

TIPIFICAÇÃO DE AMBIENTES LÓTICOS EM MACRO E MESO ESCALAS EM MINAS GERAIS, BRASIL

TYOLOGY OF LOTIC ENVIRONMENTS IN MACRO AND MESO SCALES IN MINAS GERAIS, BRAZIL

Márcia Couto Melo

Instituto SENAI de Tecnologia em Meio Ambiente - SENAI FIEMG. (marcia.melo@fiemg.com.br)

Paulo Tarso Amorim Castro

Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas. (ptacastro@ig.com.br)

Mariana D'Ávila F. Paula Paiva Freitas

Instituto SENAI de Tecnologia em Meio Ambiente - SENAI FIEMG. (mdfreitas@fiemg.com.br)

Pedro Fialho Cordeiro

Instituto SENAI de Tecnologia em Meio Ambiente - SENAI FIEMG. (pcordeiro@fiemg.com.br)

Helena Lúcia Menezes Ferreira

Instituto SENAI de Tecnologia em Meio Ambiente - SENAI FIEMG. (hlmenezes@fiemg.com.br)

Resumo

O artigo apresenta a tipificação dos ambientes lóticos no estado de Minas Gerais (macroescala) e nas áreas de contribuição dos reservatórios de Cajuru, Peti e Rio de Pedras (mesoescala), o que permitiu agrupar ambientes fluviais com características hidromorfológicas relativamente homogêneas. Considerando as ecorregiões aquáticas, a tipificação baseou-se na integração de informações do substrato rochoso e do relevo de Minas Gerais, por meio do agrupamento de rochas com respostas semelhantes ao intemperismo e à erosão, assim como pela divisão em classes altimétricas. Como produto dessa integração, obteve-se 21 tipos representados no mapa de tipificação abiótica dos ambientes lóticos do Estado. A tipificação em mesoescala foi baseada, também, nas variáveis: grupos litológicos e classes altimétricas, bem como inclinação do talvegue, padrão do canal e tipo do vale. Foram identificados 24 tipos de ambientes lóticos nas três áreas de contribuição.

Palavras-Chave: ecorregião aquática, ambientes lóticos, tipificação abiótica de corpos de água.

Abstract

The paper presents the classification of lotic environments in the state of Minas Gerais (large scale) and in the drainage basins contributing to Cajuru, Peti and Rio de Pedras reservoirs (meso scale), which allows the grouping the relatively homogeneous river environments based on hydromorphological features. Considering the aquatic ecoregions, the classification was based on integrating information from the bedrock and relief of Minas Gerais, by grouping rocks with similar responses to weathering and erosion combined with altimetric classes. Such integration resulted in 21 types represented on the map of abiotic classification for the lotic environments of MG State. The mesoscale classification was also based on the variables: lithological groups and altimetric classes, as well as the altitude, slope, channel pattern and valley shape. Twenty four types of lotic environments were identified in the three drainage basins.

Keywords: aquatic ecoregion, river environment, abiotic typology of river.

1. INTRODUÇÃO

Desde o início deste século, a fim de atender as novas diretrizes de gestão da água na Europa, os países da União Europeia iniciaram um novo capítulo na avaliação e monitoramento dos recursos hídricos, incorporando uma visão mais ampla focada na classificação da qualidade ecológica (AQEM, 2002), por meio do instrumento denominado Directiva Quadro da Água – DQA ou Water Framework Directive WFD, 2000/CE.

Esta classificação é guiada por modelos de tipificação do ambiente aquático com base em procedimentos tecnológicos interdisciplinares, fundamentados no conhecimento das características abióticas e bióticas do estado natural (FERREIRA; CASTRO, 2005a, 2005b; CASTRO *et al.*, 2005), tendo como ponto de partida as ecorregiões, as quais definem a homogeneidade ecológica das paisagens aquáticas (SOMMERHÄUSER *et al.*, 2011).

A tipificação consiste no agrupamento de corpos d'água com características geográficas e hidrológicas relativamente homogêneas, a fim de determinar as condições ecológicas, para estabelecer os termos de referência e comparar classificações do estado ecológico entre os grupos com características semelhantes (INAG, 2008). Assim, a tipificação de ambientes aquáticos representa uma simplificação esquematizada de determinadas condições, sendo uma síntese de diversos corpos de água que ocorrem na natureza. O conhecimento das características abióticas e bióticas está relacionado à estrutura morfológica, propriedades da água e às biocenoses presentes. Estabelece-se inicialmente uma tipologia abiótica, tendo em vista a influência existente dos fatores físicos, como o clima, o relevo e o substrato dos corpos de água, os quais dependem da rocha de origem, dos produtos do intemperismo, bem como das alterações antropogênicas. Esses fatores abióticos refletem na composição e abundância da biota aquática ali existente.

Em macro escala, tais fatores partem da delimitação de ecorregiões aquáticas e da tipificação de massas de água com características geológicas e altitudinais semelhantes, validadas em escala de detalhe pela pesquisa de componentes abióticos e bióticos, como a ecoidromorfologia do habitat, a qualidade físico-química das águas e dos sedimentos e a composição e estrutura de

comunidades biológicas (AQEM, 2002; CASTRO *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2005; JUNQUEIRA *et al.*, 2007; INAG, 2008).

Em Minas Gerais, estudos desta natureza estão sendo desenvolvidos em macroescala para todo o Estado e, em mesoescala, englobam as áreas-piloto das bacias hidrográficas dos rios Pará, Santa Bárbara e das Velhas, a montante dos reservatórios Cajuru, Peti e Rio de Pedras, respectivamente. Este estudo tem como objetivo contribuir para o aperfeiçoamento de metodologias, que fornecem suporte ao manejo dos ecossistemas aquáticos e avanços na conformidade da DN COPAM / CERH-MG nº 01, 05 de maio de 2008 – Deliberação Normativa Conjunta Conselho Estadual de Política Ambiental / Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais MG (MINAS GERAIS, 2008).

2. METODOLOGIA

Para a identificação dos tipos de massas de água, a Diretiva Quadro da Água estabelece a adoção de dois métodos, conhecidos como Sistema A e B. No sistema A, a tipificação é baseada em fatores obrigatórios como: inserção dos corpos de água nas ecorregiões definidas por Illies (1978), dimensão das áreas das bacias, geologia e altitude. Para o sistema B, é previsto os fatores obrigatórios, acrescidos dos fatores facultativos.

Na tipificação dos corpos de água, na macroescala, consideraram-se as ecorregiões aquáticas definidas para Minas Gerais, e as variáveis geologia e altitude, descritores do Sistema A (DQA, 2000).

