

Flávio Henrique Eloi

**DETERMINAÇÃO DA FRAGILIDADE
AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE NOVA
LIMA – MG**

XV Curso de Especialização em
Geoprocessamento 2014



UFMG
Instituto de Geociências
Departamento de Cartografia
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha
Belo Horizonte
cartog@igc.ufmg.br

FLÁVIO HENRIQUE ELOI

**DETERMINAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NO
MUNICÍPIO DE NOVA LIMA - MG**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de especialista em Geoprocessamento. Curso de especialização em Geoprocessamento. Departamento de Cartografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Prof. Dr. Plínio Temba

**BELO HORIZONTE
2014**

E48d
2014

Eloi, Flávio Henrique.

Determinação da fragilidade ambiental no município de Nova Lima - MG [manuscrito] / Flávio Henrique Eloi. – 2014.

v, 40 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Plínio da Costa Temba.

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2014.

Bibliografia: f. 37-40.

1. Sistemas de informação geográfica. – 2. Proteção ambiental – Nova Lima (MG). 3. Processo decisório por critério múltiplo. I. Temba, Plínio da Costa. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia. III. Título.

CDU: 528(815,1)

Aluno (a) Flávio Henrique Eloi

Monografia defendida e aprovada em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, em 11 de Dezembro de 2014, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Plínio Temba.

Prof. Dr. Marcos Antônio Timbó Elmiro

Resumo

Nos últimos verificou-se um aumento significativo nos grandes centros urbanos. A concentração nas cidades tornou-se um desafio aos gestores públicos, que necessitam suprir as demandas ilimitadas da população, e contam com os recursos insuficientes. Observa-se também o aumento de ocupações irregulares, situadas principalmente em áreas de altas declividades e de proteção ambiental. Dessa forma o meio ambiente fica suscetível às ações antrópicas, e em condições de degradação que limita seu próprio uso.

O presente trabalho busca fazer o mapeamento da fragilidade ambiental do município de Nova Lima, situado na região metropolitana de Belo Horizonte, que até o presente conta com grandes riquezas ambientais, mas que se apresentam ameaçadas pela pressão imobiliária que se impõe no município.

O conhecimento da fragilidade ambiental no município é ferramenta para o planejamento de curto, mas principalmente de longo prazo, uma vez que medidas podem ser baseadas nas características ambientais do município. Busca-se assim, uma ferramenta de planejamento e controle, visando um crescimento ordenado, respeitando a fragilidade ambiental local, definindo assim um desenvolvimento sustentável da região.

Palavras chaves: Fragilidade Ambiental, Sistema de Informação Geográfica, Análise Multicritério.

SUMÁRIO

1 - Introdução.....	1
2 – Objetivo Geral.....	3
2.1 – Objetivo Específico	3
3 – Revisão Bibliográfica	4
3.1 – Fragilidade Ambiental	4
3.2 – Variáveis utilizadas no mapa de fragilidade ambiental.....	5
3.2.1 - Declividade.....	6
3.2.2- Tipo de Solo.....	7
3.2.3 – Uso e Ocupação do Solo.....	9
3.2.4 – Distância das fontes de Poluição.....	10
3.2.5 - Índice de Qualidade da Água	11
3.3 – Sistema de Informação Geográfica	13
3.4 – Análise Multicritério	14
3.5 – Lógica Fuzzy	15
4 – Metodologia	17
4.1 – Área de Estudo	17
4.2 – Análise da Fragilidade.....	17
4.2.1 - Hidrografia	20
4.2.2 – Fator Solo	21
4.2.3 – Fator Cobertura do Solo.....	22
4.2.4 – Fator Declividade.....	23
4.3 – Análise Multicritério	24
5 – Resultados Obtidos e Discussões	25
5.1 – Fragilidade – Fator Declividade	25
5.2 – Fragilidade – Fator Uso e Cobertura do Solo	27
5.3 – Fator Qualidade da Água - IQA.....	28
5.3.1 – Fragilidade Ambiental – IQA Rio das Velhas	28
5.3.2 – Fragilidade Ambiental – IQA Rio de Peixe.....	30
5.3.3 – Fragilidade Ambiental – IQA Ribeirão Água Suja	31
5.4 – Fragilidade – Fator Solo.....	32
5.5 Mapa de Fragilidade Ambiental	33
6 – Considerações Finais	36
7 – Referências Bibliográficas	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Município de Nova Lima e suas confrontações.....	1
Figura 02 – Curvas médias para cada parâmetro do IQA (Fonte: CETESB, 2007)	12
Figura 03 – Fluxograma com todas as etapas para geração da fragilidade ambiental	19
Figura 04 – Qualidade das Águas Superficiais (IQA). IGAM (2013)	20
Figura 05 – Superfície de distância gerada no IDRISI para ponderação do fator relacionado à qualidade da água	21
Figura 06 – Uso e cobertura do solo. Adaptado de Paula (2007)	22
Figura 07 – Mapa de declividade de Nova Lima.....	23
Figura 08 – Fator declividade. Cada classe de fragilidade corresponde à um intervalo de declividade como proposto por Ross (1994)	26
Figura 09 – Fragilidade Ambiental. Fator Uso do Solo	27
Figura 10 – Fragilidade de acordo com IQA do Rio das Velhas	29
Figura 11 – Fragilidade de acordo com IQA do Rio de Peixe	30
Figura 12 – Fragilidade de acordo com IQA do Ribeirão Água Suja	31
Figura 13 – Tipo de solo presente no município de Nova Lima	32
Figura 14 – Fragilidade de acordo com o tipo de solo	33
Figura 15 – Fragilidade Ambiental para o Município de Nova Lima/MG	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Classificação do fator declividade.....	6
Tabela 02 – Ponderação do fator solo. Adaptado de Messias (2012)	8
Tabela 03 - Classificação e ponderação do fator tipo de solo. Kawakubo(2005)	9
Tabela 04 – Ponderação dos tipos de cobertura vegetal e definição do grau de proteção. Adaptado de Ross (1994)	10
Tabela 05 – Escala de valores do IQA/IAP e suas respectivas classificações. Adaptado de CETESB (2007)	12
Tabela 06 – Softwares utilizados para mapeamento da fragilidade ambiental.....	17
Tabela 07 – Intervalos adotados para classificação da fragilidade ambiental.....	18
Tabela 08 – Escala normalizada para aplicações em análises multicritérios. Adaptado de Silva (2010)	24
Tabela 09 – Comparação dos fatores utilizados na análise	24

LISTA DE SIGLAS

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico Do Brasil

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IGAM - Instituto de Gestão das Águas Mineiras

IQA – Índice de Qualidade da Água

MDE – Modelo Digital de Elevação

SIG – Sistema de Informação Geográfica

ZEE – Zoneamento Ecológico-Econômico

1 - Introdução

O município de Nova Lima, ilustrado pelo mapa na Figura 01, cidade situada na região Metropolitana de Belo Horizonte, se destaca pela localização privilegiada, pela riqueza de recursos. Verifica-se que o município apresenta um percentual significativo de áreas preservadas, apresentando extensas áreas com vegetação remanescente de mata atlântica, diversos cursos d'água e nascentes de grande importância para o abastecimento da região metropolitana de Belo Horizonte. Contudo, percebe-se também uma forte pressão imobiliária na região, fator esse que pode comprometer o desenvolvimento sustentável da região caso a expansão imobiliária ocorra em discordância da legislação ambiental não levando em consideração todas as peculiaridades ambientais da região.

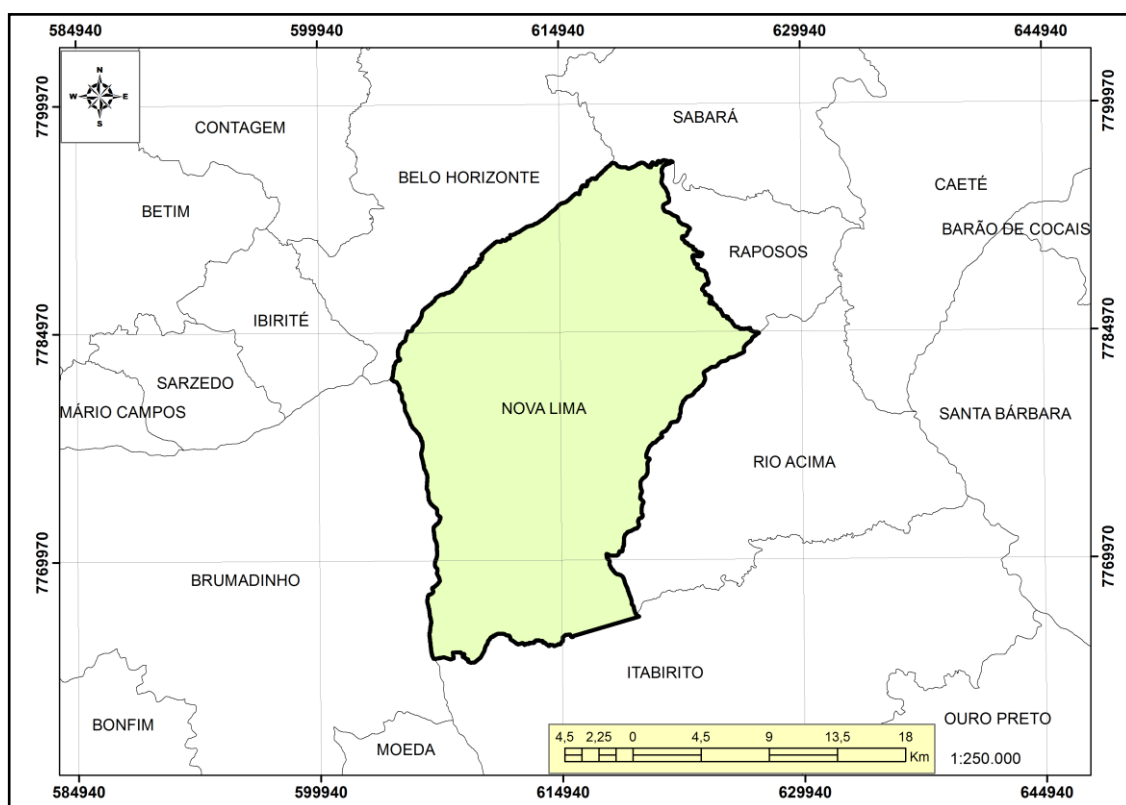


Figura 01 – Município de Nova Lima e suas confrontações.

Nos últimos anos inúmeros empreendimentos surgiram no município, sendo que muitos deles ocorreram de forma irregular, apresentando instalações, ou a total ausência delas, que não garantem a proteção dos recursos naturais locais.

O presente trabalho busca o conhecimento da fragilidade ambiental do município, de forma a garantir a utilização dos recursos naturais de forma consciente, eficaz e de

forma equilibrada. A identificação e georreferenciamento da fragilidade ambiental não é tarefa fácil, haja vista que diversos são os fatores a serem considerados, o que tornaria uma análise de sobreposição de layers uma tarefa morosa e pouco precisa.

Com base na análise multicritério e operadores matemáticos (filtros) capazes de identificar a presença da fragilidade ambiental, o presente trabalho identifica níveis de fragilidade no município de Nova Lima. O indicador será expresso em uma escala variando de 0 a 255, onde os valores próximos a 0 (zero) definem fragilidade nula e os valores próximo a 255 se traduzem em uma fragilidade máxima, comprometendo o meio ambiente e os indivíduos inseridos nele.

2 - Objetivo Geral

Pretende-se estudar o município de Nova Lima considerando aspectos que podem expor o meio ambiente em condições de fragilidade. Para isso pretende-se analisar diversos fatores, dentre eles declividade, cobertura do solo, qualidade das águas do município e tipo de solo da região, que serão ponderados e ordenados, com o intuito de identificar, ou seja, espacializar a fragilidade ambiental dentro do limite do município.

Após a junção de todos os fatores e restrições, deve-se elaborar um mapa que expresse os níveis de fragilidade em todo o território do município.

2.1 - Objetivos Específicos

Mapeamento da fragilidade ambiental no município de Nova Lima, considerando o fator declividade, tipo de solo, qualidade das águas e cobertura do solo.

3 – Revisão Bibliográfica

3.1 Fragilidade Ambiental

O desenvolvimento da sociedade ao longo de milhares de anos dependeu do uso de recursos obtidos na natureza. Com a recente expansão tecnológica, somada aos hábitos de vida e consumo amplamente difundidos, acarretou em uma demanda acelerada dos recursos naturais. A utilização desses recursos de forma desordenada resulta em graves problemas ambientais. (CRUZ, 2010).

Como a demanda por recursos naturais são ilimitados, e os recursos disponíveis são limitados, Ross (1994) mostra a necessidade de que o desenvolvimento leve em conta não só as potencialidades dos recursos, mas, sobretudo as fragilidades dos ambientes naturais face às diferentes inserções dos homens na natureza.

De acordo com Spör e Ross (2004), o meio ambiente possui maior ou menor fragilidade relacionada às modificações inseridas pelo ser humano. Em outras palavras, uma modificação em qualquer um dos componentes naturais (sejam eles: clima, recursos hídricos, relevo, solo e vegetação) implica ruptura do estado de equilíbrio pré-existente na natureza, comprometendo o adequado funcionamento do sistema.

