

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS DE DRENAGEM INCREMENTAIS UTILIZANDO BASE HIDROGRÁFICA OTTOCODIFICADA E MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

Alessandro Ribeiro Campos¹ Katiane Cristina de Brito Almeida² & Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira³

RESUMO - Este estudo teve como objetivos aplicar técnicas automatizadas para delimitação de bacias hidrográficas e áreas incrementais e realizar a caracterização topográfica das áreas incrementais identificadas para as estações de monitoramento. Foram selecionadas as estações de monitoramento de qualidade das águas operadas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM na bacia do rio das Velhas, MG. Para delimitação das áreas de drenagem incremental das estações foi utilizada a base hidrográfica ottocodificada e linguagem SQL. A análise topográfica das áreas de drenagem incremental foi realizada por meio do modelo digital de elevação MDE-SRTM (90 metros). Foram gerados mapas e tabelas individualizando as características topográficas do terreno segundo área de drenagem incremental as estações monitoradas. A utilização da ottocodificação constitui uma possibilidade metodológica para delimitação de bacias e de áreas de drenagem incremental possibilitando o aperfeiçoamento do sistema de informação e apoio a gestão de recursos hídricos.

ABSTRACT

This study aims to apply techniques for automated delineation of watersheds and incremental areas and to characterize the topographical incremental areas identified for the monitoring stations. Monitoring stations for the quality of water operated by Minas Gerais Institute of Water Management (IGAM) in the Rio das Velhas basin, Minas Gerais, were selected. The incremental drainage areas of the base stations were delimited by Otto Pfafstetter's basin codification and the SQL language. The topographic analysis of the incremental drainage areas was performed using a digital elevation model MDE-SRTM (90 meters). Maps and tables were generated individualizing the topographic characteristics of the incremental drainage areas. The use of the Otto Pfafstetter's basin codification is a methodological possibility to delimit basins and incremental drainage areas, enabling the improvement of information system and support to the water resources management.

Palavras-Chave: Ottocodificação, Drenagem Incremental e SQL

¹ Geógrafo, Mestrando no Programa Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais no IGC/UFMG, Analista ambiental na Fundação Estadual de Meio Ambiente -FEAM. Tel: 31-3915-1211 e-mail: alessandro.campos@meioambiente.mg.gov.br

² Bióloga, Mestranda no Programa de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da EE/UFMG, Analista ambiental no Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM. Tel: 31-3915-1155 e-mail: katianebritto@meioambiente.mg.gov.br

Endereço: Cidade Administrativa - Edifício Minas 1º andar. Rodovia Prefeito Américo Gianetti, s/n - Bairro Serra Verde. Belo Horizonte/MG 31.630-900.

³ Engenheira Eletricista, Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Professora do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental DESA/UFMG, e-mail: silvia@desa.ufmg.br

INTRODUÇÃO

O efetivo gerenciamento de recursos hídricos implica a constante avaliação da quantidade e qualidade da água simultaneamente, a fim de que se conheça adequadamente o estado dos recursos hídricos, seu potencial e os possíveis problemas agregados de contaminação e poluição. A gestão dos recursos hídricos tem nas bacias hidrográficas uma estratégia que visa proteger e restaurar a qualidade ambiental e, conseqüentemente, os ecossistemas aquáticos. O monitoramento é o primeiro passo importante para a elaboração de um banco de dados confiável e adequado para que possa ser útil ao planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos [Tundisi (2011)].

Diversas questões devem ser consideradas a fim de permitir uma caracterização efetiva de bacias hidrográficas, incluindo a hidrografia, declividade, cobertura vegetal, etc. No entanto, o primeiro passo para essa caracterização consiste na identificação de seus limites físicos que, por sua vez, estão associados ao relevo da bacia. A utilização de modelos digitais de elevação (MDE) na delimitação das bacias hidrográficas vem trazendo benefícios significativos para a gestão dos recursos hídricos, sendo descrita na literatura recente a aplicação do MDE em estudo de fontes de poluição difusa em bacia hidrográfica [Yang e Jin (2010)] e na caracterização de escoamentos superficiais em áreas degradadas de mineração [Yenilmez *et al.* (2010); Acosta *et al.* (2011)]. Rossato (2011) ainda pontua que as informações encontradas a partir de MDE, tais como a declividade, podem ser usadas direta ou indiretamente em muitos modelos de estimativa de escoamento.

A utilização dos Sistemas de Informação Geográfica – SIG permite integrar informações de dados cartográficos, cadastrais de diferentes naturezas, variáveis ambientais, dentre outros, através de um banco de dados relacional: os Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados – SGBD. Assim, os SIG são utilizados como ferramenta de análise espacial, na modelagem e simulação de cenários, como subsídio à elaboração de alternativas para a decisão da política de uso e ocupação do solo, ordenamento territorial, equipamentos urbanos e monitoramento ambiental, entre outras aplicações complexas, que envolvem diferentes componentes dinâmicos [Mota (1999)].

