

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

**METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE VAZÕES
MÍNIMAS GARANTIDAS EM CURSOS D'ÁGUA**

MARCO VINÍCIUS CASTRO GONÇALVES

ORIENTADOR: SERGIO KOIDE

CO-ORIENTADOR: OSCAR DE MORAES CORDEIRO NETTO

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS**

PUBLICAÇÃO: MTARH.DM – 061A/03

BRASÍLIA/DF: SETEMBRO/2003

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

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

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE VAZÕES MÍNIMAS
GARANTIDAS EM CURSOS D'ÁGUA

MARCO VINÍCIUS CASTRO GONÇALVES

DISSERTAÇÃO 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 DE MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS.

APROVADA POR:

Prof. Sergio Koide, PhD (ENC – UNB)
(Orientador)

Prof. Oscar de Moraes Cordeiro Netto, Dr (ENC – UNB)
(Co-orientador)

Prof. Nabil Joseph Eid, Dr (ENC – UNB)
(Examinador Interno)

Prof. Carlos E. M. Tucci, PhD (UFRGS)
(Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF, 23 DE SETEMBRO DE 2003.

FICHA CATALOGRÁFICA

GONÇALVES, MARCO VINÍCIUS CASTRO	
Metodologia para Determinação de Vazões Mínimas Garantidas em Cursos D'água [Distrito Federal] 2003.	
xiii, 129p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2003).Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.	
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.	
1. Vazões mínimas garantidas	2. Suporte metodológico
3. Métodos p/ determinação da vazão mínima garantida	4. Vazão ecológica
I. ENC/FT/UnB	II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

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.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Marco Vinícius Castro Gonçalves

TÍTULO: Metodologia para Determinação de Vazões Mínimas Garantidas em Cursos D'água.

GRAU: Mestre

ANO: 2003

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 desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Marco Vinícius Castro Gonçalves

SQN 216, Bloco “A”, apto 209

CEP: 70.875-010 – Brasília/DF – Brasil.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Sergio Koide, pela orientação, paciência, discussões sempre muito proveitosas e pelas opiniões fundamentais no desenvolvimento desta dissertação.

Ao professor Oscar de Moraes Cordeiro Netto pela orientação e por acreditar na minha capacidade em desenvolver este trabalho.

Aos professores Cristina Célia Silveira Brandão, Marco Antônio Almeida de Souza, Nabil Joseph Eid, Néstor Aldo Campana e Ricardo Silveira Bernardes, por todos os conhecimentos transmitidos.

Aos colegas do Mestrado, Jucilene, Maria Betânia, Mercedes, Giordano, Maria da Paz, pelo companheirismo e solidariedade. Aos amigos de toda hora, Juliana, Marcelo, Jackson e Mônica pelos momentos divertidos que passamos em Brasília, pela cumplicidade e pelo constante incentivo.

Ao amigo Marcos Pufal, pela disposição em ajudar nos trabalhos de campo.

À CAESB pelas informações fornecidas. Em especial, ao engenheiro Gilberto pela imensa disposição em ajudar.

Aos meus irmãos, Luciana e Flávio, pelo carinho e pela torcida.

À minha mãe, Vera Lucia, por acreditar na minha capacidade e por me incentivar sempre a estudar.

À Andréia, minha esposa, pelo amor, carinho, paciência e pelo enorme apoio que me tem dado nas horas mais difíceis.

RESUMO

Autor: Marco Vinicius Castro Gonçalves

Orientador: Sergio Koide

Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Brasília, setembro de 2003

Os reservatórios de acumulação de água e a excessiva retirada de água dos rios provocam, a jusante, alterações no regime natural de vazões dos rios que são responsáveis, por sua vez, por impactos causados aos ecossistemas aquáticos. Com o objetivo de amenizar esses impactos, começaram a ser formulados, a partir dos anos 70 do século passado, métodos alternativos para a determinação de vazões mínimas garantidas. Essa vazão representa a quantidade mínima de água que deve ser mantida no leito do rio para a manutenção e conservação dos ecossistemas aquáticos de rios. No entanto, pouco se tem feito, no Brasil, no sentido de avaliar essas metodologias. Atualmente, as legislações relacionadas aos recursos hídricos limitam a vazão mínima a ser mantida nos rios brasileiros por meio de porcentagens da vazão mínima média de sete dias consecutivos com um tempo de retorno de 10 anos, a $Q_{7,10}$, ou da vazão que é igualada ou excedida em 90% do tempo, a Q_{90} , critérios que não consideram as necessidades da biota aquática presente nesses cursos d'água.

O presente trabalho avalia os métodos de determinação da vazão mínima garantida que têm sido utilizados em diversos países, descrevendo as metodologias, os conceitos teóricos, as limitações e as vantagens e desvantagens de cada um deles com o objetivo de estimular a discussão sobre a introdução de novos conceitos relativos à questão da vazão mínima garantida no Brasil. A partir desse levantamento, foi formulada uma nova estrutura para o Fluxograma Teórico de Avaliação (FTA) desenvolvido por Bezerra (2001). O FTA é um suporte metodológico com base em diagramas, que tem como objetivo indicar para o usuário do diagrama um ou vários métodos de determinação de vazão mínima garantida mais adequados, a partir da avaliação dos conflitos de uso da água existentes em uma bacia e da base de dados disponíveis.

O FTA foi testado em dois trechos localizados na bacia do rio São Bartolomeu, visando avaliar o desempenho do suporte metodológico e as dificuldades e problemas na aplicação dos métodos indicados pelo fluxograma. Os resultados obtidos sugeriram que o FTA deve ser utilizado com precaução, pois o mesmo não contempla todas as informações assim como algumas restrições que devem ser consideradas na avaliação de cada método. No entanto, o FTA é uma ferramenta útil para seleção preliminar de um ou mais métodos.

ABSTRACT

METHODOLOGY FOR INSTREAM FLOW REQUIREMENTS IN WATER COURSES

Author: Marco Vinicius Castro Gonçalves

Supervisor: Sergio Koide

**Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
Brasília, September of 2003**

Reservoirs and excessive diversion of water from rivers are responsible for alterations on natural flow regimes. These alterations can adversely affect the aquatic ecosystem. Starting at the 70's, numerous methods have been developed to provide instream flow recommendations in order to ease these environmental impacts. Instream flow is the amount of water that must be left downstream the diversions in rivers to maintain the aquatic resources. In Brazil, these methodologies have not been properly assessed. The Brazilian water resources legislation proposes instream flows recommendations by fixing a fraction of the $Q_{7,10}$ or Q_{90} , which are, respectively, the 7 day low flow with a return period of 10 years and the flow that is equaled or exceeded 90% of the time. These assessments do not consider the environmental necessities of the aquatic biota.

The aim of this work is to present the instream flow methods used by others countries, describing their methodologies, concepts, limitations and the advantages and disadvantages of their application.

This assessment allowed improvements in the Assessment Theoretical Flow Chart (FTA) developed by Bezerra (2001). The FTA is an ensemble of decision support diagrams that enable the user to select one or various instream flow methods from the identification of water use conflicts in a watershed and the available gauge data.

The FTA was applied in two reaches of the São Bartolomeu River, located in the homonymous Basin. The purpose was to evaluate the FTA performance and the problems and difficulties founded in the instream flow methods applying. The results indicated that FTA must be used with caution because it does not include all necessary information for an instream flow methods assessment. However, FTA is a useful tool for preliminary selection of instream flow methods.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	1
2- OBJETIVOS E METODOLOGIA	5
2.1 – OBJETIVOS.....	5
2.2 – NATUREZA DO PROBLEMA	5
2.3 - METODOLOGIA.....	5
2.3.1 – Levantamento bibliográfico	6
2.3.2 – Avaliação e aprimoramento do Fluxograma Teórico de Avaliação (FTA).....	8
2.3.3 - Aplicação do FTA no curso d’água do rio São Bartolomeu	9
3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1 - HISTÓRICO	10
3.2 - MÉTODOS HIDROLÓGICOS.....	15
3.2.1 – Método NGPRP (Northern Great Plains Resource Program).....	17
3.2.2 – Método de Montana.....	20
3.2.3 – Método ABF (Aquatic Base Flow).....	24
3.3 – MÉTODOS HIDRÁULICOS.....	26
3.3.1 – Método do Perímetro Molhado.....	26
3.3.2 – Método de Idaho.....	29
3.4 – MÉTODOS ECOLÓGICOS.....	32
3.4.1 – Instream Flow Incremental Methodology (IFIM)	33
3.4.2 - Physical Habitat Simulation System (PHABSIM).....	36
3.5 - MÉTODOS SANITÁRIOS	43
3.5.1- QUAL2E	46
3.6– MÉTODOS ECONÔMICOS	47
3.7- COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DOS MÉTODOS CITADOS NA LITERATURA	51
3.8- ANÁLISE DOS MÉTODOS PARA DEFINIÇÃO DE VAZÃO MÍNIMA GARANTIDA	55

4 - FUNDAMENTAÇÃO DO FLUXOGRAMA TEÓRICO DE AVALIAÇÃO (FTA)	63
.....	
4.1 – CARACTERIZAÇÃO DOS TIPOS DE CONFLITOS DE USO DA ÁGUA	63
4.2- BASE DE DADOS	65
4.3 - CLASSIFICAÇÃO DAS SITUAÇÕES-TIPO	69
4.4 - DEFINIÇÃO DO FLUXOGRAMA TEÓRICO DE AVALIAÇÃO	71
4.4.1 – Procedimentos de consulta do FTA	73
5 - ESTUDO DE CASO	81
5.1 - CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO SÃO BARTOLOMEU	82
5.2 – APLICAÇÃO DO FLUXOGRAMA TEÓRICO DE AVALIAÇÃO	89
5.2.1 – Definição da vazão mínima garantida para a seção próxima ao posto fluviométrico DF-06	89
5.2.2 – Definição da vazão mínima garantida para a seção próxima ao posto fluviométrico DF-18	99
5.2.3 – Discussão geral dos resultados	105
CONCLUSÕES	107
RECOMENDAÇÕES	112
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
APÊNDICES	120
A - MODELOS DE ELEVAÇÃO DA SUPERFÍCIE DA ÁGUA	121
B - LISTAGENS DE CONTROLE	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Principais fatores associados aos conflitos nas 4 dimensões de análise (modificado de Bezerra, 2001).....	7
Tabela 3.1- Listagem de métodos de determinação de vazões mínimas garantidas com seus respectivos autores (Morhardt, 1986; Tharme, 1996).....	13
Tabela 3.1(continuação)- Listagem de métodos de determinação de vazões mínimas garantidas com seus respectivos autores (Morhardt, 1986; Tharme, 1996).....	14
Tabela 3.2 – Critério de outorga de alguns estados brasileiros (modificado de Pereira, 2000).	16
Tabela 3.3 – Recomendações de vazão mínima garantida, a partir de categorias de percentagem de vazão média anual do método de Montana, para espécies aquáticas, recreação e recursos ambientais relacionados (Tennant, 1976).	23
Tabela 3.4 – Vazões mínimas garantidas recomendadas pelo método ABF.	25
Tabela 3.5 – Lista de alguns dos modelos de simulação de cargas de poluentes em bacias hidrográficas.	45
Tabela 3.6 – Lista de alguns dos modelos de qualidade da água de rios.....	45
Tabela 3.7 – Análise dos métodos para definição de vazão mínima garantida	61
Tabela 3.7 (continuação) – Análise dos métodos para definição de vazão mínima garantida.....	62
Tabela 4.1 - Situações de conflito possíveis e tipos de base de dados (modificado de Bezerra, 2001).....	69
Tabela 4.2 – Tipos de combinações das situações-tipo do FTA (modificado de Bezerra, 2001).	70
Tabela 4.3 – Indicação do método com base no tipo de situação (modificado de Bezerra, 2001).	72
Tabela 5.1 - Subdivisões da Bacia do Rio São Bartolomeu (Campana et al., 1999).....	83
Tabela 5.2 – Balanço hídrico da área do Alto São Bartolomeu entre as vazões captadas para abastecimento e vazões efluentes das estações de tratamento de esgoto (CAESB).	90
Tabela 5.3 - Áreas irrigadas e demanda hídrica para a micro-bacia do Alto são Bartolomeu (Emater/DF apud Campana et al., 1999).....	91
Tabela 5.4 – Resultados do método NGPRP para cada mês do ano.....	92
Tabela 5.5 – Resultados do método de Montana para cada mês do ano.....	93

Tabela 5.6 – Valores de vazão mínima garantida obtidos pelos diversos métodos indicados pelo fluxograma 1.	98
Tabela 5.7 - Áreas irrigadas e demanda hídrica para a bacia do rio São Bartolomeu (Campana et al., 1999).	100
Tabela 5.8 – Resultados do método NGPRP para cada mês do ano.	103
Tabela 5.9 – Valores de vazão mínima garantida obtidos pelos diversos métodos indicados pelo fluxograma 1.	104
Tabela B.1 – Listagem de controle do tipo de problema existente na bacia hidrográfica (modificado de Bezerra, 2001).	128
Tabela B.2 – Listagem de controle de base de dados (modificado de Bezerra, 2001)	129

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Exemplo de determinação da vazão mínima garantida pelo método NGPRP (adaptado de Loar e Sale, 1981).....	19
Figura 3.2 – Relações entre largura, profundidade e velocidade com percentagens da vazão média anual para 11 rios em Montana, Wyoming e Nebraska (Tennant, 1976).	22
Figura 3.3 – Relação entre o perfil da seção transversal e o comportamento da curva do perímetro molhado P em função da vazão Q (Bovee e Milhous, 1978 apud Loar e Sale, 1981).....	28
Figura 3.4 – Definição da vazão mínima garantida no método do perímetro molhado a partir do ponto crítico (Loar e Sale, 1981).....	29
Figura 3.5 – Localização das seções transversais para o critério de circulação dos peixes do método de Idaho. A linha tracejada representa a parte do leito mais rasa (Wesche e Rechard, 1980).	30
Figura 3.6 – Procedimento do PHABSIM para produzir o gráfico que relaciona a vazão com a área de microhabitat disponível para a espécie selecionada para o estudo (Stalnaker et al., 1995).	38
Figura 3.7 – Principais modelos de simulação hidráulica e de habitat utilizados pelo PHABSIM (modificado de Stalnaker et al., 1995).	39
Figura 3.8 – Formas de apresentação mais utilizadas para o IPH para as variáveis profundidade e velocidade (Alves, 1993).	40
Figura 4.1 – Fluxograma do esquema geral do FTA (modificado de Bezerra, 2001).	75
Figura 4.2 – Fluxograma A – avaliação da natureza da situação-tipo (modificado de Bezerra, 2001).	76
Figura 4.3 – Fluxograma 1 – procedimento para a avaliação da situação-tipo 1 (modificado de Bezerra, 2001).	77
Figura 4.4 – Fluxograma 2 – procedimento para a avaliação da situação-tipo 2 (modificado de Bezerra, 2001).	78
Figura 4.5 – Fluxograma 3 – procedimento para a avaliação da situação-tipo 3 (modificado de Bezerra, 2001).	79
Figura 4.6 – Fluxograma 4 – procedimento para a avaliação da situação-tipo 4 (modificado de Bezerra, 2001).	80
Figura 5.1 – Localização da bacia do rio São Bartolomeu.	84

Figura 5.2 – Área da bacia do rio São Bartolomeu inserido no Distrito Federal e localização dos postos fluviométricos DF-06 e DF-18.	85
Figura 5.3 – Fluviograma da seção do posto fluviométrico DF-06 e a vazão média anual calculada.	92
Figura 5.4 – Fluviograma anual médio do posto DF-06 para o período de 1978 a 2001. ...	93
Figura 5.5 – Gráfico do perímetro molhado em função da vazão da seção transversal selecionada para o primeiro trecho de estudo.	96
Figura 5.6 – Perfil da seção transversal localizada em uma zona de corredeira considerada crítica (em escala).	96
Figura 5.7 – Comparação entre o resultado dos métodos indicados pelo FTA e vazões médias mensais para o primeiro trecho de estudo.	98
Figura 5.8 – Análise de consistência dos dados de vazão média diária do posto fluviométrico DF-18 a partir do método de dupla massa.	101
Figura 5.9- Gráfico do perímetro molhado em função da vazão para a seção transversal selecionada no segundo trecho de estudo.	102
Figura 5.10 - Perfil transversal da seção selecionada para a aplicação do método do perímetro molhado com nível de água correspondente ao ponto crítico 1. ...	103
Figura 5.11 – Perfil transversal da seção selecionada para a aplicação do método do perímetro molhado com nível de água correspondente ao ponto crítico 2. ...	103
Figura 5.12 – Comparação entre o resultado dos métodos indicados pelo FTA e vazões médias mensais para o segundo trecho de estudo.	105
Figura A.1 - Relação Cota – descarga de uma seção transversal assimétrica.	122
Figura A.2 - gráfico dos perfis longitudinais da elevação da superfície da água para seções transversais adjacente.	123

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

ABF	Aquatic Base Flow
AH	Área total de habitat
CAESB	Companhia de Saneamento Básico do Distrito Federal
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DF	Distrito Federal
ESA	Elevação da Superfície da Água
FTA	Fluxograma Teórico de Avaliação
HSI	Habitat Suitability Index
IFIM	Instream Flow Incremental Methodology
IPH	Índice de Preferência de Habitat
NGPRP	Northern Great Plains Resource Program
PHABSIM	Physical Habitat Simulation
QUAL2E	Stream Water Quality Model
SPU	Superfície Ponderada Utilizável
USFWS	United States Fish and Wildlife Service
WRRI	Water Resources Research Institute

1 - INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural de fundamental importância para a vida dos seres vivos e para o equilíbrio do meio ambiente. Historicamente, o homem tem buscado, de forma contínua, a água como fonte de sustento e conforto no exercício de suas atividades.

O crescimento populacional, o desenvolvimento socioeconômico e a evolução tecnológica têm contribuído enormemente no aumento e variedade desses usos. Essa demanda crescente por água tem gerado uma grande pressão sobre os rios, reduzindo a quantidade e qualidade dos recursos hídricos, o que vem provocando grandes conflitos entre seus usuários. Essa competição tem estimulado a implantação de obras hidráulicas para diversos usos como abastecimento público, geração de energia elétrica, irrigação, etc., no intuito de reduzir esse problema.

Mas se a construção de represas representa, de um lado, o progresso por meio da produção de energia elétrica, do abastecimento de água potável, da irrigação, da regularização dos rios, possibilitando o controle de enchentes, por outro lado traz, como consequência, uma série de alterações de caráter hidrológico, com repercussões climáticas e ecológicas que, de modo geral, afetam profundamente a flora e a fauna tanto aquáticas como terrestres (Branco e Rocha, 1977).

Com o propósito de se amenizarem os impactos decorrentes das alterações no regime natural dos cursos d'água, seja pela derivação excessiva de água dos rios ou pela regularização da vazão a jusante das barragens, surgiu a necessidade de se determinar uma vazão mínima a ser mantida nos rios. Essa quantidade de água deve ser suficiente para atender as demandas dos usuários a jusante da derivação de água, bem como adequada para a proteção do ecossistema aquático (Sarmiento e Pelissari, 1999). Além desses aspectos, deve-se levar em conta também os critérios sanitários e econômicos na avaliação da vazão a ser conservada no leito do rio.

A preocupação com o meio ambiente vem crescendo progressivamente nas últimas décadas, obtendo alta prioridade em todos os aspectos das atividades econômicas de vários países. Refletindo esse interesse, os impactos ambientais provocados pela derivação dos recursos hídricos têm sido uma das questões que vêm chamando a atenção da sociedade (Karim *et al.*, 1995).

Esse tema começou a adquirir importância na década de 50 do século passado, mas foi a partir da década de 70 que se iniciaram estudos de metodologias que pudessem quantificar vazões mínimas que deveriam ser mantidas nos cursos d'água a jusante de captações e de barramentos que fossem responsáveis pela alteração da vazão natural dos rios. Desde então, surgiram diversos métodos que se propõem a recomendar uma vazão mínima garantida, baseados em uma simples variável ou em um conjunto delas.

De acordo com Lamb (1995), até 1975, o termo vazão mínima era a expressão mais usada para descrever a quantidade mínima de água a ser conservada no rio, de modo a atender às demandas dos ecossistemas aquáticos. Vários são os termos utilizados para definir essa vazão: vazão de referência biológica (Souchon *et al.*, 1998), vazão ecológica (Alves, 1993), vazão remanescente (Mortari, 1997), vazão mínima garantida. Utilizou-se, neste trabalho, o termo vazão mínima garantida. Não existe ainda um consenso para a melhor definição da vazão mínima garantida. Ela pode ser definida mais especificamente como a vazão que permite assegurar a conservação e a manutenção dos ecossistemas aquáticos naturais, a produção de espécies com interesse desportivo ou comercial, além de outros interesses de caráter científico ou cultural (Wesche e Rechar, 1980).

Não se deve confundir o termo vazão reservada que se refere à vazão que atende a todas as demandas a jusante das derivações e regularizações, incluindo a demanda da biota aquática, com o termo utilizado neste trabalho, vazão mínima garantida, que é a vazão que deve ser deixada no leito do rio, independentemente das demandas para a retirada de água do curso d'água.

No Brasil, tem-se explorado pouco a questão das vazões mínimas garantidas a jusante de derivações de água. Normalmente, a definição desses volumes tem-se dado a partir de critérios de natureza estatística e hidrológica, que não levam em consideração as dimensões sanitárias, ecológicas e econômicas (Bezerra, 2001). É usual no país a utilização de percentagens das vazões $Q_{7,10}$ ou $Q_{90\%}$, que representam, respectivamente, a vazão mínima média de sete dias consecutivos com um tempo de retorno de 10 anos e a vazão que é igualada ou excedida em 90% do tempo. Esses métodos utilizam apenas séries históricas de vazão como base de dados para se determinar um valor de vazão a ser mantida no rio. No entanto, outros critérios vêm sendo cada vez mais utilizados em outros países.

Nos Estados Unidos e no Canadá, por exemplo, métodos baseados em critérios ecológicos, como o *Instream Flow Incremental Methodology (IFIM)*, estão conquistando um espaço cada vez maior. Na Europa, esforços estão sendo aplicados na tentativa de reabilitar grandes rios que têm sido controlados e canalizados por séculos (Jowett, 1997).

Em função da necessidade de se considerarem metodologias que englobem outros critérios que permitam melhor avaliar as vazões mínimas garantidas, Bezerra (2001), em recente dissertação de mestrado, realizou levantamento dos diferentes métodos e técnicas desenvolvidos para definir valores dessas vazões em cursos d'água, o que possibilitou a formulação de um Diagrama de Decisão, denominado Fluxograma Teórico de Avaliação (FTA). O FTA é um suporte metodológico que tem o objetivo de auxiliar na seleção dos métodos de determinação de vazões mínimas garantidas mais adequados em função de certas características do curso d'água. Não era objetivo desse trabalho promover uma investigação mais profunda sobre esses métodos no que diz respeito às hipóteses assumidas e à sua aplicabilidade nem uma análise crítica sobre as vantagens e desvantagens de cada um deles, principalmente aqueles pouco conhecidos no Brasil. Nesse contexto, surgiu a necessidade de se realizar uma melhor avaliação, sobre as metodologias para determinação da vazão mínima garantida mais utilizadas em experiências práticas em diversos países. Essa análise permitiu apresentar novas considerações e promover alguns aperfeiçoamentos no Fluxograma Teórico de Avaliação.

No âmbito do presente trabalho, propôs-se aperfeiçoar o Fluxograma Teórico de Avaliação, reavaliando os métodos adotados por Bezerra (2001), acrescentando outros considerados importantes, sugerindo novos arranjos de análise e incorporando critérios específicos inerentes a cada método. Em seguida, testou-se a nova proposta em dois trechos do rio São Bartolomeu, localizados no Distrito Federal. O recurso ao FTA e, conseqüentemente, a aplicação de alguns dos métodos de determinação de vazão mínima garantida permitiu realizar uma análise crítica sobre a pertinência desses métodos para os casos estudados e sobre a efetividade do suporte metodológico. Por fim, promoveu-se uma série de recomendações com o objetivo de indicar pesquisas futuras sobre o suporte e os métodos em questão.

Além deste capítulo introdutório, este trabalho divide-se em outros seis. O segundo capítulo refere-se aos objetivos gerais e específicos da dissertação. O terceiro capítulo exhibe uma revisão bibliográfica sobre métodos de determinação de vazão mínima garantida

e ferramentas que auxiliam na análise dessa questão. O quarto capítulo trata da fundamentação do FTA e as sugestões de modificação. O quinto capítulo apresenta o estudo de caso em que é feita a aplicação do FTA. E, finalmente, os dois últimos capítulos apresentam as conclusões sobre o estudo desenvolvido e as recomendações para pesquisas futuras sobre o assunto.

2- OBJETIVOS E METODOLOGIA

2.1 – OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho consiste na avaliação, teste e verificação do suporte metodológico denominado de Fluxograma Teórico de Avaliação (FTA).

Tem-se como objetivos específicos:

- Levantamento de métodos para determinação da vazão mínima garantida, avaliando a metodologia de aplicação, os princípios, as limitações de cada um deles.
- Análise e comparação desses métodos para definição de vazões mínimas garantidas em cursos d'água
- Aprimoramento do FTA

2.2 – NATUREZA DO PROBLEMA

Neste trabalho, consideraram-se como principal problema a ser analisado os métodos de determinação da vazão mínima garantida. Como esses métodos são os principais componentes do Fluxograma Teórico de Avaliação, a avaliação e o aperfeiçoamento do mesmo passam por uma análise mais aprofundada desses métodos.

Entende-se que uma análise crítica e comparativa dos métodos de determinação da vazão mínima garantida é fundamental na definição da importância de cada método e nas sugestões de modificações do FTA.

2.3 - METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida neste trabalho compreendeu 3 etapas: (1) Levantamento bibliográfico sobre os métodos mais utilizados na determinação da vazão mínima garantida; (2) avaliação e aprimoramento do Fluxograma Teórico de Avaliação (FTA) com base no item (1); e (3) aplicação do FTA e de diversos métodos de determinação da vazão mínima garantida em duas seções do curso d'água do rio São Bartolomeu, localizado no Distrito Federal.

2.3.1 – Levantamento bibliográfico

No capítulo introdutório, já foram abordados o conceito de vazão mínima garantida e a importância de se considerar essa questão na gestão dos recursos hídricos. Mais especificamente, nas questões que envolvem situações de conflito de uso da água.

Baseado nessa necessidade e no objetivo de aprimorar o suporte formulado por Bezerra (2001), a primeira etapa deste trabalho consistiu em analisar primeiramente o suporte metodológico, identificando as questões que precisavam ser pesquisadas mais profundamente no intuito de sugerir as modificações necessárias.

Basicamente, o FTA é um suporte metodológico que auxilia o decisor a selecionar um ou mais métodos de determinação de vazão mínima garantida. O FTA indica em que circunstâncias se devem utilizar os vários métodos a partir da situação-tipo apresentada pelo próprio decisor. Uma situação-tipo, segundo Bezerra (2001), é entendida como uma conjunção entre base de dados disponíveis e a natureza dos problemas de conflitos de uso da água de uma bacia, ou seja, o conjunto de critérios a ser adotado no processo de seleção dos métodos.

Na busca de ferramentas para atingir o objetivo do FTA, considerou-se que no estudo de situações de conflito em bacia hidrográficas, é necessária a abordagem de quatro dimensões de análise: dimensão hidrológica, sanitária, ecológica e econômica. Na tabela 3.1, pode-se verificar, resumidamente, os impactos ambientais associados a cada dimensão de análise e a importância de cada uma delas.

Examinando a tabela 3.1, pode-se verificar que a definição da vazão mínima garantida depende, essencialmente, de critérios de quantidade, de qualidade e econômicos.

Tabela 2.1 – Principais fatores associados aos conflitos nas 4 dimensões de análise (modificado de Bezerra, 2001).

Dimensão	Características do conflito	Impactos decorrentes do conflito associado à dimensão	Importância na adoção da dimensão
Hidrológica	Conflitos associados a quantidade de água ao longo do tempo e do espaço, caracterizado pelo volume ou vazões de demanda de água, além da capacidade de oferta do rio.	Alterações hidrológicas, perdas econômicas a jusante, aumento da poluição, impacto na fauna e flora.	Permite considerar melhor as demandas por quantidade e qualidade da água, levando-se em conta neste último caso o simples efeito da diluição.
Sanitária	Conflitos associados a qualidade da água devido aos parâmetros físicos, químicos, biológicos e/ou sanitários não estarem nas condições mínimas necessárias exigências dos usuários da água. Envolve quantidade e qualidade de água, necessárias para determinados usos.	Poluição orgânica e bacteriológica, alteração da temperatura, carreamento de agrotóxicos e matéria orgânica. Água para abastecimento de baixa qualidade, eutrofização, diminuição da concentração de oxigênio dissolvido, alteração da fauna e flora aquática, 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	As condições de quantidade, qualidade de água não satisfazem as exigências mínimas dos organismos aquáticos necessárias para a sua preservação.	Alterações nas condições ecológicas dos rios, perda da biodiversidade e desaparecimento de espécies, diminuição das atividades econômica e esportiva da pesca.	Melhoramento na produção primária resultando a redução dos nutrientes orgânicos, o aumento da biodiversidade e espécies, a diminuição das doenças, a preservação da harmonia paisagística, aumento das atividades de pesca.
Econômica	A alocação da água para os diversos usos não é considerada economicamente eficiente.	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 consideração das condições ambientais e sanitárias do corpo d'água.

Na literatura, contudo, não existem métodos de determinação de vazão mínima garantida que considerem esses critérios de forma conjunta. Logo, o levantamento bibliográfico foi feito, primeiramente, para os métodos destinados a recomendar a quantidade mínima de água a permanecer no curso d'água, em seguida os métodos destinados a avaliar a qualidade da água e finalmente os métodos destinados a estimar o valor econômico de uma vazão mínima garantida. Para os métodos econômicos, foi feita uma breve pesquisa sobre os mesmos, pois não se pretendeu introduzi-los no FTA devido à complexidade inerente a

esses métodos na estimação do valor econômico de uma vazão a ser mantida num curso d'água.

Na pesquisa feita sobre os métodos que consideram critérios de quantidade, identificaram-se na literatura três categorias de métodos: métodos baseados em séries históricas de vazão; métodos baseados na relação entre parâmetros hidráulicos e a vazão e métodos baseados na relação entre o habitat e a vazão. Neste trabalho esses métodos foram denominados, por sugestão de Bezerra (2001), de, respectivamente, métodos hidrológicos, métodos hidráulicos e métodos ecológicos. Eles se diferenciam, basicamente, por dois fatores: (1) base de dados requeridos na análise; (2) hipóteses assumidas na análise e (3) considerações ecológicas atribuídas às hipóteses.

Os métodos sanitários definidos para a avaliação da vazão mínima garantida num curso d'água foram os modelos de simulação de qualidade hídrica. Atualmente, esses modelos já estão bem estabelecidos. Então, foi feita uma breve pesquisa sobre esses modelos, e escolheu-se o QUAL2E, como exemplo, considerando que é o modelo internacionalmente mais utilizado para a simulação da qualidade da água.

Os últimos tipos de métodos pesquisados foram os métodos econômicos. Esses métodos têm objetivo de determinar a eficiência econômica de uma vazão que deve permanecer no leito de um rio. Esses métodos, seus princípios e limitações são abordados na revisão bibliográfica, capítulo 4.

2.3.2 – Avaliação e aprimoramento do Fluxograma Teórico de Avaliação (FTA)

O suporte metodológico elaborado por Bezerra (2001) foi proposto para auxiliar o decisor, órgãos de gestão dos recursos hídricos, por exemplo, a melhor avaliar a determinação das vazões mínimas garantidas, selecionando, a depender da caracterização da causa do conflito de uso da água e da base de dados disponíveis no rio a ser estudado, os métodos mais indicados para a determinação de vazões mínimas garantidas. A caracterização do conflito e da base de dados levou à criação de critérios denominados de situação-tipo. Com a definição da situação tipo e, sucessivamente, com o auxílio do FTA, determinam-se as metodologias mais adequadas para serem utilizadas.

Depois do estudo dos métodos, avaliou-se o FTA e concluiu-se que eram necessárias modificações na estrutura do fluxograma, para, primeiramente, facilitar ao usuário a

manipulação do suporte e em segundo, adicionar critérios de decisão que indiquem o método ou os métodos mais convenientes a serem aplicados em cursos d'água.

Uma das modificações consistiu em incluir outro método de vazão mínima garantida, bastante discutido na literatura: o método NGPRP. Considerou-se esse método por ele ser um método derivado do critério Q_{90} , que é muito utilizado no Brasil na avaliação de pleitos de outorga de concessão do uso da água. A diferença substancial entre eles é que o método NGPRP incorpora considerações de ordem ecológica, diferentemente do critério Q_{90} .

2.3.3 - Aplicação do FTA no curso d'água do rio São Bartolomeu

Julgou-se importante ao desenvolvimento do trabalho a aplicação do suporte em um curso d'água do Distrito Federal com o objetivo de testar a aplicação do suporte com as modificações sugeridas. O curso d'água selecionado foi o rio São Bartolomeu. No seu curso, foram escolhidas duas seções para estudo de caso. A primeira localiza-se nas proximidades do posto fluviométrico DF-06 operado pela Companhia de Saneamento Básico do Distrito Federal (CAESB) DF-06 e a segunda, nas proximidades do posto fluviométrico DF-18. O motivo da escolha se deu pelo fato de a bacia do rio em questão ser uma das opções para o futuro abastecimento da população do Distrito Federal, tendo como possibilidade a construção de um represamento para esse fim. Além do mais, os centros urbanos localizados na bacia que captam, atualmente, água para abastecimento em tributários do rio São Bartolomeu, têm tido, nos últimos anos, um crescimento populacional acelerado, e as áreas agrícolas têm sido ampliadas, necessitando, conseqüentemente, de maior quantidade de água para irrigação. Logo, uma demanda hídrica acentuada poderá vir a ocorrer, podendo acarretar conflitos de uso pela água.

Na aplicação do FTA, elaborou-se, primeiramente, uma caracterização da bacia no intuito de identificar os aspectos atuais de demanda e oferta de água e os problemas de conflito que poderão ocorrer futuramente, além de fazer o levantamento da base de dados disponível para a aplicação do suporte e dos métodos indicados pelo mesmo.

Após a aplicação dos métodos indicados pelo FTA, fez-se uma comparação entre os resultados de cada método. Essas comparações possibilitaram uma avaliação crítica dos valores recomendados de vazão mínima garantida por cada método e sugestões para futuros aperfeiçoamentos no suporte metodológico.

3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta revisão bibliográfica, procurou-se fazer um levantamento na literatura dos métodos hidrológicos, hidráulicos, ecológicos e sanitários passíveis de serem adotados, além dos que foram selecionados por Bezerra (2001) no FTA, descrevendo a metodologia de cada um deles, bem como as suas limitações.

Serão aqui preferencialmente abordados os métodos que tenham sido amplamente utilizados e citados na literatura. Outro critério utilizado na seleção consistiu em excluir métodos que se limitam a estudar espécies específicas da fauna aquática.

3.1 - HISTÓRICO

O estudo pioneiro sobre a questão das vazões mínimas garantidas ocorreu no final dos anos 40 do século passado. Esse trabalho foi conduzido pelo “United States Fish and Wildlife Service – USFWS”, no rio Colorado, a jusante da barragem Granby nos Estados Unidos. Mas, foi a partir do início da década de 50 que estudos em grande escala começaram a ser desenvolvidos. Porém, até a década de 60, esses estudos se limitavam a abordagens abstratas de alguns profissionais que confiavam plenamente em seu julgamento profissional. Desde então, houve um grande esforço de reflexão multidisciplinar no sentido de se desenvolverem metodologias que reduzissem ao máximo a subjetividade da questão das vazões mínimas garantidas (Tharme, 1996).

No início dos anos 60 do século passado, conflitos significantes entre os usos consuntivos e não-consuntivos ocorreram, primeiramente, no Oeste dos EUA, onde o abastecimento de água estava limitado e a vazão de retirada para a irrigação e outros usos eram bem definidos por lei. A legislação da época era somente baseada na doutrina da apropriação que tem dois princípios fundamentais: (1) primeiro no tempo, primeiro em direito e (2) o uso benéfico da água é a base do direito. O uso benéfico é definido em termos econômicos. Em vários estados americanos, a vazão mínima garantida para a manutenção dos ecossistemas aquáticos, recreação ou por questões estéticas não era reconhecida como uso benéfico. No final dessa década, vários estados começaram a reconhecer a importância de se manter uma vazão mínima garantida nos rios, refletindo, em alguns casos, na modificação da legislação ambiental (Loar e Sale, 1981).

De fato, a legislação ambiental americana, incluindo os atos de planejamento dos recursos hídricos de 1965 e de política ambiental de 1969, reforçou a necessidade de se avaliarem os impactos provocados pela mudança de regime de vazão a jusante das derivações de água, principalmente pelo reconhecimento da necessidade da preservação de algumas espécies de peixes de alto valor econômico existentes em rios americanos, que estavam desaparecendo devido, principalmente, à construção das grandes barragens da época.

A intensa competição pela água e o crescente reconhecimento da manutenção da vazão mínima garantida levou ao desenvolvimento de numerosos métodos para a determinação dessa vazão. Provavelmente, devido a essa pressão, além das exigências da legislação em reconhecer e considerar formalmente e explicitamente o meio ambiente no planejamento e na gestão dos recursos hídricos, os métodos e técnicas elaborados para determinar a vazão mínima garantida foram quase que exclusivamente desenvolvidos nos Estados Unidos (Karim *et al.*, 1995).

Os primeiros métodos que surgiram eram, geralmente, formulados por biólogos sendo que esses utilizavam parâmetros hidráulicos e hidrológicos para traduzir as necessidades biológicas de determinadas espécies de peixes. Pode-se citar, como exemplo, o primeiro método documentado, denominado de “One Flow Method” (Sam e Pearson, 1963 *apud* Morhardt, 1980). Esse método consiste em determinar a velocidade média e a profundidade média requerida pela população de salmonídeos presente num rio para a postura de ovos e a largura média do rio para um trecho de comprimento representativo. A partir da aquisição desses dados, determina-se a vazão mínima garantida simplesmente multiplicando-se as suas variáveis.

Ao mesmo tempo em que os métodos estavam sendo desenvolvidos, estudos específicos estavam sendo conduzidos para alguns rios para examinar as conseqüências biológicas sobre os peixes devido à alteração do regime de vazões naturais. Os resultados desses estudos mostraram que o impacto primário da redução da vazão era a redução do habitat utilizado pelos peixes (Loar e Sale, 1981). As décadas de 70 e 80 se caracterizaram como um período de testes, padronização e refinamento dessas metodologias (Wesche e Rechard, 1980). Um grande passo na evolução desses métodos foi a criação do grupo multidisciplinar denominado de “Cooperative Instream Flow Service Group (IFG)” do USFWS nos anos 70. Em pouco tempo, criou-se o método incremental (Loar e Sale, 1981).

Morhardt (1986) fez uma revisão de métodos de determinação de vazão mínima garantida disponíveis na literatura e apresentou resumidamente a metodologia de cada um, descrevendo as suas limitações, vantagens e desvantagens. Posteriormente, Tharme (1996) também elaborou uma investigação sobre os métodos existentes na literatura. Na tabela 3.1, estão relacionados métodos citados por Morhardt (1986) e Tharme (1996) para definição de vazões mínimas garantidas que foram surgindo ao longo dos anos, com seus respectivos autores.

Verifica-se pela consulta à tabela 3.1 a vasta gama de métodos existentes para se determinarem as vazões mínimas garantidas em cursos d'água. A aplicação desses métodos resulta, normalmente, em um valor mínimo de vazão ou em um regime de vazões, de tal modo que se permite retirar apenas a vazão excedente a esse valor.

Segundo Morhardt (1986), a maioria dos métodos restringiu-se, à época, ao estudo do efeito das vazões mínimas sobre os peixes, principalmente os salmonídeos, havendo uma abordagem mais limitada ao estudo de peixes não-salmonídeos, seres invertebrados, vegetação e recreação, apesar de todos os componentes do ecossistema lótico serem afetados pela regularização do regime de vazões. Esses estudos eram, basicamente, feitos para peixes com grande valor comercial e recreacional. A maioria dos métodos se focalizou nesse componente do ecossistema, considerando que condições ambientais adequadas para os peixes também representam as necessidades da maior parte dos organismos aquáticos presentes. Os dados sobre os peixes representavam grande parte do que se tinha de conhecimento sobre os recursos aquáticos (Wesche e Rechar, 1980).

O surgimento de tantas metodologias levou ao reconhecimento de três grupos de métodos (Stalnaker *et al.*, 1995; Karim *et al.*, 1995; Tharme, 1996; Jowett, 1997). Cada grupo se caracteriza pelo tipo de dados requeridos e pelo tipo de análise:

- métodos de classificação hidrológica

São métodos que utilizam apenas séries históricas de vazão para a determinação da vazão mínima garantida. Eles se caracterizam pela facilidade em se obterem os resultados, caso se disponha de registros hidrológicos. Os métodos dessa categoria utilizam ferramentas da hidrologia estatística, como média, mediana e curva de permanência para fornecer as recomendações de vazão mínima garantida.