‘Fragilidade’ é o termo mais usual na área de planejamento ambiental utilizado para representar o que a área de saúde e, recentemente a área de Engenharia Sanitária, usualmente chamam de ‘eventos perigos’ (Silva, 2010). De acordo com Tamanini (2008), o conceito de fragilidade ambiental diz respeito à vulnerabilidade do ambiente em sofrer qualquer tipo de dano e está relacionada com fatores de desequilíbrio de ordem tanto natural, expresso pela própria dinâmica do ambiente, como em situações de elevadas declividades e alta susceptibilidade erosiva dos solos, quanto antropogênica, a exemplo do mau uso do solo e de intervenções em regimes fluviais. Ainda em Kawakubo et al.(2005), convém destacar o conceito de fragilidade ambiental destacando dois termos: a fragilidade potencial e a fragilidade emergente. A fragilidade potencial de uma determinada área é conceituada como sendo a vulnerabilidade natural de um ambiente em função de suas características físicas como a declividade e o tipo de solo, enquanto que a fragilidade emergente além de considerar as características físicas, contempla também, os graus de proteção dos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal sobre o ambiente.

Em Ross (1994) e Crepani et al. (1996) a vulnerabilidade ambiental é ferramenta essencial para a gestão territorial e a elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE).

A determinação da fragilidade ambiental tanto em áreas antropizadas, seja no meio urbano seja no rural, como em áreas preservadas vem sendo objeto de vários estudos que utilizam técnicas de suporte a decisão e Sistemas de Informações Geográficas como é o caso de Ghezzi, (2003) e Kawakubo et al, (2005).

Percebe-se, portanto, que um mapa de fragilidade ambiental agrupa regiões de acordo com suas características, através da junção de áreas com características relativamente homogêneas (SEMA, 1985). Spör e Ross (2004) relatam que um mapa de fragilidade integra variáveis antrópicas e naturais, buscando gerar um diagnóstico das múltiplas categorias de fragilidade existentes no ambiente. Além disso, o mapa de fragilidade pode ser visto como um meio de compreender as individualidades de cada região, de modo a propor diferentes usos, visando o melhor aproveitamento dos potenciais naturais existentes e também compreender a dinâmica de funcionamento dessas áreas, tratadas como um organismo único e permeado por interconexões (PIVELLO et al., 1998).

3.2 Variáveis utilizadas no mapa de fragilidade ambiental

Arêdes e Coelho (2005) definem a bacia hidrográfica como unidade básica e estratégica de planejamento nos estudos dos recursos hídricos, através de uma visão sistêmica, integrando diversos fatores inter-relacionados e interdependentes presentes na bacia. Com base nesse princípio, torna-se necessário reunir informações referentes ao meio biofísico e sócio organizacional, para se considerar de forma integrada as restrições, suscetibilidades e vocação do uso da terra, urbano e rural, otimizando seu uso, minimizando os impactos ambientais e alterando o mínimo possível o frágil equilíbrio dinâmico dos sistemas como um todo (Silva, 2010).

Em Silva (2010) verifica-se que o diagnóstico da bacia obtido através de informações integradas sobre processos naturais e do uso da terra na mesma, permite a compreensão das relações existentes e, além disso, possibilita a tomada de ações mitigadoras a fim de manter a qualidade da água dos mananciais de abastecimento de água.

Farias (2006) sugere que os critérios a serem adotados para elaboração do mapa de fragilidade em bacias hidrográficas incluem: i) Declividade, ii) Solos, iii) Uso e

ocupação, iv) Drenagem, v) Clima; vi) área urbana e/ou taxa de urbanização; vii) qualidade da água.

O presente trabalho estuda o fator declividade, solos, uso e cobertura do solo e a qualidade da água –IQA, a partir do qual define-se a distância até os cursos d'água estudados.

3.2.1 Declividade

A declividade é definida como a relação entre a diferença de nível (altura, cota ou altitude) existente entre dois pontos e a respectiva distância horizontal entre eles (IBGE, 2006), podendo ser medido em porcentagem ou em graus (INPE, 2000).

Segundo Souza et al. (2005), a declividade define o comportamento do relevo na região e é um elemento de extrema importância para avaliar o grau de fragilidade ambiental. Elevadas declividades associadas a outros parâmetros, definem áreas mais propensas a serem erodidas. A erosão gera problemas de aporte elevado de material em suspensão, assoreamento de corpos hídricos, redução da profundidade da camada eutrófica (camada onde se concentram os nutrientes) e conseqüentemente, modificação da qualidade da água (Silva, 2010). Streher e Schäfer (2007) demonstraram a relação entre a declividade e a qualidade da água, fato comprovado estatisticamente via regressão linear.

Ainda em Paula (2007) e Spörl, Ross (2004), ilustrado na Tabela 01, verifica-se um ordenamento, ou melhor, uma classificação de acordo com faixas de declividade. Desta forma, para cada intervalo de declividade foi atribuída uma classificação que varia de muito fraco a muito forte.

Categorias Hierárquicas	Classes de Declividade
Muito Fraco	Até 6%
Fraco	De 6% a 12%
Médio	De 12% a 20%
Forte	De 20% a 30%
Muito Forte	Acima de 30%

Tabela 01: Classificação do fator declividade. Adaptado de Paula (2007)

3.2.2 Tipo de Solo

O solo é a base do ambiente onde ocorrem diversas relações naturais e humanas; é um corpo formado por processos físicos, químicos e biológicos, cujos agentes de formação são basicamente o clima, os fatores topográficos e a comunidade biótica e cujo material de origem é a rocha subjacente (EMBRAPA, 2003).

Segundo Silva et al. (2003), o solo é constituído por partículas minerais e orgânicas e por organismos de diversos grupos biológicos, além de conter, na maioria dos casos, água e gases. O tipo de solo está relacionado às condições ambientais (clima, organismos, material de origem, tempo) numa escala continental ou local. Em função dessas condições, na paisagem encontram-se diversos tipos de solos com características diferenciadas, expressas por suas propriedades, que influenciam a resistência ao processo erosivo, no qual o solo é considerado um agente passivo (Silva, 2010).

De acordo com Souza et al. (2005), a identificação e a distribuição das várias classes de solo tornam possível um conjunto de inferências, inclusive em informações quanto à possibilidade de processos erosivos. Para uma análise do solo diversos critérios necessitam serem considerados, dentre os quais pode-se citar a textura, estrutura, porosidade, permeabilidade e matéria orgânica presente. Um critério importante a ser consideração quanto o potencial erosivo é a presença, ou concentração, de matéria orgânica no solo. Nos solos argilosos, a matéria orgânica altera a estrutura, melhorando as condições de retenção de água, enquanto nos solos arenosos, a aglutinação das partículas ao solo diminui o tamanho dos poros e, em contrapartida aumenta a capacidade de retenção de água (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985). Quando se verifica o critério textura do solo, faz-se referência apenas às proporções das frações argila, silte e areia presentes. Porém essa distribuição granulométrica do solo depende do material de origem e do grau de intemperização do mesmo (EMBRAPA, 2003). A estrutura do solo diz respeito à forma de agrupamento das suas partículas elementares e determina as condições para o desenvolvimento das raízes das plantas, a permeabilidade da água e a resistência aos processos erosivos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

Outro fator importante a considerar é a porosidade, sendo a mesma uma medida que retrata a proporção do solo que é ocupada por fluídos (água e ar) em relação à proporção ocupada pela massa do solo. A formação dos poros, espaços que contém os fluídos, varia em função da textura do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

A permeabilidade diz respeito à capacidade do solo de deixar passar água e ar através de seu perfil e está diretamente relacionada com o volume e tamanho das partículas e com a distribuição dos poros (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

Desta forma, reconhecer e estratificar os diferentes tipos de solos de uma bacia de drenagem é uma importante medida para a avaliação das suas propriedades relacionadas à susceptibilidade à erosão, além de permitir uma análise integrada a outros fatores como agentes contaminantes presentes no solo e, em última instância, na água.

Como o reconhecimento, classificação e ponderação das classes de solo é tarefa que exige o conhecimento de vários critérios, em Messias (2012) é possível definir as classes de fragilidade em função do tipo de solo, sendo que todos os critérios analisados anteriormente já estão incluídos na análise de fragilidade. Uma vez identificado o solo da área de estudo, pode-se atribuir valores, peso, de forma que cada classe tenha uma importância dentro da análise multicritério. A Tabela 02 mostra os valores sugeridos em Messias (2012) para ponderação do fator solo. Verifica-se que os valores assumem uma escala variando de 1 a 5, sendo necessária uma adaptação dos valores caso seja adotada uma escala maior ou menor.

Classes de Fragilidade	Classes de solos	Valor
Muito baixa	Latossolo Vermelho Distróférrico, Latossolo Vermelho e Vermelho-Amarelo textura argilosa	1
Baixa	Latossolo Amarelo e Vermelho-Amarelo textura média/argilosa	2
Média	Latossolo Vermelho-Amarelo, Nitossolo, Argissolo Vermelho-Amarelo, textura média/argilosa	3
Forte	Argissolo Vermelho-Amarelo, textura média/arenosa, Cambissolos	4
Muito Forte	Argissolo cascalhentos, Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos	5

Tabela 02 – Ponderação do fator solo. Adaptado de Messias (2012)

Ainda em Kawakubo(2005) verifica-se uma ponderação do fator tipo de solo e uma classificação da fragilidade quanto ao aspecto tipo de solo. Verifica-se que tanto em Messias(2012) como em Kawakubo(2005) a definição dos mesmos intervalos e classes

propostos para a ponderação. A Tabela 03, adaptada de Kawakubo (2005), sugere os pesos a serem atribuídos a cada tipo de solo, a partir do qual é possível analisar o grau de fragilidade da variável solo.

Fragilidade	Categorias Hierárquicas	Código
Muito Fraca	LVA	1
Forte	PVA	4
Muito Forte	PVA2	5
Média	PVA/LVA	3
Forte	PVA/C	4
Forte	C/PVA	4
Muito Forte	GM	5
Muito Forte	RL/C	5
LVA = Latossolo Vermelho Amarelo; PVA = Argissolos Vermelho Amarelo; C = Cambissolos; GM = Hidromórficos; RL = Neossolos Litólicos.		

Tabela 03 – Classificação e ponderação do fator tipo de solo. Kawakubo(2005)

3.2.3 Uso e ocupação do Solo

O uso e a ocupação da terra são critérios de extrema importância em várias análises espaciais, uma vez que tanto o uso quanto a ocupação podem mudar toda a dinâmica de uma bacia, além de impactar todas as áreas a jusante dessa bacia.

A utilização do espaço de forma inadequada provoca a deterioração de todo o meio ambiente, afetando inclusive a quantidade e a qualidade da água. Uma das consequências de ocupações e usos irregulares é a intensificação e formação de novos processos que acarretam em: erosão, assoreamento, redução da infiltração da água contaminação do solo. Como exemplo, Silva e Rodrigues (2004) apresentam uma relação dos diferentes usos e ocupação da terra para a bacia hidrográfica do Córrego do Salto (Uberlândia, MG), apontando tal variável como determinante para os fatores que interferem na qualidade da água.

Percebe-se que um critério que avalie o uso e ocupação do solo de uma bacia é fator essencial para que o mapeamento da fragilidade ambiental corresponda com a realidade

local. A atribuição de pesos deverá levar em conta a distribuição e adensamento dentro dessa bacia, tarefa de extrema complexidade.

Para definição da ponderação do fator cobertura do solo, verifica-se em Ross (1994) a Tabela 04 com proposta de valores de acordo com a cobertura de vegetação presente na área de estudo. Verifica-se que quanto maior o grau de proteção, menor o peso atribuído à fragilidade.

Graus de Proteção	Tipos de Cobertura Vegetal	Valor
Muito Alta	Floresta/Matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.	1
Alta	Formações arbustivas naturais. Mata homogênea de Pinus densa. Pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo como cacau	2
Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento com café, laranja, pastagem com baixo pisoteio, silvicultura	3
Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café), culturas de ciclo curto.	4
Muito Baixa	Áreas desmatadas e queimadas, solo exposto, gradeação, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.	5

Tabela 04- Ponderação dos tipos de cobertura vegetal e definição do grau de proteção. Adaptado Ross (1994).

A partir dos valores propostos por Ross (1994), pode-se avaliar a fragilidade ambiental quanto ao tipo de cobertura existente na área estudada, sendo posteriormente necessário a junção desse critério com os demais, de forma que a fragilidade contemple todas as peculiaridades do local.

3.2.4 Distância das fontes de poluição

A distância do curso d'água às fontes de poluição pode ser um fator que pode afetar diretamente a qualidade da água, pois, em tese, quanto mais próximo do foco, maior será a probabilidade do contaminante/poluinte vir a ser introduzido nos cursos hídricos. Desta forma, para que seja feito análises como qualidade da água, deve-se utilizar

superfícies de distância, a partir das quais determinam-se as notas de cada critério de forma inversa ou diretamente proporcional à distância.

3.2.5 Índice de Qualidade da Água

A qualidade da água é obtida por parâmetros físicos, químicos e biológicos, a partir dos quais pode-se classificar as águas em diferentes categorias de uso. É isso que pode ser verificado na Resolução CONAMA nº 357 de 18 de março de 2005 que “*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*” (BRASIL, 2005). Contudo, percebe-se que alguns sistemas de classificação avaliam cada parâmetro de forma isolada, o que dificulta a interpretação de conjunto como um todo. Com isso, muitos estudos foram realizados no objetivo de definir um indicador único, capaz de considerar todos os parâmetros que se fazem necessários, inclusive de indicar a qualidade das águas em uma escala de fácil interpretação.

