

MODELO DE ANÁLISE ESPACIAL PARA AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE À DEGRADAÇÃO DAS ÁGUAS NA BACIA DO RIO DAS VELHAS/MG.

Ciro Lótfi Vaz¹; Antônio Pereira Magalhães Júnior²; Ana Clara Mourão Moura³.

Resumo – As informações acerca das pressões e do estado dos recursos hídricos são elementos indispensáveis à sua gestão, pois englobam categorias de indicadores que permitem a transmissão de informações simplificadas aos diversos níveis da sociedade e aos decisores. O presente trabalho está inserido no contexto de utilização de indicadores ambientais que forneçam informações sobre a suscetibilidade à degradação das águas, através da formulação de uma modelagem de análise espacial multicritério. A utilização de indicadores ambientais em análises multicritérios pode auxiliar o processo de tomada de decisão, pois ambos buscam sintetizar dados e informações complexas e multidimensionais. A proposição do modelo para a avaliação da suscetibilidade à degradação da qualidade das águas da Bacia do Rio das Velhas apresentou-se de maneira eficaz. As correspondências apresentadas entre as informações dos sub- modelos elaborados e as informações sobre o estado dos recursos hídricos apresentados pelos dados de qualidade das águas, afirmaram a validade da utilização de indicadores ambientais para a análise das influências dos elementos de uso e cobertura do solo sobre o estado das águas. O mapa final foi validado através de análises estatísticas de correlação, apresentando correlações em sintonia com as variações observadas junto aos valores de qualidade das águas.

Palavras- Chave – Análise Multicritérios; Qualidade da Água; Uso e Cobertura do Solo.

Abstract - The information about the pressures and the state of water resources are indispensable elements for its management, because contain categories of indicators that allow the transmission of simplified information at various levels of society and to decision makers. The present work is inserted on the user context of environmental indicators that provide information about water degradation susceptibility, through the formulation of a multicriteria spatial modeling analysis. The environmental indicators use in multicriteria analysis can help the decision-making process, because both seeks synthesize complex and multidimensional data and information. The model proposition for the evaluation of degradation susceptibility of water quality in the Rio das Velhas watershed presented effectively. The correspondences presented among the information of the sub-models developed and the information about water resources state submitted by water quality data, affirmed the validity of environmental indicators use to analyze the influences of use and land cover on elements of water status. The final map has been validated through statistical analysis of correlation, showing correlations in line with the observed changes with the values of water quality.

Key- Words - Multicriteria Analysis; Water Quality; Use and Land Cover.

¹ Graduação em Bacharel em Geografia pela UFMG. E-mail: cirobh@gmail.com . telefone: (031) 9644-43-86.

² Professor Adjunto do Instituto de Geociências (IGC) da UFMG. Graduação em Bacharel em Geografia – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG); Mestrado em Geografia – UFMG; e Doutorado em Desenvolvimento Sustentável pela Universidade de Brasília – UNB. E-mail: magalhaesufmg@yahoo.com.br . telefone: (031) 9959-56-37.

³ Professor Adjunto da Escola de Arquitetura, Departamento de Urbanismo da UFMG. Graduação em Arquitetura e Urbanismo (UFMG); Especialização em Planejamento Territorial e Urbano (PUC-MG e Universidade de Bologna); Mestrado em Geografia (UFMG); e Doutorado em Geografia (UFRJ). E-mail: anaclaramoura@yahoo.com. Telefone: (031) 9856-48-57.

1. INTRODUÇÃO

A Bacia do Rio das Velhas/ MG, apresenta um avançado processo de degradação ambiental, resultado da falta de planejamento e da exploração inconseqüente dos recursos naturais. Segundo Euclides e Ferreira (2002), os principais problemas identificados estão relacionados ao uso do solo por atividades agrícolas, industriais, minerais, extrativismo vegetal e urbanização, que provocam a erosão do solo e a contaminação da água. A poluição atinge altos níveis em toda a bacia, mas principalmente na Região Metropolitana de Belo Horizonte, onde o Rio das Velhas recebe grande quantidade de esgotos e poluentes (Polignano *et al* [2001]).

O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (CBH Velhas) foi criado em 1998, ano em que surgiram os primeiros comitês mineiros. Desde então, o colegiado discute e delibera assuntos relacionados aos usos da água e à qualidade ambiental da bacia do Rio das Velhas. O CBH Velhas é considerado um dos comitês mais avançados na implementação do processo decisório participativo na gestão de bacias hidrográficas no Brasil. Um dos motivos do sucesso do comitê deve-se ao apoio de pessoal logístico oferecidos pelo Projeto Manuelzão, o qual é vinculado à Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

A Meta 2010 nasceu de uma proposta feita pelo Projeto Manuelzão durante a Expedição Manuelzão desce o Rio das Velhas, realizada no segundo semestre de 2003. Tratou-se de uma proposta de navegar, pescar e nadar nas águas da região metropolitana de Belo Horizonte até o ano de 2010, sendo assumida pelo Governo do Estado de Minas Gerais no início de 2004 e validada pelo CBH Velhas.

Muitos dos problemas de gestão vivenciados pelos membros envolvidos na Meta 2010 - órgãos da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais- SEMAD, Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA, Prefeituras Municipais, CBH Velhas e Projeto Manuelzão - situam-se nos níveis da necessidade da integração e disponibilização de informações espaciais acerca das pressões humanas e do estado dos recursos hídricos da bacia do Rio das Velhas.

O presente trabalho está inserido no contexto de utilização de indicadores ambientais que forneçam informações sobre a suscetibilidade à degradação da qualidade das águas, inseridos na formulação de uma modelagem de análise espacial multicritério, como instrumento de gestão dos recursos hídricos. Objetiva-se analisar as pressões exercidas pelos elementos de uso/ cobertura do solo sobre o estado dos recursos hídricos da bacia do Rio das Velhas/ MG, na área da Meta 2010.

2. OBJETIVOS

O Objetivo Geral da pesquisa é o de avaliar as influências dos usos e coberturas do solo sobre a qualidade das águas na bacia do Rio das Velhas, através da elaboração de um modelo de análise espacial que expresse a suscetibilidade à degradação da qualidade das águas.

O desenvolvimento do projeto está implicado e relacionado a objetivos específicos, a saber:

- Realização de cartografia dos tipos de uso e cobertura do solo da porção da bacia hidrográfica do Rio das Velhas situada na área da Meta 2010, a partir da interpretação de imagens de satélite e dados secundários;

- Utilização de indicadores ambientais que possam expressar, por meio de informações cartográficas, os elementos de uso e cobertura do solo que exercem pressão sob parâmetros componentes da qualidade das águas, através de uma proposta para modelagem de análise espacial multicritérios;

- Análise, através da observação das características das águas no período de dez anos e das informações fornecidas pelo modelo final, do estado da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, na área da Meta 2010 em relação à suscetibilidade a degradação da qualidade das águas.

