mínimas entre unidades políticas diferentes (províncias, estados, países).
2. Caracterizar as condições hidrológicas e de uso da água na bacia do rio Preto e das situações de transição de dominialidade.
3. Formular critérios e indicadores para avaliação e definição das "condições de entrega" em rios de domínio da União.
4. Aplicar a abordagem metodológica proposta para obter a definição de vazões mínimas de entrega na bacia do rio Preto.

3- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica que se segue discute o marco conceitual dos temas associados ao desenvolvimento da pesquisa, iniciando com a apresentação do quadro normativo referente à gestão de recursos hídricos, e prosseguindo com a alocação da água e à outorga dos direitos de uso da água, e mecanismos de aplicação da alocação de água, requisitos de vazão mínima e sua definição com base nos usos da água, e, por fim, uma breve apresentação acerca dos modelos de simulação, em geral, e, em particular, do modelo selecionado para aplicação no caso de estudo, o *Acquanet*.

3.1 Quadro Normativo

3.1.1 Mudanças introduzidas pela lei 9433/1997 ao Código de Águas de 1934

A instituição do Código de Águas, criado pelo Decreto nº 24.643, de 10 de Julho de 1934, marca o início do processo de gestão dos recursos hídricos no Brasil, visando a regular o uso da água no país por meio de uma legislação à época e de acordo com as aspirações de desenvolvimento industrial e de estímulo ao aproveitamento da energia hidráulica, conforme explicitado no próprio decreto. O Código de Águas apresenta uma evolução ao tratar os recursos hídricos como matéria específica de regulação e dissociar sua propriedade da propriedade da terra, permitindo uma maior separação entre a gestão da água e a atividade agrícola (Vedovoto, 2002).

Algumas mudanças no tocante à gestão dos recursos hídricos foram introduzidas no âmbito legal com a promulgação da Constituição Federal de 1988 e a entrada em vigor da lei 9433 de 1997, alterando pontos importantes na legislação referente aos recursos hídricos até então adotada. A Constituição Federal estabelece, em seus artigos 20 e 26, o domínio público das águas, subdividindo-o entre esfera federal e estadual e a lei 9433/1997, em seu artigo 1° inciso I, preconiza a água como sendo um bem de domínio público, independentemente de ser superficial ou subterrânea ou de estar tanto a nascente quanto o curso de água inseridos em propriedade particular, contrariando o pressuposto, considerado pelo Código de Águas, que previa, em seu artigo 8°, a existência de águas particulares. No tocante às águas subterrâneas, cabe, ainda, ressaltar a revogação, pelo dispositivo

constitucional, do artigo 96 do Código de Águas que previa a apropriação, por parte de um particular, das águas subterrâneas situadas abaixo de seu terreno, tendo sido a matéria tratada no artigo 12 inciso II da lei 9433/97 que sujeita a exploração de água subterrânea à outorga do poder público, sendo vedada ao particular a apropriação desse recurso sem autorização do órgão competente mesmo que dentro dos limites de seu terreno.

Dessa forma, no Brasil, altera-se a dominialidade dos recursos hídricos no sentido em que não mais há a possibilidade de a água, em seu ciclo terrestre, adquirir condição de particular, sendo sua dominialidade exclusivamente pública, podendo ser de gestão federal ou estadual, a depender de suas características. Ressalta-se o poder público como gestor do bem público "água" e não como seu proprietário, tendo direito de outorgar e cobrar pelo seu uso, mas não o de alienar ou vender esse bem (Silva e Pruski, 2000).

3.1.2 Dominialidade

A Constituição Federal de 1988, em seu art. 20, inciso III, exprime como sendo bens da União "os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais". O artigo 26, inciso I, por sua vez, indica como bens dos Estados "as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União". Os artigos referidos determinam, então, a dominialidade das águas no Brasil indicando a responsabilidade por sua gestão aos poderes públicos federal e estadual, sendo a divisão territorial a base de definição das dominialidades.

A Portaria nº 707, de 17 de outubro de 1994, editada pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), aprova a norma para classificação dos cursos d'água brasileiros quanto à dominialidade bem como define os critérios técnicos para a identificação dos cursos d'água, sendo alguns desses critérios posteriormente modificados pela Resolução ANA nº 399, de 22/07/04 "considerando os avanços tecnológicos havidos na área de geoprocessamento e informação".

3.1.2.1 Tipologia de transição de cursos d'água

Com base na definição da dominialidade de cursos d'água, pode-se identificar alguns tipos de transição entre dominialidades de acordo com as diferentes configurações territoriais existentes.

Uma primeira configuração de transição dá-se na confluência pontual entre um curso d'água estadual e um curso d'água federal. Um segundo tipo de transição dá-se na passagem de um rio federal pela divisa entre duas ou mais unidades da federação de forma pontual e localizada. Um terceiro tipo de transição ocorre quando o curso d'água considerado figura como fronteira política entre unidades federativas diferentes. Nesse último caso, há dominialidade federal em todo trecho de fronteira, sendo que a transição entre a água proveniente dos rios de um Estado e de outro não é mais somente pontual, mas costuma ocorrer de forma difusa ao longo do rio de domínio federal. Os três tipos de transição ressaltados são apresentados na Figura 3.1.

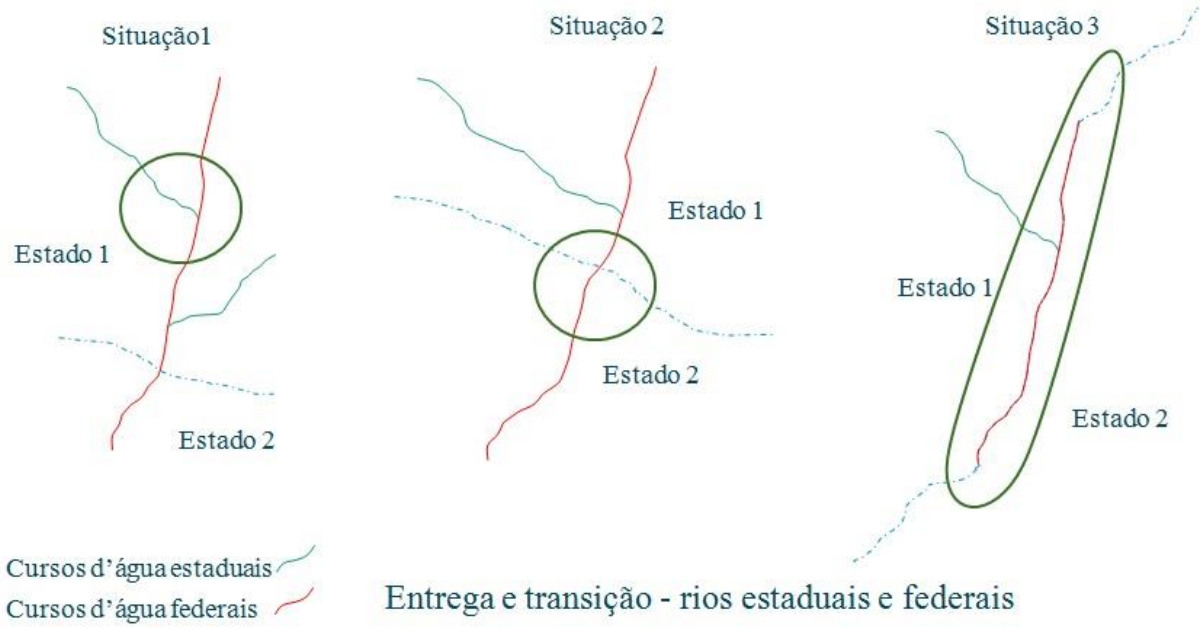

Figura 3.1 – Situações de entrega e transição - rios estaduais e federais

3.1.3 A Lei 9984/2000, o Decreto 3692/2000 e a Resolução nº 082, de 24 de abril de 2002

A lei 9984, de 17 de julho de 2000, cria a Agência Nacional de Águas e a ela confere a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e a coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, de forma articulada, visando a garantir

os usos múltiplos das águas e sua gestão descentralizada. Cabe à ANA, entre outras atribuições, supervisionar, disciplinar, outorgar e fiscalizar os usos de recursos hídricos de acordo com a legislação federal pertinente.

O Decreto 3692/2000, ao tratar sobre a instalação da ANA, sua estrutura, natureza e finalidades, registra como parte da atribuição de regulação da agência, em seu artigo 17, a possibilidade de definição de requisitos de vazão mínima e de concentração máxima de poluentes na transição de corpos de água de domínio Estadual para os de domínio Federal. O referido artigo, ao tratar da ação reguladora da ANA no estabelecimento de limites de exploração e uso da água, poderia evidenciar certa tensão com a Política Nacional de Recursos Hídricos, uma vez que esta busca a gestão descentralizada dos recursos hídricos, porém, a Resolução nº 082 da Agência Nacional de Águas, de 24 de abril de 2002, em seu artigo 3º, frisa que essa ação reguladora deverá ocorrer de acordo com os planos de bacia existentes e garantindo a articulação com os Estados e o Distrito Federal, tendo em vista os respectivos planos de bacia, sendo essa atribuição definida como premissa básica da atividade de fiscalização.

Dessa forma, o mecanismo de definição de requisitos de vazão mínima e concentração máxima de poluentes apresenta-se não só de acordo com os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), de assegurar a disponibilidade de água e padrões de qualidade adequados aos usos da mesma às presentes e futuras gerações, conforme definido na lei 9433/97 no artigo 2° inciso I, como pode vir a tornar-se instrumento essencial em sua execução.

Para a definição dos requisitos de vazão mínima de entrega de corpos d’água de domínio estadual para os de domínio federal, a análise das zonas de transição entre as diferentes dominialidades é essencial para a determinação dos pontos de controle e monitoramento para os quais os valores de vazão mínima serão estabelecidos. A definição desses pontos de controle não possui uma metodologia pré-estabelecida e dar-se-ia conforme as características da bacia hidrográfica de interesse.

3.1.4 A outorga do direito de uso de recursos hídricos

A outorga consiste em um instrumento administrativo e jurídico para alocação de um recurso escasso, no caso a água, sendo definida como instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos, visando a garantir o acesso igualitário à água e assegurar a utilização desse recurso de forma que permita o controle qualitativo e quantitativo de seus usos. A outorga visa a distribuir a água disponível entre as demandas existentes, de forma a assegurar o atendimento aos usos múltiplos de forma sistematizada e regulada, fundamentada em aspectos legais, além de permitir a execução de planos de racionamento em situações críticas de escassez. Consiste, então, em uma autorização de uso, dada pela União ou pelos Estados, a depender da dominialidade do corpo d'água, com exceção determinada na própria lei, relativa aos usos considerados como insignificantes e definidos nas bacias hidrográficas e seus comitês, tendo, como base de definição, as disponibilidades hídricas e as demandas de cada bacia hidrográfica (Porto e Porto, 2008). Alguns dos fundamentos legais para a definição da outorga de uso de recursos hídricos são a seguir apresentados.

A Constituição Federal de 1988, em seu artigo 21, inciso XIX, delimita como competência da União a tarefa de definir os critérios de outorga de direitos de uso de recursos hídricos. A lei 9433/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, apresenta, em seu artigo 5°, os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, sendo o inciso III referente ao instrumento de outorga. O artigo 7° da mesma lei apresenta o conteúdo mínimo a constar nos Planos de Recursos Hídricos, destacando-se o inciso III, que trata do *"balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais"* e o inciso VIII, sobre a determinação de *"prioridades para outorga de direitos de uso de recursos hídricos"*. O artigo 11 da lei 9433/97 afirma ser a outorga um instrumento para assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, estando delimitados, no artigo 12, os usos passíveis de outorga pelo poder público. O artigo 13 condiciona a outorga às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e à classe de enquadramento do corpo d'água, além de assegurar os usos múltiplos das águas.

A Resolução CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos) nº 16, de 8 de maio de 2001, estabelece os critérios gerais para a outorga de recursos hídricos, especificando não ser a outorga a alienação do bem e sim o direito de uso do mesmo, por prazo determinado e condicionado à disponibilidade hídrica e ao regime de racionamento existentes na bacia hidrográfica. A resolução apresenta os usos passíveis ou não de ser outorgados, estabelecendo as prioridades para emissão de outorga e a obrigação, por parte da autoridade outorgante, de manter cadastro de usuários, por corpo d'água, contendo as informações sobre os usos que dependem e independem de outorga, a vazão máxima instantânea e volume diário outorgados para usos significantes e disponíveis para usos não significantes no corpo de água e em todos os corpos de água localizados a montante e a jusante assim como a vazão mínima existente para prevenir a degradação ambiental, para manter os ecossistemas aquáticos e garantir condições adequadas ao transporte aquaviário.

Dessa forma, o instrumento de outorga consiste em uma forma de alocação de água determinada pelo poder público e implementada com eventual participação dos setores usuários e da sociedade, com base nas características de cada bacia hidrográfica e princípios definidos em lei, permitindo uma melhor gestão da água com o maior controle sobre o uso e com a definição de objetivos e metas a serem atingidos no curso d'água. Para o presente trabalho, devem ser considerados os normativos referentes à outorga nos estados abrangidos pela bacia hidrográfica do rio Preto, além da legislação federal (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Leis relativas à outorga de uso de recursos hídricos nos estados da bacia do rio Preto (Reyes, 2009, modificado)

União/ Estado	**Leis relativas à outorga de direto de uso dos recursos hídricos**
ANA	Leis Federais 9.433/97 e 9.984/2000
	Decreto Federal 3.692/2000
	Resoluções CNRH nº 16/2001, 29/2002 e 37/2004.
	Resoluções ANA nº 44/2002, 135/2002 e 131/2003.
Goiás	Lei Estadual nº 13.123/97 (Política Estadual de Recursos Hídricos)
	Lei Estadual nº 13.583/00 (Águas Subterrâneas)
	Lei Estadual nº 14.475/2003 (cria a Agência Goiana de Águas).
	Portaria SEMARH nº 130/99 (Regulamenta a obtenção da outorga)
	Resolução CRH nº 008/2003 (Institui grupo de trabalho para propor alterações na Port. SEMARH nº130/99)
Minas Gerais	Lei Estadual nº 13.199/99 (Política Estadual de Recursos Hídricos)
	Decreto nº 41.578/2001 (Regulamentação da Política Estadual de Recursos Hídricos)
	Deliberações Normativas CERH nº 03/2001, 07/2002 e 09/2004
	Portarias administrativas IGAM nº 10/98, nº 07/99, nº 01/2000 e 06/2000.
Distrito Federal	Lei Distrital nº 2.725 de 13 de Junho de 2001

União/ Estado	Leis relativas à outorga de direto de uso dos recursos hídricos
	Decreto Distrital nº 22.358 de 31 de Agosto de 2001
	Decreto Distrital nº 22.359 de 31 de Agosto de 2001

3.2 Alocação de Água

A gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica deve propiciar a integração dos vários usos e usuários desses recursos com os instrumentos previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos, visando a compatibilizar as demandas e as disponibilidades hídricas na bacia, tanto no cenário atual quanto em possíveis cenários futuros, buscando padrões quantitativos e qualitativos de água, que permitam às futuras gerações usufruir deste e a conservação / preservação dos ecossistemas.

3.2.1 Principais usos da água

Em várias partes do mundo, a intensificação da urbanização, o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico geraram um aumento tanto na demanda pelo uso da água quanto nos efetivos usos a ela destinados, tornando mais frequentes as situações de escassez e gerando conflitos entre os diferentes usuários, seja pela quantidade seja pela qualidade desse recurso.

Os principais usos que concorrem pela destinação de água, segundo Lanna (2000), são:

- Infraestrutura social: água tida como bem de consumo final nos usos gerais da sociedade;
- Agricultura e aquicultura: água como bem de consumo intermediário, utilizada para possibilitar o desenvolvimento de atividades produtivas relativas à criação de espécies animais ou vegetais;
- Industrial e geração de energia: água como bem de consumo intermediário, utilizada em etapas da atividade industrial e para a geração de energia.

Os usos que retiram água do ambiente e acarretam em diminuição de sua quantidade disponível para outros usos são classificados, quanto à natureza de sua utilização, em usos consuntivos, enquanto aqueles em que quase a totalidade da água utilizada retorna à fonte de origem com pouca modificação em sua disponibilidade classificam-se como usos não-consuntivos (Lanna, 2000).

3.2.2 Conflitos pelo uso da água

A resolução de conflitos entre usos diferentes das águas configura-se como um dos pontos mais importantes no panorama atual de gestão de recursos hídricos. O atendimento aos usos múltiplos das águas e a garantia de sua permanência em padrões de qualidade e quantidade suficientes às futuras gerações devem nortear as tentativas de solucionar situações de conflitos, sobretudo em áreas onde há escassez ou sobre-exploração desses recursos.

Segundo Lanna (2000), pode-se estabelecer a seguinte classificação dos conflitos pelo uso dos recursos hídricos:

- Conflitos de destinação de uso: quando a utilização da água não segue diretrizes políticas baseadas em vontades sociais, sendo sua destinação não necessariamente voltada para o atendimento a necessidades sociais, ambientais ou econômicas;
- Conflitos de disponibilidade qualitativa: quando o lançamento de efluentes e a diminuição da disponibilidade hídrica acarretam uma deterioração na qualidade das águas, tornando escassa sua existência em padrões mínimos necessários ao consumo;
- Conflitos de disponibilidade quantitativa: quando a sobre-exploração quantitativa da água leva à diminuição de sua disponibilidade para outros usos.

Há, ainda, de se ressaltarem os conflitos resultantes da existência de dominialidades diferentes em uma mesma bacia hidrográfica e do compartilhamento de corpos d'água entre dois ou mais Estados Nacionais ou Federados, podendo ocorrer diferentes políticas de gestão dos recursos hídricos em um mesmo curso d'água, fazendo necessária a coordenação entre entes nacionais ou federados diferentes e os setores usuários na resolução de conflitos e na compatibilização de planos de gerenciamento e alocação da água.

3.2.3 Alocação de água como mecanismo de solução de conflitos

A alocação da água pressupõe mais que uma mera divisão de água entre diferentes usuários. Segundo relatório da UNESCAP (2000), a definição mais apropriada de alocação de água seria a combinação de ações que permitem aos usuários da água utilizar esse

recurso com aproveitamento benéfico segundo um sistema que defina os direitos e prioridades de uso. Wang (2005) define como sendo o objetivo principal da alocação de água maximizar os benefícios desse recurso para a sociedade como um todo. Wang (2005) apresenta um roteiro esquemático de alocação de água modificado de UNESCAP (2000), abrangendo atividades envolvidas nesse processo (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 – Elementos da Alocação de Água (UNESCAP 2000 *apud* Wang 2005, modificado)

Elemento	**Descrição**
Base legal	Direito das águas e panorama legal e regulatório de uso das águas
Base institucional	Responsabilidades governamentais e não-governamentais e agências que promovem e monitoram o uso benéfico da água
Base técnica	Monitoramento, obtenção e modelagem da água e seu comportamento, qualidade e meio ambiente
Aspectos financeiros e econômicos	A determinação de custos e o reconhecimento de benefícios que acompanham os direitos de uso da água, facilitando a troca de água.
Bem público	Os meios de assegurar os objetivos sociais, ambientais e demais objetivos de uso da água
Participação	Mecanismos de coordenação entre organizações e para habilitar a participação da comunidade em defesa de seus interesses
Base estrutural e de desenvolvimento	Obras estruturais que possibilitam abastecimento de água e os empreendimentos que a utilizam.

Wang (2005) define, ainda, os principais objetivos e diretrizes da alocação de água dentro do objetivo geral de maximizar os benefícios sociais como um todo. Segundo ele, os princípios norteadores da alocação de água devem ser os da equidade, eficiência e sustentabilidade. O princípio da equidade seria relativo tanto aos usuários atuais quanto aos usuários futuros e suas relações com o meio ambiente, podendo relacionar-se ou não com o princípio da eficiência. O estabelecimento de regras e processos de alocação de água torna-se necessário, sobretudo em situações de escassez, uma vez que o conceito de equidade na alocação varia entre os usuários e entre estes e a autoridade responsável pelo processo. O princípio da eficiência é relativo aos usos econômicos dos recursos hídricos, visando ao gerenciamento das demandas e ao uso mais viável do ponto de vista financeiro, alocando a água de acordo com os usos de melhor compensação do ponto de vista econômico. O princípio da sustentabilidade visa a garantir que a alocação de água não se dê de modo a prejudicar, de maneira irreversível, o ecossistema natural, evocando o uso racional desse

recurso e sua continuidade. A Tabela 3.3 apresenta os princípios descritos bem como os objetivos a que visam atender e os resultados obtidos.

Tabela 3.3 – Objetivos e princípios da alocação de água (UNESCAP 2000 *apud* Wang 2005, modificado)

Objetivo	**Princípio**	**Resultado**
Social	Equidade	Fornece as necessidades sociais essenciais: ▪Água segura para abastecimento humano ▪Água para esgotamento sanitário ▪Segurança alimentar
Econômico	Eficiência	Maximiza o valor econômico da produção: ▪Desenvolvimento industrial e agrícola ▪Geração de energia ▪Desenvolvimento regional ▪Economias locais
Ambiental	Sustentabilidade	Manutenção da qualidade ambiental: ▪Manutenção da qualidade da água ▪Sustentar habitat e vida no curso d'água ▪Valor estético e natural

3.2.4 Mecanismos de alocação da água

A alocação de água, como forma de tentar solucionar ou evitar conflitos pelo uso desse recurso, depende de critérios e metas que sejam estabelecidos, preferencialmente, em participação conjunta entre usuários e gestores, seguindo políticas de ação definidas de acordo com os anseios dos diferentes interesses envolvidos e com a definição de mecanismos que orientem a forma como essa alocação deve ocorrer. Segundo Dinnar *et al.* (1997), quatro são os principais mecanismos de alocação de água: fixação do preço baseada no custo marginal, alocação de água por uma instituição pública, mercados de água e alocação baseada nos usuários. Wang (2005) utiliza a mesma tipologia de mecanismos e avalia que, na gestão de bacias hidrográficas nacionais ou compartilhadas, o que normalmente ocorre é uma combinação desses mecanismos, como forma de solucionar eventuais conflitos de interesses ou planejar a utilização dos recursos hídricos disponíveis.

A fixação do preço baseada no custo marginal ("*Marginal Cost Pricing"*) é, teoricamente, um mecanismo economicamente eficiente, que visa a estabelecer um ponto ótimo social de aproveitamento da água, considerando que seu preço deve ser igualado ao custo marginal

de suprimento da última unidade de água. Uma das vantagens em sua utilização se daria de forma que, ao estabelecer custos crescentes em situações de aumento do estresse hídrico, evitar-se-ia o consumo excessivo da água e ter-se-ia uma utilização mais eficiente desse recurso. Algumas desvantagens desse mecanismo residem na dificuldade da estimativa do custo marginal, que varia temporalmente e com a variação na demanda, na dificuldade de estimar benefícios e custos e na possibilidade de se atingirem situações socialmente indesejáveis nas quais, devido a um aumento de demanda ou à diminuição de disponibilidade hídrica, as populações de renda mais baixa tivessem seu acesso à água restringido pelos valores crescentes de utilização.

A alocação de água por uma instituição pública, ou alocação administrativa da água (Wang, 2005), tem sua maior vantagem devido à constatação de ser água de difícil tratamento como bem de mercado, por sua consideração como bem público e de responsabilidade de gestão por parte das autoridades públicas e também pelo fato de sua exploração e sua administração serem consideradas de alto investimento para os setores privados. A alocação pode se dar de acordo com a definição de direitos de uso orientados seguindo os objetivos e critérios definidos pelo gestor, sendo o papel do administrador, no caso o poder público, o de gerir conflitos intersetoriais e entre usuários do mesmo setor além de estabelecer as prioridades de uso. Outra vantagem da alocação pública reside no fato de o poder público poder garantir a equidade por meio da garantia de atendimento às demandas sociais e ambientais, ao não priorizar somente a eficiência econômica como fator de alocação. As desvantagens citadas referem-se ao não incentivo ao uso eficiente dos recursos hídricos e ao não utilizar somente fatores econômicos para a alocação, além do fato de ser de difícil manutenção o sistema de informações necessário ao gerenciamento do atendimento às demandas e à garantia da obediência às regras de uso estabelecidas (Dinnar *et al.*, 1997). Como forma de evitar a sobre-exploração da água, diversos países vêm adotando, no âmbito desse mecanismo, sistemas de cobrança pelo direito de utilização da água, como é o caso do Brasil.

O terceiro mecanismo é o de mercados de água, que são instituídos tendo em vista a possibilidade de se transacionarem os direitos de uso da água entre diferentes usuários. Por funcionar como um mercado em que os usuários compram e vendem os direitos de uso de forma livre, supõe-se que esse mecanismo promova a eficiência na alocação, com o recurso hídrico se destinando aos usos com mais alta eficiência econômica. A maior

vantagem residiria na existência de incentivos para o uso eficiente da água, com a atribuição de valores de uso definidos pelo mercado. A dificuldade de quantificar a água usada e a definição dos direitos de uso em situações de vazões variáveis são as principais desvantagens existentes (Dinnar *et al*, 1997).

A alocação de água baseada nos usuários pressupõe a existência de uma autoridade instituída pela comunidade de usuários com a finalidade de tomar decisões sobre os direitos de uso da água, atuando como uma instituição comunitária que define as regras de alocação com base nos usos a serem atendidos e com suporte da comunidade. A flexibilidade de adaptar os padrões de alocação aos diversos usos da água, a sustentabilidade administrativa e a aceitabilidade do mecanismo constituem suas principais vantagens. Há, pois, a necessidade do estabelecimento de regras de funcionamento e de uma estrutura institucional transparente e acessível aos diversos usuários. No entanto, a dificuldade de cooperação entre setores usuários diferentes e não representados pela instituição comunitária constitui uma desvantagem desse mecanismo. A utilização dessa forma de alocação é mais observada no gerenciamento de poços comunitários e de sistemas de irrigação gerenciados pelos agricultores.

Para situações de escassez e de possíveis conflitos pelo uso da água, nas quais a demanda pelos recursos hídricos supera sua oferta, Kelman e Kelman (2001) definem metodologias de alocação da água, por meio das análises de formas de racionamento em seu uso. A primeira metodologia seria a invocada por "selva hídrica" com a alocação das águas ocorrendo de montante para jusante sem o estabelecimento de prioridades de uso com fundamento social, jurídico ou econômico. O segundo método consiste em alocar água promovendo um racionamento linear, diminuindo proporcionalmente a vazão dada para cada usuário de acordo com seu consumo. A terceira metodologia de alocação é a cronológica, com caráter histórico de uso, atendendo primeiro usuários mais antigos. Por fim, tem-se o método do beneficio econômico, onde a prioridade de acesso à água ocorre com referência ao benefício unitário, ou seja, maior o benefício, mais prioritário é o uso e maior a garantia de atendimento.

3.3 Requisitos de Vazão Mínima

Para a garantia da continuidade de disponibilidade da água em padrões quantitativos e qualitativos suficientes aos usos atuais e das futuras gerações e à preservação de ecossistemas, é necessário manter um balanço entre as disponibilidades e as demandas hídricas da bacia hidrográfica por meio da definição de limites de exploração, limites esses estabelecidos com a adoção de mecanismos de alocação, entre eles a outorga de uso da água. Para os países, como o Brasil, que adotam o mecanismo de alocação de água por ação da instituição pública, a definição dos limites de exploração da água varia de acordo com a bacia hidrográfica de interesse e se dá por critérios e metodologias que estabelecem limites de utilização considerando as vazões de referência adotadas e que, de forma indireta, acabam por estabelecer os valores de vazões mínimas a serem deixados disponíveis nos cursos d'água. As vazões de referência são, então, vazões utilizadas como base do processo de gestão e representam o mínimo valor necessário para suprir os usos não consuntivos e assegurar algum grau de preservação ambiental (Sarmento, 2007a). As vazões de referência devem servir, também, para assegurar a manutenção do ecossistema e garantir o atendimento aos usos atuais e previstos, devendo permitir variação em seus valores ao longo do ano hidrológico, não sendo constituída por um valor único de referência mas por um "invólucro" referente a um hidrograma de referência.

Segundo a Resolução CONAMA n° 357/2005, em seu art. 2º, inciso XXXVI, a definição de vazão de referência é dada como sendo a "vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, tendo em vista o uso múltiplo das águas e a necessária articulação das instâncias do Sistema Nacional de Meio Ambiente - SISNAMA e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH". Silva (2008) define a vazão de referência em termos técnicos com a finalidade de subsidiar o instrumento da outorga, sendo essa a vazão presente no corpo hídrico, com alta garantia de permanência em termos quantitativos.

No Brasil, as vazões de referência usualmente adotadas para a alocação de água têm por base valores de vazões com características de alta permanência temporal (como a Q_{90}, por exemplo) ou valores de vazões mínimas associadas a baixas probabilidades de ocorrência (como a $Q_{7,10}$), sendo sua adoção bastante variável, tendo em vista os diferentes órgãos gestores estaduais. A Tabela 3.4 apresenta os valores de referência utilizados por diferentes

estados brasileiros, em seus processos de outorga. A referida Q_{90} corresponde ao valor de uma vazão em que, em 90% do tempo, as vazões observadas são iguais ou superiores a ela. Define-se, da mesma forma, a Q_{95}, como a vazão que é igualada ou superada em 95% do tempo. Já a $Q_{7,10}$ se refere ao valor de vazão mínima com sete dias de permanência e tempo de retorno de 10 anos. Pode, ainda, haver uma variação na vazão a ser alocada a depender da existência ou não de regularização no corpo d'água.

Pode-se observar, com os dados da Tabela 3.4, que os diferentes órgãos gestores estaduais adotam critérios de outorga de uso de recursos hídricos que variam quanto aos valores de vazões de referência e aos percentuais outorgáveis, de acordo com as características regionais e os planos e políticas de gestão.

