

RAQUEL DE CASTRO PORTES

**DETERMINAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU, VIÇOSA – MG
ATRAVÉS DE GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

VIÇOSA, MG - BRASIL

JUNHO - 2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
DEPARTAMENTO DE ARTES E HUMANIDADES
CURSO DE GEOGRAFIA

DETERMINAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU, VIÇOSA – MG
ATRAVÉS DE GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Monografia apresentada á disciplina
GEO 481 – Monografia e seminário, do
curso de Geografia da Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências para obtenção do título de
Bacharel em Geografia

Autora: Raquel de Castro Portes

Orientador: Elpídio Inácio Fernandes
Filho

Co-orientador: André Luiz Lopes de
Faria

Viçosa, MG – Brasil
Junho de 2008

Monografia defendida e aprovada em Junho de 2008 pela banca examinadora:

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho
Orientador
Departamento de Solos
UFV

Prof. André Luiz Lopes de Faria
Co-orientador
Departamento de Artes e
Humanidades da UFRV

Prof. Leonardo Vaz de Melo
COLUNI – UFRV

Dedicatória

Dedico esta monografia aos meus pais, por todo amor, carinho, apoio e incentivo ao longo desta caminhada;

Ao Vô Vicente, pela grande lição de vida e pelas boas gargalhadas;

Aos meus irmãos Rafael e Wilson, pelo eterno amor;

Ao Diogo, grande amor da minha vida. Pelo companheirismo, amizade, paciência, carinho e verdadeiro amor;

A Quica, meu bichinho de estimação que traz alegrias ao meu lar.

Agradecimentos

Agradeço meus pais, Amasiles e Manoel, por tudo que fizeram por mim durante minha vida. Pelo esforço em me manter em Viçosa, por aceitarem minha ausência nestes cinco anos, acreditando no meu potencial e sempre me apoiando.

Ao Diogo, meu namorado, companheiro em todos os momentos, pela compreensão, paciência, ajuda, amor e carinho, que juntos, formamos uma equipe.

Ao professor Elpídio, meu orientador, por acreditar em mim, pela amizade, carinho, paciência, ensinamentos e oportunidades durante cinco anos de LabGeo.

Ao professor André, meu co-orientador, pela amizade, por todos os empréstimos de livros ao longo do curso, ensinamentos e orientações.

A professora Aline Werneck, nos tempos de PDFA. Pelos ensinamentos, carinho e troca de experiência.

As minhas antigas companheiras de república, pelo colinho e carinho.

Ao Leonardo Vaz de Melo, pela força e ensinamentos no estágio de ensino.

Aos amigos de Viçosa, pela boa convivência, boas conversas e trocas de experiências.

A Nolan Bezzeira, Carlos Crespo, Bruno Resck, Professor Rafael Bastos e Carlos Vieira pela colaboração fundamental para realização da monografia.

A Universidade Federal de Viçosa, o Departamento de Artes e Humanidades e em especial ao Departamento de Solos, pelos ensinamentos, oportunidades e vitórias.

Ao Plano de Segurança de Água da UFV, pela bolsa concedida e oportunidade para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE MAPAS	vii
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE SIGLAS	viii
RESUMO	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	1
2.1. Plano de Segurança da Água.....	1
2.1.1. Plano de Segurança da Água – Projeto Piloto Brasil	
3	
2.2. Fragilidade Ambiental em bacias hidrográficas	4
2.3. Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica	6
2.3.1. O uso do Geoprocessamento na análise ambiental	7
2.4. Análise Multicritério	8
2.5. Critérios da análise	10
2.5.1. Declividade	12
2.5.2. Fluxo acumulado de água	13
2.5.3. Solos	14
2.5.4. Uso e ocupação do solo	16
3. METODOLOGIA	17
3.1. Caracterização geral bacia do ribeirão São Bartolomeu	17
3.2. Área de estudo	21
3.3. Materiais	21
3.4. Procedimentos metodológicos	21
3.4.1. Espacialização dos critérios	22
3.4.1.1. Declividade	22
3.4.1.2. Fluxo acumulado de água	22
3.4.1.3. Solos	23
3.4.1.4. Uso e ocupação do solo	23
3.4.2. Análise Multicritério	26
3.4.2.1. Atribuição de pesos	26
3.4.2.1.1. Declividade	26
3.4.2.1.2. Fluxo acumulado de água	27

3.4.2.1.3. Solos	28
3.4.2.1.4. Uso e ocupação	28
3.4.2.2. Cruzamento dos critérios	34
3.4.2.2.1. Fragilidade potencial	34
3.4.2.2.2. Fragilidade ambiental	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1. Critérios	36
4.1.1. Declividade	36
4.1.2. Fluxo acumulado de água	36
4.1.3. Solos	36
4.1.4. Uso e ocupação do solo	37
4.2. Fragilidade potencial	37
4.3. Fragilidade ambiental	39
5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	42
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura geral de Sistemas de Informação Geográfica	7
Figura 2 – Critérios para determinação da fragilidade ambiental	11
Figura 3 – Geometria das encostas	14

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Localização da área de estudo – Bacia do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa – MG	18
Mapa 2 – Altimetria da bacia do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa – MG	24
Mapa 3 – Imagem IKONOS da bacia do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa – MG	25
Mapa 4 – Declividade da bacia do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa – MG	30
Mapa 5 – Fluxo acumulado de água – Bacia do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa – MG	31
Mapa 6 – Solos da bacia do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa – MG	32
Mapa 7 – Uso e ocupação do solo da bacia do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa – MG	33
Mapa 8 – Fragilidade potencial da bacia do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa – MG	39
Mapa 9 – Fragilidade ambiental da bacia do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa – MG	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição do relevo conforme os intervalos de porcentagem de inclinação	12
Tabela 2 – Classes de declividade, áreas e graus de fragilidade	26
Tabela 3 – Classes de fluxo acumulado de água, áreas e graus de fragilidade ...	27
Tabela 4 – Classes de solos, áreas e graus de fragilidade	27
Tabela 5 – Classes de uso e ocupação do solo, áreas e graus de fragilidade	29
Tabela 6 – Cruzamento dos critérios para fragilidade potencial	34
Tabela 7 – Cruzamento dos critérios para fragilidade ambiental	35

Tabela 8 – Classes de fragilidade potencial e áreas	39
Tabela 9 – Classes de fragilidade ambiental e áreas	41

LISTA DE SIGLAS

- ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**
- ASSEMAE – Associação Nacional de Serviços Municipais de Saneamento**
- CDC – *US Center for Disease Control and Prevention***
- EPA – *US Environmental Protection Agency***
- HA – Hectare**
- MDE – Modelo Digital de Elevação**
- MNT – Modelo Numérico de Terreno**
- MS – Ministério da Saúde**
- OMS – Organização Mundial da Saúde**
- OPS – Organização Panamericana de Saúde**
- PSA-UFV – Plano de Segurança da Água – Projeto Piloto Brasil da Universidade Federal de Viçosa**
- SAAE -Viçosa – Serviço Autônomo de Água e Esgotos de Viçosa**
- SIG – Sistemas de Informações Geográficas**
- TIN – Grade triangular, do inglês “*Triangular Irregular Network*”**
- UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto**
- UFV – Universidade Federal de Viçosa**

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a determinação da fragilidade potencial e ambiental de parte da bacia do ribeirão São Bartolomeu, município de Viçosa – MG, da nascente até os pontos de captação de água pelas Estações de tratamento de Água ETA-UFV e ETA I, com enfoque na qualidade da água para abastecimento público, uma vez que o ribeirão atende cerca de 65% da população Viçosense e toda comunidade do campus da Universidade Federal de Viçosa. A metodologia realizada foi uma adaptação da teoria Ecodinâmica de Tricart, 1977 e da proposta metodológica para determinação de fragilidade ambiental de ROSS, 1994. O uso de Sistemas de Informação Geográfica e análise multicritério permitiu a produção de mapas temáticos intermediários da análise, como os mapas dos critérios de declividade, fluxo acumulado da água, solos e uso e ocupação do solo, bem como mapas finais, como os mapas de fragilidade potencial e fragilidade ambiental através do cruzamento dos critérios. Os resultados revelaram que no mapa de fragilidade potencial há um predomínio de 41,3% da área classificada como médio grau de fragilidade enquanto o mapa de fragilidade ambiental apresenta classes de valores mais distribuídos espacialmente e quantitativamente, devido ao critério uso e ocupação do solo. Os resultados alcançados nesta pesquisa subsidiarão tomadas de decisão do Plano de Segurança de Água – Projeto Piloto Brasil.

1. INTRODUÇÃO

O homem, parte integrante do ecossistema atua como um elemento ativo capaz de modificar a paisagem, pois possui capacidade de alterar solos, vegetação condições hidrológicas, formas de erosão e introduzir alterações no sistema que podem propiciar o desequilíbrio, colapso ou novos arranjos que atingem o estado de equilíbrio funcional (PACHECHENIK, 2005).

As atividades humanas sejam elas no campo ou na cidade produzem o espaço geográfico que está em constante transformação. As formas econômicas de ocupação do solo ao longo da história, na maioria das vezes, ocorreram de forma degradante para o meio ambiente.

A situação atual de degradação do ambiente está no bojo das discussões acerca da qualidade de vida para a população humana. As questões relacionadas aos recursos hídricos ganharam atenção de pesquisadores, políticos e das sociedades em geral, preocupados com a qualidade e quantidade de água disponível pelos mananciais de abastecimento público.

Neste contexto, o estudo integrado de bacias hidrográficas se torna um importante instrumento, pois permite o diagnóstico de sua qualidade ambiental, através da análise dos fatores físico e humano.

O conhecimento da fragilidade ambiental presentes no sistema de uma bacia hidrográfica possibilita compreender a realidade dinâmica da relação homem/natureza e obter informações relevantes de problemas para subsidiar ações futuras.

O presente trabalho tem por objetivo determinar a fragilidade potencial e a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, no município de Viçosa em Minas. Os resultados da análise servirá de subsidio ao Plano de Segurança da Água – Projeto piloto Brasil da Universidade Federal de Viçosa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Plano de Segurança da Água

A OMS no ano de 2004 publica através do primeiro volume da terceira edição o Guia sobre a qualidade da água para consumo Humano no qual recomenda que as entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água desenvolvam planos de

segurança para garantir a qualidade da água, incorporando metodologias de avaliação e gestão de riscos, bem como práticas de boa operação dos sistemas. (VEIRA, 2005)

No país, a legislação brasileira sobre a qualidade da água para consumo humano através da Portaria n.º 1469, do Ministério da Saúde, de 29 de dezembro de 2000 foi revisada e atualizada, porém não houveram (houve) modificações em relação aos procedimentos e as responsabilidades relativas ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. (BRASIL, 2005)

Deste modo, a Portaria n.º 1469/2000 foi revogada e está em vigor desde 2004 a Portaria MS n.º 518/2004 mantendo as responsabilidades para as operadoras de sistema de abastecimento de água, como as tradicionais análises laboratoriais e ações cabíveis para a conservação do manancial de abastecimento bem como análises de risco à saúde humana, como pode ser visto, por exemplo na seção IV, Art. 9º, incisos III e V da portaria:

III – Manter avaliação sistemática do sistema de abastecimento de água, sob a perspectiva dos riscos à saúde, com base na ocupação da bacia contribuinte ao manancial, no histórico das características de suas águas, nas características físicas do sistema, nas práticas operacionais e na qualidade da água distribuída.