3. EMBASAMENTO TEÓRICO-METODOLÓGICO.

3.2. A Meta 2010.

O Projeto Manuelzão surgiu na Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais e vem atuando na bacia do Rio das Velhas desde 1997. O objetivo operacional do projeto é a revitalização da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, tendo como eixos a promoção da saúde, da cidadania e do meio ambiente.

A Meta 2010 foi a base para elaboração do Plano Diretor do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, aprovado em outubro de 2004, no qual estão definidas várias ações específicas de saneamento e recuperação ambiental, visando alcançar a melhoria da qualidade das águas da bacia e o retorno dos peixes ao rio.

Devido ao fato da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) ser a maior contribuidora de cargas poluidoras na bacia, esta é o foco das ações da Meta 2010, estendendo-se da foz do rio Itabirito até o ribeirão Jequitibá (Figura 1). As ações de revitalização neste trecho reconhecidamente impactante são fundamentais para a recuperação de toda a bacia.

A 'Meta 2010', cujo slogan é nadar, pescar e navegar no Rio das Velhas até 2010 é uma proposta de conseguir reenquadrar o trecho fluvial que passa pela região metropolitana para a classe II (Costa [2007]). Essa classificação refere-se às águas destinadas ao abastecimento doméstico após

tratamento convencional, a atividades de lazer, à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e à criação de peixes, segundo a Resolução CONAMA n. 357 de 2005 (CONAMA, [2005]). Em 2007, a Meta 2010 passou a ser um dos projetos estruturadores do Governo de Minas. Os principais atores engajados nesta proposta são: a Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte e a Prefeitura Municipal de Contagem, o CBH Velhas e o Projeto Manuelzão. Foram previstas um conjunto de ações envolvendo obras de saneamento, educação ambiental, mobilização e participação social.

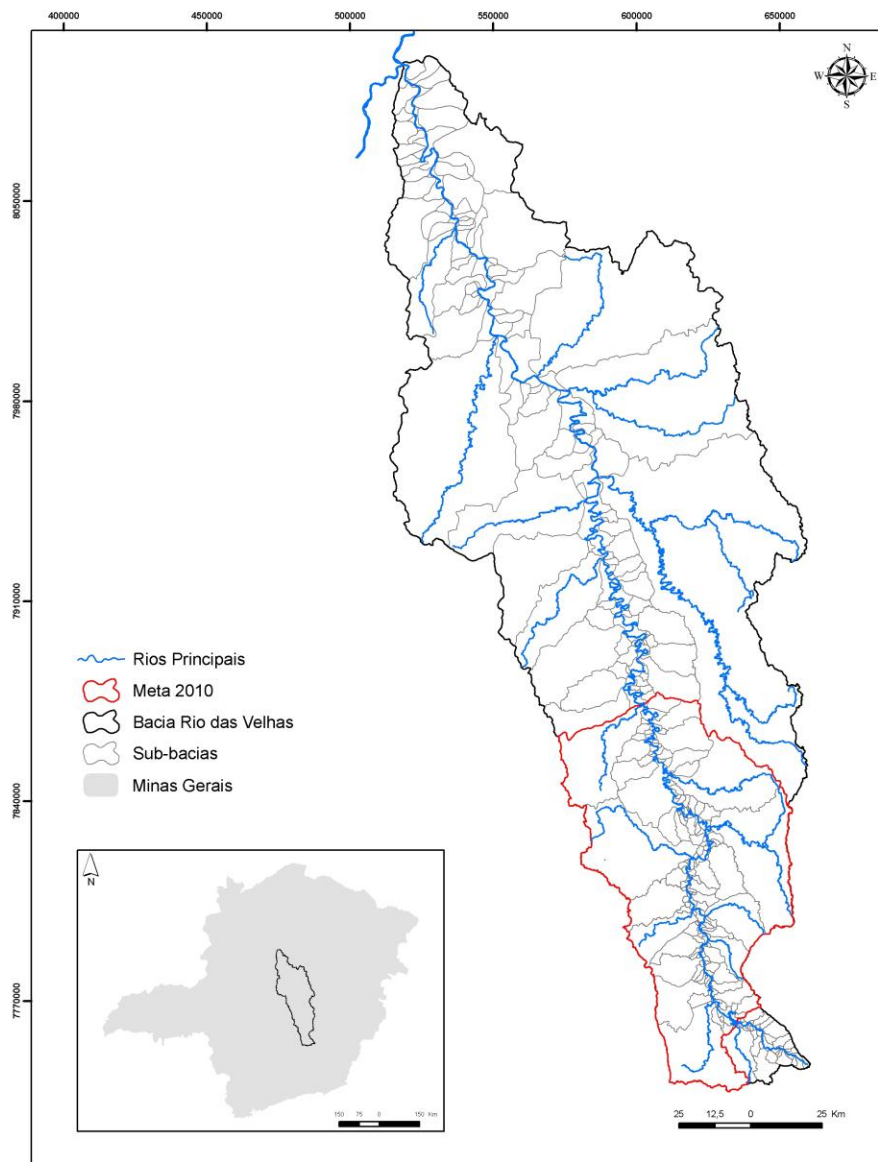


Figura 1 – Bacia do Rio das Velhas e Área da Meta 2010 - Elaborado pelo Autor.

3.2. A influência do Uso e Cobertura do Solo na Qualidade da Água.

A literatura apresenta um leque variado de trabalhos que buscaram avaliar as influências exercidas pelos usos e coberturas do solo (UCS) sobre a qualidade das águas, tanto em nível nacional como internacional.

Como exemplo, Rena *et al* (2003), fizeram uma investigação acerca das correlações existentes entre a expansão urbana e as transformações de uso e cobertura do solo vigentes no território da cidade de Shanghai – China, e a qualidade das águas do rio Huangpu, no período de cerca de 50 anos (1947-1996). A correlação feita entre os dados de monitoramento da qualidade das águas para os pontos de coleta do estudo e as áreas correspondentes aos diferentes tipos de uso e cobertura do solo, assim como com seus respectivos índices de crescimento, foi alta. As estimativas desta pesquisa corroboram, portanto, com o fato de que os tipos de uso e cobertura do solo influenciam muito os índices de qualidade das águas (Rena *et al* [2003]).

Ao serem relacionados a indicadores de qualidade da água, diversos tipos de uso e cobertura do solo podem refletir a intensidade das alterações antrópicas, principalmente no âmbito da bacia hidrográfica (Gergel *et al*, [2002]).

3.3. Suscetibilidade à Degradação da Qualidade da Água.

Degradação ambiental é um termo que se refere às mudanças artificiais ou perturbações de causa humana, sendo geralmente associado a uma redução percebida das condições naturais ou do estado de um ambiente.

A degradação de um objeto ou de um sistema é muitas vezes associada à ideia de perda de qualidade. Degradação ambiental seria, assim, uma perda ou deterioração da qualidade ambiental.