A espacialização das informações referentes à gestão de recursos hídricos esteve durante muitos anos deficitária, devido à falta de sistematização de dados, acarretada muitas vezes, pela ausência de uma base hidrográfica consistente, que permitisse o desenvolvimento de sistemas computacionais de apoio às tomadas de decisões na gestão das águas. Nesse contexto, foi desenvolvido pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), órgão gestor estadual de recursos hídricos, em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), uma base otocodificada de dados espaciais referentes à rede hidrográfica do estado de Minas Gerais [Pfafstetter (1989) apud Ribeiro *et al.* (2011)].

A construção da base hidrográfica ottocodificada consiste de um conjunto de processos para tratamento topológico da rede hidrográfica, com base na codificação de bacias de Otto Pfafstetter (1989) e que permite associar e extrair informações a jusante e a montante de cada trecho da rede (Teixeira *et al.*, 2007). Esta base hidrográfica, constituída por um conjunto de informações agregadas e discretizadas por trecho de curso d'água tendo como referência a sua área de contribuição, permite a otimização de técnicas de modelagem e de tratamento dos dados geoespaciais de uma rede hidrográfica. Assim, a base ottocodificada tem o objetivo de gerar tabelas topológicas da rede hidrográfica em qualquer escala, de forma que a cada trecho vetorial da rede hidrográfica é atribuído uma série de códigos relacionáveis (ANA, 2006).

O uso da metodologia da base ottocodificada vem possibilitando o aperfeiçoamento do sistema de informação de apoio à decisão no gerenciamento dos recursos hídricos de Minas Gerais, voltado para atividades de controle, como outorga [Campos (2011)], e gestão de carga poluidora [Campos (2011)]. Mas segundo Ribeiro *et al.* (2011), consolidar a utilização da rede hidrográfica ottocodificada em atividades de monitoramento, enquadramento e localização dos usuários de água ainda é um grande desafio.

Embora o processo de delimitação de bacias hidrográficas e áreas incrementais com base em MDE (como imagens SRTM e ASTER) seja um processo normalmente efetuado no ambiente SIG com relativa simplicidade, haja vista a existência de funcionalidades para esse fim já implementadas em pacotes como o ArcGIS (® ESRI) e suas extensões (como HEC-HMS), também é possível efetuar e automatizar esse processo fora dos SIG por meio da base hidrográfica ottocodificada e da utilização da linguagem SQL (Structured Query Language).

O presente trabalho teve como objetivos aplicar técnicas automatizadas para delimitação de bacias hidrográficas e áreas incrementais utilizando base hidrográfica ottocodificada e linguagem SQL e utilizar o MDE para caracterização topográfica das áreas incrementais identificadas para as estações de monitoramento de qualidade das águas superficiais operadas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM na bacia do rio das Velhas.

METODOLOGIA

Área de estudo

Localizada na região central do Estado de Minas Gerais (Figura 1), a Bacia do Rio das Velhas compreende uma área de 27.867,2 km². A bacia apresenta uma largura média de 38,3 km e o curso principal do Rio das Velhas ocupa uma extensão de 716 km. Seu território abrange 51 municípios,

sendo que 14 estão parcialmente contidos na bacia e 15 estão localizados na Região Metropolitana de Belo Horizonte. O rio das Velhas é um dos principais afluentes do rio São Francisco e tem sua nascente dentro do Parque Municipal das Andorinhas a uma altitude de aproximadamente 1.500 m, município de Ouro Preto, e deságua no rio São Francisco, na Barra do Guaicuí, município de Várzea da Palma, a uma altitude de 500m.

O rio das Velhas é dividido em trechos, segundo os cursos alto, médio e baixo [Guimarães (1953)]. O Alto rio das Velhas compreende toda a região denominada Quadrilátero Ferrífero e apresenta o maior contingente populacional, com uma expressiva atividade econômica, concentrada, principalmente, na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), onde estão presentes os maiores focos de poluição de toda a bacia. Os principais agentes poluidores são os esgotos industriais e domésticos e os efluentes gerados pelas atividades minerárias. Os trechos Médio e Baixo rio das Velhas possuem características diferenciadas em relação ao uso e ocupação do solo do alto trecho, apresentando uma menor concentração populacional, com o predomínio das atividades agrícolas e pecuárias. Essas atividades contribuem para processos de erosão na região, pois há um grande percentual de área mecanizada. As atividades agrícolas comprometem a qualidade da água devido à utilização de insumos [IGAM (2010)].

A rede de monitoramento selecionada para o estudo foi composta por 50 estações de monitoramento da qualidade das águas superficiais na bacia do rio das Velhas operadas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM. Optou-se por analisar todas as estações de monitoramento existentes e em operação que compõem rede básica do IGAM e todas as estações que compõem a rede dirigida que estão em operação há mais de dez anos.