Tabela 3.4 – Critérios de outorga em estados brasileiros (Lopes e Freitas,

Região	Unidade da Federação	Vazão mínima de referência	Limite de uso na bacia	Limite de uso individual
Nordeste	Bahia	Q_{90}	80%	20%
	Alagoas	Q_{90} (vazão regularizada)	90%	-
	Ceará	Q_{90} (vazão regularizada)	90%	-
	Rio Grande do Norte	Q_{90} (vazão regularizada)	90%	-
	Paraíba	Q_{90} (vazão regularizada)	90%	-
	Pernambuco	Q_{90} (vazão regularizada)	90%	-
	Sergipe	Q_{90}	100%	30%
Sudeste	Minas Gerais	$Q_{7,10}$	30% (fio d'água)	-
	São Paulo	$Q_{7,10}$	50%	20%
	Rio de Janeiro	$Q_{7,10}$	80%	-
Centro-Oeste e Norte	Distrito Federal	Q_{90}	80%	-
	Goiás	Q_{95}	70%	-
	Tocantins	Q_{90}	75%	25%
Sul	Paraná	Q_{95}	50%	-

As vazões mínimas a serem mantidas nos cursos d'água, após as retiradas para os diferentes usos na bacia hidrográfica, são referidas como vazões remanescentes e devem ser superiores ao valor suficiente para suprir as demandas a jusante, por usos consuntivos ou não, assim como as demandas ambientais. No entanto, a dificuldade na definição de quais são os valores reais necessários para suprir essas demandas faz com que sejam adotados, como vazões remanescentes, valores de referência para outorga baseados em métodos estatísticos, como os já citados. A Figura 3.2 apresenta um esquema com as representações e terminologias adotadas para valores de referência de vazões, tendo em vista a alocação de água e a disponibilidade hídrica.

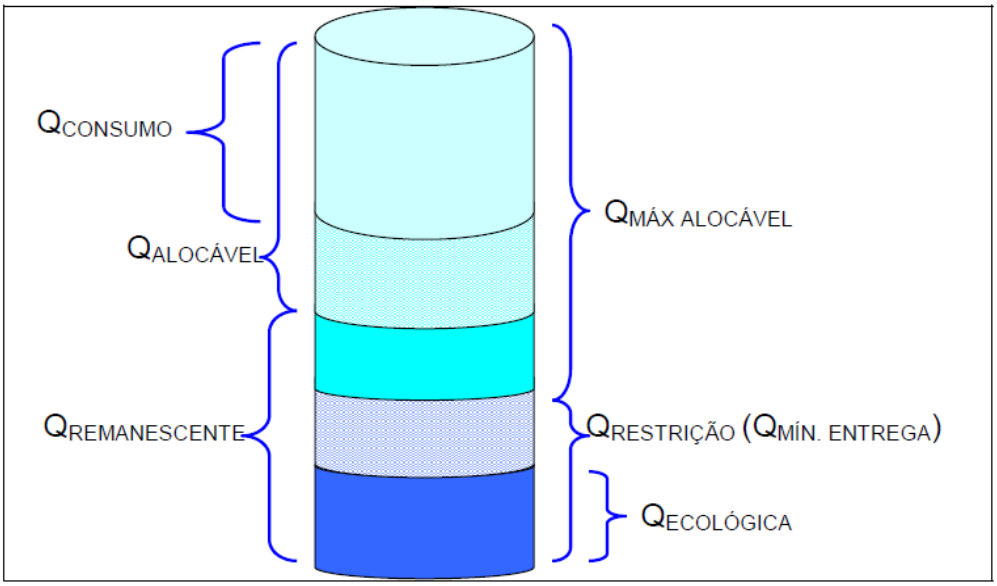

Figura 3.2 – Vazões para fins de alocação (Brasil, 2004)

As vazões referenciadas como vazões ecológicas são definidas como vazões que suportem a existência do ecossistema aquático, preservando condições hidrológicas e de transporte de sedimentos e nutrientes que permitam a reprodução dos seres vivos ali presentes (Benetti *et al.*, 2003).

Pela Figura 3.2, pode-se, ainda, obter novas definições de valores de interesse nos critérios de alocação de água e outorga de uso de recursos hídricos, como a vazão máxima alocável (Qmáx. alocável), aquela na qual se aloca parcela da vazão remanescente (Qremanescente), que excederia uma vazão de restrição (ou vazão mínima de entrega), assim definida por ser necessária tanto à preservação ambiental (Qecológica) quanto ao atendimento de usos prioritários a jusante. A vazão máxima alocável refere-se, sobretudo, a períodos de estiagem e racionamento, nos quais pode haver a necessidade da utilização de maior quantidade de água para o abastecimento dos usos prioritários a montante.

As Câmaras Técnicas de Análise de Projeto (CTAP) e de Integração de Procedimentos, Ações de Outorga e Ações Reguladoras (CTPOAR), que integram o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), vêm trabalhando de forma conjunta, desde 2007, para realizar discussões acerca da definição de vazões mínimas, buscando aprimorar a proposta de resolução que estabelece as diretrizes gerais para a definição de vazões mínimas remanescentes, que se encontrava em sua 16ª versão (de 05/10/2010), sendo esta a versão final para encaminhamento às demais câmaras técnicas e, posteriormente, ao Plenário do

CNRH para deliberações. O Parecer Técnico conjunto CTAP-CTPOAR nº 01/2010, de 09/11/2010, apresenta a evolução dos debates ocorridos entre as duas câmaras e os principais pontos incluídos na proposta de resolução, como suas premissas básicas e conceitos adotados.

A proposta de resolução define as vazões mínimas remanescentes como fator a ser considerado como limitante quando da emissão de outorgas de direito de uso de recursos hídricos, delegando à autoridade outorgante o estabelecimento de critérios específicos para a determinação de vazões mínimas remanescentes em cada bacia hidrográfica, preferencialmente em articulação com os demais integrantes do sistema de gerenciamento de recursos hídricos, como preconizado pela lei 9.433/97. Ressalta, ainda, o caráter diferencial a ser adotado na determinação de vazão mínima remanescente em cursos de água intermitentes e quando da ocorrência de eventos hidrológicos críticos com comprometimento da disponibilidade hídrica.

Dessa forma, a proposta de resolução apresentada ao CNRH mais bem define a atuação dos órgãos gestores no processo de gestão dos recursos hídricos e corrobora com a identificação da necessidade de se estabelecerem novas metodologias que viabilizem o estabelecimento de condições de entrega entre entes federados diferentes, a fim de evitar situações de conflito pelo uso dos recursos hídricos e sua sobre-exploração.

Há, ainda em fase de discussão e construção na CTPOAR, a proposta de estabelecimento de resolução com procedimentos gerais para a manifestação prévia e outorga de direito de uso de recursos hídricos para fins de diluição de efluentes em corpos d'água superficiais, visando à criação de procedimentos de outorga que permitam maior integração entre os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, adicionando ao procedimento de outorga os conceitos de vazão de diluição e de lançamento como tentativa de computar os impactos dos usos múltiplos de recursos hídricos em termos quali-quantitativos.

3.4 Modelos de Simulação de Sistemas Hídricos

Para a representação e a análise de sistemas de recursos hídricos, são, normalmente, utilizadas duas classes principais de modelos: as que utilizam ferramentas de otimização como na modelagem em redes de fluxo dos sistemas e as que se baseiam na simulação do

sistema. Os modelos que utilizam ferramentas de otimização permitem analisar uma decisão de forma analítica e encontrar valores das variáveis que otimizem os critérios, por meio da formulação de uma função objetivo a ser maximizada ou minimizada, sujeita a determinadas restrições. Os modelos de simulação apresentam grande flexibilidade em sua utilização, com níveis de detalhamento determinados pelo usuário, mas não permitem a restrição do espaço decisório, como na classe anterior, sendo que a busca de uma eventual melhor solução se dá por meio da tentativa e erro.

Na seção seguinte, apresenta-se uma breve discussão acerca do modelo *Acquanet*, adaptação do modelo de rede de fluxo MODSIM, que foi utilizado na presente pesquisa, pelo fato de possibilitar que volumes de água sejam alocados de diferentes formas, contemplando distintos usos, com delimitação de prioridades e permitir, de forma indireta, uma análise de riscos de não atendimento às restrições estabelecidas.

3.4.1 Modelo Acquanet

O modelo *Acquanet* foi desenvolvido pela Escola Politécnica da USP, no Laboratório de Sistemas de Suporte à Decisão (LABSID), tendo por base o MODSIM, um sistema de suporte à decisão para o gerenciamento de bacias hidrográficas desenvolvido na *CSU - Colorado State University*, em 1978, pelo professor John Labadie. O MODSIM realiza a simulação do sistema hídrico, alocando as vazões entre as demandas existentes, em passos de tempo estipulados (Carvalho, 2004). Por meio da utilização do *Acquanet*, é possível criar e gerenciar planos operacionais a fim de satisfazer metas, prioridades e limitações determinadas pelos usuários, além de permitir a avaliação de eventuais compensações entre usos conflitantes durante períodos de estiagem ou de déficit na disponibilidade hídrica (Azevedo *et al*., 1997).

Porto *et al*. (2005) ressaltam que, utilizando-se do modelo *Acquanet*, faz-se a representação do sistema hídrico por meio de nós interligados por arcos, em uma rede de fluxo. Os nós são a representação de reservatórios, aquíferos, confluências, pontos de bifurcação, e qualquer outra forma de entrada de efluentes e retirada de água (entradas, demandas e perdas na rede) e os arcos representam cursos d'água, canais, adutoras, tubulações, etc. Dessa forma, torna-se possível representar, de forma bastante detalhada, o sistema hídrico que se deseja reproduzir no modelo (Schardong, 2006). Ressalta-se, ainda, a possibilidade

de utilização de nós e arcos no sistema de representação para a inclusão e a avaliação de mecanismos de alocação de água (Reyes, 2009).

O *Acquanet* permite realizar a simulação do sistema hídrico de duas formas: i) simulação contínua, quando os cálculos de alocação se dão de maneira sequencial no tempo ou ii) planejamento tático, quando os cálculos são efetuados por análises estatísticas (Porto *et al*., 2005). Ainda segundo esses autores, a opção pela utilização dessas duas formas de simulação dependerá do objetivo definido para a simulação do sistema, sendo a escolha pela simulação sequencial mais indicada quando se pretende avaliar o comportamento do sistema frente às demandas e prioridades de atendimento estabelecidas, enquanto a opção pelo planejamento tático visa à análise das condições de operação de reservatórios.

Quando da utilização do sistema em simulação contínua, o modelo requer a definição do período de simulação (número total de anos - NT) e as séries de vazões afluentes mensais correspondentes a esse período, sendo os resultados fornecidos pelo *Acquanet* apresentados com periodicidade mensal e calculados de forma contínua, ou seja, a simulação para um determinado mês leva em consideração o resultado gerado pelo sistema para o mês anterior em cada ponto de simulação. Na simulação, utilizando-se o planejamento tático, é necessário fornecer número total de anos de simulação e o número de anos do horizonte de simulação (NH), sendo este correspondente ao horizonte de tempo em que se pretende analisar o comportamento do sistema modelado e com base no qual serão calculados os resultados estatísticos para os meses do horizonte de simulação (Porto *et al*., 2005).

Azevedo *et al.* (1997) apresentam as hipóteses básicas utilizadas na formulação do problema ao qual será aplicado o modelo: a definição de limites mínimos e máximos (volumes nos reservatórios e vazões nos arcos); a determinação de um sentido único de fluxo para cada arco; e a necessidade de concentração de todas as vazões afluentes, demandas, perdas por infiltração e vazões de retorno nos nós.

Como resultado da simulação e das otimizações efetuadas, o *Acquanet* apresenta dados que caracterizam a confiabilidade na satisfação de uma demanda por água, com estimativa de um risco de não-atendimento, permitindo uma análise se as prioridades na alocação de água definidas estão ou não sendo respeitadas.

O *Acquanet* dispõe de outros módulos com aplicações específicas, como os módulos de qualidade da água e de energia, constituindo um modelo de simulação de sistemas hídricos passível de utilização na integração da gestão de parâmetros de quantidade e qualidade da água, podendo ser um instrumento útil e de fácil aplicação na gestão de bacias hidrográficas (Porto *et al.*, 2003).

Diversos estudos têm sido realizados com a utilização do modelo *Acquanet* para analisar estratégias de gestão e alocação de recursos hídricos, sendo o modelo escolhido para aplicação nesta pesquisa, baseado, inclusive, nos resultados obtidos por outros trabalhos realizados para a bacia do rio Preto, conforme apresentado por Reyes (2009), Machado (2009) e Silva (2012), que avaliaram possíveis planos de alocação de água nessa bacia hidrográfica, seguindo diferentes perspectivas, utilizando o *Acquanet* como modelo integrador de dados.

4- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta o levantamento bibliográfico sobre a definição de requisitos de vazão mínima, com uma breve revisão bibliográfica acerca das variações nos métodos de definição de vazões mínimas, seus princípios e suas implicações. Apresentam-se, também, alguns dos estudos de caso, estrangeiros e nacionais, sobre gestão compartilhada de recursos que foram utilizados, posteriormente, como base de reflexão sobre a definição de critérios para os requisitos de entrega de vazões mínimas.

4.1 Definição de requisitos de vazão mínima

4.1.1 Vazão mínima de entrega

Algumas definições sobre valores de vazão mínima de entrega são de extrema importância para discussão dos critérios de alocação de água e outorga de uso de recursos hídricos, como a de vazão remanescente ($Q_{remanescente}$), aquela que excede a vazão de restrição ou vazão mínima de entrega (Q_{min}), assim definida por ser necessária tanto à preservação ambiental ($Q_{ecológica}$) quanto ao atendimento de usos não consuntivos (Brasil, 2004). Na definição de requisitos de vazão mínima de entrega entre corpos d'água de domínio estadual e de domínio federal, há de se realizarem análises com o objetivo de determinar os valores necessários ao atendimento de todos os usos na bacia hidrográfica e os valores necessários à garantia de quantidade e qualidade suficientes ao uso atual e das futuras gerações, além da preservação dos ecossistemas.

Bezerra (2001) apresenta uma revisão acerca do conceito de vazão mínima garantida, afirmando que a definição de valores de vazão mínima garantida nos corpos d'água depende dos contextos hidrológico, sanitário, ecológico e econômico do corpo hídrico em questão, visando a assegurar a conservação e a manutenção dos ecossistemas aquáticos naturais, a diluição das cargas de macro e micropoluentes e a manutenção da estrutura do leito e da capacidade de transporte do canal. Bezerra (2001) apresenta, então, um quadro esquemático das dimensões a serem levadas em consideração da delimitação de vazões mínimas a serem mantidas nos corpos d'água, não só com base em critérios ecológicos e

hidrológicos, mas tendo em vista os critérios sanitários e econômicos. A Tabela 4.1 apresenta os fatores relevantes, seus efeitos e sua importância.

Tabela 4.1 – Principais fatores associados à definição de vazões mínimas garantidas (Bezerra, 2001)

Dimensão	Fatores relevantes	Efeitos decorrentes da não consideração da dimensão	Importância na adoção da dimensão
Hidrológica/ Hidráulica	Envolve definições de volumes e vazões, sendo importante para avaliar a satisfação da demanda por quantidade de água ao longo do espaço e do tempo.	Alterações hidrológicas, conflitos de uso, perdas econômicas a jusante, aumento da poluição, impacto na fauna e na flora.	Permite considerar melhor as demandas por quantidade e qualidade de água, levando-se em conta, nesse último caso o simples efeito da diluição.
Sanitária	Envolve definição de parâmetros físicos, químicos biológicos e sanitários necessários para avaliar a satisfação da demanda por água (qualidade e quantidade) ao longo do tempo e do espaço.	Poluição orgânica e bacteriológica, obstrução dos corpos d'água, alteração do regime aquático, elevação da temperatura, carreamento de agrotóxico, matéria orgânica, água de abastecimento de baixa qualidade, eutrofização, aumento da concentração de H_2S e CO_2, alteração da fauna e flora, aumento no aporte de nutrientes.	Permite considerar os processos de autodepuração dos efluentes lançados, assim como a passagem de certas moléculas para formas mais ou menos tóxicas.
Ecológica	Além da qualidade da água, envolve também requisitos necessários à conservação da fauna e flora fluviais.	Ocorrem, também, as mesmas alterações referentes à qualidade de água, alterações nas condições ecológicas dos rios ou lagos, perda da biodiversidade e desaparecimento de espécies, aumento de vetores e doenças, perturbação e deterioração da pesca.	Melhoramento na produção primária resultando em redução dos nutrientes inorgânicos, aumento da biodiversidade e espécies, diminuição das doenças, preservação da harmonia paisagística e aumento da pesca.
Econômica	Os fatores a serem considerados relacionam-se com os valores econômicos da água, o que permitiria uma evolução eficiente da água entre os diferentes usos de água, inclusive ecológicos.	Além dos efeitos associados às dimensões anteriores, ocorrência de situações de ineficiência econômica.	A percepção e a incorporação do valor econômico da água induzem a uma melhor e mais abrangente considerações das condições ambientais e sanitárias do corpo d'água.

Lopes e Freitas (2007) ressaltam que a definição de valores arbitrários de vazão mínima não reflete as necessidades ambientais e consideram que a definição dos limites de utilização dos recursos hídricos na bacia hidrográfica sem a diferenciação entre usos contínuos ou não-simultâneos superestima impactos e torna mais conservador o mecanismo de outorga e alocação de água na bacia hidrográfica, podendo levar a uma não-consideração da evolução dos usos, o que diminui a possibilidade de previsão e resolução de conflitos, uma vez que o limite de outorga é "estável". Os autores ressaltam, ainda, que

a articulação entre as políticas setoriais é reduzida e a utilização dos recursos hídricos se dá até o limite definido pela outorga, sendo a participação dos usuários reduzida, dificultando ainda mais o uso racional do recurso hídrico e a incorporação de características regionais nos mecanismos adotados, com exceção de algumas bacias hidrográficas onde há atuação de Comitês.

Uma das maiores dificuldades na definição de valores de vazão mínima ou vazão remanescente relaciona-se à desarticulação entre os diversos órgãos gestores dos estados e da União na definição dos valores de referência adotados, levando à existência de critérios diferentes de outorga e limites diferentes de utilização dos recursos hídricos dentro de uma mesma bacia hidrográfica (Lopes e Freitas, 2007).

4.1.2 Vazões ecológicas

Benetti *et al.* (2003) apresentam uma revisão e comparação de métodos para o cálculo das vazões ecológicas ressaltando a importância de se selecionarem, para análise, aqueles que permitam uma construção sazonal que abarque as variações do ano hidrológico como, por exemplo, uma curva de permanência com valores de referência com base mensal, ao invés de utilizar-se apenas um valor para o ano hidrológico como um todo, enfocando que um valor de vazão ecológica mínima emergencial deve ser utilizado apenas em condições excepcionais. Segundo os autores, os métodos hidrológicos de cálculo da vazão ecológica são determinados, de forma indireta, pelos limites de outorga estabelecidos nas legislações estaduais e federal e são *"destituídos de significado ecológico"* por basearem-se não nas condições do ecossistema existentes no corpo d'água, mas em valores estatísticos.

Uma visão histórica da ecologia de rios e dos métodos de definição de vazões ecológicas é apresentada por Cruz (2005), ressaltando que a manutenção de um regime de vazão natural nos rios surge como crítica às metodologias tradicionais de definição de valores de vazão de restrição definidos por métodos hidráulicos ou hidrológicos com simplificações que comprometem seu real significado ecológico (Arthington, 1992 e Poff *et al*, 1997). Segundo Cruz (2005), devem-se buscar, então, formas de integrar os aspectos essenciais da paisagem e do regime hidrológico, buscando avaliar suas inter-relações e conexões para obter procedimentos de definição de valores de vazão ecológica que possibilitem o manejo sustentável dos recursos hídricos.

Um dos aspectos mais relevantes na definição de vazões ecológicas é a disparidade entre a teoria e a sua efetiva aplicação. Em realidade, a base informacional disponível para a tomada de decisão é, quase sempre, insuficiente para a elaboração de metodologias mais complexas, contribuindo para a continuidade da utilização de métodos com menor grau de significado ecológico, como os hidráulicos e os hidrológicos, esses últimos, como salientado, baseados em análises meramente estatísticas. Outro aspecto relevante é a necessidade de adoção de critérios de manejo mais flexíveis e variáveis temporalmente em contrapartida aos critérios de valores únicos e estáticos usualmente adotados (Cruz, 2005). O autor propõe uma construção metodológica para definição de vazões ecológicas em situações de carências de dados, com a justificativa de serem esses os casos mais comuns no país. A metodologia FFTSint (Cruz, 2005) é baseada na consideração do regime de pulsos hidrológicos e das flutuações de fatores ambientais no tempo e busca remover os conteúdos aleatórios do hidrograma do curso d'água considerado para o reconhecimento dos pulsos significativos para o ecossistema, visando a possibilitar uma prescrição de um regime de vazões ecológicas que abarque esses pulsos significativos e possibilite a manutenção dos diversos constituintes essenciais do ecossistema que se pretende preservar. O ecossistema é analisado, nessa proposta, a partir da observação da relação entre a vegetação e os pulsos hidrológicos significativos.

Cruz (2005) reflete, ainda, sobre a dificuldade de se lidar com as diversas metodologias no processo de tomada de decisão, sendo a velocidade exigida para a tomada de decisão muitas vezes incompatível com o período necessário ao desenvolvimento de estudos que buscam utilizar métodos de definição de vazões ambientais mais condizentes com a necessidade dos ecossistemas.

Amorim e Luz (2007) incluem na determinação de vazões ecológicas o "paradigma das vazões naturais", sendo essas o guia para a definição de valores de vazões necessários para a preservação do ecossistema enquanto se busca a utilização dos recursos hídricos para atendimento das necessidades de abastecimento e produção da sociedade. Os conceitos de contínuo fluvial, descontinuidade serial e pulso de inundação são apresentados junto a sua importância na constituição de um sistema sustentável de utilização dos recursos hídricos.

Sarmento (2007a) define quatro categorias de classificação dos métodos de determinação de vazões ecológicas: métodos hidrológicos, hidráulicos, de habitat e holísticos.

Os métodos classificados como hidrológicos sustentam-se na utilização de dados de séries temporais de vazões com a fixação da vazão mínima em termos percentuais de uma vazão de referência adotada com base nesses dados. No âmbito dessa classificação, encontram-se, os métodos baseados na $Q_{7,10}$, a vazão média mínima de sete dias com período de recorrência de 10 anos, obtida por meio do cálculo das médias móveis das vazões médias diárias com intervalos de sete dias para cada ano de dados disponível, sendo o menor valor obtido para um período de sete dias selecionada para cada ano e depois ordenado de forma a se obter o valor correspondente a um período de 10 anos de retorno. As vazões obtidas com base nas curvas de permanência são, também, enquadradas como métodos hidrológicos e baseiam-se na análise da possibilidade de ocorrência de vazões inferiores às determinadas, como a Q_{95} e a Q_{90}. O Método de Tennant, ou de Montana, calcula a vazão ecológica com base na determinação da vazão média anual no local de estudo, estabelecendo um conjunto de percentagens de 10%, 30% e 60% em relação à vazão média anual, registrando os tipos de *habitat* característicos do curso d'água e as modificações sofridas com as variações sazonais de vazão, utilizando as informações obtidas para elaborar recomendações de vazões ecológicas. Existem métodos que estabelecem a vazão mediana do mês mais seco do ano como referência de vazão ecológica a ser adotada, relacionando essa ao fluxo de base do rio (Benetti, 2003).

Os métodos hidráulicos consistem na utilização de parâmetros como perímetro molhado, morfologia da seção fluvial, velocidade de escoamento e profundidade do canal como indicadores de modificação nos *habitats* juntamente com as vazões relativas a cada mudança nesses indicadores, possibilitando ou não a permanência de espécies no curso d'água. Criam-se, então, curvas relacionando as vazões com os parâmetros analisados e obtêm-se valores de vazão mínima para sustentar o ecossistema ali presente.

Os métodos de *habitat* identificam as características dos cursos d'água que influenciam a distribuição longitudinal e lateral de organismos, revelando trechos de rio e suas características mais propícias a determinadas espécies, servindo de base para determinar valores de vazão e áreas de *habitat* que satisfaçam as necessidades para a permanência de espécies ali existentes. São exemplos: *Instream Flow Incremental Methodology (IFIM)*,

desenvolvido em 1982 pelo *Cooperative Instream Flow Service Group*, atualmente *Aquatic Systems Branch of the National Ecology Research Center* (USFWS).

Os métodos holísticos levam em conta todo ecossistema do rio, incluindo áreas de pântanos, água subterrânea e estuários. Considera que todas as espécies têm sensibilidade a alterações na vazão, tais como invertebrados, plantas e animais, e contempla os aspectos das cheias, secas, e qualidade da água. É uma metodologia que tem por base o diálogo de grupos de profissionais e a consulta a especialistas das mais diversas áreas de conhecimento relativas aos ecossistemas presente na área de interesse. A metodologia *Building Block Methodology* (BBM), desenvolvida na África do Sul, inclui a preparação de *workshops* multidisciplinares com consulta às partes interessadas, estudos de escritório e de campo, pesquisas sociais e de integridade do habitat assim como a definição de objetivos futuros do rio.

Os principais condicionantes na definição de qual metodologia utilizar na definição de vazões ecológicas relacionam-se com o fato de que uma vazão mínima, por si só, não representa aspectos do regime hidrológico essencial aos ecossistemas uma vez que a variabilidade natural do regime hidrológico influencia de forma direta e indireta a organização e a reprodução dos ecossistemas existentes no corpo d'água, incluindo períodos de vazões de cheia e de estiagem como essenciais à manutenção dos ecossistemas (Collishonn *et al.*, 2006). Por outro lado, a utilização de metodologias mais complexas e mais representativas do ponto de vista ecológico requer a existência de recursos materiais nem sempre disponíveis e de um maior período de tempo para sua realização e avaliação, o que nem sempre é compatível com a necessidade de resposta rápida para a tomada de decisão. A Tabela 4.2 apresenta uma comparação entre as metodologias mais utilizadas no mundo, com suas vantagens e desvantagens bem como o tempo de duração necessário para o desenvolvimento dos estudos relativos a cada metodologia.

Tabela 4.2 – Principais Métodos para Determinação da Vazão Ecológica (modificado de Sarmento, 2007b)

Metodologia	Método	Vantagens	Desvantagens	Confiabilidade Relativa dos Resultados*	Duração para Implementação	Uso	Custo
Hidrológica	Tennant	Relativamente baixo custo, rápido e fácil implementação.	Feito para gestão de habitat de trutas; válido somente para a região que foi desenvolvido; inexistência de validação biológica.	Baixa	Duas semanas	Extensivo nos EUA	Médio
Hidráulica	Perímetro Molhado	Uso fácil e reduzida aquisição de dados.	Considera as características físicas e não as necessidades da biota do rio.	Baixa	2- 4 meses	Extensivo nos EUA	Baixo
Habitat	IFIM	Muito bem documentado; trata com peixes.	Requer muitos dados de campo; difícil uso; requer bom entendimento das espécies de estudo.	Alta	2 – 5 anos	Extensivo nos EUA e Reino Unido	Alto
Holística	Holístico	Considera vários componentes do ecossistema.	Não possui conjunto estruturado de procedimentos para uso; requer treinamento especializado sobre o processo.	Média	6 – 18 meses	Aplicado em várias formas na Austrália.	Alto
	BBM	Extensamente documentado; trata com o ecossistema do rio.	Julgamento de sua efetividade necessita de tempo	Alta	6 – 18 meses	Aplicado na Austrália, África do Sul e Reino Unido.	Alto
	DRIFT	Bem Documentado; trata com o ecossistema do rio; tem forte componente nos aspectos sociais.	Consideração limitada de interações sinergéticas entre diferentes cenários de vazões; inclusão limitada de índices de vazões para descrever a variabilidade do sistema.	Alta	1 – 3 anos	Muito limitado; Lesotho, África do Sul.	Alto

4.1.3 Metodologias utilizadas no Brasil

Pelissari (2000) apresenta uma pesquisa formal sobre vazão ecológica, utilizando os métodos *IFIM*, *Tennant*, Perímetro Molhado e $Q_{7.10}$ para a determinação da vazão ecológica no rio Timbuí, no Estado do Espírito Santo, sendo esse um dos estudos pioneiros no país na determinação de vazões ecológicas.

Em 2006, um grupo de técnicos e especialistas da Agência Nacional de Águas, juntamente com o Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (CBHSF) e os órgãos gestores dos Estados da bacia, apresentaram uma proposta do Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco, tendo sido utilizado o método de Tennant para a determinação da vazão ecológica para a sobrevivência de peixes: Mínima: 10% da vazão média de longo período; Média: 20% da vazão média de longo período; Ideal: 30% da vazão média de longo período (Silva, 2006).

Sarmento (2007b) faz uma revisão bibliográfica acerca da utilização dos diversos métodos de obtenção da vazão ecológica no Brasil. O autor ressalta o fato de as metodologias adotadas nos Estados e nos órgãos federais brasileiros utilizarem como definição de vazões remanescentes parâmetros hidrológicos, sem levar em consideração a ecologia aquática.