- métodos de classificação hidráulica

Esses métodos consideram a relação entre a descarga e o habitat aquático por meio de parâmetros hidráulicos, como profundidade, perímetro molhado e largura. Eles necessitam de dados obtidos em campo em seções transversais, localizadas estrategicamente, para permitir uma avaliação adequada.

- métodos de avaliação de habitat

Esses métodos se caracterizam pelo fornecimento de análises detalhadas de qualidade e quantidade de habitat disponível para tipos de organismos aquáticos selecionados, em relação a diferentes regimes de vazão. Por meio de informações sobre espaço físico necessário ao desenvolvimento de determinadas espécies aquáticas, indicam vazões que proporcionam aos peixes a maior quantidade de habitat propício. Esses métodos requerem estudos de campo intensivos sobre as características hidráulicas do rio e condições de habitat necessárias para os peixes.

Tabela 3.1- Listagem de métodos de determinação de vazões mínimas garantidas com seus respectivos autores (Morhardt, 1986; Tharme, 1996).

ANO	AUTOR (ES)	MÉTODO	CATEGORIA
1963	Sams e Pearson	One Flow Method	Ecológico
1973	Russell e Mulvaney	Colorado Method	Hidráulico
1974	Collings	Spawning and Rearing Discharge	Hidráulico
1974	NGPRP	Northern Great Plains Resource Program Method	Hidrológico
1974	Thompson	Oregon Usable Width Model	Ecológico
1975	Dunham e Collotzi	USFS Region 4 Method	Hidráulico
1975	Hoppe	Minimum Stream Flow for Fish	Hidrológico
1975	Tennant	Montana Method	Hidrológico
1976	Nickekson	Habitat Needs for Salmonid Hearing	Hidráulico
1976	Swank e Phillips	UFWS Region 6 Single Transect Method	Hidráulico
1976	Swift	Washington Basin Variable Method	Hidrológico
1976	Swift	Washington Toe-Width Method	Hidráulico
1976	Waters	California Instream Flow Method	Ecológico
1976	White	Idaho Instream Flow Method	Hidráulico
1976	White et al.	Midwestern Trout Sanding Crop	Hidrológico
1979	Binns and Eiserman	Wyoming Habitat Quality Index	Hidráulico
1979	Nickelson et al.	Stream Flow Requirements for Salmonids	Hidráulico

Tabela 3.1(continuação)- Listagem de métodos de determinação de vazões mínimas garantidas com seus respectivos autores (Morhardt, 1986; Tharme, 1996).

ANO	AUTOR(ES)	MÉTODO	CATEGORIA
1979	Swift	Washington One – Variable Regression Method	Hidrológico
1980	Barber et al.	Diagrammatic Mapping Method	Hidráulico
1980	Geer	Utah Water Record Methodology	Hidrológico
1980	Larsen	USFWS New England Flow Recommendation Policy	Hidrológico
1980	Prewitt and Carlson	Standard Depth Approach	Hidráulico
1980	Wesch	WRRI Trout Cover Rating Method	Ecológico
1981	Osborn	Spawning Habitat Using Watershed and Channel	Hidrológico
1981	Weatherred et al.	R2-CROSS-81 Sag Tape Model	Hidráulico
1982	Bovee et al.	Instream Flow Methodology – IFIM	Ecológico
1982	Edwards et al.	USFWS Habitat Suitability Index Model	Ecológico
1982	Hickman e Raleigh	USFWS Habitat Suitability Index	Ecológico
1982	Inskip	USFWS Habitat Suitability Index	Ecológico
1982	McMahon	USFWS Habitat Suitability Index	Ecológico
1982	Raleigh	USFWS Habitat Suitability Index Model	Ecológico
1982	Stuber	USFWS Habitat Suitability Index Model	Ecológico
1982	Taylor	Riparian Strip Width Model	Hidrológico
1983	Annear e Conder	Statistical Wetted Perimeter Method	Hidráulico
1983	Edwards	USFWS Habitat Suitability Index Model	Ecológico
1983	Layher	Habitat Suitability In Prairie Streams	Ecológico
1983	Pardue	USFWS Habitat Suitability Index Model	Ecológico
1983	Trial et al.	USFWS Habitat Suitability Index Model	Ecológico
1984	Gilbert	USFWS Habitat Suitability Index Model	Ecológico
1984	Layher e Maugham	Habitat Suitability Index	Ecológico
1984	Li et al.	Discriminant Habitat Analysis	Hidráulico
1984	Milhous et al.	USFWS IFG4 Hydraulic Simulation Method	Hidráulico
1984	Milhous et al.	USFWS Water Surface Profile Model	Hidráulico
1984	Milhous et al.	USFWS Habitat Suitability Index	Ecológico
1984	Nelson	Montana DFWP Wetted Perimeter Method	Hidráulico
1984	Rabern	Habitat Based Georgia Standing Crop Models	Ecológico

[†] Método desenvolvido pela equipe técnica do grupo de trabalho da USGS na época para a pesquisa sobre os métodos existentes. O resultado foi a publicação do relatório “Instream needs sub-group report” em 1974.

3.2 - MÉTODOS HIDROLÓGICOS

Os métodos hidrológicos são caracterizados pela utilização de dados de vazão. Os diversos métodos dessa categoria utilizam instrumentos da hidrologia estatística para recomendar a vazão mínima garantida. Pode-se destacar como exemplos métodos que utilizam a curva de permanência, a média ou a mediana de séries históricas de vazão.

Segundo Loar e Sale (1981), análises hidrológicas que descrevem a variabilidade natural das vazões foram a base dos esforços pioneiros para estabelecer valores de vazão mínima garantida. Dessas análises, surgiu o conceito da $Q_{7,10}$, que tem sido usado como critério para o planejamento de estações de tratamento de esgoto. Apesar de no Brasil a vazão $Q_{7,10}$ ter sido desenvolvida para propósitos de qualidade da água e não ter base ecológica, ela é, porém, ainda muito utilizada para determinar a liberação de água das hidrelétricas a jusante e para análise de pleitos de outorga para o uso da água. O uso da $Q_{7,10}$ como base ignora a dinâmica natural das necessidades da ictiofauna e a necessidade de restabelecimento de longo-prazo da vazão após um período rigoroso de vazões mínimas. Esse critério pode ser considerado muito conservativo para a análise da qualidade da água, conforme exigência da resolução CONAMA nº20/86, que determina a utilização da $Q_{7,10}$ para a modelagem da qualidade da água de corpos receptores, mas pode ser bastante restritivo para a proteção da biota aquática. Usar um único valor para definir a vazão mínima garantida por meio da $Q_{7,10}$ não é recomendável (Loar e Sale, 1981). Da mesma forma que a $Q_{7,10}$, outras ferramentas da hidrologia estatística utilizadas, em alguns países, no planejamento para abastecimento de água, diluição de efluentes, projeto de represamento de água, como a Q_{347} ou Q_{90} , são também utilizadas para a determinação da vazão mínima garantida. Segundo Souchon *et al.* (1998), os resultados são, geralmente, muito baixos em frequência e, em valores absolutos, não atendem aos objetivos de manutenção das comunidades aquáticas.

Atualmente, as legislações estaduais que estabelecem a outorga de direito de uso sobre os recursos hídricos, dimensionam a vazão mínima a permanecer nos rios brasileiros por meio de porcentagens da $Q_{7,10}$ ou da Q_{90} .

No Brasil, tem-se explorado pouco a questão das vazões mínimas garantidas a jusante de derivações de água. Normalmente, a definição dessas vazões tem-se dado indiretamente, por meio da legislação que dispõe sobre a outorga de direito do uso da água. No Distrito Federal, por exemplo, o decreto N°22.359/2001 permite a retirada de até 80% da vazão de

referência em épocas de estiagem representada pela $Q_{7,10}$ ou a Q_{90} , para os usuários dos recursos hídricos devendo, conseqüentemente, ser mantido no rio, no mínimo, 20% da vazão de referência. Para alguns estados como os do Ceará e do Rio Grande do Norte onde grande parte dos rios é intermitente, e há, conseqüentemente, o esgotamento das águas superficiais nas épocas de estiagem, a vazão de referência é função da vazão regularizada anual com uma certa porcentagem de garantia, sendo, geralmente, de 90%. A vazão que deve ser mantida no manancial em épocas de seca para esses dois estados é de no mínimo 10% da vazão de referência. A tabela 3.2 mostra os critérios de outorga em alguns estados brasileiros e as respectivas vazões mínimas garantidas. Esses critérios, de natureza estatística e hidrológica, não levam em consideração a relação do comportamento da biota aquática com o regime de vazões naturais, podendo ocasionar sérios impactos ambientais.

Tabela 3.2 – Critério de outorga de alguns estados brasileiros (modificado de Pereira, 2000).

Estado	Decreto	Critério de vazão de referência	Vazão mínima garantida
Bahia	n° 6.296/1997	O valor de referência será a vazão com permanência de 90% do tempo. O somatório das vazões a serem outorgadas corresponde a 80% da vazão de referência do manancial; 95% nos casos de abastecimento urbano.	20% da vazão de referência
Ceará	n° 23.067/1994	O valor de referência será a descarga regularizada anual com garantia de 90%. O somatório das vazões a serem outorgadas não poderá exceder a 90% da vazão de referência.	10% da vazão de referência
Distrito Federal	n° 22.359/2001	A vazão de referência no processo de outorga pode ser a $Q_{7,10}$ ou a Q_{90} . O somatório das vazões a serem outorgadas não poderá exceder 80% das vazões de referência, e 80% das vazões regularizadas. No caso de abastecimento humano, o limite máximo poderá chegar a 90% da $Q_{7,10}$.	20% da vazão de referência
Rio Grande do Norte	n° 13.283/1997	O valor de referência será a descarga regularizada anual com garantia de 90%. O somatório das vazões a serem outorgadas não poderá exceder a 90% da vazão de referência.	10% da vazão de referência
Rio Grande do Sul	n° 37.033/1996	O valor de referência será a descarga regularizada anual com garantia de 90%. O somatório das vazões a serem outorgadas corresponde a 80% da vazão de referência do manancial.	20% da vazão de referência
Minas Gerais	Portaria n° 010 de 1996	A vazão de referência é a $Q_{7,10}$. O somatório das vazões a serem outorgadas corresponde a uma porcentagem fixa de 30% da vazão de referência.	70% da vazão de referência

Alguns métodos, na tentativa de adequar esses critérios a fatores menos arbitrários, fizeram algumas modificações ou utilizaram-se de outros critérios de natureza estatística. Pode-se citar, como exemplo, o método NGPRP, que sugere algumas modificações na utilização da Q_{90} para incorporar algumas considerações implícitas no processo de determinação da vazão mínima necessária aos organismos aquáticos, ou o método de Montana, que utiliza apenas a vazão média anual da série histórica na avaliação da vazão mínima garantida mínima a ser determinada. Esses métodos estão descritos, respectivamente, nas seções 4.3.1 e 4.3.2.

Os métodos hidrológicos, em geral, são considerados os mais simples e os mais rápidos em termo de resposta (Cassie e El-Jabi, 1995). Contudo, nenhum desses métodos oferece qualquer recomendação ecológica ou com outro tipo de fundamentação, logo é impossível julgar o seu mérito relativo ou validade (Morhardt, 1986).

Para Alves (1993), o nível de confiança é bastante baixo, já que os fatores relacionados com as características específicas do curso de água, são considerados de uma forma genérica, ou até mesmo não são considerados. Esse nível de análise é particularmente adequado à gestão dos recursos hídricos considerados a uma escala nacional ou regional, permitindo uma rápida avaliação de potenciais utilizações conflituais de água (Loar e Sale, 1981).

A aplicação desses métodos deve-se restringir à gestão dos recursos hídricos ao nível da bacia hidrográfica, ou à fase inicial dos projetos, que tem caráter indicativo e preliminar (Orth e Leonard, 1990; Alves e Bernardo, 2000).

3.2.1 – Método NGPRP (Northern Great Plains Resource Program)

Essa metodologia foi desenvolvida devido à necessidade de um método de aplicação rápida, que não requeresse trabalho de campo para a recomendação de vazões mínimas garantidas. O método determina um valor de vazão mínima garantida para cada mês do ano, com base na curva de permanência. A hipótese básica desse método considera que os recursos aquáticos biológicos disponíveis no presente são uma função do histórico de vazões do passado. A unidade de tempo selecionada para a análise foi a vazão média mensal. A escolha dessa unidade baseou-se na suposição de que os componentes

biológicos de um sistema aquático são mais estáveis e melhor representados pelas vazões mensais do que por vazões instantâneas (Wesche e Rechar, 1980).

O método consiste em separar todos os dados de vazão disponível por mês. Todos os dados pertencentes ao mês específico para o período de registro são, então, subdivididos em categorias denominadas de subnormal, média e anormal. As categorias subnormal e anormal são, na verdade, definidas como meses atípicos em que ocorreram eventos extremos, tanto para as vazões máximas como para as mínimas. Para isolar e agrupar os dados nas categorias supracitadas utiliza-se a variável estatística “t” de Student. Esse critério de divisão, baseada na variabilidade da vazão média mensal, foi considerada ser menos tendenciosa e mais representativa das condições presente de vazão do que seria se simplesmente se determinasse uma percentagem inflexível da vazão média para separar cada categoria. Desde que a distribuição do “t”, com um adequado tamanho de amostra, se aproxime de uma distribuição normal, um número igual de valores de vazão média mensal deve cair acima e abaixo da média. Teoricamente, uma grande porcentagem dos valores individuais agrupar-se-ão em torno da media com valores cada vez menores a medida que eles vão se distanciando da média. O objetivo é eliminar aqueles meses que caem a uma certa distância da média. Os limites superiores e inferior, que serão eliminados, são definidos a partir da variável $t_x(s)/(n)^{1/2}$ (Wesche e Rechar, 1980).

Uma alternativa mais simples consiste em excluir 15% dos meses que apresentam valores de vazão média mensal mais baixos e 15% dos meses que apresentam valores de vazão média mensal mais altos. Porém, conforme já citado anteriormente, esse processo pode estar sujeito à tendenciosidade.

O método admite que os ecossistemas presentes num curso d’água se adaptaram ao regime de vazões naturais do passado, considerando a magnitude e a frequência de ocorrência, e que os períodos em que ocorreram as condições críticas de vazão (i.e, enchentes ou secas rigorosas) são situações de tolerância de curto-prazo para esses ecossistemas. Devido a esse fato, eliminam-se esses períodos críticos do processo de avaliação da vazão mínima garantida. Feitas as devidas alterações na série, deve-se, a seguir, construir a curva de permanência para cada mês. A vazão mínima garantida a ser adotada corresponde à vazão com tempo de permanência de 90% (figura 3.1).

Para Mohardt (1986), o critério usado, tanto para a exclusão dos meses “atípicos” quanto para a definição da vazão mínima garantida são completamente arbitrários e difere de

outros métodos hidrológicos, como o Montana e o ABF. Ele acredita que o método não é apropriado para o objetivo a que se destina.

Para Wesche e Rechar (1980), esse método apresenta uma hipótese geral e aceitável de que os recursos aquáticos biológicos no presente são uma função das vazões do passado. Porém, os autores sugerem que uma atenção especial deve ser dada a pequenos rios com vazões pequenas devido à baixa capacidade de autodepuração de poluentes, podendo modificar significativamente os níveis de qualidade da água, especialmente para parâmetros como temperatura e oxigênio dissolvido, devido ao valor restritivo, geralmente, recomendado pelo método. Alves (1993) afirma que o método é potencialmente aplicável a curto prazo para os rios de Portugal por considerar um regime de vazões ao longo do ano.

A vantagem da utilização desse método em relação aos demais métodos hidrológicos é, justamente, a consideração de um regime de vazões mínimas garantidas mensais, respeitando, em proporções menores, a dinâmica das vazões naturais.

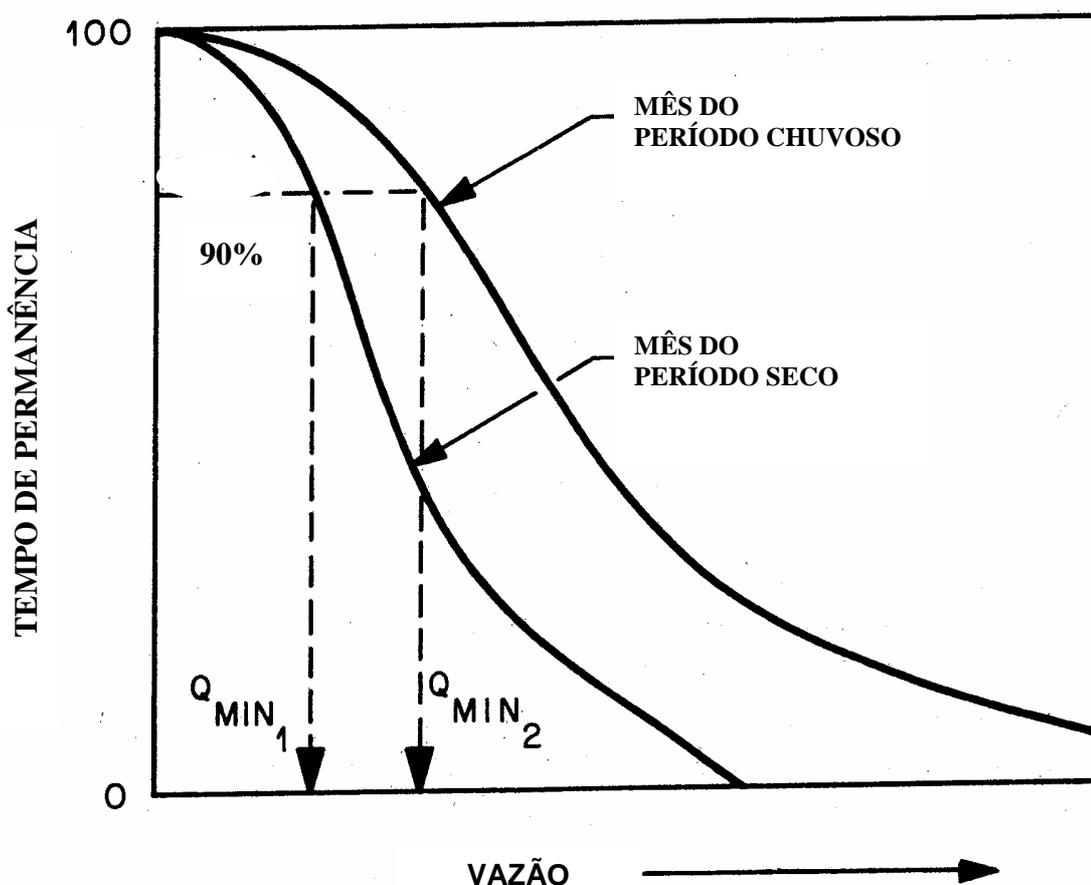


Figura 3.1 – Exemplo de determinação da vazão mínima garantida pelo método NGPRP (adaptado de Loar e Sale, 1981).

3.2.2 – Método de Montana

O método foi desenvolvido por Tennant (1976) em conjunto com vários hidrólogos e biólogos do “United States Fish and Wildlife Service” - USFWS. Esse método recomenda vazões mínimas garantidas para espécies aquáticas, recreação e recursos ambientais relacionados, em função de percentagens de vazão média anual divididas em categorias que variam de acordo com as condições gerais de qualidade do habitat. A tabela 3.3 mostra essas categorias e suas respectivas recomendações de vazão mínima garantida em função das percentagens de vazão média anual. A vazão recomendada é para um período de 6 meses, sendo uma para período seco e outra para o chuvoso.

De acordo com Tharme (1996), esse era o segundo método mais amplamente utilizado nos EUA, além de ser utilizado também em alguns outros países. Segundo Jowett (1997) e Ubertain *et al.* (1996), esse método era, provavelmente, o mais utilizado entre os métodos de sua categoria.

As correlações entre a vazão média anual e o perímetro molhado, que formam a base conceitual dessa metodologia, foram desenvolvidas por meio de estudos de campo conduzidos em 11 rios, nos estados americanos de Montana, Wyoming e Nebraska, de 1964 a 1974. Esse estudo intensivo revelou que a condição do habitat aquático era notavelmente similar na maioria dos rios estudados que portavam a mesma porção de vazão média anual. Essa correlação foi, posteriormente, verificada em vários outros estudos em rios de 21 estados por um período de 17 anos .

O estudo consistiu em fazer medições de vazões, dos parâmetros hidráulicos largura, profundidade e velocidade e de análises químicas e biológicas, em diversas seções dos rios analisados. Segundo Tennant (1976) esses três parâmetros hidráulicos controlam o bem-estar dos organismos aquáticos e o seu habitat. Os resultados indicaram que a qualidade do habitat aquático mudava mais rapidamente quando a vazão variava de 0 para 10% da vazão média anual (figura 3.2). Com o resultado dessas medições, Tennant (1976) concluiu que 10% da vazão média anual seria a vazão mínima instantânea necessária para manter o habitat saudável, por um curto período de tempo, para a maioria formas de vida aquática. O autor analisou também outras vazões dos cursos d’água correspondente a percentuais de 30, 60 e 100% da vazão média e chegou à seguinte conclusão:

10% da vazão média - Esta é a vazão mínima instantânea que mantém, a curto prazo, o habitat saudável para a maioria dos organismos aquáticos. A largura do canal, a profundidade e a velocidade do escoamento são reduzidas significativamente, resultando na degradação do habitat aquático. Aproximadamente, 50% do fundo do leito do rio ficam expostos. As áreas com corredeiras e bancos de areia ficam ainda mais expostas. Os peixes se concentram nas zonas mais profundas e a circulação dos peixes maiores fica bastante limitada devido à baixa profundidade. A mata ciliar pode sofrer com a falta de água. A temperatura da água normalmente se torna um fator limitante, especialmente em épocas quentes. Os organismos invertebrados são severamente reduzidos. A beleza natural e a estética do rio são rigorosamente degradadas. A prática de canoagem e de caiaque se torna difícil.

30% da vazão média - Esta é a vazão recomendada para uma boa manutenção do habitat para a maioria dos organismos aquáticos. Larguras, profundidades e velocidades são, geralmente, satisfatórias. A maior parte do fundo do leito fica protegida por água, exceto nas áreas de corredeiras rasas. Bancos de areia ficam parcialmente cobertos por água. A maioria das áreas profundas terá uma altura de água suficiente para servir de abrigo aos peixes. A mata ciliar não sofrerá falta de água. Os peixes grandes não terão problema para atravessarem zonas de corredeira. A temperatura deixa de ser um fator limitante para a maioria dos rios. Ocorre uma redução na população de invertebrados, mas não o suficiente para afetar a produção de peixes. A qualidade e quantidade de água são consideradas satisfatórias para a pesca, canoagem e recreações em geral. A beleza natural e a estética do rio são, geralmente, agradáveis.

60% da vazão média - Esta é a vazão que proporciona uma qualidade de habitat excelente para a maioria dos organismos aquáticos e dos usos recreativos. As larguras, profundidades e velocidades fornecem excelentes condições de habitat. O leito do rio, em praticamente toda a sua extensão, fica coberto por água, incluindo as zonas de corredeira. Poucos bancos de areia ficam expostos. A vegetação ribeirinha disponibiliza de água abundante. Os peixes migratórios não encontram mais obstáculos na sua locomoção. A temperatura da água não representa mais um fator limitante. A população de invertebrados se torna abundante. A qualidade da beleza e da estética é considerada ótima.

Tennant (1976) sugeriu, para a recomendação da vazão mínima garantida, que seja seguida a mesma metodologia que ele utilizou, que consiste basicamente nas seguintes etapas: (1)

determinar a vazão média anual na seção de interesse do rio a ser analisado; (2) Fazer visitas ao longo do segmento do rio, observando-o e fotografando diversos tipos de habitat como poços e corredeiras, nas épocas em que as vazões se aproximam de 10%,30% e 60% da vazão média; (3) Obter medidas de largura, profundidade e velocidade de seções transversais ao longo do rio e comparar todos os dados obtidos com as necessidades dos recursos aquáticos para definir a vazão mínima garantida.

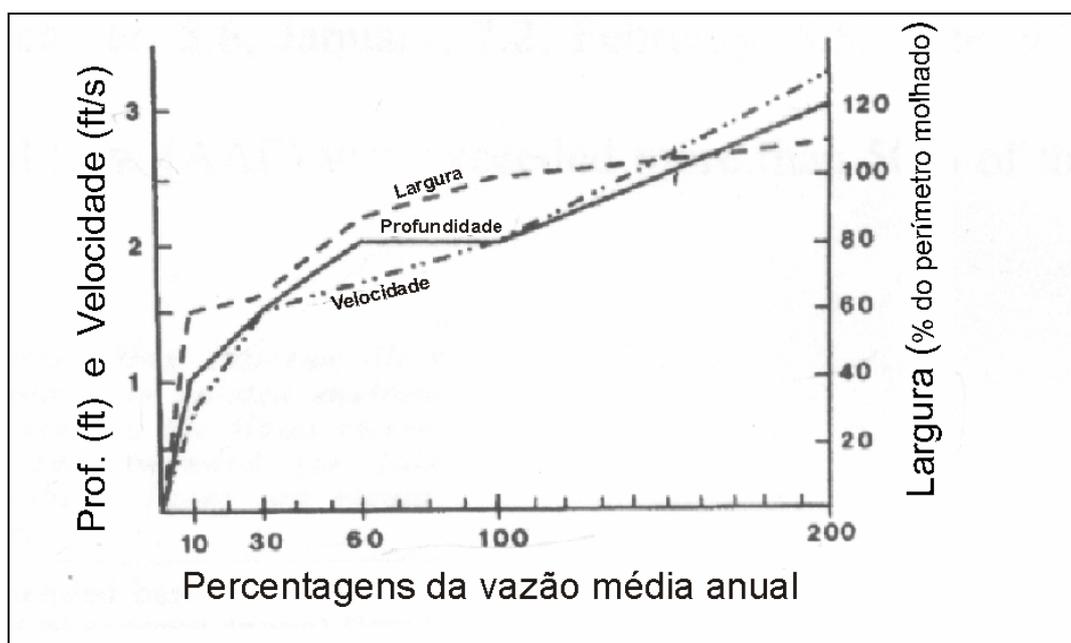


Figura 3.2 – Relações entre largura, profundidade e velocidade com percentagens da vazão média anual para 11 rios em Montana, Wyoming e Nebraska (Tennant, 1976).

Segundo Karim *et al.* (1995), o método Montana é um dos métodos mais simples e fáceis de serem utilizados por requerer, apenas, dados hidrológicos. Porém, a utilização dos seus resultados no gerenciamento dos recursos aquáticos é questionável. O método não relaciona diretamente os parâmetros e interações biológicas com a vazão (Karim *et al.*, 1995). Além disso, ele deve ser utilizado com precaução em regiões onde não foi testado. Wesche e Rechard (1980) recomendam a sua aplicação somente em rios com características morfológicas semelhantes àqueles em que o método foi baseado, sendo mais adequado aplicá-lo em rios de grandes dimensões que exibam uma variação de vazão relativamente pequena ao longo do ano.

Apesar de a metodologia incluir a recomendação da vazão mínima garantida baseada na análise dos dados de campo, como fotografias do local estudado para substanciar a avaliação, o método tem sido, geralmente, aplicado sem o conhecimento de campo, sendo

a recomendação baseada unicamente na tabela 3.3 (Loar e Sale, 1981). Esse fato reforça a consideração de se utilizar esse método com precaução.

O método de Montana tem sofrido diversas modificações na percentagem da vazão média anual, visando adaptar melhor as recomendações de vazões mínimas garantidas em regiões diferentes daquelas para a qual o método foi desenvolvido, como nos casos do Canadá, onde se adota uma vazão mínima garantida de 25% da vazão média anual (Cassie e El-Jabi, 1995), da Espanha e da Inglaterra onde se adota respectivamente de 33% a 46%, a depender da ordem do rio, e 16% da vazão média (Souchon *et al.*, 1998).

No caso de se utilizar essa metodologia no Brasil, torna-se evidente a necessidade de se efetuarem modificações devido às diferentes características climáticas e geográficas. Além do mais, Orth e Maughan (1981) aconselham que o método modificado seja usado somente no caso de recomendações preliminares de vazão mínima garantida para projetos de aproveitamento hidráulico.

Tabela 3.3 – Recomendações de vazão mínima garantida, a partir de categorias de percentagem de vazão média anual do método de Montana, para espécies aquáticas, recreação e recursos ambientais relacionados (Tennant, 1976).

Descrição da qualidade das vazões	Regimes de vazões mínimas recomendadas ⁽¹⁾	
	Outubro – março ⁽²⁾	Abril – setembro ⁽³⁾
Máxima ⁽⁴⁾	200%	200%
Faixa ótima	60-100%	60-100%
Excelente	40%	60%
Muito boa	30%	50%
Boa	20%	40%
Degradante (fraca)	10%	30%
Mínima (pobre)	10%	10%
Degradação elevada	10-0%	10-0%

(1) Percentagem em relação à vazão média anual.

(2) Período seco.

(3) Período chuvoso.

(4) Vazão recomendada para lavagem do substrato (transporte dos sedimentos).

Diversos outros autores (Wesche e Rechar,1980; Loar e Sale, 1981; Karim *et al.*, 1995; Souchon *et al.*, 1998) sugerem a mesma recomendação para o método original: o método de Montana deve ser utilizado somente para a fase de planejamento de obras hidráulicas, como estudos de viabilidade, por exemplo, não sendo recomendado o seu uso para a fase de implementação.

O método de Montana usa como base a vazão média anual, ignorando completamente a importância das características da variabilidade da vazão de uma bacia. A geometria hidráulica e a biota aquática de um curso d'água estão adaptadas ao regime de vazão do passado. (i.e, um padrão temporal em magnitude e frequência de ocorrência). Usar a mesma percentagem da vazão média para determinar a vazão mínima garantida em diferentes bacias implica que existe o mesmo regime de vazões entre as bacias. Essa consideração não é válida e omite o fato das populações aquáticas locais estarem adaptadas às variações naturais da vazão do rio (Loar e Sale, 1980). Em face de os padrões naturais serem importantes determinantes na estruturação das comunidades de peixes, os mesmos autores consideram, ainda, realistas, na determinação da vazão mínima garantida, somente os métodos hidrológicos que levam em conta a variabilidade da vazão de uma bacia em específico.

Segundo Jowett (1997), pequenos rios têm uma grande variabilidade na largura e no habitat com a vazão. Então, o risco de se propor uma metodologia baseada na vazão média é maior porque esses pequenos rios requerem uma proporção maior da vazão média para manter níveis similares de proteção ambiental dos grandes rios.

3.2.3 – Método ABF (Aquatic Base Flow)

Esse método foi desenvolvido pelo USFW para a região da Nova Inglaterra nos EUA. As recomendações de vazão mínima garantida são feitas com base em registro histórico de vazões ou na área de drenagem da área estudada. Ele tem como hipótese básica que a mediana das vazões mensais (Q_{50} - vazão com 50% de probabilidade de ser excedida, para cada mês) é suficiente para a proteção da biota aquática (Cassie e El-Jabi, 1995).

O método é aplicado a partir da consideração de dois critérios: O primeiro critério se aplica quando a área de drenagem da bacia for maior que 130 km^2 , e a série histórica de vazões for igual ou superior a 25 anos de registro. A recomendação de vazão mínima garantida por esse critério é feita a partir da mediana das vazões médias mensais da série de dados para o mês de agosto. O mês de agosto é o mês mais seco do ano para a região da Nova Inglaterra. Deve-se, então, considerar para outros locais uma pequena modificação no método, calculando a mediana para o mês mais seco relativo à sua região. Esse critério deve ser aplicado, somente se os dados forem de vazão natural. Caso contrário, usa-se o segundo critério.

Quando o primeiro critério não puder ser aplicado, usa-se o segundo critério que é baseado num percentual que representa, segundo Karim *et al.*(1995), o escoamento produzido pela área de drenagem da bacia. Ou seja, a vazão mínima garantida é calculada multiplicando-se o valor fixado pela tabela 3.4, a depender da época do ano, pela área de drenagem da bacia. A recomendação feita pelo segundo critério se baseou em estudos feitos na região que indicaram que, para bacias com áreas menores a 130 km², o Q₅₀ proporcionava vazões muito reduzidas, que não eram suficientes para os objetivos do método, então uma vazão específica, escoamento por área de drenagem, foi calculada para toda a região da Nova Inglaterra para representar a vazão mínima garantida. De acordo com Loar e Sale (1981), os valores do escoamento específico descritos na segunda coluna da tabela 3.4, foram determinados comparando as áreas de drenagem dos locais estudados com a mediana das vazões mensais de 47 rios da região da Nova Inglaterra.

Obviamente, para a consideração da aplicação desse método em rios brasileiros, não se pode considerar o segundo critério, já que ele foi formulado especificamente para a região da Nova Inglaterra. A utilização do segundo critério em regiões do Brasil só teria aplicação em casos em que as características das bacias e o registro de séries históricas de vazão fossem muito semelhantes aos da região para o qual o método foi desenvolvido. Além disso, uma pequena modificação nesse critério deveria ser feita em relação às épocas das estações do ano para o Brasil, que ocorrem em meses diferentes aos dos EUA.

Quando a vazão afluente natural for menor do que o definido pelo método, então a vazão a permanecer no rio será a própria vazão afluente.

A tabela 3.4 mostra os critérios e valores a serem utilizados para se calcular a vazão mínima garantida a partir do método ABF. A relação apresentada na tabela foi elaborada com base nos dados das séries históricas da região da Nova Inglaterra.

Tabela 3.4 – Vazões mínimas garantidas recomendadas pelo método ABF.

Período	Registro de séries históricas de vazão	
	<25 anos	>25 anos ⁽¹⁾
Primavera ⁽²⁾ (abril – junho)	0,0437 m ³ /s/km ²	100% MVM ⁽³⁾
Verão (junho – setembro)	0,0055 m ³ /s/km ²	100% MVM
Outono ⁽²⁾ (outubro – março)	0,0109 m ³ /s/km ²	100% MVM

(1) Rio natural, com bacia hidrográfica superior a 130 km²;

(2) Períodos de postura (desova) e incubação (germinação dos ovos) dos peixes;

(3) Mediana das vazões mensais (Q₅₀) para o mês mais seco.

3.3 – MÉTODOS HIDRÁULICOS

Os métodos hidráulicos envolvem a correlação entre vários parâmetros hidráulicos com condições de habitat. Eles são baseados na hipótese segundo a qual a variação dos parâmetros hidráulicos com a vazão influencia diretamente nas características do habitat físico de espécies aquáticas, que necessitam de níveis adequados para sua sobrevivência.

Nesses métodos, leva-se em conta a morfologia dos cursos d'água. O princípio consiste em preservar parte do leito do rio ou propor uma certa profundidade mínima para as várias seções a serem analisadas (Souchon *et al.*, 1998).

Os parâmetros considerados nesses métodos são: perímetro molhado, largura da superfície da água, velocidade, profundidade, área da seção transversal, e o tipo de material do leito. Os dados para esses parâmetros são levantados em diferentes seções transversais selecionadas, de forma a representar os tipos de habitats específicos de um rio (Karim *et al.*, 1995).

A coleta e a análise desses dados são, usualmente, restritas a seções transversais críticas, localizadas dentro de uma área onde esses parâmetros hidráulicos são considerados fatores limitantes e mais sensíveis a mudanças na vazão (Tharme, 1996). Admite-se que a garantia de valores mínimos para essas variáveis permitirá a manutenção da integridade do ecossistema (Loar e Sale, 1981). Assim, a recomendação das vazões mínimas garantidas é realizada a partir das curvas de comportamento da variável ou variáveis hidráulicas em função da vazão.

Nessa linha, estão o método do perímetro molhado e o método de Idaho.

3.3.1 – Método do Perímetro Molhado

O método do perímetro molhado, basicamente, recomenda uma vazão mínima garantida, por meio da análise da relação entre a variação do perímetro molhado com a vazão em uma ou diversas seções do rio.

Segundo Jowett (1997), esse é o método hidráulico mais comum. Até o final da década de 80 do século passado, esse era o terceiro método mais popular nos EUA, tendo sido usado em seis estados americanos (Reiser *et al.*, 1989).

A aplicação do método consiste nas seguintes etapas: (1) define-se uma ou várias seções transversais em locais onde se julga haver uma grande variação do perímetro molhado com a mudança na vazão e onde o ecossistema aquático é considerado sensível a essas variações. Esses locais são, geralmente, zonas de corredeira onde as velocidades são altas e as profundidades são baixas; (2) são realizadas medições de profundidade e velocidade nessas seções. Caso se queira recorrer à simulação hidráulica, são necessárias no mínimo três medições de vazões, com valores bem diferenciados, para a calibração do modelo. A partir dos dados coletados, define-se um gráfico que relaciona o perímetro molhado com a vazão (figura 3.3). Identifica-se, então, o principal ponto crítico da curva. A vazão referente a esse ponto na curva é, então, a vazão mínima garantida a ser considerada (figura 3.4).

Para a primeira etapa, existem duas possibilidades alternativas para a aplicação do método: pode-se optar por definir apenas uma seção transversal, considerando-a a mais crítica de todas dentro do segmento de rio estudado, onde a vazão a ser definida representará a vazão mínima garantida adequada para todas as seções críticas. Ou então, determinam-se várias seções ao longo do segmento de rio afetado e traça-se a curva do perímetro molhado em função da vazão para cada uma, avaliando-as individualmente ou traçando uma única curva onde o eixo do perímetro molhado representará a média dos valores de todas as seções selecionadas.

Para a segunda etapa, o ponto crítico é aquele a partir do qual um aumento na vazão traduz-se num aumento pouco significativo do perímetro molhado (figura 3.4). Em outras palavras, o ponto considerado crítico é aquele em que uma redução na vazão a partir desse ponto resulta numa redução acentuada do perímetro molhado, que é diretamente relacionado à qualidade do habitat.

Uma vez determinada essa vazão, supõe-se que outras áreas de habitat estarão satisfatoriamente protegidas (Annear e Conder, 1984). Mas, como a forma do canal pode influenciar nos resultados da análise, essa técnica é usualmente aplicada em rios com seções transversais largas, rasas e relativamente regulares (Stalnaker *et al.*, 1995).

Os invertebrados bentônicos constituem a fonte de alimento de diversas espécies piscícolas. Por outro lado, as zonas de corredeiras, que constituem locais de passagem e, para algumas espécies, zonas de postura e crescimento dos alevinos, são as zonas do curso d'água mais afetadas pela diminuição da vazão (Lopes, 2002). Baseado nessa premissa, o

método do perímetro molhado parte do princípio de que a produtividade bentônica está relacionada com a superfície molhada do leito do curso d'água, representada pelo perímetro molhado, e que qualquer alteração das populações bentônicas afetará diretamente as populações piscícolas. Assim, ao definir uma vazão que permita a manutenção dessas zonas, a mesma permitirá manter igualmente as zonas mais profundas onde, normalmente, indivíduos adultos residem (Alves *et al.*, 1999).

Para Annear e Conder (1984), o método assume que existe uma relação direta entre o perímetro molhado e disponibilidade de habitat para os peixes. Partindo dessa consideração, o ponto crítico representaria a vazão a partir da qual uma redução provocaria uma acelerada perda de habitat disponível para os peixes.

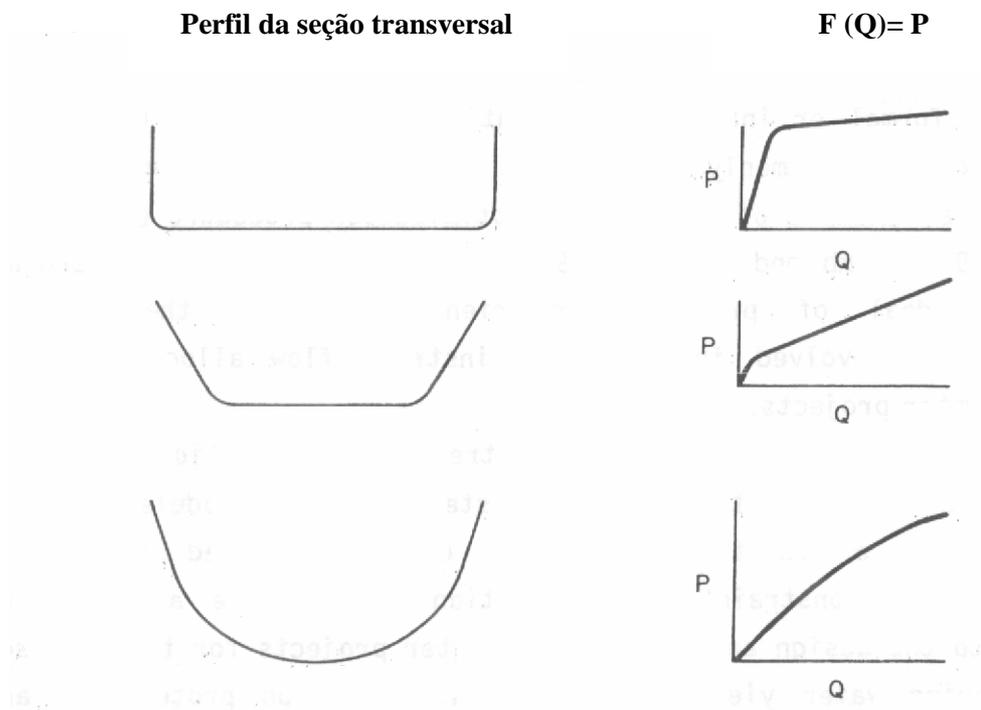


Figura 3.3 – Relação entre o perfil da seção transversal e o comportamento da curva do perímetro molhado P em função da vazão Q (Bovee e Milhous, 1978 *apud* Loar e Sale, 1981).