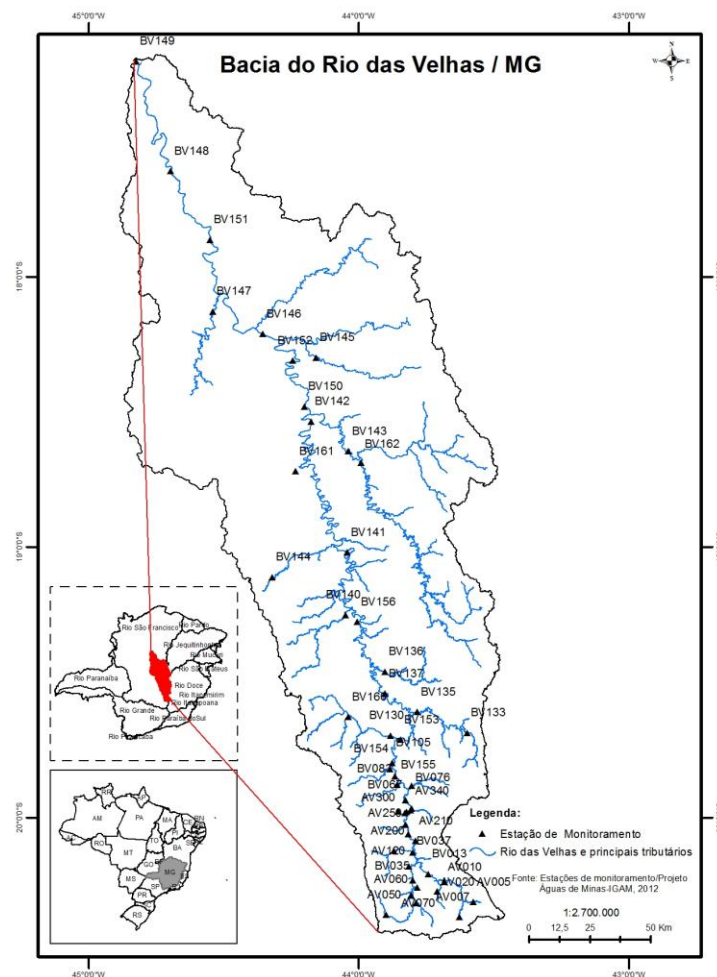


Figura 1 - Rede hidrográfica ottocodificada da bacia do rio das Velhas (MG) com a localização das estações de monitoramento de qualidade das águas do IGAM

Dados

O conjunto de bases de dados utilizadas no desenvolvimento desse estudo foi composto por:

- a base hidrográfica ottocodificada da bacia do Rio das Velhas, de escala 1:50.000 e 1:100.000, composta da base vetorial (cursos d'água e ottobacias) no formato *Shape* integrada à base alfanumérica de atributos armazenada no SGBD Microsoft Office Access (® Microsoft);
- a base dos pontos de monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia do rio das Velhas composta por 50 estações de monitoramento no formato *Shape* integrada à base alfanumérica de atributos também armazenada no SGBD Microsoft Office Access (® Microsoft);
- imagens SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) da bacia do Rio das Velhas com precisão horizontal de três segundos de arco (~90 m) e precisão vertical de um metro. Os dados altimétricos foram obtidos por interferometria radar da missão espacial SRTM da NASA

(National Aeronautics and Space Administration) realizada em Fevereiro de 2000, objetivando o levantamento altimétrico da superfície terrestre continental.

Tratamento dos dados

Após aquisição das bases vetoriais, foi necessário atribuir aos pontos das estações de monitoramento da qualidade das águas a ottocodificação do trecho de curso d'água correspondente. Para isso, utilizando o software ArcGIS (versão 10.1), as bases vetoriais foram sobrepostas e utilizada a cláusula *Intersect* do módulo de consultas espaciais para consistir a localização dos pontos em relação aos curso d'água com base na descrição locacional (registro da tabela de atributo das estações que descreve a localização do curso d'água através de referencias espaciais e nominais) associada. Consistidos os pontos das estações, esses receberam os atributos da base hidrográfica ottocodificada por meio da cláusula *Spatial Join* baseada na interseção dos grafos, possibilitando assim a integração entre as bases fora do ambiente do SIG através da estruturação de consultas utilizando a SQL não limitada pelo software, bem como automatização de processos pela programação em VBA (Visual Basic for Applications), ambas linguagens disponíveis no *Microsoft Office Access*.

