

IV-216 - OBTENÇÃO DE VAZÕES ECOLÓGICAS NA BACIA DO RIO POMBA

Bárbara Batista Porto⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

E-mail: barbara.porto@ufv.br.

Gabriela Vieira Capobianco⁽²⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Viçosa (UFV)

E-mail: gabicapobianco@hotmail.com

Demétrius David da Silva⁽³⁾

Professor Associado III da UFV; bolsista de Produtividade em Pesquisa 1A do CNPq.

E-mail: demetrius@ufv.br

Hugo Alexandre Soares Guedes⁽⁴⁾

Prof. Adjunto, Universidade Federal de Pelotas - UFPel, Centro de Engenharias, CEP 96015-710.

E-mail: hugo.hydro@gmail.com

Endereço⁽¹⁾: R. Vitória Marçola, 497, apto 101 – Anchieta – Belo Horizonte – Minas Gerais – CEP: 30310-360 – Brasil. Tel.: +55(31) 8898-1974. E-mail: barbarabatistaporto@gmail.com

RESUMO

A vazão ecológica é definida como a quantidade mínima de água a se manter no curso d'água de forma a garantir a manutenção e a conservação dos ecossistemas aquáticos naturais. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo principal determinar a vazão ecológica no rio Formoso, afluente da margem direita do rio Pomba, por meio do modelo bidimensional River2D, bem como inventariar a composição taxonômica da ictiofauna local para que haja uma gestão sustentável dos recursos hídricos. Foram realizados dois experimentos de campo com intuito de relacionar a vazão escoada no curso d'água com a biodiversidade local. Para isso coletou-se informações de velocidade, profundidade, substrato, cobertura e peixes. Os dois trechos analisados do rio Formoso apresentaram comportamentos distintos em relação às características do canal, tipos de uso e ocupação do solo e quantidade de peixes, evidenciando-se que o trecho onde existe maior degradação apresentou menor número de espécimes de peixes. Ao longo das campanhas de campo foram encontradas 14 espécies nos dois trechos de monitoramento no rio Formoso, sendo as espécies *Astyanax* sp., *Geophagus brasiliensis* e *Leporinus steindachneri* indicadoras da biodiversidade local. Para os espécimes analisados demonstrou-se que, em períodos críticos, há necessidade de uma faixa de vazão de 1,85 a 3,74 m³s⁻¹, sendo que abaixo desta faixa a adaptação dos espécimes fica prejudicada. Esta faixa recebeu o nome de faixa de vazão ecológica mínima. Assim, concluiu-se que é necessária a implantação de técnicas de conservação de solo e preservação de nascentes no rio Formoso de forma a possibilitar maiores vazões nos períodos de estiagem visando garantir água em quantidade e qualidade suficientes para outorga de uso de água e para a manutenção da vida aquática.

PALAVRAS-CHAVE: Vazão ecológica, Ecohidrologia, River2D, Modelagem hidrodinâmica.

INTRODUÇÃO

As últimas décadas foram marcadas pela crescente preocupação com o efeito das atividades humanas na sustentabilidade ambiental. Frente ao risco de degradação ambiental alardeado pela comunidade científica, a sociedade humana admite sua culpa em impactos globalizados como a redução da biodiversidade e as mudanças climáticas e resgata a responsabilidade de prover decisões ambientalmente corretas, economicamente viáveis e socialmente justas.

No estado atual da sociedade humana, em várias regiões do mundo, os recursos hídricos estão se tornando o fator mais limitante não apenas ao desenvolvimento, mas até mesmo para a manutenção de algumas comunidades. O crescimento exponencial da população humana e de suas necessidades criam e amplificam os numerosos impactos sobre os ecossistemas hídricos, sendo fundamental, portanto, integralizar o uso dos sistemas hídricos e a conservação ambiental. Em 1992, uma nova solução foi postulada durante a Conferência Internacional de Dublin sobre Águas e Meio Ambiente: a Ecohidrologia (ZALEWSKI, 1996).

A Ecohidrologia é uma nova área interdisciplinar que associa os processos hidrológicos e ecológicos envolvidos com o ciclo da água. Basicamente, esta nova área almeja compreender a dupla regulação dos processos hidrológicos e ecológicos: como os processos hidrológicos regulam aspectos ecológicos (ex: o regime de vazões em rios regulando as espécies e as populações locais), e de modo recíproco, como os aspectos ecológicos podem interferir na hidrologia (ex: cobertura do solo regulando o hidrograma de cheias). Integrando os conhecimentos sobre estes dois processos, esta nova ciência será capaz de propor soluções eficazes para os problemas de degradação em bacias hidrográficas.

A vazão ecológica é um novo conceito dessa base filosófica, sendo a demanda necessária de água a manter em um rio de forma a assegurar a manutenção e a conservação dos ecossistemas aquáticos naturais (GONDIN, 2006).

O *Instream Flow Incremental Methodology* (IFIM) foi desenvolvido em 1982 pelo *Cooperative Instream Flow Service Group*, atualmente *Aquatic Systems Branch of the National Ecology Research Center* (USFWS), em Fort Collins, USA, para a resolução de problemas no que diz respeito à gestão dos recursos hídricos que envolvam a implementação de qualquer tipo de empreendimento hidráulico em rios, objetivando diminuir o impacto negativo causado aos ecossistemas (BOVEE et al., 1998).

O IFIM baseia-se no princípio de que a distribuição longitudinal e lateral dos organismos aquáticos é determinada, entre outros fatores, pelas características hidráulicas, estruturais e morfológicas dos cursos d'água. Cada organismo tende a selecionar no curso d'água as condições que lhe são mais favoráveis, correspondendo a cada variável de microhabitat (velocidade, profundidade, substrato e cobertura) um grau de preferência que é proporcional à aptidão do valor da variável para a espécie (ALVES, 1993).

Segundo Bovee et al. (1998), a área do rio, que possui condições ambientais favoráveis para a manutenção de uma população piscícola, pode ser quantificada em função da vazão. A variável de decisão gerada pelo IFIM é a área de habitat disponível para as espécies, determinada em função da vazão. A vazão ecológica mínima ótima recomendada corresponde à vazão que proporcionará a maximização da área do habitat disponível, sendo entendida na literatura como suficiente para a manutenção das espécies existentes.

O IFIM pode ser aplicado não só a estudos de vazões ecológicas, mas também a estudos de impacto ambiental nos ecossistemas decorrente de qualquer tipo de perturbação que ocorra no curso d'água. Além disso, apresentam como vantagem a modelagem das respostas dos organismos em função das variações das condições ambientais, além de serem excelentes em situações onde existam conflitos pelo uso da água, por considerarem a definição de prioridades na utilização dos recursos hídricos superficiais.

A degradação da diversidade biológica e dos processos ecológicos significa redução na capacidade de suporte dos ecossistemas. Atualmente, já podem ser percebidos os efeitos de políticas voltadas exclusivamente para o crescimento, como a redução da qualidade das águas e os riscos crescentes de enchentes e estiagens.

Na maioria das situações é impossível interromper o desenvolvimento nas bacias hidrográficas que frequentemente degradam os ecossistemas hídricos. Por esta razão, programas internacionais de conservação do meio ambiente como o UNEP-IETC, UNESCO-IHP e UNESCO-Regional Bureau for Science na Europa destacam a Ecohidrologia como ferramenta fundamental ao manejo integrado de bacias hidrográficas e à gestão dos recursos hídricos. De acordo com essa nova abordagem, por meio da manipulação das interações entre a biota e a hidrologia, pode-se aumentar a resiliência dos ecossistemas aos impactos antropogênicos (UNEP-IETC, 2004).

Segundo Zalewski et al. (1997), a nova percepção Ecohidrológica precisa especificar em termos científicos as demandas do ecossistema hídrico. Em termos técnicos e ambientais, isto significa especificar precisamente a quantidade e a qualidade da água demandada e em que local e duração será necessário manter a disponibilidade hídrica para amplificar as oportunidades do ecossistema.

Em síntese, todo o esforço da Ecohidrologia em sustentar e aperfeiçoar os processos naturais oferecidos pela bacia hidrográfica só é possível com a manipulação da estrutura ecológica do ambiente aquático e ecótonos água-solo, além da garantia de vazões remanescentes potenciais em quantidade, qualidade e variabilidade. Nesse sentido surge o conceito das vazões ecológicas, em termos quantitativos e qualitativos.

Após o surgimento das reflexões sustentadas pela Ecohidrologia, a determinação de vazões remanescentes focada exclusivamente sobre uma vazão mínima passou a ser encarada como superficial e limitada. A preocupação em abordar outros aspectos do regime hidrológico criou um descompasso entre as atuais vazões remanescentes e as vazões verdadeiramente ecológicas, capazes de sustentar e aperfeiçoar os processos naturais dos ecossistemas hídricos.