V – Promover, em conjunto com os órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, as ações cabíveis para proteção do manancial de abastecimento e de sua bacia contribuinte, assim como efetuar controle das características das suas águas (...) notificando imediatamente a autoridade de saúde pública sempre que houver indícios de riscos a saúde ou sempre que amostras coletadas apresentarem resultados em desacordo com os limites ou condições da respectiva classe de enquadramento, conforme definido na legislação específica vigente.

Entretanto, esta norma não estabelece de forma sistematizada a metodologia por ela apresentada, como uma ferramenta de pronta utilização, dificultando o seu cumprimento. É neste contexto que surge a necessidade de elaboração de metodologias sistematizadas para aplicação da legislação atual, como o desenvolvimento de Planos de Segurança da Água.

Um Plano de Segurança da Água sob a perspectiva da OMS e contemplando a legislação brasileira é definido por (BEZEIRRA, 2007) como um instrumento que identifica e prioriza perigos e riscos em um sistema de abastecimento de água, desde o manancial até o consumidor, visando estabelecer medidas de controle para reduzi-los ou

elimina-los e estabelecer processos para verificação da eficiência da gestão dos sistemas de controle e da qualidade da água produzida.

Esta concepção renovadora privilegia a abordagem de segurança da água de modo preventivo, visando contribuir para a diminuição da contaminação da água no manancial, facilitando assim, o tratamento pela operadora e prevenindo a contaminação dos sistemas de distribuição.

2.1.1. Plano de Segurança da Água – Projeto Piloto Brasil

O Plano de Segurança da Água da Universidade Federal de Viçosa – PSA-UFV é um projeto pioneiro no país e tem por objetivo desenvolver uma proposta metodológica para implementação de futuros Planos de Segurança de Água no Brasil. Para isto, a proposta está sendo testada e validada por meio de estudos de caso.

Inicialmente, o foco de estudo está concentrado nos sistemas de abastecimento de água ETA-I e ETA-UFV, que captam água do ribeirão São Bartolomeu para posterior expansão para sistema de abastecimento de água ETA-II, que obtêm água do Rio Turvo Sujo. Ambos os sistemas localizam-se no município de Viçosa.

O projeto é financiado pelo Ministério da Saúde e pela aliança firmada entre a Organização Panamericana de Saúde (OPS), o *US Center for Disease Control and Prevention* (CDC) e a *US Environmental Protection Agency* (EPA) que apoiam países da região da América Latina e Caribe na abordagem de problemas prioritários de saúde ambiental.

A diversidade de parcerias e apoios para um projeto deste porte é de fundamental importância para seu êxito. O projeto conta com envolvimento dos Ministérios da Saúde, Cidades e Meio Ambiente, as entidades como a ASSEMAE – Associação Nacional de Serviços Municipais de Saneamento, a AESBE – Associação das Companhias Estaduais de Saneamento, a ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, o SAAE-Viçosa - Serviço Autônomo de Água e Esgotos de Viçosa além do meio acadêmico com a UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto e a Universidade de Minho em Portugal.

A proposta metodológica do PSA-UFV é fundamentada nas diretrizes da OMS para Planos de Segurança de Água e outras experiências adaptando-as à realidade brasileira.

A metodologia do PSA-UFV que está sendo realizada segue as seguintes etapas (BEZERRA, 2007):

- (i) Composição de uma equipe multidisciplinar
- (ii) Documentação e descrição do sistema de abastecimento de água, do manancial aos pontos de consumo.
- (iii) Avaliação do sistema de abastecimento de água: diagnóstico de uso e ocupação do solo e usos da água na bacia de captação; diagnóstico do sistema de tratamento e de distribuição da água, avaliação da qualidade da água.
- (iv) Construção de um diagrama de fluxo.
- (v) Aplicação da metodologia de avaliação de risco, a partir do diagnóstico – identificação e priorização de perigos.
- (vi) Identificação dos pontos críticos de controle e determinação de medidas de controle.
- (vii) Definição de limites operacionais, programas e parâmetros de monitoramento das medidas de controle.
- (viii) Preparação de procedimentos gerenciais (incluindo ações corretivas) para condições normais e incidentais.
- (ix) Definição de procedimentos de documentação do sistema e do PSA
- (x) Definição de procedimentos para aferir a eficácia do PSA
- (xi) Estabelecimento de estratégias de comunicação de risco.

2.2. Fragilidade Ambiental em bacias hidrográficas

A determinação da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas seja no espaço urbano ou rural vem sendo aplicada em diversos estudos utilizando técnicas de suporte a decisão e Sistemas de Informações Geográficas como é o caso de GHEZZI, 2003, KAWAKUBOL et al, 2005 e PACHECHENIK, 2004.

Tais estudos são baseados na metodologia proposta por ROSS, 1994 que estuda a relação do espaço geográfico em conjunto com a análise espacial. Esta metodologia segundo (GHEZZI, 2005) fundamenta-se no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre seus componentes físicos e bióticos que foram preconizadas por TRICART, 1977 através da teoria das Unidades Ecodinâmicas.

A concepção de sistema adotada nas análises ambientais é para TRICART, 1977 o melhor instrumento lógico de que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente. Ele permite adotar uma atitude dialética entre a necessidade de análise e a necessidade contrária, de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre o meio ambiente, pois o conceito de sistema é, por natureza, de caráter dinâmico e por isso adequado a fornecer os conhecimentos básicos para uma atuação.

A ótica dinâmica impõe-se em matéria de organização do espaço. Com efeito, esta não consiste na intervenção em um meio inerte, que leva em consideração dados imutáveis, definidos uma vez por todas, como sugere o termo inventário, ainda frequentemente usado. A ação humana é exercida em uma natureza mutante, que evolui segundo leis próprias, das quais percebemos, de mais a mais, a complexidade. Não podemos nos limitar a descrição fisiográfica, do mesmo modo que o médico não pode se contentar com a anatomia. Estudar a organização do espaço é determinar como uma ação se insere na dinâmica natural, para corrigir certos aspectos desfavoráveis e para facilitar a exploração dos recursos ecológicos que o meio oferece (TRICART, 1977).

Neste sentido, a ótica dinâmica deve ser o ponto de partida da avaliação ambiental, sendo integradas as variáveis físicas do meio como, rochas, relevo, solos, clima, fauna etc. com as variáveis sociais e econômicas.

O estudo da fragilidade ambiental aliado a esta visão integrada entre natureza e sociedade, de acordo com (GHEZZI, 2005) indica a vulnerabilidade de um ambiente a algum tipo de uso ou ocupação, quer por decorrência de sua exploração, quer por fatores naturais próprios e tem por objetivo observar como um ambiente, que naturalmente pode apresentar graus de fragilidade, se comporta ou pode vir a se comportar com o advento da interferência humana.

Este tipo de estudo serve como instrumento de grande eficiência para ações de planejamento físicos, territoriais e ambientais, como uso e ocupação do solo versando a conservação do solo e qualidade da água.

(GHEZZI, 2003) definiu a fragilidade ambiental da bacia em estudo, aliada com base nos mapas de fragilidade potencial e emergente. A autora considerou fragilidade potencial o cruzamento dos dados de classes de fragilidade da declividade e classes de fragilidade dos solos, ou seja, a fragilidade naturalmente imposta à bacia pelo ambiente que o compõe. A fragilidade emergente foi determinada acrescentando-se à fragilidade potencial, a situação do uso da bacia.

Outros autores definem fragilidade ambiental como risco ambiental como (SANTOS, 1997 in: GHEZZI), o termo fragilidade do meio pode aparecer como ambiente de risco ou risco ambiental, o que define-se como perigo ou possibilidade de perigo ou perda. (PINTO et al, 2007) adotam o termo fragilidade por risco ambiental. Os autores consideram ainda, que a análise de riscos ambientais em bacias hidrográficas tem um contexto bastante peculiar, pois em se tratando de área com limites bem definidos e possuindo uma dinâmica muito grande nas formas de uso e ocupação do solo, a análise dos riscos ambientais torna-se de grande relevância, principalmente se água for considerada o principal indicador de qualidade desse sistema.

Desta forma, a fragilidade ambiental pode ser compreendida como risco ambiental que a bacia hidrográfica apresente, sendo o somatório da fragilidade potencial que é a vulnerabilidade que o meio natural apresenta considerando com a variável uso do solo.

2.3. Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica

Segundo (CAMARA et al, 1999) o termo Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados geo-referenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

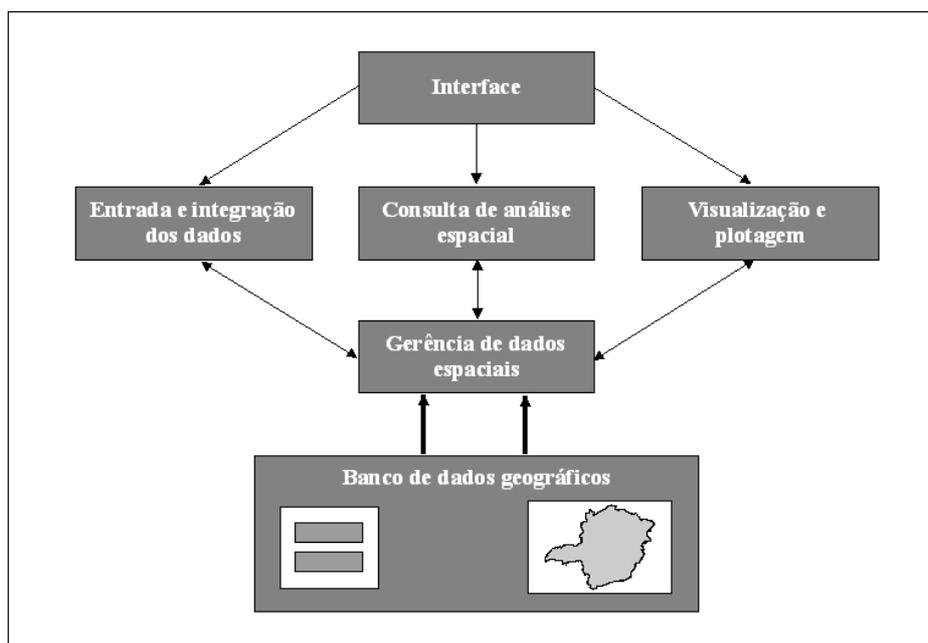
Na literatura, encontramos variações conceituais sobre SIG dada a sua característica interdisciplinar, uma vez que existem múltiplos usos para a tecnologia. (CAMARA et al 2005) define SIG de uma maneira geral através de suas características:

- Inserção e integração, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;

- Oferece mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como consulta, recuperação, visualização e plotagem do conteúdo da base de dados geo-referenciados.