Percebe-se que, apesar de fornecerem uma avaliação integrada, os ‘Índices’ não substituem de todo uma avaliação detalhada da qualidade das águas de uma determinada bacia hidrográfica (CETESB, 2007). Contudo, para um estudo específico do abastecimento de água para consumo humano, um dos índices mais difundidos é o IQA (Índice de Qualidade da Água), desenvolvido na década de 1970 pela National Sanitation Foundation Institution (EUA), objetivando aferir custos de tratamento da água, que tempo após foi ampliado e utilizado em larga escala na Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) com o desenvolvimento do IAP (Índice de qualidade de água bruta para fins de abastecimento público) (CETESB, 2007).

Inicialmente foram definidos 35 parâmetros indicadores de qualidade de água, no entanto novos estudos fizeram a proposta da utilização de nove parâmetros, a saber: quantidade de oxigênio dissolvido, fósforo total, nitrogênio total, coliformes fecais, pH, DBO, temperatura, turbidez e resíduo total. Para estes, a critério de cada profissional, foram estabelecidas curvas de variação da qualidade das águas de acordo com o estado ou a condição de cada parâmetro. Estas curvas de variação, sintetizadas em um conjunto de curvas médias para cada parâmetro, bem como seu peso relativo correspondente, são apresentados na Figura 02.

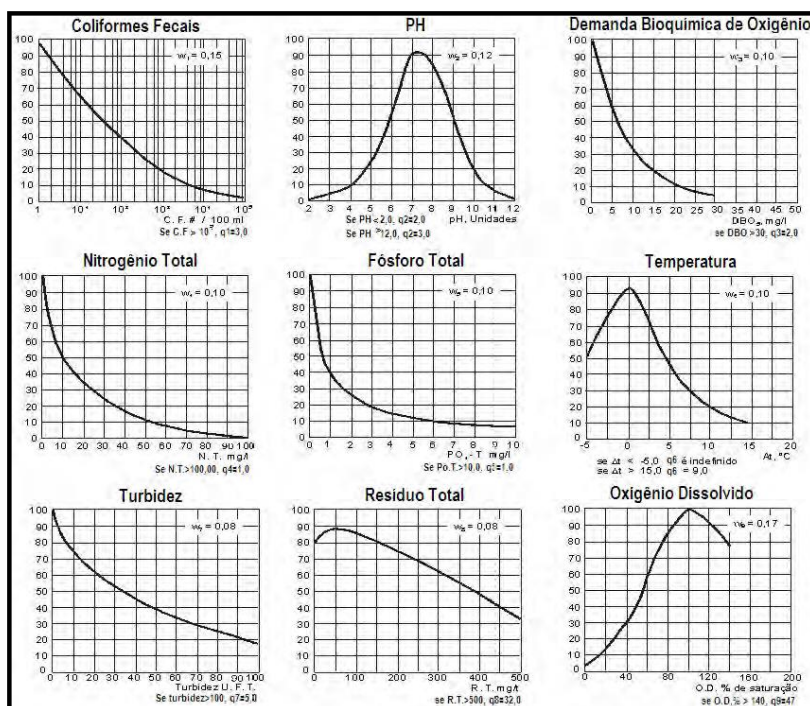


Figura 02 – Curvas médias para cada parâmetro do IQA (Fonte: CETESB, 2007).

A partir das curvas médias é obtido um produtório ponderado, definindo um valor que define o índice de qualidade da água.

Para definir a qualidade da água, são estabelecidas faixas de valores para o IQA (na escala de 0 a 100). Associa-se uma categoria de qualidade da água, usualmente também representada na forma de cores padronizadas.

VALOR IQA/IAP	QUALIFICAÇÃO	COR
80-100	ÓTIMA	AZUL
52-79	BOA	VERDE
37-51	ACEITÁVEL	AMARELA
20-36	RUIM	VERMELHA
0-19	PÉSSIMA	ROXA

Tabela 05 - Escala de valores do IQA/IAP e suas respectivas classificações. Fonte: Adaptado de CETESB (2007).

Desta forma, a partir da qualificação do curso d'água analisado, é possível fazer uma estimativa de custos para o tratamento, bem como entender as condições ambientais no entorno.

3.3 – Sistemas de Informação Geográfica

O sistema de Informação Geográfica – SIG – se popularizou nos últimos anos. Com o grande avanço da informática as aplicações SIG se tornaram possíveis até mesmo em computadores domésticos. O grande diferencial do SIG quando comparado ao sistema CAD (Projeto Assistido por Computador) convencional é que, além das informações gráficas há também um banco de dados relacionado às feições contidas no gráfico

“...Geoprocessamento é um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre bases de dados (que são registros de ocorrências) georreferenciados, para os transformar em informação (que é um acréscimo de conhecimento) relevante...” (XAVIER, 2001).

Percebe-se que a utilização do SIG permite o cruzamento de várias variáveis de diversas fontes, o que seria moroso se feito de forma analógica, além de reduzir o tempo de análise, e por fim garante decisões mais acertadas. De acordo com isso, para o mapeamento e entendimento das fragilidades existentes nas cidades, condição essencial para as tomadas de decisões, Carvalho e Moura (2010) analisaram o perfil da fragilidade social do município de Sabará – MG, sendo o SIG a ferramenta utilizada para análise e manipulação dos dados socioeconômicos do censo 2000.

Segundo Calijuri, et. al. (2002), o principal objetivo do Sistemas de Informação Geográfico é o auxílio à tomada de decisões, sejam para aplicações de engenharia urbana, engenharia de transportes, saneamento ambiental, gerenciamento de uso do solo, recursos hídricos, ecossistemas aquáticos e terrestres, ou qualquer entidade distribuída espacialmente.

Já a escolha do Sistema de Informação a ser utilizado depende principalmente da aplicação. Além da aplicação, deve-se avaliar os dados a serem manipulados. Alguns SIGs são mais indicados para aplicações vetoriais, outros no entanto, mais apropriados para aplicações com Raster, cabendo ao analista a escolha do aplicativo que atenda às suas demandas.

3.4 – Análise Multicritério

Uma vasta gama de problemas, caracterizados por apresentarem dois ou mais critérios geralmente conflitantes em relação à decisão, tem ocorrido com maior frequência na vida prática (HELMANN e MARÇAS, 2007).

De acordo com Gomes *et al.* (2009), a tomada de decisões em problemas complexos constitui uma tarefa difícil, isso definido o fato de haver múltiplos objetivos e critérios conflitantes.

Para que se tenha conhecimento mais aprofundado de um fenômeno constituído por muitas restrições e fatores, com grau de importância diferenciados no processo, pode-se aplicar uma técnica do geoprocessamento conhecida como análise multicritério.

A análise multicritério teve início entre as décadas de 1970 e 1980, com a finalidade de substituir os modelos de pesquisa operacional ortodoxos provenientes da década de 1950 e cujo objetivo era inicialmente a solução de problemas militares de logística durante a 2ª Guerra Mundial, na qual se aspirava a solução de complexos problemas de gerência (MARINS e COZENDEY, 2005).

Calijuri *et al.* (2002) utilizou da análise multicritério como auxílio à tomada de decisões para definição de áreas aptas à implantação de aterros sanitários, chegando a resultados satisfatórios. Vários foram os fatores e restrições utilizados, fazendo que uma análise visual fosse insuficiente para a tomada de decisão. Verifica-se em Santos *et al.* (2012), a avaliação da fragilidade social da área urbanizada do município de Viçosa-MG com uso da análise multicritério. Segundo Santos *et al.* (2012), o mapa de fragilidade encontrado correspondia com o cenário observado no município. Martins (2009) também utilizou a análise multicritério para seleção de áreas para construção de um repositório para combustível nuclear usado. Da mesma forma, a fragilidade ambiental da bacia do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa-MG, estudada por Silva (2010), se deu com base na análise multicritério, chegando a um diagnóstico de grande importância para planejamento ambiental no município.

Verifica-se portanto que a utilização da análise multicritério tem grande aplicação em estudos com diversos fatores, o que gera uma maior complexidade na análise. Os resultados dos trabalhos anteriores indicam uma resposta satisfatória e que aproxima-se muito da realidade local, sendo portanto a análise multicritério amplamente utilizada para auxílio à tomada de decisões.

3.5 - Lógica Fuzzy

Dois grandes paradigmas se apresentam para operacionalização computacional: o da álgebra booleana e a lógica fuzzy. A álgebra booleana utiliza-se de combinações de mapas temáticos, representando as variáveis - físicas, ambientais ou quaisquer outras – que são obtidas com o uso de operadores condicionais. Os temas abordados na análise booleana são representados por um layer (plano de informação), combinados segundo uma seqüência lógica para dar suporte a uma hipótese ou proposição definida.

Para Meirelles (1997) as fronteiras rígidas do modelo booleano não permitem que os erros ou ambigüidades sejam medidos, o que impede considerar o grau de imprecisão existente nos dados utilizados. Em termos práticos, e sem a utilização da computação, a análise booleana equivale à sobreposição de mapas base sobre uma mesa de luz, gerando um novo mapa síntese a partir da regra de cruzamento escolhida pelo pesquisador ou metodologia adotada.

Contudo, a continuidade de trabalhos inseridos neste paradigma refere-se à natureza dos fenômenos e as características a serem cartografadas da realidade apreendida, já que os limites das classes temáticas serão estáticos ou rígidos, próprios da álgebra booleana. Bonham-Carter (1994) salienta que pode não ser apropriado atribuir igual importância para cada um dos critérios combinados, dado que as evidências precisam ser pesadas dependendo da sua relativa importância.

Dentro desse contexto, percebe-se que a lógica booleana, embora de fácil aplicação e baixo esforço computacional, não abrange todos os aspectos a serem abordados em uma análise mais complexa. A partir da necessidade de adoção de pesos e notas para as variáveis estudadas, deve-se utilizar a lógica fuzzy, também conhecida como lógica nebulosa.

A teoria de conjuntos fuzzy foi introduzida por Lotfi Asker Zadeh em 1965, como uma teoria matemática aplicada a conceitos vagos. Desde então a pesquisa e aplicação desta teoria em sistemas de informática tem crescido. Uma área de aplicação da teoria fuzzy é a chamada raciocínio aproximado, onde um tipo de raciocínio não é totalmente certo nem totalmente errado. Este tipo de raciocínio se aproxima da forma do raciocínio humano. (RIBACIONKA, 1999).

Segunda Ribacionka (1999) a Lógica Fuzzy surgiu com a publicação do artigo Zadeh (1965), mas somente na atualidade está sendo aplicada na confecção de produtos e

sistemas. Tem sido usada como uma ferramenta em sistemas de controle de processos industriais, aplicações domésticas e de diversão eletrônica, sistemas de diagnósticos e outros sistemas especialistas. Criada nos Estados Unidos, esta tecnologia vem crescendo em aplicações no Japão e na Europa e o número de patentes requeridas vem aumentando exponencialmente.

Diversas são as aplicações da Lógica Fuzzy, no entanto destacam-se as aplicações em Sistemas de Controle Fuzzy, Tomada de Decisão, Reconhecimento de Padrões e Processamento de Imagens, Medicina, Ecologia, Banco de Dados Fuzzy, NeuroFuzzy e Aplicações em Sistemas Operacionais.

Verifica-se que em aplicações direcionados aos estudos ambientais a lógica fuzzy é muito apropriada, uma vez que as variáveis ambientais nem sempre são grandezas mensuráveis.

Um dos métodos mais utilizados para estudos de zoneamento ambiental da paisagem, que podem ser aplicados no planejamento urbano e regional, é a lógica fuzzy. Zadeh (1965) introduziu os conjuntos fuzzy para lidar com conceitos inexatos, a partir da constatação de que a qualidade da informação fornecida por modelos matemáticos tradicionais diminui ao ocorrer o aumento da complexidade no sistema. Ferreira et al. (2004) definem os conjuntos (ou classes) fuzzy como representações sem fronteiras (transições) abruptas, isto é, a transição entre a pertença (pertinência) e a não pertença (não pertinência) de uma localização num conjunto é gradual. Um conjunto fuzzy é caracterizado por uma possibilidade que varia entre 0.0 e 1.0 (ou 0 e 255), indicando um incremento contínuo da não pertença até à pertença completa.

Assim como na análise Booleano, o Modelo Fuzzy possui operadores para a síntese da informação geográfica. Na análise booleana os operadores lógicos utilizados são do tipo OR (união) e AND (interseção). No Modelo Fuzzy, ela se dá através da combinação segundo análises multicritérios, definidas através de uma seqüência lógica realizada pelos operadores fuzzy, a saber: mínimo, máximo, média, ponderado (com o uso do Processo Analítico Hierárquico) e gama.

A partir de estudos comparando os Modelos Booleanos e Fuzzy, Burrough e McDonnell (1998) consideram que o primeiro está muito mais sujeito à propagação de erros, sendo que o segundo tem como característica a indefinição de fronteiras ou limiares entre as classes.

4 – Metodologia

4.1 – Área de Estudo

Para o desenvolvimento desse trabalho definiu-se o município de Nova Lima, situado na região metropolitana de Belo Horizonte, como área de estudo.