Na Figura 1 estão apresentados importantes efeitos ecológicos associados aos diferentes estágios do regime hidrológico (PETTS & MADDOCK, 1994; POSTEL & RICHTER, 2003). Nem todas estas características são encontradas em conjunto em um rio particular, entretanto várias podem ser importantes para a manutenção da vida dos ecossistemas.

Segundo Smakthin (2007), as vazões ecológicas devem ser encaradas como um compromisso entre o desenvolvimento das bacias hidrográficas e a manutenção da integridade ecológica. Para isto, as vazões ecológicas precisam ser cientificamente definidas, economicamente justificadas e legalmente encorajadas, providenciando, desta forma, um contexto onde os interesses da hidrologia, ecologia aquática, economia ecológica e direito ambiental convirjam.

Vazões	Efeitos
Máximas	Modificam a calha do rio, criando curvas, bancos de areia, ilhas, praias, áreas de maior ou menor velocidade de escoamento e diversidade de ambientes Inundam as planícies, depositando sedimentos e nutrientes necessários para a vegetação terrestre e purificação das águas superficiais Inundam lagoas marginais na planície, criando oportunidades de reprodução e alimentação para peixes e aves Indicam o início do período de migração/reprodução para algumas espécies Eliminam ou reduzem o número de espécies invasoras ou exóticas Controlam a abundância de plantas nas margens e na planície
Médias	Determinam o tipo de sedimento do fundo do rio Evitam a invasão do leito do rio por plantas terrestres Renovam a água armazenada em lagos marginais, braços mortos do rio e em regiões de estuários Desenvolvimento normal das espécies aquáticas e populações ribeirinhas Manutenção do equilíbrio entre as relações ecológicas e a biodiversidade
Mínimas	Concentração de presas em áreas limitadas e assim favorecem os predadores durante um período limitado de tempo Redução de espécies invasoras Manutenção das espécies nativas Manutenção da qualidade da água (temperatura e oxigênio dissolvido) Manutenção do nível do lençol freático nas planícies Exposição de bancos de areia e praias para reprodução de répteis ou aves Secagem de áreas de inundação temporária

Figura 1 – Efeitos ecológicos associados a diferentes estágios do regime hidrológico

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Determinar a vazão ecológica na bacia hidrográfica do rio Pomba por meio do modelo computacional River2D, bem como inventariar a composição taxonômica da ictiofauna local para que haja uma gestão sustentável dos recursos hídricos.

Objetivos Específicos

- Coletar amostras de água e solo para obter, em laboratório, índices físicos, químicos e biológicos na bacia hidrográfica do rio Pomba;
- Obter as variáveis hidráulicas, hidrológicas e ecológicas em diferentes locais da bacia em estudo; e
- Estimar a necessidade do ecossistema em termos de vazão e parâmetros físicos, químicos e biológicos do escoamento.

METODOLOGIA

Definição da Área de Estudo

A região escolhida compreende a bacia hidrográfica do rio Pomba, afluente da margem esquerda do rio Paraíba do Sul, com área de drenagem de 8.616 km². A bacia está localizada na região Sudeste, nos estados de Minas Gerais (90%) e Rio de Janeiro (10%), entre os paralelos 20°52' e 21°43' Sul e os meridianos 41°59' e 43°38' Oeste. O principal rio na bacia é o Pomba, nascendo nas proximidades de Barbacena-MG, na Serra da Mantiqueira, num trecho denominado serra da Conceição, a 1.100 m de altitude.

A área de estudos compreende 2 trechos, de 1km cada, no rio Formoso, afluente da margem direita do rio Pomba. O trecho 1 está localizado próximo à área de cabeceira do rio, representando uma porção mais preservada da bacia. Já o trecho 2 está situado mais à jusante, percorrendo áreas de cultivo agrícola e uso agropecuário, representando assim, uma porção degradada, com ausência de vegetação ciliar (Figura 2).

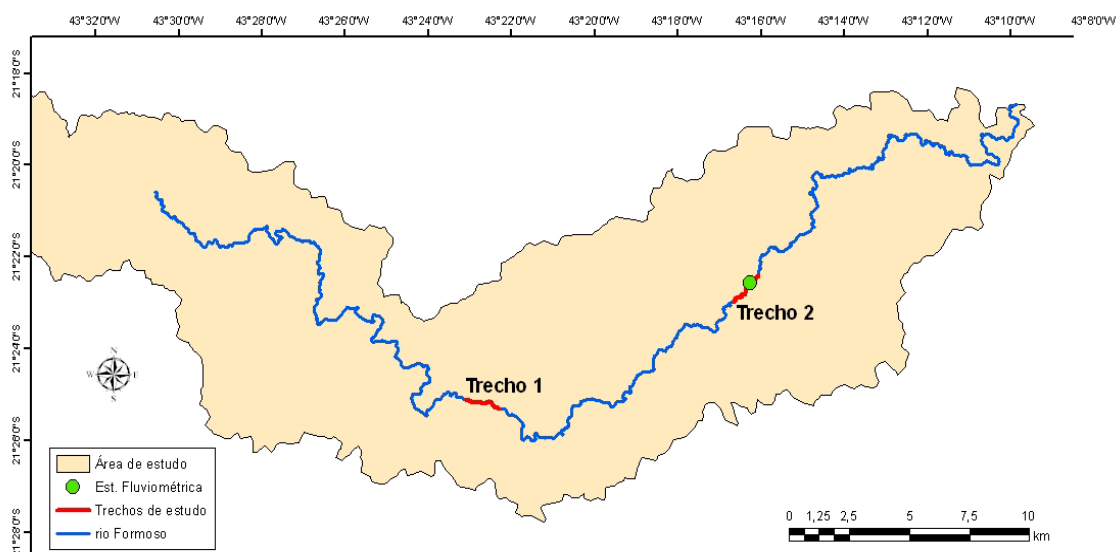


Figura 2 - Localização dos trechos na bacia do rio Formoso.



Figura 3 – Imagens dos trechos de estudo: a) Trecho 1 - região de cabeceira, preservada; b) Trecho 2 – região menos preservada

River2D

Para a determinação das vazões ecológicas foi utilizado o modelo hidrodinâmico River2D. Desenvolvido na Universidade de Alberta – Canadá, consiste em um modelo bidimensional, o qual é utilizado para simular o habitat de espécies, sendo formado por quatro módulos: River Bed (R2D_Bed), River Mesh (R2D_Mesh), River Ice (R2D_Ice) e o River2D (BLACKBURN & STEFFLER, 2002).

Na Figura 4 está apresentado o fluxograma de utilização do modelo hidrodinâmico River2D indicando as variáveis de entrada e saída.

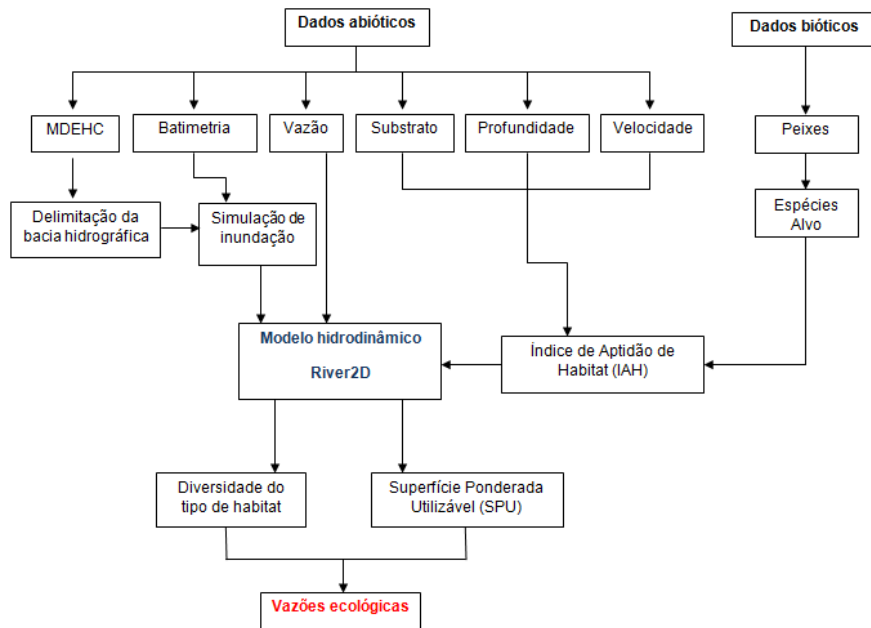


Figura 4 – Fluxograma de utilização do modelo River2D (modificado de CHOU & CHUANG, 2010).

As variáveis de entrada no modelo são divididas em dois grandes grupos: dados abióticos e bióticos. Os dados abióticos são compostos por variáveis relacionadas com a hidrologia do local, como vazão, velocidade, substrato e profundidade, além de serem quantificadas, também, variáveis relacionadas com a elevação da área de estudo.