A delimitação das ecorregiões aquáticas em Minas Gerais foi baseada na divisão estabelecida por Abell *et al.* (2008), e na Resolução CNRH Nº 32 de 2003 (Regiões hidrográficas brasileiras) (BRASIL, 2003). Utilizaram-se arquivos digitais das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) do estado, escala 1: 1.000.000, disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2009).

Os grupos litológicos foram definidos a partir do mapa geológico Serviço Geológico do Brasil – CPRM e Companhia Mineradora de Minas Gerais – COMIG (CPRM / COMIG, 2003), escala 1:1.000.000 e arquivos digitais disponibilizados pela CPRM (2007). O agrupamento das unidades

cartográficas baseou-se na resposta similar das rochas frente aos processos superficiais, como erosão, intemperismo e lixiviação, os quais atuam em clima tropical. As rochas de uma mesma classe apresentam em comum a composição mineralógica dos sedimentos expostos ao transporte de partículas em suspensão e como carga de fundo, atuando como substrato para os organismos aquáticos. Do mesmo modo, os íons em solução, fruto da lixiviação das rochas, constituem outro critério de agrupamento. Assim, todas as unidades litoestratigráficas cartografadas e apresentadas no Mapa Geológico do estado de Minas Gerais (CPRM/COMIG, 2003; CPRM, 2007) formam os grupos: rochas silicosas, pelíticas, carbonáticas, de filiação

básica, básicas, alcalinas, sedimentos laterizados e sedimentos inconsolidados (Quadro 1).

Quanto à altimetria, foi gerado um modelo digital de elevação (MDE) a partir de dados digitais do site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2013), apoiado no *software* ArcGIS 10.0 (TM). E por meio da análise da representatividade da ocorrência das altitudes no estado de Minas Gerais, foram definidas as classes altimétricas: maior (>) que 800m, de 500 a 800m e menor (<) que 500m de altitude.

Os planos de informação (*layers*) dos grupos litológicos e das classes altimétricas foram cruzados e gerou-se um mapa dessa integração (Figura 1). Mediante esse cruzamento associado às ecorregiões aquáticas, foram estabelecidos os tipos fluviais na macroescala.

Quadro 1: Grupos litológicos considerados na tipificação dos corpos de água

Nome	Código	Descrição
Silicosas	S	-rochas com composição química rica em sílica (acima de 52% de SiO ₂). Incluem as rochas sedimentares detríticas arenosas, tais como os quartzo-arenitos e subarcósios, além de conglomerados ricos e fragmentos quartzo-areníticos e de rochas ígneas ácidas e intermediárias. Também as rochas equivalentes metamórficas.
Pelíticas	P	-rochas sedimentares detríticas formadas por fragmentos na fração lama, tais como pelitos e seus equivalentes metamórficos.
Básicas	B	-rochas formadas por derrames, principalmente as rochas extrusivas e rochas intrusivas de composição básica aflorantes e seus equivalentes metamórficos de baixo grau.
Filiação básica	F	-rochas de origem ígnea e sedimentar, com teor de sílica abaixo de 52%, que apresentam metamorfismo de intermediário a alto grau. Neste grupo, encontram-se rochas arqueanas e paleoproterozoicas de composição similar.
Carbonáticas	C	-rochas sedimentares de composição química rica em cálcio, como calcários e dolomitos pertencem ao grupo das carbonáticas.
Alcalinas	A	-rochas muito ricas em álcalis e apresentam composição mineralógica peculiar, como minerais de Na e K. Incluem os riolitos e sienitos.
Sedimento laterizados	L	-sedimentos de origem aluvial, coluvial e eluvial, normalmente cimentados por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, que ocorrem em extensas chapadas e em algumas planícies.
Sedimento inconsolidado	I	-sedimentos incoesos arenosos e lamosos que ocorrem ao longo das planícies e terraços aluviais.

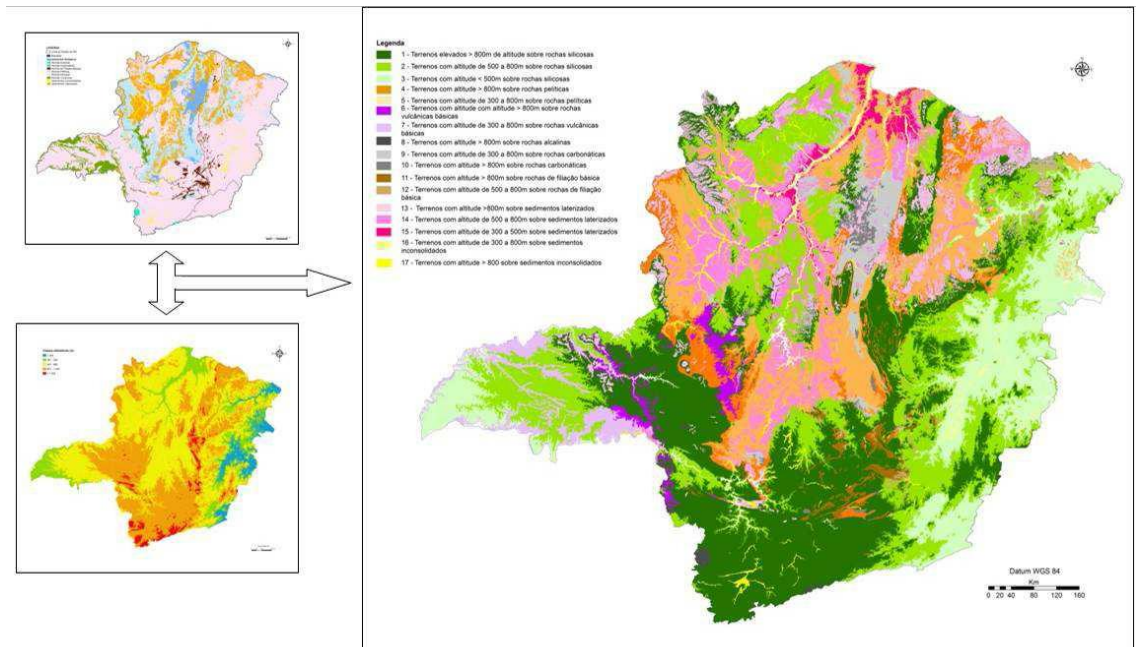
Fonte: os autores.

Os atributos da integração foram incorporados para o sistema de drenagem no Estado, fornecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012), escala 1: 1.000.000, gerando um mapa da distribuição dos tipos de corpos de água identificados no Estado, com base no Sistema A.