Assim, degradação ambiental pode ser conceituada como qualquer alteração adversa dos processos, funções ou componentes ambientais, ou como uma alteração adversa da qualidade ambiental. Em outras palavras, degradação ambiental está associada a impactos ambientais negativos.

O termo “suscetibilidade” indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em áreas de interesse ao uso do solo, expressando a suscetibilidade segundo classes de probabilidade de ocorrência.

No presente trabalho, assume-se que a suscetibilidade à degradação da qualidade das águas corresponde à indicação da potencialidade oferecida por áreas inseridas nas bacias hidrográficas em deteriorar a qualidade das águas.

A qualidade da água é vinculada à parâmetros físicos, químicos e biológicos, que caracterizam o estado dos recursos hídricos. A diversidade de estados de qualidade e as características dos corpos d'água relacionam-se à heterogeneidade de formas pelas quais se conjugam os elementos de uso/cobertura do solo no espaço.

Sendo assim, aos parâmetros de qualidade da água, podem ser relacionados processos e elementos socioeconômicos e ambientais, que, quando presentes nas bacias de drenagem dos corpos d'água receptores, sob diferentes condições e quantidades, fornecem indícios do potencial de degradação representado por essas áreas, constituindo-se em indicadores de suscetibilidade à degradação dos recursos hídricos.

3.4. Indicadores Ambientais.

Os indicadores são instrumentos associados a avaliações de políticas e processos, sendo a avaliação entendida como uma atribuição de valor, julgamento e apreciação. Significa, portanto, escolher um termo de comparação, algo para servir de padrão, medida, referência e comparar com o objeto de interesse (Magalhães Jr. [2007]).

Estes instrumentos de gestão são desenvolvidos devido à necessidade de traduzir dados, em sua forma original ou "bruta", de modo a fazê-los acessíveis, produzindo informações que permitam entender fenômenos complexos, tornando-os quantificáveis e compreensíveis de maneira que possam ser analisados, utilizados e transmitidos aos diversos níveis da sociedade e dos decisores.

Os indicadores requerem uma ou mais unidades de medida (tempo, área, etc.), pelo menos duas variáveis primárias (dados ambientais, sociais, etc.) e, muitas vezes, padrões para referenciar sua interpretação. Segundo Magalhães Jr. (2007), tais padrões seriam valores ou limites que indicam se determinada situação é ou não prejudicial ao homem ou ao ambiente.

Os índices relacionam um valor observado a um padrão estabelecido para aquele componente (UNESCO *apud* Magalhães Jr. [2003]). Constituir-se-iam em instrumentos para reduzir uma grande quantidade de dados a uma forma mais simples, retendo o seu significado essencial.

3.5. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento: Aplicações na interpretação dos usos e coberturas do solo e modelagem para a gestão dos recursos hídricos.

Sensoriamento remoto é um termo utilizado para designar os métodos que se utilizam da energia eletromagnética como um meio de detectar e medir as características da superfície terrestre através do registro de energia refletida, emitida ou retroespalhada no caso de sensor radar. É a partir do comportamento espectral diferenciado ou da assinatura espectral própria de cada objeto, como

no caso da vegetação, da água ou do solo, que se torna possível distinguir e identificar os alvos existentes na natureza.

O Geoprocessamento pode ser definido como sendo um sistema de hardware, software e procedimentos, projetado para captura, gerenciamento, manipulação, análise, modelagem e exibição de dados espacialmente referenciados para resolver problemas complexos de planejamento e gestão (Rhind, [1989]).

Na gestão de bacias hidrográficas, o geoprocessamento se faz importante para a divulgação de informações físicas da bacia, como cursos d'água, vias, núcleos urbanos, condições dos canais de água, etc., bem como para a percepção das relações humanas com o meio ambiente ao longo da bacia.

Os modelos podem ser compreendidos como sendo representações simplificadas da realidade, com o objetivo de atender a um determinado objetivo. Segundo Soares Filho (2000), a modelagem consiste na decomposição do mundo real em uma série de sistemas simplificados para alcançar uma visão sobre as características de certo domínio.

A utilização de modelos com suporte do geoprocessamento é extremamente útil na gestão dos recursos hídricos, pois permite analisar as bacias hidrográficas como um sistema. Este pode ser visto como um conjunto estruturado de objetos e/ou atributos, cujos componentes relacionam-se uns com os outros e operam conjuntamente como um todo complexo (Chorley e Kennedy, *apud* Christofoletti, [1999]).

3.6. Análise Multicritério

A análise multicritério constitui um sistema de suporte à decisão baseado na utilização/combinção de uma série de variáveis ou critérios segundo diferentes métodos (Souza, [2008]). O objetivo é promover a hierarquização das possibilidades ou alternativas de resolução de um determinado problema, auxiliando o gestor na tomada de decisão. A sua utilização está diretamente ligada ao fato de que certos problemas não podem ser resolvidos apenas pela utilização de um único critério.

Os atores envolvidos no processo de decisão, diante da resolução de determinados problemas, se vêm na eminência de selecionar características componentes da realidade que de fato afetam as suas análises. Esse conjunto de características selecionadas compõe o universo de critérios que deverão ser avaliados segundo o seu comportamento individual, a sua interação no conjunto dos demais critérios, além do objetivo para o qual ele foi selecionado.

A aplicação da análise multicritério considerando a localização geográfica dos fenômenos é realizada nas análises espaciais através da Álgebra de Mapas ou Álgebra Cartográfica, a qual,

simplificadamente, consiste no tratamento e cruzamento de variáveis. De acordo com Cordeiro, Barbosa e Câmara (2004), os elementos da álgebra de mapas consistem na associação de um valor quantitativo a cada área do mapa, neste caso a cada pixel, sendo que as operações aplicadas aos mesmos ficam a cargo do modelador.

Diversos trabalhos foram desenvolvidos buscando avaliar a aplicabilidade de análises espaciais multicritério como instrumentos de gestão dos recursos hídricos.

Pompermayer, Paula Júnior e Cordeiro Netto (2007) propuseram o uso de indicadores de sustentabilidade ambiental, associado à técnicas de análise multicritério, de modo a avaliar a aplicabilidade desses instrumentos em unidades de gerenciamento de recursos hídricos, tomando como referência um estudo de caso nas Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.

Souza (2008) apresentou uma proposta metodológica para a indicação de áreas potenciais à degradação da qualidade da água, com a proposição de um modelo aplicado na bacia do rio Piracicaba/MG, tendo sido sua metodologia baseada em análise multicritério.

4. METODOLOGIA

O Procedimento Metodológico adotado abarca as seguintes etapas: (1) organização dos dados sobre a qualidade da água, (2) organização da base de dados e indicadores ambientais de interesse, (3) elaboração do mapa de uso/ cobertura do solo, (4) análise multicritério, (5) análise dos mapas de suscetibilidade em relação à qualidade das águas na área de estudo.