Necessariamente, na estrutura geral de todos os SIG existem componentes distintos e a figura abaixo demonstra o relacionamento destes componentes.

Figura 1 – Estrutura geral de Sistemas de Informação Geográfica



Fonte: (CAMARA et al, 2005).

2.3.1. O uso do Geoprocessamento na análise ambiental

A Ciência da Geoinformação tem dado suporte a vários setores que tratam da questão ambiental. Os SIGs permitem na análise espacial utilizar vários elementos do meio ambiente de forma integrada, gerando resultados eficientes com rapidez e custo baixo.

O uso de metodologias oriundas da teoria Ecodinâmica de TRICART (1977) que se baseiam em múltiplos critérios para determinação da fragilidade ambiental, identificando previamente áreas homogêneas em cada critério, definindo as classes, para posterior combinação dos planos de informação no SIG através da lógica de decisão multicritério.

2.4. Análise Multicritério

Atualmente, a necessidade de tomar decisões referentes ao planejamento dos recursos naturais está inserida nas atividades do setor. Entretanto, há várias alternativas possíveis a serem tomadas, sendo desejável a opção pela qual melhor satisfaça os objetivos em questão.

Além disso, um grande montante de problemas complexos, caracterizados por apresentarem dois ou mais parâmetros geralmente conflitantes em relação à decisão, tem ocorrido com maior frequência na vida prática (HELMANN & MARÇAL, 2007). Segundo GOMES et al (2002), tomar decisões em problemas complexos tem sido uma difícil tarefa, uma vez que elas devem atender múltiplos objetivos e critérios e, nem sempre as conseqüências dessas decisões podem ser previstas. Para atender a essa demanda tem sido empregada a análise multicritério, que é um instrumento de apoio a tomada de decisão e uma opção para que estas diversidades sejam integradas (VILAS BOAS, 2004).

A análise multicritério teve início entre as décadas de 70 e 80, com finalidade de substituir os modelos de pesquisa operacional ortodoxos, provenientes da década de 50 e cujo objetivo era a solução de problemas militares de logística durante a 2ª Guerra Mundial, na qual aspiravam a soluções de complexos problemas de gerência (MARINS & COZENDEY, 2005).

A análise multicritério é definida como um conjunto de técnicas e métodos aplicados para auxiliar ou apoiar a tomada de decisões, dada uma multiplicidade de critérios, estabelecendo uma relação de preferências entre as alternativas pré-avaliadas. Ela lida com problemas de otimização de processos (ALMEIDA & COSTA, 2003).

Além disso, é importante ressaltar que a análise multicritério é uma técnica quantitativa para tomada de decisão, que gera valores subjetivos ao processo decisório, no qual interagem os vários fatores envolvidos, possuindo então capacidade de unir todas as características importantes, inclusive às não quantitativas, dando transparência e sistematizando o processo de tomada de decisões (JANNUZZI, 2005).

De uma maneira geral, uma análise de multicritério é executada em etapas que podem ser representadas, segundo SOARES (2003) do seguinte modo:

- (i) **Definição do problema:** De modo simplificado, definir o problema é chegar a uma situação que necessita de uma decisão.

- (ii) **Criação dos critérios:** Geração de critérios que permitam ponderar os efeitos que a decisão pode acarretar ao meio ambiente. Essa etapa envolve os objetivos, os recursos financeiros disponíveis para gerar um banco de dados coerentes ao objetivo, conhecimentos específicos disponíveis e o tempo.
- (iii) **Determinação de alternativas para o problema:** Tanto os decisores quanto os facilitadores envolvidos devem gerar um montante de alternativas (possíveis soluções ou caminhos a seguir) para que se possa atender ao problema encontrado.
- (iv) **Avaliação dos critérios gerados.** Nesta etapa, busca-se relacionar os critérios gerados na etapa anterior e as alternativas propostas (analisando os prós e os contras, para chegar a resultados satisfatórios), através de matrizes de avaliação ou tabelas que mostram o desempenho dos critérios quando relacionados às alternativas sugeridas ao processo decisório.
- (v) **Ponderação dos critérios e discriminação entre eles:** Os pesos são uma forma de exprimir quantitativamente o quão importantes são cada um dos critérios comparados aos demais. Tal ponderação pode ser executada por diferentes vias, de acordo com a finalidade e disposição de dados, como: distribuição de pesos, hierarquização de critérios, notação, regressão múltipla, taxa de substituição, entre outros.
- (vi) **Associação dos critérios e avaliação das alternativas:** Basicamente, é executada uma associação entre o resultado das avaliações dos critérios para cada uma das alternativas. Em seguida, as alternativas são comparadas umas as outras através de um julgamento relativo de seus valores.

Antes de se atribuir pesos aos critérios, é necessário fazer uma homogeneização dos seus valores, para que eles possam ter tratamento adequado pelo SIG. Essa homogeneização consiste de um processo de reescalonamento dos valores dos critérios para um intervalo comum a todos eles.

A padronização *Fuzzy* tem por finalidade colocar todas as imagens que serão usadas na análise em uma mesma escala, para tornar possível a integração de todos os dados em ambiente de SIG.

Usualmente na análise da fragilidade ambiental, utiliza-se para as classes de cada critério uma escala que varia de 0 a 100, no qual o valor zero é de menor fragilidade ambiental e o valor 100 o máximo de fragilidade.

Para BURROUGH et al (1992 In: DONHA, 2006) a aproximação *Fuzzy* é claramente mais flexível que os métodos *Booleanos* para análise de aptidão das terras, porque a interseção *Booleana* aceita apenas intervalos rígidos e muitas áreas são rejeitadas. A classificação *Fuzzy* de uma variável contínua é claramente a melhor aproximação da realidade que a classificação *Booleana* rígida.

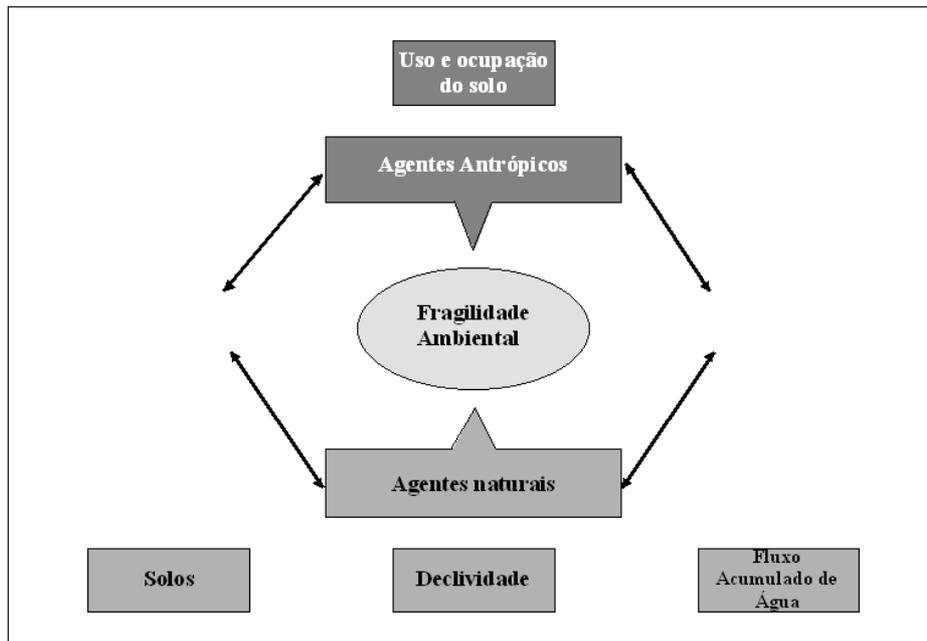
A teoria dos conjuntos *Fuzzy* (nebulosos), desenvolvida por Lofti A. Zadeh em 1965, é uma extensão da teoria de conjuntos clássicos e está associada aos conceitos básicos de funções de pertinência. A sua utilização é apropriada em sistemas que se caracterizam pela generalidade, ambigüidade e imprecisão para a extração de informações vagas.

A lógica *Fuzzy* pode ser definido como a parte da lógica matemática dedicada aos princípios formais do raciocínio incerto ou aproximado, portanto mais próxima do pensamento humano e da linguagem natural. Devido a esta propriedade e à capacidade de realizar inferências, a lógica *Fuzzy* tem encontrado grandes aplicações em várias áreas como modelagem de sistemas e reconhecimento de padrões (BEZDEK e PAL, 1992).

2.5. Critérios da análise

Encontramos na literatura para a determinação da fragilidade ambiental, critérios comuns relativos ao meio natural da bacia e o uso do solo (GHEZZI, 2003; DONHA,2006; KAWAKUBOL et al, 2005 e PACHECHENIK, 2005).

Figura 2 – Critérios para determinação da fragilidade ambiental



Modelo Digital de Elevação

O Modelo Numérico de Terreno (MNT) ou Modelo Digital de Elevação (MDE) não é um critério, mas dele são derivadas os critérios para a análise.

Segundo INPE (2000) o MDE é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real. A superfície é em geral contínua e o fenômeno que representa pode ser variado.

O MDE pode ser armazenado segundo INPE (2008) em forma vetorial ou matricial. Na representação vetorial a topografia pode ser do tipo arco-nó, com arcos que se conectam entre si através de nós (ponto inicial e final) ou Grade Triangular (TIN), onde os arcos se conectam através de pontos formando uma malha triangular. A representação matricial é do tipo grade retangular, na qual uma área é dividida em células de tamanho fixo e cada célula tem o valor das superfícies.

De acordo com CHAGAS, 2006) existem três fontes principais são utilizadas para geração de MDEs, para as quais diferentes técnicas são aplicadas. Estas fontes são: a) pontos de altitude, considerados como fonte ideal de dados para a maioria das técnicas de interpolação; b) curvas de nível e rios, que são ainda a fonte de dados mais comuns para grandes áreas e c) dados obtidos a partir de imagens de sensores remotos.

A geração de modelos de superfície no SIG *ArcGis* 9.2 através da extensão *Spatial Analyst* pela ferramenta *Topo to raster*, permite ao usuário melhor qualidade do produto final (*Topogrid*), visto que sua interpolação não gera picos e vales artificiais dos dados originais.