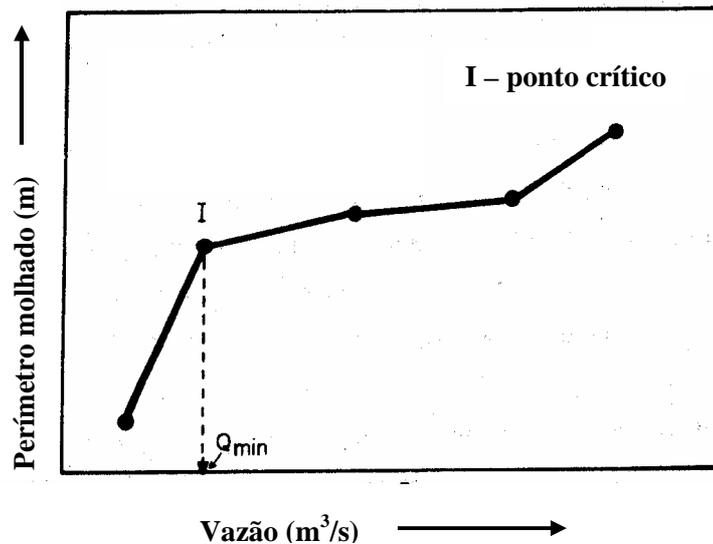


Figura 3.4 – Definição da vazão mínima garantida no método do perímetro molhado a partir do ponto crítico (Loar e Sale, 1981).

De acordo com Leathe e Nelson (1986) *apud* Alves (1993), esse é o método mais eficaz entre os métodos de seu grupo. Porém, os mesmos autores afirmam que esse método não é aplicável em rios em que predominam cascatas, ou em cursos d'água de pequeno declive, em que as zonas de corredeiras são pouco significativas.

3.3.2 – Método de Idaho

O método de Idaho é uma metodologia de determinação de vazões mínimas garantidas que foi inicialmente elaborado para grandes rios do Estado de Idaho nos EUA. Ele tem como objetivo prognosticar a perda de habitat para descargas reduzidas, utilizando um modelo de simulação hidráulica, e relacionar essa perda com as condições físicas e biológicas. Esse método também faz recomendações de vazões mínimas garantidas adequadas para passagem, reprodução e crescimento de peixes (Morhardt, 1986).

O método pressupõe a definição das áreas críticas para a livre circulação, reprodução e crescimento das espécies piscícolas. Em cada área crítica, são definidas seções transversais nas quais é realizado um levantamento topográfico e ao longo das quais são efetuadas medições de velocidade, profundidade e tipo de substrato (material da camada do fundo do leito do rio, como cascalho, areia, pedra ou vegetação). A caracterização física de cada seção é realizada uma única vez para a vazão mais baixa (Alves, 1993)

O modelo de simulação hidráulica utilizado é o programa WSP (Water Surface Profile), o qual mostra, baseado em dados de uma única vazão, como a profundidade, a velocidade, e

a largura do rio variam em função de cada vazão simulada para cada seção transversal selecionada (Morhardt, 1986). Vale salientar que é possível utilizar qualquer outro modelo de simulação, desde que ele forneça as características hidráulicas necessárias ao desenvolvimento do método Idaho.

O resultado dessa simulação permite realizar uma comparação das condições de habitat simuladas com as necessidades de habitat das diferentes espécies, permitindo desenvolver recomendações de vazões mínimas garantidas para a circulação, reprodução e crescimento (Bezerra, 2001).

Para definir a vazão mínima garantida necessária à circulação, reprodução e crescimento dos peixes, considera-se um critério diferente para cada uma das fases do ciclo de vida dos peixes. Os critérios são descritos a seguir para cada uma dessas fases definidas por Wesche e Rechard (1980).

Circulação dos peixes - Na escolha das seções para a análise da passagem, corredeiras rasas e bancos de areia, que possivelmente impediriam a migração de peixes para montante ou para jusante, devem ser selecionadas. Como essas áreas provavelmente se encontram ao longo de um determinado trecho do curso d'água, deve-se selecionar várias seções transversais que representem um potencial bloqueio à circulação dos peixes (figura 3.5).

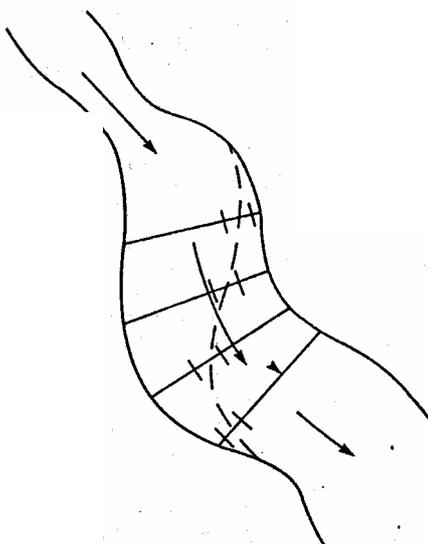


Figura 3.5 – Localização das seções transversais para o critério de circulação dos peixes do método de Idaho. A linha tracejada representa a parte do leito mais rasa (Wesche e Rechard, 1980).

A partir da área selecionada, define-se a profundidade mínima necessária para a passagem da espécie estudada e, em seguida, com base nos dados de cota da superfície da água e vazão, determina-se a vazão mínima garantida para a circulação dos peixes para as épocas de migração.

Reprodução dos peixes - Para o critério de reprodução, deve-se estabelecer no rio trechos representativos de aproximadamente o tamanho da largura das seções de corredeira. Ao menos três corredeiras potencialmente escolhidas pela espécie selecionada devem ser examinadas em cada trecho de estudo. Avalia-se, então, as melhores profundidade e velocidade que permitem condições adequadas para a desova dos peixes.

Crescimento dos peixes - Na época em que foi criado esse método, havia pouco conhecimento sobre as necessidades de desenvolvimento dos alevinos até a fase adulta. Para que o crescimento das espécies de peixe seja bem sucedido, eles devem ter acesso a alimento, habitat físico e qualidade de água apropriada.

No caso do alimento, sabe-se que os organismos invertebrados são as principais fontes de alimento para os peixes. Como esses organismos se encontram principalmente em zonas de corredeiras, e essas áreas são mais afetadas pela redução da vazão, é “sensato” considerar que a proteção adequada das condições qualitativas das corredeiras também ajudará na manutenção adequada das zonas mais profundas.

O método, então, considera que o crescimento dos peixes é diretamente proporcional à produção de alimento, que é, por sua vez, assumido como proporcional ao perímetro molhado (Collings, 1974 *apud* Wesche e Rechar, 1980). Existem poucos estudos específicos relatados sobre a validade dessa relação. Enquanto não se tem um conhecimento melhor sobre o desenvolvimento dos peixes em relação a esses fatores, recomenda-se a utilização do método do perímetro molhado para o crescimento. As seções escolhidas para o desenvolvimento do método do perímetro molhado devem ser corredeiras acessíveis e representativas.

As vazões mínimas garantidas são recomendadas para períodos quinzenais ou mensais. Seleciona-se, para o período proposto, o valor mais elevado de vazão mínima garantida entre os valores determinados pelos critérios do método, considerando que o maior valor abrangerá todas as exigências de vazão para as várias fases do ciclo de vida dos peixes analisados.

A vantagem desse método em relação ao do perímetro molhado é que ele considera outras necessidades ao longo do ciclo de vida dos peixes. E em relação ao *IFIM*, ele envolve um tempo menor, apesar de fazer considerações mais superficiais sobre as espécies aquáticas.

Segundo Weshe e Rechar (1980), essa metodologia é proposta apenas como um ponto de partida para o desenvolvimento da recomendação de uma vazão mínima garantida para grandes rios e não tem pretensão de ser minucioso.

3.4 – MÉTODOS ECOLÓGICOS

Os métodos ecológicos surgiram com o intuito de suprir as falhas encontradas nos métodos apresentados anteriormente. Assim, várias metodologias, baseadas na relação entre o habitat e a vazão, foram desenvolvidas. Entre os métodos incluídos nessa classe, pode-se citar o método “WRRI Cover”, o método de Washington, método da Califórnia, método de Oregon, e o método “*Instream Flow Incremental Methodology*” – *IFIM* (Alves, 1993; Bovee *et al.*, 1998).

Esses métodos se diferenciam dos demais pela focalização mais acentuada sobre o habitat - espaço físico necessário à vida dos organismos aquáticos. Os métodos dessa categoria consideram efetivamente os fatores de ordem biológica (Souchon *et al.*, 1998). Segundo esses autores, esses métodos são bem mais completos, comparando-os com os métodos hidrológicos e hidráulicos. Eles permitem, em primeiro lugar, fazer análises puramente físicas em diferentes níveis de detalhe, mas eles avaliam sobretudo as relações biológicas.

Os métodos dessa classe que têm sido amplamente utilizados nos EUA são o “*Physical Habitat Simulation*” – *PHABSIM* e o *IFIM*. Podem ser destacados como exemplos de aplicação, estudos como o de Estes (1987) no Alaska, o de Milhous (1999) e, recentemente, no Brasil, o trabalho de Pelissari (2000).

Segundo Souchon *et al.* (1998), essa metodologia é bem aceita na França e bastante utilizada nos estudos de impacto ambiental, em particular nos estudos de renovação de licença ambiental para as hidrelétricas.

3.4.1 – *Instream Flow Incremental Methodology (IFIM)*

No fim dos anos 70, o USFWS, na época, Office of Biological Services, recebeu fundos da EPA para criar o Cooperative Instream Flow Service Group. O principal objetivo do grupo era desenvolver métodos para quantificar os efeitos biológicos da variação do regime de vazões (MESC, 2000). O resultado foi a criação do *IFIM*, do qual o *PHABSIM* é o principal componente.

O *IFIM* é composto por uma coleção de procedimentos analíticos e computacionais interligados que descrevem as características temporais e espaciais de habitat em consequência de uma dada alternativa de alteração de regime de vazão de rios (Stalnaker *et al.*, 1995; Bovee *et al.*, 1998). Ele integra os conceitos de planejamento de derivação de água, modelos analíticos da hidráulica e da qualidade de água, e, empiricamente, estabelece as funções de habitat versus vazões.

A principal razão de a análise ser baseada no habitat é porque o *IFIM* foi elaborado para quantificar impactos ambientais, e segundo Stalnaker *et al.*(1995) a maior parte dos impactos sobre o habitat é de natureza direta e quantificável.

Nesse método, podem ser usadas três escalas espaciais de habitat na análise. Em ordem decrescente de escala, têm-se macrohabitat, mesohabitat e microhabitat. O macrohabitat é uma porção longitudinal de um rio onde um conjunto de condições abióticas controla a distribuição de organismos devido a um ou vários parâmetros ambientais como a hidrologia, geomorfologia, temperatura, qualidade da água ou fonte de energia. Três níveis de macrohabitat podem ser analisados na metodologia: uma bacia hidrográfica, uma rede hidrográfica ou um segmento de rio. O segmento de rio é a menor escala de macrohabitat e é considerado a unidade de habitat fundamental na avaliação usada no *IFIM*. O mesohabitat é definido como um trecho de rio que apresenta características relativamente similares de profundidade, velocidade, declividade, substrato e cobertura. O comprimento do mesohabitat é, geralmente, da mesma ordem de grandeza da largura do canal e ele pode ser subdividido em diversos microhabitats. O microhabitat, por sua vez, é um conjunto de pequenas áreas localizadas, dentro do mesohabitat, que são ocupadas ou usadas por uma espécie aquática específica, em que as características espaciais, como profundidade, velocidade e tipo de cobertura, estão em condições relativamente homogêneas (Bovee *et al.*, 1998; MESC, 2001). A escolha da escala de habitat a se considerar na análise dependerá da área de estudo que se pretende adotar.

O *IFIM* deve ser aplicado em cinco fases seqüenciais (Stalnaker *et al.*, 1995; Bovee *et al.*, 1998): diagnóstico e identificação do problema, planejamento do estudo, implementação do estudo, análises das alternativas e resolução do problema.

Na fase de Diagnóstico e identificação do problema, é feita uma análise para identificar todos os atores atingidos ou interessados, o interesse de cada uma deles, a necessidade de informações e o processo de decisão apropriado. Essa fase possui duas partes: uma análise legal-institucional e uma análise física. A primeira parte define a situação do problema para o melhor entendimento do projeto proposto, os impactos prováveis, os objetivos de todos os atores envolvidos e o contexto provável de resolução do problema. A segunda parte determina a situação física e extensão geográfica das prováveis mudanças físicas e químicas no sistema, além dos recursos aquáticos de maior interesse, juntamente com seus objetivos de gerenciamento (Stalnaker *et al.*, 1995).

No Planejamento do estudo para a determinação das vazões mínimas garantidas, é sugerida a seguinte seqüência de atividades (Pelissari, 2000): i) seleção da área de estudo e locais de amostragem, ii) seleção das variáveis ambientais, iii) época de amostragem, iv) seleção das espécies.

i) Seleção da área de estudo e locais de amostragem

A escolha da área de estudo é feita em função do nível de detalhe que se deseja na análise. Existem três níveis a serem considerados: i) estudos em nível de gestão e planejamento dos recursos hídricos em que a bacia hidrográfica é a unidade de planejamento; ii) estudos de âmbito local, em que se pretende definir um regime de vazões como medida de minimização dos impactos provocados pela alteração do regime hidrológico, podendo abranger parte ou totalidade do curso d'água e afluentes; iii) estudos de avaliação de impacto ambiental em projetos que afetem, de uma forma direta ou indireta, pequenos trechos de rio e afluentes.

A seleção dos locais de amostragem deve ser feita no sentido de minimizar o tempo de trabalho e o dispêndio com os recursos humanos e financeiros. Na determinação do local de amostragem, o trecho do rio deverá ser dividido em, pelo menos, três segmentos para caracterização do macrohabitat. O número de segmentos deve ser equivalente ao número de diferentes macrohabitats (Alves, 1993). Segmento, segundo Bovee *et al.* (1998), é uma

seção relativamente longa de um rio que apresenta condições homogêneas quanto ao regime hidrológico e geomorfologia do canal.

Para a caracterização do microhabitat, devem ser selecionados trechos representativos e críticos dentro dos segmentos escolhidos. Trecho representativo é uma porção do comprimento do rio usado para representar as características do microhabitat de um segmento, considerando-se que ele contenha todos os tipos de mesohabitat, na mesma proporção do segmento (Bovee *et al.*, 1998). Os trechos críticos são frações do curso d'água que correspondem a um tipo de microhabitat, importante para o ciclo de vida de uma espécie selecionada, sensível às alterações de vazão.

ii) seleção das variáveis ambientais

As variáveis que podem ser afetadas pela alteração do regime hidrológico e que determinam as condições de habitat para as espécies são selecionadas. Em qualquer aplicação do *IFIM*, as alterações nos componentes de microhabitat, ou seja, velocidade, profundidade, substrato e cobertura, são sempre avaliadas. Essa etapa é referida em especial às componentes do macrohabitat, em particular, características geomorfológicas, de qualidade de água e temperatura (Pelissari, 2000).

iii) época de amostragem

A escolha da época para a coleta dos dados deverá levar em consideração a sazonalidade ao longo do ano para que haja uma representatividade das diversas condições ambientais existentes no rio durante cada período. Essa variação temporal implica numa distribuição longitudinal diversificada das espécies no curso d'água e permite analisar as diversas fases do ciclo de vida das espécies, o que faz com que a seleção das épocas de coleta seja importante na aplicação do método.

iv) seleção das espécies

As espécies podem ser divididas em 5 classes de categoria (Wesche e Rechar, 1980): (1) espécies esportivas: são as espécies de peixes para atividades esportivas de pesca; (2) espécies indicadoras: são peixes sensíveis à redução de disponibilidade de habitat (eles não habitam áreas que são particularmente suscetíveis a variações na vazão. Assume-se que se as condições são adequadas para a espécie indicadora, todas as outras espécies também terão um habitat conveniente); (3) espécies raras ou em perigo de extinção: são aquelas que

podem ser, localmente, abundantes, mas com uma distribuição altamente restrita, ou aquelas que ocupam a maior parte de sua distribuição-padrão, mas em um número de indivíduos muito reduzido; (4) espécies não-esportivas importantes: são aquelas espécies que competem diretamente com as espécies esportivas e (5) espécies consumidoras de primeira ordem: são os organismos que ocupam posições intermediárias na cadeia alimentar (por exemplo, peixes pequenos que se alimentam de plantas e invertebrados aquáticos).

Selecionam-se, então, no rio estudado, as espécies a serem analisadas levando-se em conta a categoria considerada de maior importância.

Existem casos em que se selecionam os macroinvertebrados benthônicos como organismos-alvo dos estudos. Esses organismos são uma das principais fontes de alimento para os peixes. Eles são escolhidos quando há a comprovação de que são o fator limitante mais importante para a vida aquática do rio.

Atualmente, os macroinvertebrados bentônicos estão sendo estudados para servirem como organismos indicadores da qualidade da água. Isso porque a maioria das espécies é muito sensível à poluição, não apresentando tolerância quando se afeta negativamente a qualidade da água, presente num corpo hídrico. Os macroinvertebrados bentônicos representam um elemento importante na estrutura e funcionamento dos ecossistemas aquáticos e sua distribuição é influenciada pelas características do sedimento, morfologia das margens, profundidade, natureza química do substrato, vegetação, competição entre as diferentes espécies e disponibilidade de fontes alimentares (Souchon *et al.*, 1989). Foram também constatados que alguns fatores que controlam os macroinvertebrados, como a temperatura, vazão e características do sedimento, afetam igualmente organismos de níveis tróficos inferiores como as algas benthônicas (Loar e Sale, 1980).

As fases seguintes do *IFIM* são referentes à sua aplicação prática. O seu principal componente na implementação dos estudos é o Sistema de Simulação de Habitat Físico.

3.4.2 - *Physical Habitat Simulation System (PHABSIM)*

O Sistema de Simulação de Habitat Físico, “*Physical Habitat Simulation System*” (*PHABSIM*) é um conjunto de modelos de simulação hidráulica e de habitat destinados a quantificar o habitat disponível em um rio, para uma determinada espécie piscícola, associado a alterações de vazão (Bovee *et al.*, 1998).

O *PHABSIM* mostra a relação entre a vazão e o habitat físico de espécies aquáticas em rios e foi projetado para a aplicação no gerenciamento dos recursos hídricos. Ele se baseia na teoria de que a qualidade e a quantidade de habitat físico estão relacionadas às necessidades ambientais dos organismos aquáticos (Milhous, 1999).

O *PHABSIM* combina descrições empíricas das características da estrutura do canal, da simulação das distribuições de profundidade e velocidade e do índice de preferência de habitat (IPH) da espécie escolhida para o estudo (Bovee *et al.*, 1998).

O termo Índice de Preferência de Habitat (IPH) é derivado da expressão em inglês “*Habitat Suitability Index – HSI*”. O termo em português foi sugerido por Pelissari *et al.* (1999). O IPH pode ser definido como um índice que representa uma maior ou menor preferência de uma espécie em selecionar um microhabitat em função das condições que constituem esse microhabitat. O IPH é discutido detalhadamente mais a frente.

Uma limitação significativa do método é que não há uma relação simples entre habitat físico e biomassa aquática. Existem várias interações entre espécies, estágios de vida e outras variáveis que influenciam na situação particular de cada ecossistema e que não são levadas em consideração no *PHABSIM* (Milhous, 1999). O modelo assume que a produção de peixes é limitada pela disponibilidade de habitat físico, o que nem sempre é verdade. A produtividade pode estar relacionada unicamente a outros fatores, como, por exemplo, a qualidade da água ou associada a fatores como a disputa entre espécies (MESC, 2000).

Enfim, o habitat físico é uma condição necessária, mas não suficiente para a produção e sobrevivência dos organismos aquáticos. Assim, os resultados do *PHABSIM* podem ser vistos como um potencial indicador de população de peixes em sistemas onde as condições de habitat são as principais restrições para essa mesma população (MESC, 2001).

O *PHABSIM* necessita de três conjuntos de variáveis para simulação do microhabitat físico: a estrutura do canal, os dados hidráulicos e os índices de preferência de habitat (figura 3.6 a e b).

O resultado do *PHABSIM* é representado pela Superfície Ponderada Utilizável (SPU). O SPU é uma medida de habitat que combina quantidade e qualidade de microhabitat físico. SPU é expresso em unidade de área de microhabitat por unidade de comprimento de rio (MESC, 2001).

O *PHABSIM* tem o seguinte procedimento: primeiramente, Profundidade (D_i), Velocidade (V_i), condições de cobertura (C_i) e área (A_i) são medidas ou simuladas para cada célula, em função de uma dada vazão (figura 3.6a). Combinando esses dados com o Índice de Preferência de Habitat para a velocidade, profundidade e cobertura (figura 3.6b), determina-se a relação entre a vazão e a área de microhabitat disponível para a espécie selecionada, ou seja, a SPU (Figura 3.6c).

Simulação Hidráulica - As simulações hidráulicas são essenciais no *PHABSIM* para o desenvolvimento da função do habitat físico versus a vazão (Milhous,1999). As características hidráulicas a serem simuladas são as elevações da superfície da água e as velocidades em cada célula da seção transversal para as vazões de interesse. Os modelos de simulação hidráulica, usados no *PHABSIM*, assumem que a forma do canal não muda com as vazões. Ou seja, admite-se que o leito está em equilíbrio. Admite-se, também, regime permanente para as diversas vazões e períodos de tempo considerados. Os modelos de elevação da superfície da água utilizados no *PHABSIM* são o STGQ, MANSQ e WSP. O modelo usado para simular a distribuição de velocidades na seção transversal é o VELSIM (figura 3.7).

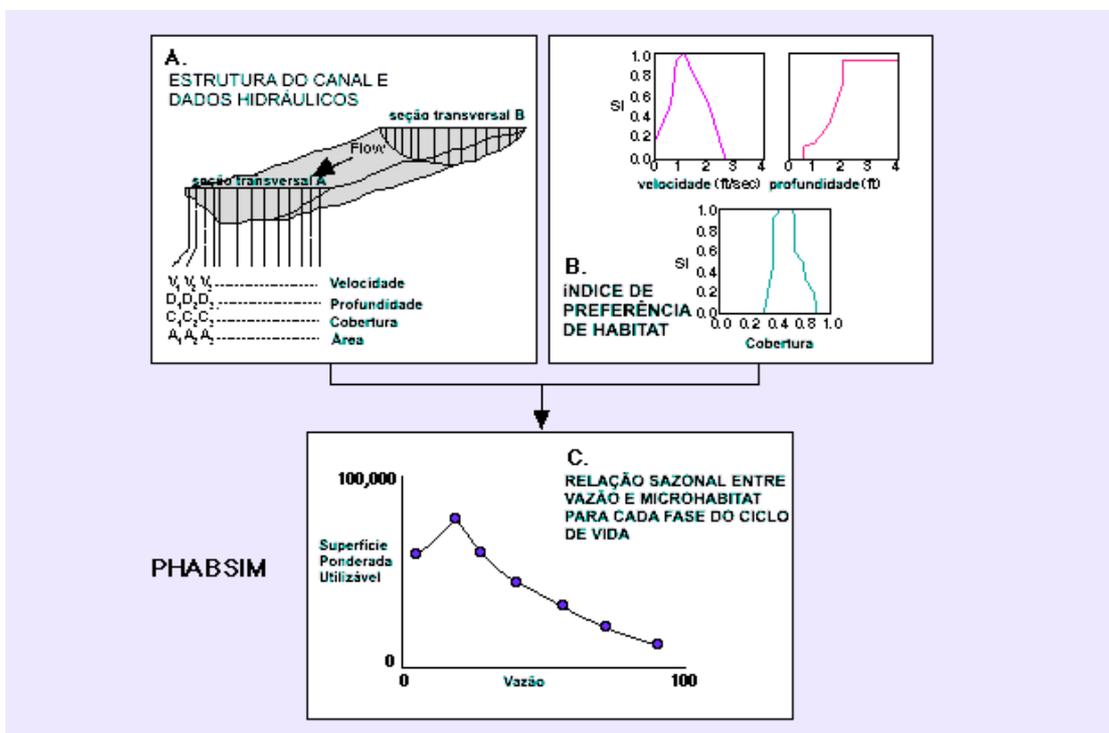


Figura 3.6 – Procedimento do *PHABSIM* para produzir o gráfico que relaciona a vazão com a área de microhabitat disponível para a espécie selecionada para o estudo (Stalnaker *et al.*, 1995).

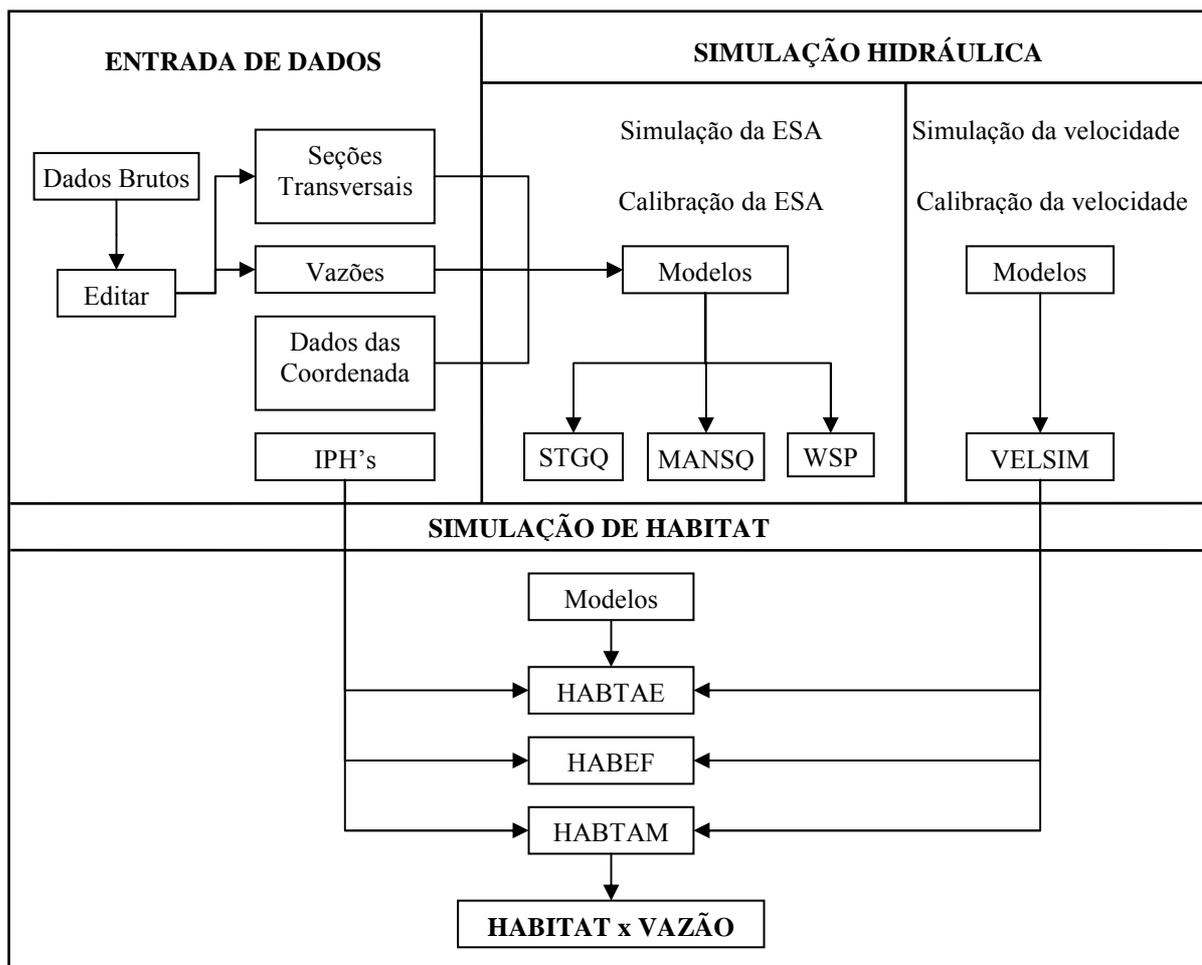


Figura 3.7 – Principais modelos de simulação hidráulica e de habitat utilizados pelo PHABSIM (modificado de Stalnaker *et al.*, 1995).

Índices de Preferência de Habitat (Habitat Suitability Index)

O componente-chave para a avaliação da vazão mínima garantida no *IFIM* é o desenvolvimento do índice de preferência de habitat, para uma ou mais espécies de peixe. As principais características do rio para os quais esse método pode ser desenvolvido são a profundidade, a velocidade, o tipo de cobertura e o substrato (Pelissari *et al.*, 1999).

Para gerar os índices de preferência de habitat, existem três tipos de categorias que se diferenciam pelos tipos de informação e tratamento de dados utilizados. Os Índices são derivados a partir de experiências pessoais, opiniões de profissionais ou definidos através de negociações estão inseridos na **categoria I**. O critério utilizado na **categoria II** é baseado na análise de frequência das características do microhabitat medidos nos locais usados pelas espécies selecionadas, no momento em que estas são observadas ou capturadas. Esses critérios são conhecidos como funções de uso ou de utilização de habitat. Eles são chamados dessa forma por representar as características do habitat que foi

selecionado pelas espécies durante as observações de campo. Porém, as funções de uso podem não descrever de forma rigorosa a preferência de uma espécie por um microhabitat devido à influência da “disponibilidade ambiental”. Em outras palavras, locais com condições ótimas no curso d’água podem não estar sendo utilizados pelas espécies devido a uma grande dificuldade de acesso, ou ainda, condições menos favoráveis podem ser usadas em maior proporção pelas espécies se estas forem as únicas disponíveis. Essas funções têm, por isso, uma aplicação restrita ao curso d’água para o qual são desenvolvidas, ou a cursos d’água de características muito semelhantes (MESC, 2001). A **categoria III** foi desenvolvida com o intuito de reduzir essa influência. Essa categoria baseia-se no fato de que, se um organismo encontra-se em proporção elevada num dado microhabitat, é porque selecionou de forma ativa esse microhabitat. Nessa categoria, os critérios são denominados de funções de preferência ou de eletividade (Bovee *et al.*, 1998).

Bovee *et al.* (1998) citam ainda que o processamento da informação e da forma de representação dos critérios pode ser realizado por meio de três técnicas estatísticas: i) análise de histograma; ii) técnicas de regressão não-linear; e iii) limites de tolerância não-paramétricos. As técnicas mais utilizadas na prática, porém, restringem-se às duas primeiras.

O formato no qual o IPH pode ser apresentado consiste, em termos práticos, em dois tipos viáveis, que podem ser utilizados no *PHABSIM* (MESC, 2001): (a) a representação binária e (b) as curvas univariadas (figura 3.8).

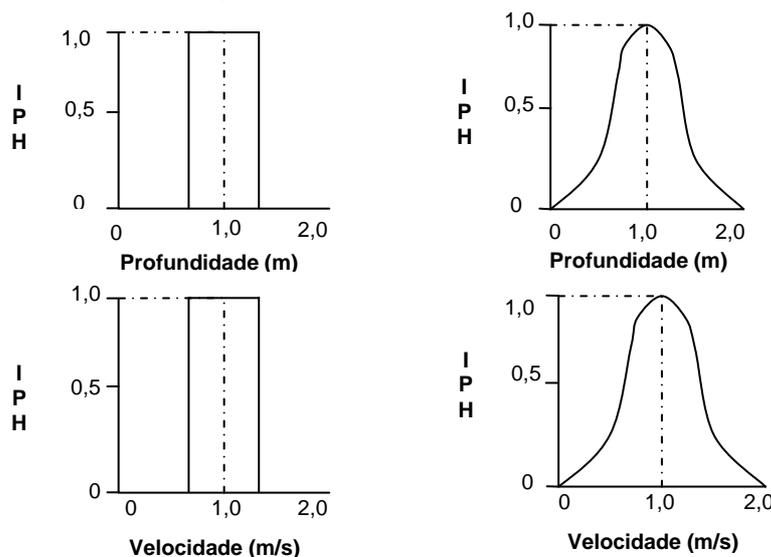


Figura 3.8 – Formas de apresentação mais utilizadas para o IPH para as variáveis profundidade e velocidade (Alves, 1993).

A representação binária representa o microhabitat “utilizável” ou “não-utilizável” pela espécie de peixe. Por exemplo, partes da seção transversal que apresentam profundidades menores (ou maiores) ou velocidades maiores (ou menores) do que a dos critérios do IPH, são classificadas como não utilizáveis pela espécie estudada (Loar e Sale, 1981).

Até a década de 80 do século passado, o USFWS criou esses critérios para profundidade, velocidade e tipo de substrato nos diversos estágios de vida, para 45 espécies de peixes dos EUA (Wesche e Rechard, 1980).

Simulação de Habitat - A simulação de habitat está relacionada às características físicas do trecho representativo do rio. A simulação determina a área disponível de microhabitat para a espécie em estudo, que é conhecida como Superfície Ponderada Utilizável, para esse trecho de rio em função de uma dada vazão. A equação da SPU é (Milhous , 1999):

$$SPU_{(Q,S)} = \sum \{f(v, d, cl) \cdot \Delta A\}$$

(3.1)

em que SPU é expresso em unidade de área de microhabitat por unidade de comprimento de rio; ΔA é uma sub-área superficial do trecho de estudo denominada célula e $f(v,d,cl)$ relaciona as características físicas da sub-área no rio (velocidade, profundidade e cobertura) para um dos estágios de vida de uma espécie aquática particular. A função usualmente utilizada para $f(v,d,cl)$ é:

$$f(v,d,cl) = g(v) * h(d) * k(cl)$$

(3.2)

Essa equação é calculada a partir do resultado obtido para os índices de preferência de habitat descritos na seção 3.5.2.2 (figura 3.8). Cada variável dessa equação representa, respectivamente, os índices para a velocidade, a profundidade e as características do canal (substrato e cobertura) de uma célula, para uma determinada vazão. Ou seja, esses índices são, na verdade, pesos dados às variáveis velocidade (v), profundidade (d) e características do canal (cl).

O trecho representativo do rio deve ser dividido em células, sendo a largura e o comprimento de cada uma definido pelo pesquisador. Para uma particular vazão, qualquer célula terá uma combinação da área superficial, da profundidade, da velocidade, do substrato e cobertura (Pelissari, 2000).

A determinação da área total de habitat disponível para uma espécie, em uma determinada fase do ciclo de vida, num segmento de rio, é definida basicamente pelo produto da área de microhabitat por unidade de comprimento (SPU unitário) pelo comprimento do segmento considerado. Ou seja:

$$AH = SPU \times L \quad (3.3)$$

onde AH é a área do habitat total do segmento e L é o comprimento do segmento do curso d' água.

Determinação da vazão mínima garantida - Para se determinar a vazão mínima garantida por meio dos resultados obtidos pelo *PHABSIM* (curvas SPU x Vazão), é preciso se proceder à interpretação desses dados. Existem duas técnicas que são amplamente utilizadas para esse objetivo: a técnica baseada nas curvas SPU x Vazão e a técnica da matriz de otimização.

a) Técnica baseada nas curvas SPU x Vazão

As curvas da SPU em função da vazão para cada fase do ciclo de vida das espécies selecionadas, elaborada na simulação de habitat, podem ser utilizadas na determinação da vazão mínima garantida. Para isso, adota-se em cada curva a vazão correspondente ao ponto crítico. Ou seja, o ponto a partir do qual a SPU decresce rapidamente para uma pequena redução na vazão. Dentre as vazões referentes ao ponto crítico de cada curva para cada fase do ciclo de vida das espécies selecionadas, a vazão mínima garantida recomendada será aquela de maior valor, considerando-se que esta constitui a vazão que permite a manutenção da ictiofauna a níveis considerados desejáveis (Alves, 1993).

Essa técnica permite obter bons resultados quando o objetivo é aumentar o potencial de produção de uma dada espécie. No entanto, quando o objetivo é a conservação de habitat ou a minimização dos impactos de regularização de vazões, ou quando são consideradas várias espécies com diferentes necessidades de habitat, a utilização dessa técnica torna-se pouco adequada devido à complexidade dos problemas (Sale *et al.*, 1981 *apud* Alves, 1993). Para tal, foi desenvolvida a técnica da matriz de otimização. Essa técnica é considerada mais confiável, por envolver processos mais complexos de apresentação e interpretação dos resultados (Bovee *et al.*, 1998).

b) Matriz de otimização

A matriz de otimização envolve a definição de uma vazão mínima garantida para cada mês do ano de forma a minimizar a redução da área de habitat disponível para qualquer fase do ciclo de vida das espécies que estão presentes no curso d'água, durante esse mês. A aplicação dessa técnica consiste na construção de uma matriz para cada mês, na qual as colunas se referem às vazões e as linhas às fases do ciclo de vida das espécies presentes no rio durante esse mês (Alves, 1993). As vazões a serem colocadas na matriz podem ser percentagens da vazão média mensal ou vazões com probabilidade de excedência que variem entre 50% a 95% para o mês em questão. Para cada valor de vazão, computa-se o valor da SPU para cada fase do ciclo de vida. A vazão mínima garantida é, então, obtida da seguinte maneira: para cada coluna, define-se o menor valor de SPU entre as fases do ciclo de vida das espécies. Dentre esses valores definidos, seleciona-se aquele com maior valor.

3.5 - MÉTODOS SANITÁRIOS

Os métodos sanitários são métodos que permitem avaliar as condições qualitativas de um curso d'água devido a fontes de poluição antrópicas. Incluem-se dentro desta categoria de métodos, todos aqueles que se destinam a analisar a qualidade da água de um curso d'água para os diversos tipos de uso como a pesca, a utilização da água pelos peixes, abastecimento humano, entre outros. É importante frisar que apesar de ter sido adotado para esta categoria a nomenclatura “sanitários”, existem métodos mais abrangentes que consideram outros fatores e que não são, de fato, sanitários.

Os métodos sanitários mais utilizados são os modelos de simulação de qualidade da água. O objetivo principal de qualquer modelo de qualidade da água é produzir uma ferramenta que seja capaz de simular o comportamento de componentes hidrológicos e de qualidade da água (Brown e Barnwell, 1987).

Existem basicamente dois tipos de modelos de qualidade de água: modelos que simulam as cargas de poluição de uma bacia e modelos que simulam a qualidade da água de rios. Esse segundo tipo reflete a dinâmica da concentração das cargas de poluentes ao longo do curso d'água. Nas tabelas 3.5 e 3.6 podem ser vistos alguns dos modelos para as duas categorias citadas acima.

Como a escala de análise, no caso deste trabalho, é o rio, descreve-se apenas os modelos de simulação de rios. É importante destacar que a determinação da vazão mínima garantida por meio dos modelos de qualidade da água é medida de forma indireta.

Segundo Lima e Giorgetti (1997), a modelação da qualidade hídrica constitui-se em uma valiosa ferramenta da engenharia ambiental destinada à simulação dos processos de transporte e autodepuração de um corpo d'água, propiciando, assim, antever e avaliar, para diferentes cenários, as alterações na qualidade das águas de um corpo receptor de descargas poluentes e contaminantes.

O objetivo de se utilizarem modelos desse tipo para a determinação da vazão mínima garantida se baseia na necessidade de se determinar a vazão necessária para se manter um nível de qualidade satisfatório no corpo d'água, tanto para os usos humanos quanto para os ecossistemas aquáticos.

Modelos de qualidade de água para rios buscam descrever a variação, no espaço e no tempo, de vários constituintes de interesse denominados de parâmetros físicos, químicos e biológicos. Esses modelos simulam oxigênio dissolvido, nutrientes e eutrofização, materiais tóxicos, entre outros. A complexidade desses modelos varia desde modelos baseados simplesmente na equação de Streeter e Phelps, que considera apenas duas variáveis (demanda bioquímica de oxigênio e oxigênio dissolvido), relacionadas à depleção do oxigênio, a modelos que descrevem ciclos do oxigênio, fósforo e nitrogênio, além de outros constituintes (Rauch *et al.*, 1998).

Devries e Hromadka (1992) descrevem alguns modelos de qualidade da água, entre os quais SWMM- Storm Water Management Model, QUAL2E- Enhanced Stream Water Quality Model, AGNPS- Agricultural Non-point Source Pollution e MIKE11- Microcomputer-Based Modelling System-River and Channels.

As tabelas 3.5 e 3.6 mostram, resumidamente, a relação de modelos de simulação de cargas poluentes em bacia hidrográficas e de rios com suas características, respectivamente.

Tabela 3.5 – Lista de alguns dos modelos de simulação de cargas de poluentes em bacias hidrográficas.