Galvão (2008) apresenta uma revisão acerca das principais metodologias utilizadas no Brasil e no mundo, baseando-se nos estudos anteriores realizados por Sarmento (2007b), apresentando uma tabela resumo contendo os principais estudos realizados no país (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Estudos sobre determinação de vazões ambientais no Brasil (modificado de Galvão, 2008 e Sarmento, 2007a)

Ano	Autores	Estudo desenvolvido
1999	Sarmento *et al.*	Revisão do estado da arte em vazões ecológicas
1999	Pelissari *et al.*	Estudos sobre o Índice de Preferência de Habitats - IPH para espécies de peixes na determinação de vazão residual no Rio Timbuí no ES.
2000	Pelissari *et al.*	Utilizaram métodos como *IFIM*, Tennant, Perímetro Molhado, ABF e $Q_{7,10}$ para determinar a vazão ecológica no Rio Timbuí (ES), sendo o primeiro trabalho formal desenvolvido no país nessa linha de pesquisa
2001	Pelissari *et al.*	Estudo sobre a vazão ecológica a ser considerada no licenciamento ambiental de sistemas de abastecimento de água.
2003	Pelissari *et al.*	Estudo para determinação de valor de vazão ecológica para o Rio Santa Maria da Vitória no ES.
2003	Benetti *et al.*	Apresentação de revisão dos métodos empregados na definição de vazões remanescentes e classificação dos mesmos em hidrológicos, hidráulicos, de regressões múltiplas, de classificação de habitas, holísticos e informais.
2003	Marques *et al.*	Verificação da influência de métodos de determinação de vazões ecológicas nos custos de geração de energia em aproveitamentos hidrelétricos
2003	Curado, L.C.	Aplicação de métodos para determinar vazões mínimas de referência em sub-bacias do Rio Miranda em MS.
2004	Pelissari *et al.*	Determinação de vazão ecológica no rio Santa Maria da Vitória (ES) para caracterizar a disponibilidade hídrica para Grande Vitória (ES).
2004	ANA	Utilização do método de Tennant para a determinação da vazão ecológica para o rio São Francisco na ocasião da elaboração do Plano Decenal da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, sendo essa estabelecida, na foz, em $1300 m^3/s$.
2004	Luz	Discute a necessidade de se levar em consideração aspectos sobre a ecologia de rios e de seus processos hidrológicos e biogeoquímicos na determinação de valores de vazões remanescentes.
2004-2006	Sarmento *et al.*	Determinação da vazão ecológica do rio Paraíba do Sul à jusante da Usina Hidroelétrica de Funil (RJ) pelo método *IFIM* para projeto de pesquisa da ANEEL.
2005	Collischonn *et al.*	Reflexões sobre critérios utilizados na definição de vazões remanescentes em rios, enfatizando a necessidade de prescrição de um hidrograma ecológico.
2006	Luz	Estudo para analisar as alterações ocorridas no regime fluvial do baixo rio São Francisco através do modelo *Indicators of Hidrologic Alteration - IHA.*
2006	Froes	Elaboração de planos diretores de recursos hídricos para as bacias hidrográficas do Rio das Velhas e do Rio Paracatu em MG, com emprego do método de Tennant.
2007	Sarmento *et al.*	Define quatro categorias de classificação dos métodos de determinação de vazões ecológicas: métodos hidrológicos, hidráulicos, de habitat e holísticos e faz uma revisão bibliográfica acerca da utilização dos diversos métodos de obtenção da vazão ecológica no Brasil e no mundo.

4.2 Estudo de caso da bacia hidrográfica do Rio Colorado - EUA

O rio Colorado corta a região oeste dos Estados Unidos e atravessa a fronteira com o México, tendo 2.330 km de extensão e bacia hidrográfica com área de aproximadamente 630.000 km² (Nevada, 2008) (Figura 4.1).

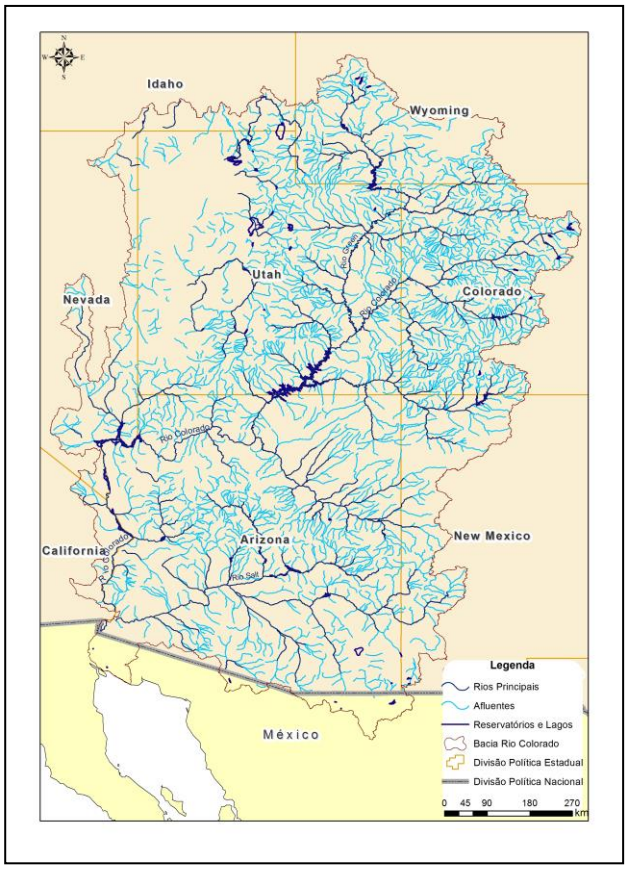

Figura 4.1 – Bacia do rio Colorado (*Colorado River Comission of Nevada*)

O uso da água na bacia do rio Colorado divide-se entre as atividades agrícolas, consumo humano, geração de energia e atividade industrial, gerando conflitos de uso da água não só entre os diversos usuários como entre os Estados e países integrantes da bacia hidrográfica. Apresentam-se, a seguir, alguns dos mais importantes acordos referentes à gestão compartilhada e à alocação da água na bacia do rio Colorado.

Em 1922, o Congresso dos Estados Unidos ratificou o *Colorado River Compact*, acordo pioneiro efetuado, em 1921, entre os estados com territórios na bacia do rio Colorado que decidia sobre a alocação da água do rio, subdividindo a bacia em duas, a bacia superior caracterizada por ser a região onde a produtividade hídrica é elevada, e a bacia inferior, onde a demanda hídrica é mais elevada (Nevada, 2006). Segundo o acordo, ambas as sub-

bacias teriam direito ao consumo de 7,5 milhões de *acre-pés* (9,25 km^3) anuais sendo que as bacias da porção sul teriam direito a um aumento anual em seu consumo da ordem de um milhão de *acre-pés* (1,23 km^3). O acordo ainda previa que, caso houvesse o reconhecimento da necessidade de garantia mínima de água a ser utilizada no México, essa deveria vir do montante que ultrapassasse as quantidades máximas permitidas a cada sub-bacia e, em caso de não-atendimento da demanda, as sub-bacias teriam retiradas de seus montantes máximos de uso volumes iguais de água.

Em 1928, foi redigido o *Boulder Canyon Project Act*, definindo a partição de 7,5 milhões anuais de *acre-pés* (9,25 km^3) entre os três estados da sub-bacia sul na proporção apresentada na Tabela 4.4. O tratado, que foi ratificado e emendado em 1964 pela Suprema Corte americana, define, ainda, as finalidades principais de utilização do reservatório.

Tabela 4.4 – Alocação de água por Estado - Sub-bacia Inferior

Estado	Volume (milhões de *acre-pés*)
Arizona	2,8 (+46% do excedente)
Califórnia	4,4 (+50% do excedente)
Nevada	0,3(+4% do excedente)

Fonte: *Arizona v. California, Decreto 376 U.S. 340, 342 (1964)*

O primeiro acordo internacional relativo à alocação de água no rio Colorado foi assinado em 1944. O *Mexican Water Treaty of 1944* trata da utilização de água dos rios Colorado, Tijuana e Grande, definindo as prioridades de uso. Ao México fica garantido o direito de uso de 1,5 milhão de *acre-pés* (1,85 km^3) anual no rio Colorado e, em anos em que o montante de água disponível exceda o necessário para atender as demandas nos EUA e México, haverá, ainda, a possibilidade de entrega de mais 1,7 milhão *acre-pés* (2,1 km^3) anual. Da mesma forma, em eventos críticos de escassez, a diminuição nas quantidades anuais de entrega será equitativa entre os dois países. A entrega do volume anual de água foi especificada com a definição de volumes mensais de entrega com base no regime hidrológico do rio Colorado e em pontos de controle definidos na fronteira entre os dois países.

Enquanto os estados da porção inferior da bacia do rio Colorado tiveram a partição de água decidida pela Suprema Corte dos Estados Unidos, devido aos conflitos não resolvidos entre eles, os estados da porção superior da bacia optaram por resolver de forma conjunta a disputa, sendo o *Upper Colorado River Basin Compact*, assinado em 1948, o marco legal

que define a porcentagem do volume total devida a cada um dos estados, ficando essa porcentagem repartida conforma a Tabela 4.5. O acordo criou, ainda, uma agência administrativa interestadual, a *Upper Colorado River Commission*, composta por membros representantes dos quatro estados.

Tabela 4.5 – Alocação de água por Estado - Sub-bacia Superior

Estado	%
Colorado	51,75
Utah	23,00
Wyoming	14,00
Novo México	11,25
Arizona	50 mil *acre-pés*/ano

Fonte: *Upper Colorado River Basin Compact,1948*

Em 1973, emerge o problema da gestão da qualidade da água do rio Colorado entregue ao México, principalmente no tocante à salinidade. A partir de 1950, com a rápida expansão agrícola das bacias em solo americano, a demanda pelo uso dos recursos hídricos cresceu assim como a disposição de resíduos das atividades produtivas. Em 1973, a minuta número 242 do *International Boundary and Water Commission United States and Mexico* definiu os limites de salinidade máximos a serem aceitos na passagem do rio Colorado de território americano para território mexicano. Para tanto, o *Colorado River Basin Salinity Control Act* de 1974 determina a instalação de uma estação de dessalinização no estado do Arizona visando a diminuir a presença de minerais antes da entrega na fronteira mexicana pelo rio Colorado e foi construído um canal para disposição dos resíduos diretamente no Golfo da Califórnia evitando sua disposição no mesmo rio. Em 2007, a Secretaria de Interior americana lançou um documento com as linhas gerais de gestão na sub-bacia inferior em casos de períodos de estiagem e com refinamento das regras de operação coordenada dos lagos Powell e Mead.

Nota-se que a alocação de água na bacia do rio Colorado se dá pela definição de volumes a serem utilizados e não vazões ou hidrogramas que representem a variação ao longo do ano hidrológico, com a definição de volumes menores de alocação para anos críticos. Ressalta-se que, ao longo da evolução do processo de gestão dos recursos hídricos na bacia do rio Colorado, a introdução das questões acerca das condições de qualidade da água surge já nos anos 1970, com especial ênfase na salinidade.

4.3 Estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Delaware - EUA

O rio Delaware situa-se na costa atlântica dos Estados Unidos e constitui parte da fronteira entre os estados da Pensilvânia e Nova Iorque, toda a fronteira entre Nova Jersey e Pensilvânia, e a maior parte da fronteira entre Delaware e Nova Jersey (Figura 4.2). O seu comprimento total é de cerca de 530 km, tendo sua bacia hidrográfica área de aproximadamente 35.060 km^2. O rio Delaware é uma das mais importantes fontes de água da porção leste dos Estados Unidos, abastecendo cerca de 15 milhões de pessoas.

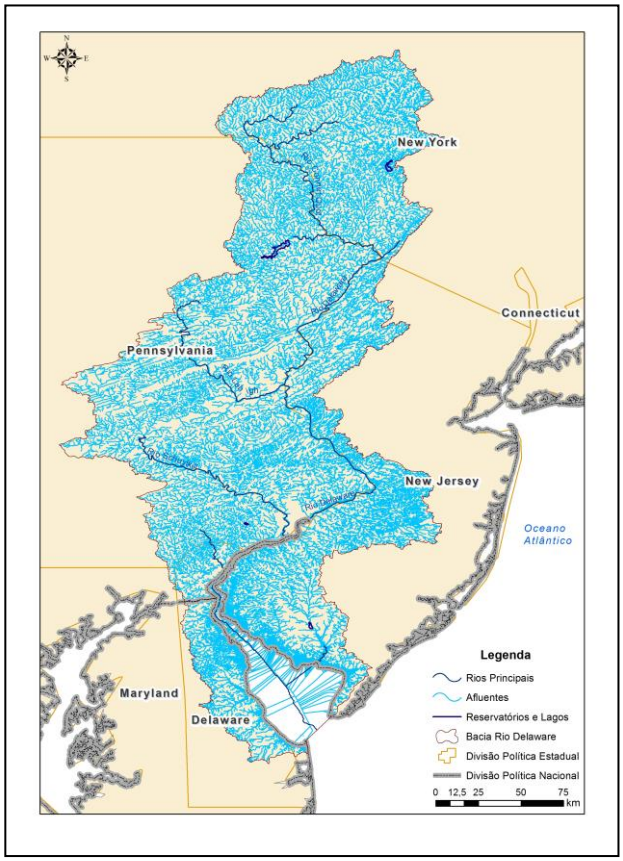

Figura 4.2 – Bacia do rio Delaware (*Delaware River Basin Comission*)

O regime legal de gestão compartilhada das águas do rio Delaware teve início antes mesmo da promulgação da Constituição Federal americana, com um tratado "anti-barragem" de 1783 entre os Estados da Pensilvânia e Nova Jersey visando a garantir a permanência da navegação entre os dois estados. Em 1928, a cidade de Nova Iorque mostrou interesse em utilizar-se da água do rio Delaware para o abastecimento, provocando um conflito interestadual, levado à Suprema Corte americana, cuja decisão garantiu à cidade a retirada de 440 milhões *de galões* diários (1,67x 10^6 m^3) dos reservatórios que essa pretendia construir. O mesmo decreto determinava que a cidade de Nova Iorque deveria garantir um

fluxo mínimo de água após a captação bem como deveria tratar os efluentes industriais. Em 1936, os quatro estados membros da bacia do rio Delaware formaram uma comissão consultiva interestadual visando a desenvolver estratégias para reduzir a poluição das águas da bacia hidrográfica, otimizar a demanda por água e abordar os impactos da expansão populacional crescente na bacia. Em 1954, a Suprema Corte autorizou um aumento da captação de água por parte da cidade de Nova Iorque, sendo determinada uma quantidade mínima de água a ser mantida após a derivação de água em 1.750 pés cúbicos por segundo (50 m^3/s).

Em 1961, os Estados integrantes da bacia do rio Delaware acordaram um pacto de gestão, o *Delaware River Basin Compact*, contando, ainda, com a assinatura e a participação do governo federal. O pacto criou a *Delaware River Basin Comission*, a comissão responsável pela gestão da bacia hidrográfica e com representantes dos signatários. À comissão foi dada autoridade para planejar, alocar água, construir e operar reservatórios e criar planos para prevenção de enchentes e controle de poluição, sempre levando em consideração a consulta a setores usuários de água e organismos de água presentes na bacia.

Em 1968, é adotada a regulação de qualidade de água na bacia do rio Delaware, até então o plano mais abrangente adotado nos EUA, incluindo a regulação de descarga de esgotos e outros efluentes. Em 1977, a Comissão adota o plano de regulação para enchentes em diversas municipalidades da bacia, com proibição de construção em áreas de risco e plano de desenvolvimento de 100 anos. Em 1983, foi aprovado pela Comissão o *Interstate Water Management* (“*Good Faith”*) *Report* que autorizava a Comissão a mudar termos do tratado de 1954, com a anuência da cidade de Nova Iorque, para situações de estiagem, estabelecendo critérios de uso e alocação da água mais restritivos durante as épocas de diminuição do fluxo natural do rio e visando à diminuição do consumo em curto prazo.

No contexto atual, as demandas existentes na bacia do rio Delaware são atendidas em condições normais de fluxo do mesmo, mas, em situações de escassez, planos emergenciais de contingência precisam ser adotados para garantir os usos mais importantes. A resolução de conflitos na bacia do rio Delaware é responsabilidade da Comissão interestadual da bacia e, apesar de atender usos diferentes, a alocação de água se dá por meio da cooperação entre os usuários, não tendo sido necessária a decisão arbitrária da Comissão até agora.

4.4 Estudo de caso das bacias hidrográficas transfronteiriças de Portugal e Espanha

A península Ibérica, formada por Portugal e Espanha, possui 45% de seu território incluído em bacias hidrográficas transfronteiriças, sendo 22% em território português e o restante em território espanhol (Figura 4.3). O volume de água que perpassa as bacias luso-espanholas chega a 76.300 hm^3 anuais, sendo 32% referentes ao território português e 68% ao território espanhol (Portugal, 2007).

Figura 4.3 – Bacias hidrográficas luso-espanholas (*CACD*)

As tentativas de estabelecer tratados de gestão e cooperação entre os dois países datam ainda do século XIX, com a definição do Tratado de Limites em 1864, sendo um marco na regulação e gestão transfronteiriços entre os dois países. Após vários convênios visando à gestão dos cursos d'água transfronteiriços, em 1964, houve a assinatura da *Convenção para o Uso do Troço Internacional do Rio Douro e dos seus Afluentes*, complementar ao convênio de 1927 (*Convênio para regular o aproveitamento hidroelétrico do troço internacional do rio Douro*), expandindo as áreas de exploração de potencial hidrelétrico aos afluentes do rio Douro e ampliando a ação da Comissão Internacional Luso-Espanhola, conferindo-lhe as funções consultiva, resolutiva e fiscalizadora.

Em 1999, é ratificada a *Convenção sobre Cooperação para a Protecção e o Aproveitamento Sustentável das Águas das Bacias Hidrográficas Luso-Espanholas*, assinada em 1998 e também conhecida por Convenção de Albufeira. A Convenção de

Albufeira visava a definir um "quadro de cooperação entre os países para a proteção das águas superficiais e subterrâneas e dos ecossistemas aquáticos e terrestres deles diretamente dependentes, e para o aproveitamento sustentável dos recursos hídricos" das bacias hidrográficas dos rios Minho, Lima, Douro, Tejo e Guadiana **(**Portugal, 1999**)**.

No tocante às vazões mínimas a serem mantidas, a Convenção determina que cada uma das partes, de acordo com técnicas adequadas à sua realidade, defina as vazões necessárias ao atendimento atual e futuro e à manutenção do bom estado das águas, sendo que o regime de vazões definido deve ser proposto junto à Comissão e aprovado pela Conferência. O acordo define, ainda, linhas gerais de atuação em situações de escassez ou cheias prevendo a cooperação entre as partes para minimização dos efeitos negativos. O protocolo adicional à Convenção define critérios gerais a serem utilizados na definição das vazões, sendo eles: "(a) Características geográficas, hidrológicas, climáticas e outras características naturais de cada bacia hidrográfica; (b) Necessidades de água para garantir um bom estado das águas, de acordo com as respectivas características ecológicas; (c) Necessidades de água para garantir os usos atuais e previsíveis adequados a um aproveitamento sustentável dos recursos hídricos de cada bacia hidrográfica; (d) Infraestruturas existentes, especialmente as que têm capacidade de regulação de caudais útil ao presente regime de caudais; (e) Respeito do regime vigente dos Convênios de 1964 e 1968." (Portugal, 1999).

O protocolo adicional define para a bacia do rio Minho a vazão mínima de 3.700 hm^3/ano a ser verificada na barragem de Frieira, sendo considerado como período de exceção situações em que a precipitação de referência acumulada do início do ano hidrológico (1° de outubro) até 1º de julho seja menor que 70% da precipitação média acumulada para o mesmo período. Para o rio Douro, foram estabelecidos quatro pontos de controle sendo eles a Seção da barragem de Miranda, com vazão referencial de 3.500 hm^3/ano; a Seção da barragem de Saucelle, e a Estação hidrométrica do rio Águeda, com vazões de referência de 3.800 hm^3/ano cada; e a Seção da barragem de Crestuma, com referência de 5.000 hm^3/ano. Para o rio Douro, fica considerado, como período de exceção, situações em que a precipitação de referência acumulada do início do ano hidrológico (1° de outubro) até 1º de junho seja menor que 65% da média de precipitação acumulada para o mesmo período. Para o rio Tejo, ficam definidos dois pontos de controle, um na Secção da barragem de Cedillo, com 2.700 hm^3/ano, e um na Secção da Ponte de Muge, com 4.000 hm^3/ano. Na bacia do rio Tejo, são consideradas duas situações de exceção: a primeira quando a

precipitação de referência acumulada do início do ano hidrológico (1º de outubro) até 1º de abril seja menor que 60% da média de precipitação acumulada para o mesmo período e a segunda quando a precipitação de referência na bacia acumulada desde o início do ano hidrológico até 1º de abril seja inferior a 70% da precipitação média acumulada no mesmo período e a precipitação de referência no ano hidrológico anterior tenha sido inferior a 80% da média anual. Para o rio Guadiana, ficam definidas duas seções de controle, uma na Seção da estação hidrométrica do açude de Badajoz (a montante da confluência do rio Caia) e uma na Secção de Pomarão (a montante da confluência do rio Chança). Os valores mínimos a serem obtidos na seção do açude de Badajoz são apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Vazões mínimas a serem obtidas na seção do açude de Badajoz (em hm^3/ano) (CACD, 1998)

Volume total armazenado nas albufeiras de referência - em hm^3	Precipitação de Referência acumulada desde o início do ano hidrológico (1º de Outubro) até 1º de Março	
	Superior a 65% do valor médio da precipitação de referência acumulada	Inferior a 65% do valor médio da precipitação de referência acumulada
> 4.000	600	400
3.150-4.000	500	300
2.650-3.150	400	Exceção
< 2.650	Exceção	Exceção

Como resultado da *Diretiva Quadro da Água* da União Européia de 2000, em 2001, pelos Decretos Regulamentares 16, 17, 18 e 19, são aprovados os Planos de Bacia Hidrográfica dos rios Guadiana, Minho, Tejo e Douro, respectivamente, contendo informações a respeito do funcionamento hidrológico dos rios, os usos e demandas predominantes, qualidade das águas e propostas de enquadramento, criação de planos e comissões de ação, alocação da água, planos de utilização em situações de escassez, formas de ação em situações de cheia, utilização da água subterrânea, entre outros, constituindo documentos essenciais para a gestão integrada das bacias hidrográficas em questão.

Em 2008, ocorreu a 2ª Conferência das Partes da Convenção, com a ratificação do Protocolo de Revisão da Convenção de Albufeira e do Protocolo Adicional. Um segundo anexo ao protocolo adicional é apresentado, modificando as vazões mínimas em cada rio abrangido no tratado, passando os valores a serem definidos trimestralmente para cada seção de controle, levando em consideração as variações sazonais no regime hídrico.

4.5 Experiências Nacionais

No Brasil, visando à resolução de conflitos já existentes pelo uso da água em algumas bacias hidrográficas, apesar de não haver metodologia estabelecida para definição de critérios e indicadores que possibilitem o estabelecimento, de forma sistematizada, de requisitos de entrega em corpos d'água de domínio da união, existe a construção dos chamados marcos regulatórios, definidos e implementados de forma conjunta pela Agência Nacional de Águas com usuários, comitês de bacia, órgãos ambientais e órgãos gestores estaduais, aplicando os instrumentos de gestão previstos na Política de Águas e constituindo-se em um conjunto de regras gerais sobre o uso da água na bacia hidrográfica considerada. Alguns marcos regulatórios já estabelecidos são a seguir apresentados.

a) Bacia hidrográfica do Rio Piranhas-Açu/Sistema Curema-Açu: Resolução ANA 687/2004 estabelecendo o marco regulatório para a gestão dos Sistema Curema-Açu, contendo parâmetros e condições para a emissão de outorga preventiva e de direito de uso de recursos hídricos e definindo compromisso de entrega entre Paraíba e Rio Grande do Norte, com definição de quotas máximas de quantidade de água a ser disponibilizada por tipo de uso e por trecho de rio, com previsão de adaptação das metas a serem atingidas em determinados períodos de tempo, além de regras de operação dos reservatórios existentes e estabelecimento dos trechos de controle de vazão e monitoramento da quantidade e qualidade da água, descritos na Resolução.

b) Bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau: Resolução ANA 127/2006 estabelecendo o marco regulatório na Bacia do Ribeirão Pipiripau (DF) com procedimentos e critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos observando o balanço entre a disponibilidade hídrica e a demanda em cada trecho determinado na Resolução, em termos quantitativos, enfocando a necessidade de manutenção de vazões mínimas remanescentes nos pontos de controle ao final de cada um de seus trechos.

c) Bacia hidrográfica dos rios Poti e Longá: Resolução Conjunta ANA/SRH-CE/SEMAR-PI n° 547/2006 estabelecendo o marco regulatório que trata da gestão de recursos hídricos nas bacias dos rios Poti e Longá, com procedimentos e critérios para as outorgas de direito de uso, considerando a regularização das intervenções e usos atuais, bem como regras para as intervenções e usos futuros e definindo a vazão de entrega do Estado do Ceará para o Estado do Piauí para alguns trechos determinados na Resolução.

d) Bacia hidrográfica do rio Verde Grande: Resolução ANA nº 802/2008 estabelecendo o marco regulatório do uso da água na bacia do Verde Grande (BA e MG)

com definição dos volumes a serem captados pelos usuários nos períodos hidrológicos críticos, diminuindo o número de horas de captação diária, de acordo com o nível d'água na estação fluviométrica de Capitão Enéas conforme tabela apresentada na Resolução.

e) Bacia hidrográfica do rio São Marcos: Resolução ANA nº 562/2010 estabelecendo o marco regulatório do uso da água na bacia com definição da vazão média anual a ser consumida para cada Estado (GO e MG), à qual está associada uma área irrigada equivalente determinada por metodologia descrita na Resolução.

4.5.1 Bacia hidrográfica do rio São Francisco

A Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco se constitui em unidade especial de planejamento para o desenvolvimento do País, sendo uma das mais ricas em recursos naturais renováveis e não renováveis, com área de drenagem de 634.781 km^2, abrange sete unidades da Federação: Bahia, Minas Gerais, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Goiás e Distrito Federal. É uma das doze regiões hidrográficas do Brasil, de acordo com a Divisão Hidrográfica Nacional no Plano Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (Figura 4.4).

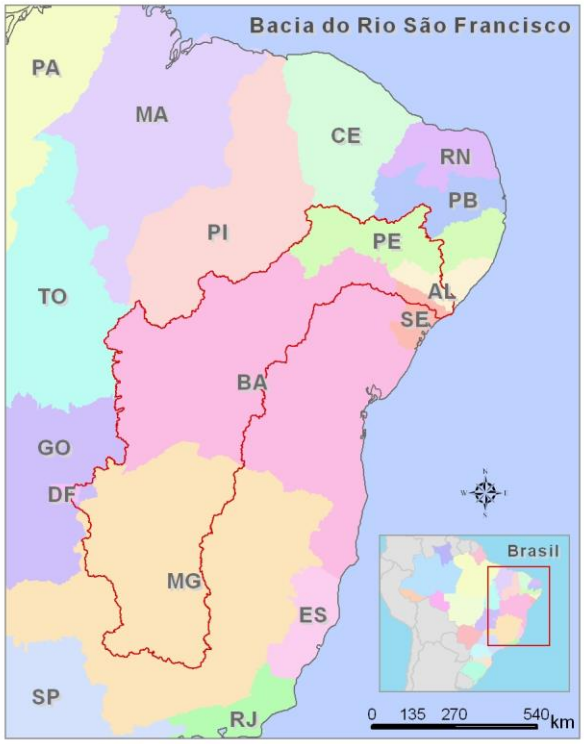

Figura 4.4 – Bacia hidrográfica do rio São Francisco

O Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco (PBHSF) faz importante levantamento da questão da disponibilidade hídrica e apresenta uma tentativa de definição de vazões ecológicas no Rio São Francisco. Esse plano adota,

provisoriamente, a vazão média diária de 1.500 m^3/s como vazão mínima ecológica na foz do rio São Francisco, valor determinado pelo método de Tennant, o qual foi diversas vezes questionado pelos membros das Câmaras Técnicas Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF) por considerar apenas informações hidrológicas e não incluir demandas como a da biota aquática e usos não consuntivos.

O PBHSF define quatro pontos de controle quali-quantitativos, localizados onde o curso do rio São Francisco atravessa divisas estaduais, e pontos a montante e a jusante do reservatório de Sobradinho (Figura 4.5).

Figura 4.5 – Divisão da bacia hidrográfica do rio São Francisco proposta para a gestão dos recursos hídricos (Brasil, 2004).

O PBHSF prevê, ainda, o desenvolvimento de estudos que viabilizem a definição de um regime de alocação de água que inclua as variações sazonais de vazões ao longo do tempo, tendo em conta as especificidades necessárias para a manutenção da biodiversidade e do equilíbrio ambiental ao longo de toda a calha do rio São Francisco e de seus principais afluentes.

Foram definidos, na Oficina de Vazão Ecológica do CBHSF, pontos a serem considerados na definição de metodologias para estudos de vazão ecológica no Rio São Francisco, sendo

eles: 1) regime de vazões; 2) amplitude da biota que pode ser abordada pela metodologia; 3) dinâmica da foz – relação rio – mar e comportamento da cunha salina; 4) a dinâmica das lagoas marginais pelo aporte de nutrientes e consequentemente pela produtividade primária do sistema; 5) relação vazão ecológica – qualidade de água (Sarmento, 2007a).

Apesar de não haver descrição da metodologia utilizada para a determinação dos pontos de controle e de não haver sido redigido o documento previsto para determinação dos parâmetros quali-quantitativos a serem monitorados, o plano constitui uma tentativa de referência mais elaborada para definição de limites de exploração de recursos hídricos, abarcando fatores socioeconômicos e ambientais.

5- METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia adotada para delimitação e realização da pesquisa constou das seguintes etapas principais: i) a discussão da fundamentação teórica abarcando as áreas do conhecimento em que se baseia a pesquisa, contendo uma revisão bibliográfica sobre a experiência internacional na definição de condições de transição em rios compartilhados; ii) avaliação e seleção de critérios a serem utilizados na definição dos requisitos de vazão mínima de entrega; iii) a seleção e a caracterização de um caso de estudo para teste e avaliação da abordagem metodológica proposta; iv) aplicação do modelo *Acquanet* para o caso de estudo; v) a avaliação crítica da abordagem proposta a partir da construção de cenários e simulações; vi) a análise e a verificação dos critérios e proposição de condições de uso da abordagem metodológica em um painel de especialistas, e vii) representação da abordagem metodológica proposta em forma de diagramas ou fluxogramas de decisão.

A Figura 5.1, a seguir, apresenta o diagrama referente ao desenvolvimento dessas etapas.