A tipificação das massas de águas lólicas nas áreas piloto foi realizada nas bacias de contribuição dos reservatórios de Cajuru, Peti e Rio de Pedras (Mapa 1). A pesquisa abrange diferentes escalas de análise, da ampla à de detalhe. Os estudos em escala de detalhe têm a finalidade de validação dos tipos por meio de componentes bióticos e abióticos, como ecoidromorfologia dos habitats, características

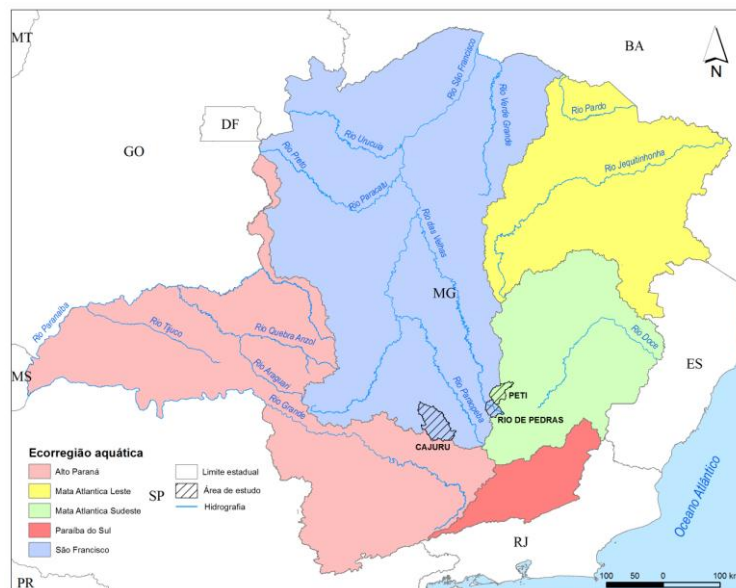
químicas da água e dos sedimentos e estrutura da comunidade (Figura 2). Com esse objetivo, foram demarcados 42 sítios de amostragem.

Figura 1: Integração dos layers grupos litológicos e classes altimétricas para tipificação dos terrenos no estado de Minas Gerais, Brasil



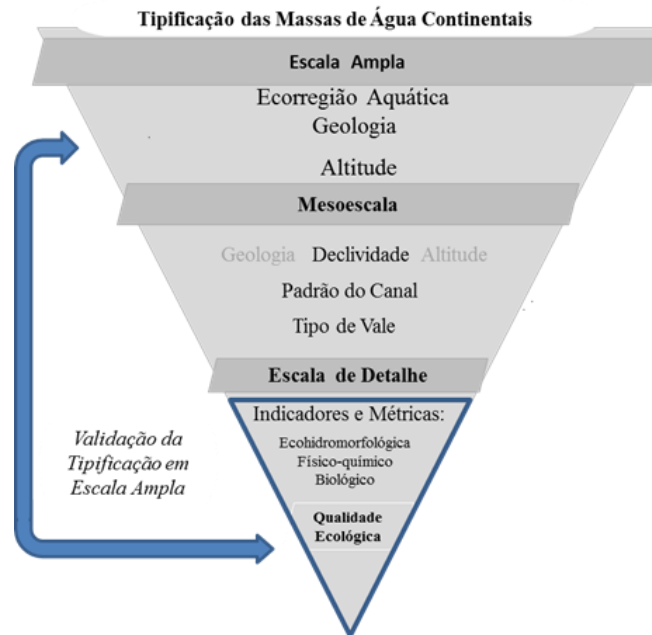
Fonte: os autores.

Mapa 1: Localização das áreas piloto nas ecorregiões aquáticas de Minas Gerais



Fonte: os autores

Figura 2: Escalas de análise para tipificação das massas de água continentais



Fonte: os autores.

Para as áreas piloto de Cajuru, Peti e Rio de Pedras, foram realizadas as seguintes atividades:

- ✓ Reconhecimento da ecorregião aquática, conforme Sistema A da DQA (2000) e delimitação das bacias de contribuição das referidas áreas na escala 1: 50.000;
- ✓ Identificação dos tipos de cursos de água, segundo a tipificação elaborada macroescala para o estado de Minas Gerais (CASTRO *et al.*, 2014);
- ✓ Detalhamento dos dados geológicos utilizando Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, escala 1: 50.000 (LOBATO *et al.*, 2005) para as áreas de Peti e Rio de Pedras. Para a bacia de contribuição do reservatório de Cajuru, as informações utilizadas foram provenientes do mapa do estado;
- ✓ Representação cartográfica da rede hidrográfica superposta ao refinamento dos dados geológicos na escala de 1: 50.000;
- ✓ Compartimentação dos cursos de água em segmentos fluviais com base na declividade do canal, associada aos tipos já identificados na macroescala (grupos litológicos e classes altimétricas). Essas variáveis fornecem a base para a identificação dos segmentos que correspondem às zonas funcionais, as quais

- constituem comprimentos de rios que possuem regimes de descarga de água e sedimentos similares, que manifestam características geomorfológicas distintas (PARSONS *et al.*, 2002). Esta compartimentação apoiou-se em perfis topográficos longitudinais traçados a partir de mapas topográficos na escala 1: 50.000 e mapa da integração geologia e altimetria;
- ✓ Para cada segmento identificado, foi levantado o padrão do canal: sinuoso, meândrico, retilíneo, e entrelaçado e o tipo de vale: em "v" ou normal, aberto, pouco profundo e encaixado. Os vales foram identificados por meio das formas de seus perfis transversais. Esta análise baseou-se em imagens de satélite (Google Pro, entre 2009 e 2015) e no mapa de sombreamento do relevo derivado do MDT, utilizando o ArcGIS 10.3 TM. Para os rios com padrão meândrico e sinuoso, foram calculados os índices de sinuosidade (SCHUMM, 1963) para a verificação do padrão. Nota-se que a sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pelas estruturas litológicas e pela declividade dos canais;

- ✓ Estabelecimento de códigos para a identificação dos tipos referente aos segmentos (Quadro 1).

Quadro 1: Variáveis e respectivos códigos utilizados na tipificação em mesoescala

Variável	Código	Descrição
Declividade	DB	Baixa \leq (0,010 m/m)
	DM	Média (0,010 a 0,10 m/m)
	DA	Alta \geq (0,10 m/m)
Padrão do canal	CR	retilíneo
	CS	Sinuoso
	CM	Meândrico
	CE	Entrelaçado
Forma do vale	VA	vale aberto e amplo
	VV	vale em V
	VP	vale pouco profundo
	VE	vale encaixado
Litologia	S	rochas silicosas
	P	rochas pelíticas
	F	rochas de filiação básica
	C	rochas carbonáticas
	B	rochas básicas
	A	rochas alcalinas
	L	sedimentos laterizados
	I	sedimentos inconsolidados
Altimetria	1	< 500m
	2	501 a 800m
	3	> 800m

Fonte: os autores.