MODELO	CARACTERÍSTICAS
AGNPS	<i>Agricultural Nonpoint Source Pollution Model</i> – modelo simula a qualidade da água do escoamento superficial de bacias agrícolas. O modelo foi desenvolvido para prever cargas poluentes de fontes não-pontuais. AGNPS é um modelo distribuído onde a bacia é dividida em células. Para cada célula são simulados o escoamento superficial e processos de transporte de sedimentos, nutrientes (nitrogênio, fósforo e carbono orgânico) e DQO. Cargas pontuais podem ser introduzidas no programa, em que é feita a combinação com as cargas difusas na simulação (Devries e Hromadka, 1992).
HSPF	<i>Hydrologic Simulation Program-Fortran</i> – Modelo concentrado que simula o escoamento superficial de contaminantes do solo da bacia e o comportamento desses contaminantes ao longo do rio. O sistema considerado é unidimensional e o transporte de massa é feito apenas por advecção. O modelo simula o transporte e a transformação de OD/DBO, nutrientes, algas e pesticidas/tóxicos. As simulações detalhadas de ciclo de nutriente incluem nitrificação, absorção de amônia e de ortofósforo, vaporização e imobilização. As transformações detalhadas de tóxicos no rio incluem solubilidade, volatilização, fotólises, oxidação e biodegradação (Bittencourt <i>et al.</i> , 1997).

Tabela 3.6 – Lista de alguns dos modelos de qualidade da água de rios.

MODELO	CARACTERÍSTICAS
QUAL2E	<i>Stream Water Quality Model</i> -Modelo unidimensional de estado de fluxo permanente usado frequentemente para simular os efeitos de descargas de poluição de fontes pontuais e não pontuais na qualidade da água de rios. Ciclos detalhados de OD/DBO e de nutriente são simulados, considerando os efeitos de respiração de algas, reaeração e demanda de oxigênio de sedimentos. Os metais podem ser simulados arbitrariamente como constituintes conservativos ou não. A hidrodinâmica é baseada na equação unidimensional de advecção-dispersão.
MIKE 11	<i>Microcomputer-Based Modeling System</i> – Modelo constituídos por módulos individuais. São basicamente três módulos. Um para simulação de chuva/vazão, um para hidrodinâmica de rios e outro para qualidade da água. O módulo de qualidade da água considera o sistema unidimensional e o escoamento em regime permanente ou não-permanente. O modelo simula OD, DBO, nutrientes, macrófitas e plâncton (Devries e Hromadka, 1992).
WASP	<i>Water Analysis Simulation Program</i> - O Programa foi desenvolvido para simular o transporte e destino de contaminantes. O modelo pode ser usado para simular o fluxo em 1,2 ou 3 dimensões. WASP possui dois módulos: EUTRO e TOXI. Ciclos de OD/DBO detalhados, nitrogênio, fósforo e fitoplâncton são simulados usando o componente de qualidade da água EUTRO. O módulo TOXI simula o transporte e a transformação de substâncias tóxicas (processos de biodegradação, hidrólise, fotossíntese e oxidação química).

A escolha do modelo depende de vários diferentes fatores como os objetivos da análise e a disponibilidade de dados, de equipamentos e de tempo (Rauch *et al.*, 1998). Segundo Walton e Webb (1994) *apud* Siqueira e Cunha (1997), o QUAL2E tem provado ser um efetivo instrumento de modelação para a análise de oxigênio dissolvido em rios. Por ser, atualmente, o modelo internacionalmente mais utilizado para a simulação do comportamento de parâmetros de qualidade da água ao longo de um corpo receptor, descrevem-se, a seguir, algumas características do QUAL2E.

3.5.1- QUAL2E

O QUAL2E é um dos programas computacionais para modelagem de qualidade da água mais utilizado no mundo (Shanahan *et al.*, 1998). Ele foi desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA - “U.S Environmental Protection Agency”. Esse modelo simula oxigênio dissolvido (OD) e parâmetros de qualidade da água associados.

O modelo permite a simulação de parâmetros de qualidade da água em sistemas hídricos ramificados. A sua representação estrutural consiste em um protótipo linear a partir do qual o rio principal e os seus tributários são subdivididos em trechos que possuam características hidráulicas uniformes. Cada trecho é, então, dividido em elementos computacionais de mesmo comprimento. A representação conceitual do rio consiste em uma série de reatores de mistura completa que são seqüencialmente ligados, sendo cada reator representado por um elemento computacional. Para cada elemento computacional, é feito o balanço de massa, em que os mecanismos de transporte considerados são a advecção e a dispersão. O regime hidráulico considerado é permanente e o sistema é unidimensional sendo considerada apenas a direção de fluxo longitudinal (Brown e Barnwell, 1987).

O QUAL2E permite a incorporação de múltiplas descargas e efluentes, retiradas de água, e de vazões incrementais que podem ser positivas (contribuição do aquífero para o rio ou escoamento superficial que chega a calha principal em um determinado trecho) ou negativas (contribuição do rio para o aquífero e retiradas de água). O QUAL2E também é capaz de estimar a quantidade de água necessária à diluição de forma a alcançar níveis pré-determinados de oxigênio dissolvido (Azevedo e Porto, 1998).

Como já salientado, o modelo permite a simulação unidimensional do comportamento temporal ou espacial de parâmetros indicativos da qualidade em qualquer combinação

desejada pelo usuário, tais como: OD, DBO, temperatura, coliformes, ciclo do nitrogênio, ciclo do fósforo, clorofila *a*, três substâncias conservativas e uma substância arbitrária não-conservativa (Brown e Barnwell, 1987). Ele simula, mais especificamente, os processos de degradação da matéria orgânica, crescimento e respiração de algas, nitrificação, hidrólise do fósforo e do nitrogênio orgânicos, reaeração, sedimentação, consumo de oxigênio do sedimento, e liberação de nitrogênio e fósforo do sedimento (Rauch *et al.*, 1998).

O modelo foi desenvolvido como uma ferramenta para auxiliar o processo de planejamento e gerenciamento de qualidade da água em uma rede de rios (Azevedo e Porto, 1998). Com o modelo, é possível analisar cenários onde se deseja verificar se os parâmetros de qualidade estão dentro dos padrões mínimos de qualidade. Pode-se, então, definir a vazão mínima garantida, a partir daquela alternativa que mantém os parâmetros de qualidade analisados dentro dos padrões exigidos.

3.6- MÉTODOS ECONÔMICOS

Uma vazão ou uma seqüência de vazões mínimas garantidas podem ser consideradas eficientes ecologicamente quando se levam em conta os diversos métodos propostos para esse tipo de avaliação, já expostos anteriormente. No entanto, a satisfação dessa condição não significa, necessariamente, que essa distribuição de água entre diferentes usos e funções passe a ser considerada economicamente eficiente.

Pode-se dizer que a eficiência econômica, para o caso da vazão mínima garantida, ocorre quando a quantidade de água mantida no curso d'água resultar em benefícios superiores à qualquer outra alternativa que se aproprie do recurso água, considerando-se a sociedade como um todo. Ou seja, somente quando os benefícios de se retirar água do manancial forem superiores ao ganho econômico de se manter um certo volume de água no rio, é que se pode autorizar a retirada de água.

Sabe-se que a água tem caráter multifuncional já que ela atende diversos usos como abastecimento urbano, irrigação, atividades de lazer aquático, produção de energia, manutenção dos ecossistemas aquáticos entre outros. Por ter essa característica, a água tem um valor econômico que corresponde a uma agregação de valores por uso e função. Caso os valores econômicos associados a cada um dos usos de água possam ser estimados, inclusive o de não-uso, o problema da definição das vazões mínimas garantidas restringir-

se-á à busca de uma alocação ótima dos valores de água (Cordeiro Netto, 1997).

Uma das melhores maneiras de avaliar a água, quanto à vazão em um curso d'água, é por meio da oferta e da demanda, mas são meios extremamente complexos, uma vez que a água compreende um bem de características variáveis, podendo assumir diferentes funções e satisfazer, direta e indiretamente, a um grande número de usos (Cordeiro Netto, 1995). E como não existem mercados que possam ser usados para determinar diretamente o valor da água, foram criadas técnicas experimentais que possibilitam estimar o valor econômico tanto da água como de outros recursos ambientais (Bellia, 1996).

Os métodos de valoração econômica ambiental são as ferramentas utilizadas para a quantificação monetária de bens e serviços ambientais. Esta quantificação é dada pelos valores que as pessoas atribuem aos recursos ambientais, de acordo com suas preferências individuais; uma vez que inexistem mercados de preços para os ativos ambientais, ou para os bens e serviços por eles gerados.

Entre os métodos mais utilizados estão o método de valoração contingente, o método dos custos de viagem, o método dos preços hedônicos, o método dos custos de reposição e o método dos custos evitados.

Apesar de os métodos econômicos serem de potencial interesse na avaliação da vazão mínima garantida, principalmente quando há conflitos entre os usos consuntivos e a água destinada à conservação ambiental dos rios, fez-se neste item uma breve descrição, no intuito de destacar a importância da dimensão econômica no estudo das vazões mínimas garantidas. Contudo, esses métodos não serão introduzidos no FTA devido à complexidade de aplicação dos mesmos, sugerindo-se para pesquisas futuras uma análise mais detalhada sobre esses métodos e a sua inserção no FTA para a avaliação da vazão mínima garantida.

Método de Valoração Contingente (MVC)

Sendo o MVC o único método capaz de capturar o valor de existência de um bem ou serviço ambiental, ele pode ser usado num espectro de bens ambientais bastante amplo. A mensuração dos benefícios associados aos bens e serviços ambientais é dada mediante a disposição a pagar, por seu usufruto, por parte das famílias ou indivíduos beneficiários. O método consiste na realização de entrevistas, a partir das quais se obtém a disposição a pagar dos entrevistados por um dado benefício ambiental (simulação de um mercado hipotético). A idéia básica do MVC é que as pessoas têm diferentes graus de preferência ou

gostos por diferentes bens ou serviços e isso se manifesta quando elas vão ao mercado e *pagam* quantias específicas por eles. Isso é, ao adquirí-los, elas expressam sua disposição a pagar por esses bens ou serviços. Isso evidencia o caráter experimental desse método (Nogueira e Soublin, 2000).

Método dos Custos de Viagem (MCV)

O MCV estima o valor de um benefício ambiental mediante o uso de mercados complementares, captando os valores de uso. O valor do bem é dado pelos gastos dos consumidores para o deslocamento a um dado lugar. Dessa forma, utiliza-se o comportamento do consumidor em mercados relacionados, para valorar bens ambientais que não têm mercado explícito (Nogueira *et al.*, 1998), por meio da realização de pesquisas com questionários.

Método dos Preços Hedônicos (MPH)

O MPH relaciona os bens e serviços ambientais a bens e serviços de mercados substitutos, geralmente sendo utilizado o mercado imobiliário. Assim, os benefícios provocados por melhorias ambientais são mensurados por meio da valorização, por exemplo, de propriedades diretamente beneficiadas por estas melhorias. Esse método capta os valores de uso e de opção do bem ambiental, tendo como vantagem a confiança dos dados coletados. No entanto, outros fatores podem ter influência sobre o valor patrimonial, fatores esses que podem ser de difícil identificação ou avaliação.

Método Dose-Resposta (MDR)

O MDR (ou método da função de produção) estima o valor de um bem ambiental partindo da consideração que alterações na qualidade ambiental levam a mudanças na produtividade e nos custos de produção, que por sua vez alteram os níveis de produção, os quais são mensuráveis.

Método dos Custos de Reposição (MCR)

O MCR utiliza preços de mercado para avaliar os custos de reposição ou reparação de um bem danificado, entendendo-se esse custo como uma medida do benefício daquele bem ou serviço ambiental.

Existem semelhanças entre o MCR e o MDR, porém o MCR só considera os gastos de

reparação dos danos provocados pela perda/alteração do bem ou serviço ambiental. No entanto, esse valor pode ser subestimador do valor econômico total do bem ou serviço ambiental, uma vez que a imposição da reparação pela sociedade implica que os benefícios superam os custos; ou seja, a admissão dos custos como valor do bem não reflete o valor econômico real de seus benefícios.

Método dos Custos Evitados (MCE)

O MCE estima o valor econômico de um bem ou serviço ambiental por meio dos gastos com seus substitutos ou complementares que evitem danos provocados pela perda daquele bem ou serviço. Ou ainda, de acordo com Nogueira *et al.* (1998), os gastos com produtos substitutos ou complementares são usados como uma aproximação do valor atribuído pelos indivíduos às alterações de uma dada característica ambiental.

3.7- COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DOS MÉTODOS CITADOS NA LITERATURA

Foi realizada uma pesquisa sobre as aplicações e comparações dos diversos métodos em trabalhos científicos e suas correspondentes conclusões sobre as respostas dos métodos, a sua aplicabilidade, suas limitações e nível de confiabilidade, com o objetivo de colher informações para o aprimoramento do FTA. A seguir, são apresentados os estudos considerados importantes nesse levantamento.

Wesche e Recharad (1980) citaram três estudos de aplicação de métodos considerados importantes por apresentarem conclusões diversificadas para rios de portes e regime de vazões diferentes.

Nelson (1980) *apud* Wesche e Recharad (1980) aplicou dois métodos em cinco rios da região sudoeste do estado de Montana, Estados Unidos. Os métodos aplicados foram o método do perímetro molhado e o *IFIM*. Para o método do perímetro molhado e o *IFIM*, Nelson (1980) fez coleta de dados, para cada rio, em cinco seções transversais em zonas de corredeiras. Os resultados foram comparados com estudos de longo período disponíveis sobre a relação entre a biomassa da truta, espécie de peixe selecionada, e as vazões ao longo do tempo. Desse estudo, foram considerados dois critérios de vazão para efeito de comparação: a vazão mínima garantida ótima e a vazão mínima garantida absoluta. Vazões iguais ou acima do primeiro critério fornecem a biomassa máxima para a truta e vazões abaixo da segunda resultam em redução substancial da biomassa dos peixes adultos. Na aplicação do método do perímetro molhado, foram utilizados dois tipos de análise. O primeiro tipo consistiu na avaliação de cada seção individualmente e o segundo consistiu na avaliação integrada das cinco seções em cada rio. As recomendações geradas pelo método do perímetro molhado para o primeiro tipo de análise proporcionaram resultados acima da vazão mínima garantida absoluta. Segundo o autor, a maior parte das curvas do perímetro molhado em função da vazão indicou um único e bem definido ponto crítico, facilitando a interpretação desse ponto. Para a análise com múltiplas seções, o resultado gerou um valor aceitável acima da vazão mínima garantida absoluta. Porém, a interpretação do ponto crítico foi mais difícil devido ao surgimento de vários pontos que poderiam também ser considerados críticos na curva, dificultando a identificação do ponto ideal. No *IFIM*, o resultado da vazão mínima garantida deu um valor de pouco menos de 50% do valor definido como ótimo pelo estudo da relação entre biomassa de truta e vazão.

Para o autor, esse resultado mostrou que a utilização do *IFIM* para os rios estudados não era aconselhável. Segundo o mesmo autor, a discrepância ocorreu, provavelmente, em função da não-incorporação da variável cobertura e por não terem sido utilizadas curvas de preferência elaboradas especificamente para a população de truta dos rios estudados.

Prewitt e Carlson (1977) *apud* Wesche e Rechar (1980) aplicaram o método do perímetro molhado, o método de Montana e o *IFIM* em dois grandes cursos d'água da bacia do rio Colorado, no estado de Colorado, Estados Unidos. Os resultados dos dois primeiros métodos foram comparados com a curva da superfície ponderada utilizável (SPU) em função da vazão, extraída do modelo *PHABSIM*. Os autores chegaram a algumas conclusões, apresentadas a seguir. O método de Tennant só deve ser aplicado quando se tem um pleno conhecimento do regime de vazão do rio em questão, relacionada com condições bióticas, químicas e físicas. Os resultados para esse método tornam-se questionáveis quando os dados de vazões não representam o regime natural. Isso porque, geralmente, a reconstituição das vazões não representa fielmente as condições naturais devido à falta das informações necessárias à realização desse processo como, por exemplo, as vazões retiradas ao longo do tempo para irrigação, abastecimento ou transposição de água para outra bacia. No método do perímetro molhado, a proposição para a localização das seções transversais é crucial na definição da vazão mínima garantida. Critérios como o ponto crítico resultam, freqüentemente, em recomendações de vazão mínima garantida que não são suficientes para as necessidades de certas espécies ou para os seus estágios de vida. Nesse método, o número de medições feitas em campo também é importante para a confiabilidade do resultado. Esses tipos de critério utilizados pelos métodos hidráulicos são, segundo os autores, de pouca relevância para a fauna aquática dos rios estudados.

Rose e Johnson (1976) *apud* Wesche e Rechar (1980) aplicaram o método do perímetro molhado e o método de Montana no rio Strawberry, estado de Utah. Os resultados dos métodos foram bem próximos. Esses autores concluíram que ambos os métodos são efetivos no caso aplicado, sendo o método de Montana, porém, mais prático e rápido. Eles aconselham a utilização do método do perímetro molhado em cursos d'água que não apresentam postos com dados hidrológicos.

Alves (1993) aplicou o *IFIM*, o método de Montana e o método do perímetro molhado a um trecho de rio a jusante da pequena central hidrelétrica de Torga no Distrito de Bragança, Portugal. Os resultados dos três métodos coincidiram e corresponderam a 30%

da vazão média anual. A autora concluiu que, para os rios de Portugal em que não predomine o peixe da espécie *Salmo trutta fario*, os métodos que se afiguram como potencialmente aplicáveis a curto prazo são os métodos do perímetro molhado e o método do “Nothern Great Plains Resource Program” (NGPRP). A autora recomenda que o método *IFIM* seja utilizado somente quando o estado dos conhecimentos sobre a biologia das populações de peixes dos rios portugueses for solidificado e a elaboração dos critérios de preferência de habitat para cada espécie for efetivada, tendo em consideração o caráter específico dos critérios relativos às populações dos cursos d’água de Portugal.

Cassie e El-Jabi (1995) aplicaram e compararam métodos hidrológicos em rios de quatro províncias do Canadá. Os métodos hidrológicos utilizados foram o Q_{90} , o $Q_{7,10}$, o método de Montana e o método ABF e foram comparados com um critério bastante utilizado no Canadá para a definição da vazão mínima garantida: 25% da vazão média anual. Os resultados dos métodos de Montana e ABF proporcionaram valores bem próximos ao do critério canadense. Já a Q_{90} e o $Q_{7,10}$ proporcionaram resultados considerados bastante subestimados. Como conseqüência desses resultados, os autores recomendaram o uso alternativo dos métodos de Montana e ABF para os cursos d’água canadenses.

No Brasil, Pelissari (2000) aplicou os métodos hidrológicos Montana e ABF, o método do perímetro molhado e o *IFIM*. Este último foi aplicado para três espécies de peixes (Lambari, Cará e Carapó) considerados de grande importância econômica para as populações ribeirinhas do rio Timbuí, município de Santa Tereza, Espírito Santo. Os resultados para o método de Montana foram bem próximos aos do *IFIM*. Já o método ABF gerou resultados superestimados em relação aos outros métodos, chegando a resultar em um valor quatro vezes maior do que aquele definido pelo *IFIM*. O método do perímetro molhado resultou em uma vazão mínima garantida muito baixa em relação ao demais métodos. De acordo com Pelissari (2000), o valor baixo produzido pelo método foi causado pela escolha de seções com geometria regular e de forma retangular. O ponto crítico da curva do perímetro molhado, para esses casos, ocorre para profundidades muito pequenas.

Lopes (2001) aplicou o *IFIM* e o método do perímetro molhado em uma seção a jusante da barragem de Touvedo em Portugal, que tem uma área de drenagem de 1.715km^2 . Os resultados utilizando o *IFIM* foram os seguintes: vazão mínima garantida ótima (truta adulta – verão/outono) = $70\text{ m}^3/\text{s}$; vazão mínima garantida ótima (truta adulta -

inverno/primavera) = 159 m³/s; vazão mínima garantida ótima (truta juvenil - verão/outono) = 20 m³/s; vazão mínima garantida ótima (truta juvenil - inverno/primavera) = 10 m³/s; vazão mínima garantida ótima para o peixe escalo (para todas as fases do ciclo de vida) = 25 m³/s. Já para o método do perímetro molhado, o valor encontrado foi de 4 m³/s, coincidentemente igual à vazão mínima garantida em utilização pela operadora da barragem. O autor chegou à conclusão de que o *IFIM* incorpora pouca informação sobre o regime hidrológico natural do curso de água ou das necessidades de habitats das espécies ao longo do ano. Essa técnica permite obter bons resultados quando o objetivo é aumentar o potencial piscícola de uma dada espécie. No entanto, quando os objetivos são os de conservação de habitats existentes ou de minimização dos impactos da regularização das vazões, ou quando são consideradas várias espécies com diferentes necessidades de habitat, a sua utilização torna-se pouco apropriada. Isto é devido à sua complexidade e ao fato de a vazão mínima garantida determinada poder corresponder a um valor superior à vazão média, fato que ocorreu no estudo, pois a vazão média diária anual no regime hidrológico natural do rio é de 58 m³/s. Segundo o autor, a metodologia incremental é, sem dúvida, a que melhor traduz as condições de habitat, permitindo integrar a componente biológica com a componente de habitat. Porém, ele considerou que o valor de 4 m³/s representando a vazão mínima garantida é aceitável.

Analisando-se todos esses casos, constata-se que as opiniões e os resultados de cada método divergem significativamente nos diversos cursos d'água de diferentes países. Loar e Sale (1981) já haviam concluído que, de uma forma geral, não existe método ideal que permita obter uma solução definitiva, devendo cada caso ser analisado individualmente, sendo escolhido o método que permite obter os melhores resultados, tendo em consideração o regime hidrológico do curso d'água, as características e o funcionamento do aproveitamento hidráulico, as características dos ecossistemas aquáticos e os objetivos da gestão e conservação dos recursos naturais.

No entanto, para rios onde não existem estudos significativos sobre vazão mínima garantida deve-se, pelo menos, prever ou supor quais os métodos que melhor se adequam à situação do curso d'água, seja em função das necessidades de usos ou da disponibilidade de dados que garantam um nível mínimo de confiança.

3.8- ANÁLISE DOS MÉTODOS PARA DEFINIÇÃO DE VAZÃO MÍNIMA GARANTIDA

Neste item, é apresentada uma análise preliminar dos métodos de determinação de vazão mínima garantida descritos anteriormente. A análise consistiu em avaliar as vantagens e desvantagens de cada método a partir das hipóteses assumidas, a base de dados requerida, as limitações e os esforços despendidos na aplicação de cada um deles.

O **método NGPRP** é considerado um método de fácil aplicação quando existem dados diários ou mensais de vazão disponíveis com período representativo na bacia, já que o método requer apenas esse tipo de dado na sua aplicação. Para bacias sem dados, porém, esse método não pode ser aplicado. Alternativas possíveis seriam a utilização de um modelo de simulação de vazões ou da regionalização de vazões. Para esses casos, contudo, deve-se avaliar se é realmente viável a utilização dessas técnicas, as quais já possuem as suas próprias limitações, ou se é preferível adotar outro método de determinação de vazão mínima garantida que não necessite de dados de vazão para a sua aplicação.

É consistente a hipótese assumida pelo método de que a manutenção do ecossistema aquático é função do regime de vazão que ocorre naturalmente ou ocorreu no passado, pois se a população de espécies nativas tem-se mantido significativa em um rio que mantém o seu regime natural é porque ela se adaptou às características hidrológicas desse rio ao longo do tempo. Poff *et al.*(1997) afirmam que a integridade ecológica de ecossistemas fluviais depende do caráter dinâmico do regime natural de vazões. A vazão dos rios, que tem uma forte correlação com várias características físico-químicas como temperatura, geomorfologia do canal, e diversidade de habitats, pode ser considerada como a principal variável que limita a distribuição e a abundância de espécies aquáticas (Power *et al.*, 1995 *apud* Poff *et al.*, 1997). Por isso, é importante, na definição da vazão mínima garantida, a consideração de um regime de vazões similar ao regime natural, mesmo que com proporções menores. Essa é a mais importante vantagem desse método. Por outro lado, ainda não se sabe o quanto se pode diminuir essa quantidade de água sem afetar o ecossistema aquático. A suposição do método NGPRP é de que uma vazão que é igualada ou excedida em 90% do tempo para cada mês não garante uma resposta satisfatória para a biota aquática. De fato, ainda não se tem uma comprovação científica sobre a validade dessa hipótese.

A hipótese de que os componentes biológicos de um sistema aquático são essencialmente mantidos pelos anos normais e não pelos anos em que ocorrem os eventos extremos de seca ou de cheia pode ser considerada um princípio aceitável do método. A retirada dos anos em que ocorrem esses eventos hidrológicos extremos na manipulação dos dados aumentam os valores de vazão mínima garantida recomendados pelo método podendo favorecer o ecossistema aquático. Contudo, não se tem na literatura a afirmação de que essa hipótese é válida.

Outra limitação do método (e dos métodos hidrológicos em geral) em relação aos peixes é não avaliar as características físicas do curso d'água. Por exemplo, a definição da vazão mínima garantida por um dos métodos hidrológicos permite a circulação de peixes em alguns trechos do rio, mas pode não ser suficiente em zonas de corredeiras, que se caracterizam por velocidades altas e níveis de água baixos. Assim, a variação da geomorfologia do leito do curso d'água pode ser um fator limitante importante na definição da vazão mínima garantida para espécies de peixes. Segundo Svensson (2000), a principal objeção é que os métodos hidrológicos não consideram a topografia local. Mesmo que haja uma relação entre a vazão e a produção de peixe em grande escala, a vazão mínima garantida é, talvez, somente válida quando a geometria do canal, no trecho estudado, for relativamente uniforme, mantendo, conseqüentemente, um nível de água similar ao longo do trecho.

O **método de Montana** tem dois níveis de detalhamento quanto à sua aplicação. Caso se utilize o método sem as observações de campo recomendadas por Tennant (1976), está-se supondo que as condições de qualidade e as características hidráulicas do rio analisado variam em relação à vazão média anual similarmente aos rios analisados por Tennant (figura 3.2). Conforme já citado, é recomendado aplicá-lo em rios de grandes dimensões que exibam uma variação de vazão relativamente pequena ao longo do ano. Segundo Wesche e Rechar (1980), esse método deve ser utilizado em caráter preliminar de avaliação da vazão mínima garantida. Se o método for utilizado em outras circunstâncias devido à restrição de tempo ou de custo, as seguintes limitações devem ser consideradas: (1) Como o método é baseado na vazão média anual, as flutuações da vazão ou a variabilidade sazonal não são consideradas; (2) O método é mais adequado para rios grandes onde normalmente se tem menor variabilidade na vazão, quando comparada à de rios menores; (3) O método não leva em consideração a geometria do canal.

O método de Montana (Tennant, 1976), utilizado com observações de campo, requer um nível de esforço maior na sua aplicação. É necessário deslocar-se a campo para fazer observações e coleta de dados em seções do rio de acordo com o descrito na seção 4.2.2. Entretanto, Tennant (1976) não definiu os tipos de seções a serem analisadas. Dessa forma, fica a critério do investigador selecionar as seções que se configurem adequadas na análise. Fica, também, a critério do investigador avaliar se as vazões correspondentes a 10%, 30%, 60% e 100% da vazão média anual coincidem com a classificação da tabela 3.3. Caso contrário, o próprio investigador definirá a vazão que proporciona o nível de qualidade desejado para o rio. Verifica-se pelo que foi citado que essas observações de campo estão sujeitas à subjetividade. Ou seja, a vazão mínima garantida a ser definida depende completamente da avaliação do investigador.

Uma característica interessante do método de Montana é que ele considera um regime anual com um valor de vazão mínima garantida para o período seco e outro para período chuvoso, indicando um valor maior para as épocas de chuva e um menor para as épocas sem chuva. Por outro lado, o método ignora a variação mensal das vazões naturais do rio. Adotando-se como válida a hipótese segundo a qual os padrões naturais são importantes determinantes na estruturação das comunidades aquáticas, o regime anual, com apenas dois períodos de vazão mínima garantida, considerado no método de Montana, pode não atender às exigências biológicas do curso d'água.

O método de Montana, com as observações de campo, pode ser considerado um método adequado para ser aplicado se for feita a consideração que os parâmetros hidráulicos largura, profundidade e velocidade da água ao longo do canal do rio são os principais fatores que controlam o bem-estar dos organismos aquáticos.

O **método ABF** define um único valor de vazão mínima garantida, ignorando a dinâmica do regime de vazões do rio. A hipótese do método é de que a mediana das vazões do mês mais seco (Q_{50}) é apropriada para proteção da biota aquática. De acordo com Morhardt (1986), não foi encontrada justificativa ou evidência alguma de que a utilização da Q_{50} , como recomendação de vazão mínima garantida, é necessária ou suficiente para atingir os objetivos do método. Conseqüentemente, as considerações são arbitrárias.

O método ABF é também um método de fácil aplicação quando se tem disponível uma série de dados fluviométricos. É importante destacar, novamente, que o critério da vazão específica, para bacias menores que 130 km^2 ou com uma série de dados de vazão menor

de 25 anos, foi desenvolvido unicamente para a região da Nova Inglaterra, nos E.U.A, não sendo recomendada a sua utilização em rios de outras regiões.

O **método do perímetro molhado** considera que existe uma relação direta entre o perímetro molhado e a disponibilidade de habitat para os organismos aquáticos. Essa disponibilidade, por sua vez, é considerada diretamente proporcional à produção da biota aquática. Essa suposição só pode ser considerada válida se for constatado que a disponibilidade de habitat é o fator limitante mais importante no rio. Além disso, a definição de ponto crítico não garante que a vazão mínima garantida determinada resultará em uma disponibilidade de habitat mínima aceitável, seja para as populações bentônicas ou para as espécies de peixes.

Uma das vantagens do método é a consideração das características geomorfológicas do rio. A análise das seções mais críticas do rio garante a presença de água nas áreas restantes do rio. Outra vantagem é que o método não necessita de dados de vazão, podendo ser aplicado em rios que não dispõem de postos com dados.

A aplicação desse método requer um esforço maior em termos de trabalho de campo em relação aos métodos hidrológicos. Em relação aos métodos hidráulicos e ecológicos, todavia, as medições podem ser consideradas simples por exigir somente o levantamento do perfil das seções selecionadas e algumas vazões que possam representar o comportamento da curva do perímetro molhado em função das mesmas. A principal desvantagem decorre da incerteza na seleção das seções transversais e na seleção do ponto crítico no gráfico do perímetro molhado em função da vazão. As seções a serem escolhidas devem ser seções críticas. Porém, a escolha das seções críticas depende da experiência e conhecimento do observador. Na escolha do ponto crítico, acontece o mesmo. Dificilmente, haverá um ponto crítico único e bem definido na curva do perímetro molhado em função da vazão. Dessa forma, o ponto crítico dependerá, também, da avaliação do investigador. Esses aspectos levam a uma grande subjetividade do método. Ou seja, o método poderá apresentar respostas diferentes para investigadores diferentes, podendo estar sujeito a análises tendenciosas.

O **método de Idaho** possui os mesmos problemas do método do perímetro molhado quanto à seleção das seções transversais. Porém, esse método considera critérios mais específicos, relacionados a espécies de peixes e ao seu ciclo de vida, como circulação e reprodução. O método requer, também, informações sobre as espécies selecionadas para

estudo, como profundidades e velocidades adequadas para a circulação e reprodução. Esse método exige, também, a seleção de mais seções transversais para a análise da vazão mínima garantida, aumentando, conseqüentemente, o nível de esforço requerido para a aplicação do método.

O *IFIM* é considerado, atualmente, um método relativamente adequado para determinação da vazão mínima garantida. Contudo, a componente biológica do método tem sofrido diversas críticas. Na utilização do *PHABSIM*, parte integrante principal do *IFIM*, deve-se ter cuidado ao considerar que existe uma relação diretamente proporcional entre a superfície ponderada utilizável (SPU) e a biomassa ou a densidade de espécies aquáticas (Tharme, 1995). Essa hipótese tem sido bastante contestada, considerando que existe falta de evidência de que essa relação existe de fato (Souchon *et al.*, 1989). Orth (1987) *apud* Alves (1993) considera que a disponibilidade de microhabitat, de um modo geral, não regula a dimensão da população, sendo unicamente um fator determinante da sua distribuição, constituindo-se em fatores mais importantes a disponibilidade de alimento e as relações intra e interespecíficas entre espécies. Loar e Sale (1981) recomendaram que essa hipótese pode ser considerada somente quando os fatores citados acima, além da qualidade da água e temperatura, não representarem fatores limitantes. Apesar dessas limitações, o *IFIM* é o método que se apresenta como o mais válido entre os métodos de avaliação de habitat (Stalnaker *et al.*, 1995).

A sua grande vantagem está relacionada à consideração de informações específicas sobre espécies de peixes e seu habitat e a relação que o método faz diretamente entre a disponibilidade de habitat para os peixes e a vazão. Por outro lado, o método exige grandes esforços na sua aplicação devido aos intensivos trabalhos de campo para fazer levantamento de diversas seções transversais e de seus componentes hidráulicos em função de diversos níveis de vazão, além das informações biológicas necessárias à aplicação do *PHABSIM*. Para tal, é necessário a formação de uma equipe multidisciplinar com hidrólogos e biólogos.

Na tabela 3.7, pode-se verificar um quadro com o resumo dos métodos pesquisados com as suas considerações, vantagens e desvantagens, base de dados requeridos e consideração ecológica. A consideração ecológica é um indicador que se refere à segurança que o método proporciona no atendimento aos objetivos de conservação do ecossistema com base nas hipóteses assumidas pelo mesmo. Com base na análise dos métodos a que se

procedeu, consideraram-se três níveis de dimensão ecológica do método: baixa, moderada e alta.

Tabela 3.7 – Análise dos métodos para definição de vazão mínima garantida

Método	Dimensão ecológica	Hipótese assumida	Base de dados requerida	Vantagens	Desvantagens
NGPRP	Baixa	A manutenção do ecossistema aquático é função do regime de vazão que ocorre naturalmente ou ocorreu no passado e uma vazão que é igualada ou excedida em 90% do tempo para épocas “normais” é considerada satisfatória para a biota aquática.	Uma série de dados diários ou mensais de vazão com um período representativo.	Requer apenas dados fluviométricos. O método é de fácil aplicação, caso exista para o curso d’água estudado, série histórica de dados de vazão. Considera um regime de vazões mínimas garantidas (um valor para cada mês do ano). Não está sujeito à subjetividade.	Considerações sobre fatores biológicos são implícitos. O critério para a determinação da vazão mínima garantida é arbitrário.
Montana	Baixa (sem observações de campo) Moderada (com observações de campo)	Considera que percentagens da vazão média anual proporcionam patamares de qualidade ambiental para os rios de uma maneira geral, sendo considerado um nível mínimo de qualidade a curto prazo 10% da vazão média anual e um nível ótimo, 100% dessa vazão.	O método requer dados de vazão média diária, mensal ou anual. Contudo o método não especifica a quantidade mínima de dados requerida.	Requer apenas dados fluviométricos. Se há disponibilidade de dados de vazão, o método é rápido e fácil de ser aplicado. Faz recomendações de vazões para períodos seco e chuvoso.	Ignora dinâmica das vazões naturais ao considerar apenas dois longos períodos durante o ano. Fatores ecológicos são considerados por meio de observações de campo e nos parâmetros hidráulicos de largura, profundidade e velocidade, de maneira implícita. Avaliações da qualidade ambiental do rio muito subjetivas nas observações de campo (sujeitas unicamente à opinião do investigador).
ABF	Baixa	A mediana das vazões do mês mais seco (Q_{50}) é apropriada para proteção da biota aquática.	Vazão média mensal com uma série histórica de, no mínimo, 25 anos de dados.	Requer apenas dados fluviométricos. Método de fácil aplicação em rios com dados fluviométricos disponíveis. Não está sujeito à subjetividade	Define um único valor de vazão mínima garantida, ignorando o regime de vazões do rio (variação ao longo do ano). Critérios arbitrários para a proteção dos ecossistemas aquáticos.
Perímetro molhado	Moderada	Propõe uma relação direta entre o perímetro molhado e a disponibilidade de habitat para os organismos aquáticos. A disponibilidade de habitat, por sua vez, é considerada diretamente proporcional à produção da biota aquática. A determinação do ponto crítico define a vazão que proporciona o espaço físico mínimo aceitável para a biota, a partir do qual uma redução da vazão gera uma acelerada degradação desse habitat.	Requer conhecimento da geometria da seção transversal selecionada para estudo e dados de nível de água na seção em função da vazão, para desenvolver a curva de comportamento do perímetro molhado em função da vazão.	Leva em consideração, em sua análise, as características geomorfológicas do canal, garantindo a presença de água para os trechos mais críticos. Não necessita de dados fluviométricos para a sua aplicação, podendo ser uma alternativa para rios em que não existem dados de vazão disponíveis. Dos métodos que necessitam de trabalhos de campo, esse método é o que exige menos esforço.	Considerações indiretas sobre a relação do perímetro molhado e a manutenção dos organismos aquáticos. Seleção da seção crítica a critério do investigador. Definição do ponto crítico sujeito a alguma subjetividade. Esse critério não traduz, necessariamente, as exigências ambientais dos ecossistemas aquáticos. Não pode ser aplicado em rios em que há predominância de cascatas, ou em rios de pequeno declive em que as zonas de corredeiras são pouco significativas.

Tabela 3.7 (continuação) – Análise dos métodos para definição de vazão mínima garantida.

Método	Dimensão ecológica	Hipótese assumida	Base de dados requerida	Vantagens	Desvantagens
Idaho	Moderada	<p>Considera alguns critérios específicos sobre os peixes.</p> <p>Definido os critérios passagem, crescimento e re-produção, determina-se a vazão mínima garantida que satisfaça esses critérios.</p> <p>Essa vazão é definida como a mínima necessária às fases do ciclo de vida dos peixes.</p>	<p>Dados de nível de água, velocidade e perímetro molhado de seções do rio em função da vazão.</p> <p>Dados referentes às necessidades dos peixes selecionados em relação aos critérios de passagem e reprodução.</p>	<p>A consideração de critérios para passagem e reprodução, além do critério do perímetro molhado fortalecem a relação da vazão mínima garantida com as necessidades dos peixes com relação ao seu habitat.</p>	<p>Requer trabalhos de campo mais detalhados que o método do perímetro molhado.</p> <p>É necessário o conhecimento de alguns dados sobre a espécie selecionada.</p> <p>Os critérios do método são importantes, mas não suficientes para a análise da vazão mínima garantida adequada para os peixes.</p>
IFIM	Alta	<p>Faz a relação direta entre disponibilidade de habitat e biomassa ou densidade de espécies de peixe, ou de invertebrados bentônicos.</p> <p>A vazão mínima garantida é determinada por meio do cruzamento de informações biológicas e de modelos hidráulicos.</p>	<p>Levantamentos topográficos das seções transversais, modelação da hidrodinâmica do segmento do rio estudado e dados referentes à exigências da espécie de peixe selecionada em relação à profundidade, velocidade da água e à cobertura e substrato do leito.</p>	<p>Considera características específicas de espécies de peixes ou de invertebrados bentônicos.</p> <p>Relaciona diretamente disponibilidade de habitat para peixes com a vazão, ao contrário dos demais métodos.</p>	<p>Requer intensivos trabalhos de campo.</p> <p>Método que necessita de uma equipe multidisciplinar para coletar todos os dados requeridos para a sua aplicação.</p> <p>Falta de rigor biológico por considerar a disponibilidade de habitat para os peixes como o fator limitante principal para a manutenção das espécies.</p>

4 - FUNDAMENTAÇÃO DO FLUXOGRAMA TEÓRICO DE AVALIAÇÃO (FTA)

Neste item, foi feita uma descrição dos processos, análises e considerações necessárias na aplicação do Fluxograma Teórico de Avaliação, além de algumas modificações sugeridas no suporte decisório original desenvolvido por Bezerra (2001).

A aplicação do FTA é baseada em duas etapas. A primeira etapa consiste na caracterização da situação-tipo da bacia hidrográfica. A segunda etapa consiste na aplicação do diagrama de decisão referente à situação-tipo identificada. A situação-tipo é definida a partir da associação de tipos de conflitos de uso da água que podem ocorrer em uma bacia e conjunto de dados disponível para a aplicação do FTA.

Para a primeira etapa de execução do FTA, foi feita uma caracterização das situações-tipo consideradas importantes na análise da vazão mínima garantida. Para tal, foram inicialmente levantadas as possibilidades de situações de conflito derivadas do uso múltiplo da água e, em seguida, analisou-se a base de dados necessária à aplicação dos métodos para definição de vazões mínimas garantidas. A formulação das situações-tipo a serem utilizadas no FTA consistiu nas combinações consideradas pertinentes entre tipo de conflitos e base de dados necessária à aplicação dos métodos de determinação da vazão mínima garantida selecionados para cada tipo de conflito.