4.1. Organização dos dados sobre Qualidade da Água.

Em Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão das águas – IGAM – em parceria com a Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM – monitora a qualidade das águas superficiais no Estado por meio do Projeto Águas de Minas (iniciado em 1997). Atualmente, são 244 estações monitoradas em 8 bacias hidrográficas, abrangendo 98% da área do Estado.

As informações referentes à qualidade das águas foram cedidas pelo IGAM, a partir da compilação dos dados dos relatórios anuais da qualidade das águas superficiais (Melo, [2007]). Os dados referentes aos parâmetros da qualidade das águas, para cada ponto da rede de monitoramento inserida na área de estudo, foram selecionados, agrupados e organizados.

Para essa pesquisa foram selecionados alguns parâmetros de qualidade das águas para a análise da suscetibilidade à degradação representada pelos elementos de uso/cobertura do solo. A escolha se baseou na preferência dada a parâmetros componentes do IQA, e sobre aqueles que

poderiam apresentar maiores possibilidades de correlação entre as variações em seus estado de degradação com informações de uso/cobertura do solo.

A partir dos dados das estações de monitoramento da qualidade das águas do IGAM, foram elaborados gráficos em Boxplot da série amostral abarcada pelo período de dez anos (1998 – 2007), dos índices de qualidade das águas e dos parâmetros componentes escolhidos no âmbito da presente pesquisa.

Foram disponibilizados nos gráficos, além dos valores referentes aos parâmetros de qualidade das águas, os limites postos pela legislação ambiental para o enquadramento dos corpos d'água, segundo os objetivos da Meta 2010.

Os gráficos foram organizados de maneira que, da esquerda para direita, se ordenam as estações de monitoramento do IGAM da Bacia do Rio das Velhas, na área da Meta 2010, no sentido de montante para jusante.

4.2. Organização da Base de dados e indicadores ambientais de interesse.

Os seguintes dados e indicadores ambientais foram utilizados na pesquisa: Carga de poluentes dos Esgotos Domésticos (Coliformes Fecais, DBO, Nitratos, Fosfatos e Sólidos em Suspensão); Declividade; Densidade de ocupação econômica das terras (DOET) - corresponde à medida de intensidade de utilização da terra disponível para uso econômico; Erodibilidade; Erosividade; Esgotos; Fito-fisionomias; Intensidade de utilização das terras (informações referentes à intensidade de uso dos solos por atividades agrossilvopastoris e, também, a implementação de práticas e tecnologias que intensificam a produção e o rendimento das lavouras); NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada); Outorgas (Usos e Vazões); Resíduos Sólidos; Setores Censitários; tipos de Solos; Temperatura; e Teor de Matéria Orgânica do Solo

4.3. Elaboração do mapa de uso/ cobertura do solo.

As imagens de satélite utilizadas para a pesquisa foram auferidas junto ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), por meio de seu sistema on-line de catálogo de imagens⁴. Utilizaram-se imagens do satélite Landsat 5, do ano de 2005, de Órbita 218 e pontos: 073 e 074. As áreas de interesse da pesquisa foram selecionadas entre as imagens de satélite utilizadas. Foram realizadas correções no georreferenciamento das imagens, através de pontos de controle.

Foram realizados realces de contraste nas imagens de satélite, sendo feito aumento de contraste por uma transformação linear.

⁴ Disponível em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> , acessado em Agosto de 2010.

Para a classificação das classes de uso e cobertura do solo, optou-se pela utilização da classificação não supervisionada, através da técnica de segmentação de imagens.

Foram adotadas as seguintes classes de uso e cobertura do solo: Área Antropizada; Solo Exposto; Vegetação Densa; Vegetação Rasteira; Água; e Nuvem. Foram colhidas amostras entre as feições segmentadas para cada classe escolhida, sendo feita a classificação com base na distância de regiões por *Bhattacharyya*.

Foi então elaborado um mapa primário de uso/ cobertura do solo, sendo todo o procedimento realizado no Software *SPRING 5.1.6*.

Em seguida, às informações elaboradas a partir do Processamento Digital de Imagens, foram agregados dados cartográficos de fito-fisionomias elaborados pelo Instituto Estadual das Florestas de Minas Gerais - IEF. Estas informações foram agregadas às informações primárias elaboradas.

4.4. Modelo de análise espacial

A Modelagem proposta no presente estudo se utiliza de seis dos parâmetros componentes do Índice de Qualidade das Águas (IQA) adotado no Projeto Águas de Minas para a análise da suscetibilidade, por estes apresentarem maior propensão à correspondência do estado da qualidade das águas com elementos de uso e cobertura do solo. Os parâmetros selecionados foram: Turbidez; Temperatura; DBO; Nitratos; Fosfatos; e Coliformes Fecais.

Para cada um dos parâmetros escolhidos foram associados indicadores ambientais, dados e informações cartográficas correspondentes a elementos de uso e cobertura do solo que guardam relação com o estado desses parâmetros de qualidade das águas.

A Figura 2 apresenta a proposta de modelo para a avaliação da suscetibilidade à degradação da qualidade das águas, com a apresentação das variáveis componentes da análise multicritério.

As variáveis dispostas nos extremos direito e esquerdo da Figura 2 relacionam-se aos dados, informações cartográficas e indicadores ambientais utilizados. Essas variáveis foram submetidas à primeira etapa de cruzamentos, resultando nos mapas de suscetibilidade por parâmetro componente do IQA adotado.

A geração de sub-modelos dentro do modelo principal é bastante comum nos estudos envolvendo a análise espacial via análise multicritério, já que o fracionamento da realidade constitui uma característica própria da arte de modelar (Souza, [2008]).

O cruzamento dos mapas de suscetibilidade por parâmetro componente do IQA adotado gerou o mapa final de Suscetibilidade à Degradação da Qualidade das Águas.

Os pesos e notas relativos às variáveis utilizadas, para a elaboração dos sub-modelos e do modelo final, foram atribuídos com base na literatura especializada, diálogos e consultas a

especialistas, bem como por meio da avaliação subjetiva do autor. Cabe aqui ressaltar as dificuldades intrínsecas a esse processo arbitrário de decisão, enaltecendo o peso representado pela influência do avaliador na elaboração da modelagem.