Os trabalhos no ambiente do SGDB que resultaram na delimitação das áreas de drenagem incremental correspondente a cada estação de monitoramento foram divididos em duas etapas:

1. **Identificação dos trechos ottocodificados a montante de cada estação:** a identificação foi possibilitada por uma *query* entre duas tabelas de atributos cujo relacionamento retornava apenas os registros coincidentes e como condição os registros superiores ao ponto (operador lógico booleano $\geq$), mas dentro da mesma bacia (cláusula *Like*). A consulta retornou o código da estação de monitoramento para cada trecho ottocodificado;
2. **Identificação e delimitação dos trechos ottocodificados correspondentes à área de drenagem incremental de cada estação:** com a devida identificação da bacia a montante de cada estação, foi estruturada uma consulta utilizando sub-grupos da linguagem SQL: DML – Linguagem de Manipulação de Dados (*Select*, *Update*, *Delete*), DQL – Linguagem de Consultas de Dados (*From*, *Where* e operadores lógicos booleanos), segundo condição hierárquica, para identificar apenas os trechos em que não há sobreposição. Para garantir essa condição hierárquica (o processo deve executar a delimitação da área de uma estação por vez, iniciando da foz), foi criada uma rotina utilizando programação VBA para executar o processo.

Como resultado, obteve-se uma nova tabela de atributos com a identificação da área de drenagem incremental que cada trecho ottocodificado pertence, sem sobreposições.

Com a identificação dos trechos das áreas de drenagem incremental, retornou-se ao ambiente SIG (ArcGIS), onde os trechos foram associados às ottobacias e essas dissolvidas (função *Dissolve*) com base no registro do código do ponto correspondente, formando assim polígonos representativos das áreas.

A análise topográfica das áreas de drenagem incremental foi realizada por meio do modelo digital de elevação SRTM (90 metros). Foi necessária a eliminação de todas as depressões indevidas (depressões espúrias) geradas durante o procedimento de geração da imagem. Esse processo foi executado utilizando a ferramenta *Fill* da extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS. Após a eliminação desses ruídos, foram extraídas as estatísticas descritivas de altitude segundo área incremental. Para caracterização da declividade do terreno, foi utilizada a ferramenta *Slope* da extensão *3D Analyst* do ArcGIS, resultando na representação matricial da declividade em percentual e seguindo a geração das estatísticas descritivas.

Por fim, após análise, os resultados foram consolidados em tabelas de estatísticas descritivas e mapas das áreas incrementais identificadas para as estações de monitoramento de qualidade das águas superficiais e das características de altimetria e declividade associadas a cada uma das estações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O principal resultado obtido pela execução da metodologia proposta foi a identificação e delimitação espacial das áreas de drenagem incrementais das estações de monitoramento de qualidade das águas na bacia do rio das Velhas. A partir dessa delimitação, foi possível individualizar a caracterização topográfica da bacia segundo as áreas de drenagem superficial contribuintes às estações, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas da caracterização topográfica das áreas de drenagem incremental das estações de monitoramento de qualidade das águas na bacia do rio das Velhas (MG)

Área de Drenagem Incremental	Área (km ²)	Declividade (%)		Altitude (m)	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
AV005	73,6	21,8	10,9	1199,4	108,6
AV007	40,6	23,4	11,7	1245,6	91,1
AV010	198,0	20,9	11,0	1133,4	133,8
AV020	107,1	15,0	8,0	1071,0	96,8
AV050	77,7	18,9	10,5	1256,8	104,0
AV060	57,4	15,2	7,7	1082,3	99,0
AV070	114,6	20,5	10,4	1140,0	124,6
AV080	6,1	15,2	6,8	988,5	45,2
AV120	10,2	23,0	12,4	1099,9	175,8
AV200	178,5	15,4	9,0	1307,6	84,6
AV210	111,9	20,9	10,8	1024,8	167,8
AV250	131,2	20,3	10,5	1091,1	164,7
AV300	32,5	23,0	12,4	975,0	110,4
AV320	5,7	17,8	9,1	863,5	46,0
AV340	110,7	22,9	11,8	1100,7	187,3
BV013	126,7	17,8	9,6	1045,3	128,3
BV035	214,9	19,8	10,1	1075,2	119,0
BV037	175,6	21,8	10,5	1024,0	164,8
BV062	55,1	21,6	10,3	1060,6	151,9
BV063	83,9	21,1	10,7	927,7	146,1
BV067	32,7	22,8	9,9	925,3	114,5
BV076	236,9	21,1	10,4	1002,9	126,3
BV083	91,0	20,7	10,2	840,4	99,9
BV105	44,8	16,7	8,8	832,3	119,9
BV130	622,4	11,8	6,6	831,0	70,7
BV133	292,1	16,4	9,4	1031,6	94,1
BV135	495,6	18,2	10,6	947,2	183,0
BV136	563,9	12,8	8,4	842,6	170,4
BV137	511,8	13,5	8,5	789,1	109,3
BV139	20,7	18,7	8,9	867,9	92,9
BV140	562,7	9,1	6,2	765,0	72,6
BV141	1121,0	9,0	6,8	717,0	81,2
BV142	2846,4	6,8	4,6	663,8	66,8
BV143	1817,2	13,9	10,2	1097,5	148,7
BV144	109,3	12,9	8,9	842,7	80,9
BV145	706,0	13,4	10,8	1023,0	276,7
BV146	1707,2	10,0	9,9	906,6	292,1
BV147	2145,1	6,6	5,2	690,8	98,4
BV148	1651,0	7,2	7,4	759,0	208,7
BV149	1514,4	5,5	7,4	605,1	139,2
BV150	588,9	12,2	9,7	829,5	259,6
BV151	3519,6	9,1	8,4	822,0	244,0
BV152	398,4	5,5	4,7	599,9	61,2
BV153	131,7	12,7	7,7	767,1	67,5
BV154	210,5	9,2	5,2	833,2	51,2
BV155	207,3	12,8	8,9	963,9	119,1
BV156	796,9	9,0	6,2	724,1	57,5
BV160	176,8	12,6	8,0	843,8	63,8
BV161	679,5	5,5	3,0	672,6	54,5
BV162	2168,6	15,0	11,9	981,7	272,3