4.1 – CARACTERIZAÇÃO DOS TIPOS DE CONFLITOS DE USO DA ÁGUA

Os usos dos recursos hídricos têm-se intensificado com o desenvolvimento econômico. A sociedade moderna ampliou consideravelmente a diversidade de usos da água. O quadro tornou-se complexo com o aparecimento de demandas conflitantes. Os tipos de conflito podem ser classificados da seguinte forma (Lanna, 1993):

- Conflitos de destinação de uso: essa situação ocorre quando a água é utilizada para destinações outras que não aquelas estabelecidas por decisões políticas, fundamentadas ou não em anseios sociais, que as reservariam para o atendimento de necessidades sociais, ambientais e econômicas; por exemplo, a retirada de água de reserva ecológica para a irrigação.
- Conflitos de disponibilidade qualitativa: situação típica de uso em corpos de água poluídos. Nessa situação, existe um aspecto vicioso, pois o consumo excessivo reduz a

vazão de estiagem deteriorando a qualidade das águas já comprometidas pelo lançamento de poluentes.

- Conflitos de disponibilidade quantitativa: situação decorrente do esgotamento da disponibilidade quantitativa devido ao uso intensivo.

A partir dessa classificação, Bezerra (2001) desenvolveu quatro cenários de ocorrência de conflitos:

1- conflitos associados ao volume: consistem em uma situação de falta de disponibilidade quantitativa de água devido a um uso intensivo, em que o volume retirado é constante ao longo do período de tempo considerado. Esse volume retirado pode ocasionar uma redução significativa do volume de água disponível para os usos de jusante. Esse tipo de conflito pode ocorrer, por exemplo, quando um reservatório de regularização para irrigação libera um volume de água insuficiente para os usos de jusante ou quando um sistema de abastecimento de água de uma cidade faz a captação a uma taxa considerada alta e constante durante um período de tempo que pode ser de um mês ou mesmo um ano, provocando acentuada queda na disponibilidade hídrica para os usos de jusante.

2- conflitos associados à vazão: consistem também em uma situação em que ocorrem conflitos de disponibilidade quantitativa, diferenciando-se na questão da retirada de água que não é constante, causando, conseqüentemente, flutuações consideráveis na vazão ao longo do tempo. A título de exemplo, pode-se citar o uso intensivo de água para irrigação durante certas horas do dia impedindo outro usuário de captá-la no mesmo período, ocasionando, em alguns casos, o esgotamento das reservas hídricas e impactos ambientais. Outro exemplo que pode ser citado é o uso da água para geração de energia elétrica de usinas de ponta, que são normalmente operadas para fornecer energia durante os períodos de pico de demanda, provocando flutuações de vazão durante o dia, podendo provocar conflitos com os usuários de jusante, durante certos períodos do dia.

3- conflitos associados à qualidade da água: esse tipo de conflito tem suas causas primárias associados à degradação da qualidade da água, que pode inviabilizar um uso mais exigente. Uma mesma água pode ser apropriada para determinado uso, mas pode estar poluída para outra utilização. Para agricultura, por exemplo, pode ser conveniente que a água seja rica em nutrientes o que, por outro lado, é indesejável para uma água destinada ao abastecimento.

4- Conflitos associados à conservação ambiental: podem ser definidos como sendo aqueles que opõem os usos de água pelo homem com o equilíbrio do ecossistema aquático. A utilização de cursos d'água para diluição e afastamento de despejos ou a excessiva derivação de água para usos consuntivos pode, por exemplo, torná-los inadequados para a vida de organismos aquáticos.

Para ajudar na identificação da natureza dos conflitos que ocorrem ou poderão ocorrer em uma bacia, foi elaborado um questionário (apêndice B) com uma relação de aspectos ligados às atividades humanas da bacia como atividades agrícolas, domésticas, urbanas, e a importância do ecossistema local. Esse questionário é baseado na técnica de listagem de controle que permite identificar as principais consequências de uma ação. A ação, no caso, refere-se aos usos da água e as principais consequências se referem aos tipos de conflitos resultantes dessa ação. Esse conjunto de quesitos deve ser respondido na forma de “sim”, “não” ou “desconhecido”.

4.2- BASE DE DADOS

Na definição da base de dados, elaborou-se a pesquisa com base em cada grupo de métodos definido anteriormente: métodos hidrológicos, hidráulicos, ecológicos e sanitários. A análise da base de dados necessária foi feita com o objetivo de caracterizar o tipo de informação disponível na bacia para o seu uso na aplicação do FTA. Dessa forma, foi elaborada uma avaliação sobre os tipos de dados necessários à aplicação de cada método.

Para a aplicação dos métodos hidrológicos, é necessária uma série histórica de vazões considerada representativa. O método ABF é o único método hidrológico que restringe a sua aplicação em função de um período de dados disponível. O método requer no mínimo 25 anos de dados, para que a série seja considerada representativa para sua aplicação. Para os demais métodos hidrológicos, não há uma recomendação de uma base mínima de dados para a sua aplicação, exigindo apenas que os dados utilizados sejam consistentes e representativos. No caso do método ABF, então, a base de dados mínima requerida será usada como condição restritiva para a recomendação de aplicação do método dentro do FTA.

Na falta de série de dados fluviométricos suficiente, caso seja recomendada a aplicação desses métodos, o FTA indicará a necessidade de ampliar a base de dados. A ampliação da

base desse tipo de dados pode ser feita, por exemplo, com a utilização de modelos de simulação hidrológica chuva-vazão. Com esses modelos, é possível obter séries temporais de vazões fluviais para a área de drenagem em questão. Contudo, os dados de entrada normalmente usados nesses modelos são: séries temporais de chuva, evaporação potencial e dados relativos à bacia como área de drenagem, declividades, características dos solos superficiais entre outros (Magalhães, 1989). Deverá, portanto, o usuário dispor dos dados necessários para obter a série temporal de vazão requerida pelos métodos.

Outra opção possível, na falta dos dados para aplicação dos métodos hidrológicos, é o desenvolvimento de estudo de regionalização de vazões. A regionalização consiste em um conjunto de ferramentas que exploram ao máximo as informações existentes, visando à estimativa das variáveis hidrológicas em locais sem dados ou insuficientes (Tucci, 1993). Pode-se regionalizar tanto a vazão média como a curva de permanência.

Na análise da disponibilidade de dados para aplicação do suporte, deve-se levar em conta a possibilidade da utilização dessas ferramentas.

Para a aplicação dos métodos hidráulicos, é necessário fazer medições de campo dos parâmetros hidráulicos em algumas seções transversais estratégicas, de acordo com o que já foi descrito nas seções 4.3.1 e 4.3.2. Esses dados dificilmente vão estar disponíveis nos cursos d'água estudados. Essa afirmação se justifica pelo fato de as seções escolhidas para representar postos fluviométricos, seja pela instalação de réguas graduadas ou de linígrafos, não coincidirem com as seções representativas para a aplicação dos métodos hidráulicos. Na seleção de um local para a instalação de uma estação, deve-se verificar os seguintes aspectos: a estação deve ser colocada em um trecho reto, com uma seção transversal onde a velocidade do fluxo é, se possível, estável a qualquer cota, tanto em estiagem como em cheia e deve existir a jusante uma seção de controle estável que permita manter idêntica as condições de escoamento ao longo do tempo (Chevallier, 1993). Já na seleção da seção transversal para a aplicação do método do perímetro molhado, deve-se optar por zonas de corredeiras com baixas profundidades e velocidades altas. Essas zonas dificilmente satisfazem àquelas condições aplicadas às estações. Logo, em uma possível recomendação dos métodos hidráulicos na utilização do FTA, subentende-se que existe a necessidade de se efetuarem trabalhos de campo para obter os dados requeridos.

O único método ecológico escolhido para a avaliação da vazão mínima garantida, o *IFIM*, além de requerer como dados de entrada índices de preferência de habitat (IPH), também

necessita de dados sobre as características hidráulicas de diversas seções transversais ao longo do segmento de rio estudado em função das vazões. Para a obtenção dos IPHs, conforme já citado na seção 3.4.2, é necessário o conhecimento dos microhabitats selecionados pelas espécies a serem estudadas. Essas informações podem ser obtidas a partir de informação bibliográfica disponível ou por experiência profissional sobre a espécie ou a partir de trabalhos de campo em que são feitas análises referentes à frequência das características do microhabitat ocupado pelos indivíduos no momento em que estes são observados ou capturados. As características hidráulicas das seções transversais representativas são obtidas também por meio de trabalhos de campo em que são feitas medições de profundidade, velocidade para uma determinada vazão e observações de substrato e cobertura do leito das seções. Logo, deve-se considerar esses fatores nos casos em que o método for indicado no FTA.

Para a aplicação de modelos de qualidade da água, como o QUAL2E, deve-se levar em consideração a lei CONAMA n°20 de 18 de junho de 1986 que estabelece a classificação das águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. No caso de águas doces, a classificação é a seguinte:

Classe Especial - águas destinadas: a) ao abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção; b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

Classe 1 - águas destinadas: a) ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao Solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

Classe 2 - águas destinadas: a) ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho); d) à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; e) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

Classe 3 - águas destinadas: a) ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à dessedentação de animais.

Classe 4 - águas destinadas: a) à navegação; b) à harmonia paisagística; c) aos usos menos exigentes.

Para cada classe, são estabelecidos limites para coliformes, DBO₅ dias (20°C), OD, Turbidez, cor, pH e teores máximos para diversas substâncias potencialmente prejudiciais.

Na análise da vazão mínima garantida, deve-se considerar a classe conforme os usos das águas do rio e os limites de cada parâmetro de qualidade da água, podendo ser escolhido somente os que afetam significativamente a qualidade da água.

Considerando-se a análise elaborada sobre a base de dados necessária aos métodos, pode-se definir para o FTA três grupos de dados:

Dados hidrológicos – Esse grupo inclui os dados fluviométricos e outros dados hidrológicos discutidos anteriormente que podem ser utilizados alternativamente para gerar os dados de vazão necessários à aplicação dos métodos hidrológicos. Portanto, quando o usuário do suporte afirma positivamente sobre a disponibilidade de dados hidrológicos, ele está considerando que dispõe de dados suficientes para atingir os objetivos do suporte.

Dados de qualidade de água – Esse grupo inclui os parâmetros necessários à avaliação da qualidade do corpo hídrico. Pode-se, por exemplo, considerar o tipo de poluição verificada no curso d'água como poluição orgânica, poluição inorgânica, contaminação bacteriana e processo de eutrofização, para definir os parâmetros. Da mesma forma que os dados hidrológicos, quando se define, no suporte, que existe esse conjunto de dados, está-se supondo que o usuário tem disponível todos os dados de qualidade da água necessários à análise.

Dados ecológicos – Esses dados envolvem o conhecimento de espécies da fauna e flora aquáticas, além dos habitats considerados importantes dentro dos ecossistemas presentes no rio estudado. Pode-se, por exemplo, avaliar espécies de algas, organismos bentônicos, espécies de peixes, entre outros, e seus respectivos habitats. Esses dados serão necessários para o desenvolvimento dos índices de preferência de habitat para esses organismos ou para a definição de critérios como profundidade mínima para passagem de peixes, velocidade máxima da água para a postura, entre outros. Outras informações importantes dentro desse grupo são aquelas referentes à tolerância dos organismos aquáticos às substâncias consideradas poluidoras do meio aquático. Ou seja, quando houver a indicação de possíveis conflitos associados à proteção do meio ambiente por motivos de qualidade da

água, deve-se ter conhecimento sobre os limites máximos da presença das substâncias suportados pelos organismos aquáticos. Como existe uma grande variedade de tipos dados para essa classificação, é possível que o decisor, apesar de ter uma base de dados ecológicos significativa, não tenha todas as informações necessárias à determinação da vazão mínima garantida. Por esse motivo, foi previsto na avaliação de conflitos associados à conservação ambiental a confirmação do usuário-decisor de que os dados disponíveis são de fato suficientes para a análise da vazão mínima garantida.

4.3 - CLASSIFICAÇÃO DAS SITUAÇÕES-TIPO

A definição das situações-tipo foi baseada nas situações identificadas de ocorrência de conflitos e no grupo de base de dados necessários à aplicação dos diversos métodos de determinação de vazão mínima garantida discutidos neste trabalho. O conjunto de todas essas informações pode ser visualizado na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Situações de conflito possíveis e tipos de base de dados (modificado de Bezerra, 2001).

Aspectos	Alternativas
Situações de conflito de uso da água	1- associados ao volume de água 2- associados à vazão 3- associados à qualidade de água 4- associados à conservação e proteção ambiental
Base de dados necessária	a- dados hidrológicos b- dados de qualidade de água c- dados ecológicos

As situações-tipo foram definidas a partir dos possíveis arranjos entre os tipos de conflitos pelo uso da água e o conjunto de dados necessários à avaliação da vazão mínima garantida.

Porém, antes da análise das combinações possíveis, é necessário explicar sobre as considerações feitas para cada alternativa de situação de conflito. As alternativas 1 e 2, atribuídas, respectivamente, à situação de conflitos associados ao volume de água e a vazão, indicam que existem unicamente conflitos de disponibilidade quantitativa no curso d'água e que não há ecossistemas importantes a serem considerados no rio. Na consideração da alternativa 3 (conflitos relativos à qualidade de água), como a causa advém da quantidade de água insuficiente para os processos de diluição e autodepuração do corpo hídrico, seja pela escassez de água seja pelo excesso de efluentes lançados, deve-se analisar tanto a qualidade como a quantidade de água presente no curso d'água. Logo, a

alternativa 3 engloba implicitamente as alternativas 1 e 2 que se referem a conflitos quantitativos. Quando a proteção dos ecossistemas do rio for considerado objetivo muito importante, o suporte indicará a alternativa 4. Os problemas decorrentes desse tipo de conflito são devidos à insuficiência da quantidade de água adequada para a sobrevivência dos ecossistemas aquáticos, à baixa qualidade da água prejudicial à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas ou ambas as situações. Ou seja, na avaliação da situação-tipo 4, estar-se-á analisando conjuntamente as demais alternativas. Enfim, cada alternativa se caracteriza por um processo cumulativo referente às alternativas anteriores, à medida que se avança na complexidade das situações de conflito.

Essas considerações influenciam diretamente nos arranjos. Combinando-se essas situações de conflito com a base de dados, identificaram-se 4 situações-tipo relevantes, dentre os quais o FTA pode identificar o método mais adequado (tabela 4.2). Combinações do tipo 1(b e c), por exemplo, não são pertinentes, pois se a situação de conflito for somente relativa ao volume, entende-se que dados hidrológicos são suficientes para a aplicação dos métodos definidos para a situação em questão. Da mesma forma, uma combinação do tipo 3.a, não é considerada, pois, os dados do tipo “a” não são suficientes para se analisar conflitos associados à qualidade de água de um rio.

Tabela 4.2 – Tipos de combinações das situações-tipo do FTA (modificado de Bezerra, 2001).

Combinações de alternativas	Situação-tipo
1,a	Manancial com riscos de conflitos associados ao volume e com disponibilidade de dados hidrológicos.
2,a	Manancial com riscos de conflitos associados à vazão e com disponibilidade de dados hidrológicos.
3, (a e b)	Manancial com riscos de conflitos associados à qualidade de água e com disponibilidade de dados hidrológicos e de qualidade da água.
4, (a, b, e c)	Manancial com riscos de conflitos associados à conservação e proteção ambiental e com disponibilidade de dados hidrológicos, de qualidade de água e ecológicos.

O passo seguinte, depois de definir as situações-tipo, consistiu em associar os métodos de determinação da vazão mínima garantida aos tipos de situação de conflito. Na análise, chegou-se às seguintes conclusões: para situações de conflitos associados unicamente ao volume, não havendo no rio espécies aquáticas de relevante interesse, propõe-se indicar os

métodos hidrológicos por serem tipos de métodos de consideração ecológica indireta e por requererem apenas dados históricos de vazão.

Nas situações de conflitos associados à vazão, por se caracterizarem por retiradas de água variáveis ao longo do tempo, sugere-se a utilização do método do perímetro molhado ou na impossibilidade de fazer os trabalhos de campo necessários à aplicação do método em questão, sugerem-se os métodos hidrológicos. O método do perímetro molhado é sugerido para esses tipos de conflitos por não requerer dados de vazão, já que é difícil fazer a reconstituição das vazões naturais de um curso d'água em que as retiradas variam ao longo do dia, por exemplo, tornando difícil a aplicação de métodos hidrológicos. Apesar de o método do perímetro molhado não ter uma relação com os métodos hidrológicos, ele é considerado um método com incorporação de dimensão ecológica, podendo ser aplicado para definir um nível mínimo de água a ser mantido no rio. No caso do método do perímetro molhado não ser considerado pelo do usuário do FTA como adequado para a aplicação no curso d'água avaliado, sugere-se, então, a utilização dos métodos hidrológicos.

Na avaliação da situação de conflito relacionado à qualidade da água, propõe-se, obviamente, a utilização de modelos de simulação de qualidade da água. Para os conflitos associados à proteção ambiental, propõem-se métodos destinados a determinar a vazão necessária à proteção dos organismos aquáticos, dando prioridade ao *IFIM*, por proporcionar uma boa resposta biológica às recomendações de vazões mínimas garantidas, além dos métodos econômicos. Todas as sugestões podem ser visualizadas na tabela 4.3.

Para definir qual o melhor método a ser aplicado em cada tipo de situação de conflito, eles foram submetidos às restrições e limitações determinadas na revisão de cada um deles no capítulo 4. Esses processos são mostrados na definição do FTA, na seção a seguir.

4.4 - DEFINIÇÃO DO FLUXOGRAMA TEÓRICO DE AVALIAÇÃO

O FTA consiste em um conjunto de diagramas decisórios, em que cada um deles representa uma situação-tipo já definida anteriormente. A figura 4.1 mostra o esquema geral para o procedimento do suporte metodológico proposto.

Primeiramente, o usuário interessado em definir um método de determinação de vazão mínima garantida, faz um estudo sobre os tipos de conflitos potenciais da bacia e a base de dados disponível. Para isso, o usuário deve procurar os órgãos competentes e documentos

que indiquem os usos de água que ocorrem na bacia (especialmente no curso d'água estudado), a importância ambiental desse rio, os postos hidrológicos existentes, os tipos de dados obtidos nesses postos, a existência de redes de monitoramento de qualidade da água, a possibilidade de expansão de atividades que requerem retiradas de água significativas, enfim, todas as informações essenciais ao reconhecimento da situação-tipo.

Tabela 4.3 – Indicação do método com base no tipo de situação (modificado de Bezerra, 2001).

Tipo da situação	Tipo de problema	Usos conflitantes possíveis	Indicação do método
Tipo 1 – conflitos associados à vazão	A bacia hidrográfica apresenta problemas relativos ao uso intensivo da água, com retiradas variáveis ao longo do tempo, impedindo usuários de captar água a jusante.	<ul style="list-style-type: none"> - Abastecimento de água - Dessedentação de animais - Recreação - Irrigação - Agropecuária - Usos industriais que não produzem efluentes - Navegação 	Q _{7,10} , Q _{90%} , ABF e Montana
Tipo 2 – conflitos associados ao volume de água	A bacia hidrográfica apresenta problemas relativos ao uso intensivo da água de forma contínua, impedindo usuários de captar água a jusante, de tal forma a ocasionar, em alguns casos, esgotamento das reservas hídricas e impactos ambientais.	Todos os usos do tipo de situação 1 com retiradas mais intensas	Q _{7,10} , Q _{90%} , Montana, ABF, Idaho e Perímetro Molhado
Tipo 3 – conflitos associados à qualidade de água	A bacia hidrográfica apresenta problemas de poluição causadas por atividades urbanas, industriais e agropecuária intensiva, prejudicando os usuários a jusante dos corpos d'água.	Todos os usos do tipo de situação 1 com: <ul style="list-style-type: none"> - Esgotos urbanos - Drenagem pluvial - Efluentes industriais - Carreamento de agrotóxicos e matéria orgânica (adubo) utilizados na agricultura 	Modelos de simulação de qualidade da água (QUAL2E)
Tipo 4 – conflitos associados à conservação e proteção ambiental	A bacia hidrográfica apresenta problemas de poluição ou falta de água, causados pelo uso intensivo da água, que altera de forma significativa o equilíbrio dos ecossistemas a jusante.	Os usos descritos nas situações anteriores com as necessidades das biotas aquáticas consideradas importantes.	IFIM, juntamente com todos os métodos hidrológicos, sanitários e hidráulicos.

A partir da definição da situação-tipo, o suporte indicará a utilização de outro diagrama com o detalhamento da situação-tipo determinada. Então, a partir de critérios e restrições definidos para os métodos, o suporte indicará duas alternativas possíveis: a indicação do método de determinação de vazão mínima garantida a ser aplicado ou a constatação de que a base de dados disponível não permite a aplicação dos métodos, devendo a base de dados ser ampliada. Os outros processos mostrados na figura 4.1 após a definição da vazão mínima garantida se referem à avaliação da demanda dos usuários dos recursos hídricos da bacia. Verificar-se-á, a partir da vazão mínima garantida, se todas as demandas podem ser atendidas. Essa verificação é feita geralmente pelos órgãos gestores de recursos hídricos que são responsáveis, entre outros, pela concessão de outorga do direito de uso dos recursos hídricos. É relevante salientar que o FTA proposto trata apenas dos processos destinados à definição do método de determinação da vazão mínima garantida, não contemplando os outros passos apresentados na figura 4.1.

Depois de consultar o FTA e definir o método sugerido, o usuário deve rever todo processo de aplicação do método para se certificar de que o método atenderá às suas necessidades.

Quando o FTA indicar mais de um método, caberá ao usuário aplicá-los e decidir, a partir da definição de seus critérios de negociação, o melhor valor a ser considerado como a vazão mínima garantida.

A seguir, será mostrado todo procedimento relativo à aplicação do Fluxograma Teórico de Avaliação.

4.4.1 – Procedimentos de consulta do FTA

Neste item, são mostrados os diagramas de decisão do FTA. No total, são cinco diagramas de decisão. A análise se inicia com a consulta ao fluxograma A (figura 4.2), em que se identifica a situação-tipo a ser avaliada a partir da definição do tipo de conflito e da base de dados existente na bacia. Antes de consultar o fluxograma A, deve-se consultar as listagens de controle do apêndice B. Procedendo-se à análise, o fluxograma A indica o diagrama que deve ser consultado a seguir, referente à situação-tipo definida, ou então indica a necessidade de ampliar a base de dados para que se possa proceder à análise. Basicamente, são quatro fluxogramas referentes a cada tipo de situação de conflito e o conjunto de dados necessários à sua avaliação. A função dos fluxogramas é a de indicar os

métodos de determinação da vazão mínima garantida considerados adequados a serem aplicados, de acordo com os tipos de conflitos que ocorrem ou poderão ocorrer.

Algumas observações devem ser feitas para os diagramas de decisão. No fluxograma 1 (figura 4.3), procedimento para a avaliação da situação-tipo 1, definiram-se os critérios $Q_{7,10}$ e Q_{90} para serem aplicados em caso de conflitos críticos. É considerado conflito crítico no fluxograma 1 quando as derivações de água são intensas a ponto de provocar esgotamento das reservas hídricas. Para esses casos, os métodos de Monatana, ABF e NGPRP podem ser muito restritivos para retirada de água do rio. Por isso, indicaram-se os critérios $Q_{7,10}$ e Q_{90} por resultarem sempre em valores menores em relação aos demais métodos hidrológicos. É importante destacar que nesse tipo de situação não há objetivo de proteção ambiental, podendo-se recorrer a métodos que não incorporam a dimensão ecológica.

No fluxograma 2 (figura 4.4), são indicados o método do perímetro molhado e os métodos hidrológicos. No fluxograma 3 (figura 4.5), no caso de a vazão mínima garantida não atender aos padrões de qualidade da água exigidos pelo tipo de uso, sugere-se redefinir o cenário hidrológico reavaliando-se a vazão mínima garantida e a quantidade máxima permitida de lançamento de efluente no corpo hídrico receptor. No fluxograma 4 (figura 4.6), a conservação e a proteção dos ecossistemas aquáticos são considerados objetivos relevantes. Logo, indicaram-se os métodos de determinação da vazão mínima garantida para manutenção dos ecossistemas aquáticos, para a análise do aspecto de quantidade, e os modelos de qualidade, para a análise da qualidade.

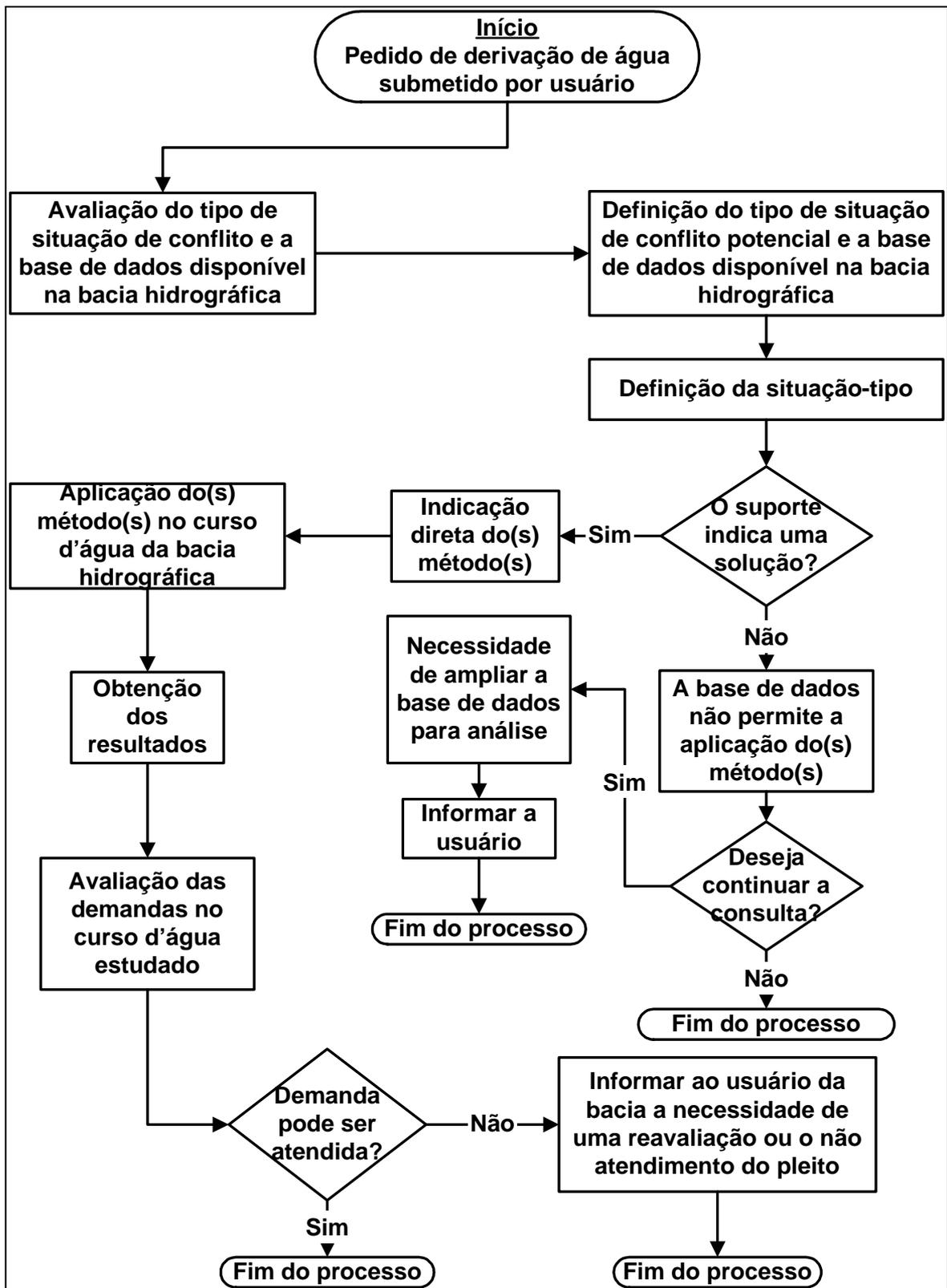


Figura 4.1 – Fluxograma do esquema geral do FTA (modificado de Bezerra, 2001).

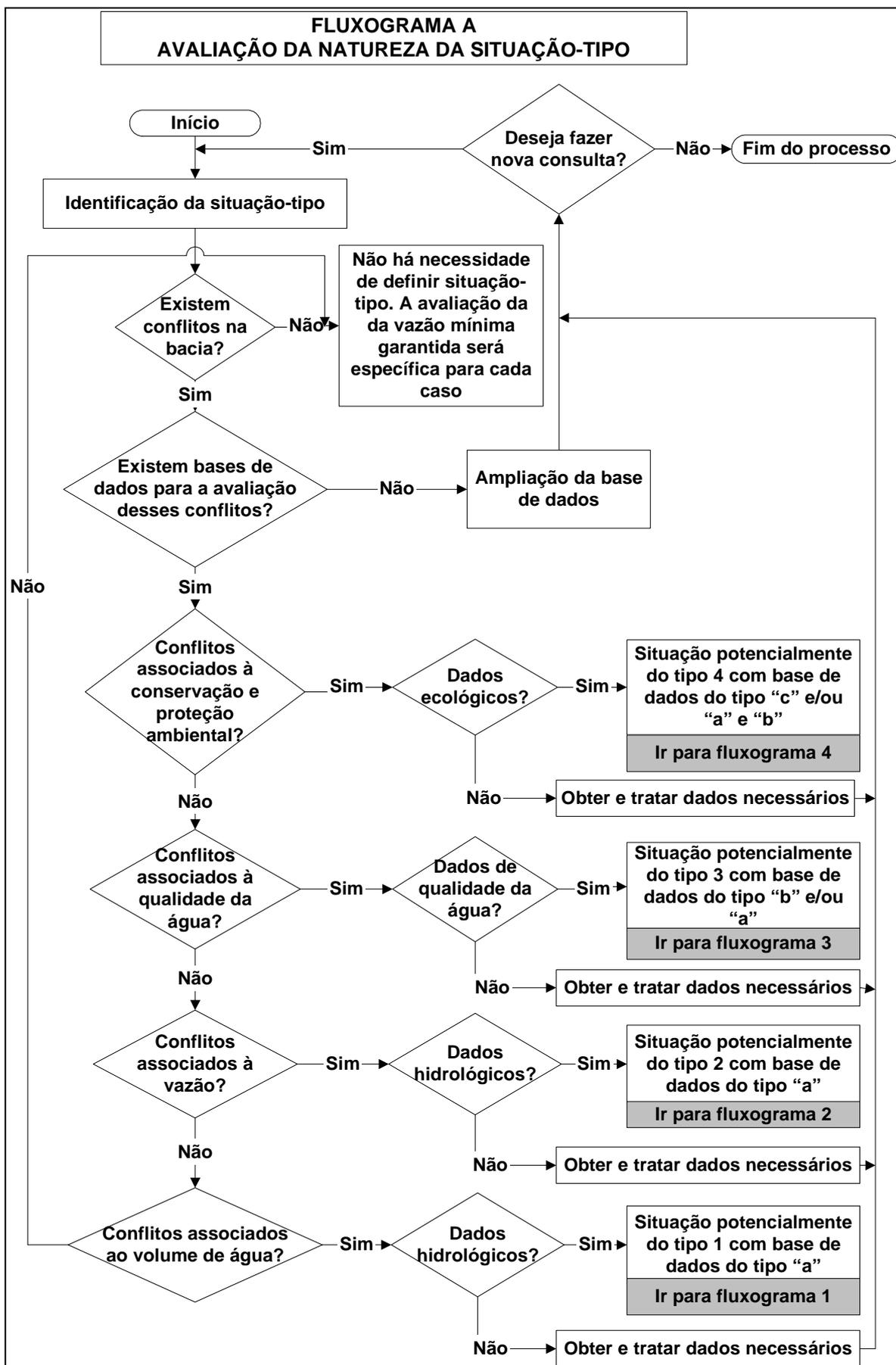


Figura 4.2 – Fluxograma A – avaliação da natureza da situação-tipo (modificado de Bezerra, 2001).

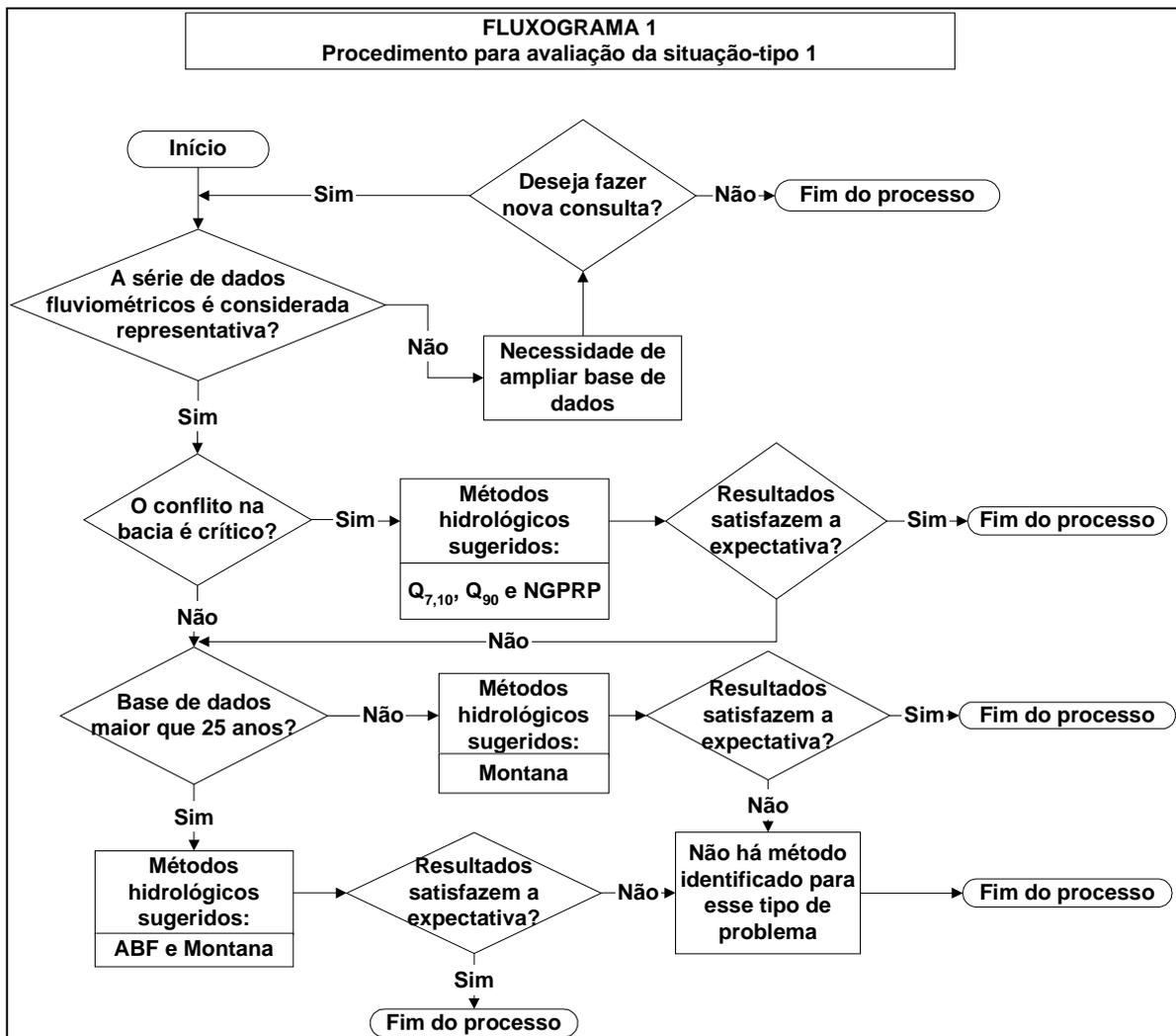


Figura 4.3 – Fluxograma 1 – procedimento para a avaliação da situação-tipo 1 (modificado de Bezerra, 2001).

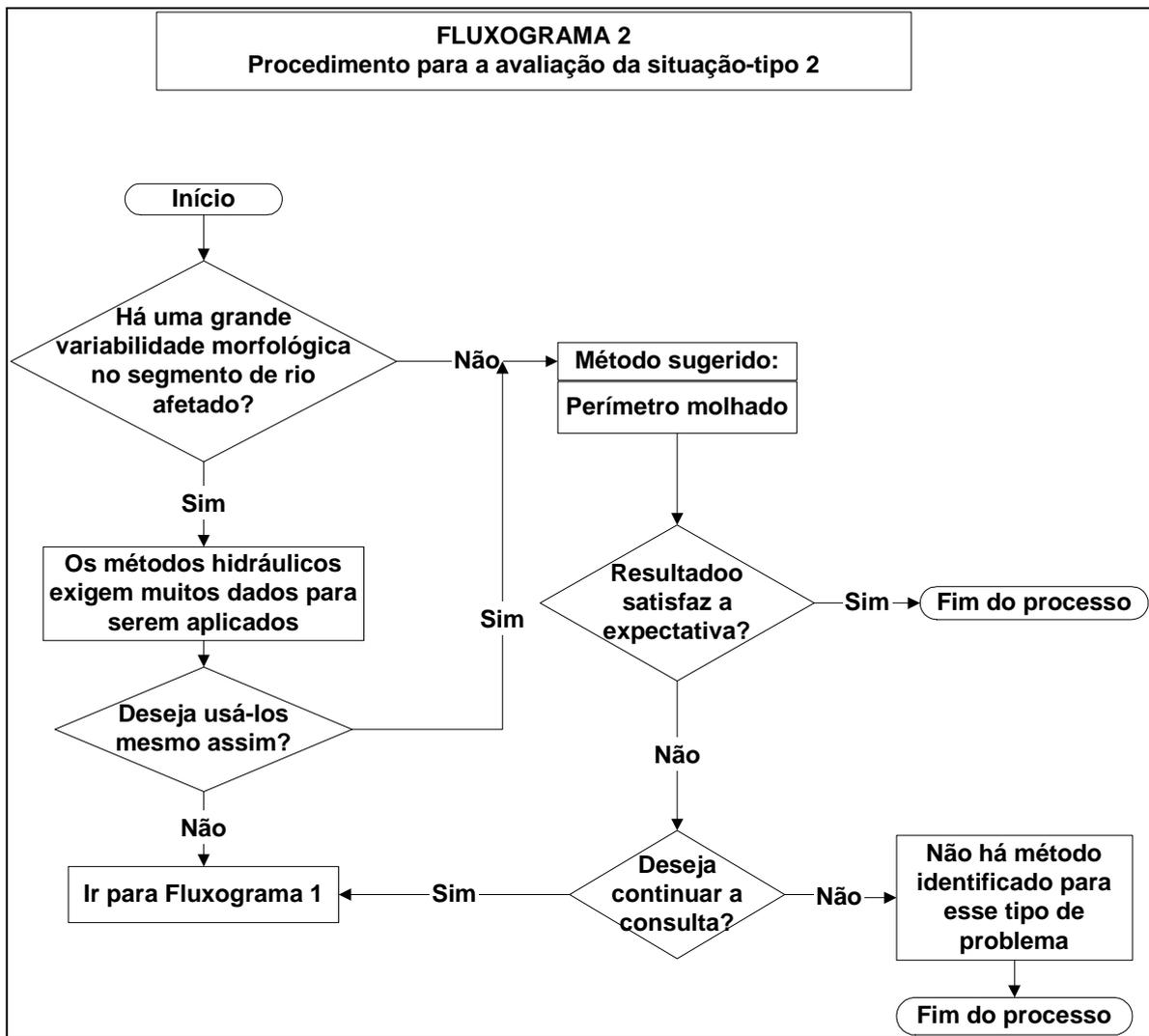


Figura 4.4 – Fluxograma 2 – procedimento para a avaliação da situação-tipo 2 (modificado de Bezerra, 2001).