O município tem área aproximada de 429 km² (IBGE), com um percentual significativo de áreas preservadas. A topografia do município apresenta altas declividades, o que caracteriza boa parte do território como área de preservação permanente, embora haja muitos parcelamentos aprovados em tais áreas. Nova Lima apresenta ainda uma riqueza hídrica, sendo que, boa parte do abastecimento de Belo Horizonte se dá em uma captação feita no município. Inúmeras nascentes e cursos d'água abastecem o Rio das Velhas que corta o município, e é de extrema importância para demais municípios à jusante de Nova Lima.

4.2 - Análise da Fragilidade

A elaboração do projeto utilizou-se de camadas de informações, sugeridas em trabalhos da literatura, com potencial para identificar a fragilidade no município. Para mapeamento da fragilidade ambiental foram definidas as seguintes variáveis:

- Altimetria;
- Solos;
- Uso e Ocupação;
- Hidrografia (IQA);

Para padronização dos dados utilizou-se recursos de diversos softwares como mostra a tabela 06.

Software	Aplicação
AUTOCAD 2014	Edição da altimetria do município e edição dos cursos d'águas analisadas.
ArcGis 9.3	Edição das variáveis utilizadas e padronização dos arquivos. Elaboração do Layout para exibição dos mapas.
Idrisi Andes	Álgebra de mapas e análise multicritério.

Tabela 06 – Softwares utilizados para mapeamento da fragilidade ambiental.

Para realização da álgebra de mapas todas as camadas foram convertidas para o formato matricial (raster), onde cada pixel recebe um valor. Dessa forma, ao definir a ponderação para cada classe (seja de solos, declividades, dentre outros), fez-se uma reclassificação da imagem definindo os valores dos pixels de acordo com os valores da escala a ser adotada para expressar os níveis de fragilidade.

A escala de fragilidade proposta por Ross (1994), define um intervalo de 1 a 5, onde os valores menores expressam uma fragilidade muito baixa, e os valores maiores definem uma fragilidade muito alta. As classes definidas por Ross (1994) têm valor variando de 1 a 5, de forma que fez-se necessário propor intervalos de fragilidade para esse trabalho, uma vez que a análise feita no IDRISI adota um padrão de 8 bits, (2^8), o que define um intervalo de 256 tons cinza. Como Ross (1994) propõe intervalos iguais, fez-se a definição de intervalos igualmente espaçados, de forma que fragilidade muito fraca tenha valores próximos de 0 (zero) e fragilidade máxima tenha valor 255. A tabela 07 apresenta a definição dos intervalos adotados no estudo.

Propostos por Ross (1994)	Propostos no estudo	Fragilidade
1	0-51	Muito Fraca
2	51-102	Fraca
3	102-153	Média
4	153-204	Forte
5	204-255	Muito Forte

Tabela 07 – Intervalos adotados para classificação da fragilidade ambiental.

Assim, cada camada adotada no estudo foi adequada aos intervalos propostos no estudo, para que ao final da análise multicritério a fragilidade seja classificada num intervalo de 0 a 255.

O esquema da Figura 03 define todas as etapas realizadas no estudo, onde cada imagem nomeada como FUZZY já está definida em uma escala de 0 a 255, e por fim, a análise multicritério, definida por MCE no software Idrisi, que têm por finalidade fazer a junção de todos os fatores e restrições.

FLUXOGRAMA DA ANÁLISE REALIZADA

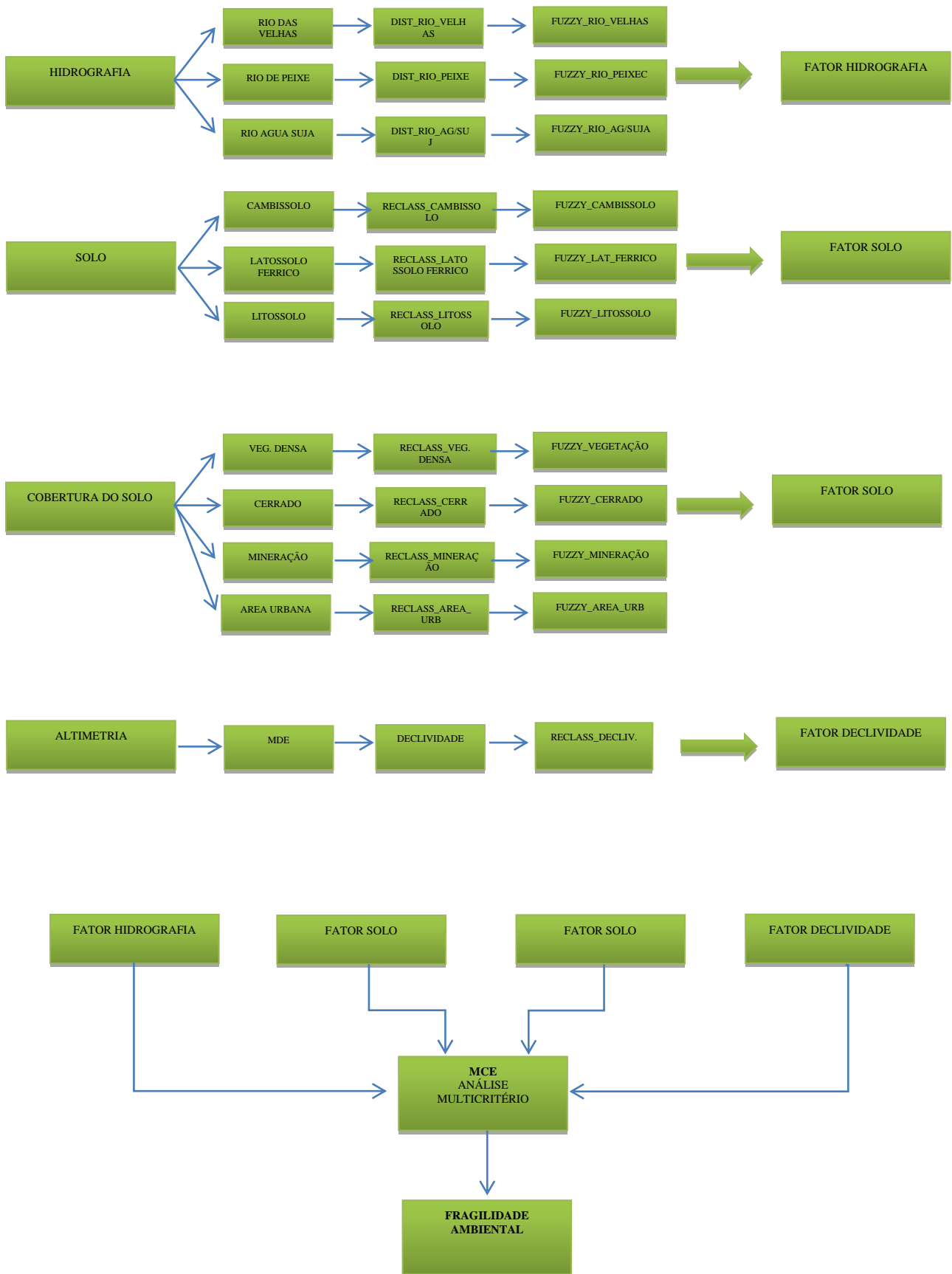


Figura 03 – Fluxograma com todas as etapas para geração da fragilidade ambiental.

4.2.1 Hidrografia

Para elaboração do fator hidrografia utilizou-se como referência um mapa de qualidade de água (IQA) elaborado pelo IGAM (Instituto de Gestão das Águas Mineiras). Buscou-se avaliar a qualidade dos cursos d'água presentes no município. A figura 04 apresenta o mapa de qualidade das águas de 2013 elaborado pelo IGAM.

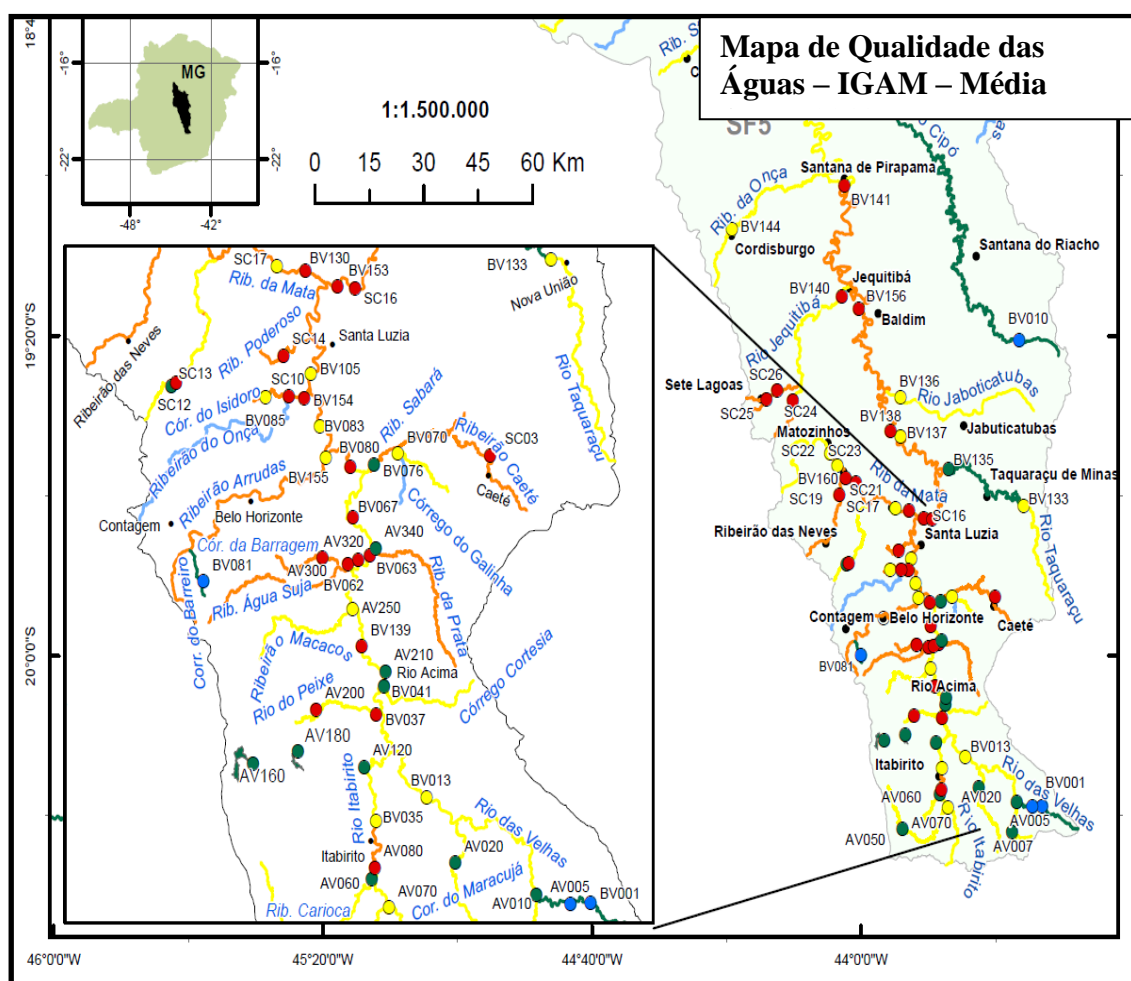


Figura 04 –Qualidade das Águas Superficiais (IQA). IGAM (2013)

O mapa apresentado pelo IGAM define a qualidade de água de três cursos importantes no município, são eles: Rio das Velhas, Rio de Peixe e Ribeirão Água Suja. Logo, buscou-se utilizar os dados de qualidade das águas desse curso para análise multicritério.

Após identificação dos cursos d'água bem como sua qualidade, definiu-se uma superfície de distância a partir da linha que os define, para que a ponderação se desse em função da distância. Logo, um curso d'água com um IQA baixo (qualidade ruim), implica em fontes poluidoras próximas à esse curso, ou mesmo a montante, de forma

que, quanto mais próximo ao curso d'água maior a fragilidade ambiental. Assim, pode-se definir uma função matemática, crescente ou decrescente, de forma a fazer a ponderação. Na Figura 05 verifica-se uma superfície de distancia criada a partir de um dos cursos analisados.

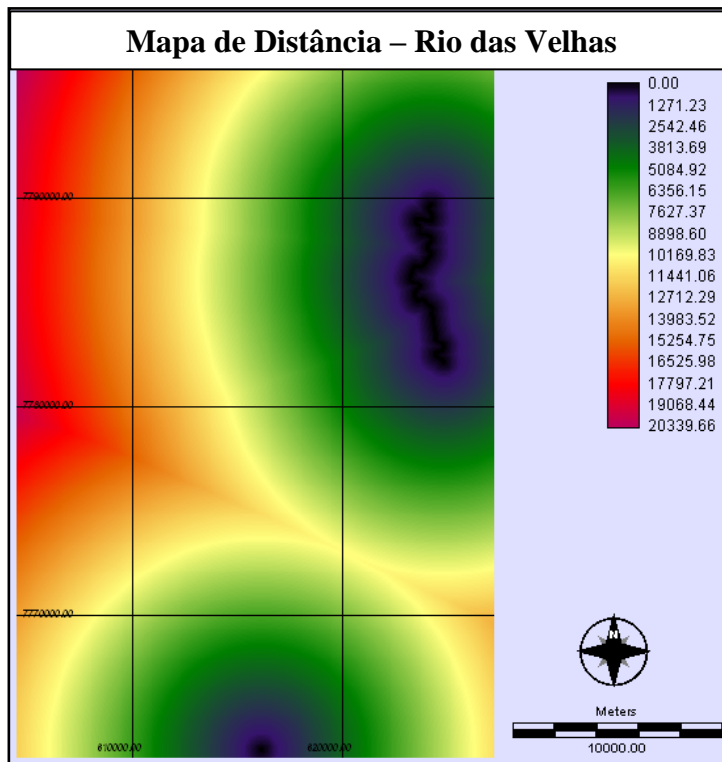


Figura 05 – Superfície de distância gerada no IDRISI para ponderação do fator relacionado à qualidade da água.