3. RESULTADOS

Para as cinco ecorregiões aquáticas definidas em Minas Gerais, foram identificados, em macroescala, 21 tipos de terrenos, em relação ao grupo litológico e altimetria.

Uma ampla faixa de tipos lóticos (18) drena a ecorregião São Francisco e Alto Paraná, em contraposição à ecorregião Paraíba do Sul com menor representação (7). A maior variedade de tipos drena sobre terrenos de rochas silicosas e em todas as classes altitudinais, seguido dos que drenam sobre rochas de filiação básica e sobre sedimentos inconsolidados, ambos em altitudes de 500m a 800m. Os tipos sobre rochas alcalinas

estão restritos à altitude >800m na ecorregião Paraíba do Sul e Alto Paraná. Os tipos sobre rochas carbonáticas restringem-se à ecorregião São Francisco e Alto Paraná (Quadro 2).

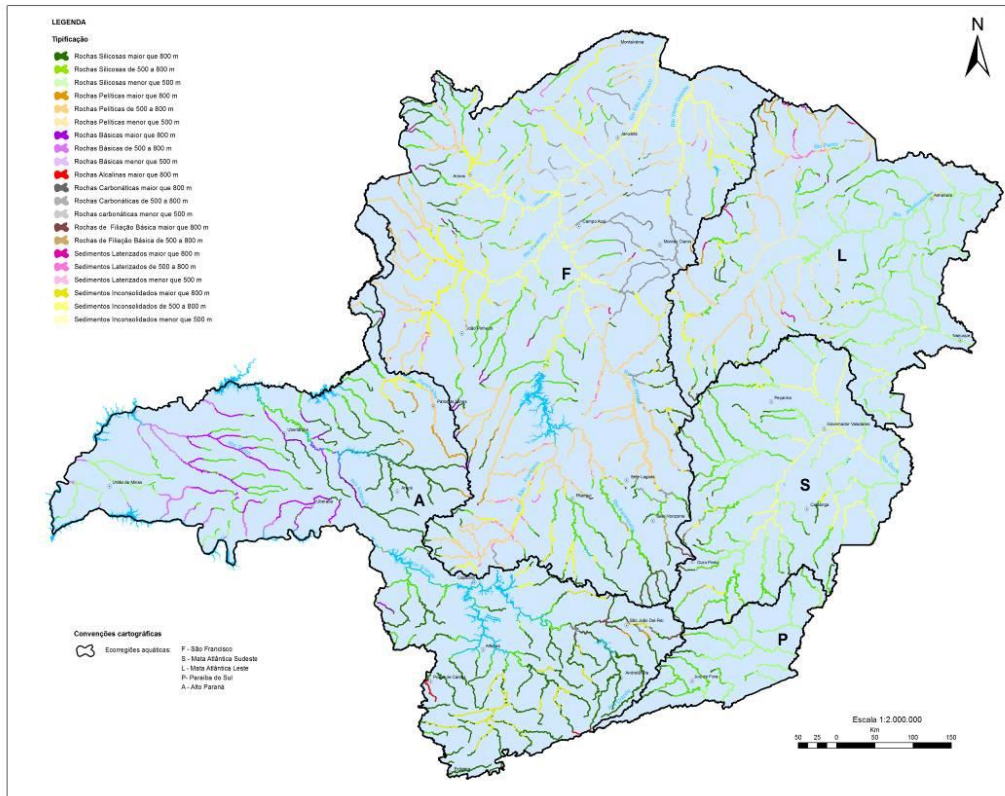
O mapa da representação linear dos tipos fluviais é o resultado da análise abiótica para a tipificação das massas de água em macroescala (Mapa 2). Dos 21 tipos identificados no território mineiro, mais de 50% drenam sobre rochas silicosas, em todas as ecorregiões aquáticas, sobretudo na faixa de 500 a 800m de altitude, representando 57,25% em extensão da rede de drenagem estadual. Quinze tipos representam menos de 5% do comprimento total da rede hídrica e correspondem a 22,7% (Gráficos 1 e 2).

Quadro 2: Ocorrência dos tipos de terrenos identificados em Minas Gerais, Brasil, com base nas variáveis abióticas por ecorregião aquática

Tipos de terrenos	Ecorregiões aquáticas				
	São Francisco (F)	Mata Atlântica Sudeste (S)	Mata Atlântica Leste (L)	Paraíba do Sul (P)	Alto Paraná (A)
Sobre rochas silicosas com altitude > de 800m					
Sobre rochas silicosas com altitude de 500 a 800m					
Sobre rochas silicosas com altitude < 500 m					
Sobre rochas pelíticas com altitude > 800m					
Sobre rochas pelíticas com altitude de 500 a 800m					
Sobre rochas pelíticas com altitude < 500m					
Sobre rochas básicas com altitude > 800m					
Sobre rochas básicas com altitude de 500 a 800m					
Sobre rochas básicas com altitude < 500m					
Sobre rochas alcalinas com altitude > 800m					
Sobre rochas carbonáticas com altitude > 800m					
Sobre rochas carbonáticas com altitude de 500 a 800m					
Sobre rochas carbonáticas com altitude < 500 m					
Sobre rochas de filiação básica com altitude > 800m					
Sobre rochas de filiação básica com altitude de 500 a 800m					
Sobre sedimentos laterizados com altitude > 800m					
Sobre sedimentos laterizados com altitude de 500 a 800m					
Sobre sedimentos laterizados com altitude < 500m					
Sobre sedimentos inconsolidados com altitude > 800m					
Sobre sedimentos inconsolidados com altitude de 500 a 800m					
Sobre sedimentos inconsolidados com altitude < 500m					
Nº de tipos por ecorregião em relação ao total geral (21 = 100%)	18 (85,7%)	13 (61,9%)	14 (66,6%)	7 (33,4%)	18 (85,7%)