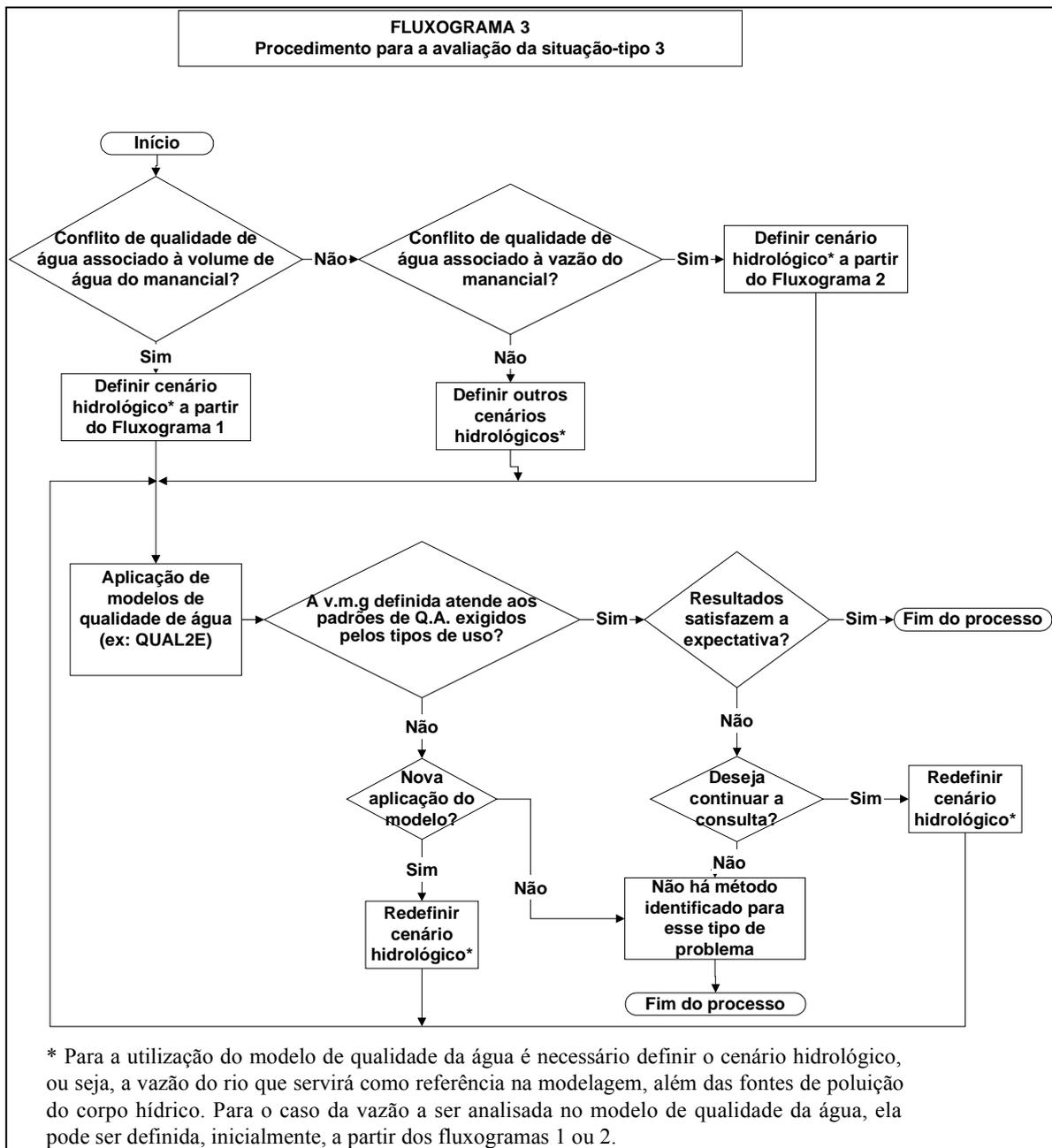


Figura 4.5 – Fluxograma 3 – procedimento para a avaliação da situação-tipo 3 (modificado de Bezerra, 2001).

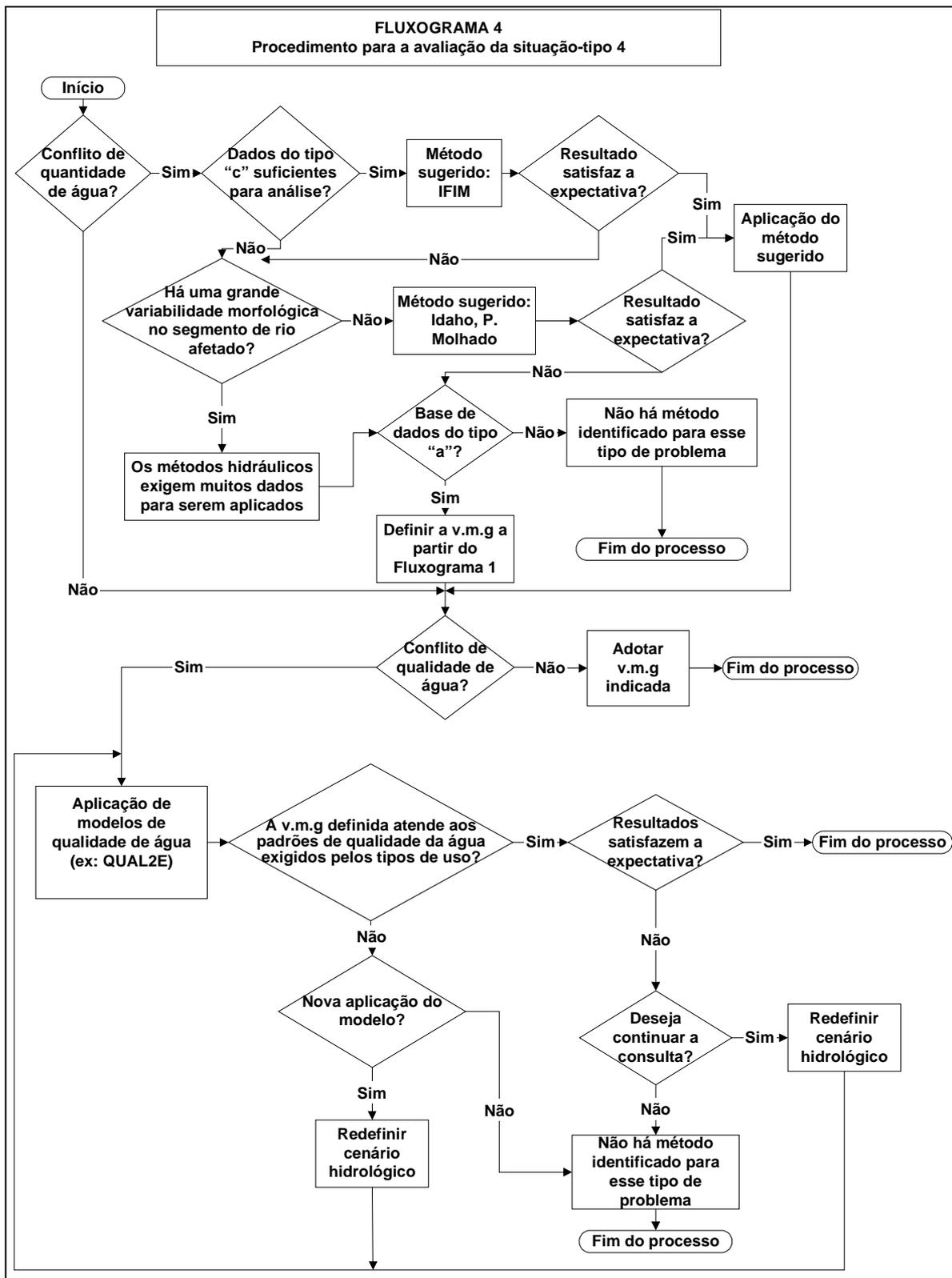


Figura 4.6 – Fluxograma 4 – procedimento para a avaliação da situação-tipo 4 (modificado de Bezerra, 2001).

5 - ESTUDO DE CASO

Após ter sido apresentada a nova versão do suporte metodológico, aplicou-se o FTA no curso d'água do rio São Bartolomeu, com o objetivo de testar a sua eficiência.

No Alto Curso do rio São Bartolomeu, noroeste do Distrito Federal, existem captações para abastecimento de água das cidades satélites de Sobradinho e Planaltina, além de áreas com atividades agrícolas significativas como os núcleos rurais de Sobradinho e do Pipiripau-Taquara. Prevê-se que daqui a alguns anos, com o aumento das populações tanto urbanas como rurais, a demanda por água deva crescer significativamente a ponto de ocorrer conflitos entre esses usos. Devido a esse fato, selecionou-se um ponto na bacia do rio São Bartolomeu para estudo. Esse ponto localiza-se próximo ao posto fluviométrico da Companhia de Saneamento Básico do Distrito Federal (CAESB), com coordenadas de 15°44'31" de latitude sul e 47°40'40" de longitude oeste, inserido mais especificamente na micro-bacia do Alto São Bartolomeu, entre os afluentes rio Paranoá e ribeirão de Sobradinho. Supõe-se, hipoteticamente, que em um futuro próximo possa vir a ocorrer a construção de barragem para irrigação ou mesmo para abastecimento humano. Outra hipótese seria a demanda excessiva de água em época de estiagem. A confirmação de ambos os cenários provocaria alterações no regime natural do rio a jusante, seja pela regularização da vazão na implementação de uma barragem, seja pela derivação de água para irrigação a montante desse ponto. Outro fator que reforça a justificativa de escolha dessa seção é que o ponto selecionado encontra-se inserido na Área de Proteção Ambiental (APA) do rio São Bartolomeu, próximo ao limite superior da APA. Conseqüentemente, torna-se necessária a definição da vazão mínima garantida adequada para o segmento do curso d'água do rio São Bartolomeu localizado dentro da APA.

Outro segmento onde se julgou de interesse proceder a uma avaliação da vazão mínima garantida é aquela que ocorre nas proximidades do posto fluviométrico DF-18 da CAESB. Essa seção se localiza no limite inferior da APA do São Bartolomeu, entre as micro-bacias do médio e baixo São Bartolomeu, próximo ao córrego Taquari Amarelo, com coordenadas 15°56'51" de latitude sul e 47°40'40" de longitude oeste.

Segundo estudos desenvolvidos pela CAESB, o rio São Bartolomeu foi considerado o manancial mais importante para o abastecimento de água do DF no futuro, em razão de seu volume e de sua proximidade em relação aos núcleos urbanos, pela qualidade de água, pela proximidade dos grandes centros urbanos e pelas condições econômicas de aproveitamento

(SEMA, 1988). Indicava-se como possibilidade a construção de uma barragem para formar um lago por meio do represamento das águas do rio São Bartolomeu, desde os ribeirões Mestre D'Armas e Pípiripau, onde começaria o remanso, até as proximidades do ribeirão da Papuda.

Em face dessa perspectiva, criou-se a Área de Proteção Ambiental da Bacia do Rio São Bartolomeu. Ela foi criada pelo Governo Federal em 7 de novembro de 1983, por meio do Decreto nº 88.940, e teve, como objetivo principal, o de proteger esse grande manancial do Distrito Federal, incluindo como outro objetivo a proteção da vida silvestre, a manutenção de bancos genéticos e espécies raras da biota regional, bem como dos demais recursos naturais.

Mais recentemente, foi escolhido pela CAESB o rio Corumbá como outra alternativa para o abastecimento futuro de água do Distrito Federal (CAESB, 2000). Contudo, o rio São Bartolomeu permanece como alternativa importante para o abastecimento do DF. Logo, a implementação de represamento provocaria alterações no regime natural do rio a jusante. Sendo assim, escolheu-se a seção próxima ao posto DF-18 para aplicar o FTA.

Antes de aplicar o suporte metodológico no curso d'água do rio São Bartolomeu, apresenta-se uma breve caracterização da bacia do rio São Bartolomeu, com o objetivo de identificar os principais problemas que a bacia apresenta, dando ênfase à área da APA dessa bacia.

5.1 - CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO SÃO BARTOLOMEU

A Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu ocupa uma área de aproximadamente 5.400 km² (figura 5.1). No Distrito Federal, sua área de drenagem é em torno de 2.594 km² (figura 5.2). Formado pelos rios Monteiro e Pípiripau, o rio São Bartolomeu nasce próximo a Planaltina, nordeste do Distrito Federal, e percorre cerca de 52km em direção sul-sudoeste, até a divisa do Distrito Federal com o estado de Goiás. O comprimento total do rio é de aproximadamente 178 km até a confluência com o rio Corumbá. A bacia do rio São Bartolomeu é a bacia hidrográfica de maior área dentro dos limites do Distrito Federal (SEMA, 1988).

Nessa bacia, além de toda sub-bacia do Paranoá, estão situadas partes das regiões administrativas de Sobradinho, Planaltina, Paranoá e São Sebastião. A bacia do rio São

Bartolomeu limita-se com a bacia do rio Maranhão ao norte; a bacia do rio Preto a leste; a bacia do rio São Marcos a sudeste e a bacia do Descoberto a oeste.

A Bacia do Rio São Bartolomeu é ainda subdividida em três regiões: Alto, Médio e Baixo São Bartolomeu, respectivamente nas porções norte, central e sul da bacia, cujas subdivisões estão apresentadas na tabela 5.1. O rio São Bartolomeu representa o principal curso d'água dessa bacia e tem como afluentes de maior importância o ribeirão Sobradinho, que passa pela cidade de mesmo nome, o ribeirão Mestre D'Armas, que passa pela cidade de Planaltina e o rio Paranoá (Brandão *et al.*, 1999).

Tabela 5.1 - Subdivisões da Bacia do Rio São Bartolomeu (Campana *et al.*, 1999)

BACIA	SUB-BACIA
ALTO SÃO BARTOLOMEU	Ribeirão Pípiripau
	Ribeirão Mestre D'Armas
	Córrego Quinze
	Córrego do Meio
	Ribeirão Sobradinho
	Córrego Fazendinha
	Córrego Rajadinha
	Córrego Rajadinha de Baixo
MÉDIO SÃO BARTOLOMEU	Córrego Capão da Onça
	Rio Paranoá
	Córrego Tapera
	Ribeirão Taboca
	Córrego Divisa
	Córrego Açude
	Ribeirão Papuda
	Córrego Colméia
Córrego Gavião	
BAIXO SÃO BARTOLOMEU	Córrego Taquari Amarelo
	Ribeirão Cachoeirinha
	Ribeirão Santana
	Ribeirão Maria Pereira
	Ribeirão Saia Velha

Clima

A bacia do rio São Bartolomeu se encontra dentro da zona de clima semitropical, caracterizando-se por uma estação muito úmida, alternando-se com uma estação muito seca. A distribuição da pluviosidade, principal elemento climático da bacia, corresponde àquela da região Centro-Oeste. As características dos regimes das chuvas devem-se quase que exclusivamente aos sistemas de circulação atmosférica. A distribuição das precipitações é desigual durante o ano. Em quase toda região, mais de 70% do total das chuvas acumuladas durante o ano se precipitam de novembro a março, sendo, geralmente, mais chuvoso o trimestre de dezembro a fevereiro (Novaes Pinto, 1986b).

As diferenças de tipos de clima no Distrito Federal, onde se situa a APA do rio São Bartolomeu, decorrem das diferenças altimétricas. Nas áreas de cotas altimétricas abaixo de 1000 metros, ocorre o clima tropical AW, de acordo com a classificação de Köppen, com temperaturas médias de todos os meses superiores a 18°C. Nas cotas de 1000 a 1200m, ocorre o clima Tropical de Altitude Cwa, na qual a temperatura média do mês frio é inferior a 18°C, e a do mês mais quente é superior a 22°C. As áreas acima de 1200m são abrangidas pelo clima Tropical de Altitude CWb, com temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C, e do mês mais quente inferior a 22°C (SEMA, 1988).

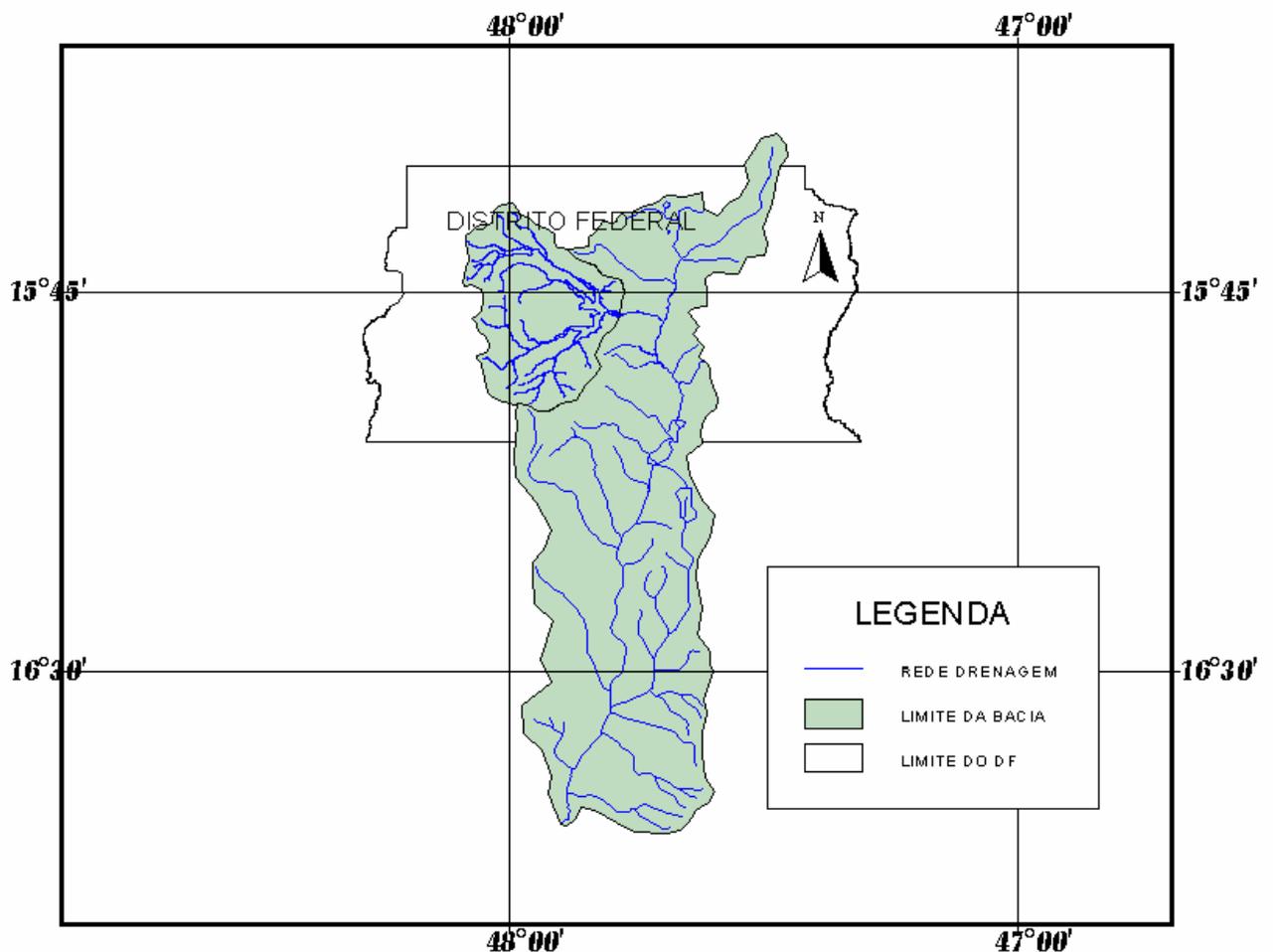


Figura 5.1 – Localização da bacia do rio São Bartolomeu.

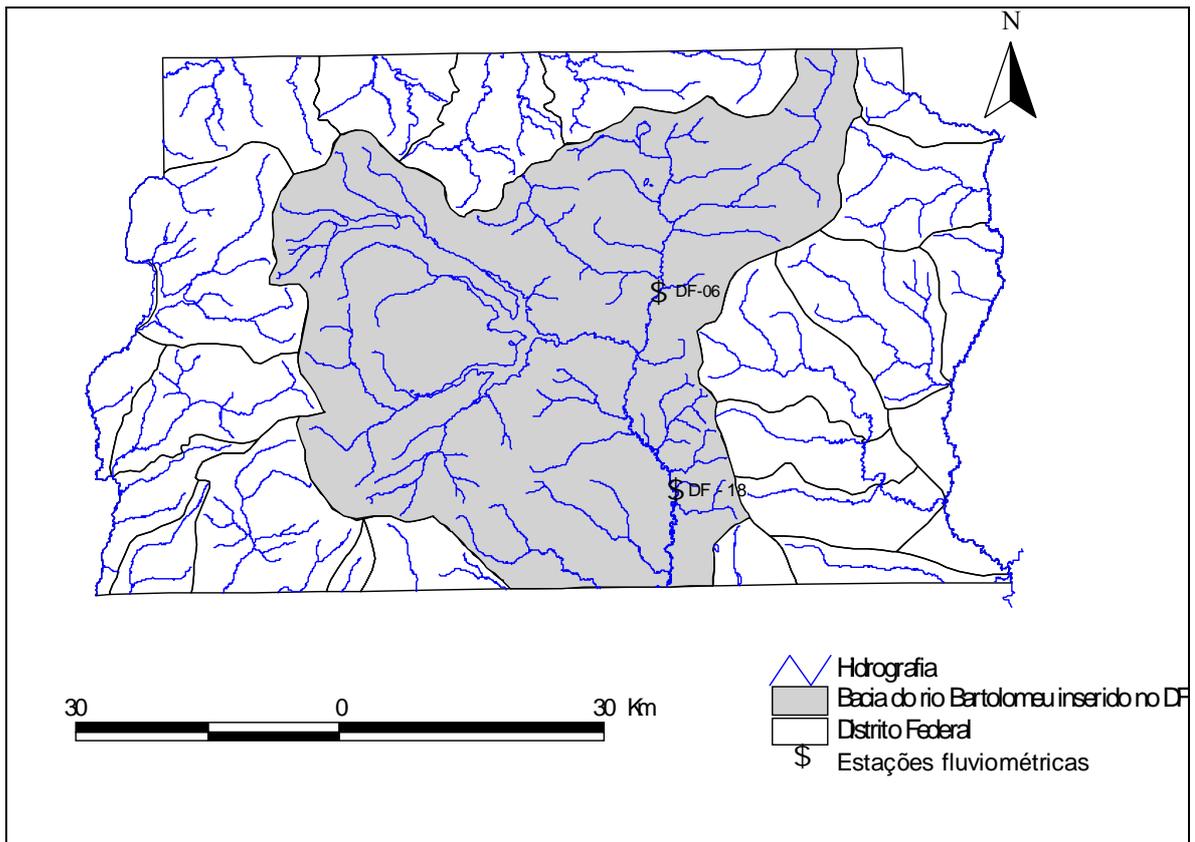


Figura 5.2 – Área da bacia do rio São Bartolomeu inserido no Distrito Federal e localização dos postos fluviométricos DF-06 e DF-18.

Geologia

A área de drenagem ocupada pela bacia do rio São Bartolomeu é constituída por rochas do Grupo Canastra (Filitos e quartzitos finos) do Pré-Cambriano B, e do Grupo Paranoá (ardósia na base, em seguida quartzitos, depois ritmitos – seqüência de siltitos e quartzitos finos-, e finalmente lentes de calcário) do Pré-Cambriano A. A área do vale do São Bartolomeu está limitada por uma falha de empurrão que provocou uma inversão, colocando as rochas mais antigas do Grupo Canastra sobre as do Grupo Paranoá (Novaes Pinto, 1986a).

Geomorfologia e solos

Na junção dos rios Pípiripau e Monteiro, o rio São Bartolomeu se localiza a uma altitude de 950 metros. A bacia do rio São Bartolomeu está incluída no domínio morfoclimático do Cerrado, caracterizado por chapadões recobertos por cerrados e penetrados por florestas-galerias, desenvolvido em áreas onde imperam climas tropicais

úmidos a duas estações. A altura máxima da bacia, no Distrito Federal, 1.269 metros, encontra-se na chapada da Contagem, divisor de águas com a bacia do rio Maranhão. A altura mínima de 820 metros é observada no leito do rio São Bartolomeu, na divisa do Distrito Federal com o estado de Goiás. (Novaes Pinto, 1986a).

O vale do rio São Bartolomeu encontra-se entalhado em níveis hipsométricos inferiores a 1.000 metros. O nível de 1.000 a 920 metros constitui um assoalho de vale estreito entre formações de “chapadas” terciárias, no qual o rio tem seu leito definido desde o Pleistoceno até o período atual. Esse nível predomina também nas suas cabeceiras. A partir da confluência do rio Paranoá, o nível de 1.000 a 920 metros, bastante dissecado, constitui uma faixa que bordeja a “Chapada” ao longo do vale. Destaca-se, então, o nível hipsométrico de 920 a 840 metros (SEMA, 1988).

Os solos predominantes são os cambissolos, solos rasos formados pela desagregação de rochas metamórficas, filitosas e ardósianas. Apresentam grande incidência de cascalhos e fragmentos de rochas ao longo do perfil, com horizontes pouco evoluídos e pouco profundos, contendo minerais primários de fácil intemperização e rara acumulação significativa de óxidos de ferro, argila e húmus. A faixa de cambissolos se amplia para o sul, sendo que manchas de latossolos aparecem esparsas pela área. É também reduzida a presença de solos hidromórficos (Novaes Pinto, 1987).

Paisagens Morfológicas da área de drenagem do rio São Bartolomeu no DF

O alto curso do rio São Bartolomeu, limitado pela confluência do rio Paranoá, é formado essencialmente pelas feições do pediplano, e pelo entalhamento dos cursos do rio Pipiripau e do ribeirão Sobradinho sobre as superfícies terciárias; nessa área, a presença do pediplano constitui o assoalho do vale, com inselbergues e encostas pedimentadas. É delimitado lateralmente por encostas íngremes, de rebordos estruturais das superfícies terciárias, com declives que vão de 5 a 20%, algumas vezes acima de 20%. Ao longo do ribeirão Sobradinho, predominam encostas retilíneas, interrompidas por glaciais que se estendem, algumas vezes, até o leito do rio. A jusante da confluência do rio Sobradinho, o rio São Bartolomeu passa a apresentar declives que variam entre 5 e 20%, pelo início da dissecação do pediplano, em virtude do contato das rochas do Grupo Paranoá com as rochas do Grupo Canastra (Novaes Pinto, 1986a).

“O curso superior do rio São Bartolomeu, que vai desde a confluência do rio Paranoá até a confluência do ribeirão Santana, é caracterizado pela intensa dissecação do pediplano do São Bartolomeu. A dissecação do pediplano intensifica-se a partir da área de confluência com o rio Paranoá, devido ao intenso trabalho erosivo exercido pelos canais fluviais em filitos do Grupo Canastra. Os interflúvios apresentam formas de pseudomesas, de inselbergues e cristas variadas, esporões e ombreiras, com predomínio de declividades entre 10 e 20%. Encostas pedimentares acham-se entalhadas pela drenagem atual e alguns vales apresentam retomadas de erosão”.

Aspectos hídricos

O São Bartolomeu é um rio tipicamente de planalto, com rápidos e corredeiras, possuindo regime perene devido às condições favoráveis de solo e pluviosidade (SEMA, 1988).

Atualmente, na bacia do rio São Bartolomeu, sem considerar a sub-bacia do Paranoá, existem quatro estações de tratamento de esgotos: ETE's de Planaltina, Sobradinho, Vale do Amanhecer e Paranoá. Todas elas lançam efluentes tratados, mas nenhum desses efluentes é despejado diretamente no rio São Bartolomeu. Os postos de monitoramento de qualidade de água existentes na bacia se localizam a montante das captações para abastecimento. Quanto ao abastecimento de água, existem 8 captações para esse fim, em córregos e ribeirões tributários do São Bartolomeu: Brejinho, Contagem, Corguinho, Fumal, Mestre D'Armas, Paranoazinho, Pipiripau e Quinze.

Uso do solo

De uma maneira geral, pode-se encontrar três áreas bem distintas: áreas densamente ocupadas, áreas com características naturais conservadas e áreas rurais. Nas áreas rurais, as atividades humanas desenvolvidas são agrícolas e pecuárias, sendo a minoria de subsistência e a maioria de produção.

À pecuária e às roças, intercalam-se numerosos loteamentos na área do vale principal. No alto curso, além do bairro de Nossa Senhora de Fátima e do Vale do Amanhecer, mostram-se áreas com razoável atividade agrícola, como as dos núcleos rurais de Sobradinho e do Pipiripau-Taquara, a sede do Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado (CPAC-EMBRAPA) e o Colégio Agrícola de Brasília (SEMA, 1988). Segundo Valadão (2002), apesar de a atividade agrícola ser intensiva na cabeceira da bacia, as captações de água

para a irrigação não são significativas se comparadas às vazões naturais que ocorrem no rio principal.

Na área da APA, existem atividades urbanas e rurais. Na região da sub-bacia do rio Paranoá, tributário do rio São Bartolomeu, encontra-se as cidades de Brasília, Riacho Fundo, Guará e o lago Paranoá. Na área de drenagem do alto curso do rio São Bartolomeu, localizam-se as cidades de Sobradinho e Planaltina. Outros centros urbanos localizados na bacia são Paranoá e São Sebastião. O crescimento dessas cidades poderá vir a comprometer ainda mais a qualidade da água do rio.

O mais grave, porém, continua a ser a forma de ocupação do solo na APA. A proliferação de parcelamentos irregulares na área da bacia de forma desordenada provoca sérios impactos ambientais, principalmente no que diz respeito à qualidade da água, dificultando aproveitamentos futuros para abastecimento.

Fauna e Flora aquáticas

Segundo estudo elaborado pela SEMA (1988), a fauna aquática presente no rio São Bartolomeu é principalmente representada por espécies de peixes. Pode-se citar peixes do gênero *Salminus* (dourados), *Brycon* (matrinchões), *Pimelodus* (mandis), *Leoporinus* (piaus), *Hoplias* (traíras), *Oligosarchus* (piabinhas), *Astyanax* (piabas) e *Curimata* (saguirus). Essas são espécies nativas que têm potencial para exploração racional pela pesca de subsistência ou esportiva.

Porém, segundo a população ribeirinha, os peixes que ainda podem ser vistos ao longo do rio são apenas as piabinhas, piabas e piaus, e, mesmo assim, com pouca frequência. Segundo os moradores da região, a pesca esportiva é praticamente nula devido à ausência de espécies mais atrativas aos pescadores. Ou seja, da época do estudo da SEMA (1988) até recentemente, verificou-se um processo de desaparecimento de certas espécies de peixes do rio São Bartolomeu, a se considerarem os testemunhos dos habitantes locais..

Na pesquisa feita sobre a possível causa do desaparecimento de certas espécies de peixes, não foi encontrado trabalho científico algum que tratasse do tema.

5.2 – APLICAÇÃO DO FLUXOGRAMA TEÓRICO DE AVALIAÇÃO

5.2.1 – Definição da vazão mínima garantida para a seção próxima ao posto fluviométrico DF-06

Definição da natureza do problema

Analisando-se os dados sobre a caracterização da bacia, verifica-se, para a área de estudo (Alto São Bartolomeu), que existe uma intensa atividade agrícola na cabeceira da bacia, além de diversas captações de água nos tributários dessa região.

Poderão existir futuramente conflitos devido ao crescimento de áreas agrícolas e ao crescimento das populações das cidades de Sobradinho e Planaltina, exigindo maiores volumes de água para abastecimento.

O rio São Bartolomeu é um rio Federal de pequeno porte. Apresenta um grau de degradabilidade moderado devido, principalmente, à ocupação desordenada do solo da região por lotes irregulares. É um rio com potencial para abastecimento, irrigação e mesmo recreação e lazer. Atualmente, segundo a população ribeirinha, o rio é pobre em diversidade de espécies de peixe. Apesar dessa área não pertencer à APA, ela é diretamente responsável pela qualidade ambiental do rio a jusante, devido ao lançamento de efluentes e à captação de água em um grande número de tributários.

Segundo técnicos da CAESB, atualmente, a qualidade ambiental na seção de estudo não apresenta problemas de qualidade de água.

Definição da base de dados

Para o ponto escolhido, há disponibilidade de dados de vazão do posto fluviométrico DF-06 da CAESB. Existem dados médios diários disponíveis e consistidos a partir de 1978 até o ano de 2001, perfazendo um total de 24 anos de dados. Quanto aos dados de qualidade de água, existem pontos de monitoramento a montante dos pontos de captação das estações de tratamento de água nos córregos Corguinho, Fumal, Brejinho, Paranoazinho, Quinze, no ribeirão Mestre D'Armas e no ribeirão Pipiripau. As coletas são feitas mensalmente pela CAESB.

Como já foi dito anteriormente, existem algumas espécies de peixes no rio São Bartolomeu. Porém não foi encontrada nenhuma informação específica sobre essas espécies. O rio São Bartolomeu é um rio perene com zonas de rápidos e corredeiras.

As captações de água para abastecimento das cidades de Sobradinho e Planaltina são consideradas de porte médio. Na tentativa de se obter uma estimativa da demanda de água para abastecimento, e para irrigação, usou-se os dados da tabela 5.2 e 5.3. O objetivo é analisar se o somatório dessas retiradas é significativa em relação às vazões mínimas do rio São Bartolomeu.

A tabela 5.2 corresponde ao balanço hídrico entre as vazões médias mensais captadas para abastecimento público e as vazões efluentes das estações de tratamento de esgoto, na área do Alto São Bartolomeu. Para tal, fez-se o levantamento das ETE's e ETA's localizadas nessa área. Verifica-se, pela tabela 5.2, que a diferença entre as vazões captadas e efluentes não é significativa se comparada à vazão crítica $Q_{7,10}$ na seção DF-06, por exemplo, que é igual a $2,76 \text{ m}^3/\text{s}$.

Contudo, na análise da estimativa das vazões captadas para a irrigação no Alto São Bartolomeu, na tabela 5.3, nota-se que essas vazões podem ser significativas especialmente nas épocas de estiagem.

Nos cursos d'água onde ocorrem essas captações, ainda não há problemas de conflito entre esses usos, porém há evidências de que com o crescimento dessas atividades, poderão ocorrer excessivas derivações de água dos tributários do rio São Bartolomeu, alterando consideravelmente as suas vazões naturais.

Tabela 5.2 – Balanço hídrico da área do Alto São Bartolomeu entre as vazões captadas para abastecimento e vazões efluentes das estações de tratamento de esgoto (CAESB).

		Vazões médias mensais											
ANO		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Q captada (l/s)	2000	344	316	326	321	327	319	326	329	313	339	335	311
Q efluente (l/s)		155	159	184	158	140	134	130	134	143	142	158	155
Diferença (m^3/s)		0,189	0,157	0,142	0,163	0,187	0,185	0,196	0,195	0,170	0,197	0,177	0,156
Q captada (l/s)	2001	319	313	297	301	308	298	311	328	322	337	307	304
Q efluente (l/s)		154	134	159	130	116	112	109	107	98	116	143	141
Diferença (m^3/s)		0,165	0,179	0,138	0,171	0,192	0,186	0,202	0,221	0,224	0,221	0,164	0,163
Q captada (l/s)	2002	186	189	205	208	189	174	186	173	188	197		
Q efluente (l/s)		144	130	132	122	117	113	110	108	108	112		
Diferença (m^3/s)		0,042	0,059	0,073	0,086	0,072	0,061	0,076	0,065	0,080	0,085		

Tabela 5.3 - Áreas irrigadas e demanda hídrica para a micro-bacia do Alto São Bartolomeu (Emater/DF *apud* Campana *et al.*, 1999).

Escritório local		Aspersão	Gotejamento	Sulcos	Inundação	Total
Sobradinho	Área (ha)	12,5	0,8	4,1	---	17,4
	Demanda (l/s)	12,5	0,13	5,17	---	17,8
Planaltina	Área (ha)	178,8	3,5	105,4	---	287,7
	Demanda (l/s)	178,8	0,56	132,8	---	312,16
Pipiripau	Área (ha)	184,4	8,6	29,75	---	222,75
	Demanda (l/s)	184,4	1,38	37,49	---	223,27
Taquara	Área (ha)	381,8	4,13	21,21	---	407,14
	Demanda (l/s)	381,8	0,66	26,72	---	409,18
Total	(l/s)	757,5	2,73	202,18		962,41

Definição da situação-tipo

Com base nas análises feitas acima e na aplicação do **fluxograma A** do FTA, chega-se à conclusão de que a situação-tipo correspondente à área de estudo é a situação-tipo 1.a ou 2.a, ou seja, bacia sujeita a conflitos de uso associados à vazão ou ao volume. Definida as situações-tipo, foi feita, então, a aplicação dos fluxogramas correspondentes as mesmas: os **fluxogramas 1 e 2**.

Aplicação do Fluxograma 1

Na utilização do fluxograma 1, confirmou-se que a série de dados fluviométricos é superior a 20 anos e que os conflitos potenciais não são críticos. Considerando, porém, que haverá um contínuo crescimento das demandas a ponto dos conflitos se caracterizarem como críticos a longo prazo, decidiu-se considerar ambos os cenários.

Para o caso de conflitos não-críticos, o FTA indicou os métodos de Montana e ABF. Para o caso de conflitos críticos, que podem resultar até em esgotamento das reservas hídricas, foi sugerido o uso dos métodos tradicionais utilizados no Brasil $Q_{7,10}$ e Q_{90} , além do método NGPRP. É importante salientar que os métodos indicados foram, de uma maneira geral, os hidrológicos pelo fato de se ter considerado que não existem ecossistemas de grande importância no trecho de rio estudado.

Para efetuar os cálculos exigidos pelos métodos, seria necessário, primeiramente, fazer a reconstituição das vazões naturais do rio São Bartolomeu. Porém, como não há a disponibilidade de dados de todas as captações e lançamentos realizados ao longo dos anos da série de dados fluviométricos, utilizou-se os dados de vazões observadas do posto fluviométrico DF-06, considerando que o nível de qualidade ambiental atual é satisfatório

mesmo com as retiradas de água da bacia. Na figura 5.3 podem ser visualizados os dados de vazão média diária do posto DF-06 e a vazão média anual calculada para a série.

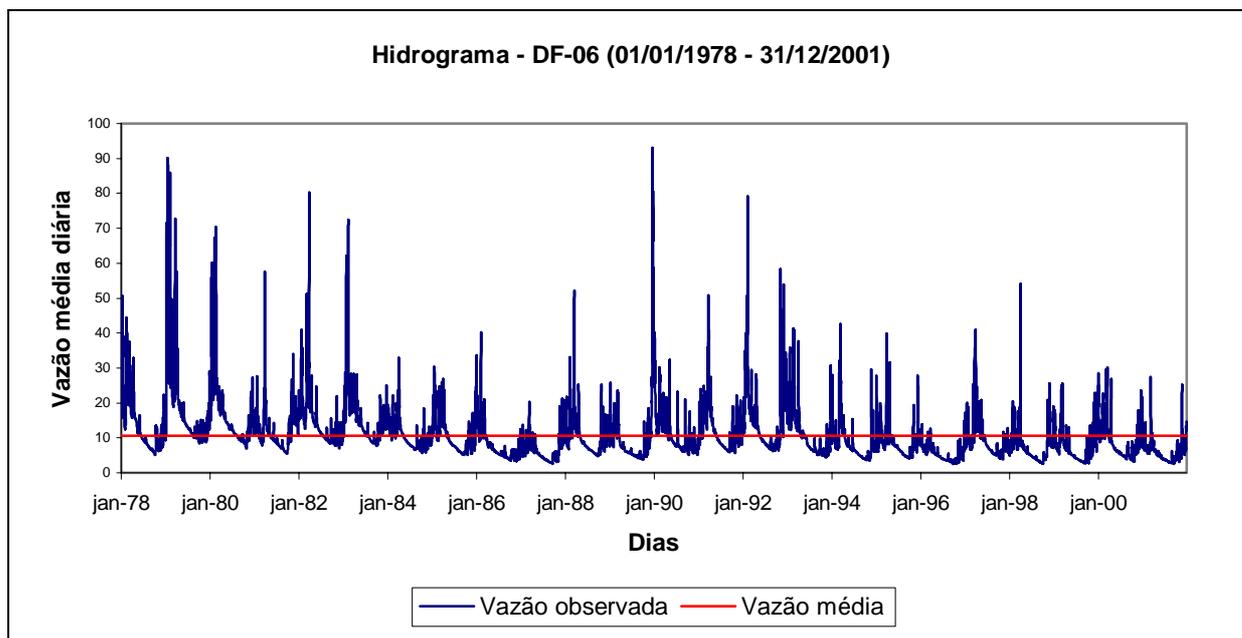


Figura 5.3 – Fluviograma da seção do posto fluviométrico DF-06 e a vazão média anual calculada.

Aplicação do método NGPRP

Na aplicação do método NGPRP, optou-se pela metodologia simplificada em que se excluem na análise dos dados, 15% dos meses mais secos e 15% dos meses mais chuvosos de cada ano, considerando-os períodos de ocorrência de eventos extremos, e a partir dos dados restantes, determina-se a vazão que é igualada ou excedida em 90% do tempo.

Pode ser dado como exemplo, a análise para o mês de janeiro. Para o período de 1978 a 2001, excluiu-se o mês de janeiro referente aos anos de 1987, 1996, 1998 e 2001 (anos para o quais o mês de janeiro foi mais seco) e aos anos de 1978, 1979, 1980 e 1982 (anos para o quais o mês de janeiro foi mais chuvoso). Com a série de dados diários do mês de janeiro para os anos restantes (16 anos), define-se a Q_{90} . Os resultados da aplicação do método para todos os meses do ano encontram-se na tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Resultados do método NGPRP para cada mês do ano.

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
V.M.G * (m ³ /s)	8,08	8,09	8,68	7,64	6,18	5,56	4,8	4,4	4,1	3,67	4,85	6,73
% $Q_{média}$ anual	76	76	82	72	58	52	45	42	39	35	46	63

* V.M.G – Vazão Mínima Garantida.

Aplicação do método de Montana

No método de Montana, optou-se por uma vazão de qualidade “boa” (tabela 3.3), adotando-se, para os períodos seco e chuvoso, respectivamente, 20% e 40% da vazão média anual. A vazão média anual encontrada para o posto em estudo no período de 1978 a 2001 é igual a 10,6 m³/s.

Analisando-se o fluviograma médio da figura 5.4, verifica-se que os períodos seco e chuvoso para a bacia do São Bartolomeu são respectivamente os meses de dezembro a abril e de maio a novembro. A partir da caracterização do regime anual, pôde-se formular a tabela 5.5 com os resultados do método de Montana para os meses do ano.