A representação espacial das formas do relevo pelo *Topogrid* é muito próxima da realidade e garante que seu produto sirva como uma base hidrologicamente consistente para ser utilizado em ferramentas de hidrologia. Outras representações espaciais topográficas também são derivadas dos MDEs pelo SIG como a declividade, sombreamento, radiação, direção e fluxo acumulado de água, etc...

2.5.1. Declividade

Declividade é definida por INPE (2000) como sendo a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal, isto é, a taxa máxima de variação medida em graus (0 a 90°) ou em porcentagem (%).

Dentre os fatores topográficos, a declividade de um terreno é possivelmente o mais importante no condicionamento da gênese e evolução do processo erosivo (RODRIGUES, 1982 In: SILVA, SCHULZ e CAMARGO, 2003).

SOUZA et al, 2005 discorre em seu trabalho sobre a importância que a declividade possui para a determinação da fragilidade ambiental, visto que a mesma fornece a noção do comportamento do relevo. Áreas com declividade elevadas, juntamente com outros fatores como mau uso do solo agrava o problema da erosão e hidrosedimentação da bacia hidrográfica e conseqüentemente a qualidade de sua água.

(LEMOS e SANTOS, 1996 In: SILVA, SCHULZ e CAMARGO, 2003) apresentam uma classificação do relevo a partir da declividade conforme os intervalos de inclinação.

Tabela 1 – Descrição do relevo conforme os intervalos de porcentagem de inclinação.

Intervalo de declive (%)	Nome atribuído	Caracterização
< 3	Plano	Superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos.
3 - 8	Suave ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives suaves.
		Superfície de topografia pouco movimentada, constituída

8 – 20	Ondulado	por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives acentuados.
20 - 45	Forte ondulado	Superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros, com declives fortes.
45 - 75	Montanhoso	Superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituída por morros, montanhas e maciços montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes.
> 75	Escarpado	Regiões ou áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo escarpamentos, tais como: aparado, frente de cuevas, falésia, flanco de serras alcantiladas e vertentes de declives muito forte de vales encaixados.

Fonte: (LEMOS e SANTOS, 1996 In: SILVA, SCHULZ e CAMARGO, 2003)

2.5.2. Fluxo acumulado de água

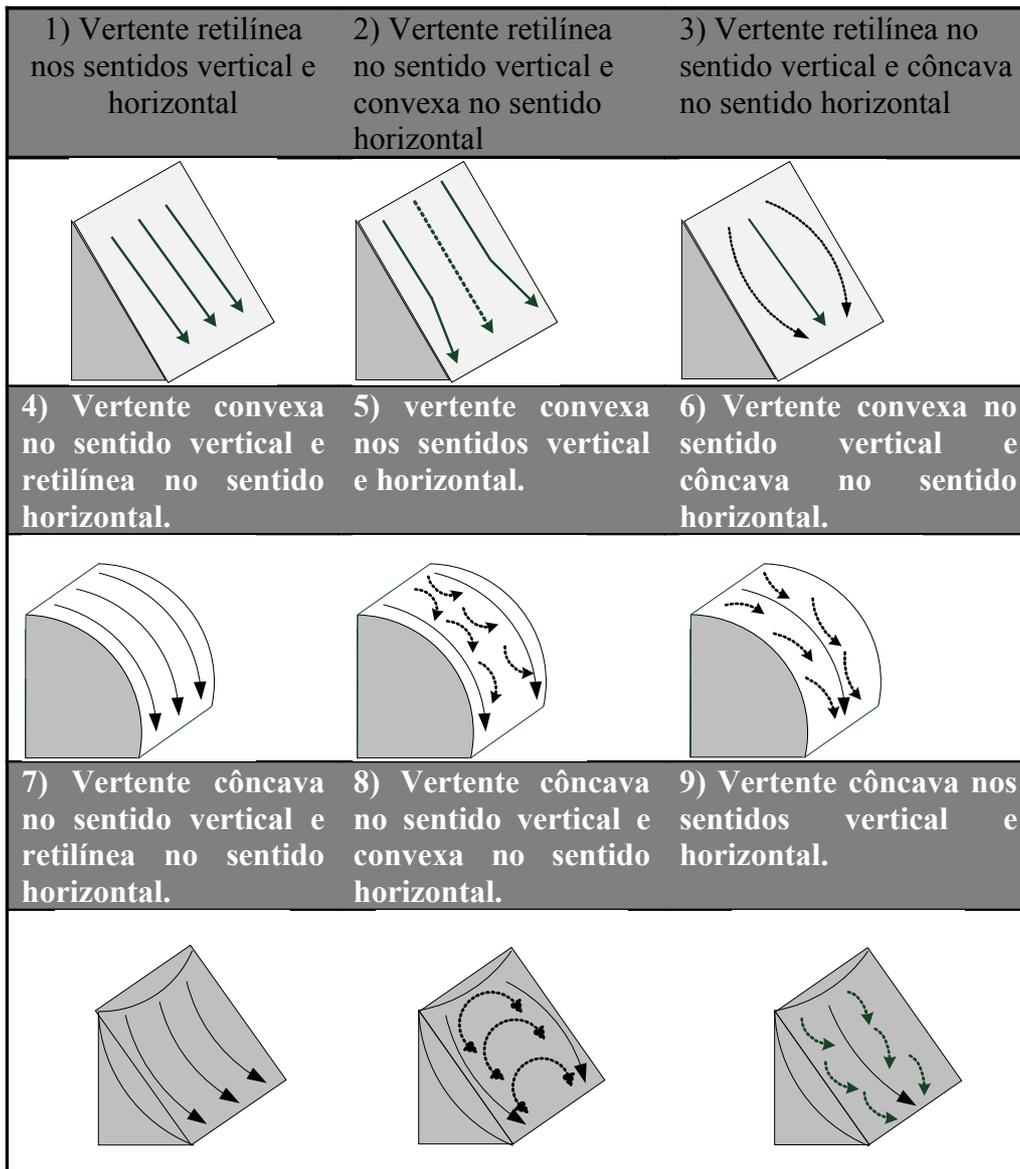
O fluxo acumulado de água é gerado a partir da geometria e declividade das encostas (figura tal), sendo o fluxo superficial da água a montante de um determinado ponto do terreno. A partir da direção do fluxo, o fluxo acumulado é obtido somando-se a área das células (quantidade de células ou pixels) na direção do fluxo (escoamento) (MENDES; CIRILO, 2001 In: DIAS et al, 2004).

Considerado um importante fator na análise integrada de uma bacia hidrográfica, o fluxo acumulado de água expressa a distribuição espacial da hidrografia, demonstrando o caminho do fluxo, além de quantificar as áreas que contribuem para que os fluxos se formem.

A influência deste fator no processo erosivo é comentada por SILVA, SCHULZ e CAMARGO, 2003 à medida que o caminho percorrido vai aumentando, não somente as águas se tornam mais volumosas como também a velocidade de escoamento aumenta progressivamente e a maior energia resultante se traduz em maior potencial erosivo.

Neste sentido, por ser o fluxo acumulado de água sazonalmente muito intenso, facilita a erosão laminar, removendo da camada superficial do solo a matéria orgânica, sementes, nutrientes, e o que encontrar pela frente para o os cursos d'água.

Figura 3 – Geometria das encostas



Adaptado: (SILVA, SCHULZ e CAMARGO, 2003).

Nota: Seta pontilhada: Tendência de fluxo de canal inicial

Seta cheia: Tendência de fluxo de canal concentrado

2.5.3. Solos

Através da identificação da ocorrência e distribuição das várias classes de solo na paisagem é possível fazer uma série de inferências, principalmente no que se refere à ação de processos erosivos, infiltração de água e outros (SOUZA et al, 2005).

Material inconsolidado da superfície da terra, o solo é a base do ambiente onde ocorrem as relações naturais e humanas. Considerado fator passivo no processo de

erosão é conceituado por (SILVA, SCHULZ e CAMARGO, 2003) como sendo um corpo tridimensional 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, embora possa ser constituído por partículas provenientes de outras regiões, transportadas pela água, pelo vento e/ou pelo gelo. É constituído por partículas minerais e orgânicas e por organismos de diversos grupos biológicos e de diferentes tamanhos, com diferentes nichos ecológicos, além de conter, na maioria dos casos, água e gases.

Os solos variam com as condições ambientais (clima, organismos, material de origem, tempo) numa escala continental ou local (RESENDE et al, 1996). Em função dessas condições, encontramos na paisagem diversos tipos de solos com diferentes características que são expressas a partir de suas propriedades as quais influenciam a resistência ao processo erosivo.

O solo é constituído em parte por partículas inorgânicas de diversos tamanhos como argila, silte, areia, cascalhos, calhaus e matacões. Porém, a textura do solo é referente à proporção das frações argila, silte e areia, sendo que as frações com diâmetro superior a 2mm são consideradas como pedregosidade. Esta distribuição granulométrica do solo depende do material de origem e do grau de intemperização (SILVA, SCHULZ e CAMARGO, 2003 & RESENDE et al, 1996).

A estrutura do solo é a forma como se arranjam (agrupam) as partículas elementares do solo. A estrutura determina a maior ou menor facilidade de trabalho das terras, permeabilidade à água, resistência à erosão e condições ao desenvolvimento das raízes das plantas. A estrutura pode ser modificada pelas práticas de manejo, como o trabalho mecânico, a incorporação de matéria orgânica, a drenagem e a rotação de culturas (BERTONI, LOMBARDI NETO, 1990).

A porosidade refere-se à proporção de espaços ocupados pelos fluídos (água e ar) em relação ao espaço ocupado pela massa do solo. Nos solos existem dois tipos de poros, os microporos menores do que cerca de 0,05 mm de diâmetro e os macroporos acima de 0,05 diâmetros. A formação destes dois tipos de poros depende da textura do solo na qual influencia a agregação do mesmo.(RESENDE et al, 1996). A perda dessa propriedade está associada à redução do teor de matéria orgânica, à compactação e ao efeito do impacto das gotas de chuva, fatores estes que, ao causarem diminuição no tamanho dos agregados maiores, reduzem em consequência, o tamanho dos poros (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

A permeabilidade é a capacidade que o solo tem de deixar passar água e ar através de seu perfil. Em termos de movimento de água, é a condutividade hidráulica do solo saturado. Está diretamente relacionada com o tamanho das partículas, volume e distribuição dos poros e varia nos horizontes de dado solo. Constitui uma das mais importantes propriedades físicas do solo para estabelecimento de práticas conservacionistas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

O conteúdo de matéria orgânica no solo é de grande importância no controle da erosão. Nos solos argilosos, modifica-lhes a estrutura, melhorando as condições de arejamento e de retenção de água, o que é explicado pelas expansões e contrações alternadas que redundam de seu umedecimento e ressecamento sucessivos. Nos solos arenosos, a aglutinação das partículas, firmando a estrutura e diminuindo o tamanho dos poros, aumenta a capacidade de retenção de água. Além destas propriedades, a profundidade do solo e as características do subsolo contribuem para a capacidade de armazenamento da água. (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

2.5.4. Uso e ocupação do solo

A história da ação humana pode ser vista como o cenário da criação. Nele estão impressas as marcas deixadas pela evolução dos homens, que se modificam em função de sua organização social, do seu desenvolvimento cultural e tecnológico. As formas produtivas e as relações de produção são extremamente dinâmicas e acabam provocando conflitos sociais e impactos ambientais; ambos determinados no processo de apropriação da natureza pela sociedade (ARÊDES & COELHO, 2005).