A principal variável referente aos dados bióticos são as espécies de peixes presentes no local, determinadas em função da sua quantidade e diversidade. Somada às informações de velocidade, profundidade e substrato irão compor o índice de aptidão de habitat (IAH) ou curvas de preferência das espécies-alvo. Os valores de índice de aptidão para cada variável serão combinados, com rotinas próprias do modelo, formando um IAH global (CHOU & CHUANG, 2010).

No modelo River2D o escoamento é avaliado quanto à velocidade e à profundidade, enquanto o leito do rio, também conhecido como índice do canal, é analisado pelo substrato. Assim, de posse das curvas de preferência de uma determinada espécie-alvo frente a um determinado tipo de substrato, o modelo avalia os locais onde este repete ao longo do trecho estudado, combinando as três variáveis. Posteriormente, é determinada, como uma das variáveis de saída do modelo River2D, a área útil ponderada (AUP) (Equação 1).

$$AUP = \sum_{i=1}^n [f(V_i, P_i, S_i) \times A_i] \quad (1)$$

em que A_i é a área do rio em cada célula i_n [L^2]; V_i é a velocidade [$L T^{-1}$], P_i é a profundidade [L] e S_i é o substrato em cada célula i_n [L]; e $f(V_i, P_i, S_i)$ é o índice de aptidão combinado para A_i .

As variáveis de entrada foram medidas *in situ*, em experimentos de campo previamente planejados, inclusive as coletas de peixes com a determinação das espécies-alvo.

O modelo foi calibrado para os dois trechos no rio Formoso sendo usadas as informações de profundidade coletadas em campo com intuito de minimizar as diferenças entre as simulações e os dados observados. Os possíveis ajustes foram feitos nos valores de rugosidade e na malha gerada pelo método dos elementos finitos por meio do módulo River Mesh (WADDLE & BOVEE, 2010).

Para quantificar e qualificar o processo de calibração do modelo foram usados os índices estatísticos raiz do erro médio quadrático (REMQ) (LEE et al., 2010), erro médio absoluto (EMA) (CHOU & CHUANG, 2010) e regressão linear, por meio do coeficiente de determinação (r^2) e correlação (r) (LEE et al., 2010).

Regime de vazões

Para analisar o regime de vazões no rio Formoso utilizaram-se as informações da série histórica da estação fluviométrica da ANA localizada no município de Tabuleiro (código 58720000), operada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), utilizando-se para tal 23 anos de dados consistidos correspondentes ao período de 1983 a 2005.

A vazão mínima de referência $Q_{7,10}$ e as vazões mínimas associadas às permanências de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 95% estão apresentadas na Tabela 1. As vazões foram determinadas por meio do software SisCAH versão 1.0 desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) disponível no link <www.ufv.br/dea/gprh>. As vazões associadas às permanências foram obtidas por meio da curva de permanência de vazões diárias e a $Q_{7,10}$ foi obtida por meio de modelos probabilísticos e testes estatísticos aplicado à série de Q_7 associada à 10 anos de recorrência.

Tabela 1 – Regime de vazões mínimas no rio Formoso

Rio	Vazões ($m^3 s^{-1}$)										
	Cheias			Vazões frequentes				Estiagens			
	Q_{10}	Q_{20}	Q_{30}	Q_{40}	Q_{50}	Q_{60}	Q_{70}	Q_{80}	Q_{90}	Q_{95}	$Q_{7,10}^{(3)}$
Trecho 1 ⁽¹⁾	10,70	6,34	5,27	4,17	3,50	3,06	2,70	2,52	2,16	1,85	1,54
Trecho 2 ⁽²⁾	18,50	10,95	9,10	7,20	6,04	5,28	4,66	4,35	3,74	3,19	2,66

(1) Área de drenagem igual a 180,7 km².

(2) Área de drenagem igual a 312,3 km².

(3) Estimada utilizando a distribuição probabilística de Weibull.

Cabe ressaltar que para o Trecho 2 as vazões foram obtidas a partir das informações da série histórica de vazões da estação fluviométrica localizada no município de Tabuleiro e, para o Trecho 1, com base em espacialização de vazões usando o critério de vazão específica. Posteriormente, as vazões mínimas apresentadas na Tabela 1 foram utilizadas como dados de entrada no modelo River2D.

Trabalhos Experimentais

De modo a realizar um estudo baseado no conceito original da ecohidrologia torna-se necessária a realização de experimentos para coleta de amostras de solo e espécies-alvo, espécie sensível à variação de vazão no curso d'água, assim como as características do canal. Para tal foram realizadas duas campanhas de campo, uma em período chuvoso e outra em período seco.

A caracterização do micro-habitat foi feita nos dois trechos do rio Formoso em 1 km de extensão, onde em cada trecho foram demarcadas três seções transversais equidistantes de 500 metros, nas quais foram realizadas coletas de informações de velocidade, profundidade, vazão, cobertura e substrato, além de inventariar a composição taxonômica da ictiofauna no rio.

Os dados experimentais têm a função de diminuir as incertezas impostas pelas séries históricas de dados fluviométricos, tanto em termos quantitativos como qualitativos. O experimento de campo foi cuidadosamente planejado e executado de modo a diminuir, efetivamente, essas incertezas.

Substrato e Cobertura: Índice de Canal (IC)

O índice de canal (IC) usando na determinação da curva de aptidão de habitat (IAH) é formado pela combinação entre as informações de substrato, primeiro algarismo, e a cobertura, segundo algarismo.

As informações do tipo de substrato são codificadas como: Finos – argila, silte, e detritos orgânicos (código 1); Areia (código 2); Cascalho (Código 3); Matacão (código 4); e Leito Rochoso (código 5). A cobertura do canal foi caracterizada, segundo Pelissari e Sarmiento (2003), como: Ausente (código 0); Submersa (código 1); Aérea (código 2); e Submersa e Aérea (código 3).

A coleta de substrato (sedimento do fundo do leito) foi feita em cada seção transversal demarcada nos trechos em estudo por meio de uma draga Petersen de penetração vertical e capacidade de coleta de 3,20 litros. Os materiais coletados foram encaminhados para o Laboratório de Propriedades Físicas do Solo, do Departamento de Solos na Universidade Federal de Viçosa, para análise da granulometria e do diâmetro médio (D_{50}) dos agregados.

Nas simulações computacionais por meio do modelo River2D, os efeitos da rugosidade de fundo sobre os níveis de água no canal são avaliados em função da rugosidade efetiva (k_s), a qual depende do raio hidráulico (R) e do coeficiente de rugosidade de Manning (n). No River2D, a rugosidade efetiva é usada para calibrar e verificar a exatidão do modelo, por meio de ajustes feitos entre os dados de profundidade do levantamento batimétrico e a malha discretizada.

No presente trabalho, houve predominância de areia em quase todos os pontos de coleta de substrato no rio Formoso, com exceção de alguns pontos no primeiro trecho em que foi encontrado material rochoso. Assim, foram utilizados dois valores diferentes de k_s para a simulação dos trechos de estudo assim divididos: no primeiro trecho, nos pontos próximos a cabeceira do curso d'água utilizou-se o valor de k_s igual a 0,45 (referente à matacão) e, no restante do trecho utilizou-se valor igual a 0,35 (referente à pedra); no segundo trecho utilizou-se o valor de k_s igual a 0,04 (referente à areia) em toda a sua extensão. De posse dessas informações foi confeccionado a curva de aptidão de habitat referente ao índice de canal.

Profundidade do Canal e Velocidade do Escoamento

Para medir a profundidade do canal utilizou-se uma régua graduada de 2 m de comprimento. Ao passo que fosse medida a profundidade do curso d'água, determinaram-se, também, as velocidades do escoamento utilizando um molinete hidráulico. Tais medições foram feitas com o equipamento em até três diferentes posições de acordo com a profundidade da seção.

Tabela 2 - Posições de medição da velocidade em cada vertical

Profundidade do rio (m)	Posição dos pontos de medição*
0,15 a 0,60	0,6 p
0,60 a 1,20	0,2 e 0,8 p
1,20 a 2,00	0,2; 0,60 e 0,8 p
2,00 a 4,00	0,2; 0,4; 0,60 e 0,8 p

Espécies-Alvo e Índice de Aptidão de Habitat (IAH)

Foram colocadas durante à tarde redes de diferentes malhas, variando de 15 a 50 mm, em cada uma das três seções de monitoramento, por trecho, equidistantes em 10m, sendo retiradas ao amanhecer do próximo dia. Após a coleta, os peixes foram separados por malha de rede em que foram capturados e colocados em solução de formol 10%, em sacos plásticos furados rotulados de acordo com a seção, sendo por fim, conduzidos ao Laboratório de Sistemática Molecular, do Departamento de Biologia Animal da UFV, para o processo de reconhecimento de espécies.