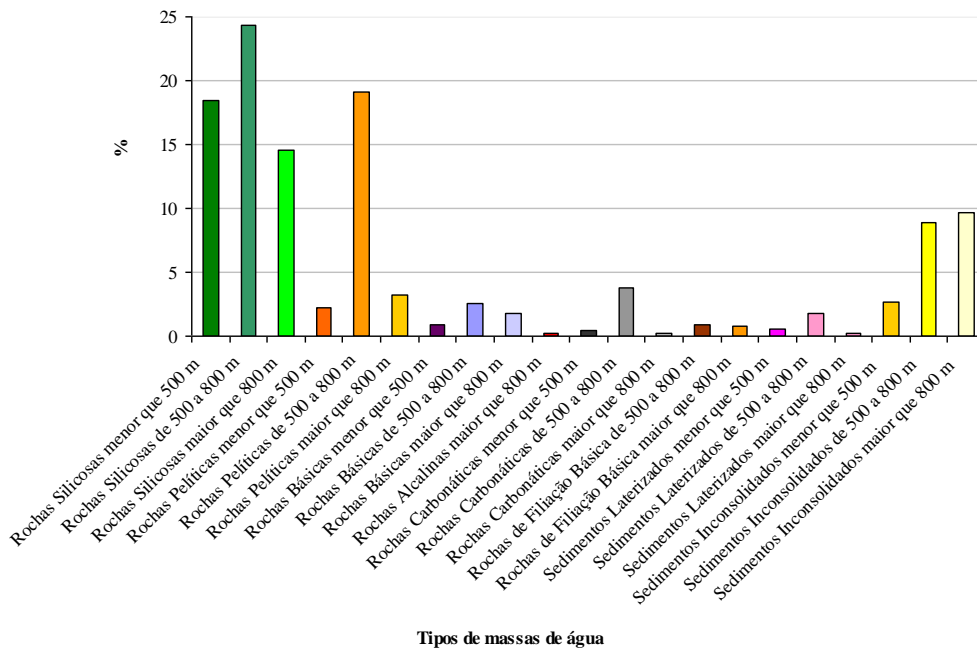
Fonte: os autores.

Mapa 2: Distribuição dos tipos de corpos de água identificados no estado de Minas Gerais, Brasil, com base nos grupos litológicos e classes altimétricas.



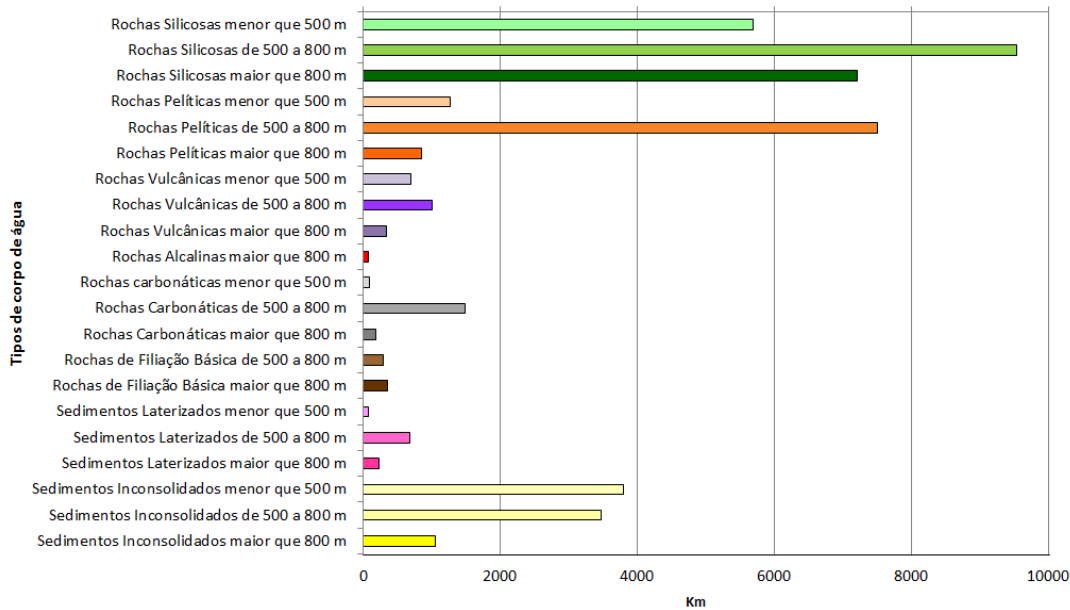
Fonte: os autores.

Gráfico 1: Porcentagem (%) de ocupação dos tipos de corpos de água em Minas Gerais, Brasil, com base nos grupos litológicos e classes altimétricas



Fonte: os autores.

Gráfico 2: Extensão (km) dos tipos de corpos de água identificados em Minas Gerais, Brasil, com base nos grupos litológicos e classes altimétricas

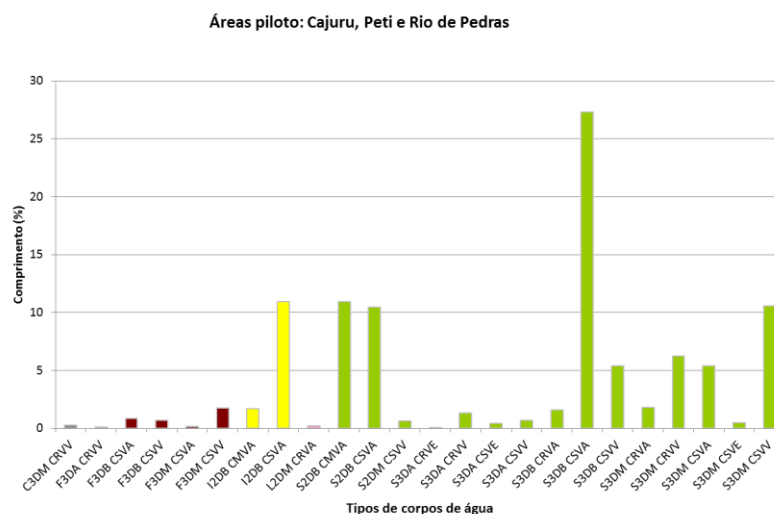


Fonte: os autores.

As áreas piloto abrangidas neste estudo integram duas das cinco ecorregiões aquáticas delimitadas no estado de Minas Gerais (Mapa 2). A bacia de contribuição dos reservatórios Cajuru e Rio de Pedras localiza-se na ecorregião São Francisco, e a de Peti na ecorregião Mata Atlântica Sudeste. Entre os 21 tipos de massas de água identificados no território mineiro, com base na geologia e altitude, seis ocorrem nas

áreas piloto, sendo quatro em Peti, cinco em Cajuru e três em Rio de Pedras. A agregação das variáveis hidromorfológicas, como inclinação, padrão do canal e tipo de vale, resultou em 24 tipos de segmentos lóticos, predominando em ocorrência os que drenam sobre rochas silíceas acima de 800m de altitude, com baixa declividade, em canal sinuoso e vale aberto - tipo S3DBCSVA (Gráfico 3).