5.1 Revisão bibliográfica e referencial teórico

A realização da revisão bibliográfica e a discussão do referencial teórico utilizados para o desenvolvimento da pesquisa, constantes dos Capítulos 3 e 4 deste texto, incluíram: i) a revisão do normativo legal acerca do tema proposto, envolvendo as legislações relativas ao gerenciamento de recursos hídricos (outorga de direito de uso de recursos hídricos, definição de requisitos de entrega, etc.), que suportam a justificativa de realização da pesquisa e definem restrições legais a serem seguidas; ii) alocação de água, usos da água e conflitos pelo direito de uso, discriminando a alocação como mecanismo de resolução de conflitos e a outorga como um dos instrumentos para sua efetiva implantação; iii) a definição dos conceitos de vazão de restrição e de métodos de sua definição utilizados para a delimitação de limites de outorga e definição de requisitos de vazão mínima; iv) estudos de caso internacionais e nacionais, buscando analisar as várias alternativas e soluções utilizadas para dar suporte ao estabelecimento de valores de referência e da metodologia da pesquisa, e v) seleção do modelo *Acquanet* para uso como ferramenta de análise e teste para a proposição de critérios da abordagem metodológica a ser desenvolvida.

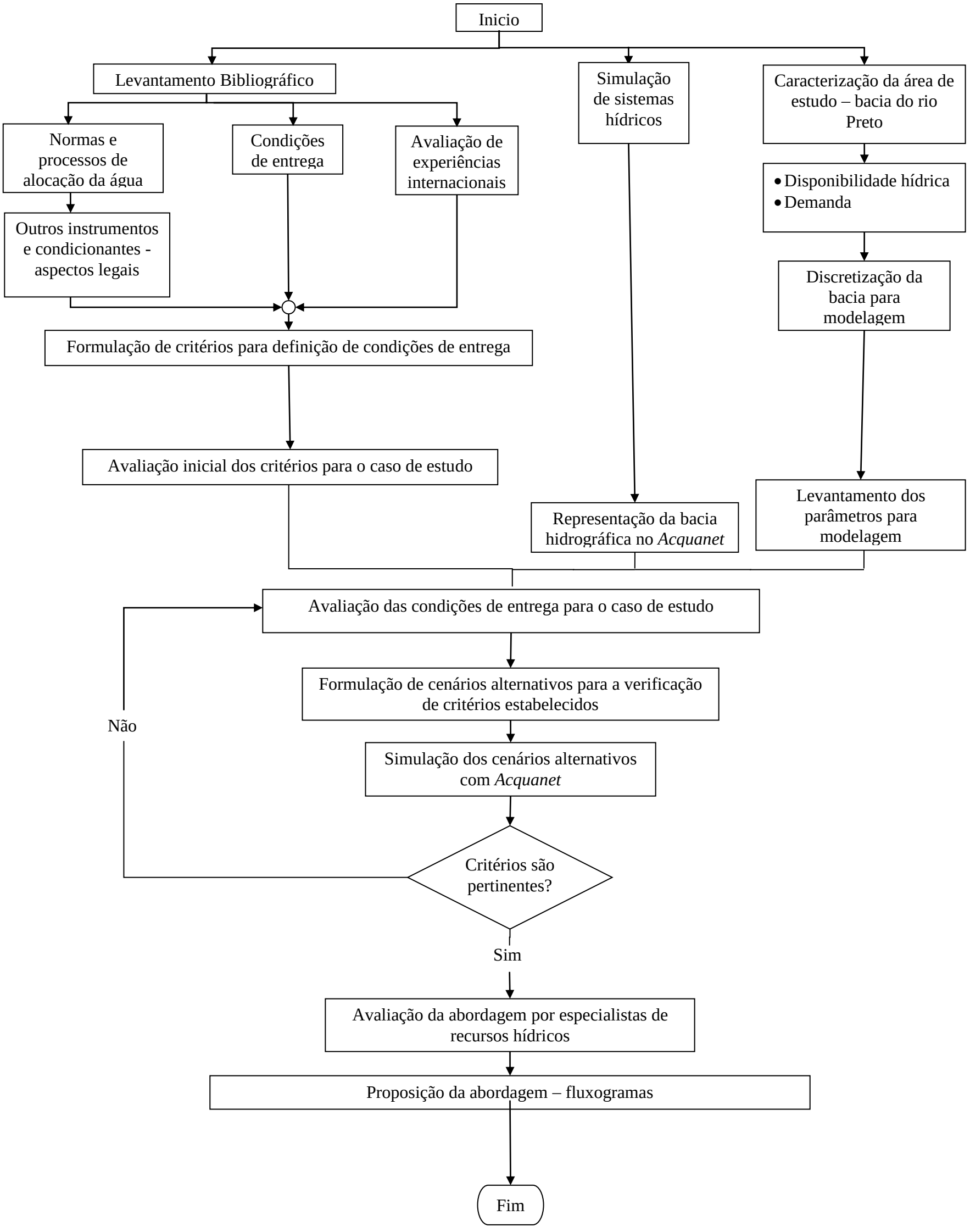

Figura 5.1 – Fluxograma das etapas de desenvolvimento do suporte metodológico

5.2 Seleção e caracterização do caso de estudo

A seleção do caso de estudo para aplicação do suporte metodológico proposto foi definida por meio da constatação da existência atual de conflitos pelo uso da água na bacia hidrográfica do rio Preto, além de ser a bacia objeto de outros estudos envolvendo análise de possibilidades de gestão de recursos hídricos e resolução de conflitos, como o estudo apresentado por Reyes (2009), definindo a utilização de métodos multiobjetivo e multicritério como auxilio à outorga com aplicação nessa bacia hidrográfica, e de Machado (2009), utilizando análise econômica aplicada à decisão sobre alocação de água entre usos de irrigação e energia elétrica nessa mesma bacia hidrográfica.

A caracterização do caso de estudo, apresentada no Capítulo 6 desta dissertação, envolveu a seleção de dados hidrológicos de pluviometria e fluviometria, juntamente aos órgãos gestores estaduais e federal, com obtenção de dados para o cálculo das demandas e disponibilidade hídricas e tipos de uso da água na bacia, número de outorgas de emitidas, etc. Foi obtida, ainda, a série de vazões naturais em cada um dos pontos de controle a definidos, com determinação dos balanços hídricos na bacia do rio Preto. Parte dos dados utilizados para a bacia do rio Preto encontra-se disponível no trabalho apresentado por Reyes (2009). Como etapa complementar à caracterização da bacia do rio Preto, obteve-se a caracterização do uso e ocupação do solo na bacia (SEINFRA, 2006) para determinação da carga e consequente concentração de fósforo em cada ponto de controle (Silva, 2012), dados utilizados para determinação dos valores de vazão de diluição para cada trecho da bacia hidrográfica.

Para as simulações dos cenários realizadas com o modelo *Acquanet*, utilizando a situação atual de balanço hídrico na bacia do rio Preto, foi utilizada uma discretização da bacia hidrográfica de acordo com a seleção de pontos de controle utilizados para o desenvolvimento da metodologia, sendo esses pontos definidos em zonas de transição de dominialidade ou passagem do curso d'água de uma Unidade Federativa a outra. A definição dos pontos de controle deu-se com base nas características da bacia, na existência de transições e nas condições de uso da água.

5.3 Desenvolvimento da abordagem metodológica

O desenvolvimento da abordagem metodológica, para a definição de requisitos de vazão mínima de entrega ocorreu a partir das reflexões acerca da experiência internacional sobre o tema, da formulação de possíveis critérios de condições de entrega e da discussão com especialistas da área de recursos hídricos. Essas etapas permitiram a escolha de critérios para a definição desses requisitos, e dos meios para avaliação dos critérios propostos, além da seleção dos pontos de controle para o caso de estudo. Foram selecionados critérios relativos às dimensões ambiental/ecológica, legal/normativa, econômica e social. O Capítulo 7 desta dissertação traz a proposição de critérios e dos indicadores correspondentes.

Após a definição dos critérios a serem testados, de acordo com as características da bacia hidrográfica, partiu-se para a simulação de sua aplicação ao caso de estudo, no caso a bacia do rio Preto, com a definição dos pontos de controle dos critérios selecionados e com a utilização do *Acquanet*, tendo, como dados de entrada, os parâmetros referentes à configuração atual da bacia hidrográfica. A essa altura da reflexão, considerou-se o recurso ao *Acquanet* suficiente para teste e verificação dos critérios propostos.

A abordagem metodológica adotada para o caso da bacia do rio Preto, que se propõe possa auxiliar a definição de uma abordagem genérica para definição de vazões de restrição em bacias compartilhadas, é ilustrada na Figura 6.2.

Posteriormente à primeira avaliação dos critérios estabelecidos por meio da simulação da situação de referência (configuração atual), partiu-se à formulação de cenários alternativos com modificação nas configurações de demanda e de ocupação da bacia hidrográfica, para verificar a consistência dos critérios estabelecidos e sua aplicabilidade a cenários distintos, utilizando-se, novamente, para a simulação dos diversos cenários, o aplicativo *Acquanet*.

Em sendo verificada a pertinência dos critérios selecionados aos cenários simulados, partiu-se para um segundo nível de verificação e avaliação de viabilidade, incorporando a dimensão operacional de implementação do critério (aspectos técnicos, logísticos e financeiros). Para essa etapa, recorreu-se a discussões com especialistas em recursos hídricos com apresentação dos critérios propostos e dos resultados obtidos após as

simulações. O material encaminhado para discussão com os especialistas acha-se apresentado no Apêndice deste texto.

A aplicação da abordagem ao caso da bacia do rio Preto, aliada à verificação e à avaliação empreendidas à ocasião do painel dos especialistas em recursos hídricos, permite a formulação de um fluxograma para aplicação da metodologia de definição de requisitos de vazões mínimas nas transições de corpos d'água, que é apresentado na Figura 5.2.

Os resultados dessa etapa final do trabalho acham-se apresentados no Capítulo 8 desta dissertação.

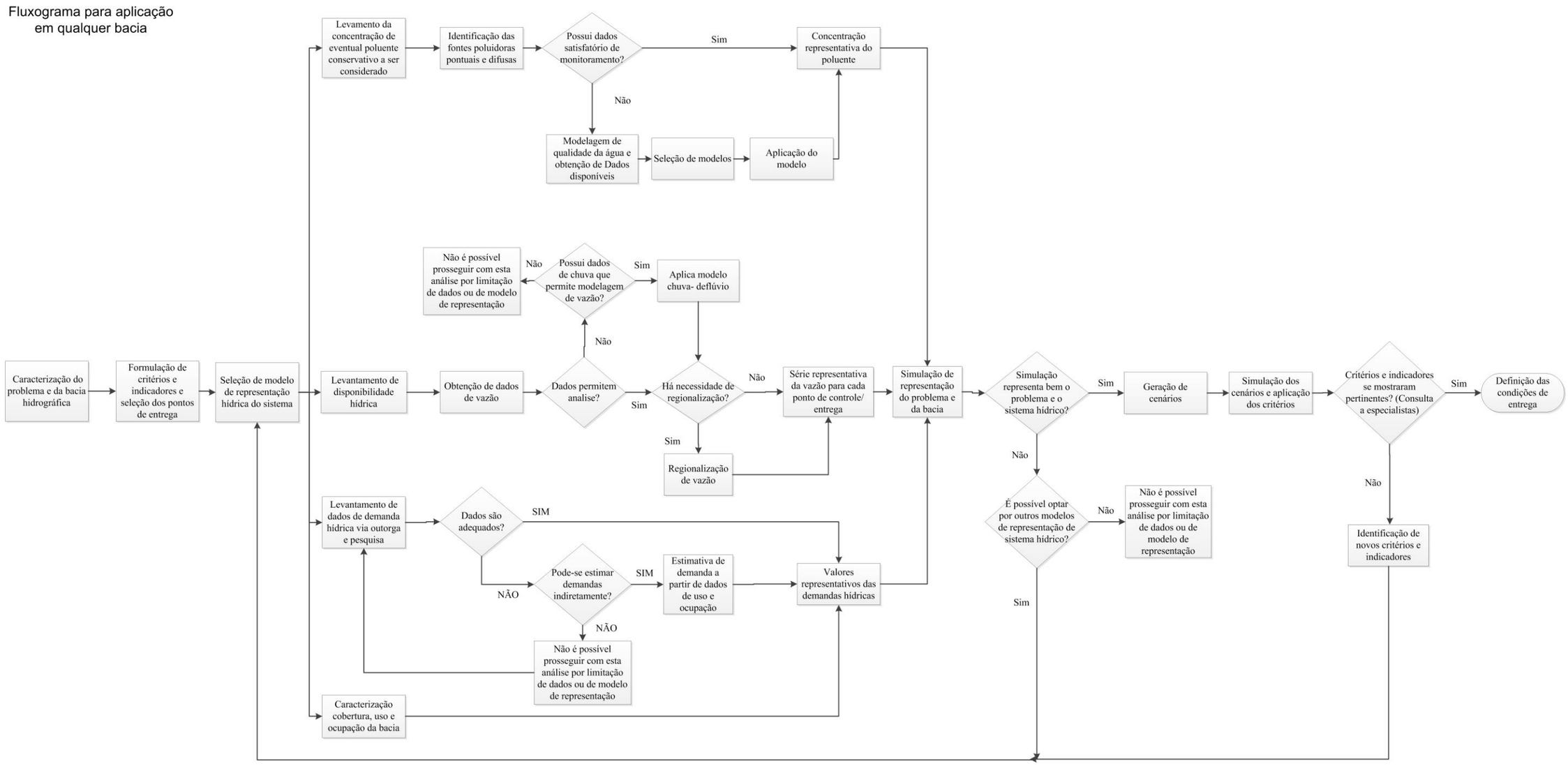

Figura 5.2 – Fluxograma consolidado da metodologia para aplicação em qualquer bacia hidrográfica.

6- CASO DE ESTUDO – BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PRETO

A bacia hidrográfica do rio Preto é uma sub-bacia do rio Paracatu que, por sua vez, é afluente da margem esquerda do rio São Francisco. O rio Preto tem as suas nascentes no município de Formosa, em Goiás e constitui-se na divisa leste entre o Distrito Federal e os estados de Goiás e de Minas Gerais com extensão total de aproximadamente 380 km (Carneiro *et al.*, 2007). A bacia hidrográfica do rio Preto abrange superfície de 10.605 km², dos quais 1.313km² estão no Distrito Federal, sendo o restante da área dividida entre os estados de Goiás e Minas Gerais (Figura 6.1). No Distrito Federal, os principais cursos d'água afluentes do rio Preto são os ribeirões Santa Rita e Jacaré, em sua porção norte, o ribeirão Extrema e o rio Jardim, localizados na zona central e o córrego São Bernardo, na porção sul da bacia (Carneiro *et al.*, 2007).

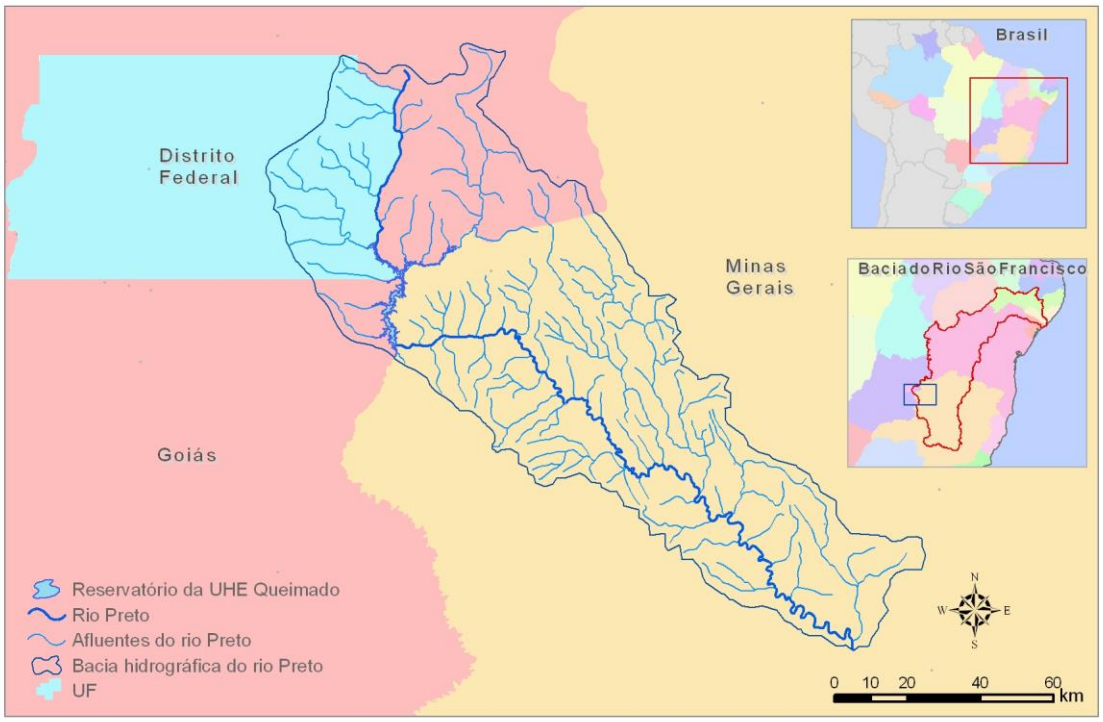

Figura 6.1 – Bacia hidrográfica do rio Preto

Na bacia do rio Preto, localiza-se a área de maior produção agrícola do Distrito Federal, com intenso uso de irrigação. A urbanização na bacia ainda é discreta sendo constituída quase exclusivamente pela cidade de Formosa em Goiás, urbanização que pode vir a se desenvolver mais devido, entre outros fatores, a presença da usina hidroelétrica de (UHE) de Queimados, outra importante demanda hídrica na bacia (SEINFRA, 2006). A Usina

Hidrelétrica de Queimado possui reservatório com área alagada de 40 km² e é formado pelo aporte dos rios Preto e Bezerra, na região da fronteira tríplice DF-GO-MG.

Na bacia do rio Preto, verifica-se a existência de conflitos pelo uso da água, sobretudo no tocante à demanda pela irrigação nos períodos de estiagem, sendo a disputa entre irrigantes o conflito mais importante na bacia, seguido pela disputa entre irrigantes e a UHE Queimado. Segundo estudos da Agência Nacional de Águas, a relação entre demanda e disponibilidade na bacia do rio Preto é preocupante, uma vez que essa relação apresenta-se como sendo maior que 10% (sendo a disponibilidade calculada com base na vazão regularizada com 100% de permanência e a não regularizada de 95% de permanência) (Brasil, 2005).

Dessa forma, a bacia do rio Preto constitui caso de estudo de interesse relevante no contexto regional, tendo sido objeto de estudo de convênio realizado entre a Agência Nacional de Águas e a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal (ADASA) (SEINFRA, 2006) visando à caracterização das demandas e disponibilidades hídricas e ao estabelecimento de mecanismos de gestão e alocação de água na bacia.

Para aplicação da metodologia proposta para o caso de estudo, foram seguidas as etapas apresentadas no fluxograma de aplicação da metodologia proposta para a bacia do rio Preto (Figura 6.2).

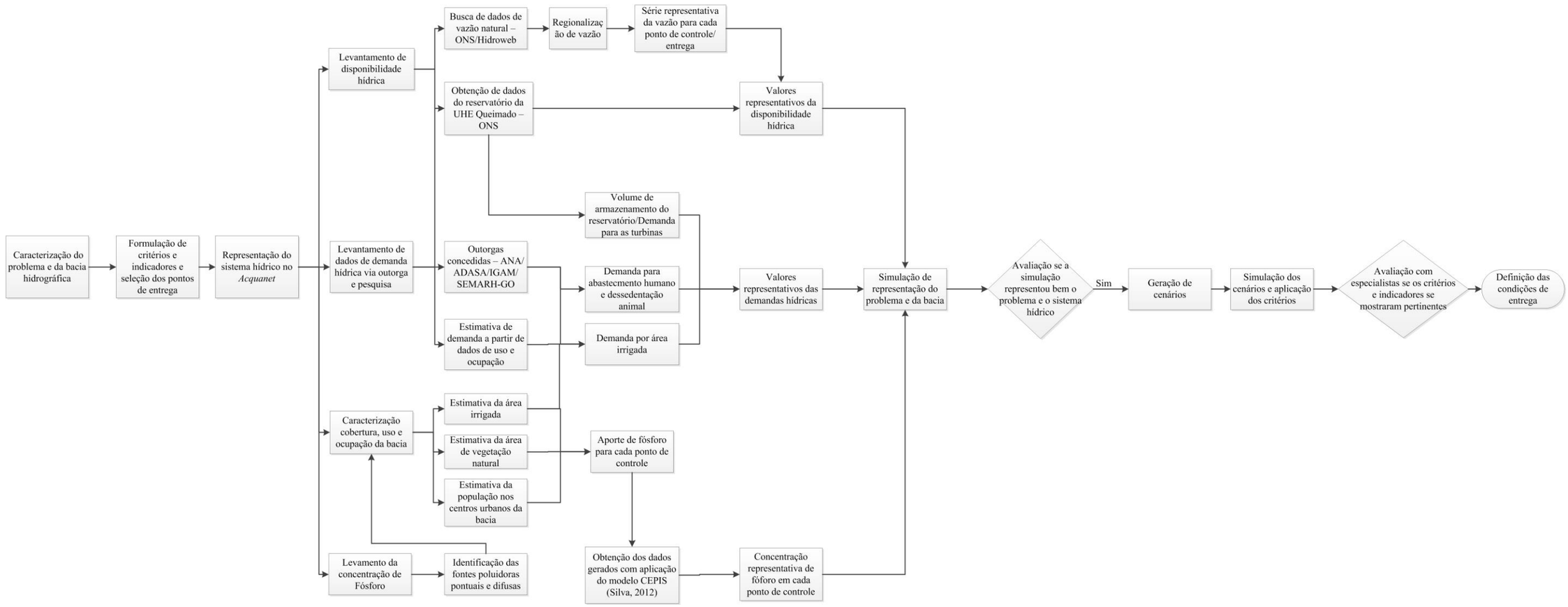

Figura 6.2 – Fluxograma da metodologia de aplicação na bacia do rio Preto.

6.1 Contexto da Análise

Para a definição dos requisitos de vazão mínima de entrega de corpos d'água de domínio estadual para os de domínio federal, a análise das zonas de transição entre as diferentes dominialidades é essencial para a determinação dos pontos de controle e monitoramento para os quais os valores de vazão mínima serão estabelecidos. A definição desses pontos de controle não possui uma metodologia pré-estabelecida e dar-se-á conforme as características da bacia hidrográfica de interesse.

Para o caso de estudo da bacia do rio Preto, os pontos de controle foram assim delimitados: nas divisas entre o Estado de Goiás e o Distrito Federal; a montante da UHE Queimado; na entrada e na saída do reservatório da UHE Queimado; na confluência do rio Preto com o ribeirão Cana-Brava; e na foz do rio Preto em sua confluência com o rio Paracatu (Figura 6.3). Os pontos de controle foram assim definidos por se constituírem nas passagens do curso d'água principal, no caso o rio Preto, entre os estados que ele percorre, na entrada e saída do reservatório de Queimado, com fins de permitir a gestão da vazão a ser armazenada e liberada, na confluência com o ribeirão Cana-Brava, maior afluente a jusante do reservatório e na confluência com o rio Paracatu.

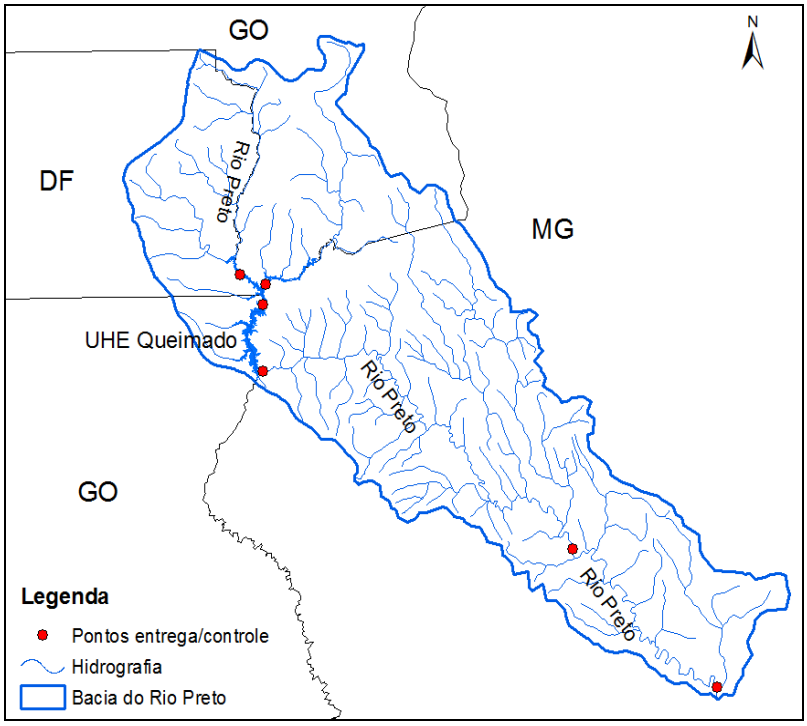

Figura 6.3 – Pontos de controle selecionados para a bacia do rio Preto.

A caracterização das condições hidrológicas e de uso da água, realizada com base em séries históricas, constitui a base preliminar para a aplicação da abordagem metodológica proposta para obter a definição de vazões mínimas de entrega na bacia do rio Preto, com objetivo de determinar os valores necessários ao atendimento dos usos atuais na bacia hidrográfica e os valores necessários à garantia de quantidade e qualidade suficientes ao uso atual e das futuras gerações, além da preservação dos ecossistemas. A caracterização da cobertura e uso do solo visando à obtenção do aporte de fósforo nos corpos d'água ali presentes complementa a análise dos usos múltiplos na bacia e possibilita um maior detalhamento da metodologia proposta ao passo em que permite estabelecer valores de restrição que atendam melhor aos objetivos propostos.

Dessa forma, os critérios e indicadores pré-selecionados para verificar as condições de transição e aplicar as restrições definidas devem ser de fácil monitoramento e possuir aceitação das instituições envolvidas no processo de gestão do recurso hídrico a ser monitorado, para que sua aplicação possa ser efetiva e garanta a gestão participativa do recurso hídrico em questão.

6.2 Disponibilidade hídrica na bacia do rio Preto

A determinação da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do rio Preto pretende estipular as vazões naturais para cada uma das seções de controle delimitadas no presente trabalho, permitindo realizar o balanço hídrico na bacia e analisar o impacto das restrições quantitativas propostas para cada uma das seções definidas. A determinação da disponibilidade hídrica e a caracterização das demandas existentes na bacia do rio Preto permitem, ainda, contrapor os valores das restrições de vazão (estipuladas a partir dos critérios apresentados posteriormente) aos cenários de simulação utilizados para avaliar a aplicabilidade desses critérios.

Para a determinação da disponibilidade hídrica na bacia do rio Preto, utilizou-se a mesma metodologia apresentada por Reyes (2009), uma vez que para a bacia de estudo encontra-se disponível apenas a série de vazões naturais da estação localizada no reservatório da UHE de Queimado e disponibilizada na página do ONS (2008), sendo necessário adequar temporal e territorialmente a série de dados para melhor representar as diferentes seções de controle estipuladas.

Para obter as demais séries de vazões naturais para os outros de pontos de controle delimitados para a bacia do rio Preto e necessárias para as simulações de alocação de água no *Acquanet*, Reyes (2009) determinou uma relação matemática entre as séries de vazões observadas da estação fluviométrica Fazenda Limeira, localizada a jusante da UHE Queimado e as estações fluviométricas localizadas próximas à foz das seções de estudo por ele definidas como baixo e médio Preto, sendo essas as estações Unaí e Porto dos Poções (dados advindos do programa *Hidroweb*).

Ao se verificar a existência da correlação entre os dados dessas estações, considerando-se suas respectivas vazões específicas, ficou estabelecida que a mesma relação seria válida também para a série de vazões naturais. Após obter os coeficientes de correlação entre as séries de dados das estações fluviométricas citadas anteriormente, Reyes (2009) utilizou esses dados para obter as séries de vazões naturais para as zonas do alto, médio e baixo Preto, com base nas vazões naturais obtidas junto ao ONS.

Como as seções de controle delimitadas para as simulações dos cenários utilizados no presente trabalho coincidem com as utilizadas no trabalho de Reyes (2009), utilizou-se, então, os dados de vazões naturais obtidos pelo autor para a geração desses cenários (tabelas 6.1 a 6.7).

Tabela 6.1 – Vazão natural da UHE Queimado (Reyes, 2009).

Ano	Vazões Naturais Médias Mensais (m³/s)											
	Jan	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
1980	142	201	112	114	83	68	58	49	45	36	48	84
1981	94	64	84	105	66	55	44	37	30	43	100	90
1982	174	113	170	133	94	78	64	56	49	49	43	52
1983	146	164	130	103	80	66	56	46	32	39	82	93
1984	80	65	65	105	57	46	38	35	37	35	29	46
1985	71	58	93	80	56	44	39	33	29	34	44	70
1986	107	79	64	48	42	33	29	26	22	25	20	28
1987	34	46	58	47	47	36	26	21	18	20	32	83
1988	74	93	105	86	63	50	42	36	29	37	48	68
1989	71	71	70	46	35	32	26	22	20	22	70	207
1990	83	54	49	37	37	30	28	23	23	34	33	33
1991	43	74	118	109	67	54	44	34	28	31	59	157
1992	214	294	120	103	80	63	54	47	44	49	100	105
1993	84	121	83	81	56	47	38	32	28	27	27	57
1994	77	51	151	86	63	52	45	36	29	23	38	69
1995	74	74	55	65	50	36	30	23	19	20	47	71
1996	51	39	55	40	41	28	23	21	18	23	34	37
1997	52	40	58	74	52	42	34	28	24	23	31	47
1998	38	56	42	33	27	23	19	15	12	17	54	73
1999	52	38	71	36	29	24	21	17	15	18	27	53
2000	64	72	90	56	42	34	29	22	25	17	35	72
2001	52	36	55	35	27	22	17	14	13	16	45	46
2002	61	62	48	41	29	24	20	15	14	9	18	37
2003	52	41	54	57	37	27	21	19	19	15	21	25
2004	78	167	126	115	76	59	47	43	37	35	38	55
2005	53	82	129	79	59	45	42	35	30	22	44	112
2006	72	67	97	94	62	50	44	36	33	48	54	81

Tabela 6.2 – Médias mensais das vazões naturais estimadas, Alto Preto DF (Reyes, 2009).