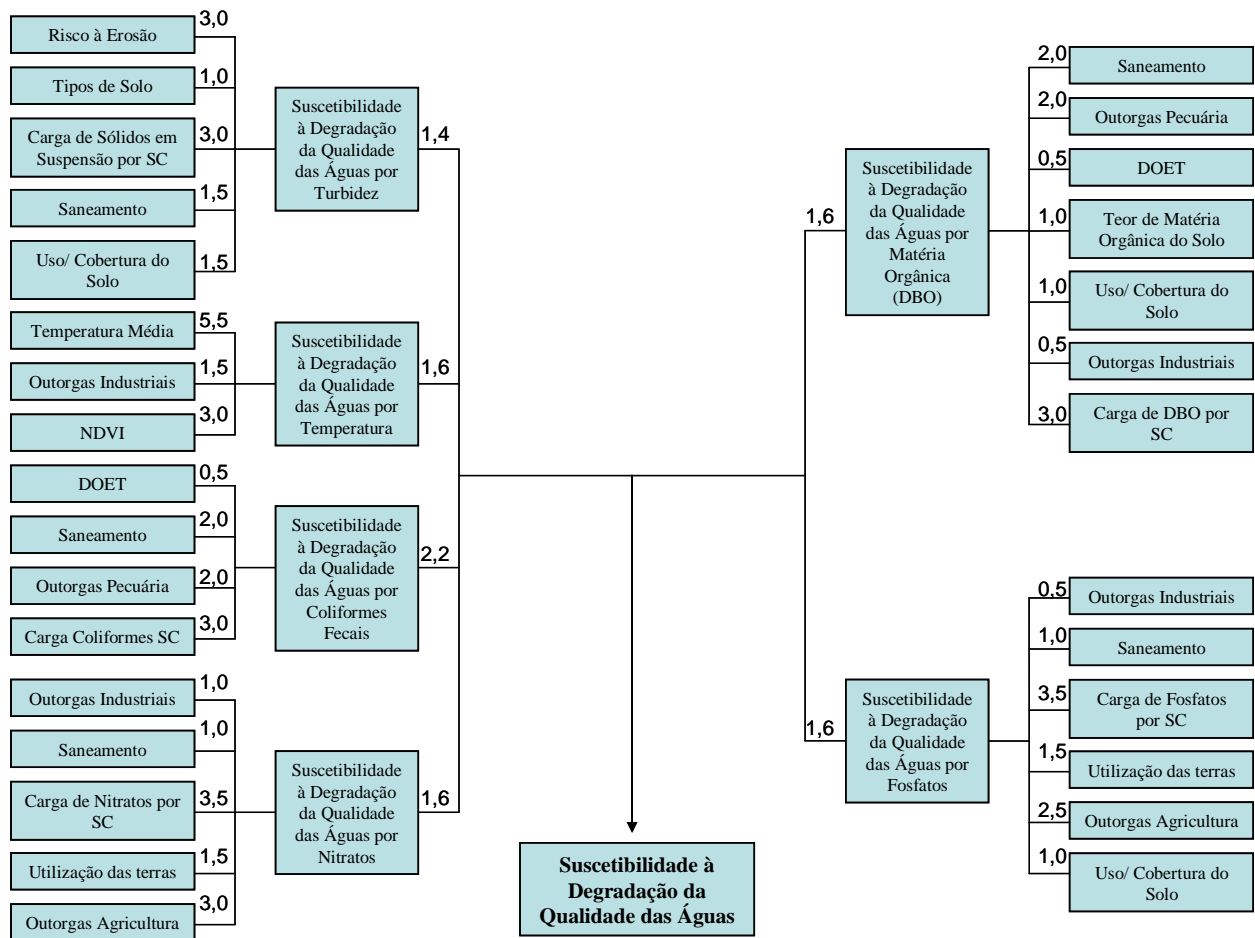


Figura 2 - Árvore de Decisões para elaboração de mapa de Suscetibilidade à Degradação da Qualidade das Águas - Elaborado pelo Autor.

A modelagem foi feita no software *ARC. GIS 9.2* com auxílio da ferramenta *Spatial Analyst*. No presente trabalho foram elaborados dois sub-modelos para composição do modelo de suscetibilidade à degradação das águas por turbidez. O Sub-modelo para avaliação do Risco à Erosão foi integrado pelas seguintes variáveis: Uso/ Cobertura do Solo; Declividade; Erodibilidade; e Erosividade. A cada uma das variáveis foram dados pesos e notas relativos, segundo a influência respectiva a cada uma destas sobre os processos erosivos. O sub-modelo para avaliação do Saneamento foi composto por dados de esgotos e resíduos sólidos dos domicílios por setor censitário na área de estudo. As notas das variáveis foram atribuídas segundo a influência respectiva a cada uma destas sobre a caracterização dos resíduos sólidos esgotos e saneamento.

4.5 Análise dos mapas de suscetibilidade em relação à qualidade das águas na área de estudo.

Para a análise dos mapas de suscetibilidade em relação à qualidade das águas, foram realizados estudos da correlação existente entre as informações presenciadas nos mapas e as médias dos IQA's e parâmetros analisados, em um recorte temporal de dez anos (1998 – 2007).

A pesquisa realizou o cruzamento de dados, informações cartográficas e indicadores ambientais referentes a anos diferentes, porém todos situados no intervalo temporal proposto na análise. Os dados cartográficos e indicadores utilizados para a elaboração do mapa final de uso/cobertura do solo são todos do ano de 2005.

O trecho da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, na área da Meta 2010, foi segmentado em vinte e uma sub-bacias de contribuição com base nas estações de monitoramento e coleta de água e definidas, a partir das curvas de nível, de acordo com os interflúvios.

A quantificação das classes representadas pelos mapas de suscetibilidade foi realizada no software *ARC GIS 9.2* e procurou estimar as porcentagens de áreas vinculadas a cada classe de suscetibilidade para as bacias de contribuição. Os arquivos contendo as áreas de cada bacia de contribuição foram salvos em formato *dbf*. e exportados para o *.xls*, para serem organizados em tabelas e, posteriormente, manipulados no software *EXCELL* para tratamentos estatísticos.

A elaboração do modelo estatístico para expressar e representar a relação entre as porcentagens de áreas vinculadas a cada classe de suscetibilidade para as bacias de contribuição e a qualidade das águas, baseou-se no conceito estatístico de correlação.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.

5.1. Mapeamento do Uso e Cobertura do solo na Bacia do Rio das Velhas.

O mapeamento do uso e cobertura do solo da bacia do Rio das Velhas possibilitou identificar as seguintes classes: Área Antropizada; Solo Exposto; Vegetação Densa (Semidecidual em Diferentes Estágios de Sucessão); Vegetação Rasteira (Capoeira em Diferentes Estágios de Sucessão); Campo; Campo Cerrado; Campo Rupestre; Cerrado; e Floresta Estacional Semi-Decidual. A Tabela 1 apresenta a distribuição das classes na área da Meta 2010.

Classes de UCS	Área Ocupada (%)
Área Antropizada	13.32
Campo	7.09
Campo Cerrado	10.51
Campo Rupestre	3.15
Cerrado	11.78
Semidecídua	10.18
Solo exposto	13.39
Vegetação Densa	10.39
Vegetação Rasteira	20.19

Tabela 1 - Porcentagem de área dos usos e coberturas do solo da bacia hidrográfica do Rio das Velhas - Elaborado pelo autor.