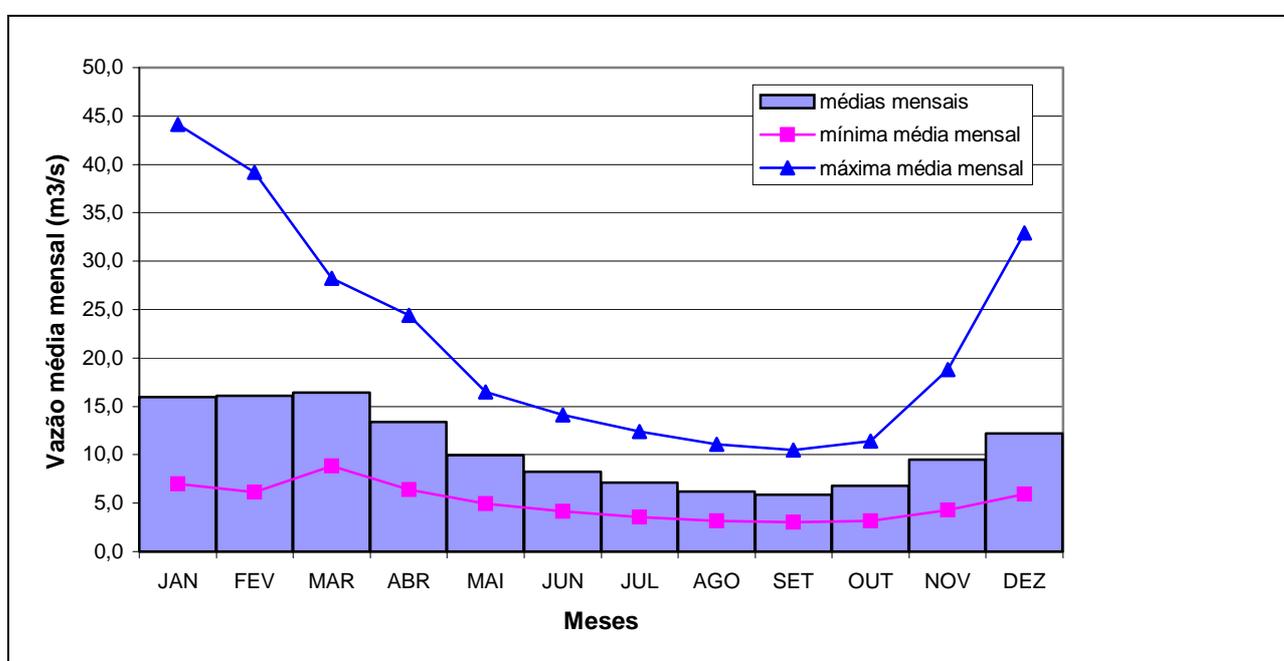


Figura 5.4 – Fluviograma anual médio do posto DF-06 para o período de 1978 a 2001.

Tabela 5.5 – Resultados do método de Montana para cada mês do ano.

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
V.M.G * (m ³ /s)	4,24	4,24	4,24	4,24	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	4,24
% Q _{média anual}	40	40	40	40	20	20	20	20	20	20	20	40

* V.M.G – Vazão Mínima Garantida.

Aplicação do método ABF

A vazão mínima garantida recomendada pelo método ABF se baseia na mediana das vazões médias mensais do mês mais seco ou na vazão específica da tabela 3.4. Conforme já citado anteriormente, o critério da vazão específica não pode ser considerado para aplicações que não sejam na região da Nova Inglaterra, Estados Unidos. Calculou-se, então, a vazão mínima garantida a partir da mediana. Apesar da base de dados requerida para a aplicação do método ser de 25 anos de dados de vazão, utilizou-se o método com a série de dados disponível de 24 anos.

Para a bacia do rio São Bartolomeu, o mês mais seco é o mês de setembro (figura 5.4). Calculou-se, então, a mediana das vazões médias mensais do mês de setembro para os anos de 1978 a 2001. A vazão mínima garantida recomendada é igual a **5,25 m³/s**.

Aplicação da Q₉₀ e da Q_{7,10}

A vazão que é igualada ou excedida em 90% do tempo (Q₉₀) e a vazão mínima média de sete dias consecutivos com um tempo de retorno de 10 anos (Q_{7,10}) resultaram, respectivamente, para a série disponível de vazões médias diárias, em **4,53 m³/s** e **2,76 m³/s**.

Aplicação Fluxograma 2

Conforme o resultado indicado pelo fluxograma 2, foi aplicado o método do perímetro molhado.

Para a aplicação do método do perímetro molhado, foi escolhida uma seção de corredeira que foi adotada como crítica num trecho entre o posto fluviométrico DF-06 e a confluência do rio São Bartolomeu com o rio Paranoá. Adotou-se uma única seção de corredeira no trecho estudado por dificuldades de realização do levantamento. Em função das limitações de equipe de apoio e infraestrutura, tornou-se difícil examinar todas as seções necessárias à aplicação desse método ao longo do trecho. Esta seção foi considerada a mais crítica no trecho afetado para a aplicação do método do perímetro molhado.

Levou-se também em consideração, na definição da seção avaliada, a acessibilidade ao rio, já que o rio São Bartolomeu tem uma extensa e densa mata ciliar, dificultando a aproximação às suas margens.

A vazão mínima garantida para esse método foi determinada por meio da identificação do ponto crítico da curva que relaciona o perímetro molhado da seção estudada com a vazão. Para tal, foram feitos trabalhos de campo em que se fez a coleta de dados na seção selecionada como perfil transversal do leito do rio, velocidade, largura, profundidade e nível da água.

Com os resultados desse levantamento, pôde-se elaborar o gráfico do perímetro molhado em função da vazão (figura 5.5). No total foram feitos seis levantamentos dos parâmetros hidráulicos na seção, com vazões diferenciadas. Os outros pontos mostrados na curva foram obtidos com a ajuda dos modelos de simulação da superfície da água. Os modelos utilizados foram o STGQ, o MANSQ e o WSP. Esses modelos são utilizados no *PHABSIM* na parte de simulação hidráulica do método (ver seção 3.4.2). Dentre esses modelos utilizou-se o MANSQ por ter a melhor resposta na calibração. Os processos de simulação de cada um deles podem ser visualizados no apêndice 1.

Verifica-se no gráfico da figura 5.5, a existência de um ponto crítico bem definido. Para esse caso não houve dificuldade em selecionar o ponto crítico. O ponto crítico definido no gráfico da figura 5.5 é aquele a partir do qual a inclinação do traçado do gráfico fosse o maior. Supõe-se que esse ponto representa a vazão a partir da qual uma redução implicaria numa perda acelerada do meio físico aquático representado pelo perímetro molhado. O ponto crítico escolhido, conseqüentemente, foi aquele representado pela vazão igual a **1,20 m³/s** e pelo perímetro molhado correspondente a 15,17 metros. A Profundidade média (área molhada/ largura de superfície do escoamento) relativa à vazão de 1,20 m³/s é igual a 20 cm. Pode-se ver na figura 5.6, o nível de água na seção transversal relativo à vazão mínima garantida recomendada.

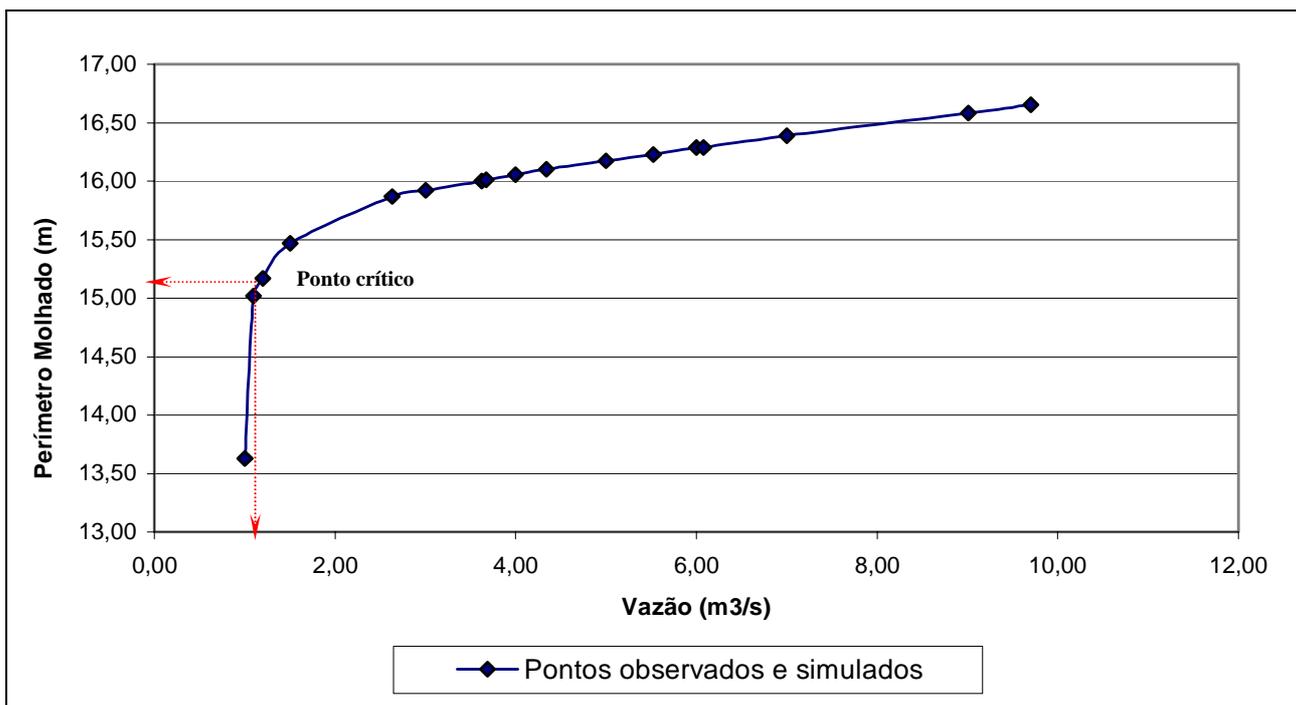


Figura 5.5 – Gráfico do perímetro molhado em função da vazão da seção transversal selecionada para o primeiro trecho de estudo.

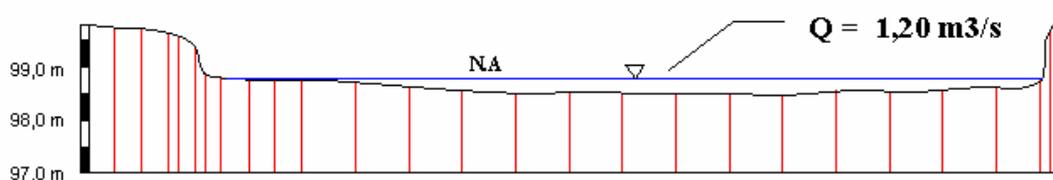


Figura 5.6 – Perfil da seção transversal localizada em uma zona de corredeira considerada crítica (em escala).

Comparação dos resultados dos métodos aplicados

Os resultados da aplicação das metodologias indicadas pelo Fluxograma Teórico de Avaliação são apresentados na tabela 5.6 e na figura 5.7. Pode-se verificar, na tabela 5.6 e na figura 5.7, que o método ABF recomenda um valor de vazão bastante conservador em relação aos demais métodos para o período de estiagem, o que implicaria aos usuários de recursos hídricos da bacia, permissão para retiradas de água demasiadamente restritivas nos meses mais secos. Os valores recomendados pelo método NGPRP se mostraram também bastante conservativos para as épocas de chuva. No entanto, para os meses mais secos, os valores determinados variaram próximo ao valor da Q_{90} .

A vazão mínima garantida definida pelo método do perímetro molhado proporcionou o menor valor entre os métodos aplicados. Já o método de Montana resultou em valores intermediários entre os métodos ABF e do perímetro molhado para os dois períodos. A recomendação para o período seco resultou em um valor próximo ao da $Q_{7,10}$, enquanto que para o período chuvoso o resultado foi próximo da Q_{90} . Porém, se compararmos os valores resultantes dos métodos utilizados com 20% da Q_{90} ou da $Q_{7,10}$, percentagem normalmente empregada na legislação referentes aos critérios de outorga, com valores iguais a $0,91 \text{ m}^3/\text{s}$ e $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente, verificamos que esses valores são significativamente baixos. Enfim, comparando-se os resultados globais, conclui-se que os valores determinados pelos critérios da legislação são sensivelmente inferiores aos métodos que levam em consideração, mesmo que indiretamente, fatores ambientais na determinação da vazão mínima garantida, podendo ocasionar, como consequência, profundos impactos sobre o ecossistema aquático.

Não se pode definir qual o método que proporciona o melhor valor para representar a vazão mínima garantida. Porém, entre os métodos aplicados, pode-se fazer a opção pelo método NGPRP por considerar em sua análise a variação do regime de vazões do rio, mantendo uma vazão mais alta para as épocas de chuva e uma vazão menor para as épocas secas. Ou então, pode-se escolher o método do perímetro molhado considerando que uma profundidade média de 20 cm é suficiente para a manutenção do ecossistema aquático. Na verdade, a decisão caberá ao órgão gestor que deverá analisar os resultados dos métodos definidos pelo FTA. Na tentativa de se definir qual o melhor método para a determinação da quantidade de água a permanecer no rio, sugere-se, primeiramente avaliar qual o principal fator limitante que impediria de se retirar essa água e qual, dentre os métodos, considera realmente esses fatores.

É importante salientar que se fosse feita a consideração de que as espécies de peixe presentes no rio São Bartolomeu são importantes, seria interessante fazer a aplicação do *IFIM*. Contudo, o *IFIM* requer dados específicos do comportamento dos organismos aquáticos em relação ao habitat disponível, denominados por índices de preferência de habitat –IPH (Stalnaker, 1995; Pelissari *et al.*, 1999). Como no Brasil esse tipo de informação é escasso, a obtenção desses dados exigiria um longo período de estudo sobre as fases do ciclo de vida das espécies e de seu habitat, além de requerer a avaliação de especialistas em biologia aquática. Além do mais, o estudo dos habitats selecionados pelos peixes em rios já caracterizados pela alteração do regime natural de vazões pode não

representar adequadamente o tipo de habitat que as espécies de peixes selecionariam potencialmente em rios inexplorados. Essas são limitações importantes que devem ser levadas em consideração na aplicação do *IFIM*.

Tabela 5.6 – Valores de vazão mínima garantida obtidos pelos diversos métodos indicados pelo fluxograma 1.

MÉTODOS APLICADOS	Vazão Mínima Garantida (m ³ /s)
MONTANA (Período seco)	2,12
MONTANA (Período chuvoso)	4,24
ABF	5,45
Perímetro Molhado	1,20
Q ₉₀	4,53
Q _{7,10}	2,76

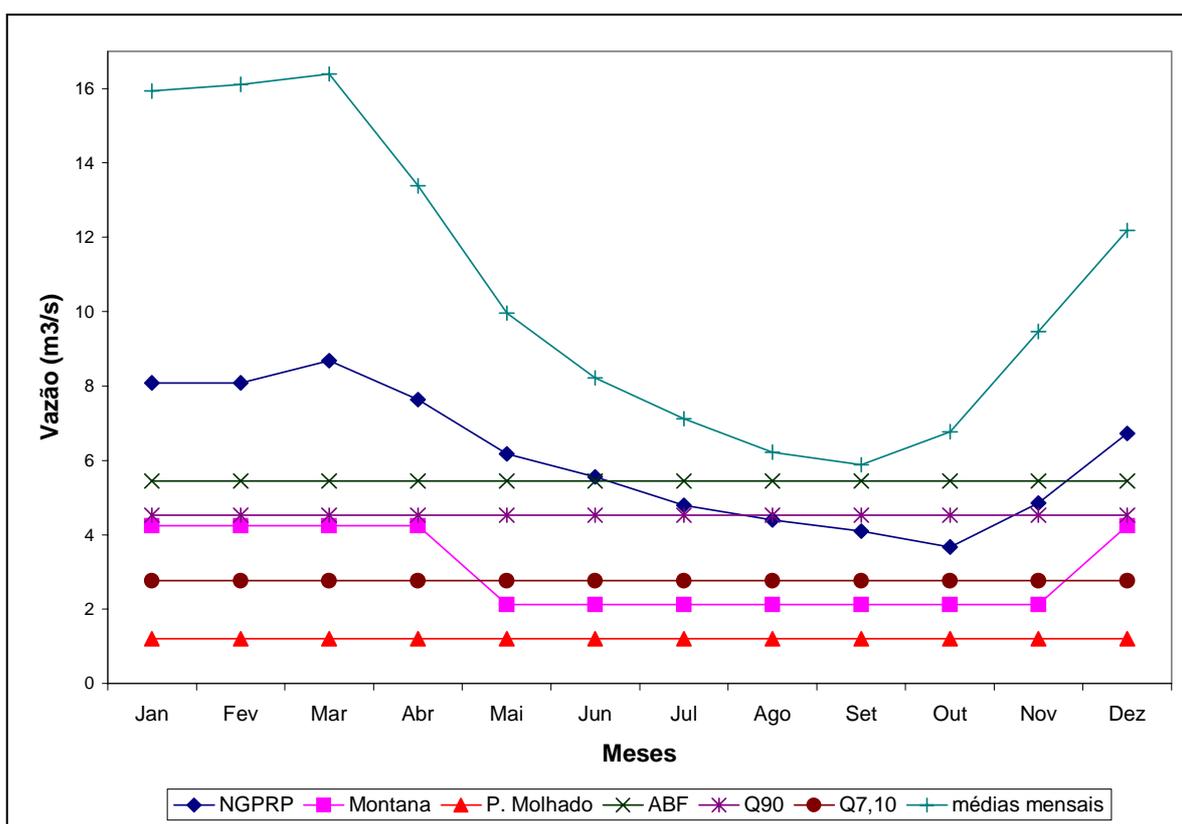


Figura 5.7 – Comparação entre o resultado dos métodos indicados pelo FTA e vazões mínimas mensais para o primeiro trecho de estudo.

5.2.2 – Definição da vazão mínima garantida para a seção próxima ao posto fluviométrico DF-18

Definição da natureza do problema

Para o segundo trecho de estudo, verifica-se os mesmos problemas do primeiro trecho analisado. Além das retiradas já citadas na região do Alto São Bartolomeu, outras derivações responsáveis pela alteração na vazão do rio são as áreas agrícolas da região do Médio São Bartolomeu. Na tabela 5.7 pode-se verificar, por meio de uma estimativa, que a demanda hídrica para irrigação na bacia pode chegar a 2,38 m³/s. Uma vazão significativa se compararmos com a vazão Q₉₀ calculada para o posto DF-18 igual a 11,70 m³/s. No entanto, a maior responsável pela alteração do regime de vazão natural do rio na região do Médio e Baixo São Bartolomeu é a barragem do Paranoá. Sua vazão defluente é lançada no rio Paranoá que é tributário do rio São Bartolomeu.

A Usina do Paranoá é operada com nível mantido constante devido à importância paisagística e de recreação do lago. Os valores médios anuais das vazões afluentes naturais, defluentes turbinadas e defluentes vertidas da usina para jusante variam em média em torno de, respectivamente, 19,29 m³/s, 15,93m³/s e 3,44 m³/s (Campana *et al.*, 1999). Comparando-se a vazão média total liberada de 19,29 m³/s com a vazão média no posto DF-18 que é igual a 35,73 m³/s, verifica-se que a barragem exerce grande influência na vazão observada do posto em questão. De fato, foi observado, por meio de visitas ao campo, que a vazão turbinada pela usina para geração de energia nos horários de pico provoca uma grande flutuação diária na vazão. Para os usos de jusante, esse fato poderia ser a principal limitação para a retirada de água.

Para o trecho estudado, os conflitos que poderão vir a ocorrer são prioritariamente agrícolas. Não há problemas de qualidade de água, visto que o rio Paranoá apresenta boa qualidade e os esgotos lançados na bacia são tratados e não são lançados diretamente no rio São Bartolomeu. A diversidade de espécies de peixes nesse trecho também é considerada pobre. Pode-se dizer então que os conflitos são potencialmente associados à vazão.

Tabela 5.7 - Áreas irrigadas e demanda hídrica para a bacia do rio São Bartolomeu (Campana *et al.*, 1999).

Escritório local		Aspersão	Gotejamento	Sulcos	Inundação	Total
Bacia Lago Paranoá						
Vargem Bonita	Área (ha)	318,02	2,62	---	---	320,64
	Demanda (l/s)	318,02	0,42	---	---	318,43
Taguatinga	Área (ha)	197,5	0,3	---	---	197,80
	Demanda (l/s)	197,5	0,05	---	---	197,55
Bacia São Bartolomeu						
Paranoá	Área (ha)	12	1	3	---	16
	Demanda (l/s)	12	0,16	3,78	---	15,94
Nova Betânia	Área (ha)	249,5	---	5	---	254,5
	Demanda (l/s)	249,5	---	6,3	---	255,8
Sobradinho	Área (ha)	12,5	0,8	4,1	---	17,4
	Demanda (l/s)	12,5	0,13	5,17	---	17,8
Planaltina	Área (ha)	178,8	3,5	105,4	---	287,7
	Demanda (l/s)	178,8	0,56	132,8	---	312,16
Pipiripau	Área (ha)	184,4	8,6	29,75	---	222,75
	Demanda (l/s)	184,4	1,38	37,49	---	223,27
Taquara	Área (ha)	381,8	4,13	21,21	---	407,14
	Demanda (l/s)	381,8	0,66	26,72	---	409,18
PAD/DF	Área (ha)	621,33	0,08	3,88	---	625,29
	Demanda (l/s)	621,33	0,01	4,88	---	626,22
TOTAL	(l/s)	2155,85	3,37	217,14		2376,35

Definição da base de dados

Para o posto fluviométrico DF-18 da CAESB, existem dados médios diários disponíveis e a partir de 1970 até o ano de 2001, perfazendo um total de 32 anos de dados. Entretanto os anos de 1970, 1976 e 1977 apresentam falhas em alguns meses do ano. Definiu, então, para o estudo, a série de dados de vazão a partir do ano de 1978 até o ano 2001, totalizando numa série de 24 anos.

Apesar das vazões observadas serem diretamente influenciadas pela vazão diária liberada pela barragem do Paranoá para a geração de energia, considerou-se a vazão média diária do posto DF-18 como representativa. Isso porque como a barragem do Paranoá pode ser considerada uma usina a fio d'água, foi admitido que o volume diário liberado pela barragem equivale aproximadamente ao volume de contribuição diária dos tributários do lago, considerando que a cota do lago não varia muito pelo fato do lago ser urbano.

Para verificar se os dados do posto fluviométrico DF-18 podem ser utilizados diretamente, o método da dupla massa foi empregado para as vazões médias diárias do posto em estudo com o posto DF-06 que foi considerado confiável.

A figura 5.8 indica que os valores observados de vazão média diária do posto DF-18 são proporcionais aos observados na base de comparação. Essa proporcionalidade sugere que existe uma continuidade entre a vazão do posto de montante (DF-06) e o posto de jusante (DF-18).

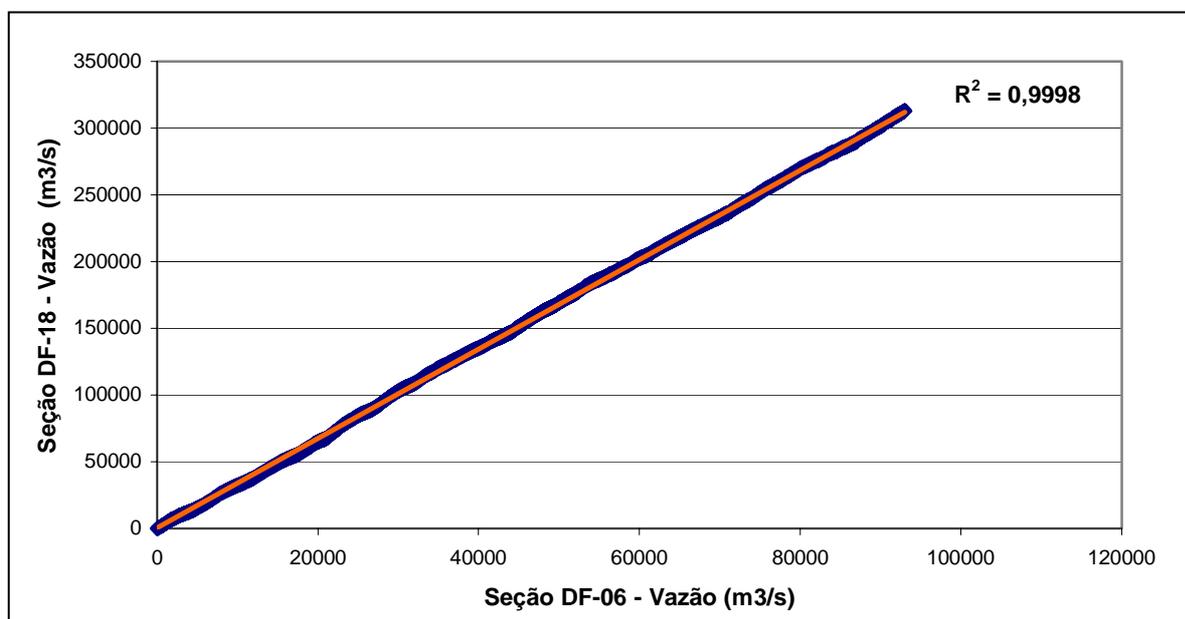


Figura 5.8 – Análise de consistência dos dados de vazão média diária do posto fluviométrico DF-18 a partir do método de dupla massa.

Definição da situação-tipo

As análises feitas acima e a aplicação do **fluxograma A**, permitiu a determinação da situação-tipo correspondente à área de estudo. A situação-tipo **2.a** foi indicada, pois existe a possibilidade de ocorrer conflitos associados à vazão, não existem ecossistemas de grande importância no trecho de rio estudado e a base de dados existente para a análise do rio é unicamente hidrológica. Então, o **fluxograma 2** será aplicado ao trecho em estudo.

Aplicação Fluxograma 2

Conforme o resultado indicado pelo fluxograma 2, foi aplicado o método do perímetro molhado. Na aplicação do método do perímetro molhado, foram feitas as mesmas considerações da aplicação anterior em relação a escolha da seção de corredeira adotada como crítica. O trecho pesquisado se localiza entre os córregos Açude e Taquari Amarelo, nas proximidades do posto fluviométrico DF-18.

A identificação do ponto crítico da curva que relaciona o perímetro molhado da seção estudada com a vazão para a seção escolhida nesse trecho foi extremamente difícil. Pode-se verificar que no caso dessa seção, a partir da figura 5.9 não há uma definição clara do ponto crítico. Para a curva da figura 5.9, identificou-se dois pontos que podem ser considerados como críticos. O ponto crítico 1 foi selecionado por ser um ponto de inflexão e por considerar que uma vazão abaixo desse ponto provocaria uma exposição excessiva do leito do rio e um nível de água significativamente baixo. Esse ponto corresponde a uma vazão de **3,80 m³/s**. O segundo ponto selecionado (ponto crítico 2), é o local onde a curva apresenta uma descontinuidade significativa. Um aumento de vazão a partir desse ponto traduz-se num aumento pouco significativo do perímetro molhado em relação à parte inferior da curva. O ponto crítico 2 corresponde a uma vazão de **8,05 m³/s**. No entanto, como a definição da vazão mínima garantida para o método do perímetro molhado é questionável, devido ao fator de subjetividade, deve-se para o caso em questão, avaliar os resultados recomendados com precaução. Nas figuras 5.10 e 5.11, pode-se ver o perfil da seção selecionada com os níveis d'água referentes, respectivamente, às vazões de 3,80 m³/s e 8,05 m³/s.

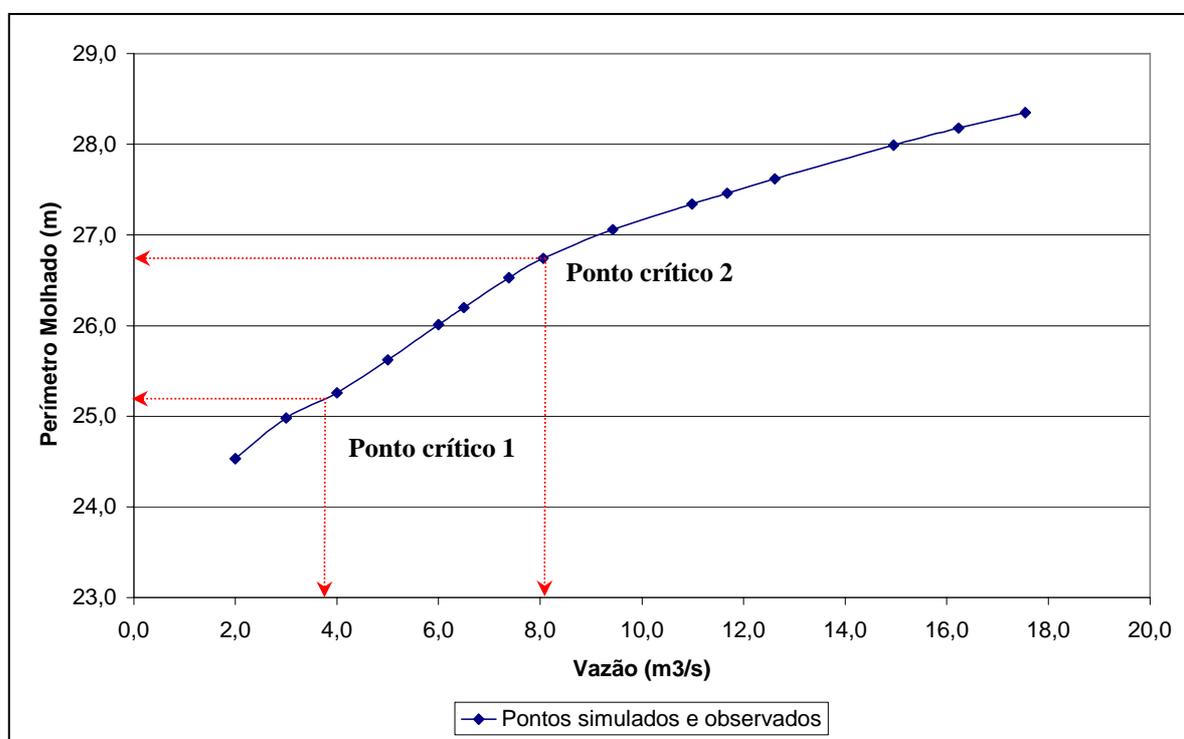


Figura 5.9- Gráfico do perímetro molhado em função da vazão para a seção transversal selecionada no segundo trecho de estudo.

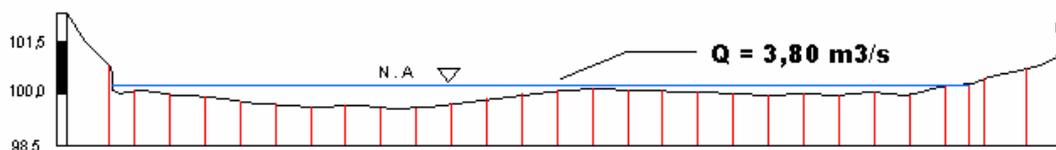


Figura 5.10 - Perfil transversal da seção selecionada para a aplicação do método do perímetro molhado com nível de água correspondente ao ponto crítico 1.

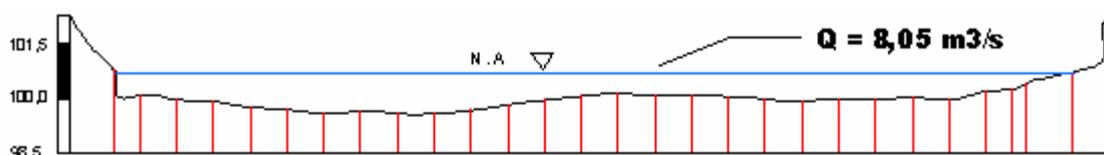


Figura 5.11 – Perfil transversal da seção selecionada para a aplicação do método do perímetro molhado com nível de água correspondente ao ponto crítico 2.

Considerando-se a hipótese de que os resultados obtidos pelo método não satisfazem a expectativa do usuário do FTA, continua-se a análise ao fluxograma 2. Pode-se verificar nesse fluxograma que no caso em que o método do perímetro molhado não atende aos objetivos (pode-se considerar nesse caso que o resultado não é adequado pela ausência no gráfico de um ponto bem definido) sugere-se a aplicação do fluxograma 1.

Aplicação do Fluxograma 1

Como a série de dados de vazão disponível é igual a 24 anos (1978 a 2001), e não existem conflitos críticos na bacia, o FTA indicou os métodos de Montana, NGPRP e ABF. Considerando, porém, que poderá haver conflitos críticos a longo prazo, decidiu-se considerar também esse cenário. Logo, foram calculados também a $Q_{7,10}$ e a Q_{90} .

Na aplicação dos métodos indicados, foram feitas as mesmas considerações relativas ao primeiro trecho estudado. Os resultados podem ser verificados na tabela 5.8 para o método NGPRP e na tabela 5.9 para os demais métodos.

Tabela 5.8 – Resultados do método NGPRP para cada mês do ano.

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
V.M.G * (m ³ /s)	32,16	31,08	30,48	24,82	15,64	13,72	10,86	8,77	8,46	11,00	14,88	21,82
% $Q_{\text{média anual}}$	90	87	85	69	44	38	30	25	24	31	42	61

* V.M.G – Vazão Mínima Garantida.

Tabela 5.9 – Valores de vazão mínima garantida obtidos pelos diversos métodos indicados pelo fluxograma 1.

MÉTODOS APLICADOS	Vazão Mínima Garantida (m ³ /s)
MONTANA (Período seco)	7,15
MONTANA (Período chuvoso)	14,29
ABF	16,65
Q ₉₀	11,70
Q _{7,10}	6,76
Vazão média anual	35,73

Comparação dos resultados dos métodos aplicados

Verifica-se pelos resultados da aplicação das metodologias indicadas pelo Fluxograma Teórico de Avaliação que o método ABF, novamente, recomenda um valor de vazão bastante conservador em relação aos demais métodos, chegando a igualar o valor da vazão mínima garantida recomendada ao valor da vazão média do mês de agosto (figura 5.12).

A vazão mínima garantida definida pelo método do perímetro molhado para o ponto crítico 1 – p.c.1 (figura 5.12) resultou no valor mais baixo em relação aos demais métodos. Já para vazão mínima garantida referente ao ponto crítico 2 (p.c.2), o valor foi um pouco superior ao resultado do método de Montana para o período seco e próximo dos resultados do método NGPRG para os meses mais secos do ano (agosto e setembro). A vazão mínima garantida para o ponto crítico 2, ao contrário da seção anterior, apresentou um valor relativamente próximo ao dos outros métodos aplicados. O método de Montana para o período seco resultou em um valor maior ao da Q_{7,10}. Para a época de chuva o valor de vazão mínima garantida para o método foi próximo ao do método ABF.

A vazão mínima garantida recomendada a partir de 20% da Q₉₀ ou da Q_{7,10}, resultam, respectivamente, em valores iguais a 2,34 m³/s e 1,35 m³/s. Nota-se que esses valores são muito baixos se comparados com os métodos de Montana, do perímetro molhado e ABF.

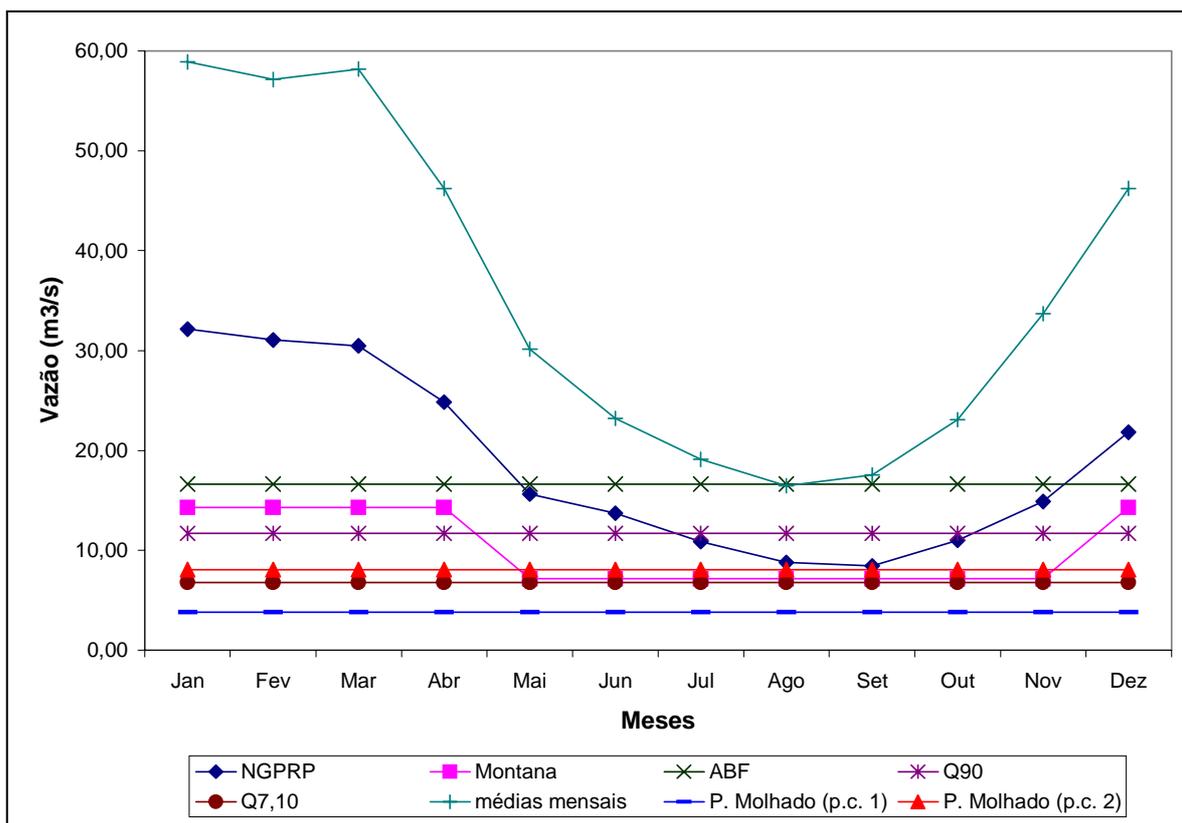


Figura 5.12 – Comparação entre o resultado dos métodos indicados pelo FTA e vazões médias mensais para o segundo trecho de estudo.

5.2.3 – Discussão geral dos resultados

Este item apresenta uma discussão geral dos métodos a partir dos resultados obtidos nas suas aplicações nos dois trechos de estudo na bacia do rio São Bartolomeu, assim como, uma avaliação do desempenho do FTA.

Pode-se concluir que a implementação do método ABF em bacias com usos conflitantes teria muita resistência, por ser um método muito conservativo em termos de vazão mínima garantida e, conseqüentemente, muito restritivo em termos de vazão outorgável.

O método do perímetro molhado, geralmente, fornece uma recomendação de vazão mínima garantida relativamente baixa em relação ao demais métodos para seções transversais com geometria regular, em que o ponto crítico da curva do perímetro molhado em função da vazão ocorre para profundidades muito baixas, suficientes apenas para manter o fundo do leito do rio com água. Verifica-se que o resultado dependerá muito das seções transversais selecionadas para estudo. A primeira seção avaliada, por ter uma geometria relativamente regular, apresentou um resultado baixo em relação aos outros métodos aplicados e um ponto crítico bem definido. A segunda seção avaliada, por ser

irregular, apresentou uma curva onde foi difícil determinar a ponto crítico adequado. Determinou-se para essa seção dois pontos críticos passíveis de serem adotados como recomendação de vazão mínima garantida.

É interessante destacar que os valores recomendados de vazão mínima garantida pelo método do perímetro molhado iguais a 1,20 m³/s e 3,80 m³/s para, respectivamente a primeira e a segunda seções transversais analisadas resultaram em valores próximos à 10% da vazão média anual. Comparando-se com a classificação do método de Montana, esses valores equivalem a uma vazão de qualidade “pobre” que mantém a qualidade ambiental do rio satisfatória apenas a curto prazo. A contradição entre os resultados dos métodos aplicados pode dificultar a seleção da vazão mínima garantida a ser considerada.

O método NGPRP forneceu valores altos em relação aos métodos de Montana e do perímetro molhado. Já o método de Montana apresentou para as duas seções, valores próximos à Q₉₀ para o período chuvoso e valores próximos à Q_{7,10} para o período seco. De uma forma geral, pode-se dizer que o método recomendou valores de vazões mínimas garantidas intermediários entre os métodos mais conservativos e os mais restritivos.

Quanto ao FTA, o seu desempenho em relação à sua aplicação na bacia do rio São Bartolomeu foi a princípio regular. O FTA se limita a apontar ao usuário os métodos de determinação da vazão mínima garantida mais indicados aos tipos de problemas que ocorrem em uma bacia em relação aos conflitos de uso da água. Contudo, os métodos de determinação da vazão mínima garantida variam significativamente em termos de valor recomendado, podendo dificultar, ao usuário, a escolha do mais adequado entre aqueles indicados. O suporte atende em parte às análises necessárias para a seleção dos métodos de determinação de vazão mínima garantida. Os métodos reúnem muitas informações em relação às considerações e limitações que devem ser consideradas na avaliação. Como o FTA é constituído basicamente por diagramas, não há como introduzir todos os fatores necessários à análise de cada método. A escolha dos métodos definidos pelo FTA deve ser, então, tomado como uma seleção preliminar, ou um ponto de partida na análise dos métodos de determinação de vazão mínima garantida.