Após a superfície de distância pôde-se então aplicar o modelo matemático, onde adota-se a mesma escala dos demais fatores e obtém-se o fator hidrografia.

4.2.2 Fator Solo

A definição de um fator que possa mapear a fragilidade em função do tipo de solo tem grande importância em análises ambientais. Para isso, utilizou-se de uma base, mapeamento geológico feito pela Universidade Federal de Viçosa juntamente com dados da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico Do Brasil). Dessa forma, ao identificar o tipo de solo presente no município buscou-se fazer uma reclassificação da imagem, colocando-a na mesma escala utilizada nos demais fatores.

Já no software IDRISI, fez-se a reclassificação, a partir da função RECLASS, definindo os intervalos de fragilidade segundo Ross (1994) e Messias (2012).

4.2.3 Fator Cobertura do Solo

A cobertura do solo utilizada no trabalho foi baseada em Paula (2007), que utilizou-se de imagens de satélite e classificação supervisionada e não supervisionada para mapeamento da cobertura do município. Adaptações se fizeram necessárias a fim de padronizar a variável cobertura do solo com as demais variáveis. A Figura 06 apresenta adaptações feitas a partir de Paula (2007) para elaboração do projeto.

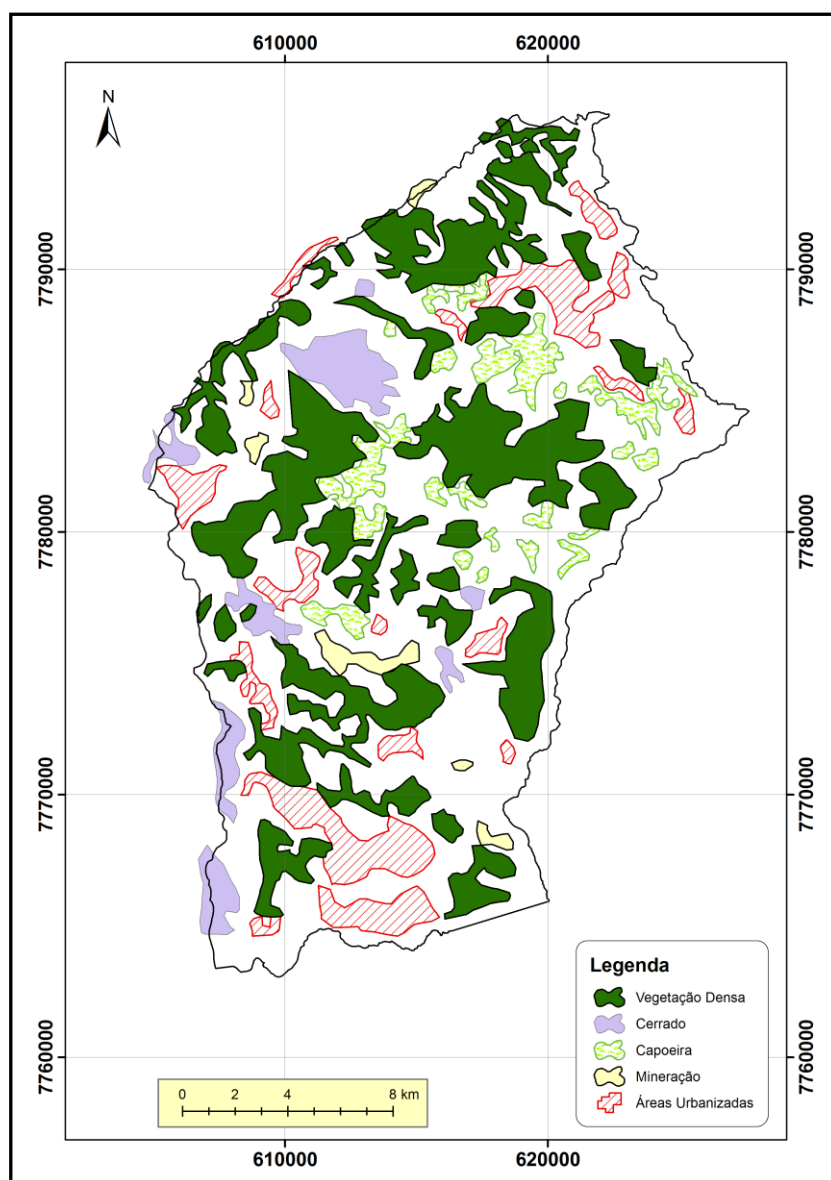


Figura 06 – Uso e Cobertura do Solo. Adaptado de Paula (2007).

Após padronização desses dados, fez-se também a reclassificação da imagem de uso e cobertura, adotando valores para camada feição de acordo com o proposto na Tabela 02. Dessa forma obteve-se o fator uso e ocupação do solo.

4.2.4 Fator declividade

A declividade é um dos fatores mais importantes para o mapeamento da fragilidade ambiental. Dessa forma, buscou-se avaliar a declividade em todo o território do município. A partir das curvas de nível, com equidistância vertical de 5 metros, definiu-se um Modelo Digital de Elevação, MDE, do qual foram extraídas classes de declividade. Verificou-se que boa parte do município encontra-se em altas declividades, o que define uma alta fragilidade se observado apenas o fator declividade. A Figura 07 apresenta o mapa de classes de declividade do município.

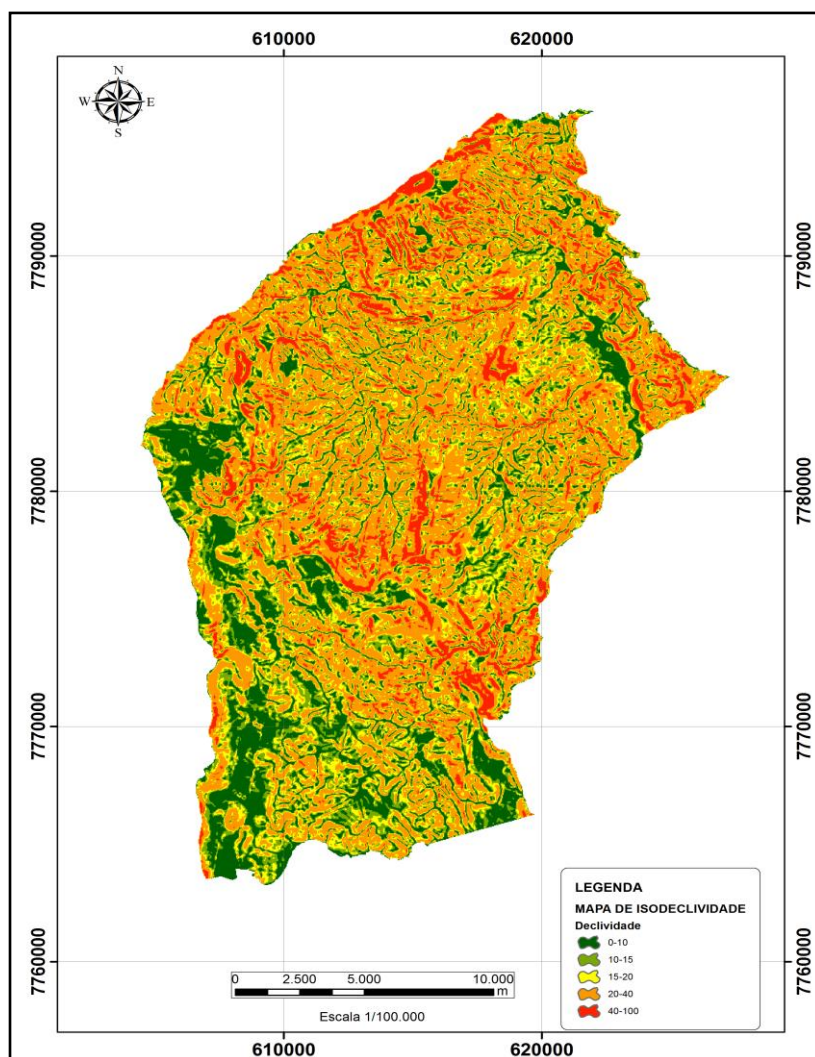


Figura 07 – Mapa de classes de declividade de Nova Lima.

A partir dos valores de declividade, ou melhor, a partir de intervalos de declividade, fez-se a reclassificação da imagem, como demais fatores, atribuindo a cada classe pesos de acordo com o que propõe a literatura apresentada.

4.3 – Análise Multicritério

Após o levantamento de todas as restrições e fatores, definiu-se uma ordem de cada fator dentro do processo tal como no método apresentado em Ross (1994), Messias (2012), Silva (2010) e Paula (2007). As tabelas 08 e 09 definem um padrão de comparação normalizada para análise multicritério, onde as camadas de informação, fatores, são comparadas entre si, podendo definir a importância de um em relação outro. Desta forma, os pesos, que muitas das vezes precisam ser analisados por especialistas, serão definidos a partir de comparação entre os fatores.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
EXTREMAMENTE	BASTANTE	MUITO	POUCO	IGUAL	POUCO	MUITO	BASTANTE	EXTREMAMENTE
MENOS IMPORTANTE					MAIS IMPORTANTE			

Tabela 08 – Escala normalizada para aplicações em análises multicritério. Adaptado de SILVA (2010).

Escala Normalizada	Declividade	Uso e Cobertura do Solo	Hidrografia	Solo
Declividade	1			
Uso e Cobertura do Solo	1/3	1		
Hidrografia	1/5	1/3	1	
Solo	1/5	1/5	1/3	1

Tabela 09 - Comparação dos fatores utilizados na análise.

Após essa comparação entre fatores, verifica-se se houve inconsistências nas comparações, e por fim faz-se a análise multicritério, onde todos os fatores juntos resultam em uma única imagem, que considera a nota do fator (pixel) e a importância de cada fator dentro da análise.

5 – Resultados Obtidos e Discussões

Embora o presente trabalho vise determinar a fragilidade ambiental considerando vários fatores, serão apresentados nesse item resultados parciais, uma vez que cada fator estudado gera um nível de fragilidade, e o entendimento dos fatores isolados fornece um entendimento global da análise.

Para cada fator estudado obteve-se um mapa capaz de expressar a fragilidade de forma isolada.

5.1 - Fragilidade - Fator Declividade

Com base no mapa de declividade e na metodologia proposta por Ross (1994) e Messias (2012), definiu-se o fator declividade, como mostrado a Figura 08, que trata-se da fragilidade em função dos intervalos de declividade.

Os valores apresentados estão expressos com base na Tabela 01, onde verifica-se a classificação do fator em intervalos de declividade.

Percebe-se que a declividade apresenta valores elevados, o que pode definir um peso grande na análise multicritério. Assim, caso seja definido um peso alto para o fator declividade, todos os demais fatores poderão ter uma importância pequena na análise. Com isso a fragilidade ambiental, que adota diversos fatores, poderá ser muito próxima do fator declividade analisado de forma isolado.

O diferencial da adoção de uma escala com intervalos maiores é que, em situações como a apresentada na Figura 08, pode-se definir mais intervalos para análise da fragilidade. No entanto, a adoção de uma ponderação diferente da proposta apresentada, exige o conhecimento de várias áreas do conhecimento além de uma equipe multidisciplinar, capaz de avaliar tanto a nota de cada classe como o peso a ser atribuído a cada fator.