O mapeamento do uso e cobertura do solo da bacia do Rio das Velhas, na área da meta 2010, permite observar que grande parte do território, cerca de 13.32 %, é ocupada por áreas antropizadas, sendo que grande parte dessas áreas correspondem à mancha urbana associada à forte influência exercida pela região metropolitana de Belo Horizonte. A Figura 3 apresenta o mapa final de uso e cobertura do solo da bacia na área da Meta 2010.

5.2. Suscetibilidade à degradação do estado de qualidade das águas.

A elaboração do modelo final de análise espacial multicritério, buscou avaliar a suscetibilidade à degradação da qualidade das águas. A análise das informações do mapa final elaborado, conjuntamente com os gráficos em Boxplot dos dados de IQA segundo as estações de monitoramento, permitem o estabelecimento de relações de causa-efeito, entre os indicadores de pressão e estado dos recursos hídricos.

O Gráfico 1 apresenta o comportamento dos dados de qualidade das águas, em um período de dez anos, provenientes das estações de monitoramento de qualidade das águas do IGAM, na área de estudo.

Assim como a tendência demonstrada pela grande maioria dos dados relativos aos parâmetros analisados, os valores de qualidade das águas apresentam um forte decréscimo sob influência da região mais adensada demograficamente. É importante ressaltar que todas as médias dos pontos de análise apresentaram valores de qualidade das águas abaixo do previsto pela Meta 2010, demonstrando a distância entre o estado atual das águas em relação às condições ideais.

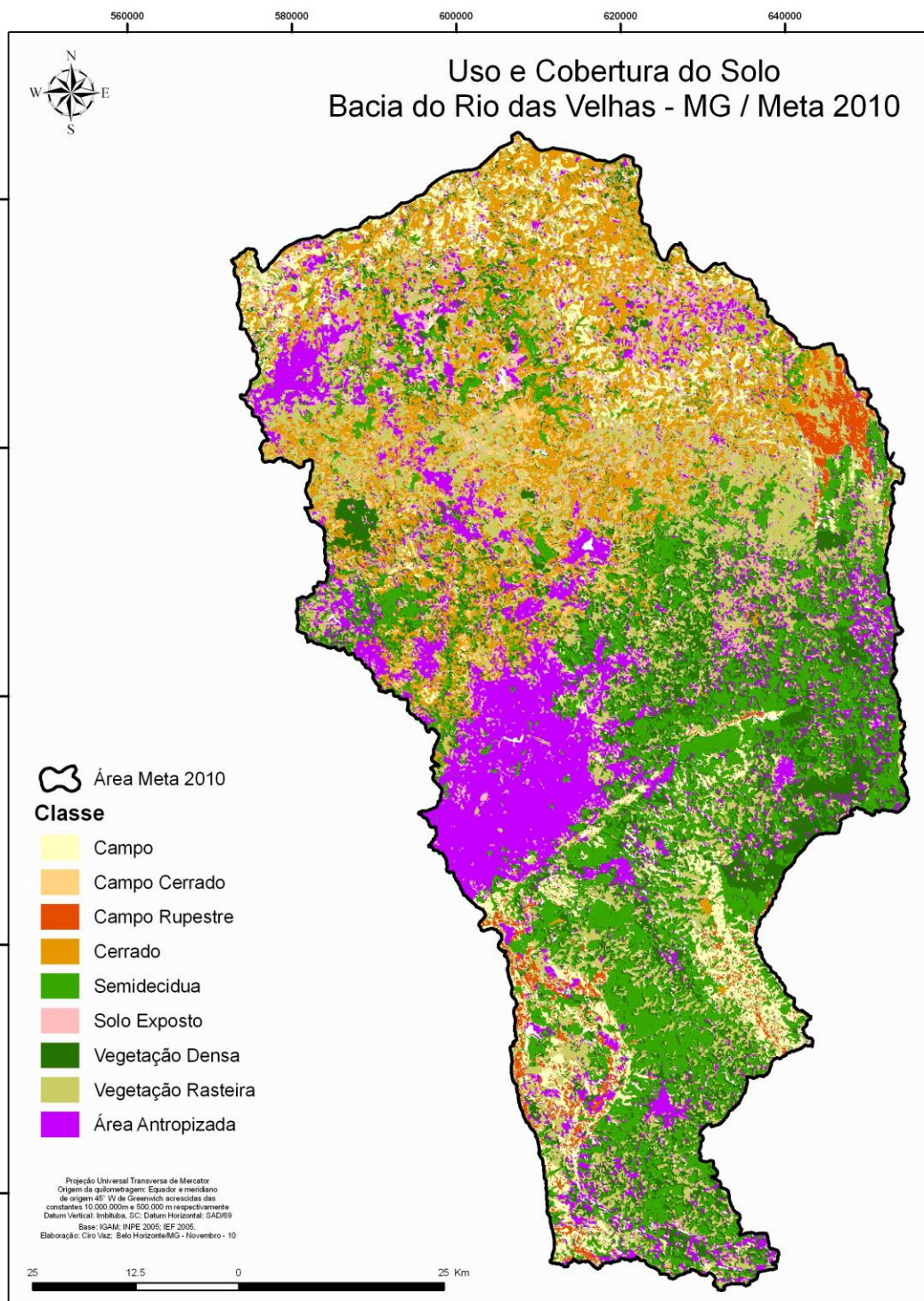


Figura 3: Mapa Final de Uso e Cobertura do Solo
da bacia do Rio das Velhas, área da Meta 2010 - Elaborado pelo autor -
IEF 2005; IGAM e INPE 2005.