Determinação das vazões ecológicas

A determinação da vazão ecológica foi feita por meio da relação entre as vazões simuladas e a AUP. A técnica utilizada foi baseado em uma matriz de otimização, onde as vazões simuladas são relacionadas com a AUP de cada espécie estudada.

A matriz de otimização envolve a definição de uma vazão que minimize a redução da área de habitat disponível. A aplicação desta técnica consiste na construção de uma matriz para cada trecho monitorado, na qual as colunas se referem às vazões e as linhas às espécies consideradas no estudo (PELLISSARI et al., 2001).

As vazões simuladas foram selecionadas considerando-se as vazões mínimas dada pela curva de permanência e à $Q_{7,10}$. A partir dos IAHs elaborado para as espécies, determinou-se para as vazões selecionadas a AUP, cujos valores foram posicionados na matriz (BOVEE, 1982). Analisando-se cada coluna (correspondente a um valor de vazão) selecionou-se o valor mínimo da AUP, registrando-os nas últimas linhas da matriz. O maior valor destas linhas, referentes aos valores correspondeu à maximização da área de habitat disponível.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Espécies-alvo

Nas Tabelas 3 e 4 estão apresentados os resultados das coletas de peixes realizadas no período chuvoso (março/2011), explicitando os espécimes, o número e o estágio dos peixes encontrados nos trechos 1 e 2, respectivamente, no rio Formoso. Já nas Tabelas 5 e 6 são apresentadas as mesmas informações para a campanha realizada no período seco (junho/2011) nos trechos 1 e 2, respectivamente.

Tabela 3 – Espécimes, estágio de vida e número de peixes encontrados no trecho 1 do rio Formoso durante o período chuvoso

Seção 1			Seção 2			Seção 3		
Espécime	Estágio	Nº	Espécime	Estágio	Nº	Espécime	Estágio	Nº
<i>Astyanax bimaculatus</i>	A	5	<i>Astyanax sp</i>	A	6	<i>Astyanax bimaculatus</i>	A	2
<i>Astyanax sp</i>	J	1	<i>Crenicichla lacustris</i>	A	1	<i>Crenicichla lacustris</i>	J	1
<i>Astyanax sp</i>	A	3				<i>Geophagus brasiliensis</i>	A	2
<i>Geophagus brasiliensis</i>	J	1				<i>Harttia loricariformis</i>	A	2
<i>Geophagus brasiliensis</i>	A	2				<i>Hypostomus affinis</i>	J	2
<i>Harttia loricariformis</i>	A	2				<i>Hypostomus affinis</i>	A	2
<i>Hypostomus affinis</i>	J	1				<i>Hypostomus auroguttatus</i>	J	1
<i>Hypostomus affinis</i>	A	1				<i>Hypostomus auroguttatus</i>	A	5
<i>Leporinus steindachneri</i>	J	2				<i>Leporinus steindachneri</i>	A	1
<i>Leporinus steindachneri</i>	A	1				<i>Trachelyopterus striatulus</i>	J	1
<i>Oligosarcus hepsetus</i>	A	2				<i>Trachelyopterus striatulus</i>	A	1
<i>Rhamdia quelen</i>	J	1						
<i>Trachelyopterus striatulus</i>	J	2						
Total de espécimes encontrados								51

A – adulto; J – jovem

Tabela 4 – Espécimes, estágio de vida e número de peixes encontrados no trecho 2 do rio Formoso durante o período chuvoso

Seção 1			Seção 2			Seção 3		
Espécime	Estágio	N ^o	Espécime	Estágio	N ^o	Espécime	Estágio	N ^o
<i>Astyanax bimaculatus</i>	A	6	<i>Astyanax bimaculatus</i>	A	4	<i>Astyanax bimaculatus</i>	A	1
<i>Oligosarcus hepsetus</i>	A	1	<i>Hypostomus affinis</i>	A	1	<i>Hoplias cf. malabaricus</i>	A	1
<i>Hypostomus affinis</i>	J	1	<i>Oligosarcus hepsetus</i>	A	1	<i>Rhamdia quelen</i>	A	1
<i>Hypostomus affinis</i>	A	2				<i>Hypostomus affinis</i>	A	1
<i>Trachelyopterus striatulus</i>	J	1						
<i>Trachelyopterus striatulus</i>	A	1						
<i>Hoplias cf. malabaricus</i>	A	1						
Total de espécimes encontrados								23

A – adulto; J – jovem

Tabela 5 – Espécimes, estágio de vida e número de peixes encontrados no trecho 1 do rio Formoso durante o período seco

Seção 1			Seção 2			Seção 3		
Espécime	Estágio	N ^o	Espécime	Estágio	N ^o	Espécime	Estágio	N ^o
<i>Astyanax bimaculatus</i>	A	1	<i>Astyanax sp</i>	A	3	<i>Astyanax sp</i>	A	3
<i>Astyanax sp</i>	A	2				<i>Geophagus brasiliensis</i>	A	1
<i>Geophagus brasiliensis</i>	A	1				<i>Hypostomus aurogutattus</i>	J	3
<i>Hypostomus affinis</i>	A	4				<i>Hypostomus affinis</i>	A	1
<i>Leporinus steindachneri</i>	J	1				<i>Leporinus steindachneri</i>	J	1
<i>Rhamdia quelen</i>	J	1						
<i>Crenicichla lacustris</i>	A	1						
<i>Hypostomus aurogutattus</i>	J	1						
<i>Hypostomus aurogutattus</i>	A	1						
Total de espécimes encontrados								25

A – adulto; J – jovem

Tabela 6 – Espécimes, estágio de vida e número de peixes encontrados no trecho 2 do rio Formoso durante o período seco

Seção 1			Seção 2			Seção 3		
Espécie	Estágio	Nº	Espécie	Estágio	Nº	Espécie	Estágio	Nº
<i>Astyanax bimaculatus</i>	A	1	<i>Astyanax bimaculatus</i>	A	3	<i>Oligosarcus hepsetus</i>	A	1
<i>Oligosarcus hepsetus</i>	J	1	<i>Hypostomus auroguttatus</i>	A	1			
<i>Oligosarcus hepsetus</i>	A	1	<i>Oligosarcus hepsetus</i>	A	1			
<i>Hypostomus affinis</i>	J	1	<i>Crenicichla lacustris</i>	A	1			
<i>Hypostomus affinis</i>	A	1	<i>Hypostomus affinis</i>	J	1			
<i>Hypostomus auroguttatus</i>	A	1	<i>Hypostomus affinis</i>	A	1			
<i>Astyanax sp</i>	A	1						
<i>Astyanax bimaculatus</i>	A	2						
Total de espécimes encontrados							18	

A – adulto; J – jovem

Analisando os resultados exibidos nas tabelas, vemos que a seção 2 do trecho 1 foi o local em que se capturou a menor quantidade de peixes tanto no período chuvoso quanto no período seco, o que pode ser explicado pelas características físicas do canal como baixa profundidade, forte correnteza e cobertura rochosa.

Se compararmos as coletas feitas em cada trecho (1 e 2) nos períodos seco e chuvoso, podemos ver a superioridade dos resultados da coleta no trecho 1. Devido ao grau de preservação em que se encontra, podemos concluir que devido a tal característica o ambiente se torna mais favorável às espécies, uma vez que o trecho 2, onde coletamos menor quantidade de peixe, se encontra em um alto grau de degradação (área da margem do curso d'água utilizada para pastagem).

Foi obtido um número pouco representativo das espécies *Rhamdia quelen* (3) e *Hoplias cf. malabaricus* (1). Desta forma, estes espécimes foram descartados das análises de vazão ecológica.

Características do canal

Nas Tabelas 7 e 8 são apresentadas as características do canal no período chuvoso, em cada seção transversal analisada nos trechos 1 e 2, respectivamente, do rio Formoso. Já nas Tabelas 9 e 10 são apresentadas as características do canal no período seco do ano, considerando os trechos 1 e 2, respectivamente.

Foram encontradas profundidades no trecho 1 de 0,04 a 1,35 metros. A vazão média encontrada neste trecho foi de $6,15 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ no período chuvoso e de $3,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ no período seco.

No segundo trecho do rio Formoso as profundidades do canal do rio variaram de 0,40 a 1,85 metros, e a vazão média encontrada no período chuvoso foi de $7,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e de $5,56 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ no período seco.

Notou-se a predominância de areia em quase todos os pontos de coleta de substrato do rio Formoso, com exceção de três pontos de coleta na seção transversal 2 do segundo trecho, onde foi encontrada argila nas duas épocas do ano analisadas, e de alguns pontos no primeiro trecho onde junto ao fundo arenoso encontrou-se rochas.