Gráfico 3: Ocorrência (%) dos tipos de corpos de água nas áreas piloto de Minas Gerais, Brasil, com base nos grupos litológicos, classes altimétricas e variáveis hidromorfológicas

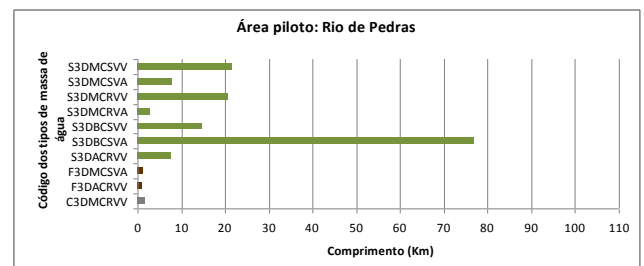
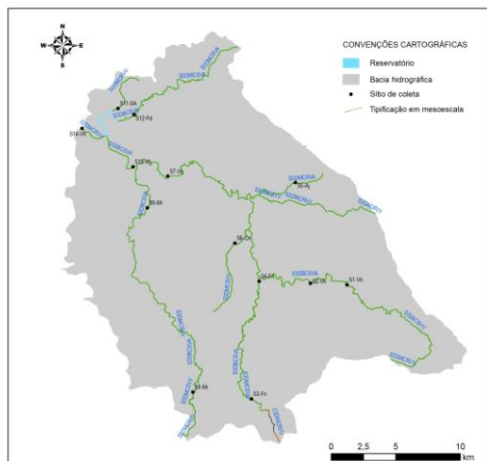
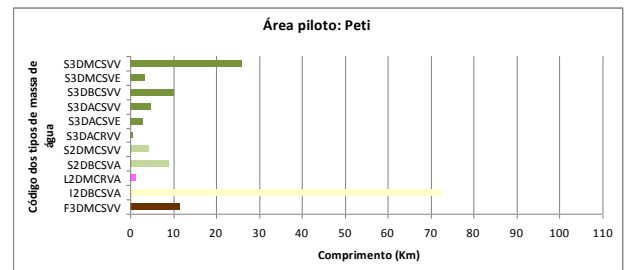
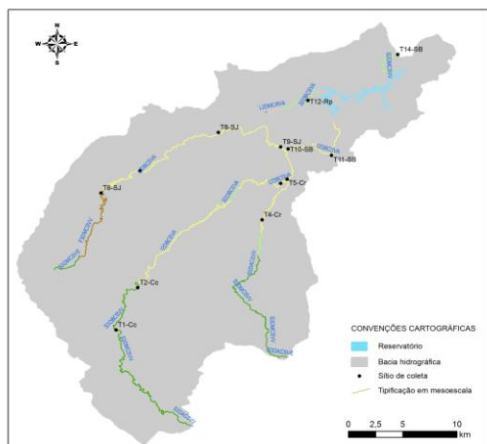
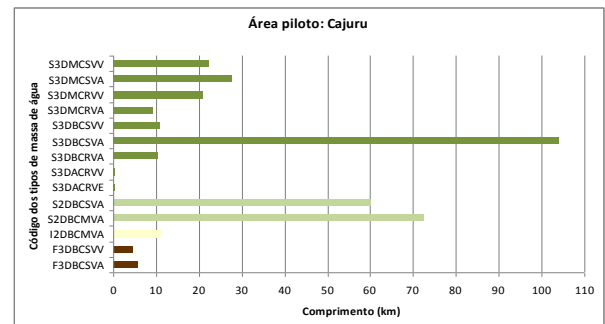
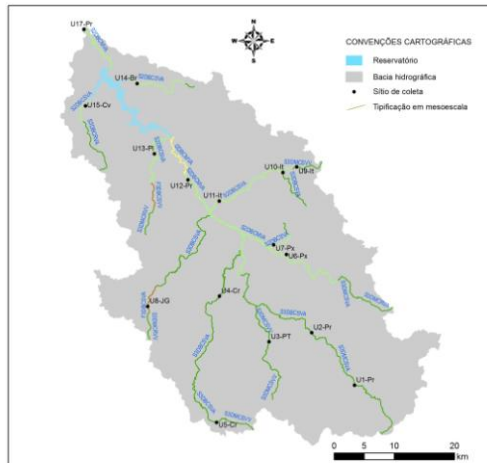


Fonte: os autores.

Os segmentos lóticos do tipo S3DBCSVA totalizam 181km, equivalente a 27,3% dos 662,2km da rede hidrográfica das áreas piloto. Em extensão, também se destacam os tipos I2DBCSVA, S2DBCSVA, S3DBCSVV, S3DMCSVV e S2DBCMVA. Estes drenam de 72,6km a 41,4km sobre sedimento

inconsolidado (I) e rochas silicosas (S), com declividade baixa (DB) e média (DM); canal sinuoso (CS) e meandrante (CM); vale aberto (VA) e em “V” (VV). Os 18 tipos restantes possuem 35,8km a 0,4km de comprimento da rede hídrica das áreas piloto (Figura 4).

Figura 3: Extensão (km) dos tipos de corpos de água identificados nas três áreas piloto, Minas Gerais, Brasil, com base nos grupos litológicos, classes altimétricas e variáveis hidromorfológicas



Fonte: os autores.

Os 42 sítios demarcados para validação da tipificação em mesoescala, 21,43% localizam-se em segmento lótico do tipo S3DBCSVA, 19,05%

do tipo I2DBCSVA e 14,29% do tipo S2DBCSVA (Quadro 3).

Quadro 3: Ocorrência dos tipos de corpos de água identificados nas áreas piloto, Minas Gerais, Brasil

Tipificação dos corpos de água		Ocorrência dos tipos (nº de sítios de amostragem)		
Código	Descrição do tipo	Cajuru	Peti	Rio de Pedras
C3DMCRV V	Segmento lótico sobre rochas carbonáticas acima de 800m de altitude, com média declividade, em canal retilíneo e vale em V			
F3DACRV V	Segmento lótico sobre rochas de filiação básica acima de 800m de altitude, com alta declividade, em canal retilíneo e vale em V			
F3DBCSV A	Segmento lótico sobre rochas de filiação básica acima de 800m de altitude, com baixa declividade, em canal sinuoso e vale aberto	1		
F3DBCSV V	Segmento lótico sobre rochas de filiação básica acima de 800m de altitude, com baixa declividade, em canal sinuoso e vale em V			
F3DMCSV A	Segmento lótico sobre rochas de filiação básica acima de 800m de altitude, com média declividade, em canal sinuoso e vale aberto			
F3DMCSV V	Segmento lótico sobre rochas de filiação básica acima de 800m de altitude, com média declividade, em canal sinuoso e vale em V		1	
I2DBCMVA	Segmento lótico sobre sedimentos inconsolidados entre 500 e 800m de altitude, com baixa declividade, em canal meândrico e vale aberto			
I2DBCSVA	Segmento lótico sobre sedimentos inconsolidados entre 500 e 800m de altitude, com baixa declividade, em canal sinuoso e vale aberto		8	
L2DMCRV A	Segmento lótico sobre sedimentos laterizados entre 500 e 800m de altitude, com média declividade, em canal retilíneo e vale aberto			
S2DBCMV A	Segmento lótico sobre rochas silicosas entre 500 e 800m de altitude, com baixa declividade, em canal meândrico e vale aberto	3		
S2DBCSV A	Segmento lótico sobre rochas silicosas entre 500 e 800m de altitude, com baixa declividade, em canal sinuoso e vale aberto	5	1	
S2DMCSV V	Segmento lótico sobre rochas silicosas entre 500 e 800m de altitude, com média declividade, em canal sinuoso e vale em V		1	
S3DACRV E	Segmento lótico sobre rochas silicosas acima de 800m de altitude, com alta declividade, em canal retilíneo e vale encaixado			
S3DACRV V	Segmento lótico sobre rochas silicosas acima de 800m de altitude, com alta declividade, em canal retilíneo e vale em V			1
S3DACSV E	Segmento lótico sobre rochas silicosas acima de 800m de altitude, com alta declividade, em canal sinuoso e vale encaixado			
S3DACSV V	Segmento lótico sobre rochas silicosas acima de 800m de altitude, com alta declividade, em canal sinuoso e vale em V			