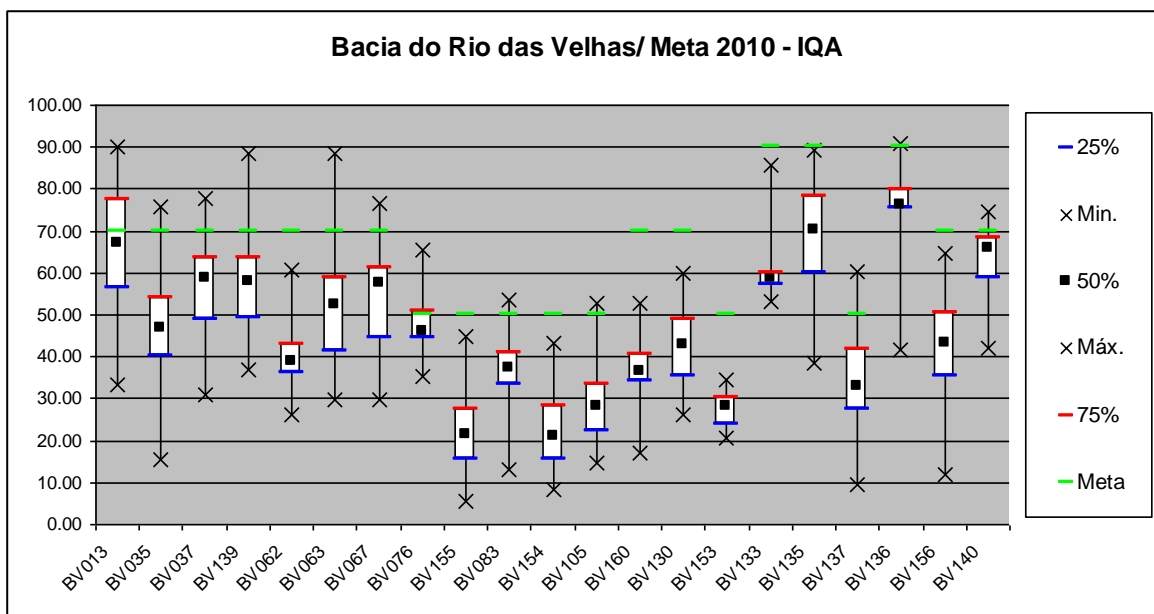


Gráfico 1 - Dados de IQA segundo as estações de monitoramento de qualidade das águas da bacia do Rio das Velhas, área da Meta 2010 - IGAM, 2008.

A Figura 4 apresenta o mapa final de suscetibilidade à degradação da qualidade das águas. De modo a avaliar em que medida este mapa constitui-se em um eficaz instrumento de gestão, por fornecer informações que indicam os elementos de uso e cobertura do solo que exercem pressão sobre o estado dos recursos hídricos, foi efetuado um estudo acerca da correlação entre as distribuições das classes de suscetibilidade entre as bacias adotadas no presente estudo e as médias dos IQA's segundo os dados de monitoramento da bacia do Rio das Velhas, na área da Meta 2010.

O coeficiente de correlação encontrado para a classe muito baixa do mapa final de suscetibilidade à degradação da qualidade das águas em relação aos valores dos IQA's foi igual a 0.32, ou seja, uma correlação positiva. Este valor traz uma valoração positiva ao modelo na medida em que comprova, com dados estatísticos, que quanto maior a porcentagem da classe muito alta sobre as regiões da área de estudo, maior será o valor do índice de qualidade das águas.

Para a classe baixa verificou-se uma correlação positiva, com o coeficiente de correlação igual a 0.16. Este dado estatístico valoriza ainda mais o modelo final, na medida em que, naturalmente, a classe baixa deveria apresentar menor influência sobre a variação dos valores de qualidade das águas em relação à pressão exercida pelas áreas de classe muito baixa.

A correlação observada entre as variações de distribuição da classe média de suscetibilidade ao longo da área de estudo e os valores de qualidade das águas foi praticamente nula, com um coeficiente de correlação igual 0.02. Esse resultado também afirma a validade do modelo adotado, pois, valores médios de suscetibilidade devem corresponder a valores médios de qualidade das águas, ou seja, sem oscilação.

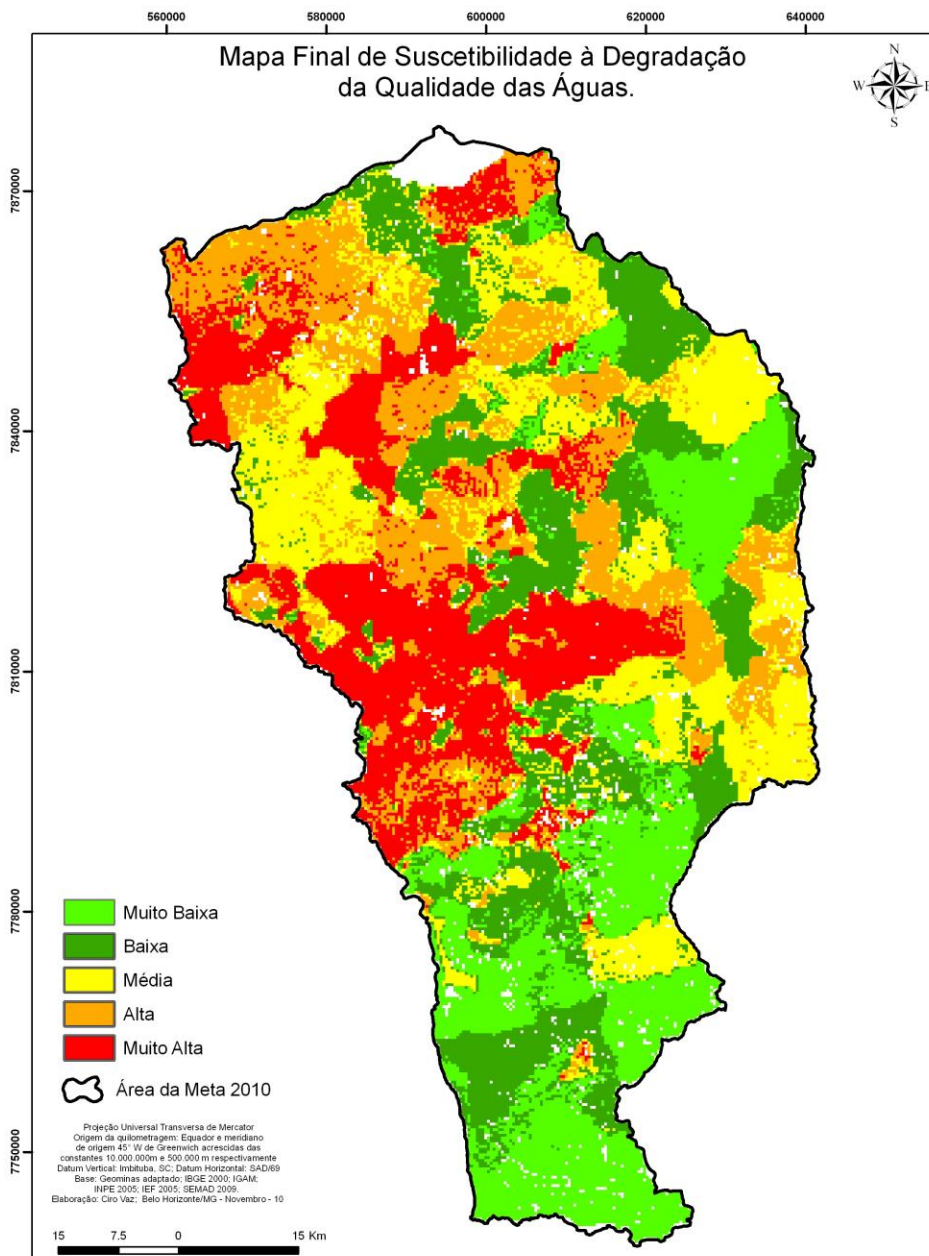


Figura 4: Mapa final de suscetibilidade à degradação da qualidade das águas –
 Elaborado pelo autor -
 Geominas adaptado; IBGE 2000; IGAM; INPE 2005; IEF 2005; SEMAD 2009.