A vegetação na maior parte da extensão do rio Formoso encontra-se apenas em suas margens de forma submersa. No primeiro trecho existem alguns locais com vegetação aérea, como encontrada na margem esquerda da primeira seção transversal.

Tabela 7 – Características físicas do canal nas três seções do trecho 1 no período chuvoso

Tabela 7 - Características físicas do canal nas três seções de trecho 1 no período chuvoso														
Seção 1														
Vertical	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
H (m)	0,25	0,25	0,59	0,95	0,93	1,05	1,35	1,26	1,03	0,54	0,47	0,36		
V (ms ⁻¹)	0,42	0,37	0,23	0,64	0,63	0,93	0,85	0,85	0,47	0,88	0,85	0,79		
IC	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	5,0		
Área (m²)	9,03													
V(ms ⁻¹)	0,71													
Q (m³s ⁻¹)	6,41													
Seção 2														
Vertical	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
H (m)	0,53	0,40	0,46	0,54	0,60	0,68	0,75	0,78	0,77	0,76	0,88	0,92	1,05	
V (ms ⁻¹)	0,26	0,30	0,33	0,41	0,47	0,64	0,58	0,59	0,58	0,56	1,01	0,99	1,31	
IC	2,1	2,0	4,0	2,0	4,0	2,0	4,0	2,0	4,0	4,0	4,0	2,0	2,3	
Área (m²)	9,12													
V (ms ⁻¹)	0,70													
Q (m³s ⁻¹)	6,38													
Seção 3														
Vertical	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
H (m)	0,34	0,69	1,04	0,98	0,87	0,88	0,76	0,60	0,61	0,65	0,69	0,60	0,70	0,53
V (ms ⁻¹)	0,20	0,63	0,52	0,65	0,67	0,54	0,66	0,62	0,54	0,63	0,64	0,49	0,51	0,41
IC	2,0	2,0	5,0	2,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1
Área (m²)	9,94													
V (ms ⁻¹)	0,57													
Q (m³s ⁻¹)	5,67													

Tabela 8 – Características físicas nas três seções do trecho 2 no período chuvoso

Seção 1								
Vertical	1	2	3	4	5	6	7	
H (m)	1,18	1,20	1,00	1,15	1,10	1,10 0	1,32	
V (ms ⁻¹)	0,83	0,93	0,88	1,01	0,86	0,63	0,68	
IC	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.1	
Área (m²)	9,06							
V (ms ⁻¹)	0,83							
Q (m³s ⁻¹)	7,52							
Seção 2								
Vertical	1	2	3	4	5	6	7	
H (m)	1,30	1,80	1,85	1,57	1,50	1,45 5	1,55 5	
V (ms ⁻¹)	0,36	0,47	0,86	0,80	0,76	0,79	0,74	
IC	1.1	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.1	
Área (m²)	11,02							
V (ms ⁻¹)	0,69							
Q (m³s ⁻¹)	7,60							
Seção 3								
Vertical	1	2	3	4	5	6	7	8
H (m)	0,95	1,25	1,33	1,27	1,30	1,33	1,28	1,25
V (ms ⁻¹)	0,36	0,77	0,95	0,86	0,74	0,84	0,76	0,74
IC	2.1 1	2.0 0	2.0 0	2.0 0	2.0 0	2.0 0	2.0 0	2.1 1
Área (m²)	9,96							
V (ms ⁻¹)	0,77							
Q (m³s ⁻¹)	7,67							

Tabela 9 – Características físicas nas três seções estudadas do trecho 1 no período seco

Seção 1																
Vertical	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
H (m)	0,04	0,1 9	0,3 5	0,4 8	0,6 2	0,7 0	0,7 9	0,75	0,69	0,60	0,60	0,70	0,70	0,41	0,36	0,08
V (ms ⁻¹)	-	0,1 5	0,2 1	0,3 5	0,5 4	0,5 7	0,5 7	0,59	0,65	0,65	0,54	0,64	0,43	0,27	0,17	-
IC	2.2	2.2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	5.0
Área (m²)	8,00															
V(ms ⁻¹)	0,45															
Q (m³s ⁻¹)	3,62															
Seção 2																
Vertical	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
H (m)	0,13	0,23	0,2 2	0,2 8	0,3 5	0,5 0	0,6 3	0,58	0,65	0,67	0,65	0,70	0,81	0,8 2	0,71	0,58
V (ms ⁻¹)	0,18	0,22	0,2 0	0,1 9	0,2 5	0,3 8	0,4 3	0,38	0,48	0,46	0,52	0,55	0,73	0,7 1	0,57	-
IC	2.1	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	4.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.3
Área (m²)	8,15															
V(ms ⁻¹)	0,42															
Q (m³s ⁻¹)	3,39															
Seção 3																
Vertical	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
H (m)	0,29	0,7 5	0,6 3	0,6 9	0,7 1	0,8	0,76	0,53	0,55	0,58	0,5	0,58	0,55	0,45	0,2	
V (ms ⁻¹)	0,06	0,3 7	0,4 1	0,5 3	0,6 4	0,5 7	0,64	0,64	0,67	0,57	0,59	0,58	0,35	0,27	-	
IC	2.1	2.0	5.0	2.0	4.0	4.0	2.0	2.0	4.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.1	2.1	
Área (m²)	8,33															
V(ms ⁻¹)	0,49															
Q (m³s ⁻¹)	4,09															

Tabela 10 – Características físicas nas três seções estudadas do trecho 2 no período seco

Seção 1											
Vertical	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
H (m)	0,4	0,7	1,0	1,1	1,0	1,1	1,1	0,9	1,0	0,9	0,7
	0	1	3	0	5	1	0	6	0	5	5
V (ms⁻¹)	0,1	0,1	0,6	0,8	0,9	0,9	0,7	0,8	0,6	0,5	0,3
	1	2	9	6	3	4	7	0	7	8	8
IC	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.1
Área (m²)	9,58										
V(ms⁻¹)	0,62										
Q (m³s⁻¹)	5,97										
Seção 2											
Vertical	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
H (m)	0,40	0,72	1,40	1,15	1,10	1,24	1,40	1,40	0,68		
V (ms⁻¹)	0,09	0,38	0,76	0,84	0,80	0,83	0,85	0,72	0,16		
IC	1.1	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.1	2.1	1.1		
Área (m²)	8,95										
V(ms⁻¹)	0,61										
Q (m³s⁻¹)	5,44										
Seção 3											
Vertical	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
H (m)	0,50	0,87	1,00	1,14	1,10	1,08	0,98	0,98	1		
V (ms⁻¹)	0,04	0,41	0,75	0,95	0,85	0,77	0,83	0,78	0,64		
IC	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2,1		
Área (m²)	7,9										
V(ms⁻¹)	0,67										
Q (m³s⁻¹)	5,28										

Calibração do modelo

Na Figura 5 está apresentado o resultado da calibração realizada no modelo River2D para os dois trechos monitorados no estudo.

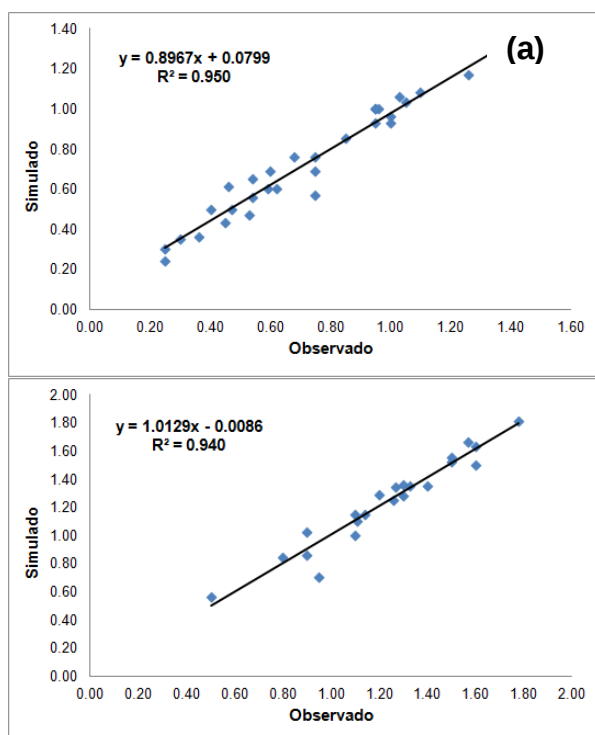


Figura 5 – Correlação entre os dados observados e simulados de profundidade: (a) Trecho 1 com 30 pontos monitorados; (b) Trecho 2 com 22 pontos monitorados.

Nas Figuras 6 e 7 estão apresentados os gráficos de profundidade gerados pelo River2D para o primeiro e segundo trecho de monitoramento, respectivamente.