Áreas Incrementais

Foram delimitadas 50 áreas, representativas dos limites da drenagem superficial contribuinte para cada uma das 50 estações de monitoramento na bacia do rio das Velhas (Figura 2), por meio da dissolução das ottobacias associadas aos trechos de curso d'água incrementais identificados pelo algoritmo da pesquisa.

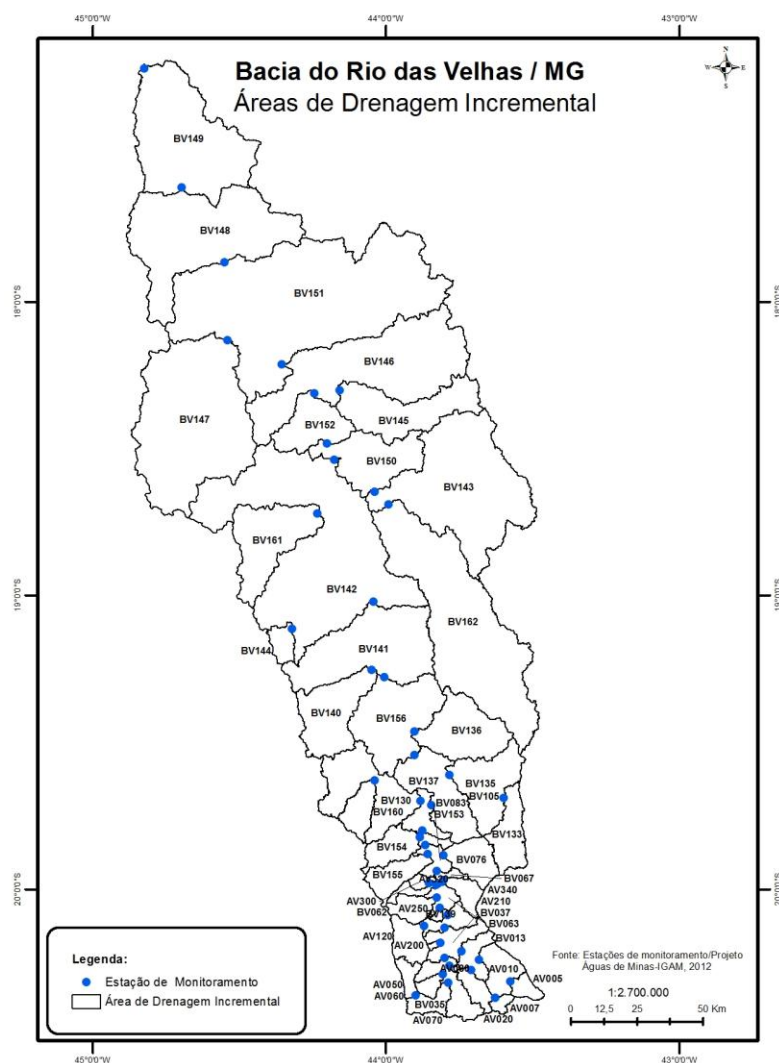


Figura 2 – Áreas de drenagem incremental das estações de monitoramento de qualidade das águas do IGAM do rio das Velhas (MG)

Os dados apresentados na tabela 1 indicam a dimensão espacial de tais áreas, no que diz respeito ao tamanho da área de contribuição de cada estação.

A maior área de contribuição incremental corresponde à estação BV151, com 3.519 km², seguida da BV142, BV162, BV147 e BV143, respectivamente com 2.846 km², 2168 km², 2.145 km² e 1.817 km², todas localizadas em trechos de menor densidade de estações. Por outro lado, as estações com menor área de contribuição são: AV120, com 10 km², AV080, com 6 km², e AV320, com 5 km², estações que compõem a rede específica de monitoramento do Alto Rio das Velhas, o que resulta em maior densidade de estações por unidade de área.