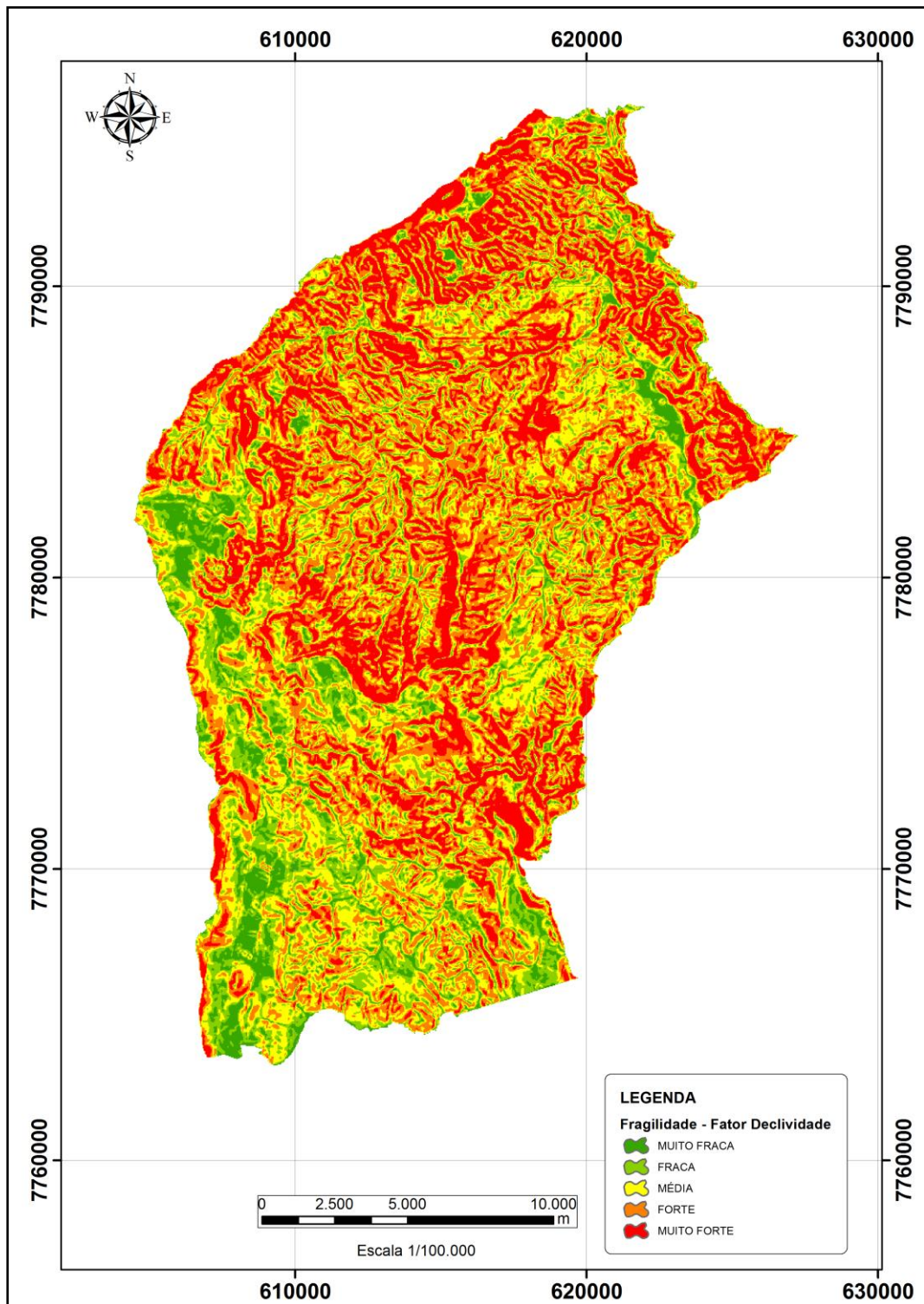
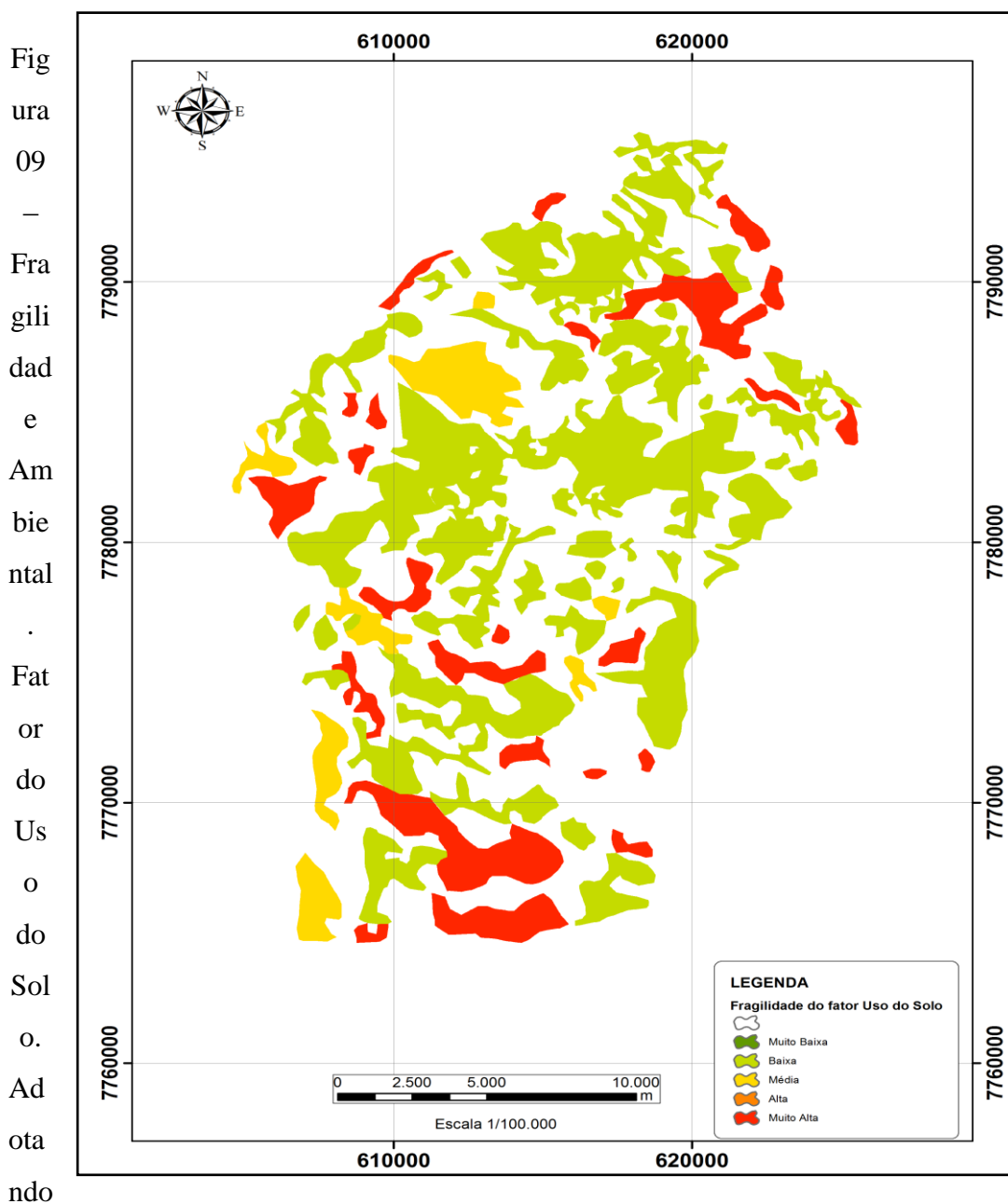


Figura 08 – Fator declividade. Cada classe de fragilidade corresponde à um intervalo de declividade como proposto por Ross (1994).

5.2 - Fragilidade - Fator Uso e Cobertura do Solo

Sabe-se que a cobertura do solo é um fator de “peso” relacionado à fragilidade ambiental. Um solo exposto está mais susceptível à erosão que um solo coberto por uma vegetação densa. Desta forma, fez-se a ponderação com base nas classes encontradas no município, adotando uma escala de 0 a 255. Baseado em Ross (1994), Messias (2012) e Paula (2007), chegou-se ao fator uso e cobertura do solo. A Figura 09 expressa os níveis de fragilidade ambiental de acordo com o uso e ocupação do solo. Verificou-se que as áreas com urbanização mais densas apresentam fragilidades mais elevadas.



os valores de referência propostos por Ross (1994), adaptados em uma escala de 0 a

255, verifica-se valores elevados para fragilidade em relação ao fator uso e cobertura do solo.

5.3 - Fator Qualidade da Água - IQA

A qualidade da água foi analisada de forma isolada para cada um dos cursos d'água avaliados neste trabalho. Assim, para cada curso obteve-se um padrão de fragilidade, uma vez que o IQA não é o mesmo para todos os cursos d'águas.

5.3.1 Fragilidade Ambiental – IQA Rio das Velhas

A Figura 10 expressa a fragilidade ambiental em torno do Rio das Velhas. Tomou-se como base o valor do IQA para o trecho em análise, valor que obtido no IGAM.

A partir do trecho do Rio das Velhas analisado, gerou-se uma superfície de distância em seu entorno e em toda sua extensão. Obteve-se a fragilidade ambiental a partir da aplicação de uma função matemática, função linear inversamente proporcional, de forma que quanto mais próximo ao Rio das Velhas maior a fragilidade, e quanto mais distante menor a fragilidade. Como o mapa de qualidade das águas do IGAM apresentou um valor crítico de IQA para o trecho em análise, isso fez com que a função matemática fosse inversa, de forma a garantir uma fragilidade ambiental baixa quanto mais distante do curso d'água.

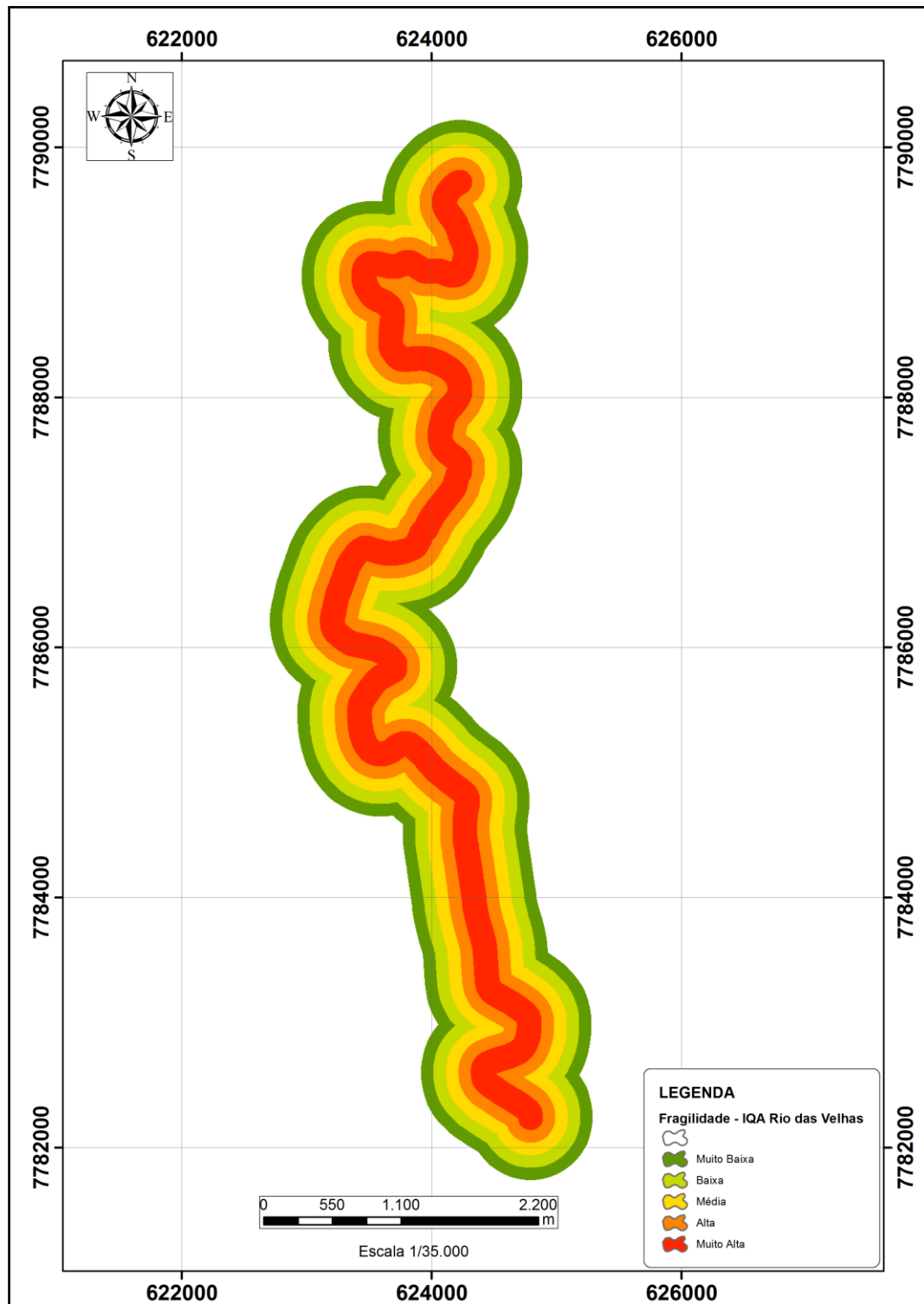


Figura 10 – Fragilidade de acordo com IQA do Rio das Velhas

5.3.2 - Fragilidade Ambiental – IQA Rio de Peixe.

Para o estudo da fragilidade expressa na Figura 11, adotou-se a mesma metodologia aplicada ao Rio das Velhas. Definiu-se uma superfície de distância, a partir do qual aplicou-se uma função matemática. Porém, o valor de IQA para Rio de Peixe mostrou-se maior, indicando uma qualidade de água boa, o fez com que áreas com alta fragilidade fossem menores.