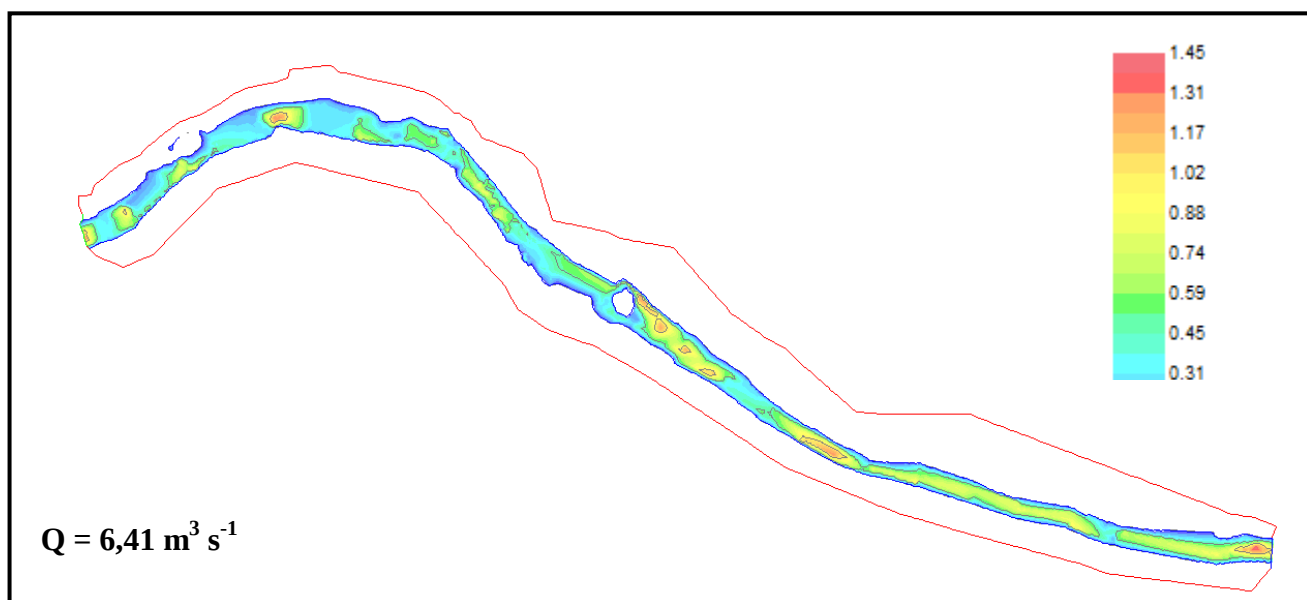


Figura 6 – Gráfico de profundidade gerado pelo modelo River2D após calibração para o primeiro trecho de monitoramento.

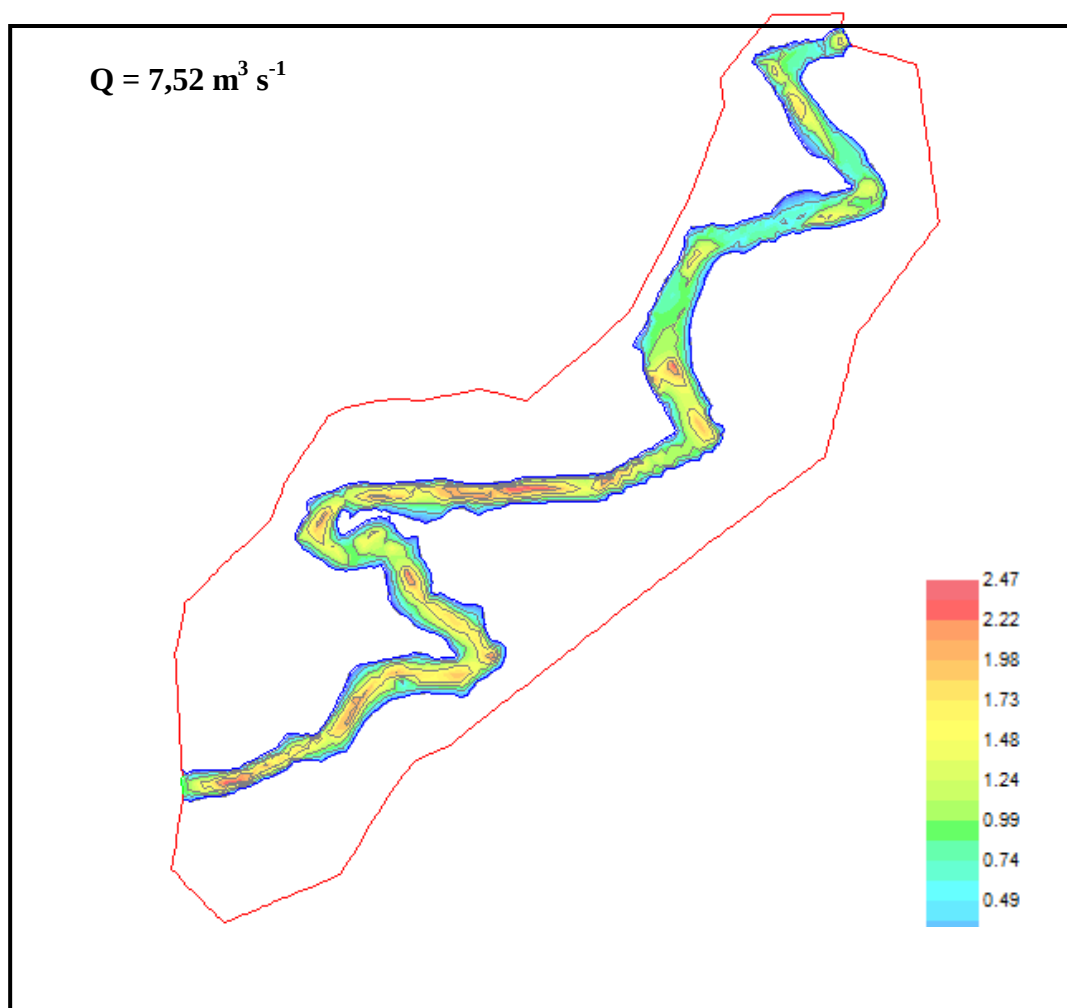


Figura 7 – Gráfico de profundidade gerado pelo modelo River2D após calibração para o segundo trecho de monitoramento.

Na Tabela 11 estão apresentados os índices estatísticos utilizados para validar o resultado de calibração.

Tabela 11 – Calibração do modelo hidrodinâmico River2D nos trechos de estudo

	REMQ (m)	EMA (%)	R ²	R
Trecho 1	0,069	8,641	0,950	0,974
Trecho 2	0,079	5,405	0,940	0,970

Observa-se na Tabela 3 que os coeficientes de determinação (R²) e correlação (R) entre os dados de profundidade observados e simulados ficaram acima de 0,94 e 0,97 em ambos os trechos de estudo indicando que a calibração do modelo River2D foi bem sucedida. Além disso, a partir dos resultados encontrados para os índices estatísticos Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ) e Erro Médio Absoluto (EMA) pode-se inferir que o modelo está apto para simular as características hidráulicas em ambos os trechos de estudo.

Modelagem do habitat

As simulações foram feitas para as espécies *Astyanax* sp. (Lambari), *Geophagus brasiliensis* (Cará) e *Leporinus steindachneri* (Piau) por serem indicadoras da biodiversidade no rio Formoso. Assim, determinaram-se, em função dos experimentos de campo, as curvas IAH para cada uma das espécies estudadas (Figura 8).