Ano	Medias Mensais das Vazões Naturais Estimadas (m³/s)											
	Jan	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
1980	68,5	99,6	53,1	54,1	38,5	31,0	26,2	21,8	19,9	15,7	21,3	39,0
1981	44,0	29,1	39,0	49,5	30,1	24,7	19,4	16,1	12,9	19,0	47,0	42,0
1982	85,3	53,6	83,2	63,9	44,0	36,0	29,1	25,2	21,8	21,8	19,0	23,3
1983	70,6	80,0	62,3	48,5	37,0	30,1	25,2	20,4	13,8	17,1	38,0	43,5
1984	37,0	29,6	29,6	49,5	25,7	20,4	16,6	15,2	16,1	15,2	12,4	20,4
1985	32,5	26,2	43,5	37,0	25,2	19,4	17,1	14,3	12,4	14,7	19,4	32,0
1986	50,5	36,5	29,1	21,3	18,5	14,3	12,4	11,0	9,2	10,6	8,3	11,9
1987	14,7	20,4	26,2	20,9	20,9	15,7	11,0	8,8	7,4	8,3	13,8	38,5
1988	34,0	43,5	49,5	40,0	28,6	22,3	18,5	15,7	12,4	16,1	21,3	31,0
1989	32,5	32,5	32,0	20,4	15,2	13,8	11,0	9,2	8,3	9,2	32,0	102,8
1990	38,5	24,2	21,8	16,1	16,1	12,9	11,9	9,7	9,7	14,7	14,3	14,3
1991	19,0	34,0	56,2	51,6	30,5	24,2	19,4	14,7	11,9	13,3	26,6	76,4
1992	106,6	150,0	57,2	48,5	37,0	28,6	24,2	20,9	19,4	21,8	47,0	49,5
1993	39,0	57,7	38,5	37,5	25,2	20,9	16,6	13,8	11,9	11,5	11,5	25,7
1994	35,5	22,8	73,2	40,0	28,6	23,3	19,9	15,7	12,4	9,7	16,6	31,5
1995	34,0	34,0	24,7	29,6	22,3	15,7	12,9	9,7	7,9	8,3	20,9	32,5
1996	22,8	17,1	24,7	17,5	18,0	11,9	9,7	8,8	7,4	9,7	14,7	16,1
1997	23,3	17,5	26,2	34,0	23,3	18,5	14,7	11,9	10,1	9,7	13,3	20,9
1998	16,6	25,2	18,5	14,3	11,5	9,7	7,9	6,1	4,8	7,0	24,2	33,5
1999	23,3	16,6	32,5	15,7	12,4	10,1	8,8	7,0	6,1	7,4	11,5	23,7
2000	29,1	33,0	42,0	25,2	18,5	14,7	12,4	9,2	10,6	7,0	15,2	33,0
2001	23,3	15,7	24,7	15,2	11,5	9,2	7,0	5,7	5,2	6,5	19,9	20,4
2002	27,6	28,1	21,3	18,0	12,4	10,1	8,3	6,1	5,7	3,5	7,4	16,1
2003	23,3	18,0	24,2	25,7	16,1	11,5	8,8	7,9	7,9	6,1	8,8	10,6
2004	36,0	81,6	60,3	54,6	35,0	26,6	20,9	19,0	16,1	15,2	16,6	24,7
2005	23,7	38,0	61,8	36,5	26,6	19,9	18,5	15,2	12,9	9,2	19,4	53,1
2006	33,0	30,5	45,5	44,0	28,1	22,3	19,4	15,7	14,3	21,3	24,2	37,5

Tabela 6.3 – Médias mensais das vazões naturais estimadas, Alto Preto GO (Reyes, 2009).

Ano	Vazões Naturais Medias Mensais Estimadas (m³/s)											
	Jan	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
1980	51,7	75,1	40,0	40,8	29,0	23,4	19,7	16,4	15,0	11,8	16,1	29,4
1981	33,2	21,9	29,4	37,3	22,7	18,6	14,6	12,2	9,7	14,3	35,4	31,6
1982	64,3	40,4	62,7	48,2	33,2	27,1	21,9	19,0	16,4	16,4	14,3	17,5
1983	53,2	60,3	47,0	36,6	27,9	22,7	19,0	15,4	10,4	12,9	28,6	32,8
1984	27,9	22,3	22,3	37,3	19,4	15,4	12,5	11,5	12,2	11,5	9,4	15,4
1985	24,5	19,7	32,8	27,9	19,0	14,6	12,9	10,7	9,4	11,1	14,6	24,1
1986	38,1	27,5	21,9	16,1	13,9	10,7	9,4	8,3	6,9	8,0	6,3	9,0
1987	11,1	15,4	19,7	15,7	15,7	11,8	8,3	6,6	5,6	6,3	10,4	29,0
1988	25,6	32,8	37,3	30,1	21,6	16,8	13,9	11,8	9,4	12,2	16,1	23,4
1989	24,5	24,5	24,1	15,4	11,5	10,4	8,3	6,9	6,3	6,9	24,1	77,5
1990	29,0	18,3	16,4	12,2	12,2	9,7	9,0	7,3	7,3	11,1	10,7	10,7
1991	14,3	25,6	42,3	38,9	23,0	18,3	14,6	11,1	9,0	10,0	20,1	57,6
1992	80,3	113,1	43,1	36,6	27,9	21,6	18,3	15,7	14,6	16,4	35,4	37,3
1993	29,4	43,5	29,0	28,2	19,0	15,7	12,5	10,4	9,0	8,7	8,7	19,4
1994	26,7	17,2	55,2	30,1	21,6	17,5	15,0	11,8	9,4	7,3	12,5	23,8
1995	25,6	25,6	18,6	22,3	16,8	11,8	9,7	7,3	5,9	6,3	15,7	24,5
1996	17,2	12,9	18,6	13,2	13,6	9,0	7,3	6,6	5,6	7,3	11,1	12,2
1997	17,5	13,2	19,7	25,6	17,5	13,9	11,1	9,0	7,6	7,3	10,0	15,7
1998	12,5	19,0	13,9	10,7	8,7	7,3	5,9	4,6	3,6	5,3	18,3	25,3
1999	17,5	12,5	24,5	11,8	9,4	7,6	6,6	5,3	4,6	5,6	8,7	17,9
2000	21,9	24,9	31,6	19,0	13,9	11,1	9,4	6,9	8,0	5,3	11,5	24,9
2001	17,5	11,8	18,6	11,5	8,7	6,9	5,3	4,3	3,9	4,9	15,0	15,4
2002	20,8	21,2	16,1	13,6	9,4	7,6	6,3	4,6	4,3	2,7	5,6	12,2
2003	17,5	13,6	18,3	19,4	12,2	8,7	6,6	5,9	5,9	4,6	6,6	8,0
2004	27,1	61,5	45,4	41,2	26,4	20,1	15,7	14,3	12,2	11,5	12,5	18,6
2005	17,9	28,6	46,6	27,5	20,1	15,0	13,9	11,5	9,7	6,9	14,6	40,0
2006	24,9	23,0	34,3	33,2	21,2	16,8	14,6	11,8	10,7	16,1	18,3	28,2

Tabela 6.4 – Médias mensais das vazões naturais estimadas, Alto Preto Queimado (Reyes, 2009).

	Vazões Naturais Medias Mensais Estimadas (m^3/s)											
Ano	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
1980	12,5	18,2	9,7	9,9	7,0	5,7	4,8	4,0	3,6	2,9	3,9	7,1
1981	8,0	5,3	7,1	9,0	5,5	4,5	3,5	2,9	2,3	3,5	8,6	7,7
1982	15,6	9,8	15,2	11,7	8,0	6,6	5,3	4,6	4,0	4,0	3,5	4,2
1983	12,9	14,6	11,4	8,9	6,7	5,5	4,6	3,7	2,5	3,1	6,9	7,9
1984	6,7	5,4	5,4	9,0	4,7	3,7	3,0	2,8	2,9	2,8	2,3	3,7
1985	5,9	4,8	7,9	6,7	4,6	3,5	3,1	2,6	2,3	2,7	3,5	5,8
1986	9,2	6,7	5,3	3,9	3,4	2,6	2,3	2,0	1,7	1,9	1,5	2,2
1987	2,7	3,7	4,8	3,8	3,8	2,9	2,0	1,6	1,4	1,5	2,5	7,0
1988	6,2	7,9	9,0	7,3	5,2	4,1	3,4	2,9	2,3	2,9	3,9	5,7
1989	5,9	5,9	5,8	3,7	2,8	2,5	2,0	1,7	1,5	1,7	5,8	18,8
1990	7,0	4,4	4,0	2,9	2,9	2,3	2,2	1,8	1,8	2,7	2,6	2,6
1991	3,5	6,2	10,3	9,4	5,6	4,4	3,5	2,7	2,2	2,4	4,9	13,9
1992	19,5	27,4	10,4	8,9	6,7	5,2	4,4	3,8	3,5	4,0	8,6	9,0
1993	7,1	10,5	7,0	6,8	4,6	3,8	3,0	2,5	2,2	2,1	2,1	4,7
1994	6,5	4,2	13,4	7,3	5,2	4,2	3,6	2,9	2,3	1,8	3,0	5,8
1995	6,2	6,2	4,5	5,4	4,1	2,9	2,3	1,8	1,4	1,5	3,8	5,9
1996	4,2	3,1	4,5	3,2	3,3	2,2	1,8	1,6	1,4	1,8	2,7	2,9
1997	4,2	3,2	4,8	6,2	4,2	3,4	2,7	2,2	1,8	1,8	2,4	3,8
1998	3,0	4,6	3,4	2,6	2,1	1,8	1,4	1,1	0,9	1,3	4,4	6,1
1999	4,2	3,0	5,9	2,9	2,3	1,8	1,6	1,3	1,1	1,4	2,1	4,3
2000	5,3	6,0	7,7	4,6	3,4	2,7	2,3	1,7	1,9	1,3	2,8	6,0
2001	4,2	2,9	4,5	2,8	2,1	1,7	1,3	1,0	1,0	1,2	3,6	3,7
2002	5,0	5,1	3,9	3,3	2,3	1,8	1,5	1,1	1,0	0,6	1,4	2,9
2003	4,2	3,3	4,4	4,7	2,9	2,1	1,6	1,4	1,4	1,1	1,6	1,9
2004	6,6	14,9	11,0	10,0	6,4	4,9	3,8	3,5	2,9	2,8	3,0	4,5
2005	4,3	6,9	11,3	6,7	4,9	3,6	3,4	2,8	2,3	1,7	3,5	9,7
2006	6,0	5,6	8,3	8,0	5,1	4,1	3,5	2,9	2,6	3,9	4,4	6,8

Tabela 6.5 – Médias mensais das vazões naturais estimadas, Médio Preto (Reyes, 2009).

Ano	Vazões Naturais Medias Mensais Estimadas (m³/s)											
	Jan	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
1980	165,9	241,0	128,5	130,9	93,1	75,1	63,3	52,8	48,2	37,9	51,6	94,3
1981	106,4	70,4	94,3	119,9	72,7	59,8	47,0	39,0	31,1	45,9	113,7	101,5
1982	206,4	129,7	201,3	154,6	106,4	87,0	70,4	60,9	52,8	52,8	45,9	56,3
1983	170,9	193,7	150,8	117,4	89,4	72,7	60,9	49,3	33,4	41,3	91,9	105,2
1984	89,4	71,5	71,5	119,9	62,1	49,3	40,2	36,8	39,0	36,8	30,0	49,3
1985	78,7	63,3	105,2	89,4	60,9	47,0	41,3	34,5	30,0	35,6	47,0	77,5
1986	122,3	88,2	70,4	51,6	44,7	34,5	30,0	26,7	22,3	25,6	20,1	28,9
1987	35,6	49,3	63,3	50,5	50,5	37,9	26,7	21,2	18,0	20,1	33,4	93,1
1988	82,3	105,2	119,9	96,7	69,2	53,9	44,7	37,9	30,0	39,0	51,6	75,1
1989	78,7	78,7	77,5	49,3	36,8	33,4	26,7	22,3	20,1	22,3	77,5	248,8
1990	93,1	58,6	52,8	39,0	39,0	31,1	28,9	23,4	23,4	35,6	34,5	34,5
1991	45,9	82,3	135,9	124,8	73,9	58,6	47,0	35,6	28,9	32,3	64,5	184,8
1992	257,9	362,9	138,4	117,4	89,4	69,2	58,6	50,5	47,0	52,8	113,7	119,9
1993	94,3	139,6	93,1	90,7	60,9	50,5	40,2	33,4	28,9	27,8	27,8	62,1
1994	85,8	55,1	177,2	96,7	69,2	56,3	48,2	37,9	30,0	23,4	40,2	76,3
1995	82,3	82,3	59,8	71,5	53,9	37,9	31,1	23,4	19,0	20,1	50,5	78,7
1996	55,1	41,3	59,8	42,4	43,6	28,9	23,4	21,2	18,0	23,4	35,6	39,0
1997	56,3	42,4	63,3	82,3	56,3	44,7	35,6	28,9	24,5	23,4	32,3	50,5
1998	40,2	60,9	44,7	34,5	27,8	23,4	19,0	14,8	11,6	16,9	58,6	81,1
1999	56,3	40,2	78,7	37,9	30,0	24,5	21,2	16,9	14,8	18,0	27,8	57,4
2000	70,4	79,9	101,5	60,9	44,7	35,6	30,0	22,3	25,6	16,9	36,8	79,9
2001	56,3	37,9	59,8	36,8	27,8	22,3	16,9	13,7	12,7	15,8	48,2	49,3
2002	66,8	68,0	51,6	43,6	30,0	24,5	20,1	14,8	13,7	8,5	18,0	39,0
2003	56,3	43,6	58,6	62,1	39,0	27,8	21,2	19,0	19,0	14,8	21,2	25,6
2004	87,0	197,5	145,8	132,2	84,6	64,5	50,5	45,9	39,0	36,8	40,2	59,8
2005	57,4	91,9	149,6	88,2	64,5	48,2	44,7	36,8	31,1	22,3	47,0	128,5
2006	79,9	73,9	110,1	106,4	68,0	53,9	47,0	37,9	34,5	51,6	58,6	90,7

Tabela 6.6 – Médias mensais das vazões naturais estimadas, Baixo Preto (Reyes, 2009).

Ano	Vazões Naturais Medias Mensais Estimadas (m^3/s)											
	Jan	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
1980	51,2	71,8	40,6	41,3	30,3	25,0	21,4	18,1	16,7	13,4	17,8	30,7
1981	34,2	23,5	30,7	38,1	24,3	20,3	16,3	13,8	11,2	16,0	36,4	32,8
1982	62,4	41,0	61,0	48,0	34,2	28,5	23,5	20,7	18,1	18,1	16,0	19,2
1983	52,6	58,9	47,0	37,4	29,3	24,3	20,7	17,1	12,0	14,5	30,0	33,9
1984	29,3	23,9	23,9	38,1	21,0	17,1	14,2	13,1	13,8	13,1	10,9	17,1
1985	26,0	21,4	33,9	29,3	20,7	16,3	14,5	12,3	10,9	12,7	16,3	25,7
1986	38,8	28,9	23,5	17,8	15,6	12,3	10,9	9,8	8,3	9,4	7,6	10,5
1987	12,7	17,1	21,4	17,4	17,4	13,4	9,8	7,9	6,8	7,6	12,0	30,3
1988	27,1	33,9	38,1	31,4	23,2	18,5	15,6	13,4	10,9	13,8	17,8	25,0
1989	26,0	26,0	25,7	17,1	13,1	12,0	9,8	8,3	7,6	8,3	25,7	73,9
1990	30,3	19,9	18,1	13,8	13,8	11,2	10,5	8,7	8,7	12,7	12,3	12,3
1991	16,0	27,1	42,7	39,6	24,6	19,9	16,3	12,7	10,5	11,6	21,7	56,4
1992	76,3	104,0	43,4	37,4	29,3	23,2	19,9	17,4	16,3	18,1	36,4	38,1
1993	30,7	43,8	30,3	29,6	20,7	17,4	14,2	12,0	10,5	10,2	10,2	21,0
1994	28,2	18,9	54,3	31,4	23,2	19,2	16,7	13,4	10,9	8,7	14,2	25,3
1995	27,1	27,1	20,3	23,9	18,5	13,4	11,2	8,7	7,2	7,6	17,4	26,0
1996	18,9	14,5	20,3	14,9	15,3	10,5	8,7	7,9	6,8	8,7	12,7	13,8
1997	19,2	14,9	21,4	27,1	19,2	15,6	12,7	10,5	9,0	8,7	11,6	17,4
1998	14,2	20,7	15,6	12,3	10,2	8,7	7,2	5,7	4,6	6,5	19,9	26,8
1999	19,2	14,2	26,0	13,4	10,9	9,0	7,9	6,5	5,7	6,8	10,2	19,6
2000	23,5	26,4	32,8	20,7	15,6	12,7	10,9	8,3	9,4	6,5	13,1	26,4
2001	19,2	13,4	20,3	13,1	10,2	8,3	6,5	5,4	5,0	6,1	16,7	17,1
2002	22,5	22,8	17,8	15,3	10,9	9,0	7,6	5,7	5,4	3,5	6,8	13,8
2003	19,2	15,3	19,9	21,0	13,8	10,2	7,9	7,2	7,2	5,7	7,9	9,4
2004	28,5	59,9	45,6	41,7	27,8	21,7	17,4	16,0	13,8	13,1	14,2	20,3
2005	19,6	30,0	46,6	28,9	21,7	16,7	15,6	13,1	11,2	8,3	16,3	40,6
2006	26,4	24,6	35,3	34,2	22,8	18,5	16,3	13,4	12,3	17,8	19,9	29,6

Tabela 6.7 – Médias mensais das vazões naturais estimadas, reservatório Queimado (Reyes, 2009).

Ano	Vazões Naturais Medias Mensais Estimadas (m^3/s)											
	Jan	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
1980	9,3	8,1	9,2	9,2	8,5	7,9	7,4	6,8	6,5	5,7	6,7	8,6
1981	8,9	7,7	8,6	9,1	7,8	7,2	6,4	5,8	5,1	6,3	9,0	8,7
1982	8,8	9,2	8,9	9,3	8,9	8,3	7,7	7,2	6,8	6,8	6,3	7,0
1983	9,2	9,0	9,3	9,0	8,4	7,8	7,2	6,5	5,3	6,0	8,5	8,8
1984	8,4	7,7	7,7	9,1	7,3	6,5	5,9	5,6	5,8	5,6	5,0	6,5
1985	8,0	7,4	8,8	8,4	7,2	6,4	6,0	5,4	5,0	5,5	6,4	8,0
1986	9,1	8,4	7,7	6,7	6,2	5,4	5,0	4,6	4,2	4,5	3,9	4,9
1987	5,5	6,5	7,4	6,6	6,6	5,7	4,6	4,0	3,6	3,9	5,3	8,5
1988	8,2	8,8	9,1	8,6	7,6	6,8	6,2	5,7	5,0	5,8	6,7	7,9
1989	8,0	8,0	8,0	6,5	5,6	5,3	4,6	4,2	3,9	4,2	8,0	7,9
1990	8,5	7,1	6,8	5,8	5,8	5,1	4,9	4,3	4,3	5,5	5,4	5,4
1991	6,3	8,2	9,2	9,1	7,9	7,1	6,4	5,5	4,9	5,2	7,4	9,1
1992	7,6	3,6	9,3	9,0	8,4	7,6	7,1	6,6	6,4	6,8	9,0	9,1
1993	8,6	9,3	8,5	8,5	7,2	6,6	5,9	5,3	4,9	4,8	4,8	7,3
1994	8,3	6,9	9,2	8,6	7,6	7,0	6,5	5,7	5,0	4,3	5,9	7,9
1995	8,2	8,2	7,2	7,7	6,8	5,7	5,1	4,3	3,8	3,9	6,6	8,0
1996	6,9	6,0	7,2	6,0	6,1	4,9	4,3	4,0	3,6	4,3	5,5	5,8
1997	7,0	6,0	7,4	8,2	7,0	6,2	5,5	4,9	4,4	4,3	5,2	6,6
1998	5,9	7,2	6,2	5,4	4,8	4,3	3,8	3,2	2,7	3,5	7,1	8,1
1999	7,0	5,9	8,0	5,7	5,0	4,4	4,0	3,5	3,2	3,6	4,8	7,0
2000	7,7	8,1	8,7	7,2	6,2	5,5	5,0	4,2	4,5	3,5	5,6	8,1
2001	7,0	5,7	7,2	5,6	4,8	4,2	3,5	3,0	2,9	3,3	6,5	6,5
2002	7,5	7,6	6,7	6,1	5,0	4,4	3,9	3,2	3,0	2,2	3,6	5,8
2003	7,0	6,1	7,1	7,3	5,8	4,8	4,0	3,8	3,8	3,2	4,0	4,5
2004	8,3	9,0	9,3	9,2	8,3	7,4	6,6	6,3	5,8	5,6	5,9	7,2
2005	7,0	8,5	9,3	8,4	7,4	6,5	6,2	5,6	5,1	4,2	6,4	9,2
2006	8,1	7,9	8,9	8,9	7,6	6,8	6,4	5,7	5,4	6,7	7,1	8,5

6.3 Demandas hídricas na bacia do rio Preto

A fim de caracterizar os usos atuais da água na bacia do rio Preto e realizar o balanço hídrico nas seções de controle definidas para as simulações, buscou-se definir as demandas hídricas existentes na área de estudo, a partir de dados obtidos junto ao Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos - CNARH e o cadastro de outorgas emitidas pela Agencia Nacional de Águas – ANA.

As demandas hídricas na bacia foram classificadas como sendo referentes ao abastecimento urbano, à dessedentação animal, ao uso em irrigação e para atender à necessidade de geração hidrelétrica, sendo cada uma dessas demandas obtida para cada uma das seções definidas para a bacia do rio Preto. A forma de obtenção dos dados de demanda para cada ponto de controle é apresentada a seguir.

6.3.1 Abastecimento humano

Para a determinação da demanda para abastecimento humano, foram utilizados os dados obtidos junto ao CNARH para os municípios presentes dentro de cada uma das áreas determinadas pelas seções de estudo, sendo considerada como demanda a vazão determinada pela ANA nas outorgas para cada um dos empreendimentos cadastrados em cada município. Os dados de outorga obtidos junto à ANA confirmam os dados obtidos por Reyes (2009), sendo então esses utilizados. A Tabela 6.8 apresenta as demandas obtidas para abastecimento divididas por zona de estudo.

Tabela 6.8 – Demandas para abastecimento por zona de estudo. (Reyes, 2009).

			Demanda para abastecimento (m^3/s)					
Zona de estudo	**Município**	UF	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**
Alto Preto DF	Formosa	DF	0,2426	0,2426	0,2426	0,2426	0,2426	0,2426
Médio Preto	Unaí	MG	0,2166	0,2166	0,2166	0,2166	0,2166	0,2166
	Cabeceira Grande	MG	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081
Baixo Preto	Dom Bosco	MG	0,0069	0,0069	0,0069	0,0069	0,0069	0,0069
	Natalândia	MG	0,0073	0,0073	0,0073	0,0073	0,0073	0,0073
			Jul	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
Alto Preto DF	Formosa	DF	0,2426	0,2426	0,2426	0,2426	0,2426	0,2426
Médio Preto	Unaí	MG	0,2166	0,2166	0,2166	0,2166	0,2166	0,2166
	Cabeceira Grande	MG	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081
Baixo Preto	Dom Bosco	MG	0,0069	0,0069	0,0069	0,0069	0,0069	0,0069
	Natalândia	MG	0,0073	0,0073	0,0073	0,0073	0,0073	0,0073

6.3.2 Dessedentação animal

Para determinar as demandas para dessedentação animal, utilizaram-se os dados obtidos por Reyes (2009), tomando-se por base os dados do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos – CNARH e o cálculo do *BEDA* (bovino equivalência de demanda de água) para cada zona de estudo. A Tabela 6.9 apresenta as demandas obtidas para dessedentação divididas por zona de estudo.

Tabela 6.9 – Demandas para dessedentação animal por zona de estudo (Reyes, 2009).

	Demanda para dessedentação animal (m^3/s)											
Zona de estudo	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
Alto Preto DF	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
Alto Preto GO	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Médio Preto	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Baixo Preto	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017

6.3.3 Irrigação

Para determinar as demandas para irrigação, utilizaram-se os dados obtidos por Reyes (2009) a partir dos cálculos por ele efetuados para determinação da área irrigada por zona de estudo, com utilização de análise de imagens orbitais para determinar os sistemas de irrigação por pivô central e os dados do CNARH para determinar a demanda para as áreas irrigadas por aspersão convencional.

A divisão em irrigação por pivô central ou aspersão convencional deu-se a fim de classificar, também, os sistemas de cultivo existentes na bacia por sistema de produção, sendo a irrigação por pivôs centrais associada à produção comercial e a irrigação por aspersão convencional mais associada à produção familiar, podendo definir, também, diferentes prioridades de alocação de água em caso de escassez de recursos hídricos entre os dois modos de produção.

Para obter as demandas por irrigação para as zonas de estudo, Reyes (2009) utilizou-se da metodologia proposta por Bernardo (1995), levando em consideração, para cada uma das zonas de estudo, a área irrigada, a evapotranspiração real da cultura produzida, a precipitação efetiva da zona de estudo e a eficiência de aplicação de cada sistema de irrigação.

Para a zona de estudo, Reyes (2009) verificou, junto à EMATER/DF, que as culturas mais utilizadas na região são divididas em dois ciclos de produção, sendo o Ciclo 1 caracterizado pela produção de soja (de novembro até março), de trigo (de abril até agosto) e de feijão (de setembro até dezembro) e o Ciclo 2 pela produção de milho (novembro até março), de trigo (abril até agosto) e de feijão (setembro até dezembro). As tabelas 6.10 e

6.11 apresentam as demandas obtidas por sistema de irrigação e por zona de estudo após a aplicação da metodologia descrita por Reyes (2009).

Tabela 6.10 – Demandas para irrigação por zona de estudo. Ciclo 1

		Demanda para irrigação, Ciclo 1 (m^3/s)											
		Jan	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
Alto Preto DF	Pivô Central	0,84	0,95	0,00	0,47	2,74	2,40	1,17	0,44	1,64	3,04	0,00	0,34
	Aspersão Convencional	0,68	0,77	0,00	0,38	2,22	1,95	0,95	0,36	1,33	2,47	0,00	0,28
Alto Preto GO	Pivô Central	0,23	0,33	0,00	0,22	1,06	0,89	0,42	0,18	0,63	1,15	0,00	0,01
	Aspersão Convencional	0,07	0,10	0,00	0,07	0,33	0,27	0,13	0,05	0,20	0,36	0,00	0,04
Alto Preto Queimado	Pivô Central	0,18	0,23	0,00	0,20	0,91	0,76	0,37	0,15	0,53	1,02	0,00	0,03
	Aspersão Convencional	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Médio Preto	Pivô Central	0,10	0,16	0,00	0,14	0,51	0,42	0,20	0,09	0,30	0,57	0,00	0,00
	Aspersão Convencional	0,13	0,21	0,00	0,17	0,65	0,53	0,26	0,11	0,39	0,73	0,00	0,00
Baixo Preto	Pivô Central	0,30	0,34	0,00	0,17	0,97	0,85	0,41	0,16	0,58	1,08	0,00	0,12
	Aspersão Convencional	0,24	0,27	0,00	0,13	0,77	0,67	0,33	0,12	0,46	0,85	0,00	0,10

Tabela 6.11 – Demandas para irrigação por zona de estudo. Ciclo 2

		Demanda para irrigação, Ciclo 2 (m^3/s)											
		Jan	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
Alto Preto DF	Pivô Central	0,86	0,84	0,00	0,47	2,74	2,40	1,17	0,44	1,64	3,04	0,00	0,00
	Aspersão Convencional	0,70	0,68	0,00	0,38	2,22	1,95	0,95	0,36	1,33	2,47	0,00	0,00
Alto Preto GO	Pivô Central	0,23	0,29	0,00	0,22	1,06	0,89	0,42	0,18	0,63	1,15	0,00	0,00
	Aspersão Convencional	0,07	0,09	0,00	0,07	0,33	0,27	0,13	0,05	0,20	0,36	0,00	0,00
Alto Preto Queimado	Pivô Central	0,18	0,19	0,00	0,20	0,91	0,76	0,37	0,15	0,53	1,02	0,00	0,00
	Aspersão Convencional	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Médio Preto	Pivô Central	0,10	0,14	0,00	0,14	0,51	0,42	0,20	0,09	0,30	0,57	0,00	0,00
	Aspersão Convencional	0,13	0,18	0,00	0,17	0,65	0,53	0,26	0,11	0,39	0,73	0,00	0,00
Baixo Preto	Pivô Central	0,25	0,41	0,00	0,35	1,06	0,85	0,41	0,18	0,65	1,21	0,00	0,00
	Aspersão Convencional	0,20	0,33	0,00	0,28	0,84	0,67	0,33	0,14	0,52	0,96	0,00	0,00

6.3.4 Geração de Energia

Para o cálculo da demanda necessária para que as turbinas da UHE Queimado gerem energia, foram utilizados os dados da série de vazões diárias turbinadas pela usina entre os anos de 2004 (data da entrada em operação) e 2008 para obtenção da vazão média mensal como demanda para a geração de energia, dados esses obtidos por Reyes (2009) junto à Companhia Elétrica de Minas Gerais (CEMIG). A Tabela 6.12 apresenta as demandas para geração de energia para a UHE Queimado (Reyes, 2009).

Tabela 6.12 – Demanda para geração de energia (m^3/s)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
37,982	38,229	49,105	51,125	50,065	40,117	47,645	49,945	39,482	30,863	28,725	32,932

Os demais dados utilizados para a simulação no *Acquanet* são apresentados nos próximos capítulos.

7- SELEÇÃO DE OBJETIVOS, CRITÉRIOS E INDICADORES

Como salientado, a definição de valores de vazão mínima nos corpos d'água depende dos contextos hidrológico, sanitário, ecológico e econômico do corpo hídrico em questão (Bezerra, 2001). Com base nos contextos destacados, criou-se uma proposta de se utilizarem quatro objetivos essenciais a serem considerados na definição dos valores de vazão mínima para cada um dos pontos de controle selecionados para a bacia do rio Preto: ambiental/ecológico, legal-normativo, econômico e social, seguindo, também, os objetivos propostos por Wang (2005), citados no capítulo 3.