O meio natural que é transformado pelas relações humanas, sejam através das manifestações culturais e principalmente pelo trabalho social que condicionam a forma de como se efetivam as mudanças ocorridas no espaço geográfico ao longo da história. Neste sentido, o uso e ocupação do solo, seja no espaço urbano ou agrícola são determinados por condicionantes relativos às questões econômicas, históricas, políticas e culturais.

O uso do solo permite várias formas de definição e abordagem pelas diversas áreas do conhecimento sejam as ciências da terra, as sociais, sejam as econômicas e principalmente pela geografia que já possui na relação da transformação do espaço natural pelas sociedades humanas como um objeto de sua análise (ARÊDES & COELHO, 2005).

Entender como ocorre a organização espacial de um dado lugar se torna uma ferramenta de análise imprescindível para estudos relacionados ao meio ambiente no âmbito da conservação, uma vez que ela expressa o estado atual de degradação do ambiente, pois a ocupação econômica do solo, quase sempre negligenciou a dinâmica natural do sistema.

O mau uso do solo implica na deterioração do ambiente em geral e principalmente na qualidade da água para abastecimento público. ARÊDES & COELHO, 2005 discorrem em seu texto sobre a necessidade em adotar no estudo dos recursos hídricos a bacia hidrográfica como unidade estratégica, partindo de uma visão sistêmica na qual o todo afeta a parte e vice-versa.

Assim, diversas formas de uso e ocupação do solo podem intensificar uma série de processos que, podem gerar: erosão, assoreamento, contaminação das águas, do solo, perdas culturais e de qualidade e quantidade da água no manancial.

Desta forma, o diagnóstico obtido através da integração dos processos naturais e do uso do solo na bacia hidrográfica permite a compreensão dessas relações e a possibilidade de ações mitigadoras para a conservação da água no sistema.

3. METODOLOGIA

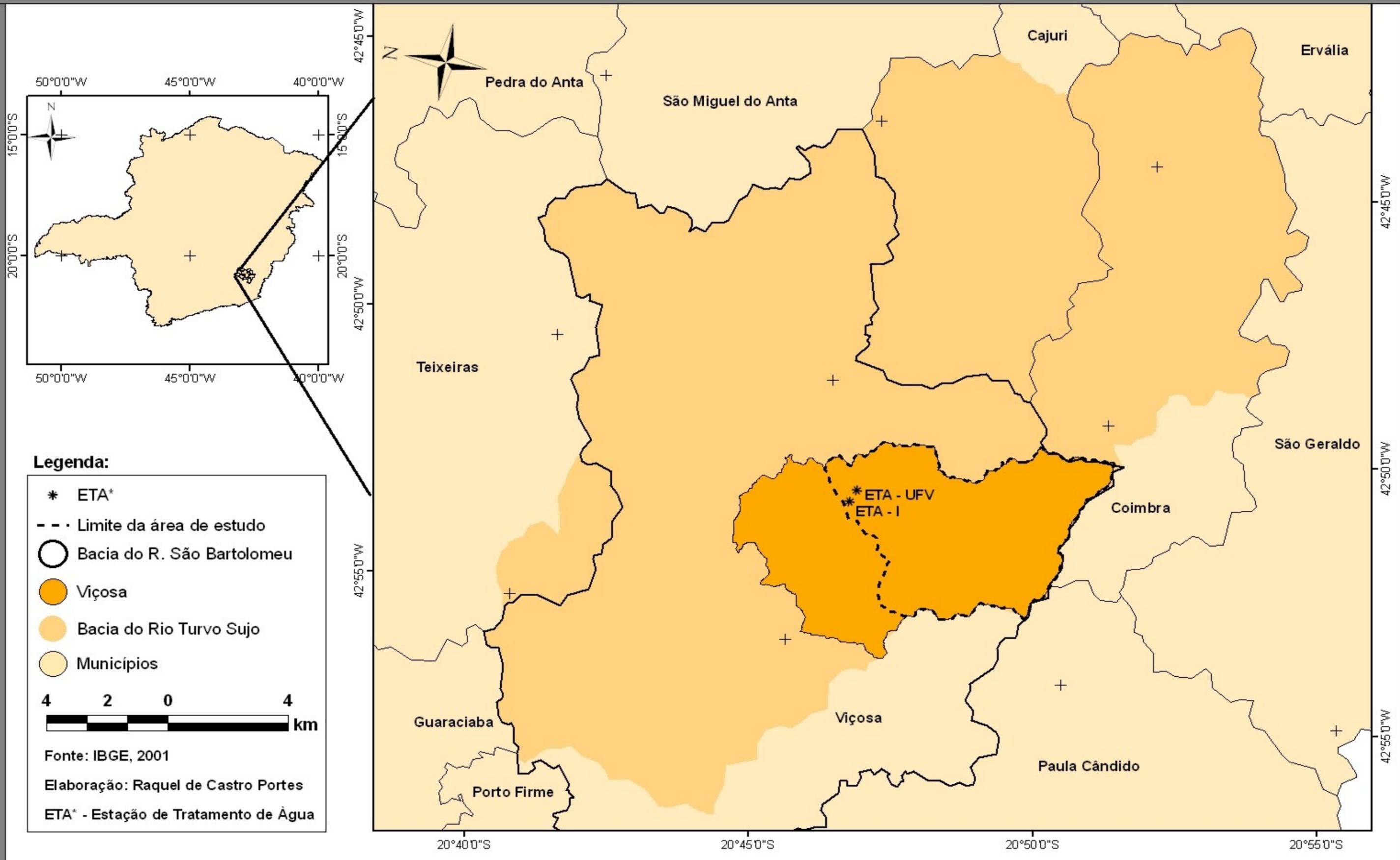
3.1. Caracterização geral bacia do ribeirão São Bartolomeu

A bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, sub-bacia do Rio Turvo Sujo, encontra-se em sua totalidade nos limites do município de Viçosa na Zona da Mata Mineira, entre as coordenadas geográficas 42°52'58" W e 42° 50'56" W de longitude e 20°43'42" S e 20°50'12" S de latitude, totalizando uma área de 5.438 hectares. (Mapa 1)

A bacia é orientada no sentido sul-norte. Na porção sul se limita com os municípios de Paula Cândido e Coimbra e ao norte com área urbana do município de Viçosa no bairro Barrinha, onde desagua no Rio Turvo Sujo.

Formada pelas micro-bacias dos córregos Palmital, Antuérpia, Engenho, Santa Catarina, Paraíso, Machados, Araújo e São Lucas, possui 440 nascentes segundo dados dos SAAE – Viçosa, com densidade de drenagem de 4,5 km/km² (VILELA E ROMANOVZKI, 2001 In: FONTES et al, 2006)

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - BACIA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU, VIÇOSA - MG



O clima da região de acordo com a classificação de Köppen, é o CWa - clima mesotérmico, caracterizado por verões quentes e úmidos e invernos frios e secos, com precipitação média anual de 1.200 mm e temperatura do mês mais frio inferior a 18°C e, do mês mais quente, superior a 22°C (ORLANDINI, 2002)

A área está embasada em rochas referentes ao Pré-Cambriano inferior ou Indiviso, compreendendo gnaisses e migmatitos diversos. Sedimentos Quaternários ocorrem ao longo dos vales, constituindo depósitos aluvionares de caráter argiloso, argilo-arenoso ou arenoso, representados por terraços e leitos maiores de deposição mais recente (REZENDE, 1971; RADAMBRASIL, 1983; CORREA, 1984 In: QUINTEIRO, 1997).

Essa área apresenta relevo predominantemente forte ondulado e montanhoso (Mar de Morros), com encostas de perfil convexo-côncavo embutido em vales de fundo chato, formados por terraços e leitos maiores, onde meandram cursos d'água pouco expressivos (CORREA, 1984). A altimetria da bacia em questão varia de 614 a 902m, com elevação média de 758m.

Em relação aos solos da bacia, a classe dos Latossolos é predominante, seguido por Argissolos, Cambissolos, Gleissolos e Neossolos Flúvicos (aluviais).

A bacia é uma importante fonte de oferecimento de água para abastecimento público, segundo (SAAE, 2003 In: FONTES et al 2006) a água captada do ribeirão São Bartolomeu atende 65% da população de Viçosa, (ETA I) e 100% do campus universitário da Universidade Federal de Viçosa (ETA-UFV), enquanto o Rio Turvo Sujo (ETA II) atende os demais 35% da população Viçosense (FONTES et al, 2006).

De acordo com (SAAE, 2008), as duas estações de tratamento (ETA I e ETA II) são interligadas por adutora de aproximadamente 16 mil metros permitindo abastecimento da cidade nos períodos mais críticos do ano. Em época de estiagem, por manobras nos registros inverte-se o abastecimento. Assim, a ETA I abastece 35% da população enquanto a ETA II os restantes 65%.

A ocupação da bacia do Ribeirão São Bartolomeu, de modo mais intensivo, ocorreu com a expansão do café na região.

Segundo (PANIAGO, 1983) A cultura do café no final do século XIX, princípios do século XX era fundamentalmente extensiva, pautando-se por uma busca constante de novas terras para o plantio. A expansão do café na Zona da Mata mineira coincide com aquela verificada no Vale do Paraíba e no norte paulista.

A implantação da Estrada de Ferro Leopoldina que interligava diversos municípios da Zona da Mata mineira favoreceu o escoamento do café produzido na região. Esta expansão cafeeira conjuntamente com o declínio da mineração levou a uma redistribuição demográfica na Zona da Mata, com o conseqüente aumento da população nas zonas de café.

(VALVERDE, 1958) descreveu em seu artigo a paisagem da Zona da Mata mineira sobre o enfoque da cultura do café por intermédio das observações de campo em uma viagem na região na década de 1950.