CONTINUAÇÃO				
Código	Descrição do tipo	Cajuru	Peti	Rio de Pedras
S3DBCRV A	Segmento lóxico sobre rochas silicosas acima de 800m de altitude, com baixa declividade, em canal retilíneo e vale aberto			
S3DBCSV A	Segmento lóxico sobre rochas silicosas acima de 800m de altitude, com baixa declividade, em canal sinuoso e vale aberto	3		6
S3DBCSV V	Segmento lóxico sobre rochas silicosas acima de 800m de altitude, com baixa declividade, em canal sinuoso e vale em V	1	2	1
S3DMCRV A	Segmento lóxico sobre rochas silicosas acima de 800m de altitude, com média declividade, em canal retilíneo e vale aberto			
S3DMCRV V	Segmento lóxico sobre rochas silicosas acima de 800m de altitude, com média declividade, em canal retilíneo e vale em V			2
S3DMCSV A	Segmento lóxico sobre rochas silicosas acima de 800m de altitude, com média declividade, em canal sinuoso e vale aberto	1		1
S3DMCSV E	Segmento lóxico sobre rochas silicosas acima de 800m de altitude, com média declividade, em canal sinuoso e vale encaixado			
S3DMCSV V	Segmento lóxico sobre rochas silicosas acima de 800m de altitude, com média declividade, em canal sinuoso e vale em V	2		2
Total de tipos (número de sítios de amostragem)		14	11	10
		24 tipos (42 sítios de amostragem)		

Fonte: os autores.

4. DISCUSSÃO

A metodologia em desenvolvimento mostrou sua aplicação a modelos de classificação de ambientes aquáticos, por agrupar corpos de água com características abióticas relativamente homogêneas. Ajustes foram necessários devido à disponibilidade e às limitações da base de dados e da cartografia, bem como às especificidades do estado de Minas Gerais, em termos morfoclimáticos.

Alguns países, como Alemanha (3 ecorregiões, 25 tipos), Portugal (1 ecorregião e 15 tipos) e Chile (5 ecorregiões, 35 tipos), utilizaram os métodos disponíveis na WFD (Sistema A e B) para as tipificações. Empregando-se o mesmo método para o estado de Minas Gerais, obteve-se 21 tipos abrangidos em cinco ecorregiões aquáticas. Como na Alemanha (AQEM, 2002), Portugal (INAG, 2008) e Chile (CONAMA, 2010), a agregação de variáveis hidromorfológicas para tipificar os

corpos de água, conforme consta no Sistema B da DQA (AQEM, 2002), refinou a discriminação entre os segmentos lóxicos nas áreas piloto Cajuru, Peti e Rio de Pedras. Nos países europeus referenciados, os tipos de massas de água foram identificados por variáveis distintas e validados por fatores bióticos. A DQA flexibiliza a utilização das variáveis do Sistema B, por entender a heterogeneidade ecológica entre os países-membros.

A identificação dos tipos adotada para o estado de Minas Gerais utilizou-se das variáveis do Sistema A, sendo a área de drenagem excluída por não contribuir para a identificação de padrões regionais discriminantes. Ressalta-se que os países citados também adotaram inicialmente o Sistema A, acrescentando e excluindo posteriormente algumas variáveis do Sistema B por meio de análises estatísticas, conforme as peculiaridades de cada país, bem como a disponibilidade dos dados em escala compatível.

As três áreas piloto selecionadas para adequação dos estudos abrangem 0,6 % da área de Minas Gerais. Estas foram representativas em relação aos tipos identificados para o Estado, uma vez que contêm 28,6% das 21 combinações quanto à geologia e altitude, e 13 (27,1%) das possíveis combinações quanto às variáveis hidromorfológicas como inclinação, padrão de canal e tipo de vale. Apesar da pequena representatividade espacial das áreas estudadas, torna-se necessário a ampliação de estudos de tipificação para todas as áreas do Estado, a fim de corroborar para uma abordagem mais integradora da avaliação ecológica dos ambientes aquáticos.

5. CONCLUSÃO

A classificação dos corpos de água de acordo com fatores abióticos é o primeiro passo para a avaliação ecológica dos ambientes aquáticos, com base no conhecimento das especificidades abióticas e bióticas do seu estado natural. Ela mostra a estrutura física em que as comunidades biológicas se desenvolvem para validar esta classificação. O estudo, em desenvolvimento, amplia a compreensão dos processos que afetam e influenciam a estrutura e a dinâmica funcional de ecossistemas de água doce e contribui para a melhoria das metodologias aplicáveis ao acompanhamento, gestão e recuperação destes ambientes.

As abordagens utilizadas do Sistema A e Sistema B possibilitaram diferenciar as massas de água nas áreas piloto. O Sistema A fornece um ponto de partida para identificar os tipos de rios com base nas condições gerais da paisagem e serve como uma primeira base para comparações. Ele permite diferenciar as ecorregiões aquáticas de acordo com as áreas geográficas e, dentro de cada uma delas, diferenciar os corpos de água de acordo com a geologia e a altitude. Para cada tipo, é possível incorporar outros possíveis descritores hidromorfológicos que serão validados em escala de detalhe, por meio dos estudos nos sítios de amostragem.