A cada um desses objetivos foi associado um ou mais critérios de análise que os representassem e pudessem ser valorados, a fim de se obterem elementos que indiquem o atendimento ou não a esses objetivos estabelecidos. Cada critério, por sua vez, é caracterizado por um indicador que permite sua mensuração.

A utilização de indicadores permite reduzir e agregar os diferentes parâmetros que podem ser levados em consideração quando da construção de cada critério de análise, além de permitir que as informações sejam transmitidas de forma mais simples e efetiva aos usuários ou interessados, traduzindo, de forma sucinta, as características mais importantes do sistema estudado e como as variáveis se comportam em cada situação analisada (OECD, 2003).

Para que sua utilização atenda aos objetivos propostos, os indicadores devem possuir algumas propriedades que facilitem sua utilização e garantam sua efetividade, tais como: i. possuir um valor mensurável; ii. utilizar dados que possam ser obtidos a partir de monitoramento (ou outros meios de medida) ou que já estejam disponíveis; iii. possuir metodologia clara e padronizada de obtenção e processamento de dados; iv. ter aceitabilidade por parte dos setores interessados/afetados; e, sobretudo, v. devem ter apoio público em sua construção e utilização para garantir a participação social e gestão descentralizada (Gallopín, 2006). A Figura 7.1 apresenta as características principais na escolha dos critérios e indicadores selecionados para o presente trabalho.

Para a bacia do rio Preto, os critérios e indicadores foram selecionados seguindo o pressuposto de que pudessem ser utilizados para comparar os diferentes cenários de simulação gerados e avaliar o grau de comprometimento da vazão natural após a inserção das demandas existentes na bacia e das restrições de vazão propostas para atender a cada objetivo definido.

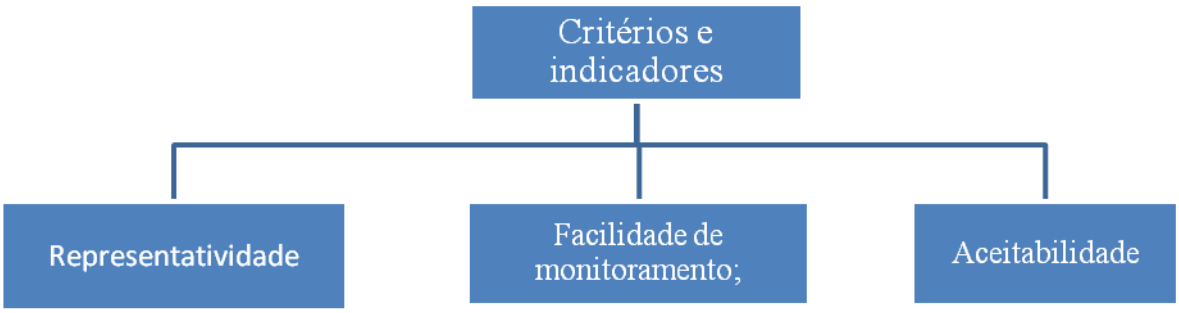

Figura 7.1 – Propriedades principais dos critérios e indicadores (Silva, 2012)

7.1 Objetivo ambiental/ecológico

A abordagem proposta busca avaliar condições de entrega no contexto de avaliações preliminares, com base em dados secundários. Desse modo, o indicador selecionado para refletir o objetivo ambiental/ecológico dependerá da disponibilidade de informações e tempo para sua definição e aplicação.

No caso do rio Preto, optou-se por utilizar um método hidrológico para a definição da vazão ecológica a ser considerada para cada ponto de controle da bacia hidrográfica, tendo como base as médias mensais para cada trecho em questão, obtendo-se valores que buscam aproximar-se mais do hidrograma de vazões naturais da bacia e não apenas a determinação de um único valor constante ao longo do ano hidrológico.

Para as simulações desse critério, adotou-se o valor de restrição de 20% da vazão média mensal, conforme metodologia utilizada em estudo para delimitar a vazão ecológica para a bacia hidrográfica do rio São Francisco (Brasil, 2004). Assim, utilizaram-se os dados das vazões naturais obtidas por Reyes (2009) para cada ponto de controle definido anteriormente, sendo dessa série de vazões naturais calculados os valores de vazões de restrição para atender ao objetivo ambiental/ecológico.

Objetivo	Critério	Indicador
Ambiental	Vazões médias mensais (20%)	Frequência em que determinada porcentagem da média é respeitada

Ressalta-se que a escolha por se utilizar um método hidrológico (estatístico) para esse critério deve-se ao fato de que a utilização de metodologias mais complexas e mais representativas do ponto de vista ecológico requer a existência de recursos nem sempre disponíveis e de maior período de tempo para sua realização, o que nem sempre é compatível com a necessidade de resposta para a tomada de decisão.

7.2 Objetivo legal-normativo

7.2.1 Outorga Quantitativa

Para atender ao objetivo legal-normativo, optou-se por considerar a legislação pertinente à outorga nos estados abrangidos pela bacia hidrográfica do rio Preto, além da legislação federal. Os diferentes órgãos gestores estaduais adotam critérios de outorga de uso de recursos hídricos que variam quanto aos valores de vazões de referência e aos percentuais outorgáveis, de acordo com as características regionais e os planos e políticas de gestão. Dessa forma, foram utilizados os percentuais máximos de outorga permitidos em cada um dos estados para delimitar o valor da vazão mínima remanescente em cada um dos pontos de controle, segundo esse critério (Tabela 7.1).

Para a bacia do rio Preto, os valores das restrições com base nas vazões de referência estipulados por cada órgão gestor foram obtidos a partir das séries de vazões naturais (vazões médias mensais) calculadas por Reyes (2009) e dos dados fornecidos pela Agência Nacional de Águas, por meio do *Hidroweb*, sendo esses dados manipulados no aplicativo SisCAH 1.0 (Sistema Computacional para Análises Hidrológicas), desenvolvido no âmbito do SNIRH e disponível gratuitamente.

Tabela 7.1 – Limites de outorga definidos pela União e estados da bacia do rio Preto.

ÓRGÃO GESTOR	VAZÃO MÁXIMA OUTORGÁVEL	VAZÃO MÍNIMA REMANESCENTE
ANA	70% da Q_{95} podendo variar em função das peculiaridades de cada região. 20% para cada usuário individual	30% da Q_{95}
ADASA - DF	I - até 80% (oitenta por cento) das vazões de referência $Q_{7,10}$, Q_{90}, ou Q (médias das mínimas mensais), quando não houver barramento; II – até 80% (oitenta por cento) das vazões regularizadas, dos lagos naturais ou de barramentos implantados em mananciais perenes.	I - 20% das vazões de referência $Q_{7,10}$, Q_{90}, ou Q (médias das mínimas mensais), quando não houver barramento; II – 20% das vazões regularizadas, dos lagos naturais ou de barramentos implantados em mananciais perenes.
IGAM-MG	30% da $Q_{7,10}$ para captações a fio d'água. Para captações em reservatórios, podem ser liberadas vazões superiores, mantendo o mínimo residual de 70% da $Q_{7,10}$ durante todo o tempo.	70% da $Q_{7,10}$ para captações a fio d'água;
SEMARH-GO	70% da Q_{95}	30% da Q_{95}

Para os pontos de controle definidos no Distrito Federal e no estado de Goiás, os valores de restrição foram determinados com base nas vazões naturais determinadas por Reyes (2009), sendo essas ordenadas de forma a se obterem os valores de vazão com seus respectivos tempos de permanência. Após a obtenção das vazões de referência para cada ponto de controle (Q_{90} para o DF e Q_{95} para Goiás), obteve-se o valor correspondente à porcentagem dessa vazão que deve ser mantida no curso d'água, segundo os critérios legal-normativos estabelecidos.

Para os pontos de controle definidos no estado de Minas Gerais, utilizou-se o aplicativo SisCAH (2009) para obtenção dos valores referentes a $Q_{7,10}$ nesses pontos, procedendo-se, assim, à obtenção da vazão mínima remanescente definida pelo órgão gestor de recursos hídricos no estado, o IGAM.

7.2.2 Outorga Quali-Quantitativa

Ainda no âmbito desse objetivo e levando em consideração, também, os critérios sanitários do curso d'água, buscou-se atender ao enquadramento dos cursos d'água segundo a Resolução CONAMA nº 357, utilizando-se o conceito de vazão de diluição para cálculo da vazão necessária para diluir os efluentes lançados no curso d'água. A vazão de diluição é calculada como forma de se estimar a quantidade de água necessária para diluir

determinado efluente ao longo do curso d'água e permite obter valores de vazão que devem ser mantidos no curso d'água para que não haja comprometimento qualitativo que altere o enquadramento do mesmo.

Para a bacia do rio Preto, utilizou-se o fósforo como parâmetro de estudo por se tratar de uma região de produção agrícola e pela existência do risco de eutrofização do reservatório da UHE Queimado. Os dados necessários para a determinação dos valores de vazão de diluição para cada ponto de controle foram obtidos a partir do trabalho de Silva (2012), que determinou, com base nos dados de uso e ocupação do solo para a bacia do rio Preto, as cargas e concentrações de fósforo para cada um dos pontos de controle definidos para a bacia hidrográfica em estudo.

Silva (2012) utilizou, para quantificar a carga de fósforo disponibilizada na bacia do rio Preto, o método das cargas unitárias descrito por von Sperling (2005), baseado no mapeamento da cobertura e uso do solo para determinar a carga de fósforo produzida, por unidade de área em determinado tempo, a partir das diferentes classes de uso existentes na bacia hidrográfica considerada.

A obtenção dos dados das áreas de uso e ocupação da bacia do rio Preto deu-se com base em arquivos disponíveis em SEINFRA (2006), de onde foram extraídos os dados relativos à área da bacia estudada, para cálculo da área correspondente a cada classe de uso do solo. Nesse estudo, as informações de cobertura e uso do solo foram obtidas por meio da classificação de imagens do satélite Landsat 7 Sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) dos anos de 2002 e 2003, sendo as informações extraídas em uma escala de 1:50.000.

Após a determinação das classes de uso do solo presentes na bacia do rio Preto, obtém-se a carga do poluente considerado, no caso de estudo, o fósforo, multiplicando-se as áreas de cada classe de uso pelos valores das cargas unitárias obtidos para cada uma dessas classes. Para a bacia do rio Preto, utilizou-se a tabela de contribuições unitárias por classe de uso obtida por Pimentel (2006) a partir do estudo de Anjos *et al.* (1989), por se mostrar mais representativa para a região da bacia de estudo (Tabela 7.2).

Tabela 7.2 – Contribuições unitárias de fósforo total consideradas no estudo (Silva, 2012)

Fonte	Valor	Unidade
Drenagem de áreas naturais	12	kg/km².ano
Drenagem de áreas agrícolas	21	kg/km².ano
Drenagem de áreas urbanas	22	kg/km².ano
Esgotos domésticos	0,65	Kg/hab.ano

Para adequar as classes de uso de solo obtidas (SEINFRA, 2006) à tabela de contribuição unitária retirada de Pimentel (2006), Silva (2012) realizou a correspondência entre as classes de uso para permitir o cálculo para a bacia de estudo, estimando, também, o número de habitantes na bacia estudada, para fornecer os dados de contribuição por esgotos domésticos.

A Tabela 7.3 apresenta os valores de contribuição total, obtidos a partir dos dados da Tabela 7.2, para cada região delimitada pelos pontos de controle definidos para o caso de estudo e para toda bacia do rio Preto.

Tabela 7.3 – Contribuição da carga de fósforo total para a bacia do rio Preto (Silva, 2012)

Zona de estudo	Carga de fósforo total (kg/ano)
Alto Preto DF	31.706,07
Alto Preto GO	77.888,35
Alto Preto Queimado	5.207,07
Médio Preto	113.452,80
Baixo Preto	36.226,47
Total	264.480,76

Os valores da Tabela 7.3 representam, em termos de carga, a quantidade de fósforo total que chega até os corpos hídricos da bacia, considerados para cada ponto de controle definido, considerando-se que, ao longo do ano, não ocorre variação da carga carreada. Os resultados obtidos foram utilizados para a simulação do módulo de qualidade da água no *Acquanet*.

Para calcular a vazão de diluição, utilizou-se a fórmula apresentada por Silva (2008), considerando a classe 2 do enquadramento da Resolução CONAMA nº357/2005 (equação 7.1). Como valor de referência a ser considerado para garantir que seja respeitada a classe do enquadramento definido para a bacia do rio Preto, utilizou-se o limite de concentração de fósforo permitido para a classe 2 de 0,05 mg/L.

Para a bacia do rio Preto, considerou-se a vazão do efluente como sendo a vazão natural para cada ponto de controle, uma vez que o cálculo para obtenção da carga de fósforo foi realizado para cada uma das regiões delimitadas pelos pontos de controle, considerando-se, assim, que a carga de fósforo gerada na região é uniformemente distribuída ao longo do trecho do curso d'água considerado. As concentrações nos efluentes foram obtidas a partir da simulação no módulo de qualidade da água do *Acquanet* tendo, como dados de entrada, os dados de carga de fósforo para cada região delimitada.

$$Qdil = Qef \times \frac{Cef. - Cperm.}{Cperm. - Cnat.} \qquad (7.1)$$

em que:

Qdil: vazão de diluição para determinado parâmetro de qualidade (m^3/s);
Qef: vazão do efluente que contém o parâmetro de qualidade analisado (m^3/s);
Cef: concentração do parâmetro de qualidade no efluente (mg/l);
Cperm: concentração permitida do parâmetro de qualidade no manancial onde é realizado o lançamento (mg/l);
Cnat: concentração natural do parâmetro de qualidade no manancial onde é realizado o lançamento (mg/l).

Assim, definidos os valores a serem considerados como restrição para a definição dos requisitos de vazões mínimas para a bacia de estudo, apresentam-se os critérios e indicadores utilizados para atender ao objetivo legal-normativo.

Objetivo	Critério	Indicador
Legal-normativo	Vazões de referência estabelecidas na legislação	Frequência em que o valor limite não foi respeitado
	Vazão de diluição	Frequência em que a vazão no trecho foi inferior à necessária para atender à Resolução CONAMA n° 357/2005 – Enquadramento classe 2

7.3 Objetivo econômico

Para atendimento ao objetivo econômico, para o âmbito da presente pesquisa, podem ser analisados os usos econômicos da água na bacia hidrográfica considerada e adotado um percentual de falha ou de não-atendimento às demandas que seja considerado aceitável.

Para a bacia do rio Preto, as demandas econômicas consideradas foram as relativas à geração de energia na UHE de Queimado e as demandas para irrigação, essas últimas divididas entre demanda para irrigação por aspersão e por utilização de pivôs centrais.

Para atender ao objetivo proposto, considerou-se, como indicador, a frequência em que cada demanda não foi atendida ao longo de todo período de simulação. Não se estabeleceu um limite máximo aceitável para o caso de estudo, sendo os valores obtidos de não atendimento às demandas econômicas utilizados para fins de avaliação da pertinência dos critérios propostos e de comparação entre os impactos gerados pelas restrições em cada tipo de atividade desenvolvida. Os dados utilizados foram as próprias demandas para cada atividade, conforme definidas no capítulo 6.

Objetivo	Critério	Indicador
Econômico	Atendimento às demandas para geração de energia e irrigação	Frequência em que a demanda não foi atendida

7.4 Objetivo social

Para atender ao objetivo social, foram levadas em consideração as demandas para abastecimento humano existentes na bacia do rio Preto. Pode-se incluir, nesse objetivo, ainda, os usos considerados como de maior benefício para a sociedade, como a geração de renda para grupos ou comunidades em detrimento de usos industriais. Na bacia do rio Preto, foram levadas em consideração as demandas para abastecimento humano e, como fator complementar, as demandas para agricultura familiar (demandas de irrigação por aspersão convencional), ambas determinadas no Capítulo 6.

Objetivo	Critério	Indicador
Social	Atendimento às demandas para abastecimento humano e uso social	Frequência em que a demanda não foi atendida

7.5 Objetivo hidrometeorológico

Pode-se adotar, ainda, um quinto critério a ser atendido, o critério hidrológico que pode ser definido como na *Convenção Albufeira* (entre Portugal e Espanha - 1998), em que são considerados valores diferentes para delimitação das vazões mínimas de entrega, a depender da precipitação de referência acumulada do início do ano hidrológico, adotando-se um valor de referência para anos em que as condições sejam consideradas normais e outro valor, para períodos de exceção, seja por estiagem ou mesmo em períodos de cheia. Para a bacia do rio Preto, poder-se-ia estabelecer valores de vazões para períodos de estiagem que viabilizem a criação de eventuais critérios de racionamentos entre os diversos usos na bacia. No caso da presente pesquisa, tendo em vista o caráter de desenvolvimento metodológico e as especificidades da bacia do rio Preto, optou-se por não definir um critério dessa natureza.

7.6 Agregação dos critérios

Há vários critérios que definem restrições quantitativas de vazão. Nesse caso, a definição das vazões mínimas de entrega dá-se pela agregação dos hidrogramas gerados para cada critério proposto, gerando um hidrograma de restrição único para cada trecho da bacia do rio Preto.

Analisando-se os objetivos a serem atingidos para a bacia do rio Preto, procedeu-se à construção do hidrograma de restrição partindo-se da comparação entre os critérios para verificar em quais casos as curvas de restrição seriam sobrepostas (somados os valores de restrição) e em quais casos seria realizada a seleção pelo hidrograma mais restritivo (valor máximo de restrição selecionado para determinado ponto de controle), de acordo com as características de construção de cada critério proposto.

Para gerar o hidrograma de restrição da bacia do rio Preto, com base nos dados levantados e descritos, considerou-se, primeiramente, a restrição referente ao objetivo ambiental/ecológico em comparação ao objetivo legal-normativo. Como para atendimento a esse último objetivo, foram utilizados dois critérios distintos, um pertinente aos limites máximos outorgáveis (determinados por cada um dos Estados da bacia e pela União) e outro pertinente à determinação das vazões de diluição necessárias para que o curso d'água

atenda à Resolução CONAMA n° 357/2005, considerou-se cada hidrograma de forma separada para essa comparação. Dessa forma, os critérios referentes à vazão ecológica/ambiental e vazão de diluição foram agregados, somando-se os valores necessários para atender a cada uma das restrições para geração de um novo hidrograma de restrição.

A soma dos dois hidrogramas deu-se após a consideração de que, para atender às necessidades de preservação do ecossistema dos corpos d'água considerados, faz-se imperativo garantir água em quantidade suficiente tanto para manter uma vazão necessária à manutenção da biota (em níveis compatíveis aos da restrição gerada) quanto para garantir que a qualidade da água seja compatível às necessidades dessa biota. Assim, para garantir que esses dois objetivos sejam levados em consideração na definição das restrições de vazão, é necessário que essas restrições sejam somadas na definição do hidrograma agregado, assegurando que a disponibilidade de água para manutenção dos ecossistemas não seja prejudicada pela quantidade necessária para diluir o poluente selecionado para análise que, no caso em questão, é o fósforo.

Após a soma dos hidrogramas citados, passou-se à integração do hidrograma gerado ao hidrograma referente aos limites máximos outorgáveis definidos por cada Estado abrangido pela bacia do rio Preto e pela União. Considerando-se que, após a agregação das vazões ecológica/ambiental e de diluição, o objetivo de manutenção do ecossistema está assegurado, a agregação ao hidrograma legal-normativo de limites máximos outorgáveis dá-se pela seleção dos valores mais restritivos entre esse hidrograma e o gerado anteriormente, uma vez que o atendimento aos limites impostos nas legislações estará incluso no maior valor entre as restrições criadas, independentemente de seu uso ser compartilhado com outro objetivo. Assim, após a seleção dos valores mais restritivos, gerou-se o novo hidrograma de restrições para a bacia do rio Preto.

O próximo passo seria a agregação dos hidrogramas gerados para o critério econômico, caracterizado pelas demandas para produção (demandas para irrigação) e geração de energia e critério social, caracterizado pela demanda para abastecimento humano e, de forma complementar, para produção familiar, essa caracterizada pelo uso da irrigação por aspersão. A agregação desses critérios resultaria em um hidrograma de soma das demandas explicitadas que, por sua vez, seria somado ao hidrograma resultante da agregação dos

critérios ambiental/ecológico e legal-normativo, uma vez que essas demandas deveriam ser atendidas após o atendimento aos objetivos anteriores.

Para a bacia do rio Preto, optou-se por utilizar, durante a simulação dos cenários, o hidrograma resultante da agregação dos critérios ambiental/ecológico e legal-normativo de forma separada das demandas para atender aos objetivos econômico e social. Essa separação, apesar de não influir nas simulações de alocação de água para a bacia (uma vez que foram definidas prioridades de alocação iguais como garantia), permite avaliar de que forma essas restrições impactam o sistema hídrico considerado e de que forma as restrições legais/ambientais impactam nas demandas existentes para usos socioeconômicos.

Para avaliação das restrições geradas e da agregação dos critérios, foi utilizado o módulo de alocação de água do programa *Acquanet*, que possibilitou analisar o atendimento às restrições estabelecidas e às demandas anteriormente definidas.

8- SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE ALOCAÇÃO DE ÁGUA NA BACIA DO RIO PRETO

Após a definição dos critérios a serem testados, partiu-se para a simulação de sua aplicação ao caso de estudo, no caso a bacia hidrográfica do rio Preto, com a definição dos pontos de controle dos critérios selecionados e com a utilização do programa *Acquanet*, tendo, como dados de entrada, os parâmetros referentes à configuração hidrológica da bacia hidrográfica obtidos junto à ANA, ao ONS (dados hidrológicos – vazões naturais, volume do reservatório, demandas outorgadas) e ao IBGE (dados de população), além do levantamento de dados e estudos feitos no âmbito de outras pesquisas desenvolvidas no PTARH/UnB.

Para as simulações realizadas para a bacia do rio Preto, utilizou-se, como dados de entrada nas definições gerais do modelo de alocação de água, um período de simulação de 21 anos, iniciando em janeiro de 1980 e encerrando em dezembro de 2000, no modo de simulação contínua do *Acquanet*.

Os dados das vazões naturais referentes a cada subdivisão da bacia hidrográfica pelos pontos de controle foram apresentados no capítulo 6 e foram utilizados em todas as simulações, sendo inseridos no modelo como dados de entrada dos nós representativos de cada ponto de controle definido.

Os dados das demandas hídricas existentes na bacia e utilizados nas simulações foram apresentados anteriormente e inseridos no sistema de representação em rede de fluxo na forma de nós de demanda, com as respectivas prioridades de atendimento e frações de retorno, caso o uso seja consuntivo.

O reservatório da UHE Queimado foi representado em todas as simulações com os dados de entrada referentes aos volumes máximo, mínimo e inicial constantes para todos os cenários (Tabela 8.1). Os dados do reservatório (tabela cota-área-volume; taxa mensal de evaporação e vazões naturais afluentes) foram obtidos no trabalho de Reyes (2009) (tabelas 8.2 a 8.4). Para todos os cenários, considerou-se o reservatório como estando próximo ao seu volume máximo quando do início do período de simulação. As turbinas da UHE

Queimado foram inseridas no sistema como um nó de demanda, com fração de retorno de 100%.

Tabela 8.1 – Volumes máximo, mínimo e inicial do reservatório de Queimado (Reyes, 2009).

Volumes Característicos	Reservatório de Queimado
Máximo	540 Mm^3
Mínimo	85,7 Mm^3
Inicial	522 Mm^3

Tabela 8.2 – Tabela cota-área-volume do reservatório de Queimado (Reyes, 2009).

Cota (m)	Área (km^2)	Volume (Mm^3)
793	0,00	0,00
810	8,810	70,3
815	14,51	128
820	21,03	216,3
825	29,31	341,6
830	42,81	520,8

Tabela 8.3 – Taxa de evaporação líquida do reservatório de Queimado (Reyes, 2009).

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Evaporação (mm/mês)	-1	0	13	25	44	56	60	66	75	58	42	34

Tabela 8.4 – Vazão natural afluente ao reservatório de Queimado (Reyes, 2009).

Ano	Vazões Naturais Médias Mensais (m^3/s)											
	Jan	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
1980	142	201	112	114	83	68	58	49	45	36	48	84
1981	94	64	84	105	66	55	44	37	30	43	100	90
1982	174	113	170	133	94	78	64	56	49	49	43	52
1983	146	164	130	103	80	66	56	46	32	39	82	93
1984	80	65	65	105	57	46	38	35	37	35	29	46
1985	71	58	93	80	56	44	39	33	29	34	44	70
1986	107	79	64	48	42	33	29	26	22	25	20	28
1987	34	46	58	47	47	36	26	21	18	20	32	83
1988	74	93	105	86	63	50	42	36	29	37	48	68
1989	71	71	70	46	35	32	26	22	20	22	70	207
1990	83	54	49	37	37	30	28	23	23	34	33	33
1991	43	74	118	109	67	54	44	34	28	31	59	157
1992	214	294	120	103	80	63	54	47	44	49	100	105
1993	84	121	83	81	56	47	38	32	28	27	27	57
1994	77	51	151	86	63	52	45	36	29	23	38	69
1995	74	74	55	65	50	36	30	23	19	20	47	71
1996	51	39	55	40	41	28	23	21	18	23	34	37
1997	52	40	58	74	52	42	34	28	24	23	31	47
1998	38	56	42	33	27	23	19	15	12	17	54	73
1999	52	38	71	36	29	24	21	17	15	18	27	53
2000	64	72	90	56	42	34	29	22	25	17	35	72
2001	52	36	55	35	27	22	17	14	13	16	45	46
2002	61	62	48	41	29	24	20	15	14	9	18	37
2003	52	41	54	57	37	27	21	19	19	15	21	25
2004	78	167	126	115	76	59	47	43	37	35	38	55
2005	53	82	129	79	59	45	42	35	30	22	44	112
2006	72	67	97	94	62	50	44	36	33	48	54	81

Segue a descrição dos cenários utilizados para aplicação dos critérios de restrição de vazão para a bacia do rio Preto.

8.1 Definição do sistema de representação

Os pontos de controle definidos para a bacia do rio Preto, e que delimitam as regiões de estudo em Alto Preto DF, Alto Preto GO, Alto Preto Queimado, Médio Preto e Baixo Preto foram representados no *Acquanet* por nós de passagem da rede de fluxo, sendo a cada um desses nós atribuídos os dados de vazão natural referentes a cada região por eles delimitada.

Para a bacia do rio Preto foram definidas duas topologias a fim de representar as duas configurações utilizadas nas simulações. A **primeira** topologia representa a bacia

hidrográfica em sua situação pristina, sem a consideração das demandas existentes, mas com representação do reservatório da UHE Queimado, com fins de possibilitar a posterior comparação entre as simulações realizadas (Figura 8.1). A **segunda** topologia representa a bacia hidrográfica em sua situação atual com a representação das classes de demandas existentes e apresentadas anteriormente (Figura 8.2).

Nesse sistema de simulação em rede de fluxo, as demandas hídricas existentes na bacia foram organizadas por tipo de uso (abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação por aspersão convencional e irrigação por pivôs centrais) e cada tipo de uso foi representado na rede estando conectado aos nós de passagem e controle definidos para a bacia hidrográfica do rio Preto. Dessa forma, cada região delimitada pelos pontos de controle definidos tem suas demandas agregadas por tipo de uso e representadas no sistema. A cada demanda foi também associada a prioridade de atendimento (em relação a outras demandas) e a fração de retorno ao sistema a ela correspondente, sendo essa fração de retorno referente ao tipo de uso, se consuntivo ou não.

O módulo de alocação de água do *Acquanet* permite elencar as prioridades de atendimento às demandas em classes de 1 a 99, sendo a prioridade 1 aquela a ser atendida primeiramente. As simulações efetuadas levaram em consideração as demandas estabelecidas na bacia hidrográfica do rio Preto e sua hierarquização de atendimento seguindo as prioridades de abastecimento elencadas na Lei 9433/1997. Assim, as demandas para abastecimento humano tiveram prioridade de alocação de água maior que as para irrigação, por exemplo.

O reservatório da UHE Queimado foi representado como parte do sistema, sendo as turbinas hidrelétricas representadas como uma demanda à parte, situada após a representação do reservatório, tendo sido criado um nó para retorno da vazão turbinada ao sistema. A representação da rede de fluxo para a bacia do rio Preto termina com um nó de demanda criado para garantir que a simulação ocorra como se estivesse representada a entrega de vazão ao rio Paracatu, sendo essa demanda caracterizada por uma prioridade de atendimento baixa (última prioridade a ser atendida) apenas para impedir que o sistema permitisse acumulação de água de um período de simulação para outro. As representações do sistema hídrico utilizadas como base das simulações são apresentadas nas figuras 8.1 e

8.2 e um resumo da topologia utilizada no *Acquanet para* a configuração atual da bacia é apresentado na Tabela 8.5.