Ao longo do século passado, as crises do café que assolavam a economia nacional devido a superprodução e as flutuações do mercado agro-exportador, marcaram intensamente a economia do município de Viçosa. Na década de 1960 o município assistiu a erradicação de seus pés de café (PANIAGO, 1983).

Os resquícios desta estrutura fundiária são hoje perceptíveis ao se analisar o uso e ocupação do solo na bacia. A situação fundiária da microbacia do São Bartolomeu é caracterizada por pequenas propriedades, em áreas predominantemente não planas. Como normalmente observado na Zona da Mata mineira, essa área rural é formada por pequenos propriedades que desenvolvem em sua maioria, atividades de subsistência (FONTES et al, 1996).

PANIAGO, 1983 explica que esta predominância de pequenas propriedades rurais é resultado, entre outros, do fracionamento das fazendas, pelo sistema de Herança.

Dados de PANIAGO, 1983 levantados na década de 1980 ainda retratam as características da bacia em questão. Muitos proprietários, donos de propriedades muito pequenas, trabalham da UFV ou dão dias de serviço nas propriedades maiores. Outra parcela de proprietários reside na cidade e trabalha no campo o dia todo ou parte do dia. Há ainda pequenas propriedades, que são utilizadas como lazer ou descanso pelos seus proprietários, na maioria, professores ou administradores da UFV.

Na última década, pode-se perceber através de conversas com discentes da UFV, o aumento do estabelecimento de pequenas propriedades em forma de sítios, para servirem de habitação para estudantes da UFV. Este processo vem crescendo nos últimos tempos, porém não existem levantamentos quantitativos para expressá-lo.

3.2. Área de estudo

A área de estudo deste trabalho compreende parte da bacia do Ribeirão São Bartolomeu, da cabeceira da bacia até os pontos de captação de água pelas ETA-UFV e ETA I, entre as coordenadas geográficas 42°50'56" W e 42°51'36" W de longitude e 20°50'12" S e 20°55'7" S de latitude, perfazendo uma área de 3.514 hectares. (Mapa 1)

O recorte espacial foi definido através da importância ambiental que esta área possui por refletir sobre a qualidade da água que é captada pelas estações ETA I e ETA-UFV para abastecimento público.

3.3. Materiais

Para realização desta pesquisa, foram utilizados como base de dados cartográficos:

- Imagem IKONOS, 2007 com resolução espacial de 1 metro
- Mapa de Uso do solo da bacia
- Curvas de nível de 5m obtida a partir estereoscopia da imagem IKONOS
- Mapa de solos
- Carta planialtimétrica do IBGE, folha Viçosa (SF-23-X-B-V-3) de 1979

Para o processamento da informações foi utilizado o *software* ArcGis 9.2 (ESRI, 2007)

3.4. Procedimentos metodológicos

Para a determinação da fragilidade potencial e ambiental tornou-se necessário em primeiro momento, a definição dos critérios adotados para a análise e a elaboração de cada critério de forma espacializada, através de mapas. Na segunda etapa, os critérios foram reescalados para uma escala de 0 a 100 e atribuídos pesos para as classes de cada critério e em seguida realizada a análise de multicritério, gerando o mapa de fragilidade potencial e ambiental, respectivamente.

As etapas aconteceram em ambiente SIG, no software ArcGis 9.2. Somente a vetorização do mapa de solos ocorreu no software ArcInfo.

3.4.1. Espacialização dos critérios

Modelo Digital de Elevação

O MDE não é usado diretamente na análise, mas dele são derivados dois critérios, o mapa de declividade e o mapa de fluxo acumulado de água.

O Modelo Digital de Elevação hidrologicamente consistente da área de estudo em formato *raster*, com células de 5 metros, foi obtido através da extensão *spatial analyst* com a ferramenta *Topo to raster*, a partir dos arquivos em formato vetorial de hidrografia, curvas de nível e limite. (Mapa 2)

A hidrografia foi extraída da carta planialtimétrica folha Viçosa do IBGE (SF-23-X-B-V-3) do ano 1979, na escala de 1: 50.000, em formato digital. As curvas de nível com equidistância de 5 metros foi gerada a partir de restituição digital realizada com a imagem IKONOS. Os arquivos das curvas de nível e do limite foram cedidos pelo PSA.

3.4.1.1. Declividade

A declividade foi derivada do MDE pela extensão *spatial analyst* com a ferramenta *Slope*, selecionando a opção para os dados serem apresentados em forma de porcentagem. Para o estabelecimento das classes de declividade foram utilizados intervalos de porcentagem de inclinação consagrados na literatura de acordo com Lemos & Santos, 1996 in: SILVA, SCHULZ e CAMARGO, 2003.

As classes de declividade estabelecidas foram quantificadas (área da classe e a área em relação à bacia).

3.4.1.2. Fluxo acumulado de água

O arquivo base utilizado para obtenção do fluxo acumulado de água foi o MDE. Com a extensão *spatial analyst* utilizando a ferramenta *Hidrology*, foram preenchidas as depressões com a ferramenta *Fill*. Deste arquivo, foi gerado um novo arquivo a partir da ferramenta *Flow direction* que demonstra a direção do fluxo de água em cada célula que

em seguida foi utilizado para gerar o fluxo acumulado de água pela ferramenta *Flow accumulation*.

O mapa de fluxo acumulado de água foi dividido em classes, e as mesmas foram quantificadas em área e percentualmente em relação à área da bacia.

3.4.1.3. Solos

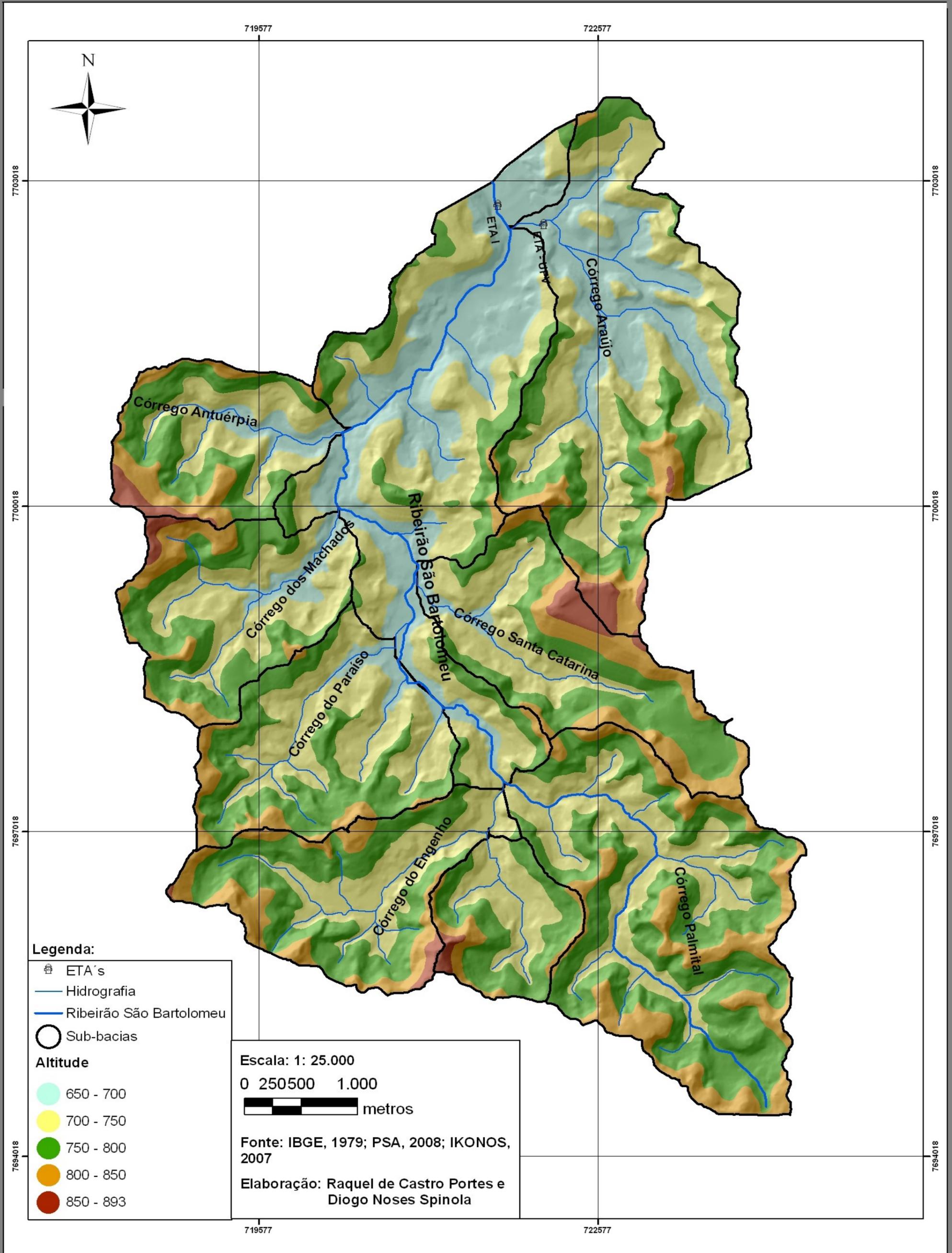
O mapa base de solos foi elaborada por Guilherme Resende Côrrea, doutorando do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, através de interpretação visual dos mapas de altimetria e declividade. A chave de identificação das classes de solos foi fundamentada no modelo solo/paisagem da região proposto por Côrrea, 1984.

O mapa de solos em meio analógico foi vetorizado via mesa digitalizadora e editado com o software Arcinfo. Em seguida o arquivo editado recebeu em seu banco de dados as classes de solos. Foram quantificadas as classes em hectares e suas respectivas proporções em relação à área de estudo.