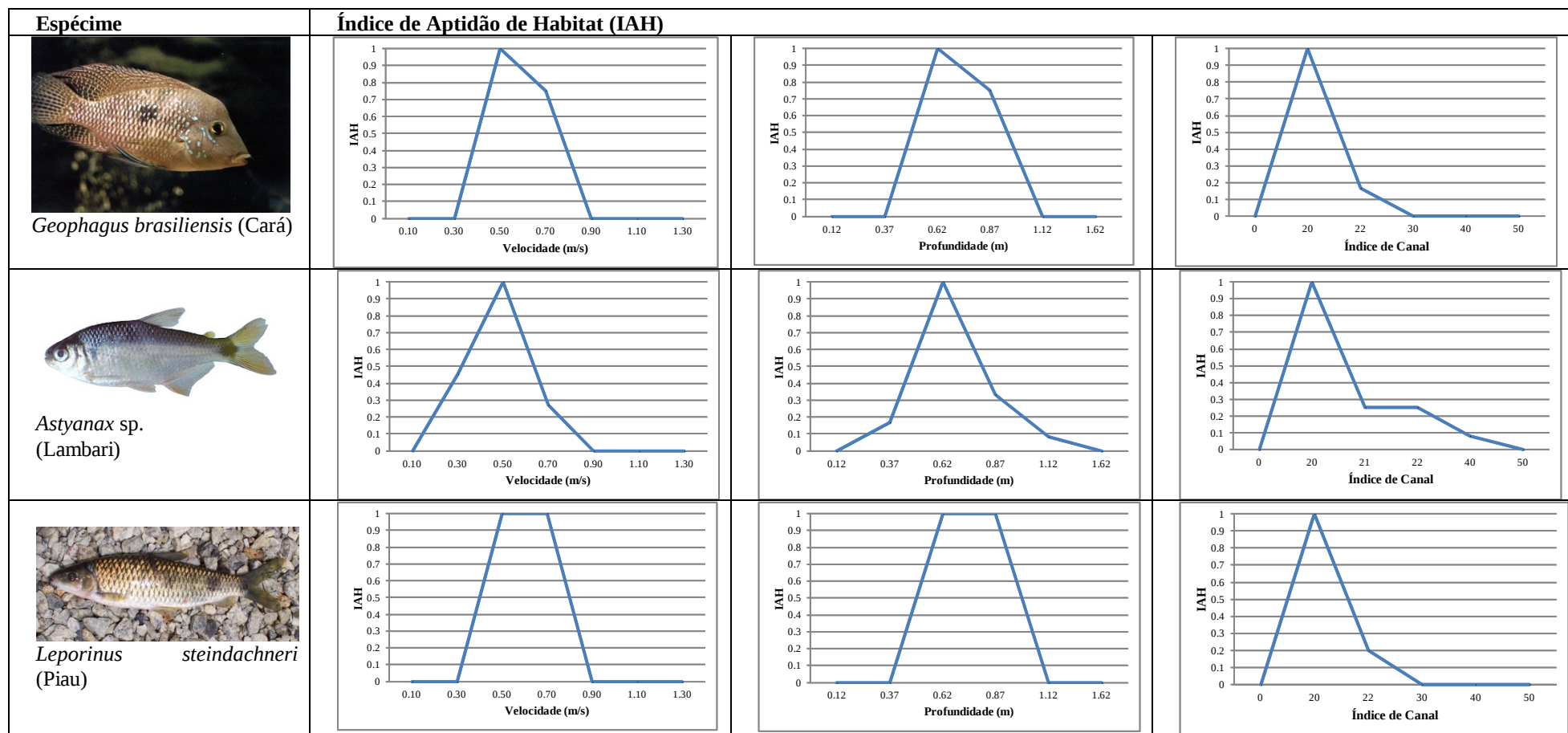


Figura 8 – Curvas de Índice de Aptidão de Habitat (IAH) para as espécies utilizadas no estudo.

Posteriormente, foram obtidos por meio das curvas de aptidão os gráficos de área utilizável ponderada versus a vazão simulada para cada espécime e para cada trecho monitorado (Figuras 9 e 10).

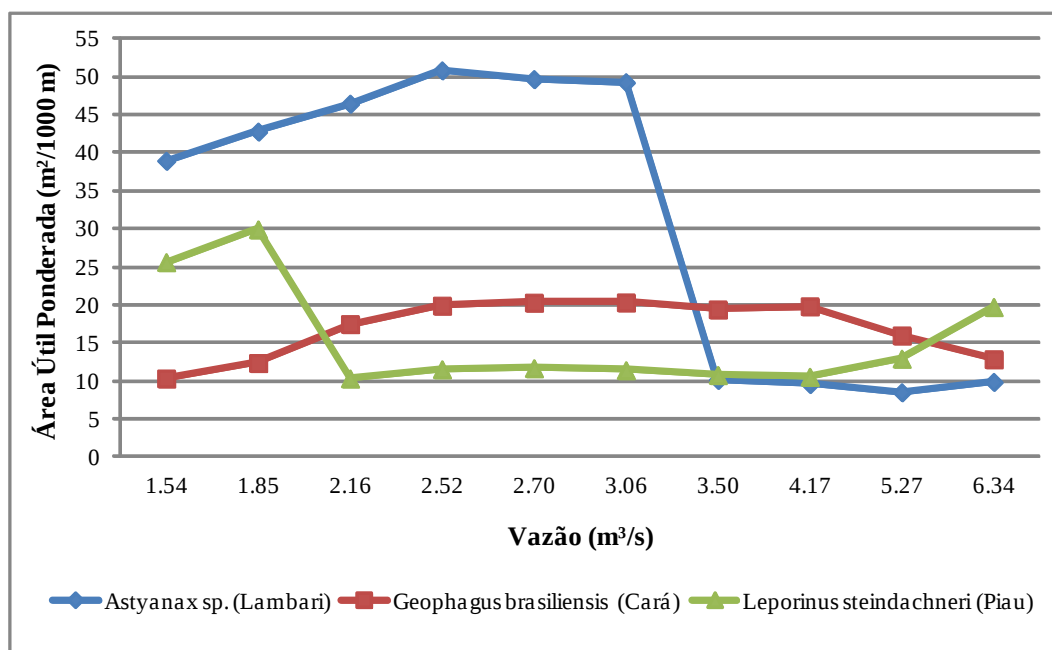


Figura 9 – Área utilizável ponderada versus vazão para as espécies utilizadas no estudo no trecho 1.

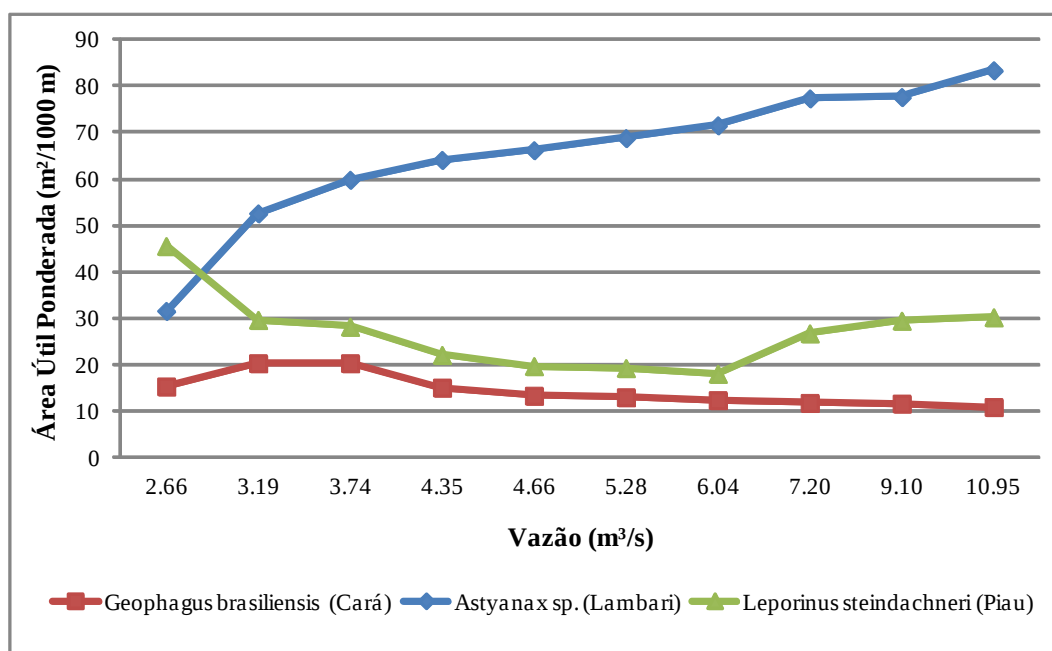


Figura 10 – Área utilizável ponderada versus vazão para as espécies utilizadas no estudo no trecho 2.

Observa-se na Figura 9 que no primeiro trecho do rio Formoso as espécimes *Astyanax* sp. e *Leporinus steindachneri* demonstraram se adequar melhor às condições de baixa vazão, onde a área ponderada foi maior. Por outro lado, a espécime *Geophagus brasiliensis* demonstrou se adequar melhor a uma faixa intermediária de vazão.

Na Figura 10, onde está apresentada a relação área ponderada versus vazão para o segundo trecho de monitoramento, a espécime *Astyanax* sp. demonstrou se adequar melhor às condições de maiores vazões, representativas do período de cheias no rio. A espécie *Leporinus steindachneri* apresentou um acréscimo de

área até um determinado valor de vazão baixa, diminuindo esse valor em seguida com o aumento da vazão. Em seguida o valor de área aumentou novamente. Em relação a espécie *Geophagus brasiliensis*, observa-se um aumento da área em condições de vazão baixa.

Faixa de vazão ecológica mínima

Com os valores de área utilizável ponderada para os espécimes *Astyanax sp.*, *Geophagus brasiliensis* e *Leporinus steindachneri* encontrada no rio Formoso, elaborou-se uma matriz de otimização que pode ser analisada nas Tabelas 12 e 13 para os trechos 1 e 2, respectivamente.