Tabela 8.5 – Resumo da topologia utilizada no *Acquanet*

Resumo da Topologia	
Características	Valores
Total de Nós	25
Reservatórios	1
Demandas	18
Passagens	6
Links	24
Tipo de Simulação	Simulação Contínua
Opção de Cálculo	Calibração
Estados Hidrológicos	0
Mês inicial	Janeiro
Ano inicial	1980
Horizonte (anos)	21
Série histórica (anos)	21

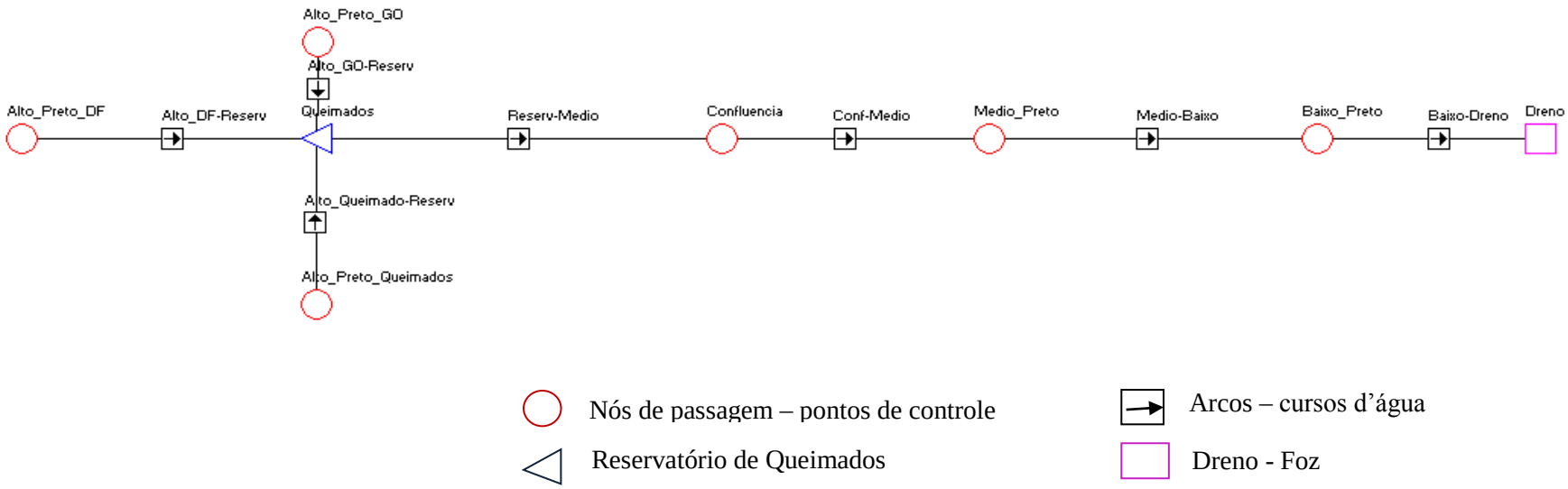

Figura 8.1– Representação do sistema hídrico da bacia do rio Preto – configuração pristina.

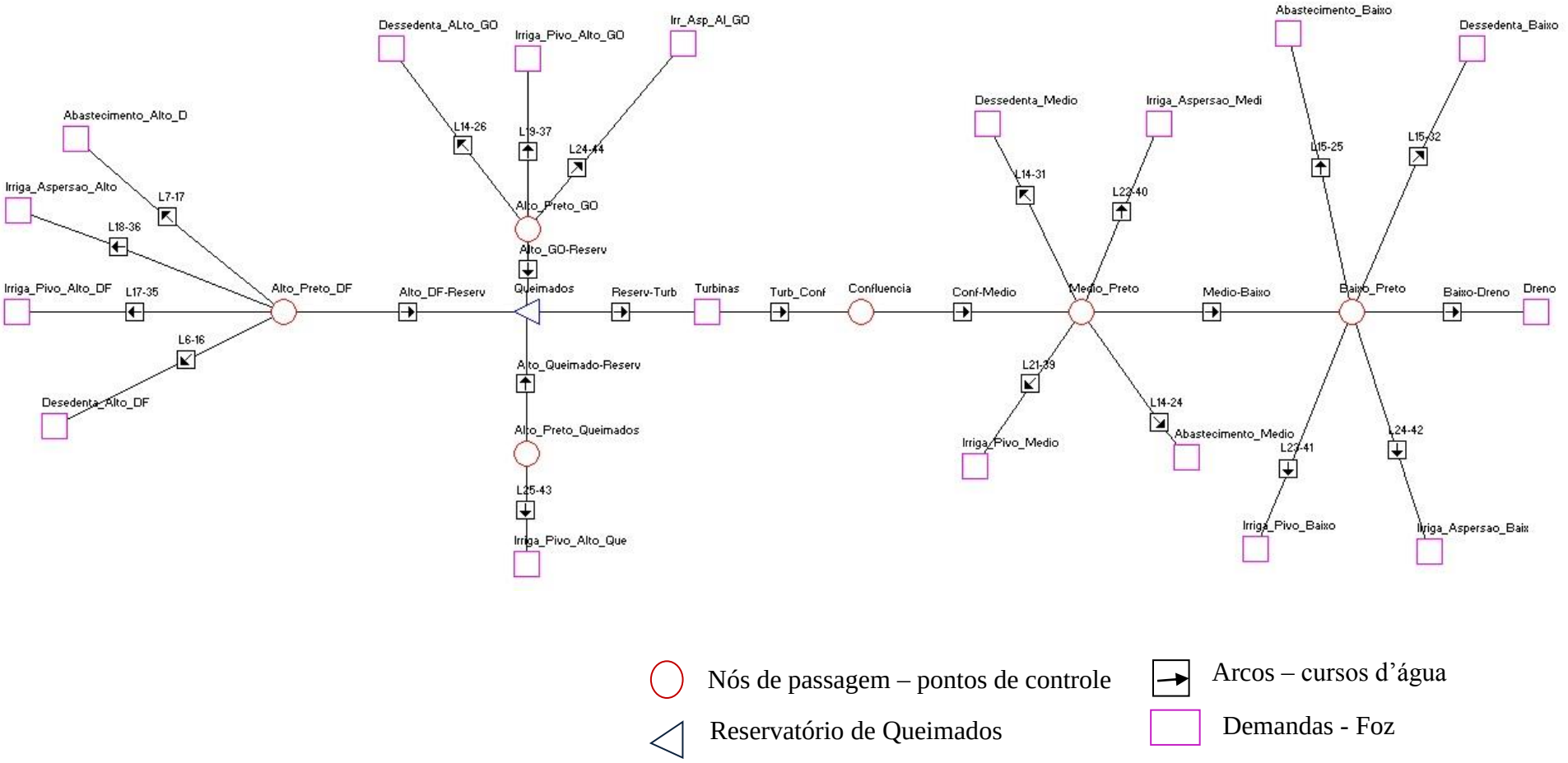

Figura 8.2 – Representação do sistema hídrico da bacia do rio Preto – configuração atual.

8.2 Simulação de cenários de alocação de água na bacia do rio Preto

Para os cenários de simulação concebidos para o presente trabalho, utilizou-se o modelo *Acquanet* com as redes de fluxos apresentadas nas figuras 8.1 e 8.2. Em todas as simulações, considerou-se o reservatório da UHE Queimado como estando cheio quando do início do período de simulação, garantindo, assim, que a alocação de água do sistema não sofresse influência do enchimento do reservatório sendo direcionada para atendimento das demandas existentes na bacia e das restrições geradas.

A primeira simulação criada para a bacia do rio Preto considera a bacia hidrográfica em sua situação pristina, hipotética, antes de intervenções humanas, sem inclusão de demandas, com o objetivo de gerar dados que possam ser comparados com os demais cenários e que permitam avaliar a influência de cada demanda sobre o sistema e a pertinência das restrições geradas para a definição das vazões mínimas de entrega.

A segunda simulação, para avaliação dos critérios estabelecidos como restrição para a bacia hidrográfica do rio Preto, deu-se por meio da simulação da situação de referência (configuração atual), com as demandas estabelecidas na bacia do rio Preto e o reservatório da UHE Queimado, sem a inclusão de nenhuma restrição de uso. O objetivo dessa simulação foi avaliar o comportamento hidrológico atual da bacia hidrográfica, durante o período de simulação, para obter os dados de referência a serem comparados com as restrições criadas e permitir analisar a pertinência dessas restrições perante a configuração atual de uso da água na bacia.

A terceira simulação consiste na utilização dos dados de entrada referentes à bacia pristina e com a inclusão das restrições geradas pelos critérios selecionados. Essa terceira simulação ocorreu por etapas, sendo as restrições de vazão (apresentadas no capítulo 7) inseridas de forma gradual, permitindo avaliar os resultados de sua inserção e seus impactos de forma individualizada. Dessa forma, pôde-se perceber o quanto cada restrição criada interfere no funcionamento do sistema. Após a verificação de cada restrição de forma individual, partiu-se para a agregação das restrições, conforme explicado no item 7.5, permitindo analisar o impacto das restrições finais de vazão, já agregadas, nessa configuração do uso da água na bacia.

A quarta simulação consiste na utilização dos dados de entrada referentes à situação atual da bacia, com as demandas estabelecidas e com a inclusão das restrições geradas pelos critérios selecionados. Essa quarta simulação também ocorreu por etapas, da mesma forma como realizada para a terceira simulação, sendo as restrições de vazão, apresentadas no capítulo 7, inseridas de forma gradual, permitindo avaliar os resultados de sua inserção e seus impactos de forma individualizada. Dessa forma, pôde-se perceber o quanto cada restrição criada interfere no funcionamento do sistema e afeta as demandas existentes na bacia. Após a verificação de cada restrição de forma individual, partiu-se para a agregação das restrições conforme explicado no item 7.5, permitindo analisar o impacto das restrições finais de vazão, já agregadas, na configuração atual de uso da água na bacia, sendo assim concluída a simulação.

Para as segunda e quarta simulações, relativas à configuração atual da bacia do rio Preto com suas demandas estabelecidas, as demandas para irrigação, sejam elas relativas à irrigação por aspersão convencional ou por pivôs centrais, os ciclos produtivos descritos no item 6.3.3 (Ciclos 1 e 2) foram utilizados de maneira intercalada, ou seja, para o período de 21 anos de simulação, utilizou-se a demanda de um ciclo por ano, de forma intercalada, até atingir o número total de anos da simulação.

As demandas foram inseridas de forma que todas possuíssem a mesma prioridade de atendimento, exceto pela demanda representativa da manutenção do volume-meta estabelecido para o reservatório, cuja prioridade foi definida como sendo inferior às demais demandas. A demanda criada como representação da foz da bacia do rio Preto, denominada “dreno”, possui prioridade mais baixa apenas para garantir o adequado funcionamento do sistema (o excesso de água deve, sempre, escoar para um exutório). As demandas e suas respectivas prioridades de atendimento são apresentadas na Tabela 8.6.

Tabela 8.6 – Prioridades de atendimento às demandas inseridas na simulação

Demandas no sistema	Elemento representativo	Prioridade
Dessedentação - Alto DF	Dessedenta_Alto_DF	1
Abastecimento Humano - Alto DF	Abastecimento_Alto_D	1
Irrigação por aspersão - Alto DF	Irriga_Aspersao_Alto	1
Irrigação por pivô central - Alto DF	Irriga_Pivo_Alto_DF	1
Restrição de vazão - Alto DF	Alto_DF_Restr	1
Dessedentação - Alto GO	Dessedenta_Alto_GO	1
Irrigação por pivô central - Alto GO	Irriga_Pivo_Alto_GO	1
Irrigação por aspersão - Alto GO	Irr_Asp_Al_GO	1
Restrição de vazão - Alto GO	Alto_GO_Restr	1
Irrigação por pivô central - Alto-Queimado	Irriga_Pivo_Alto_Que	1
Restrição de vazão - Alto-Queimado	Alto_Queim_Restr	1
Volume-meta do reservatório	Queimados	2
Demanda das turbinas	Turbinas	1
Abastecimento Humano -Médio Preto	Abastecimento_Medio	1
Restrição de vazão - Médio Preto	Medio_Restr	1
Dessedentação - Médio Preto	Dessedenta_Medio	1
Irrigação por pivô central - Médio Preto	Irriga_Pivo_Medio	1
Irrigação por aspersão - Médio Preto	Irriga_Aspersao_Medi	1
Abastecimento Humano -Baixo Preto	Abastecimento_Baixo	1
Dessedentação - Baixo Preto	Dessedenta_Baixo	1
Irrigação por pivô central - Baixo Preto	Irriga_Pivo_Baixo	1
Irrigação por aspersão - Baixo Preto	Irriga_Aspersao_Baix	1
Restrição de vazão - Baixo Preto	Baixo_Restr	1
Foz da bacia	Dreno	99

Para efeito de comparação, as simulações foram efetuadas de modo a permitir avaliar o impacto de cada um dos critérios sobre as situações pristina e atual da bacia, sendo esses impactos apresentados em termos da frequência em que as restrições não foram respeitadas nos pontos de entrega estabelecidos (Tabela 8.7).

Tabela 8.7 – Frequência em que as demandas não foram atendidas (% do tempo)

Pontos de entrega	Bacia Pristina Restrições legais-normativas	Situação Atual Restrições legais-normativas	Bacia Pristina Qdiluição (classe 2)	Situação Atual Qdiluição (classe 2)	Bacia Pristina Qecológica (20% da Qmédia mensal)	Situação atual Qecológica (20% da Qmédia mensal)	Situação atual com todas as restrições *
Alto DF	0,00	0,79	7,14	8,33	0,00	0,79	10,32
Alto GO	0,00	0,00	50,40	79,37	0,00	0,00	79,37
Alto Queimados	0,00	0,79	0,00	0,00	0,00	0,79	0,79
Reservatório (Volume meta)	1,98	2,38	9,52	13,89	4,76	10,71	15,48
Turbinas	1,59	8,33	8,33	8,33	3,97	8,33	8,73
Médio Preto	0,00	0,00	1,98	2,38	0,00	0,00	3,17
Baixo Preto	0,00	0,00	0,40	0,40	0,00	0,00	0,40

* Valor de restrição obtido após a soma entre as restrições de vazões de diluição e vazões ecológicas com posterior comparação entre esse resultado e os valores de restrições legais-normativas, sendo os valores finais utilizados para simulação os máximos obtidos nessa comparação.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 8.7, pode-se perceber que, à exceção dos cenários simulados com inserção da restrição referente à vazão de diluição, as demais restrições consideradas não resultaram em impactos consideráveis sobre o atendimento às demandas estabelecidas.

Os resultados obtidos para os nós de demanda referentes ao reservatório e às turbinas demonstram um não-atendimento a essas demandas em todos os cenários simulados, o que pode ser explicado pelo intervalo da série hidrológica considerado, neste trabalho, de 20 anos, em que podem ter ocorrido períodos de maior estiagem nos quais as demandas não foram totalmente atendidas, já evidenciando a recorrência de possíveis conflitos de uso da água na bacia.

A influência da inserção do critério vazão de diluição, referente ao objetivo legal-normativo, considerando-se um enquadramento dos corpos d'água da bacia do rio Preto referente à classe 2, com limites descritos na Resolução 357/2005 do CONAMA, é evidenciada pelos altos valores de não atendimento às demandas obtidos nos cenários em que esse critério foi considerado, sendo esse critério preponderante na simulação final da situação atual da bacia hidrográfica com todas as restrições propostas.

Ressalta-se, também, que, mesmo na simulação do cenário da bacia hidrográfica em sua situação prístina, observa-se o não-atendimento ao critério qualitativo (representado pela vazão de diluição) em relação à concentração de fósforo total, uma situação em que o fósforo encontra-se naturalmente presente nos corpos hídricos da bacia do rio Preto. Essa situação simulada mostra quão rigoroso pode ser, às vezes, um critério normativo dessa natureza.

8.3 Avaliação de critérios e indicadores

Após a simulação dos cenários de alocação de água para a bacia do rio Preto, tendo como restrições os critérios estabelecidos, partiu-se para a etapa de verificação e consolidação desses critérios e indicadores para o caso de estudo. Primeiramente, avaliando-se sua aplicabilidade com base nos resultados apresentados na Tabela 8.2 e, após verificada a pertinência de sua utilização, passou-se a suas apresentação e discussão junto a especialistas em recursos hídricos. No caso do presente trabalho, recorreu-se a especialistas de outorga e regulação da Agência Nacional de Águas – ANA.

A discussão junto aos especialistas buscou avaliar os critérios e indicadores utilizados para a bacia do rio Preto sob as perspectivas de sua aplicabilidade, custos potenciais de implantação, estratégias de operação, aplicação em outras bacias hidrográficas, etc. Para embasar a discussão, elaborou-se um documento explicativo contendo um resumo da metodologia desenvolvida para definição dos critérios e indicadores para o caso de estudo, bem como a tabela contendo os resultados das simulações (apêndice A). O texto foi enviado antes da reunião para os especialistas a fim de possibilitar sua análise prévia.

Após uma breve apresentação do texto e dos resultados obtidos, a discussão conjunta com especialistas em recursos hídricos seguiu no sentido de se avaliar se cada objetivo proposto na metodologia apresentada foi atendido pelos critérios e indicadores selecionados. As avaliações e as recomendações feitas pelos especialistas foram registradas ao longo da discussão e consideradas na finalização do presente trabalho.

Como conclusão da etapa de consulta aos especialistas acerca da aplicabilidade e eficácia dos critérios e indicadores selecionados, obteve-se uma avaliação positiva da metodologia proposta e sua pertinência para o caso de estudo. Foi, ainda, ressaltada a importância de se desenvolverem novos trabalhos que busquem avaliar as condições de entrega em corpos d’água de diferentes dominialidades considerando os usos múltiplos das águas no gerenciamento dos recursos hídricos.

Após a reunião, as sugestões elencadas foram incorporadas ao fluxograma referente à metodologia geral de definição de condições de entrega para aplicação em qualquer outra bacia hidrográfica (Figura 8.3). Considera-se esse fluxograma como a contribuição mais significativa desta pesquisa.

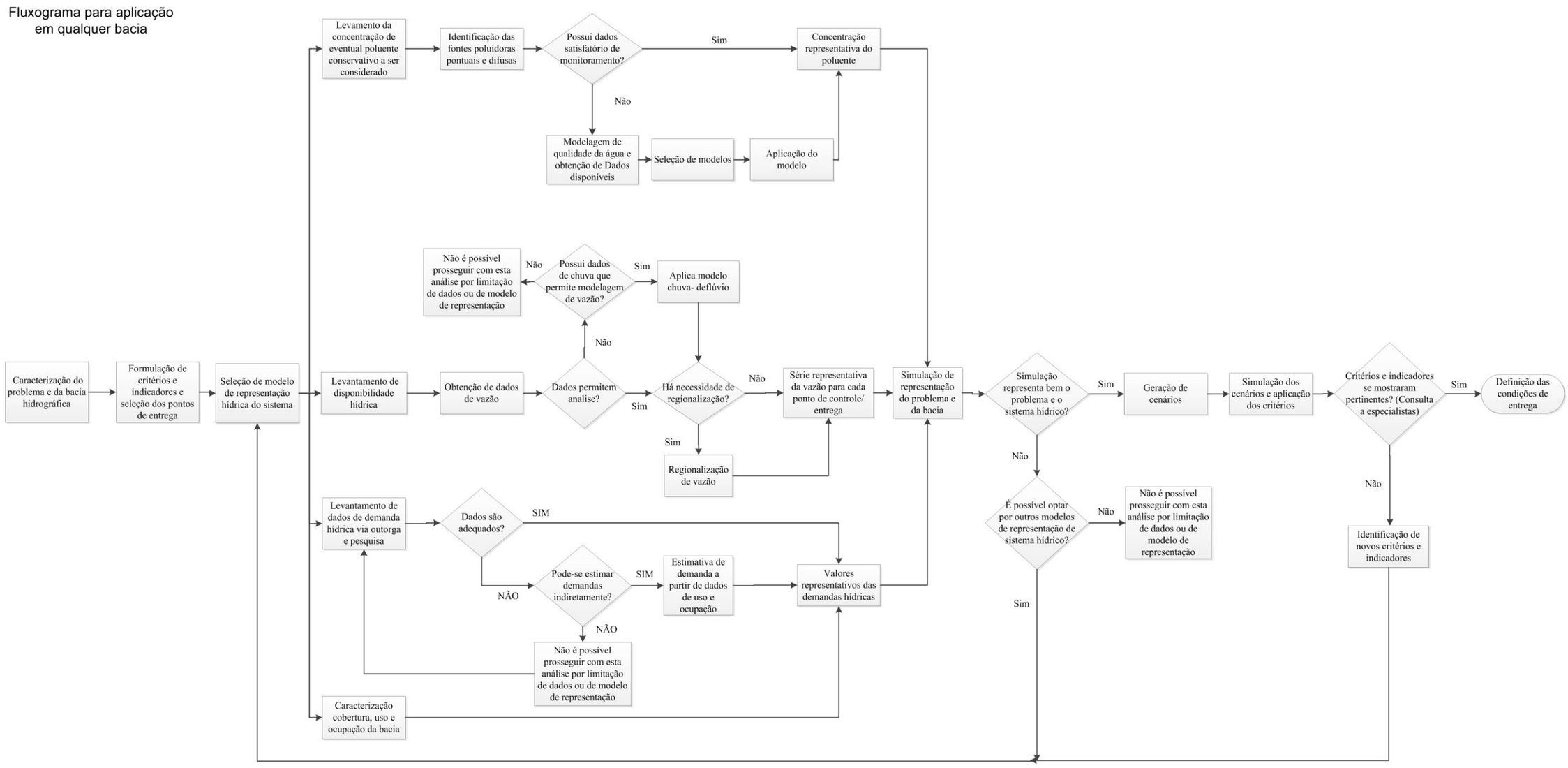

Figura 8.3 – Fluxograma consolidado da metodologia para aplicação em qualquer bacia hidrográfica.

9- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A motivação para elaboração do presente trabalho teve por base os princípios estabelecidos na Constituição Federal de 1988 e na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/97) de reconhecimento da água como bem de domínio público e um recurso natural limitado e a possibilidade de regulação, existente no Brasil, de definição de requisitos de vazão mínima e de concentração máxima de poluentes na transição de corpos de água de domínio estadual para os de domínio federal.

Buscando desenvolver uma abordagem metodológica que pudesse ser adotada para a definição de requisitos de vazões mínimas em transições de corpos d'água de domínios diferentes, sempre se levando em conta o ponto de vista do órgão gestor de recursos hídricos, a análise crítica sobre algumas experiências internacionais na definição de requisitos de entrega de vazões mínimas entre unidades políticas diferentes permitiu levantar informações sobre como esses processos de gestão foram organizados e quais foram os procedimentos adotados para a definição dos limites estabelecidos nos casos estudados, bem como permitiu avaliar a forma como foram implantados tais limites.

A caracterização das condições hidrológicas e de uso da água na bacia do rio Preto, escolhida como caso de estudo e compartilhada entre o Distrito Federal e os estados de Goiás e Minas Gerais, e das situações de transição de dominialidade nessa bacia permitiu avaliar os dados mínimos necessários ao desenvolvimento de uma proposta de vazões mínimas a ser adotada como instrumento de regulação.

A utilização de dados secundários para determinação da disponibilidade e das demandas hídricas na bacia mostrou-se pertinente ao objetivo proposto de se estabelecerem limites de utilização que garantam a permanência de água em quantidade suficiente aos usos atuais e das futuras gerações bem como em respeito aos limites ambientais. Os dados de disponibilidade hídrica gerados a partir de séries de vazões naturais de estações presentes na bacia hidrográfica foram considerados suficientes aos processamentos necessários para a metodologia proposta e fornecem uma boa representação da situação hídrica na bacia. Os dados de demandas hídricas, obtidos de estudos anteriores e junto à ANA, representam a configuração atual dos usos múltiplos na bacia hidrográfica e permitem fazer inferências

sobre os usos futuros na mesma, auxiliando a criação de possíveis cenários a serem considerados quando da definição e limites de vazão a serem respeitados.

O uso do conceito de vazão de diluição para consideração da demanda referente à manutenção da qualidade de água para usos atuais e futuros, bem como para manutenção dos ecossistemas, permitiu tratar, em termos quantitativos, uma demanda qualitativa referente ao lançamento de efluentes no curso d'água. No caso de estudo, o fósforo foi o poluente selecionado por sua importância na bacia do rio Preto. A utilização desse artifício para transformar uma demanda qualitativa em quantitativa (em termos de vazão, como as demais demandas) permitiu comparar a influência de cada uma dessas demandas sobre a bacia hidrográfica e verificar que, para alguns dos pontos de entrega selecionados, a demanda para diluição do efluente considerado é maior que as demais presentes, evidenciando-se a influência do uso do solo na bacia hidrográfica, eminentemente agrícola, como fator preponderante a ser utilizado na definição das vazões mínimas remanescentes para essas regiões.

A definição dos critérios de restrição a serem considerados no caso de estudo e seus respectivos indicadores foi realizada levando-se em conta as características da bacia hidrográfica e os dados disponíveis. Dessa forma, foram criados critérios que buscaram refletir as condições de uso da água na bacia do rio Preto, a partir de suas principais demandas e indicadores de fácil mensuração, que puderam garantir a aplicabilidade de tais critérios e que tivessem aceitabilidade junto aos órgãos gestores existentes nos entes federados que compõem a bacia.

A utilização do modelo Acquanet, como procedimento de simulação, mostrou-se pertinente para a aplicação do instrumento regulatório proposto. O aplicativo se mostrou viável para a representação do sistema hídrico de forma coerente aos objetivos propostos, permitindo representar de forma simples e acurada a disponibilidade hídrica, as demandas existentes na bacia, bem como os pontos de entrega/controle delimitados e os dados de operação do reservatório da UHE Queimado, possibilitando a geração de cenários e a inclusão de diferentes critérios de restrição, gerados ao longo do trabalho.

Dentre as vantagens na utilização do modelo Acquanet estão seu constante aperfeiçoamento pela equipe do LabSid, da Escola Politécnica da Universidade de São

Paulo – EPUSP, e sua crescente utilização em trabalhos desenvolvidos na área de recursos hídricos. A possibilidade de se trabalhar com dados mensais consta como outra vantagem do modelo, possibilitando tratar os dados de forma variável ao longo do período de simulação, considerando-se os períodos de chuva e seca, e permitindo considerar critérios de gestão baseados na variabilidade natural do ciclo hidrológico e que buscam aproximar-se mais do hidrograma de vazões naturais da bacia.

Relembra-se que, no entanto, trabalhou-se apenas como o módulo de alocação de água do Acquanet, inclusive na consideração da concentração de poluentes, no caso de estudo, o fósforo, com a utilização dos dados referentes à vazão de diluição.

No decorrer de futuros trabalhos, pode ser constatada a necessidade de se recorrer a alguma adaptação/complementação das simulações do aplicativo, para levar em conta variáveis não simuladas pelo modelo (como, por exemplo, a chuva acumulada desde o início do ano hidrológico) e que representem novos critérios e indicadores a serem considerados. Assim, sugere-se que sejam avaliadas alternativas de modelos hidrológicos que possam abarcar as demandas que possam surgir e que possam ser utilizados de forma associada ao Acquanet.

A etapa de consulta aos especialistas em recursos hídricos da Agência Nacional de Águas, após a definição dos critérios a serem testados e a simulação de sua aplicação ao caso de estudo, endossou a aplicabilidade e eficácia dos critérios e indicadores selecionados para o caso de estudo a partir de uma avaliação positiva da metodologia proposta. As considerações e ressalvas, bem como a importância de se desenvolverem novos trabalhos que busquem avaliar as condições de entrega, levantadas por parte desses gestores, foram coerentes às já levantadas ao longo do trabalho e serviram de base para a reflexão sobre como incluir os demais agentes atuantes na bacia hidrográfica no processo de construção dos critérios e indicadores, tornando a gestão dos recursos hídricos mais participativa.

A aplicação da metodologia proposta na bacia hidrográfica do rio Preto permitiu verificar as potenciais zonas de conflitos pelo uso da água nessa bacia e quais os usos preponderantes a serem monitorados ao longo do processo de definição de vazões mínimas remanescentes. Por ser uma bacia hidrográfica compartilhada por dois estados e o Distrito Federal, as políticas de outorga diferentes em cada um deles fazem com que o

monitoramento e a fiscalização dos usos em cada trecho da bacia tenham de ser discutidos entre os diferentes órgãos gestores, constituindo um desafio na formulação de eventuais instrumentos regulatórios que possam normatizar condições de uso da água na bacia.

Por ser uma bacia hidrográfica na qual a urbanização não se apresenta como fator predominante de uso do solo, a proposta de gestão dos recursos hídricos da bacia do rio Preto, a partir do estudo realizado, em conjunto a políticas de ordenamento da ocupação do solo e de atividades agrícolas, configura-se como alternativa prioritária para prevenção de conflitos pelo uso da água em regiões da bacia onde esses ainda não estão instalados.

A definição de requisitos de vazões mínimas na transição de corpos de água estaduais para federais constitui-se em mecanismo ainda não adotado no país. O ato de regulação pelo estabelecimento de metas de atendimento entre União e Estados, de forma cooperativa e voluntária, evidencia a perspectiva de que haja uma demanda crescente por esse dispositivo regulatório.

A metodologia proposta no âmbito desta dissertação objetivou, assim, desenvolver, à luz do normativo existente, da experiência de outras regiões e países, do recurso a técnicas de simulação e de auxílio à decisão e de um caso de estudo, uma abordagem, suscetível de ser adotada pelas instâncias reguladoras, para definição técnica de requisitos de vazões mínimas nas transições de corpos d'água perenes e de domínios diferentes. Dessa forma, buscou-se, de forma objetiva, demonstrar passos metodológicos passíveis de serem seguidos e replicados em outras bacias hidrográficas, sendo consolidada em um fluxograma capaz de ser adaptado às especificidades existentes em outros casos de estudo.

Ressalta-se que, devido a limitações inerentes a um trabalho como o proposto, é recomendável, para futuros trabalhos, melhorar a representação da bacia hidrográfica a partir de dados mais completos e modelos mais robustos que permitam avaliar as diferentes dinâmicas da bacia em sua totalidade, considerando as mudanças dos usos do solo nas simulações e na geração de critérios e indicadores mais completos.

À construção de critérios e indicadores mais refinados, buscando mais bem representar os objetivos propostos de uso da água para cada bacia hidrográfica (a exemplo dos criados para a bacia do rio Preto: ambiental/ecológico, legal-normativo, econômico e social), pode-

se somar a adoção de novos objetivos e critérios, tais como a adoção de um critério, o hidro-meteorológico, que permitiria a inserção de uma variável climática na tomada de decisão, considerando-se as mudanças no regime de cheia e estiagem promovidas por fenômenos de longo e curto prazo, como El Niño e La Niña ou por outras situações de exceção. Poder-se-ia, ainda, adotar critérios pertinentes aos usos da água que sejam relevantes a outras bacias hidrográficas, tais como necessidade de se manter calado para navegação, níveis de água que permitam o desenvolvimento da produção para aquicultura, etc.