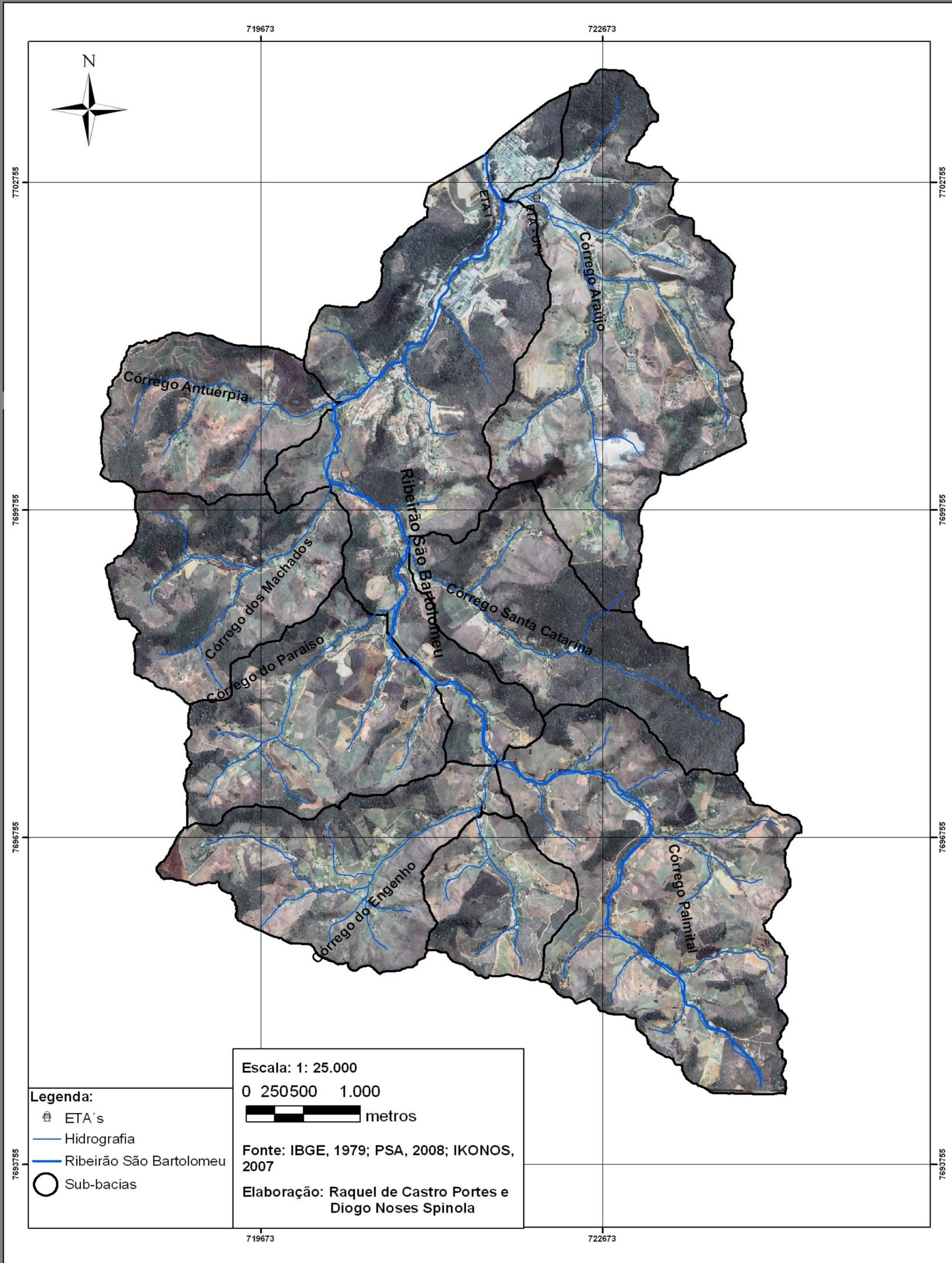
3.4.1.4. Uso e ocupação do solo

O mapa de uso e ocupação do solo cedido pelo PSA em formato digital, foi elaborado através de interpretação da imagem IKONOS, 2007 (Mapa 3) com aferições de campo. As classes de usos foram quantificadas em hectares e em área em relação à bacia.

MAPA 2 - MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO - BACIA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU, VIÇOSA - MG



MAPA 3 - IMAGEM IKONOS - BACIA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU, VIÇOSA - MG



Legenda:

- ETA's
- Hidrografia
- Ribeirão São Bartolomeu
- Sub-bacias

Escala: 1: 25.000

0 250 500 1.000

metros

Fonte: IBGE, 1979; PSA, 2008; IKONOS, 2007

Elaboração: Raquel de Castro Portes e Diogo Noses Spinola

3.4.2. Análise Multicritério

Nesta etapa, cada critério (solos, declividade, fluxo acumulado, uso do solo) foi reescalado, numa escala que varia de 0 a 100, onde o valor zero representa grau de fragilidade nenhuma e o valor 100 grau máximo de fragilidade.

3.4.2.1. Atribuição de pesos

3.4.2.1.1. Declividade

Para atribuição de pesos para o critério declividade, levou-se em consideração o fato que à medida que se aumenta a porcentagem de declividade, aumenta diretamente o grau de fragilidade devido a aumento do escoamento superficial e da velocidade da água. Desta forma, foi estabelecida uma proporção direta entre a porcentagem do declive e o grau de fragilidade. A classe de 0 – 3% de declividade (relevo plano) recebeu menor peso, extremamente baixo, peso 4 e a classe >75% (relevo escarpado) maior peso, Extremamente alto, peso 100 como pode ser observado na tabela 2.

Tabela 2 – Classes de declividade, áreas e graus de fragilidade.

Classes (%)	Área (ha)	Área (%) em relação à bacia	Grau de fragilidade	Categoria de hierarquia
0 - 3	208,1	5,9	4	Extremamente Baixo
3 - 8	406,5	11,5	10	Baixo
8 - 20	921,6	26,2	25	Médio
20 - 45	1.586,3	45,0	55	Alto
45 - 75	391,2	11,1	85	Muito Alto
> 75	9,9	0,3	100	Extremamente Alto

3.4.2.1.2. Fluxo acumulado de água

O mapa de fluxo acumulado da água da área de estudo, foi reclassificado em quatro classes levando em conta o tamanho da área (quantidade de células) que contribuíam para o fluxo acumulado de água. Assim, quatro classes foram definidas. A classe de 0 a 50 células recebeu peso 25 e a classe de 250 a 1000, peso 100, de acordo com a tabela abaixo. Note que esta relação não é linear.

O mapa de fluxo acumulado de água da área de estudo, foi reclassificado em quatro classes levando em conta o tamanho da área

Tabela 3 – Classes de fluxo acumulado de água, áreas e graus de fragilidade.

Classes				Categoria
Pixels de contribuição	Área (ha)	Área (%) em relação à bacia	Grau de fragilidade	de hierarquia
0 - 50	3.151,8	89,5	25	Baixo
0 - 250	268,2	7,6	70	Médio
				Extremamente alto
250 - 1000	56,1	1,6	100	
> 1000	47,5	1,3	0	Curso d'água

3.4.2.1.3. Solos

A atribuição de pesos para cada uma das três classes de solos foi baseada nas características físicas intrínsecas de cada classe, já discutido no referencial teórico (ver comentário no item 2.5.3). Assim, a classe de Latossolos recebeu o peso mais baixo (20) e a classe de Cambissolo o peso mais alto (100).

Tabela 4 – Classes de solos, áreas e graus de fragilidade.

Classes	Área (ha)	Área (%) em relação à bacia	Grau de fragilidade	Categoria de hierarquia
Latossolo Vermelho-Amarelo	2.816,8	80,2	20	Baixo
Argissolo Vermelho-Amarelo	619,0	17,6	70	Alto
Cambissolo Háplico	75,2	2,2	100	Extremamente alto

3.4.2.1.4. Uso e ocupação

A determinação dos pesos para cada classe de uso e ocupação do solo ocorreu de acordo com o grau de influência que cada uso contribui para fragilidade ambiental e principalmente na influência da qualidade da água.

A agricultura e o solo exposto são os fatores de maior preocupação na análise. As diferentes culturas da classe agricultura, utilizam agrotóxicos nas plantações e seus resíduos vão para o curso d'água, sendo que são na maioria das vezes difíceis de serem removidos nas ETAs.

O solo exposto também é preocupante, uma vez que há forte possibilidade de nele surgirem erosões e posteriormente voçorocas, que geram um carregamento de partículas para a água, que se torna mais turbulenta, além de gerar riscos de assoreamento dos cursos de água. Os microorganismos como os protozoários ficam agregados entre as partículas em suspensão na água.

Em seguida na análise, ponderou-se mais fortemente áreas urbanas, uma vez que possui efeitos típicos que incluem a modificação dos canais da macro-drenagem, a alteração das margens e da vegetação ribeirinha, o aumento nas taxas de erosão com conseqüente aumento no assoreamento, a variação nos hidrogramas, com aumento dos volumes e picos de vazão. O escoamento superficial traz poluentes como matéria orgânica, tóxicos, bactérias e outros. Assim, o lançamento da drenagem urbana em corpos d'água introduz modificações que produzem impactos negativos diversos, com conseqüências a curto e a longo prazo sobre o ecossistema aquático. Os problemas então gerados podem ser subdivididos em seis grandes categorias: alterações estéticas, depósitos de sedimentos, depleção da concentração de oxigênio dissolvido, contaminação por organismos patogênicos, eutrofização e danos devido à presença de tóxicos (<http://www.phd.poli.usp.br/cabucu/qualidade.htm>, acessado em 30/05/2008).

Em seguida, são classificadas como fragilidade média ou levemente baixo, a pastagem degradada e a não degradada respectivamente, uma vez que a pastagem degradada pode se tornar solo exposto e além disso, a pastagem pode atrair animais que são fonte de contaminação com protozoários dentre outros microorganismos.

São considerados fatores de baixa e muito baixa fragilidade para qualidade da água, respectivamente, as capoeiras e as formações florestais, que na verdade protegem a

área da bacia contra erosões e processos de inundação, uma vez que retém parte da água das chuvas nas copas de suas árvores.