Este estudo, ainda inacabado, amplia a compreensão dos processos que afetam e influenciam a estrutura e a dinâmica funcional dos ecossistemas de água doce, bem como contribui para a melhoria das ecotecnologias aplicáveis ao

monitoramento, gestão e recuperação desses ambientes. Além disso, amplia as competências e habilidades de grupos de pesquisa para estes atuarem de forma interdisciplinar.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Cemig – Geração e Transmissão (Cemig GT) e à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (P & D), pelo financiamento do projeto, em andamento, "Utilização de Índice de Integridade Ecológica para Classificar a Qualidade de Ambientes Aquáticos de Minas Gerais", do qual este trabalho faz parte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELL, R.; THIEME, M.L.; REVENGA, C.; BRYER, M.; KOTTELAT, M.; BOGUTSKAYA, N.; COAD B.; MANDRAK, N.; BALDERAS, S.C.; BUSSING, W.; STIASSNY, M.L.J.; SKELTON, P.; ALLEN, G.R.; UNMACK, P.; NASEKA, A.N.G.R.; SINDORF, N.; ROBERTSON, J.; ARMIJO, E.; HIGGINS, J.V.; HEIBEL, T.J.; WIKRAMANAYAKE, E.; OLSON, D.; LÓPEZ, H.L.; REIS, R.E.; LUNDBERG, J.G.; PÉREZ, M.H.S.; PETRY, P. Freshwater ecoregions of the world. A new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. **BioScience**, n. 58, p. 403-414, 2008.

AQEM – Assessment system for the ecological quality of streams and rivers throughout Europe using benthic macroinvertebrate. **Manual for the Application of the AQEM System**: a comprehensive method to assess european streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the water framework directive, version 1.0, february Version 1.0. 2002.

BRASIL. **Resolução CNRH Nº. 32, de 15 de outubro de 2003**. Institui a divisão hidrográfica nacional. Brasília: Diário Oficial da União de 17/12/2003.

CASTRO, P.T.A.; LANA, C.E.; FERREIRA, H.L.M., LEITE, M.G.P.L., SOBREIRA, F.G.; BACELLAR, L.A.P. **A avaliação do estado de**

preservação do Alto Rio das Velhas, MG, com base em características físicas do ambiente fluvial. Ouro Preto: DEGEO – UFOP / FAPEMIG, 2005. 239p. Relatório técnico final.

CASTRO, P.T.A.; MELO, M.C.; FERREIRA, H.L.M.; FREITAS, M.D.F.P.P.; CORDEIRO, P.F. Tipificação dos corpos de água em Minas Gerais – ênfase em ambientes lóticos. **Geonorte**, Edição Especial 4, v. 10, n. 1, p. 676-680, 2014.

CONAMA – Comision Nacional del Medio Ambiente. **Clasificación de cuerpos de agua.** Chile: Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 115p. Informe final. Disponível em: http://www.sinia.cl/1292/articles-48828_recurso_1.pdf. Acesso em: 07 abril 2015.

CPRM / COMIG. Serviço Geológico do Brasil / Companhia Mineradora de Minas Gerais. **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais**, escala 1: 1.000.000, 2003.

CPRM. **Serviço Geológico do Brasil.** 2007. Disponível em: www.geobank.cprm.gov.br. Acesso em: 17 out. 2013.

DQA – Directiva da Agua, 2000. Directiva 2000.60.CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23.10.2000. **Jornal Oficial**, n. L 327, p. 001-073, dez. 2000.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Brasil em Relevo** (SRTM). 2003. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/>. Acesso em: 02 fev. 13.

FERREIRA H.L.M.; CASTRO P.T.A. Avaliação ecomorfológica de segmentos e trechos fluviais – aplicação da abordagem rápida no alto curso da bacia do rio das Velhas/MG, Brasil. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA. Área técnica: Geologia Ambiental, 12., 2005. Quito. **Anais...** Quito/Equador, 2005a. 5p. (CD- ROM)

_____; _____. Ecomorphological analysis of fluvial habitats of the upstream part of rio das Velhas/MG, Brazil. In: INTERNATIONAL

SYMPOSIUM ON LAND AND DESERTIFICATION, Session: S2 – Rivers, Fluvial Systems and Land Degradation, 2005, Uberlândia. **Proceeding...** Uberlândia/MG, Brazil, 2005b. 8p. (CD-ROM)

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Portal de mapas.** 2012. Disponível em: <http://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#home> page. Acesso em: 15 dez.13.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. 2009. Disponível em: http://www.igam.mg.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=89&Itemid=146%29. Acesso em: 20 jul.14.

INAG. Instituto da Água I.P. **Tipologia de rios em Portugal Continental no âmbito da implementação da Directiva Quadro da Água.** I-Characterização abiótica. Ministério do Ambiente, do ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Instituto da Água. 2008. 39 p. Disponível em: www.drapc.min-agricultura.pt/base/documentos/caracterizacao_rios_am53.pdf. Acesso em: 03 fev.13.

JUNQUEIRA, M.V.; FERREIRA, H.L.M.; CAMPOS, M.C.S. **Padronização e consolidação metodológica de um índice biótico de qualidade de água para ambientes lóticos:** bacia do rio Paraíba do Sul. Belo Horizonte: CETEC/FAPEMIG, 2007. 106p. Anexos. Relatório técnico final.

LOBATO, L.M.; ACHSTSCHIN, A.B.; BAARS, F.J.; BALTAZAR, O.F.; TIMBÓ, M.A.; REIS, L.B.; VOLL, E.; VOLL, K.; SILVA, S.L.; BERNI, G.V.; SILVEIRA, V.D.; MENDONÇA, B.R.V.; FERREIRA, D.V. **Geologia do Quadrilátero Ferrífero** – Integração e Correção Cartográfica em SIG. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, CODEMIG, 2005. 1 CD-ROM

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes,

e dá outras providências. Diário do Executivo "Minas Gerais" de 05/2008.

PARSONS, M.; THOMS, M.; NORRIS, R. Australian river assessment system: AusRivAS physical assessment protocol. **Monitoring river health initiative technical. Report number 22.** Canberra: Commonwealth of Australia and University Canberra, 2002. 116pp. Disponível em: http://ausrivas.canberra.edu.au/geoassessment/p_hyschem/man/propotocol/chapter1b.html Acesso em: 05 maio 2004.

SCHUMM, S.A. The sinuosity of alluvial rivers. **Geol. Soc. America Bulletin**, v. 74, p.1089-1100, 1963.

SILVA, A. G.; FERREIRA, H.L.M.; MELO, M.C. **Estudo da estrutura da comunidade ictiofaunística e dos habitats fluviais da Bacia do Rio Jequitáí/MG, com Interesse para a conservação.** Belo Horizonte: CETEC / FAPEMIG, 2005. 150p. Relatório técnico final.

SOMMERHÄUSER, M.; CASTRO P.T.A., MELO, M.C.; MOURA, L.C.; FERREIRA, H.L.M.; MEYER, S.T.; JUNQUEIRA, M.V. Kooperationsprojekte im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie in Südamerika – Bewertungs - und Entwicklungskonzepte für die Flussgebiete Rio das Velhas und Paraopeba in Minas Gerais, Brasilien. Manuskript für KW - Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2011.