Ressalta-se a necessidade de se desenvolverem novos estudos na área de gestão de recursos hídricos que envolvam aspectos relativos à outorga em cursos d'água intermitentes, a exemplo dos existentes no semiárido, cuja gestão envolve aspectos não abrangidos neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amorim, F. B.; LUZ, L. D. (2007). "Regime de vazões ecológicas: garantia da biodiversidade fluvial". In: *Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Belo Horizonte, Brasil.

Anjos, E. F. S., Borges, M. N. e Ferreira, V. A. P. (1989). Uso do solo e cargas de nutrientes nas bacias hidrográficas do Lago Paranoá e São Bartolomeu. *4ª Conferência Técnica*. Companhia de Água e Esgoto de Brasília, 49 – 61, Brasília, Brasil.

Arthington A.H., King J.M., O'Keefe J.H., Bunn S.E., Day J.A., Pusey B.J., Bluhdorn D.R. & Tharme R. (1992). "Development of an holistic approach for assessing environmental flow requirements of riverine ecosystems." In: Pigram, J. J. & Hooper, B.P.. *Proceedings of an International Seminar and Workshop on Water Allocation for the Environment.* Armidale, USA, Centre for Water Policy Research, University of New England. 69-76.

Azevedo, L.G.T., Porto, R.L.L. e Zahed Filho, K. (1997). "Modelos de simulação e de rede de fluxo". In: PORTO, R.L.L. (Ed.). *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Editora Universidade/UFRGS/ABRH, Porto Alegre, Brasil, 165- 237.

Benetti, A. D; Lanna, A.E.; Cobalchini, M.S. (2003). "Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos,* **8** (2), 149-160.

Bernardo, S. (1995). *Manual de Irrigação.* Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais.

Bezerra, N. R. (2001). *Metodologias para definição de vazões mínimas garantidas em cursos de água*. Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH.DM-043A/01, Departamento

Brasil. (1988). Constituição 1988: Texto Constitucional de 5 de Outubro de 1988, com as alterações adotadas pelas Emendas Constitucionais n° 1/92 a 28/2000 e Emendas Constitucionais de Revisão n° 1 a 6/2000 Brasil. Senado federal, Subsecretaria de Edições Técnicas.

Brasil. (1997). Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

Brasil. (2000). Lei 9.984, de 17 de julho de 2000.

Brasil. (2000). Decreto nº 3.692, de 19 de dezembro de 2000.

Brasil. (2004). *Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra Na Bacia Do São Francisco. Subprojeto 4.5C – Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco - PBHSF (2004-2013)*. Estudo Técnico De Apoio ao PBHSF – Nº 16 - Alocação De Água. ANA/GEF/PNUMA/OEA. Brasília, DF.

Brasil. (2005-A). *"Diagnóstico da Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no País - Diretrizes e Prioridades."* Agência Nacional de Águas, Cadernos de Recursos Hídricos, 75 p.

Brasil. (2005-B). "*Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil"*. Agência Nacional de Águas. Brasília. 118 p. Disponível em: < http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/documentos/01%20Disponibilidade%20e%20Demandas/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>. Acesso em 17 de março de 2009.

Brasil. (2007). "*Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no Brasil, e, Fiscalização dos usos de recursos hídricos no Brasil"*. Agência Nacional de Águas, Cadernos de Recursos Hídricos 4, 166 p.

CADC - Comissão para a Aplicação e o Desenvolvimento da Convenção de Albufeira (1998). *Convenção sobre Cooperação para a Protecção e o Aproveitamento Sustentável das Águas das Bacias Hidrográficas Luso-espanholas*. Albufeira, 15p. Disponível em: <http://www.cadc-albufeira.org/pt/convenios.html>. Acesso em: 26 abr. 2009.

Carneiro, P. J. R.; Maldaner, V.I.; Alves, P.F.; Queirós, I. A.; Mauriz, T. V.; Pacheco, R. F. (2007). "Evolução do uso da água na bacia do rio Preto no Distrito Federal". *Espaço & Geografia*. **10** (2), 325-353.

Carvalho, G.B.B. (2004). *Modelo de Avaliação Econômica para a Gestão da Água: Aplicação à Bacia do rio Descoberto no Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH. DM-067/2004, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 116p.

Collischonn, W.; Souza, C. F.; Priante, G. R.; Freitas, G. K.; Tassi, R.; Agra, S. G. (2006). Da vazão ecológica ao hidrograma ecológico. In: VIII Congresso da Água, 2006, Figueira da Foz. Água, sede de sustentabilidade.

Cruz, R, C. (2005). *Prescrição de Vazão Ecológica: Aspectos Conceituais e Técnicos para Bacias com Carência de Dados.* Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Dinnar, A., Rosegrant, M. W., e Meinzen-Dick, R. (1997). "*Water Allocation Mechanisms-Principles and Examples.*" World Bank. (Policy Reseach Working Paper 1779), Washinton.

DRBC, Delaware River Basin Commission (2008). *Administrative manual Part III water quality regulations with amendments through*. New Jersey, 140p. Disponível em: < http://www.state.nj.us/drbc/library/documents/WQregs.pdf >. Acesso em: 01 abr. 2009.

E.U.A. e Mexico (1974). Colorado River Basin Salinity Control Act. *Public Law*. Canada and United States, 10p. Disponível em: <http://www.usbr.gov/lc/region/g1000/pdfiles/crbsalct.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2009.

E.U.A. (2007). *Record of Decision Colorado River Interim Guidelines for Lower Basin Shortages and the Coordinated Operations for Lake Powell and Lake Mead.* Secretary of the Interior.

Ferguson, J. (1992). Colorado River Water Dispute (Colorado Case). *Ted Case Studies*, 1(1). Disponível em: <http://www1.american.edu/ted/colorado.htm>. Acesso em: 01 abr. 2009.

Freitas, M. A. d. S. (2003). "*Alocação negociada de águas na bacia hidrográfica do rio Gorutuba (Reservatório Bico da Pedra) - Minas Gerais.*" Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Marcos%20Airton%20de%20S.%20Freitas/Aloca%E7%E3o%20negociada%20de%20%E1guas.pdf>. Acesso em: 28 de março de 2009.

Frota, P. V. (2006). *Propostas para Gestão Integrada de Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica no Rio Jardim - DF*. Dissertação (mestrado). Universidade de Brasília – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, DF, 155 p.

Galvão, D. M. de O. (2008). *Subsídios à Determinação de Vazões Ambientais em Cursos D'Água Não Regulados: o Caso do Ribeirão Pipiripau (DF/GO)*. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. Publicação PPGEFL.DM-096/08. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 219 p.

Gonçalves, M. V. C. (2003). *Metodologia para Determinação de Vazões Mínimas Garantidas em Cursos D'água*. Dissertação de Mestrado, Publicação MTARH.DM-061 A/03, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 127p.

Kelman, J.; Kelman, R. (2001). "Alocação de água para produção econômica em região semiárida." *In*: Magrini, A; Santos, M. A. *Gestão ambiental de bacias hidrográficas*, COPPE/UFRJ, ed., Rio de Janeiro.

Lanna, A. E. (2000). "Introdução." In: Porto, R. L. *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos.* UFRGS e ABRH, Porto Alegre, 15-41.

Lopes, A. V.; Freitas, M. A. d. S. (2007). "A alocação de água como instrumento de gestão de recursos hídricos: experiências brasileiras." *Revista de Gestion del Agua de America Latina - REGA*, **4**(1), 5-27.

Machado, B. G. F. (2009). *Análise econômica aplicada à decisão sobre alocação de água entre os usos de irrigação e produção de energia: o caso do rio Preto*. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, DF. 149 p.

Nevada (2006). *Law of the Rivers*: *The legal regimes of major interstate river systems of the United States*. Colorado River Commission of Nevada, Las Vegas, Nevada, EUA. Disponíveis em: < http://crc.nv.gov/docs/Laws_of_the_Rivers.pdf >. Acesso em: 15 de março de 2009.

Nevada (2008). *Words major Rivers*: *An introduction to international water law with case studies*. Colorado River Commission of Nevada, Las Vegas, Nevada, EUA. Disponíveis em: <http://crc.nv.gov/docs/Worlds_Major_Rivers.pdf>. Acesso em: 15 de março de 2009.

OECD - Organization for Economic Cooperation and Development. (2003). *"OEDC enviromental indicators. Development, measurament and use."* http://w.w.w.oecd.org/env/ em 15 de janeiro de 2009.

ONS (2008). Sítio Institucional do Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: <www.ons.org.br>. Acesso em: 07 de maio 2009.

Pelissari, V. B. (2000). *Vazão ecológica de rios: Estudo de caso: Rio Timbuí, Santa Teresa, ES*. 151p. Dissertação de Mestrado: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFES.

Pimentel, C. E. B. (2006). *Relatório de Avaliação Ambiental, Barragem Missi*. PROÁGUA Financiamento Adicional, Ceará, Brasil, 27p.

PNUD (2006). "Gestão dos recursos hídricos transfronteiriços". In: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD (eds.) *Relatório do Desenvolvimento Humano 2006*. Brasil, 201-231.

Poff, N.L., Allan, J.D.; Bain, M.B.; Karr, J.R.; Prestegaard, K.L.; Richter, B.D.; Sparks, R.E.; Stromberg, J.C. (1997). *The natural flow regime - a paradigm for river conservation and restoration*. BioScience **47**: 769-784.

Porto, R. L. L. e Azevedo, G. T. (1997). "Sistemas de suporte a decisões aplicados a problemas de recursos hídricos" In: Porto, R. L. L. (org.). *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*, Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, Brasil, 43 - 95.

Porto, R. L. L, Evsukoff, A. G., Ebecken, N. F. F. e Villanueva, A. (2003). Métodos Numéricos em Recursos Hídricos 6. Coppetec, Porto Alegre.

Porto, R.L.L., Méllo Junior, A.V., Roberto, A.N. (2005). AcquaNet: Arquitetura, Estratégias e Ferramentas. *XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, João Pessoa, Brasil.

Porto, M. F. A.; Porto, R L. L. (2008). Gestão de bacias hidrográficas. *Revista Estudos Avançados*, **22** (63), 43-60. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200004&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 de Abril de 2009.

Portugal (1999). *Resolução da Assembleia da República n°66/9,* de 19 de junho de 1999.

Portugal (2007). *Seminário "Água: uma Responsabilidade de Todos"*. Discurso do Ministro do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional na Sessão de Abertura. Universidade Internacional Menéndez Pelayo Santander, 27 a 31 de Agosto de 2007.

Reyes, D. A. P. (2009). *Metodologia Multiobjetivo e Multicritério de Auxílio à Outorga de Recursos Hídricos: Aplicação ao Caso da Bacia do Rio Preto.* Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação MTARH.DM-120/2009, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 163p.

Sarmento, R. (2007a). *Termo De Referência Para A Elaboração De Estudos Sobre A Vazão Ecológica Na Bacia Do Rio São Francisco*. Produto 3 - Referência: Edital n. 05 do ano de 2006, PROJETO 704BRA2041 da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO.

Sarmento, R. (2007b). *Estado da arte da vazão ecológica no Brasil e no mundo*. Produto 2 - Relatório do Projeto 704BRA2041 da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO. UNESCO/ANA/CBHSF. 38p.

Savenije, H. H. G., Van Der Zaag, P. (2000). "Conceptual framework for the management of shared river basins; with special reference to the SADC and EU." *Water Policy*, 2(1-2), 9-45.

Schardong, A. (2006). *Aplicação de técnicas de programação linear e extensões para otimização da alocação de água em sistemas de recursos hídricos, utilizando métodos de pontos interiores*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 141p.

SEINFRA-DF (2006). "*Plano de Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos do Distrito Federal – PGIRH /DF*." Consórcio GOLDER/FAHMA, Belo Horizonte - MG.

Silva, D. D; Pruski, F. F. (2000). *Gestão de Recursos Hídricos: Aspectos Legais, Econômicos, Administrativos e Sociais*. Brasília: Secretaria Recursos Hídricos. 659 p.

Silva, L. M. C. (2006). Gerente de Outorga da ANA. *Apresentação na Oficina de Vazão Ecológica: Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco*: 24-25 de Novembro de 2006, CBHSF.

Silva, L. M. C. (2008). Gerente de Outorga da ANA. *Apresentação no curso de Gestão da Qualidade da Água: Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos*. Brasília, 08 a 11 de dezembro de 2009.

Silva, G. F. (2012). *Avaliação de poluentes na transição de corpos de água de domínio estadual para os de domínio federal: avaliação da carga de fósforo na bacia do rio Preto (DF/GO/MG)*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM–140/2012, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 141p.

SisCAH 1.0 (2009). *Manual SisCAH – Sistema Computacional para Análises Hidrológicas.* Brasílis, DF: ANA; Viçosa, MG: UFV. 2009

Tucci, C. E. M. (2005). *Modelos Hidrológicos.* Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, Brasil, 678 p.

UNESCAP (United Nations, Economic and Social Comission for Asia and the Pacific) (2000). *Principles and Practices of Water Allocation among Water-Use Sectors*. Water Resources Series n° 80, Bangkok, Tailândia.

Vedovoto, G. L. (2002). *Gestão de Recursos Hídricos nas Bacias Hidrográficas de Rios Federais: Impasses e Perspectivas no Processo de Criação do Comitê de Bacia*

Hidrográfica do Rio Paranaíba. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, DF, 148p

Von Sperling, M. (2005). *Introdução à qualidade da água e tratamento de esgotos*. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 243p.

Wang, L. (2005). "*Cooperative Water Resources Allocation among Competing Users*" University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.

WWF. (2007). *Celebrating the Danube: Living river or shipping Lane*. Disponível em: http://www.panda.org/who_we_are/wwf_offices/austria/news/?uNewsID=107780

APÊNDICE

AVALIAÇÃO DOS INDICADORES JUNTO AOS ESPECIALISTAS

UnB - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
ENC - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PTARH – PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS

DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS E INDICADORES COMO SUPORTE AO DESENVOLVIMENTO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS

Mestranda: Izabela Helena Vicentini Aquino
Orientador: Oscar de Moraes Cordeiro Netto
Brasília/DF Dezembro/2010

1 – Apresentação

A presente consulta a especialistas tem como objetivo dar suporte à definição de critérios e indicadores como parte da definição requisitos de vazão mínima na transição de corpos de água de domínio estadual para os de domínio federal, tema de desenvolvimento da dissertação de mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos. Como caso de estudo para aplicação dos critérios e indicadores apresentados, selecionou-se a bacia hidrográfica do rio Preto (DF/GO/MG).

A motivação para elaboração do trabalho tem base no disposto no Decreto 3692/2000, que registra, como parte da atribuição de regulação da ANA, a possibilidade de definição de requisitos de vazão mínima e de concentração máxima de poluentes na transição de corpos de água de domínio Estadual para os de domínio Federal, atribuição essa definida como premissa básica da atividade de fiscalização (Resolução ANA nº 082/2002).

Dessa forma, objetiva-se desenvolver uma abordagem metodológica, suscetível de ser adotada para definição de requisitos de vazões mínimas nas transições de corpos d'água de domínios diferentes (estadual/distrital e federal), considerando-se o ponto de vista do órgão gestor de recursos hídricos. Promoveu-se uma aplicação específica para o caso de cursos d'água da bacia do rio Preto, entre Distrito Federal, Goiás e Minas Gerais (Figura 1).

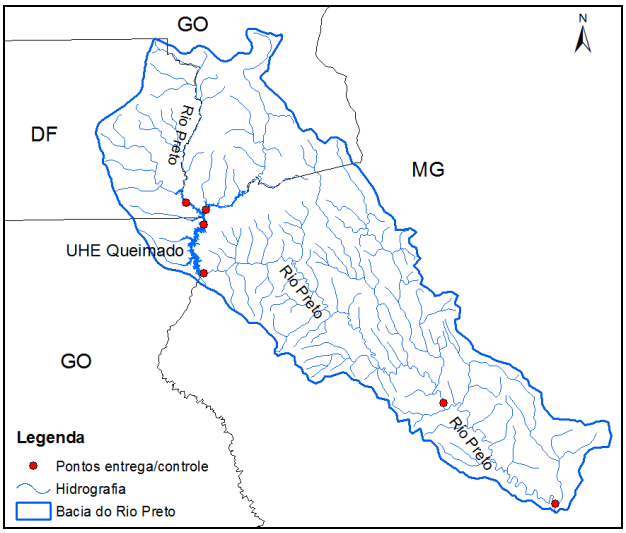

Figura 1: Bacia do rio Preto.

Assim, por se tratar de pesquisa cuja essência é a formulação de critérios para definição e implementação de condições de transição de dominialidade de cursos d'água, a formulação e a verificação desses critérios englobam não só a análise da experiência de outros países e casos de estudo, mas, também, a discussão com gestores de recursos hídricos para a construção de um modelo conceitual sobre a questão, que possibilite o teste do modelo e dos critérios em um caso de estudo selecionado.

2 – Contexto da Análise

Para a definição dos requisitos de vazão mínima de entrega de corpos d'água de domínio estadual para os de domínio federal, a análise das zonas de transição entre as diferentes dominialidades é essencial para a determinação dos pontos de controle e monitoramento para os quais os valores de vazão mínima serão estabelecidos. A definição desses pontos de controle não possui uma metodologia pré-estabelecida e dar-se-á conforme as características da bacia hidrográfica de interesse. Para o caso de estudo da bacia do rio Preto, os pontos de controle foram assim delimitados: nas divisas entre o Estado de Goiás e o Distrito Federal, a montante da UHE Queimado, na entrada e na saída do reservatório da UHE Queimado, na confluência do rio Preto com o ribeirão Cana-Brava e na foz do rio Preto em sua confluência com o rio Paracatu. Os critérios e indicadores pré-selecionados para verificar as condições de transição devem ser de fácil monitoramento e possuir aceitação das instituições envolvidas no processo de gestão do recurso hídrico a ser monitorado.

A caracterização das condições hidrológicas e de uso da água, realizada com base em séries históricas, constitui a base preliminar para a aplicação da abordagem metodológica proposta para obter a definição de vazões mínimas de entrega na bacia do rio Preto, com objetivo de determinar os valores mínimos necessários ao atendimento dos usos atuais na bacia hidrográfica e os valores necessários à garantia de quantidade e qualidade suficientes ao uso atual e das futuras gerações, além da preservação dos ecossistemas.

3 – Seleção de critérios e indicadores

A definição de valores de vazão mínima nos corpos d'água depende dos contextos hidrológico, sanitário, ecológico e econômico do corpo hídrico em questão (Bezerra, 2001). Com base nos contextos acima destacados, criou-se uma proposta de se utilizarem quatro critérios essenciais a serem considerados na definição dos valores de vazão mínima para cada um dos pontos de controle selecionados: ambiental/ecológico, legal-normativo, econômico e social. Pode-se adotar um quinto critério, o hidrometeorológico, que permitiria a inserção de uma variável climática na tomada de decisão.

3.1 Objetivo ambiental/ecológico

A abordagem proposta busca avaliar condições de entrega no contexto de avaliações preliminares, com base em dados secundários. Desse modo, o indicador dependerá da disponibilidade de informações. No caso do rio Preto, optou-se por utilizar um método hidrológico para a definição da vazão ecológica a ser considerada para a bacia do rio Preto tendo como base as médias mensais para a bacia em questão, obtendo-se valores que buscam aproximar-se mais do hidrograma de vazões naturais da bacia e não apenas a determinação de um único valor constante ao longo do ano hidrológico.

Critério ambiental	Indicador
Médias mensais	Freqüência em que determinada porcentagem da

	média é respeitada

Para as simulações desse critério, definiu-se como valor de restrição 20% da vazão média mensal, conforme utilizado em estudo para delimitar a vazão ecológica para a bacia hidrográfica do rio São Francisco (Brasil, 2004).

3.2 Objetivo legal-normativo

Para atender ao objetivo legal-normativo, deve ser considerada a legislação pertinente à outorga nos estados abrangidos pela bacia hidrográfica do rio Preto, além da legislação federal. Os diferentes órgãos gestores estaduais adotam critérios de outorga de uso de recursos hídricos que variam quanto aos valores de vazões de referência e aos percentuais outorgáveis, de acordo com as características regionais e os planos e políticas de gestão. Dessa forma, foram utilizados os percentuais máximos de outorga permitidos em cada um dos estados para delimitar o valor da vazão mínima remanescente em cada um dos pontos de controle segundo esse critério. Ainda dentro desse objetivo e levando em consideração, também, os critérios sanitários do curso d'água, buscou-se atender ao enquadramento dos cursos d'água segundo a Resolução CONAMA nº 357, utilizando-se o conceito de vazão de diluição para cálculo da vazão necessária para diluir os efluentes lançados no curso d'água, permitindo obter valores de vazão que devem ser mantidos no curso d'água para que não haja comprometimento qualitativo que altere o enquadramento. Para a bacia do rio Preto, utilizou-se o fósforo como parâmetro de estudo por se tratar de uma região de produção agrícola e pela existência do risco de eutrofização do reservatório da UHE Queimado.

Critério legal-normativo	**Indicador**
Vazões de referência estabelecidas na legislação	Freqüência em que o valor limite não foi respeitado
Vazão de Diluição	Freqüência em que a vazão no trecho foi inferior à necessária para atender à Resolução Conama n° 357

Para calcular a vazão de diluição, utilizou-se a fórmula apresentada por Silva (2008), considerando a classe 2 do enquadramento da Resolução Conama nº357:

$$Qdil = Qef \times \frac{Cef. - Cperm.}{Cperm. - Cnat.}$$

Em que:

Qdil: vazão de diluição para determinado parâmetro de qualidade;

Qef: vazão do efluente que contém o parâmetro de qualidade analisado;

Cef: concentração do parâmetro de qualidade no efluente;

Cperm: concentração permitida do parâmetro de qualidade no manancial onde é realizado o lançamento;

Cnat: concentração natural do parâmetro de qualidade no manancial onde é realizado o lançamento.

3.3 Objetivo econômico

Para atendimento ao objetivo econômico, devem ser analisados os usos econômicos da água na bacia hidrográfica e adotado um percentual de falha ou de não-atendimento às demandas que seja considerado aceitável. Para a bacia do rio Preto, as demandas econômicas consideradas foram as relativas à geração de energia na UHE Queimado e às demandas para irrigação, essa última dividida entre demanda para irrigação por aspersão e por utilização de pivôs centrais.

Critério econômico	**Indicador**
Demandas para geração de energia e irrigação	Freqüência em que a demanda não foi atendida

3.4 Objetivo social

Para atender ao objetivo social, são levadas em consideração as demandas para abastecimento humano. Pode-se incluir, nesse objetivo, ainda, os usos considerados como de maior benefício para a sociedade, como a geração de renda para parcelas específicas da população. Na bacia do rio Preto foram levadas em consideração as demandas para abastecimento humano e, como ponto complementar, as demandas para agricultura familiar.

Critério social	**Indicador**
Demandas para abastecimento humano e uso social	Freqüência em que a demanda não foi atendida

3.5 Objetivo hidrometeorológico

Pode-se adotar, ainda, um quinto critério a ser atendido, o critério hidrológico que pode ser definido como na *Convenção Albufeira* (entre Portugal e Espanha - 1998), em que são considerados valores diferentes para delimitação das vazões mínimas de entrega, a depender da precipitação de referência acumulada do início do ano hidrológico, adotando-se um valor de referência para anos em que as condições sejam consideradas normais e outro valor para períodos de exceção, seja por estiagem ou mesmo em períodos de cheia. Para a bacia do rio Preto, poder-se-ia estabelecer valores de vazões para períodos de estiagem que viabilizem a criação de eventuais critérios de racionamento entre os diversos usos na bacia.

3.6 Agregação dos critérios

Por se tratarem de restrições quantitativas, a definição das vazões mínimas de entrega dar-se-á pela agregação dos hidrogramas gerados para cada critério proposto, gerando um hidrograma de restrição único para cada trecho da bacia do rio Preto. Para alguns critérios (ex. *hidrometeorológico* e legal-normativo) a agregação dos valores dar-se-á pela seleção do hidrograma mais restritivo, enquanto que, para outros critérios deve-se considerar a soma dos hidrogramas de restrição (ex. ambiental e sanitário), na geração do hidrograma final.

Para avaliação das restrições geradas e da agregação dos critérios, será utilizado o módulo de alocação de água do programa *Acquanet*, que possibilita analisar o atendimento às restrições e às demandas definidas.

4 – Simulações

Após a definição dos critérios a serem testados, parte-se para a simulação de sua aplicação ao caso de estudo, no caso a bacia do rio Preto, com a definição dos pontos de controle dos critérios selecionados e com a utilização do *Acquanet*, tendo como dados de entrada os parâmetros referentes à configuração atual da bacia hidrográfica obtidos junto à ANA e ONS (dados hidrológicos – vazões naturais, volume do reservatório, demandas outorgadas) e IBGE (dados de população), além do levantamento de dados e estudos feitos no âmbito de outras pesquisas desenvolvidas no PTARH/UnB.

As simulações efetuadas levaram em consideração as demandas estabelecidas na bacia hidrográfica do rio Preto e sua hierarquização de atendimento seguindo as prioridades de abastecimento elencadas na PNRH. Assim, as demandas para abastecimento humano tiveram prioridade de alocação de água maior que as para irrigação, por exemplo. O módulo de alocação de água do *Acquanet* permite elencar as prioridades em classes de 1 a 99, sendo a prioridade 1 aquela a ser atendida primeiramente. A representação do sistema hídrico utilizada como base das simulações é apresentada na Figura 1.

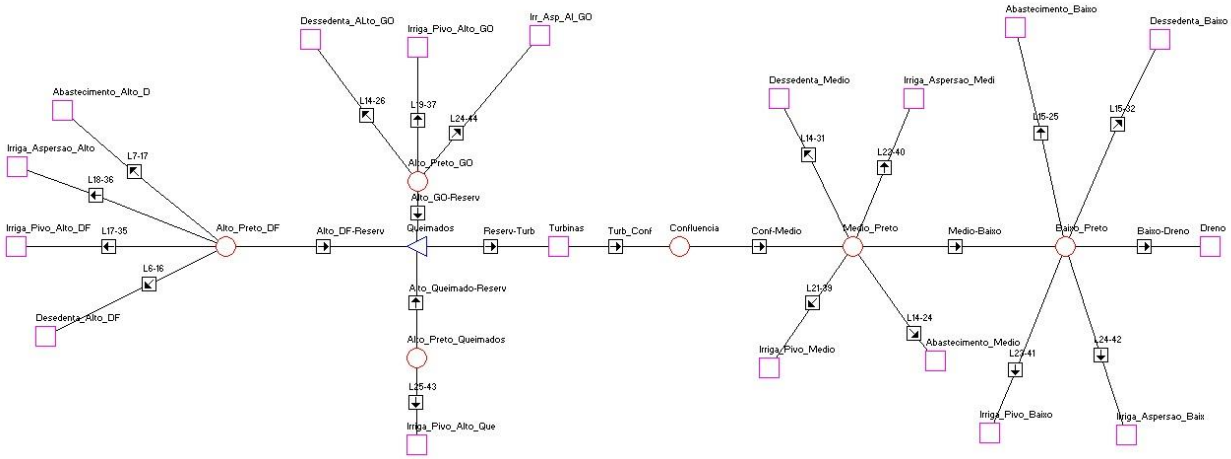

Figura 1: representação do sistema hídrico da bacia do rio Preto.

A **primeira avaliação** dos critérios estabelecidos se dá por meio da simulação da situação de referência (configuração atual), com as demandas estabelecidas na bacia do rio Preto e o reservatório da UHE Queimado, sem a inclusão de nenhuma restrição de uso.

A **segunda simulação** considera a bacia hidrográfica em sua situação pristina, sem inclusão de demandas, com o objetivo de gerar dados que possam ser comparados com os demais cenários e que permitam avaliar a influência de cada demanda sobre o sistema e a pertinência das restrições geradas para a definição das vazões mínimas de entrega.

A **terceira simulação** consiste na utilização dos dados de entrada referentes à situação atual da bacia, com as demandas estabelecidas e com a inclusão das restrições geradas pelos critérios selecionados.

Para efeito de comparação, as simulações foram efetuadas de modo a permitir avaliar o impacto de cada um dos critérios sobre as situações pristina e atual da bacia, sendo esses impactos apresentados em termos da frequência em que as restrições não foram respeitadas nos pontos de entrega estabelecidos (Tabela 1).

5 – Referências

Brasil. (2004). *Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra Na Bacia Do São Francisco. Subprojeto 4.5C – Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco - PBHSF (2004-2013)*. Estudo Técnico De Apoio ao PBHSF – Nº 16 - Alocação De Água. ANA/GEF/PNUMA/OEA. Brasília, DF.

Silva, Luciano Meneses C., (2008). Gerente de Outorga da ANA. *Apresentação no curso de Gestão da Qualidade da Água: Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos*. Brasília, 08 a 11 de dezembro de 2009.

Reyes, D. A. P. (2009). *Metodologia Multiobjetivo e Multicritério de Auxílio à Outorga de Recursos Hídricos: Aplicação ao Caso da Bacia do Rio Preto*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação MTARH.DM-120/2009, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 163p.

Tabela 1: Freqüência que as demandas não foram atendidas (% do tempo)							
Pontos de entrega	**Bacia Pristina Restrições legais-normativas**	**Situação Atual Restrições legais-normativas**	**Bacia Pristina Qdiluição (classe 2)**	**Situação Atual Qdiluição (classe 2)**	**Bacia Pristina Qecológica (20% da Qmédia mensal)**	**Situação atual Qecológica (20% da Qmédia mensal)**	**Situação atual com todas as restrições ***
Alto DF	0	0,79	7,14	8,33	0,00	0,79	10,32
Alto GO	0	0,00	50,40	79,37	0,00	0,00	79,37
Alto Queimados	0	0,79	0,00	0,00	0,00	0,79	0,79
Reservatório (Volume meta)	1,98	2,38	9,52	13,89	4,76	10,71	15,48
Turbinas	1,59	8,33	8,33	8,33	3,97	8,33	8,73
Médio Preto	0	0,00	1,98	2,38	0,00	0,00	3,17
Baixo Preto	0	0,00	0,40	0,40	0,00	0,00	0,40

* Valor de restrição obtido após a soma entre as restrições de vazões de diluição e vazões ecológicas com posterior comparação entre esse resultado e os valores de restrições legais-normativas, sendo os valores finais utilizados para simulação os máximos obtidos nessa comparação.