Tabela 12 – Valores de área útil ponderada encontrada para os espécimes *Astyanax sp.*, *Geophagus brasiliensis* e *Leporinus steindachneri* em todas as vazões simuladas analisadas para a determinação da faixa de vazão ecológica mínima no primeiro trecho do rio Formoso

Trecho 1	Vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)									
AUP ($\text{m}^2/1000\text{m}$)	6,34	5,27	4,17	3,50	3,06	2,70	2,52	2,16	1,85	1,54
<i>Astyanax sp.</i>	9,930	8,560	9,650	10,187	49,300	49,700	50,850	46,480	42,810	38,970
<i>Geophagus brasiliensis</i>	12,898	16,025	19,858	19,445	20,366	20,337	19,944	17,522	12,410	10,378
<i>Leporinus steindachneri</i>	19,760	12,971	10,595	10,824	11,457	11,720	11,577	10,368	29,953	25,650
Mínimo na coluna ($\text{m}^2/1000\text{m}$)	9,930	8,560	9,650	10,187	11,457	11,720	11,577	10,368	12,410	10,378
Máximo das colunas ($\text{m}^2/1000\text{m}$)	12,410									
Vazão ecológica mínima ótima (m^3s^{-1})	1,85									

Tabela 13 – Valores de área útil ponderada encontrada para os espécimes *Astyanax sp.*, *Geophagus brasiliensis* e *Leporinus steindachneri* em todas as vazões simuladas analisadas para a determinação da faixa de vazão ecológica mínima no segundo trecho do rio Formoso

Trecho 2	Vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)									
AUP ($\text{m}^2/1000\text{m}$)	10,95	9,1	7,2	6,04	5,280	4,66	4,35	3,74	3,19	2,66
<i>Astyanax sp.</i>	83,450	77,700	77,418	71,623	68,883	66,275	64,189	59,925	52,698	31,730
<i>Geophagus brasiliensis</i>	11,080	11,820	11,966	12,564	13,187	13,502	15,244	20,496	20,494	15,500
<i>Leporinus steindachneri</i>	30,361	29,625	26,907	18,217	19,441	19,860	22,268	28,324	29,788	45,661
Mínimo na coluna ($\text{m}^2/1000\text{m}$)	11,080	11,820	11,966	12,564	13,187	13,502	15,244	20,496	20,494	15,500
Máximo das colunas ($\text{m}^2/1000\text{m}$)	20,496									
Vazão ecológica mínima ótima (m^3s^{-1})	3,74									

Analisando as Tabelas 12 e 13 verificou-se que dentro da situação mais crítica (menor área utilizável ponderada entre os espécimes para cada vazão simulada) a melhor adaptação entre os espécimes analisados ocorreu em torno da vazão de $1,85 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para o primeiro trecho e $3,74 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para o segundo trecho.

Com os valores de vazões ecológicas mínimas ótimas para os dois trechos considerou-se uma faixa de vazão ecológica mínima variando de $1,85$ a $3,74 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, faixa esta que permite maior adaptação dos espécimes avaliados em condições críticas.

Comparando os valores encontrados com as vazões mínimas de referência usualmente adotadas no Brasil, verifica-se que a vazão ecológica estabelecida para o primeiro trecho, sendo igual a $1,85 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, corresponde a Q_{95} (vazão mínima associada à permanência de 95% do tempo). Já a vazão ecológica estabelecida para o

segundo trecho de monitoramento, sendo igual a $3,74 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, corresponde a Q_{90} (vazão mínima associada à permanência de 90% do tempo). Entretanto, o critério de outorga no Estado de Minas Gerais estabelece que a vazão mínima de referência a ser adotada seja a $Q_{7,10}$, sendo igual a $1,54 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ no primeiro trecho e $2,66 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ no segundo trecho.

Um cenário mais preocupante pode ser encontrado se for considerado a vazão remanescente no curso d'água, particularmente no Estado de Minas Gerais no qual permite um valor máximo outorgável de 50% da $Q_{7,10}$, o que resulta em uma vazão igual a $1,33 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para o segundo trecho. Ao analisar a adaptação dos espécimes encontrados no rio Formoso a esta vazão remanescente observa-se que quase todas não se adaptariam a esta condição.

CONCLUSÕES

Com a realização deste trabalho pode-se concluir que:

- Os dois trechos analisados do rio Formoso apresentaram comportamentos distintos em relação às características do canal, tipos de uso e ocupação do solo e quantidade de peixes, evidenciando-se que o trecho onde existe maior degradação apresentou menor número de espécimes de peixes;
- Ao longo das campanhas de campo foram encontradas 14 espécies nos dois trechos de monitoramento no rio Formoso, sendo as espécies *Astyanax* sp., *Geophagus brasiliensis* e *Leporinus steindachneri* indicadoras da biodiversidade local;
- Para os espécimes analisados demonstrou-se que, em períodos críticos, há necessidade de uma faixa de vazão de $1,85$ a $3,74 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, sendo que abaixo desta faixa a adaptação dos espécimes fica prejudicada. Esta faixa recebeu o nome de faixa de vazão ecológica mínima;
- A análise dos valores de vazões remanescentes para fins de outorga demonstrou que as metodologias atualmente utilizadas no Brasil resultam em valores muito inferiores à faixa de vazão ecológica mínima proposta para o rio Formoso, colocando em risco a vida aquática de diversos espécimes ali existentes;
- É necessária a implantação de técnicas de conservação de solo e preservação de nascentes no rio Formoso de forma a possibilitar maiores vazões nos períodos de estiagem visando garantir água em quantidade e qualidade suficientes para outorga de uso de água e para a manutenção da vida aquática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, M. E. **Métodos de determinação do caudal ecológico**. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal. 162 p. 1993.
2. BLACKBURN, A.; STEFFLER, P. **Two-Dimensional Depth Averaged Model of River Hydrodynamics and Fish Habitat**. University of Alberta, Canadá, 120 p. 2002.
3. BOVEE, K. D. **A Guide to Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology**. Instream Flow Information Paper No. 12. U.S. Fish and Wildlife Service. FWS/OBS-82/26. 1982.
4. BOVEE, K. D.; LAMB, B. L.; BARTHOLOW, J. M.; STALNAKER, C. B.; TAYLOR, J. **Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology**. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division Information and Technology Report USGS/BRD- 1998-0004. Colorado, p.139. 1998.
5. CHOU, W-C.; CHUANG, M-D. Habitat evaluation using suitability index and habitat type diversity: a case study involving a shallow forest stream in central Taiwan. **Environmental Monitoring and Assessment**, DOI 10.1007/s10661-010-1364-0. 2010.
6. GONDIM, J. **Apresentação na 51ª Reunião da CTAP** – Câmara Técnica de Análise de Projetos do CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. 2006.
7. LEE, J. H.; KIL, J. T.; JEONG, S. Evaluation of physical fish habitat quality enhancement designs in urban streams using a 2D hydrodynamic model. **Ecological Engineering**, v. 36, p. 1251-1259, 2010.
8. PELISSARI, V. B.; SARMENTO, R.; TEIXEIRA, R. L. **Vazão ecológica a ser considerada no licenciamento ambiental dos sistemas de abastecimento de água**. In: Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa, PB. 2001.

9. PELISSARI, V. B.; SARMENTO, R. **Vazão ecológica para o rio Santa Maria da Vitória, ES.** In: Anais do 5º Seminário Estadual sobre Saneamento e Meio Ambiente. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2003.
10. PETTS, G. E.; MADDOCK, I. **Flow allocation for inriver needs.** In: The Rivers Handbook. P. Calow e G. Petts (eds). Blackwell Science, Oxford, p.289-307. 1994.
11. POSTEL, S.; RICHTER, B. **Rivers for life: Managing water for people and nature.** Island Press. Washington. 253p. 2003.
12. SMAKTHIN, V. **Environmental flows: a call for hydrology.** In: Hydrological Processes. 21, 701-703. 2007.
13. UNEP – The United Nations Environment Programme, IETC – International Environmental Technology Centre. **Integrated Watershed Management (Ecohydrology & Phytotechnology) Manual.** 2004.
14. WADDLE, T. J.; BOVEE, K. D. Environmental flow studies of the Fort Collins Science Center, U.S. Geological Survey – Cherry Creek, Arizona: U.S. Geological Survey Open-File Report 2009-1272, 161 p. 2010.
15. ZALEWSKI, M. **FOREWORD.** Warsaw, 1996. IN: Ecohydrology – A New Paradigm for the Sustainable Use of Aquatic Resources. International Hydrological Programme - IHP. UNESCO, Paris, 1996.
16. ZALEWSKI, M., JANAUER, G. A., JOLÁNKAI, G. **Ecohydrology – A New Paradigm for the Sustainable Use of Aquatic Resources.** International Hydrological Programme - IHP. UNESCO, Paris. 1997.