De maneira geral, verifica-se que as estações com maior área incremental estão localizadas no trecho baixo da bacia do rio das Velhas, região com menor concentração populacional e com predomínio de atividades agrícolas e pecuárias. Já as estações de monitoramento do trecho alto da bacia, onde fica localizada a RMBH, apresentaram as menores áreas de drenagem incrementais.

Altimetria

A Figura 3, a seguir, apresenta as áreas de drenagem incrementais das estações de monitoramento da bacia objeto de estudo segundo classes hipsométricas obtidas a partir do MDE.

Como mostrado na Tabela 2 e Figura 3 a maior parte da bacia em estudo (70%) encontra-se em áreas com cotas de altitudes compreendidas entre 600 a 950 m de elevação, indicando a predominância de áreas com terreno relativamente plano e pouco acidentado e, desta forma, favorável ao uso agropecuário, uso marcante na região, sobretudo do Baixo rio das Velhas. As estatísticas descritivas dos dados altimétricos da bacia segundo área de drenagem incremental mostrados na tabela 1, indicam que cerca de 40% das estações recebem drenagem incremental superficial de áreas com mais de 1.000 metros de elevação, e estão localizadas no Alto rio das Velhas, no leste da bacia e em parte do norte (Serra do Cabral), regiões geomorfológica e estruturalmente distintas.

Tabela 2 – Área ocupada pelas classes hipsométricas na bacia do Rio das Velhas

Classes hipsométricas	Intervalos hipsométricos	Área (km²)
1	Menor 650 m	7.347,81
2	651 a 800m	8.166,26
3	801 a 950m	4.026,43
4	951 a 1150m	8.280,35
5	1151 a 1900m	60,19

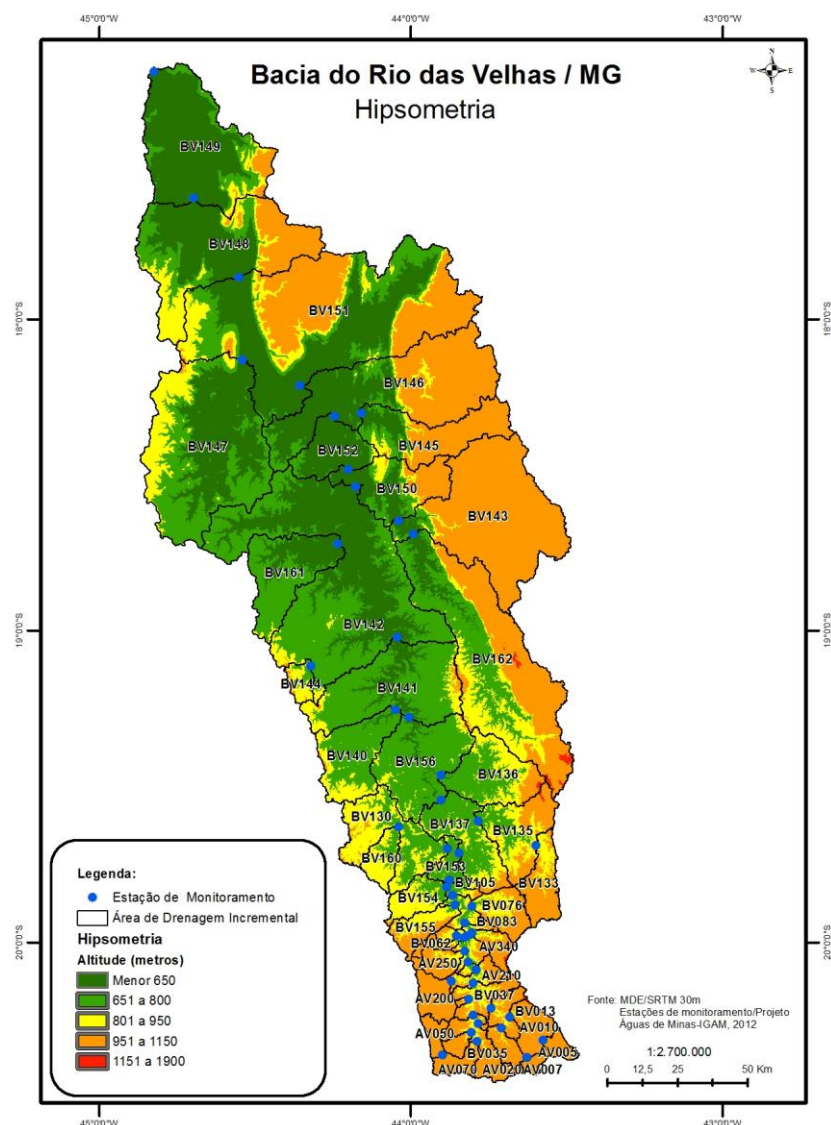


Figura 3 – Hipsometria das áreas de drenagem incremental das estações de monitoramento de qualidade das águas do IGAM do rio das Velhas (MG)

Declividade

A análise da declividade, também proveniente do MDE utilizado, permite a avaliação da associação dos diferentes graus de inclinação do terreno com, dentre outros, a grandeza do escoamento superficial e dessa forma, da potencialidade dos processos erosivos, e desses com a as características físico-químicas da água registradas nas estações de monitoramento.