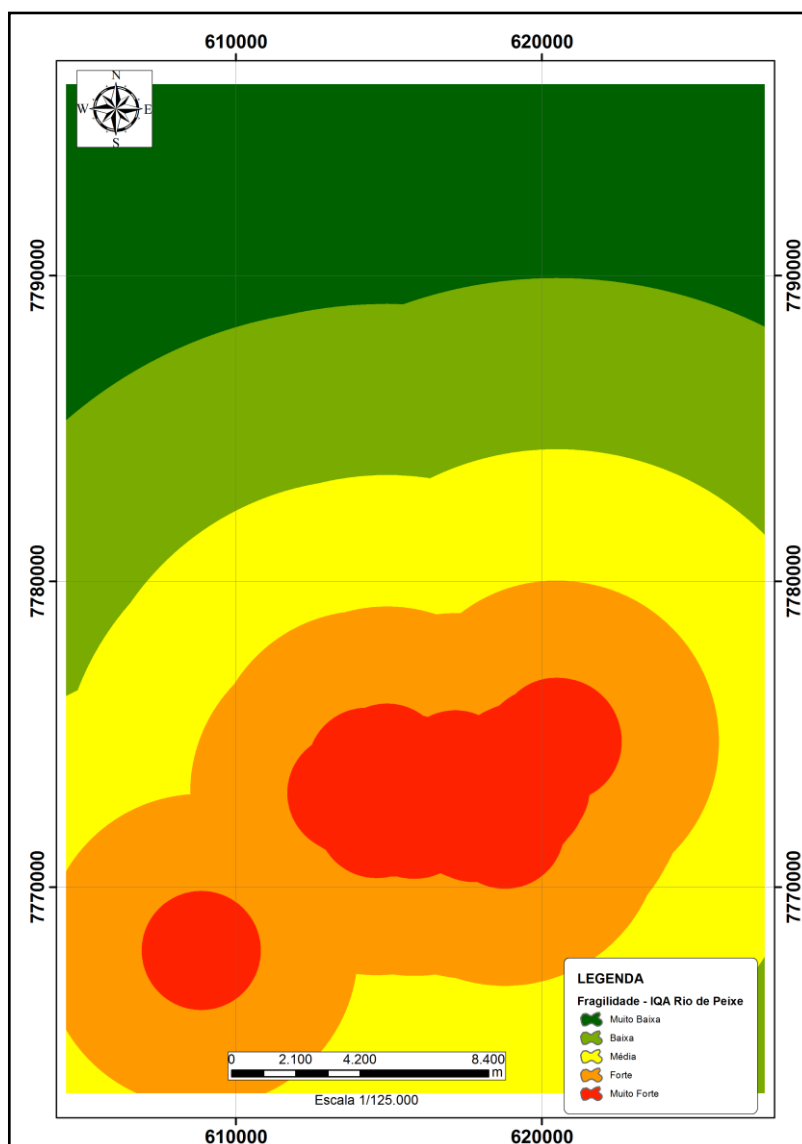


Figura 11 – Fragilidade de acordo com IQA do Rio de Peixe.

A qualidade da água de Rio de Peixe é definida como boa segundo o mapa de 2013 de qualidade das águas elaborado pelo IGAM. No Figura 11 percebe-se que boa parte do entorno é caracterizado de média à baixa fragilidade.

5.3.3 Fragilidade Ambiental – IQA Ribeirão Água Suja

O Ribeirão Água Suja apresenta um valor de IQA baixo devido a sua qualidade de água. Trata-se de um trecho, como mostra a Figura 12, bem poluído, apresentando-se com coloração bem turva e altos índices de matéria orgânica, expondo a comunidade em seu entorno em condições críticas. Desta forma, percebe-se na Figura 12 um percentual significativo de alta fragilidade ambiental, tendo uma fragilidade baixa apenas em pontos mais distantes de curso d'água.

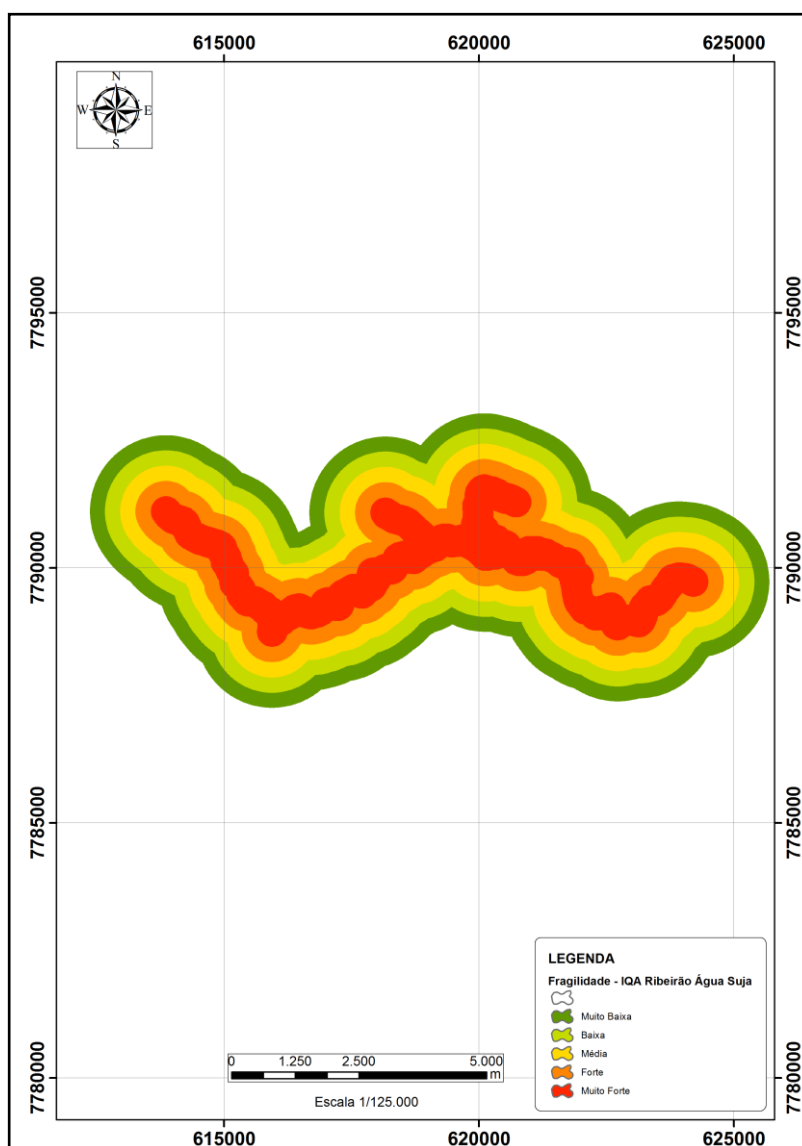


Figura 12 – Fragilidade de acordo com IQA do Ribeirão Água Suja.

5.4 Fragilidade – Fator Solo

Para o conhecimento da fragilidade ambiental, buscou-se também uma análise no solo da região, sendo observado três classes de solos como é mostrado na Figura 13.

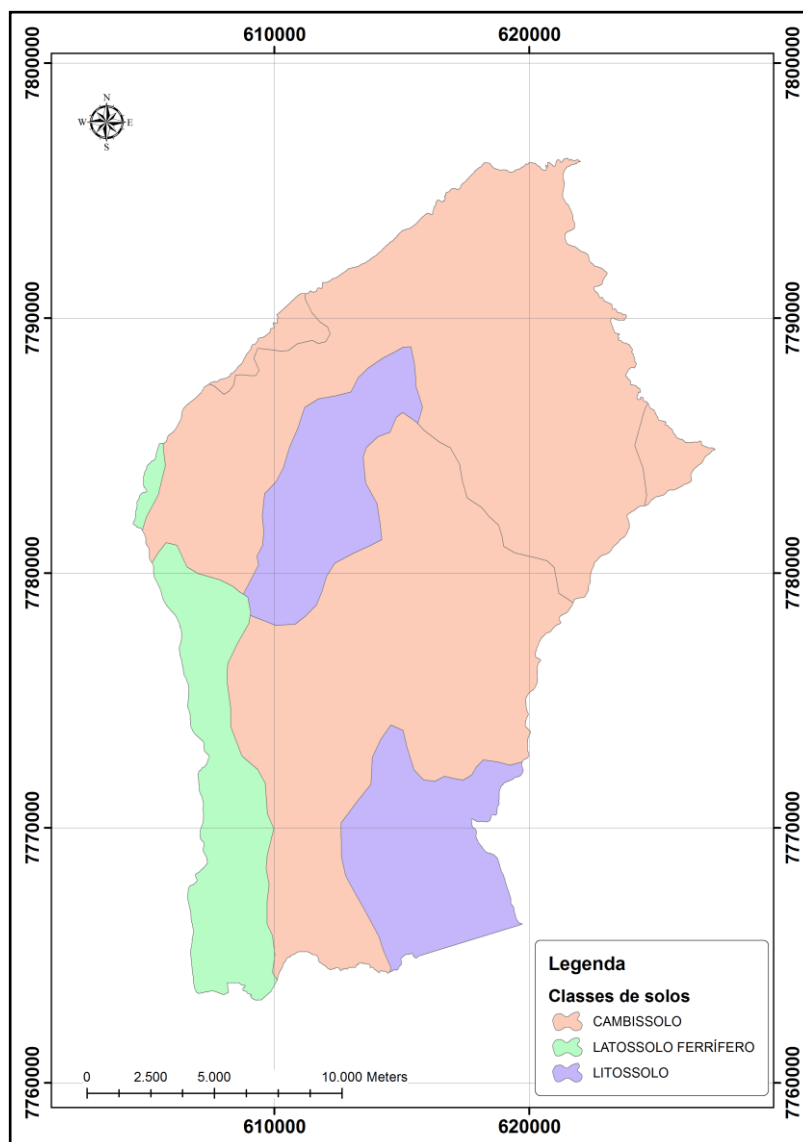


Figura 13 – Tipo de solo presente no município. EMBRAPA

Identificado o tipo de solo, buscou-se atribuir as notas para cada classe de solo. Adotou-se os valores propostos por Ross (1994) e Messias (2012). A Figura 14 define a fragilidade em função do tipo de solo.

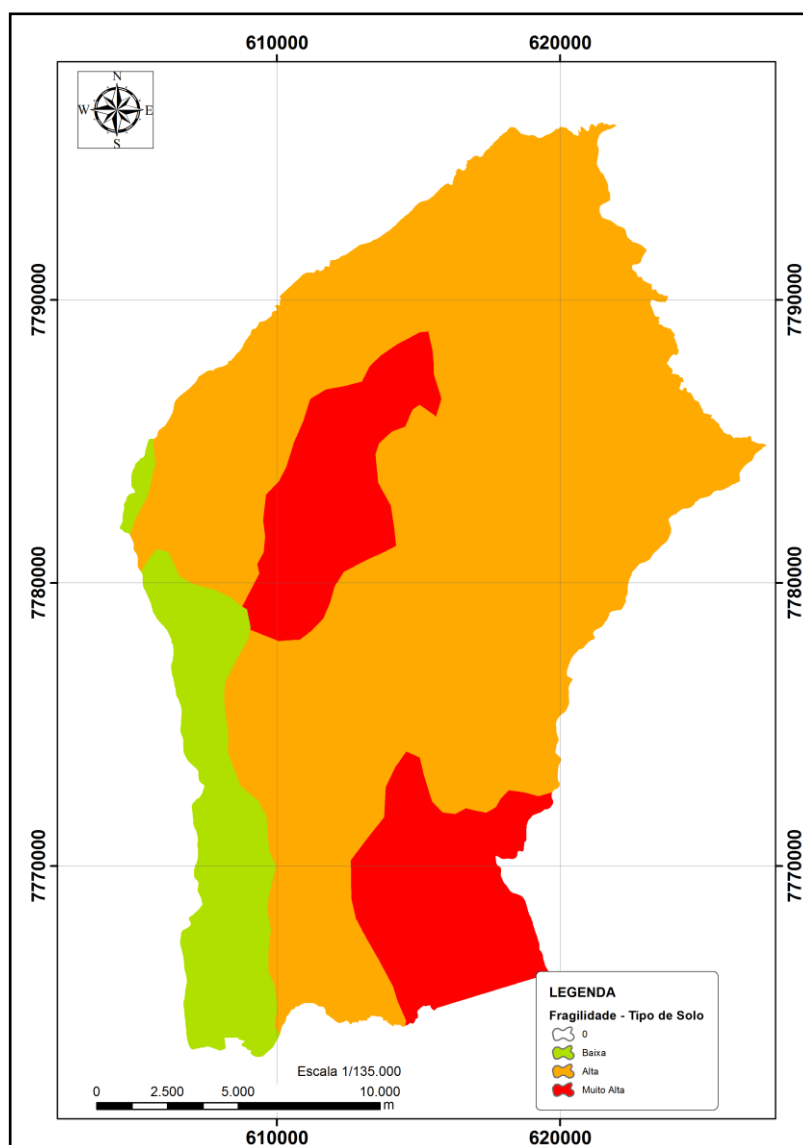


Figura 14 – Fragilidade de acordo com o tipo de solo.

5.5 - Mapa de Fragilidade Ambiental

Após a ponderação de cada fator e conhecimento da fragilidade de cada fator, a análise multicritério possibilitou a junção de todos os fatores formando uma imagem única, capaz de expressar todas as variáveis utilizadas bem como a importância de cada uma dentro da álgebra de mapas. Desta forma, utilizou-se a análise multicritério do software IDRISI, que após comparação dos fatores, atribuiu um peso para cada fator com base na comparação feita. De acordo com os valores propostos para todos os fatores, apresentados nas tabelas anteriores, e da comparação feita entre os critérios, obteve-se o seguinte mapa de fragilidade ambiental expresso na Figura 15.