O coeficiente de correlação encontrado para a classe alta do mapa final de suscetibilidade à degradação de qualidade das águas em relação aos valores dos IQA's foi igual a -0.54, ou seja, uma correlação negativa. Este dado estatístico fornece mais um elemento de comprovação da validade do modelo final, tendo em vista o fato de que altas pressões sobre os recursos hídricos tendem, em tese, a corresponder à diminuições nos índices de qualidade das águas.

Para a classe muito alta, curiosamente a correlação encontrada foi praticamente nula, com o coeficiente de correlação igual a 0.02. Este dado trouxe dúvidas acerca da validade da proposta,

pois maiores valores de suscetibilidade deveriam corresponder aos menores valores de qualidade das águas, o que não foi verificado.

Uma explicação para a correlação neutra entre essas variáveis baseia-se no fato de que a distribuição média da classe muito alta ao longo da área de estudo foi muito baixa, correspondendo a 6,90 % do total. Esse fato fez com que os valores de IQA, quando da análise estatística de correlação com essa classe do mapa final de suscetibilidade, não apresentassem sensíveis mudanças consoante às variações dos valores da classe muito alta. Uma boa alternativa para correção do modelo seria a adoção de apenas quatro classes de suscetibilidade, de modo a conferir maiores correlações entre estas e os valores de qualidade das águas.

6. CONCLUSÕES.

As informações e os indicadores sobre as pressões e o estado dos recursos hídricos são elementos indispensáveis para a gestão da bacia do Rio das Velhas e para a implementação da Meta 2010, na medida em que permitem a transmissão de informações simplificadas aos diversos níveis da sociedade e aos decisores. A utilização de indicadores ambientais em consonância à análise multicritério podem auxiliar o processo de tomada de decisão, uma vez que buscam sintetizar os dados e as informações complexas e multidimensionais.

As informações sobre a suscetibilidade à degradação da qualidade das águas, disponibilizados através de indicadores ambientais e inseridos na formulação de uma modelagem de análise espacial multicritério, apresenta a possibilidade de representação e análise sobre as pressões exercidas pelos elementos de uso/cobertura do solo sobre o estado dos recursos hídricos.

A proposição de um modelo de análise espacial para a avaliação da suscetibilidade à degradação da qualidade das águas apresentou-se de maneira eficaz. As correspondências apresentadas entre as informações de pressão sob os parâmetros de qualidade das águas dos sub-modelos e as informações sobre o estado dos recursos hídricos (disponibilizadas pelos dados de qualidade das águas do programa de monitoramento do IGAM), afirmaram a validade dos sub-modelos que foram elaborados a partir de dados e informações cartográficas e indicadores ambientais. .

O mapa final de suscetibilidade à degradação da qualidade das águas foi validado através de análises estatísticas de correlação, apresentando correlações em sintonia com as variações observadas junto aos valores de qualidade das águas.

Ressalta-se o fato de que a classe de suscetibilidade do mapa final, muito alta, apresentou correlação nula, devido à sua pequena distribuição ao longo da área de estudo. Nesse sentido,

sugere-se a adoção de um número reduzido de classes de suscetibilidade, de modo a garantir maior validade do modelo proposto.

BIBLIOGRAFIA

CHRISTOFOLETTI, A. (1999). *Modelagem de Sistemas Ambientais*. Edgard Blücher – SP, 236p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. (2005). *Resolução n.357, 17 de março de 2005*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil – DF.

CORDEIRO, J. P.; BARBOSA, C. C. F.; CÂMARA, G. (2004). “Álgebra de Campos e Objetos”. In *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Org por Druck, S.; Carvalho, M. S.; Câmara, G.; Monteiro, Antônio, M. V. Embrapa. DF.

COSTA, M. A. M. (2007). *Reflexões sobre a política participativa das águas: o caso do CBH Velhas (MG)*. UFMG - Programa de Pós Graduação em Geografia, Belo Horizonte - MG.

EUCLYDES, H.P., FERREIRA, P.A. (2002). *Recursos Hídricos e suporte ecológico a projetos hidroagrícolas: Sub- Bacia Alto e Médio São Francisco, Brasília – DF*.

FIDALGO, E. C. C. et al. (2003). “Mapeamento do uso e da cobertura atual da terra para indicação de áreas disponíveis para reservas legais: estudo em nove municípios da região amazônica.” *Revista Árvore*, v.27, n.6, pp. 871-877.

GERGEL, S. E. et al. (2002). “Landscape indicators of human impacts to riverine systems.” *Aquatic Science*, v.64, pp.118-128.

MAGALHÃES JR., A. P. (2007). *Indicadores Ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa*. Bertrand Brasil - RJ.

MAGALHÃES JR., A. P. (2003). *Os indicadores como instrumentos de apoio à consolidação da gestão participativa da água no Brasil: realidade e perspectivas no contexto dos comitês de bacia hidrográfica*. Tese de doutorado em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração Gestão e Política Ambiental. Universidade Federal de Brasília - DF.

MEADOR, M. R.; GOLDSTEIN, R. M. (2003). "Assessing water quality at large geographic scales: Relations among land use, water physicochemistry, riparian condition, and fish community structure". *Environmental Management*, v.31, n.4, pp.504-517.

MELO, M. D. C. (2008). *Relatórios Anuais da Qualidade das Águas Superficiais/ Série Histórica de 1997 a 2007*. Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, Belo Horizonte – MG. CD- ROM.

OMETO, J. P. H. B. et al. (2000) "Effects of land use on water chemistry and macroinvertebrates in two streams of the Piracicaba river basin, south-east Brazil." *Freshwater Biology*, v.44, pp.327-337.

POLIGNANO, V. M, ALVEDO, A. T. M. LISBOA, A. H. (2001). *Uma viagem ao projeto Manuelzão e à bacia do Rio das Velhas*. Belo Horizonte - MG.

POMPERMAYER, R. D. S.; PAULA JR., DURVAL, R. D.; NETTO, O. D. M. C. (2007) "Análise Multicritério como Instrumento de Gestão de Recursos Hídricos: O Caso das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá." *RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos* Volume 12, nº 3, pp. 117-127.

RENA, W.; ZHONGA, Y.; MELIGRANA, J.; ANDERSON, B.; Watt, E.W.; CHENA, J.; E LEUNGB, H. (2003) "Urbanization, land use, and water quality in Shanghai 1947–1996". *Environment International*, nº 29, pp. 649– 659

RHIND, D. (1989). "Why GIS ?" *Arc News*, v.11, nº 13. Redlands - CA: Environmental Systems Research Institut, Inc.

SOARES F., B. S. (2000). "Modelagem de dados espaciais." in *Curso de especialização: textos didáticos e monografias*. v.1, nº 3, Belo Horizonte - MG.

SOUZA, S. (2008). "Geoprocessamento aplicado à Identificação de áreas Potenciais à degradação da Qualidade da água." In *IGC/ UFMG: XI Curso de Especialização em Geoprocessamento*.