A classificação das declividades que ocorrem na bacia (Tabela 3 e Figura 4) indica que 30% das estações recebem drenagem incremental superficial de áreas com mais de 20% de declividade, estando estas localizadas no Alto rio das Velhas. Ressalta-se que nesta região estão presentes os maiores focos de poluição de toda a bacia, em virtude da presença de esgotos industriais e domésticos e dos efluentes

gerados pelas atividades minerárias. As áreas incrementais de menor declividade (até 8%) estão localizadas no Baixo rio das Velhas.

Tabela 3 - Área ocupada pelas classes de declividade do terreno na bacia do Rio das Velhas

Classes de declividade do terreno	Intervalos de declividade do terreno	Área (km ²)
1	Menor 3%	4356,93
2	3 a 8%	9536,39
3	8 a 20%	10264,38
4	20 a 45%	3484,52
5	Maior 45%	237,42

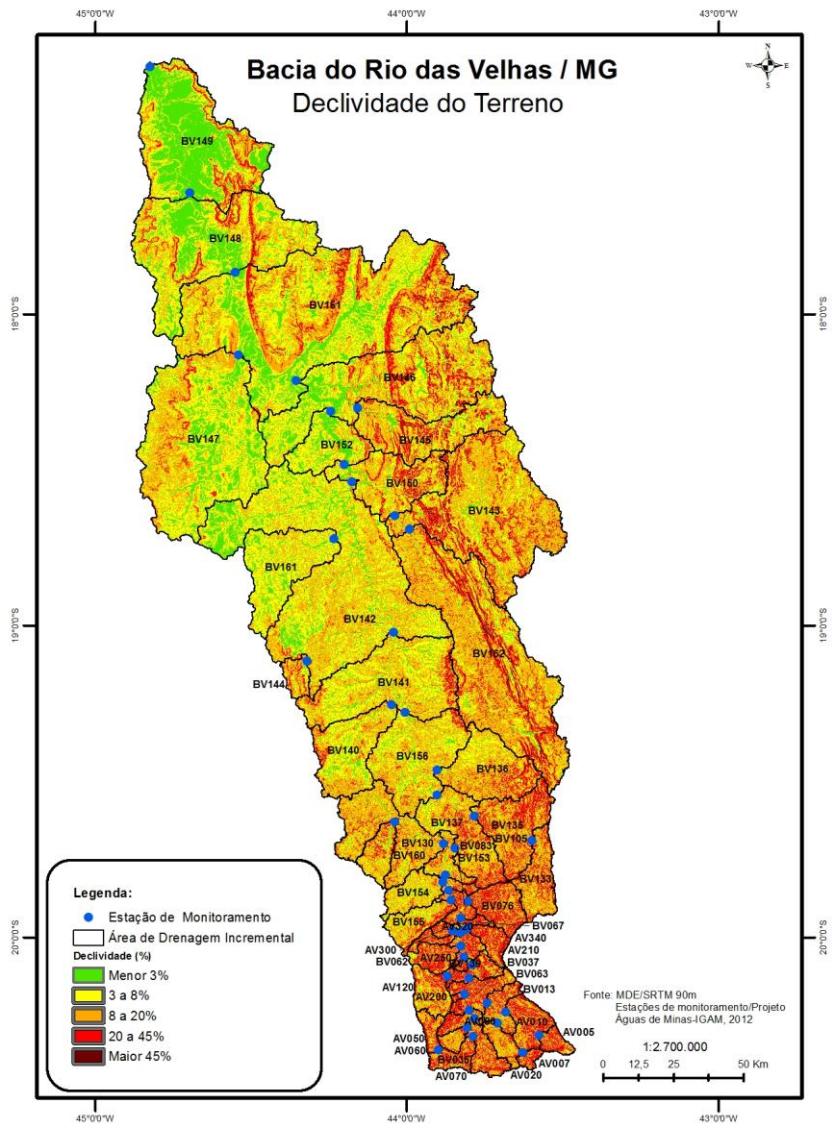


Figura 4 – Declividade do terreno das áreas de drenagem incremental das estações de monitoramento de qualidade das águas do IGAM do rio das Velhas (MG)

CONCLUSÕES

A utilização da ottocodificação constitui uma possibilidade metodológica para delimitação de bacias e de áreas de drenagem incremental através da estruturação de consultas em ambiente de banco de dados geográficos baseadas na linguagem *SQL*. A aplicação dessa metodologia permite também a integração da base hidrográfica modelada e os eventos que ocorrem ao longo de sua estrutura e as características do terreno, constituindo assim uma ferramenta facilitadora das análises sobre as características de qualidade da água registradas nas estações de monitoramento da bacia hidrográfica.