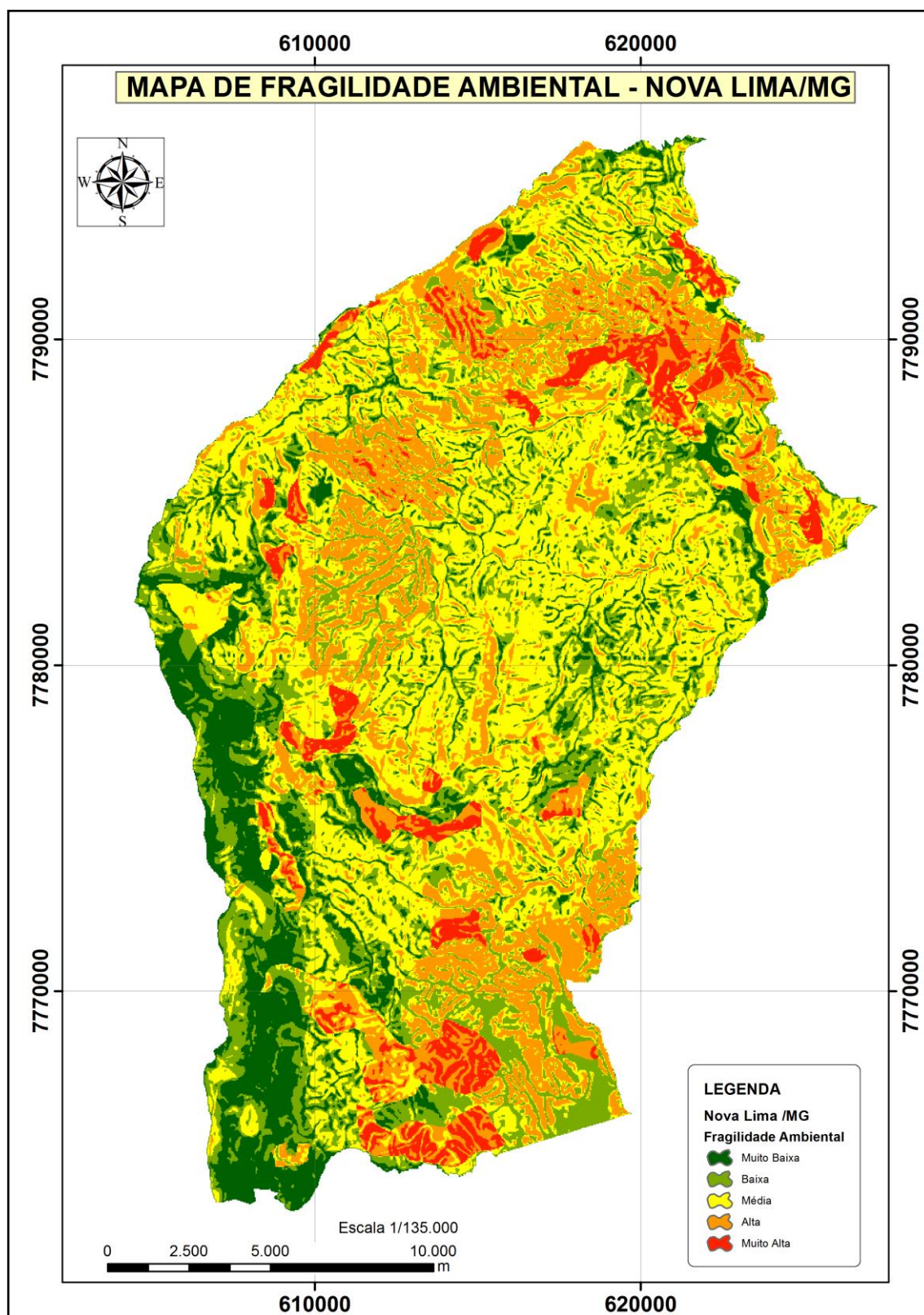


Figura 15 – Fragilidade Ambiental para o Município de Nova Lima/MG.

Verifica-se um predomínio de valores que definem uma fragilidade média. Percebe-se também um percentual significativo de áreas com valores de fragilidade ambiental baixa. O fato da topografia do município ser em quase sua totalidade ondulada ou montanhosa favoreceu para que os valores de fragilidade fossem mais elevados.

Embora o fator declividade definisse quase toda a área como de alta fragilidade, a análise multicritério mostrou valores diferentes, isso pelo fato dos demais critérios não serem tão restritivos quanto a declividade.

Fica claro que a análise da fragilidade ambiental é tarefa complexa, e a análise dos fatores isolados fornecem valores que não correspondem com a realidade.

O resultado encontrado no mapa retrata bem as características ambientais do município, uma vez que, é possível verificar um território bem conservado, com presença marcante de extensas áreas remanescente de mata atlântica, e inúmeros cursos d'água de grande importância para região metropolitana de Belo Horizonte.

As áreas identificadas como de fragilidade alta sinalizam para as áreas urbanizadas, e com valores de IQA alto, o que favorece para uma maior degradação ambiental, e conseqüentemente uma fragilidade maior. Porém, a partir dos valores indicados no mapa, pode-se definir programas e ações localizadas visando um desenvolvimento sustentável no município de Nova Lima.

6 - Considerações Finais

O estudo da fragilidade ambiental no município de Nova Lima indicou que boa parte do território encontra-se ainda preservado. Mas também são percebidos alguns pontos de impactos ambientais, observados na qualidade de alguns cursos d'água, pelas ocupações em áreas de preservação e de altas declividades, que deixam o meio ambiente em condições de fragilidade ambiental.

A elaboração de um mapa de fragilidade local permitirá decisões mais acertadas para que se obtenha um desenvolvimento ambiental sustentável dentro do município, definindo diretrizes para novos parcelamentos e novas indústrias a serem instaladas.

A metodologia proposta no estudo, baseado em Ross (1994), Messias (2012), Paula (2007) e outros, definem uma ponderação para declividade que não se adapta bem à topografia do município, uma vez que a irregularidade do relevo coloca quase a totalidade do território em alta fragilidade no quesito declividade, sendo portanto necessário em trabalhos futuros adoção de métodos de estudo da fragilidade afinados à realidade local, a fim de fazer uma “calibração” de modelo que se adeque às condições encontradas no município. Ainda, torna-se necessário um conhecimento da qualidade da água em escala local, para que todos os cursos d'águas possam ser analisados, e se obtenha a fragilidade em escala de microbacias.

Contudo, percebe-se que os resultados obtidos já apontam para regiões onde se deve repensar as ações que visam à preservação e recuperação ambiental, e que num futuro próximo deverão ser estudadas e acompanhadas pelos gestores ambientais do município.

7 –Referências Bibliográficas

ARÊDES, M.N.; COELHO, K.B.P. **Uso do solo e implicações ambientais em áreas urbanas: Um estudo de caso.** Apud: MOURA, A.M.S.; SENA FILHO, N. Cidades: relações de poder e cultura. Goiânia: Ed. Vieira, 2005. 334p.

BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F.; **Conservação do solo.** Piracicaba: Ed: Livroceres, 1985. 392 p.

BONHAM-CARTER, G.F. **Geographic information systems for geoscientists: modelling with Gis.** Ontário: Pergamon, 1994. 398 p.

BURROUGH P.A, MCDONNELL R.A; **Principles of geographical information systems:** Oxford University Press; 1998

CALIJURI, M. L.; MELO, A. L. O.; LORENTZ, J. F.. **Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão.** Revista de Informática Pública. 2002, Vol 4. p. 231-350.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Conceitos básicos da ciência da geoinformação.** In: CÂMARA, G.; DAVIES, C., et al (Ed.). Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001.

CARVALHO, G. A.; MOURA, A. C. M. **Elaboração e análise do perfil de fragilidade social do município de Sabará-mg como apoio ao planejamento e gestão urbana em escala municipal.** In: xxiv Congresso Brasileiro de Cartografia. Aracaju, SE. 2010.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo. Índices de qualidade das águas** (Série relatórios, Anexo III). São Paulo: Cetesb, 2007. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/publicacoes.asp>> Acesso em: 15/04/2009.

CHORLEY, R.; e HAGGETT, P. **Modelos, paradigmas e a nova geografia.** In: CHORLEY, R. e HAGGETT, P. **Modelos sócios-econômicos em geografia.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos/USP, p.1-22, 1975.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P. & FLORENZANO, T. Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico. São José dos Campos: INPE, 1996.

CRUZ, M. L., JÚNIOR, P. F. J., RODRIGUES, C. S.; Abordagem **cartográfica da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Glória – MG.** Revista Brasileira de Cartografia No 62/03, (ISSN 0560-4613), 2010.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. **Cultivo de Algodão.** (Série: Sistemas de Produção, 3). Campinas: EMBRAPA, 2003.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412p.

FARIAS, M. S. S. **Monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Cabelo**. Campina Grande/Paraíba: UFCG. Tese de doutorado (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, 2006.

FERREIRA, J. C. et al. **Ensaio de delimitação de corredores verdes na área metropolitana de Lisboa: Integração de dados fuzzy através da análise multicritério**. In: ENCONTRO DE UTILIZADOR ES DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, VIII. 2004. Oeiras. Anais...Oeiras - Portugal, 2004.

GHEZZI, A. O., **Avaliação e mapeamento da fragilidade ambiental da bacia do rio Xaxim, Baía de Antonina – PR, com o auxílio de geoprocessamento**. Dissertação de mestrado do curso de pós-graduação em ciência do solo, do departamento de solos e engenharia agrícola, setor de ciências agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2003.

GOMES, L. F.A; GOMES, C.F.S; ALMEIDA, A. T. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. São Paulo: Ed. Atlas, 2009. 326p.

HELMANN, K.S. & MARÇAL, R.F.M. **Método multicritério de apoio à decisão na gestão da manutenção: aplicação do método Electre I na seleção de equipamentos críticos para processo**. Revista Gestão Industrial, V.3, n. 1, p. 123-134, 2007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Noções básicas de cartografia**. (Série Geociências/Cartografia) São Paulo, 2006.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Apostila do curso – SPRING 3.4 (versão Windows)**. (Série: Manuais) São José dos Campos, 2000.

JURANDYR, C, S.; ROSS, L, S.; **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos**. GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, Nº 15, pp.39-49, 2004

KAWAKUBO, et. al. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento**. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2203-2210.

MARINS, C. S. E COZENDEY, M. I. **A metodologia de multicritério como ferramenta para tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25, Porto Alegre, 2005. ANAIS: Porto Alegre: ENEGEP, 2005 (CD room)

MARTINS, V. B. **Metodologia baseada em Sistemas de Informação Geográfica e Análise Multicritério para seleção de áreas para a construção de um repositório para o combustível nuclear usado**. Tese de Doutorado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COOPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

MEIRELLES, S., **Análise integrada do ambiente através de geoprocessamento – uma proposta metodológica para elaboração de zoneamentos**. Rio de Janeiro: IGEO/UFRJ, 1997. 192p. Tese Doutorado

MESSIAS, C.G. **Análise empírica da fragilidade ambiental utilizando de técnicas de geoprocessamento: o caso da área de influência da hidrelétrica do Funil-MG**. Revista Geonordeste, Edição Especial V2. N4. p 112-125,2012.

PAULA, E. M. S.; **Lógica Fuzzy como técnica de apoio ao zoneamento ambiental**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2979-2984

PIVELLO, V.R.; BITENCOURT, M.D.; MANTOVANI, W; MESQUITA JÚNIOR, H.N.; BATALHA, M.A.; SHIDA, C.N. **Proposta de zoneamento ecológico para a reserva de Cerrado Pé-Gigante (Santa Rita do Passa Quatro, SP)**. Brazilian Journal of Ecology. v.02, n.02, p-23-29, 1998.

RIBACIONKA, F. **Sistemas computacionais baseados em lógica fuzzy**. Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Mackenzie, Programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica, São Paulo, 1999.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do Departamento de Geografia. n.8, p.63-74. 1994.

SANTOS, A. P., et. al. - **Uso da análise multicritério no mapeamento da fragilidade social da área urbanizada do município de Viçosa – MG**, Revista Brasileira de Cartografia (2012) N0 64/5: 635-643 - Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, ISSN: 1808-0936

SEMA - Secretaria Especial do Meio Ambiente. **Caracterização e diretrizes gerais de uso da área de proteção ambiental do Rio São Bartolomeu (escala 1:100.000)**. (Série: Áreas de Proteção Ambiental). Disponível em: <http://eco.ib.usp.br/lepac/conservacao/Artigos/83_zoneamento_eco.pdf Acesso em: 06/09/2014.

SILVA, C. H. C.; **Identificação de fragilidades ambientais na bacia do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa-MG utilizando análise multicritério**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa- UFV- Viçosa/MG, 2010

SILVA, J.F. e RODRIGUES, S.C. **Síntese ambiental e evolução do uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Córrego do Salto, Uberlândia (MG)**. (Série: Caminhos da Geografia – revista online) Uberlândia, 2004.

SOUZA, C.P; SIRTOLI, A.E.; LIMA, M.R.; DONHA, A.G. **Estudo do meio físico na avaliação de bacias hidrográficas utilizadas como mananciais de abastecimento**. In: ANDREOLI, C.V & CARNEIRO, C. **Gestão Integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: Sanepar, Finep 2005. 15p.

SPÖRL, C. & ROSS, J.L.S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos.** *Geosp - Espaço e Tempo*, São Paulo, Nº 15, pp.39-49, 2004.

STREHER, A. e SCHÄFER, A. **Utilização do índice químico (BACH, 1980) no Rio Três Forquilhas, RS, como instrumento de avaliação da qualidade da água.** (59ª Reunião Anual da SBPC –Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência). Belém, 2007.

TAMANINI, M. S. A. **Diagnóstico físico-ambiental para determinação da fragilidade potencial e emergente da bacia do baixo curso do Rio Passaúna em Araucária – PR. 2008.** 105 f. Dissertações (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

XAVIER, S. J., **Geoprocessamento para análise ambiental.** Rio de Janeiro: J. Xavier da SILVA, 2001. 228 p.

ZADEH, L. A., **Fuzzy Sets**, Department of Electrical Engineering and Electronics Research Laboratory, University of California, Berkeley, Information and Control 8, 338-353, California, 1965.