CONCLUSÕES

A questão da vazão mínima garantida, ou a vazão que deve ser mantida no leito do rio para assegurar a conservação e a manutenção dos ecossistemas aquáticos naturais, surgiu da preocupação com os impactos ambientais provocados pelas alterações de vazão do regime natural dos cursos d' água, causadas pela excessiva derivação de água para usos humanos e pela regularização da vazão por aproveitamentos hidráulicos.

Na tentativa de se definir a vazão mínima garantida, foram criados vários métodos com princípios e metodologias diversificadas. Bezerra (2001) elaborou um suporte metodológico para apoio às tomadas de decisão sobre a questão da vazão mínima garantida denominado de Fluxograma Teórico de Avaliação (FTA), em que foram considerados os métodos mais utilizados em alguns países. Esse suporte é baseado em diagramas e tem o objetivo de indicar para o usuário do diagrama um ou vários métodos de determinação da vazão mínima garantida que se estabelecerem como mais adequados a partir da avaliação da natureza de problemas existentes em uma bacia e da base de dados disponíveis. O FTA considera que, além de identificar métodos que definem uma quantidade de água a permanecer no rio em função dos ecossistemas aquáticos, existe, também, a necessidade de se avaliar a qualidade da água de uma vazão mínima garantida, quando a natureza dos problemas da bacia assim o exigir.

Neste trabalho, foi feita uma investigação sobre os métodos para determinação da vazão mínima garantida, tendo-se pesquisado a metodologia de aplicação, os princípios, os tipos de dados requeridos, as limitações e as vantagens e desvantagens na aplicação de cada um deles. Essa investigação foi elaborada, partindo do princípio de que era necessário conhecer todos os fatores associados a cada método para, em seguida, fazer uma análise e teste do FTA, propondo nova estrutura para o Fluxograma Teórico de Avaliação.

Pode-se definir, basicamente, três grupos de métodos para determinação da vazão mínima garantida: métodos hidrológicos, métodos hidráulicos e métodos ecológicos.

Os métodos hidrológicos caracterizam-se por requerer apenas dados históricos de vazão, recorrendo-se a dados já existentes e, raramente, a trabalhos de campo. De uma forma geral, são métodos de fácil aplicação, mas, em contrapartida, são métodos que produzem recomendações bastante questionáveis por não considerarem, ou considerarem de forma implícita, fatores biológicos relacionados aos ecossistemas aquáticos. São, geralmente,

recomendados para níveis de análise preliminares, permitindo uma rápida avaliação de potenciais utilizações conflituais da água (Loar e Sale, 1981).

Os métodos hidráulicos têm como característica a utilização da relação entre características hidráulicas de seções transversais e a vazão para a determinação da vazão mínima garantida. Esses métodos consideram, genericamente, que a preservação de uma porção de uma ou de várias características hidráulicas de seções estrategicamente selecionadas do curso d'água afetado está relacionada diretamente com a disponibilidade de habitat de espécies aquáticas presentes no rio. Esses métodos se destacam por considerarem as condições geomorfológicas do curso d'água na análise, garantindo a presença de água ao longo do trecho estudado. Contudo, as recomendações não têm como base o conhecimento das características específicas de habitat requeridas pelas espécies na maior parte dos casos.

Os métodos ecológicos permitem analisar diretamente a disponibilidade de habitat para espécies de peixes selecionadas para diferentes magnitudes de vazão. Esse nível de análise é o que permite identificar, de forma mais completa, a vazão mínima garantida, visando à proteção do habitat das comunidades aquáticas (Alves, 1993). O *Instream Flow Incremental Methodology - IFIM* é considerado, dentro dessa categoria, como o método que se apresenta como o mais válido, por ser considerado uma síntese das metodologias dessa categoria (Stalnaker, 1995). Entretanto, esse método requer o conhecimento de um grande número de informações como os índices de preferência de habitat, que fornecem informações sobre os habitats selecionados por espécies selecionadas, e a caracterização hidráulica dos trechos representativos e críticos selecionados.

Na análise dos métodos, verificou-se que todos eles têm limitações e que nenhum deles apresenta, de fato, a comprovação científica sobre a sua relação com a densidade ou população de espécies aquáticas. O método que aparentemente tem tido sucesso na relação com a produção de peixes é o *IFIM*. Porém, o mesmo ainda é alvo de muitas críticas sobre essa relação. Os métodos hidráulicos são caracterizados por muita subjetividade em sua aplicação e os métodos hidrológicos são considerados como arbitrários em termos ecológicos.

Apesar desse assunto estar sendo debatido há décadas no mundo, ainda não existe um método para determinação da vazão mínima garantida que seja considerado satisfatório globalmente em todas ou, pelo menos, na maior parte das aplicações práticas. No entanto, é

senso comum que há a necessidade de se manter uma vazão mínima presente nos cursos d'água após derivações e aproveitamentos hidráulicos, com o objetivo de assegurar a conservação e a manutenção dos ecossistemas aquáticos naturais. Trata-se de uma questão que não pode ser desconsiderada na gestão dos recursos hídricos.

Propõe-se, conseqüentemente, que a seleção dos métodos para determinação da vazão mínima garantida para os cursos d'água brasileiros deva ser sustentada por monitoramentos contínuos de comunidades aquáticas, verificando-se como a dinâmica dessas populações é afetada pelas recomendações de vazões oriundas dos diversos métodos existentes.

O FTA se apresenta como uma ferramenta bastante útil na avaliação da vazão mínima garantida, fornecendo ao usuário uma metodologia de análise sobre o problema da alteração do regime natural de vazões de um rio, abordando questões essenciais na gestão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, como conflitos de uso da água, instrumentos para a avaliação da qualidade da água, além de apresentar métodos de determinação da vazão mínima garantida que se destinam a reduzir os impactos sobre os ecossistemas.

Entretanto, o suporte metodológico apresenta a natureza de problemas relacionados ao conflito de uso da água de forma sintética, apresentando quatro tipos de situação de conflito: conflitos associados ao volume de água, à vazão, à qualidade de água e à conservação e manutenção dos ecossistemas aquáticos. As simplificações atribuídas a cada caso de conflito pode não representar adequadamente os casos de conflitos reais que ocorrem ou poderão ocorrer nos rios do Brasil. A mesma consideração pode ser feita na avaliação da base de dados para a aplicação dos métodos. A disponibilidade de dados hidrológicos, de qualidade de água e ecológicos pode não ser suficiente para uma análise adequada dos conflitos que podem ocorrer em uma bacia.

A aplicação do FTA na bacia do rio São Bartolomeu em dois trechos do curso d'água apontou que ela atende em parte às análises necessárias para a indicação dos métodos de determinação de vazão mínima garantida, já que esses métodos reúnem muitas informações assim como algumas restrições que devem ser consideradas na avaliação. A escolha do método definido pelo FTA deve ser, então, tomado como uma seleção preliminar, ou um ponto de partida na análise dos métodos de determinação de vazão mínima garantida.

Para uma avaliação mais exigente sobre o método mais adequado para a determinação da quantidade de água a permanecer no rio sugere-se, primeiramente, avaliar qual o principal fator limitante que impediria de se retirar uma certa quantidade de água do corpo hídrico como, por exemplo, a alteração do regime de vazões, a disponibilidade de habitat ou a qualidade da água. A depender do fator limitante considerado mais importante, pode-se definir o método mais adequado a ser utilizado a partir dos princípios de cada um deles.

Propõe-se, igualmente, de uma forma geral, que mais pesquisas devem ser feitas no sentido de aumentar a confiabilidade e efetividade dos métodos. Principalmente, aqueles que foram desenvolvidos para uma região específica, cujas características podem ser muito diferentes daquelas em que o método pode ser aplicado.

Com relação aos métodos que utilizam percentagens da $Q_{7,10}$ e Q_{90} como recomendação de vazão mínima garantida para a manutenção dos organismos aquáticos, alguns pontos são questionáveis: os valores das vazões determinadas são muito baixas, a recomendação se baseia num único valor de vazão, não considerando a dinâmica natural e as percentagens são definidas arbitrariamente.

Mas se esses critérios, comumente utilizados no país, devem ser substituídos, é necessário definir quais os métodos que teriam potencial aplicação nas diversas regiões brasileiras. Entre os métodos, o *IFIM* seria talvez o melhor por ser o mais abrangente. A adoção de métodos hidrológicos e hidráulicos poderia ter mais resistência pelas limitações inerentes aos mesmos. Ou seja, a substituição de métodos arbitrários por métodos que geram resultados pouco confiáveis poderia ser fortemente contestada, devendo-se partir, conseqüentemente, para métodos mais robustos como o *IFIM*. Por outro lado, é importante discutir a aplicabilidade do *IFIM* no país. O método analisa o habitat disponível, principalmente, para peixes. Deve-se, então, analisar se no Brasil os rios que são ou podem ser impactados devido à alteração do regime hidrológico possuem espécies de peixes com grande interesse econômico ou de conservação.

Na hipótese de se utilizarem os métodos hidráulicos, recomenda-se sistematizá-los, de forma bastante criteriosa, clara e restritiva para que possam ser utilizados em rios sem dados hidrológicos.

Enfim, todas essas questões devem ser levantadas na escolha de métodos a serem adotados no Brasil. Sugere-se, então, aos órgãos gestores brasileiros, que se dê um passo adiante na

avaliação da vazão mínima garantida, considerando a possibilidade de se adotarem métodos mais adequados nessa avaliação no sentido de, eventualmente, substituir as técnicas tradicionalmente utilizadas.

RECOMENDAÇÕES

Apresentam-se, neste capítulo, algumas recomendações para pesquisa futura sobre o tema em questão.

- No intuito de permitir uma abrangência maior com relação à utilização dos métodos ecológicos, sugere-se que sejam feitos estudos para se identificarem indicadores biológicos comuns à, pelo menos, grande parte dos rios de importante relevância ambiental nos ecossistemas brasileiros.
- Propõe-se aos gestores de recursos hídricos procurar por referências ambientais e ecológicas do passado, por meio de informações obtidas junto a populações locais estabelecidas na região ou de documentos antigos que mostrem a condição ambiental local antes da intensificação das intervenções antrópicas. Essas informações podem permitir ao gestor ter uma noção do comportamento hidrológico e ambiental natural, envolvendo as vazões que ocorriam, a abundância e a variedade de peixes presentes no rio e a qualidade da água que apresentava o corpo hídrico. Essa noção, por sua vez, possibilitaria ao gestor melhor definir os métodos a serem aplicados no rio de interesse.
- Os métodos para determinação da vazão mínima garantida descritos neste trabalho são quase que exclusivamente restritos à vazão mínima necessária à sustentabilidade da fauna aquática, dando-se pouca ênfase à flora. No entanto, a flora, citando-se como exemplo, as matas ciliares, influenciam significativamente na qualidade ambiental dos rios, além de se constituírem em uma das principais fontes de alimento para a fauna fluvial e em indicador ambiental (de qualidade). Sugere-se, portanto, que se proceda, em pesquisas futuras, a uma abordagem sobre métodos que incorporem, em sua análise, a vazão mínima garantida relacionada à flora aquática.
- Uma forma interessante de identificar a eficácia das vazões mínimas garantidas sugeridas pelas legislações estaduais referentes à outorga (porcentagens da $Q_{7,10}$ ou da Q_{90}), seria analisar, a posteriori, os impactos ambientais em rios em que já se tenha implementado a legislação. Ou seja, um estudo nesse sentido, permitiria uma avaliação mais realista da influência dessas vazões, que têm, geralmente, valores de baixa magnitude, sobre a fauna e flora aquáticas, principalmente nas épocas de estiagem.

- Em relação à metodologia desenvolvida, recomenda-se a utilização de um método de tipo DELPHI, de consulta a especialistas, para que se possa ter uma análise qualitativa da metodologia proposta, por meio do julgamento coletivo de um grupo de peritos sobre o assunto. A técnica baseia-se no uso estruturado do conhecimento, da experiência e da criatividade de um painel de especialistas, pressupondo-se que o julgamento coletivo, quando organizado adequadamente, é melhor que a opinião de um só indivíduo (Wright e Giovinazzo, 2000). A consulta ao grupo por meio dessa técnica permite a obtenção de respostas que servirão para uma reavaliação da metodologia proposta, buscando, conseqüentemente, o aprimoramento da metodologia.
- Sugere-se, em pesquisas futuras, a transformação do FTA- Fluxograma Teórico de Avaliação em um FPA- Fluxograma Prático de Avaliação. Ou seja, propõe-se a elaboração de uma metodologia, baseada na abordagem desenvolvida neste trabalho, mas que possa ser enriquecida com mais experiências e casos de aplicação, de tal modo a tornar os processos decisórios menos subjetivos e o enfoque da utilização mais pragmático, a fim de deixá-la mais acessível ao usuário decisor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, M.H.S. (1993). *Métodos de Determinação do Caudal Ecológico*. Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Alves, M.H.S, Bernardo, J.M., Matias, P., Ribeiro, L. (2000). “Contributo para a determinação do caudal ecológico em cursos de água temporários.” *Anais do 5º Congresso da Água*. Lisboa, Portugal.
- Annear, T.C., Conder, A.L. (1984). “Relative bias of several fisheries instream flow methods.” *North American Journal of Fisheries Management*, **4**, 531-539.
- Azevedo, L.G.T. e Porto, R.L.L. (1998). “Sistema de apoio a decisão para o gerenciamento integrado de quantidade e qualidade da água: metodologia e estudo de caso”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. (3)1, 21-51.
- Bellia, V. (1996). *Economia do Meio Ambiente*. IBAMA, Brasília, 262p.
- Bezerra, N.R. (2001). *Metodologias para definição de vazões mínimas garantidas em cursos d’água*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF.
- Bittencourt, A.G., Pereira, C.A.A.O., Takiishi, M., Jesus, J.A.O., Oliveira, L.H.W, Laramie, R., Mercer, G. e Roberts, M. (1997). “Desenvolvimento de modelo matemático de qualidade da água para a implantação da agência de bacia do rio das velhas”. *Anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, meio ótico – CD, Foz do Iguaçu, Brasil.
- Bovee, K.D., Lamb, B.L., Bartholow, J.M., Stalnaker, C.B., Taylor, J. e Henriksen J. (1998). *Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology*. U.S.Geological Survey , Biological Resources Division Information and Technology Report, Fort Collins, EUA, 131p.
- Branco, S.M. e Rocha A. A. (1977). *Poluição, Proteção e Usos Múltiplos de Represas*. Edgard Blücher, São Paulo, Brasil.

- Brandão, C.C., Campana N. A., Monteiro M.P., Oscar S. e Koide S. (1999). “Divisão Hidrográfica do Distrito Federal”. In: *Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal*, MTARH-UnB/SRH/SEMATEC, meio ótico – CD, Brasília, DF.
- Brown, L.C. e Barnwell, T.O. (1987). *The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual*. Environmental Resarch Laboratory, U.S Environmental Protection Agency, Athens, Georgia.
- CAESB (2000). *Estudos de Reavaliação do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal – Diagnostico do Setor Oeste*. SEEBLA, Brasília, DF.
- Campana, N.A., Monteiro, M.P., Koide, S., Brandão, C.C. e Cordeiro Netto, O.M. (1999). “Avaliação quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos superficiais do distrito federal”. In: *Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal*, MTARH-UnB/SRH/SEMATEC, meio ótico – CD, Brasília, DF.
- Cassie, D. e El-Jabi, N. (1995). “Comparison and regionalization of hydrologically based instream flow techniques in Atlantic Canada”. *Canadian Journal of Civil Engineering*, **22**, 235-246.
- Chevallier, P. (1993). “Aquisição e Processamento de Dados”. In: Tucci, C.E.M (ed.) *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Editora da Universidade. Porto Alegre, RS.
- Cordeiro Netto, O. M. (1995). “Estimativa do valor econômico da água; uma discussão teórica”. *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, meio ótico – CD, Recife, Brasil.
- Cordeiro Netto, O. M. (1997). “Interesse econômico de uma vazão remanescente em cursos d’água: um método de estimativa”. *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, meio ótico – CD, Vitória, Brasil.
- De Vries, J.J. e Hromadka, T.V. (1992). “Computer models for surface water”. In: Maidment, D.R. (ed.) *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, EUA., 21.3-21.39.
- Estes, C.C. (1987). *Instream Flow*. Alaska Department of Fish and Game, Juneau, EUA.
- Jowett, I.G. (1997). “Instream flow methods: A comparison of approaches”. *Regulated Rivers: Research and Management*, **13**(2), 115-127.

- Karim K., Gubbels M.E., e Goulter I.C. (1995). “Review of determination of instream flow requirements with special application to Australia”. *Water Resources Bulletin*, **31**(6), 1063-1077.
- Lamb, B.L. (1995). “Criteria for evaluating state instream-flow programs: deciding what works”. *Journal of Water Resources Planning and Management*, **121**(3), 271-274.
- Lanna, A.E (1993). “Gestão dos Recursos Hídricos”. In: Tucci, C.E.M (ed.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Editora da Universidade. Porto Alegre, RS.
- Lima, C.A.A., Giorgetti, M.F. (1997). “Aplicação do modelo QUAL2E na simulação de descargas acidentais contaminantes”. *Anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, meio ótico – CD, Foz do Iguaçu, Brasil.
- Loar, J. M. e Sale, M. J. (1981). *Analysis of Environmental Issues Related to Small-Scale Hydroelectric Development. Vol. V. Instream Flow Needs for Fishery Resources*. Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, EUA, 123p.
- Lopes, L.F.G. (2001). *Estudos de Hidrodinâmica e de Qualidade Ambiental da Água*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Coimbra, Portugal.
- Lopes, L. F. G., Cortes, R. M. V., Carmo, J. S. A. e Ferreira, T. (2002). “Determinação do caudal ecológico a jusante da barragem do Touvedo – rio Lima”. *Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos*, **23**(1), 75-85.
- Magalhães, P.C. (1989). “Hidrologia Superficial”. In: Ramos, F., Occhipinti, A.G., Villa Nova, N.A., Magalhães, P.C., Cleary, R. *Engenharia Hidrológica*. Editora UFRJ. Rio de Janeiro. RJ.
- Midcontinent Ecological Science Center, MESC (2001). *PHABSIM for Windows. User's Manual*. U.S. Geological Survey, EUA, 299p.
- Morhardt, J.E. (1986). *Instream Flow Methodologies*. E.A. Engineering Science and Technology Inc., California, EUA.

- Mortari, D. (1997). “Uma abordagem geral sobre a vazão remanescente, em trechos “curto-circuitados”, de usinas hidrelétricas”. *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, meio digital – CD, Vitória, Espírito Santo, Brasil.
- Milhous, R.T. (1999). *History, Theory, Use, and Limitations of the Physical Habitat Simulation System*. Midcontinent Ecological Science Center, U.S. Geological Survey, Fort Collins, EUA.
- Nogueira, J.M. e Soublin, V. C.C. M. (2000). “A irracionalidade do indivíduo racional e a valoração do meio ambiente”. *Anais do 52º Encontro Anual da Sociedade Brasileira para Progresso da Ciência (SBPC)*.
- Nogueira, J.M., Medeiros, M.A.A., Arruda, F.S.T. (1998). “Valoração Econômica do Meio Ambiente: Ciência ou Empiricismo?”. *Caderno de Pesquisa em Políticas de Desenvolvimento Agrícola e de Meio Ambiente*. Série NEPAMA 002. Universidade de Brasília, Departamento de Economia, Brasília, DF.
- Novaes Pinto, M. (1986a). “Caracterização morfológica do curso superior do rio São Bartolomeu -DF”. *Revista Brasileira de Geografia*, **48**(4), 377-397.
- Novaes Pinto, M. (1986b). “Superfície de aplainamento na bacia do rio São Bartolomeu, Distrito Federal/Goiás”. *Revista Brasileira de Geografia*. **48**(3), 237-257.
- Novaes Pinto, M. (1987). “Geomorfologia do rio São Bartolomeu, Distrito Federal”. *Geociências*. **5/6**, 101-113.
- Orth, D.J. e Maughan, O.E. (1981). “Evaluation of the Montana Method for recommending instream flow in Oklahoma Streams”. *Proc. Oklahoma Academy of Science*, 61, 62-66.
- Pelissari, V.B. (2000). *Vazão Ecológica de Rios. Estudo de Caso: Rio Timbuí, Santa Teresa, ES*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória, ES.
- Pelissari, V.B, Sarmiento R., Teixeira R.L. (1999). “Índices de preferência de habita para peixes na determinação da vazão residual do rio Timbuí”. *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, meio digital – CD, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

- Pereira, P.R.G. (2000). *Suporte Metodológico de Apoio à Tomada de Decisão no Processo de Outorga dos Direitos de Usos dos Recursos Hídricos da Bacia do Descoberto – DF*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF.
- Poff, N.L., Allan D., Bain M.B., Karr J.R., Prestegard K.L., Richter B.D., Sparks, R.E. e Stromberg, J.C. (1997). “The natural flow regime. A paradigm for river conservation and restoration”. *BioScience*, **47**(11), 769-784.
- Rauch, W., Henze, M., Koncsos, L., Reichert, P., Shanahan, P., Somlyódy, L. e Vanrolleghem P. (1998). “River water quality modeling: I. State of the art”. *Water Science and Technology*, **38**(11), 237-244.
- Reiser, D.W., Wesche T.A. e Estes, C. (1989). “Status of instream flow legislation and practices in North America”. *Fisheries*, **14**(2), 22-29.
- Sarmiento, R. e Pelissari, V.B. (1999). “Determinação da vazão residual dos rios: estado da arte”. *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, meio digital – CD, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.
- Secretaria Especial do Meio Ambiente, SEMA (1988). *Caracterização e Diretrizes Gerais de Uso da APA do Rio São Bartolomeu*. Brasília, Brasil.
- Shanahan, P., Henze, M., Koncsos, L., Rauch, W., Reichert, P., Somlyódy, L. e Vanrolleghem P. (1998). “River water quality modeling: II. Problem of the art”. *Water Science and Technology*, **38**(11), 245-252.
- Siqueira, E.Q. e Cunha, A.C. (1997). “O coeficiente de reoxigenação no modelo QUAL2E: Metodologia de previsão”. *Anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, meio ótico – CD, Foz do Iguaçu, Brasil.
- Souchon, Y., Trocherie, F., Fragnoud, E., Lacombe, C. (1989). “Les modèles numériques des microhabitat des poissons: application et nouveaux développements.” *Revue des Sciences de l’Eau*, **2**(4), 807-830.
- Souchon, Y., Valentin S. e Capra H. (1998). “Peut-on rendre plus objective la détermination des débits réservés par une approche scientifique?”. *Revue Intérrnational Houille-Blanche*, **53**(8), 41-45.

- Stalnaker, C., Lamb, B.L., Henriksen, J., Bovee K. e Bartholow J. (1995). *The Instream Flow Incremental Methodology: A primer for IFIM*. U.S Department of the Interior, National Biological Service, Washington, EUA.
- Svensson, B.S. (2000). “Hydropower and instream flow requirements in Sweden.” *Fisheries Management and Ecology*, **7**, 145-155.
- Tennant, D.L. (1976). “Instream Flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources.” *Fisheries*, **1**(4), 6-10
- Tharme, R. (1996). *Review of International Methodologies for the Quantification of the Instream Flow Requirements of Rivers*. Department of Water Affairs and Forestry, Cape Town, África do Sul.
- Tucci, C.E.M. (1993). “Regionalização de Vazões”. In: Tucci, C.E.M (ed.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Editora da Universidade. Porto Alegre, RS.
- Valadão, L.T. (2002). Comunicação pessoal.
- Wesche, T.A. e Rechar, P.A. (1980). *A Summary of Instream Flow Methods for Fisheries and Related research Needs*. Einsenhower Consortium for Western Environmental Forestry Research. Wyoming, Laramie.
- Wright, J.T.C. e Giovinazzo, R.A. (2000). “DELPHI – uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo”. *Caderno de Pesquisas em Administração*. **1**(12), 54-65.

APÊNDICES

APÊNDICE A - MODELOS DE SIMULAÇÃO DA ELEVAÇÃO DA SUPERFÍCIE DA ÁGUA

Um dos tipos de modelo utilizados no *PHABSIM* são os modelos de simulação da elevação da superfície da água (ESA). O objetivo destes modelos é de determinar uma relação entre superfície da água e a vazão.

No *PHABSIM*, existem três modelos propostos para a determinação da relação cota-descarga (1) STGQ; (2) MANSQ; (3) WSP.

STGQ

Este modelo desenvolve uma equação de regressão empírica baseada em várias medições de vazão e sua respectiva elevação do nível da água.

A relação cota-descarga é representada pela seguinte equação empírica:

$$(ESA - SZF) = a \cdot Q^b \quad (A.1)$$

onde,

Q = vazão;

ESA = Cota da superfície da água;

SZF = Cota de água para a qual a vazão é nula (*stage of zero flow*);

a = constantes obtidas a partir dos valores medidos de vazão e de cota do nível da água;

b = constantes obtidas a partir dos valores medidos de vazão e de cota do nível da água.

Essa equação é utilizada com frequência em canais abertos para se obter a relação cota-vazão.

No modelo STGQ, a relação cota-descarga é usada em função do termo SZF, que representa a cota de regiões do fundo do leito da seção transversal onde vazão é nula.

Uma regressão logarítmica linear pode ser aplicado à equação A1.1 para se determinar as constantes:

$$\text{Log}(ESA - SZF) = \text{log}(a) + b \cdot \text{log}(Q) \quad (A.2)$$

A equação de regressão resultante é então utilizada para prever cotas de vazões conhecidas.

No caso de canais com geometria complexa, onde as seções transversais são assimétricas, ou no caso de existir efeito de remanso, a relação cota-descarga provavelmente não será log-linear. Neste caso, deve-se avaliar se a regressão linear, determinada pelo modelo, se ajusta adequadamente aos objetivos do estudo. Caso contrário, MESC (2000) recomenda a repartição dos dados em conjuntos de forma a determinar uma equação de regressão linear para cada conjunto (figura A.1).

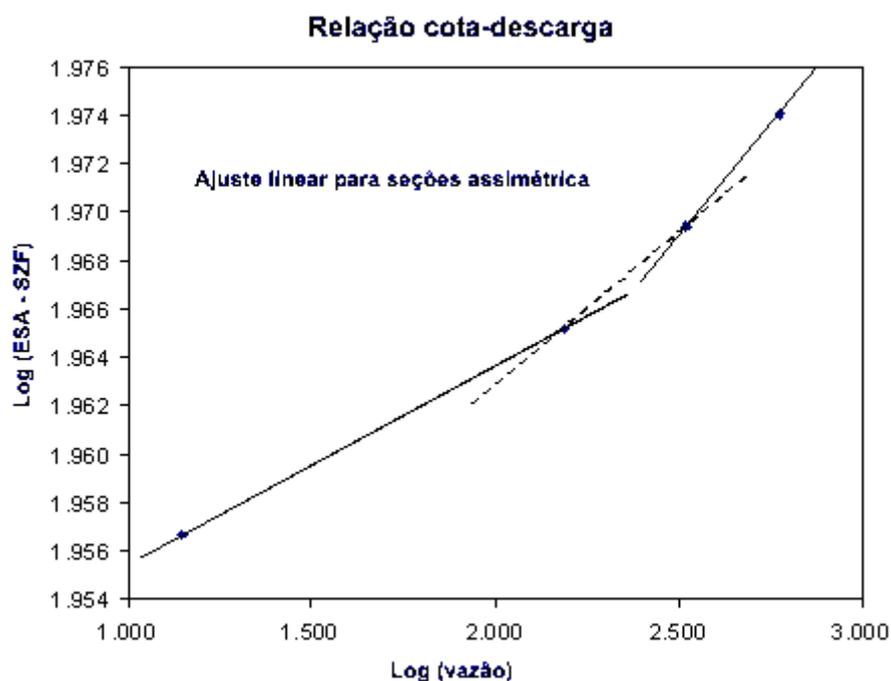


Figura A.1 - Relação Cota – descarga de uma seção transversal assimétrica

Para isso, deve-se elaborar no *PHABSIM* várias cópias do projeto, utilizando em cada projeto independente o conjunto de valores para cada equação a ser definida.

Na hipótese de um ajuste de regressão não-linear, MESC (2000) recomenda a utilização de planilhas eletrônica que dispõem de funções de ajuste não-linear. Através do resultado obtido pela planilha eletrônica, coloca-se os valores resultantes da relação cota-descarga como valores fixos no modelo.

O modelo STGQ considera cada seção transversal, do rio analisado, independente. Ou seja, para cada seção estudada, existirá uma relação de cota-descarga diferente.

Para uma verificação simples de consistência dos resultados, o *PHABSIM* dispõe de um gráfico dos perfis longitudinais da elevação da superfície da água para seções transversais adjacentes.

O gráfico permite visualizar para cada vazão específica, a elevação da água de seções adjacentes. Dessa forma, pode-se verificar se existe alguma inconsistência na direção do fluxo. Caso uma cota do nível da água de uma seção de jusante, para uma determinada vazão, seja maior do que a cota da água de uma seção de montante é provável que exista algum erro nos dados adquiridos em campo ou nas equações de regressão ajustadas para cada uma das seções (figura A.2).

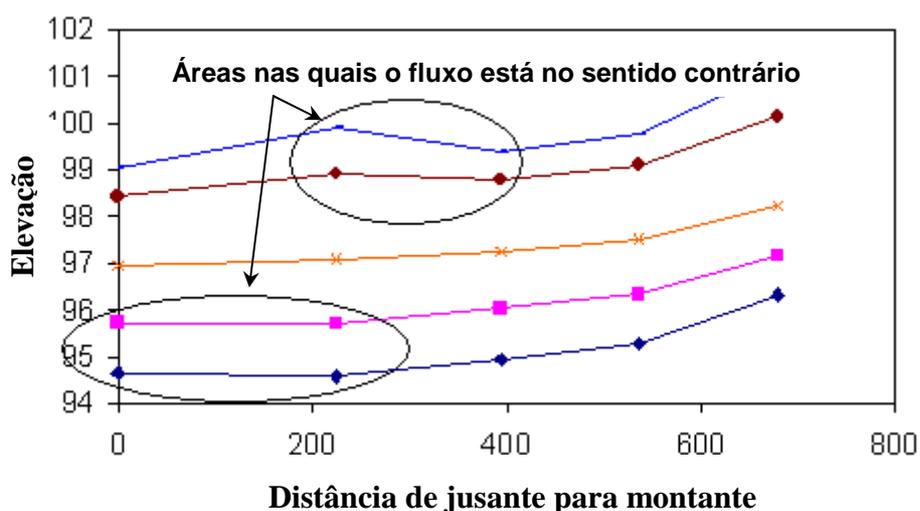


Figura A.2 - gráfico dos perfis longitudinais da elevação da superfície da água para seções transversais adjacente.

MANSQ

A principal característica do MANSQ é modelar a relação cota-descarga utilizando a equação de Manning. Para tal, o modelo considera duas hipóteses: (1) o escoamento é uniforme, o que possibilita adotar na equação de Manning, a declividade da superfície livre ao invés da declividade da linha de carga; (2) as variações da vazão, causadas pelas mudanças na geometria do canal ao longo do seu comprimento, são desprezíveis (fluxo permanente).

De uma forma geral, quanto mais uniforme for o canal, mais confiáveis serão os resultados. Conseqüentemente, a aplicação do modelo em seções de corredeiras daria resultados mais fidedignos em relação aos demais tipos de seções, principalmente aquelas que sofrem efeito de remanso (MESC, 2000).

Este modelo também assume que cada seção transversal é independente uma da outra durante a calibração e nas simulações. Da mesma forma que no modelo STGQ, MESC (2000) recomenda a verificação da consistência dos resultados por meio do perfil longitudinal das elevações da superfície da água dos valores simulados.

O MANSQ usa a equação de Manning na seguinte forma:

$$Q = \left[\frac{1}{n} \times S^{\frac{1}{2}} \right] \times A \times R^{\frac{2}{3}}$$

(A.3)
onde,

Q – vazão em m³/s;

n – coeficiente de rugosidade de Manning;

S – declividade da linha de carga;

R – raio hidráulico em metros.

E o simplifica para a seguinte forma:

$$Q = K \times A \times R^{\frac{2}{3}}$$

(A.4)
onde,

K = valor determinado por um conjunto de vazões e suas respectivas ESA's medidas em campo e a geometria da seção transversal.

O programa então utiliza um conjunto de dados de calibração adicional para solucionar uma das três equações abaixo, a ser escolhida pelo usuário:

$$K = K_0 \times \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^{\beta} \tag{A.5}$$

$$K = K_0 \times \left(\frac{R}{R_0} \right)^{\beta}$$

(A.6)

$$K = K_0 \times \left(\frac{R_0}{R} \right)^{\frac{5}{3}} \times \left(\frac{\log \left(2.42 \times \left(\frac{R}{D50} \right) \right)}{\log \left(2.42 \times \left(\frac{R_0}{D50} \right) \right)} \right)$$

(A.7)

onde, Q_0 e R_0 representam os valores de calibração, o expoente β representa o coeficiente fornecido pelo usuário para cada seção transversal e $D50$ é a mediana dos tamanhos das partículas do leito do rio.

A seleção do valor do coeficiente β , nas equações A.5 e A.6, será feita por processo de tentativa e erro onde o usuário escolherá o valor de β que minimize o erro entre os valores observados e os calculados de ESA para as vazões de calibração. Os valores de β , evidentemente, poderão ser diferentes para cada seção estudada. A faixa de valores em aplicações típicas é de 0,0 a 0,6. Porém, Para a utilização da equação A.7, é necessário fazer um estudo sedimentológico do leito do rio nas seções para se determinar o termo $D50$. Esta equação só poderá ser selecionada caso o usuário tenha de fato conduzido esse estudo. Na investigação da melhor equação, o investigador deverá selecionar aquela que proporcionar o menor erro no processo de calibração (MESC, 2000).

WSP

O modelo WSP é um programa de modelagem da hidrodinâmica de rios que é utilizado para prever como o perfil longitudinal da superfície da água, de um certo comprimento de rio, varia em função de vazões simuladas. O WSP utiliza os conceitos de conservação de massa e energia e considera as seguintes simplificações: (1) O escoamento é permanente e (2) a geomorfologia do canal não se altera significativamente com o regime de vazão ao longo do tempo. Esse modelo analisa as seções de duas em duas, utilizando-se das equações de conservação de massa e de Bernoulli.

O balanço de massa é calculado pela equação da continuidade para escoamento uniforme:

$$Q_2 = Q_1 + \nabla Q$$

(A.8)
onde,

Q_2 – vazão da seção transversal a jusante da seção 1;

Q_1 – vazão da seção transversal a montante da seção 2;

∇Q – incremento de entre as seções (geralmente igual a 0).

A velocidade é, então, calculada usando a seguinte equação:

$$V_i = \frac{Q_i}{A_i}$$

(A.9)
onde,

V_i – velocidade média da água na seção transversal i ;

A_i – área molhada da seção transversal i ;

Q_i – Vazão que passa pela seção transversal i .

O balanço de energia para duas seções transversais adjacentes é calculado, no modelo, da seguinte forma:

$$H_2 = H_1 + \nabla H$$

(A.10)
Onde,

H_2 – energia total na seção 2;

H_1 – energia total na seção 1;

∇H – perda total de energia;

Substituindo a energia total em cada seção transversal pela equação de Bernoulli (Chow, 1959) tem-se:

$$z_1 + d_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + d_2 + \frac{v_2^2}{2g} - \nabla H$$

(A.11)
onde,

z – cota do fundo do canal;

d – profundidade da água;

$v^2/2g$ – componente da energia relativo à carga cinética;

v – velocidade média da água;

g – gravidade.

A equação de Manning é utilizada para relacionar os valores de energia e vazão para que o processo computacional possa verificar os balanços de energia e de massa em cada seção transversal (MESC, 2000). O investigador entrando com os dados de vazão, e geometria do canal, obtidos em campo na seção i , o modelo determina a declividade da linha de energia S_{ei} pela equação de Manning:

$$S_{ei} = \left[\frac{Q_i}{R_i^{2/3}} \times \frac{n_i}{1} \right]^2$$

(A.12)

Processo computacional do WSP na simulação da ESA (MESC, 2000)

1. Analisando-se, primeiramente, a seção mais a jusante, o WSP calcula a declividade da energia da seção (S_{e1}) por meio da equação A.12, caso esse dado não tenha sido dada pelo usuário.
2. Em seguida, a ESA da seção adjacente de montante é estimada pela projeção de S_{e1} até a distância L entre as duas seções.
3. A declividade da energia da segunda seção é calculada da mesma maneira que na etapa 1. E então, uma declividade média é determinada para a seção considerando:

$$S_{em} = \frac{S_{e1} + S_{e2}}{2}$$

(A.13) 4. A energia total para a seção 2 é calculada por meio da equação A.10.

5. A elevação da superfície da água é calculada subtraindo-se de H_2 a carga cinética, produzindo:

$$ESA_2 = H_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

6. ^(A.14) Em seguida, os valores da cota da água na seção 2, obtidos nas etapas 2 e 5, são comparados e uma técnica numérica é utilizada para ajustar os valores estimados.
7. O processo entre as etapas 2 e 6 são repetidos até que os valores de elevação estimados e calculados da seção 2 se aproximem ao máximo.

APÊNDICE B – LISTAGENS DE CONTROLE

Tabela B.1 – Listagem de controle do tipo de problema existente na bacia hidrográfica (modificado de Bezerra, 2001).

1 – Desenvolvimento de atividades agrícolas	Sim	Não	Desc.*
a) A bacia hidrográfica apresenta um potencial para desenvolvimento ou intensificação de atividades agropecuárias somente em certos períodos do ano?			
b) A bacia hidrográfica apresenta um potencial contínuo durante o ano para desenvolvimento de atividades agropecuárias?			
2 – Desenvolvimento de Atividades urbanas e/ou industriais	Sim	Não	Desc.*
a) A bacia hidrográfica apresenta potencial relevante para as atividades industriais?			
b) Há lançamento de esgotos <i>in natura</i> na bacia?			
b) Há lançamento de esgotos tratados na bacia?			
c) As atividades agropecuárias da bacia geram resíduos suscetíveis de comprometer a qualidade da água?			
3 – Risco ao equilíbrio do Ecossistema	Sim	Não	Desc.*
a) Existem ecossistemas aquáticos, dos tipos relacionados abaixo que, pela natureza do seu tamanho, abundância ou tipo, possam ser considerados singulares? Rios de grande porte? Riachos? Lagos?			
b) A bacia hidrográfica é utilizada para fins consuntivos como abastecimento humano, irrigação, etc.			
c) A bacia hidrográfica é utilizada para fins não-consuntivos como recreação e lazer, navegação, energia hidrelétrica, etc?			
d) O rio em estudo da bacia hidrográfica possui espécies de peixes migratórias de interesse?			
e) Existe pesca predatória excessiva no rio?			
f) A bacia hidrográfica apresenta alterações de relevo e topografia?			
g) A bacia hidrográfica apresenta desmatamento às margens?			
h) Na bacia hidrográfica, o turismo é praticado atualmente na área em grau significativo?			
i) Existe na área, um potencia de turismo ou recreação que ainda não foi explorado?			
4 – Condição atual de degradação da bacia hidrográfica	Sim	Não	Desc.*
A bacia hidrográfica encontra-se basicamente:			
a) em seu estado primitivo?			
b) moderadamente degradada?			
c) seriamente degradada?			

* Desc. = desconhecido

Tabela B.2 – Listagem de controle de base de dados (modificado de Bezerra, 2001)

1 – Dados hidrológicos	Sim	Não	Desc.*
a) A bacia hidrográfica dispõe de dados com informações fluviométricas do local de interesse com, no mínimo, 25 (vinte e cinco) anos?			
b) A bacia hidrográfica apresenta dados com informações fluviométricas do local de interesse com, no mínimo, 10 (dez) anos?			
c) O sistema em análise apresenta séries de dados fluviométricos de menos de 10 (dez) anos?			
d) O sistema em análise não dispõe de dados fluviométricos, mas dispõe de se séries de, no mínimo, 10 (dez) anos de dados pluviométricos?			
e) A bacia hidrográfica apresenta informações fluviométricas com séries de dados pluviométricos, com menos de 10 (dez) anos de informação?			
f) Não dispõe de informação hidrológica?			
2 – Dados de qualidade de água	Sim	Não	Desc.*
a) Existem dados disponíveis sobre a atual qualidade de água?			
b) Existem dados sobre os parâmetros de qualidade da água do rio analisado considerados mais representativos?			
3 – Dados de geomorfologia do rio analisado	Sim	Não	Desc.*
a) Existem dados de topografia da área analisada?			
b) Existem dados de geometria das seções escolhidas?			
c) O rio apresenta trechos com grande declividade, com predominância de cascata?			
d) O rio apresenta muitos trechos de baixa declividade, com quantidade de corredeiras pouco significativas?			
e) O canal do rio apresenta elevada variabilidade morfológica?			
4 – Dados sobre as espécies aquáticas	Sim	Não	Desc.*
a) O sistema em análise é piscoso?			
b) Existe disponibilidade de informações sobre as espécies aquáticas durante o seu ciclo de vida?			
c) Existem levantamentos dos Índices de Preferência sobre as espécies consideradas importantes?			

* Desc. = desconhecido

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)