A análise referente aos dados hipsométricos, dentro da bacia, permitiu a individualização do conhecimento das variações altimétricas segundo área incremental de cada estação, possibilitando uma adequada compreensão do comportamento do relevo e os processos a ele relacionados, aos quais as estações se associam. A declividade do terreno associada às áreas de drenagem incremental permite realizar análises da influência do terreno sobre parâmetros aferidos nas estações de monitoramento, tendo em vista a influência desse atributo sobre o fluxo da água, ou seja, sobre a velocidade com que se dá o escoamento superficial e sub-superficial.

Por fim, o uso das geotecnologias, como demonstrado neste estudo, apoiando a administração dos recursos naturais, além de reduzir consideravelmente os custos pode garantir a preservação e a conservação ambiental, conseqüentemente o desenvolvimento sustentável da bacia, criando meios mais eficazes para a tomada de decisão dos gestores.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) por terem disponibilizado a base de dados, viabilizando esse estudo.

BIBLIOGRAFIA

ACOSTA, J. A., A. FAZ, *et al.* (2011). “*Multivariate statistical and GIS-based approach to evaluate heavy metals behavior in mine sites for future reclamation*”. *Journal of Geochemical Exploration* 109(1-3): 8-17.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2006). *Topologia hídrica: método de construção e modelagem da base hidrográfica para suporte à gestão de recursos hídricos: manual versão 1.11*. Brasília, DF.

CAMPOS, A.R (2011). “*Utilização do modelo de ottocodificação para integração de bases e gestão de bacias hidrográficas*” in *Anais do VII Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, Poços de Caldas / MG, Jun. 2011, CD*.

EGENHOFER, M (1994). *Spatial SQL: A Query and Presentation Language*. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, New York-USA, 95 p.

GOOLDCHILD, M. F. (2005). *Geographical Information Systems and Science*. 2ª edição. John Wiley&Sons Chichester, Inglaterra, 537 p.

GUIMARÃES, A. P.(1953) *Paisagem física do Rio das Velhas*. Dissertação (Mestrado em Geologia). UFMG. Belo Horizonte, MG.

GUTING, R.H.(1994). “*An Introduction to Spatial Database Systems*”. VLDB Journal, 3(4), October, pp. 67-95.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. (2010) *Relatório Monitoramento da Qualidade das águas Superficiais da Bacia do Rio das Velhas 2009*. Belo Horizonte, MG.

LORANDI, R.; CANÇADO, C.J. (2002). “*Parâmetros Físicos para o gerenciamento de bacias hidrográficas*. In: *Conceito de bacia hidrográfica; teorias e aplicações*”. Orgs: A. Schiavetti e A.F.M. Camargo, Editus, Ilhéus, BA, pp. 142 – 187

MOTA, S (1999). *Preservação e conservação de recursos hídricos*. 2ª edição. Rio de Janeiro: ABES, 198 p.

PFAFSTETTER, O (1989). *Classificação de bacias hidrográficas – metodologia de codificação*. DNOS, Rio de Janeiro, RJ, 150 pag., *apud* RIBEIRO, J.A.R., *et al*. A contribuição da base hidrográfica digital ottocodificada para a construção de sistemas de apoio à decisão (SAD) in Anais do XIV World Water Congress, Pernambuco, Brasil. Set.2011.

RIBEIRO, J.A.R *et al* (2011). “*A contribuição da base hidrográfica digital ottocodificada para a construção de sistemas de apoio à decisão (SAD)*” in Anais do XIV World Water Congress, Pernambuco, Brasil. Set.2011.

ROSATTO, H.G (2011). *Runoff estimation in small rural watersheds using DEMS in North West of Argentina*. Soil & Tillage Research 112 : 8–17.

SOARES-FILHO, B.S (2000). *Modelagem de dados espaciais*. UFMG – Departamento de Cartografia / Centro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, MG, 98 p.

YANG, X. and W. JIN (2010). “*GIS-based spatial regression and prediction of water quality in river networks: A case study in Iowa*”. Journal of Environmental Management 91(10): 1943-1951, pp. 9 – 20.

YENILMEZ, F., N. KURTER, *et al*. (2010). “*Evaluation of pollution levels at an abandoned coal mine site in Turkey with the aid of GIS*”. International Journal of Coal Geology, 86(1): 12-19.