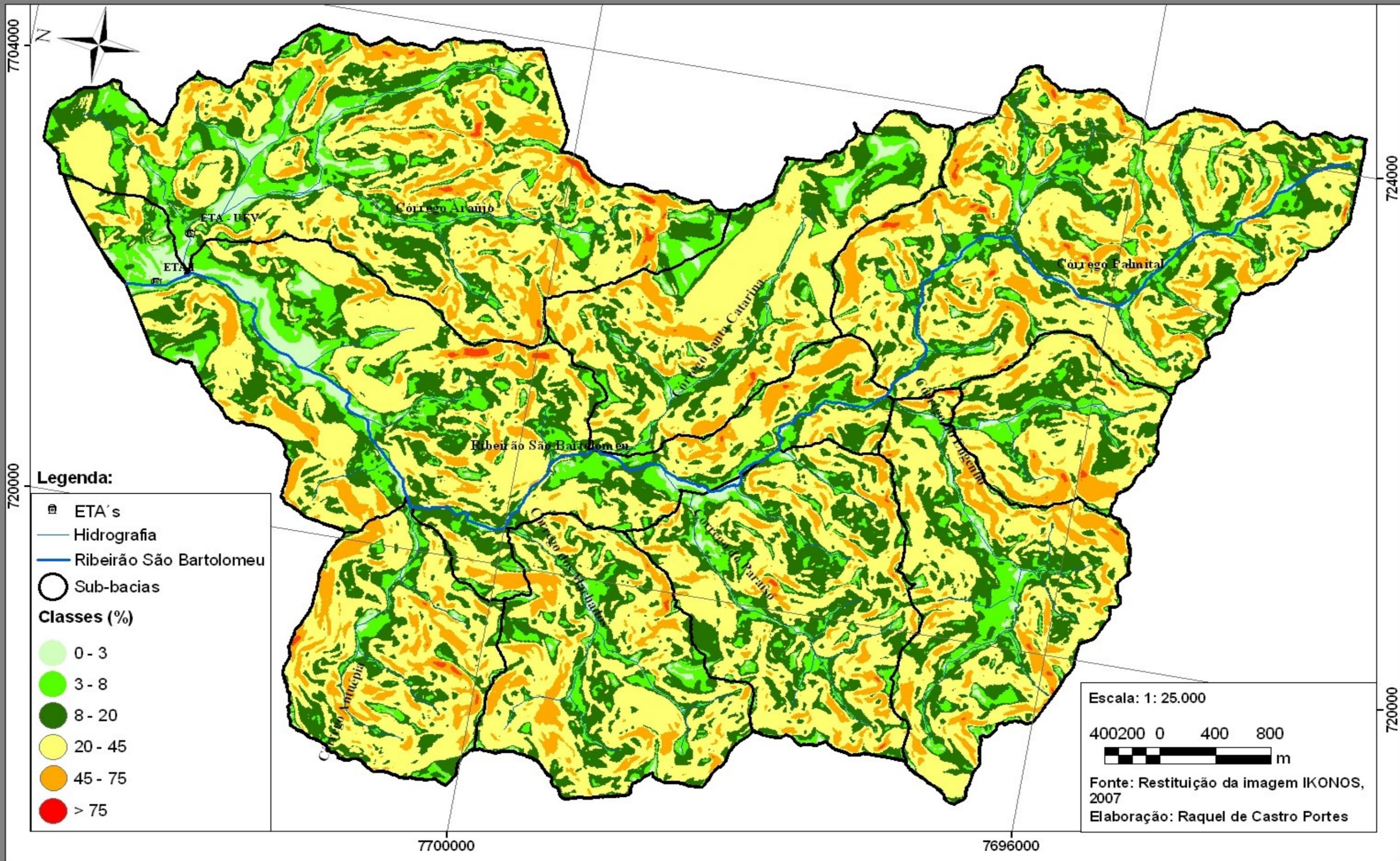
A hidrografia não foi considerada na análise, sendo atribuída a ela valor zero.

Tabela 5 – Classes de uso e ocupação do solo, áreas e graus de fragilidade.

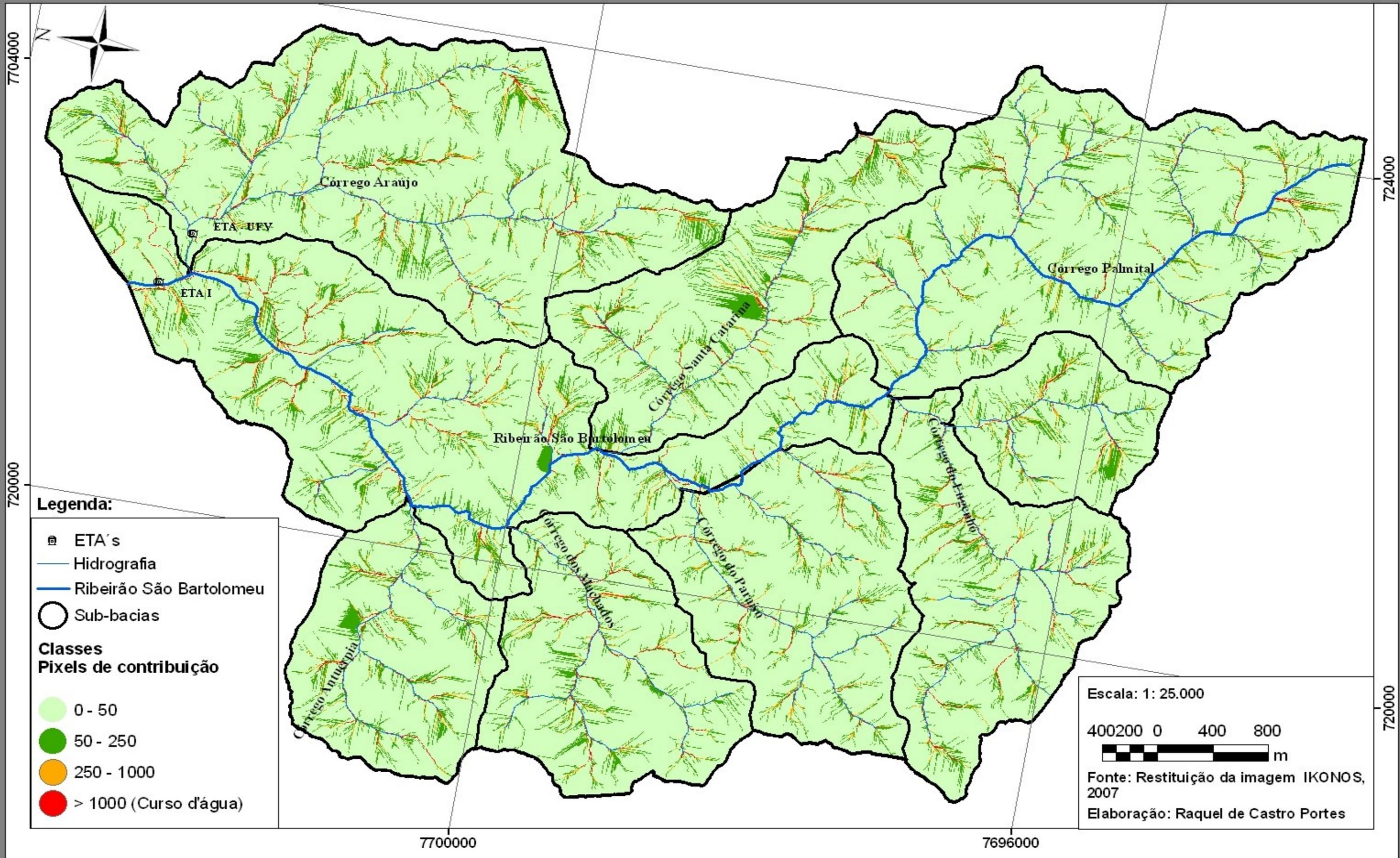
Classes	Área (ha)	Área (%) em relação à bacia	Grau de fragilidade	Categoria de hierarquia
Hidrografia	61,9	1,7	0	Hidrografia
Mata	1011,0	28,8	10	Muito baixo
Capoeira	202,7	5,7	30	Baixo
Pastagem não degradada	906,4	15,4	40	Levemente baixo
Pastagem degradada	539,6	25,9	70	Médio
Área Urbana	187,8	5,4	90	Muito alto
Solo Exposto	111,2	3,2	100	Alto
Agricultura	487,1	13,9	100	Extramente alto

A seguir, são apresentados os mapas referentes a cada critério da análise (Mapas 4, 5, 6, e 7).

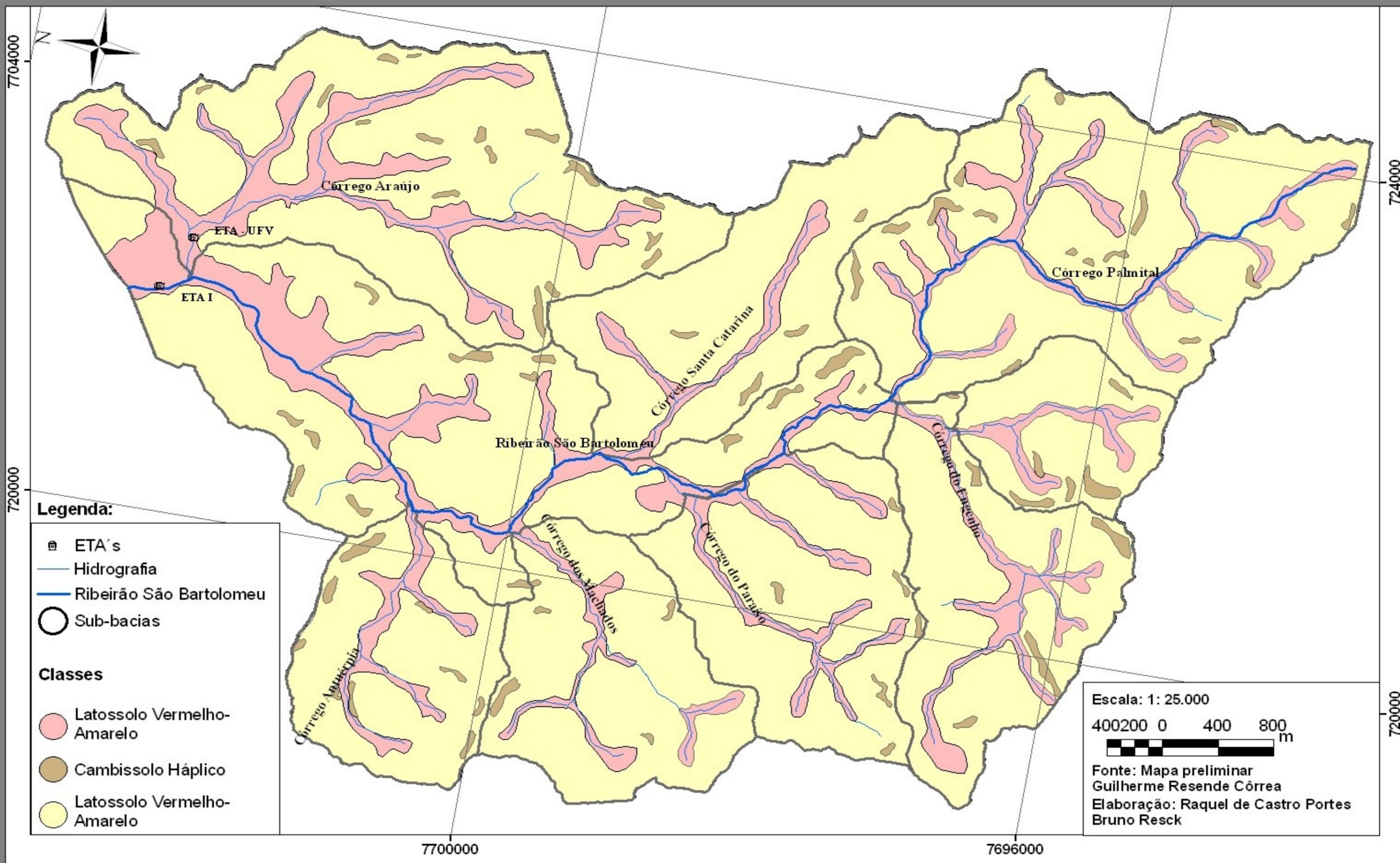
MAPA 4 - DECLIVIDADE DA BACIA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU, VIÇOSA - MG



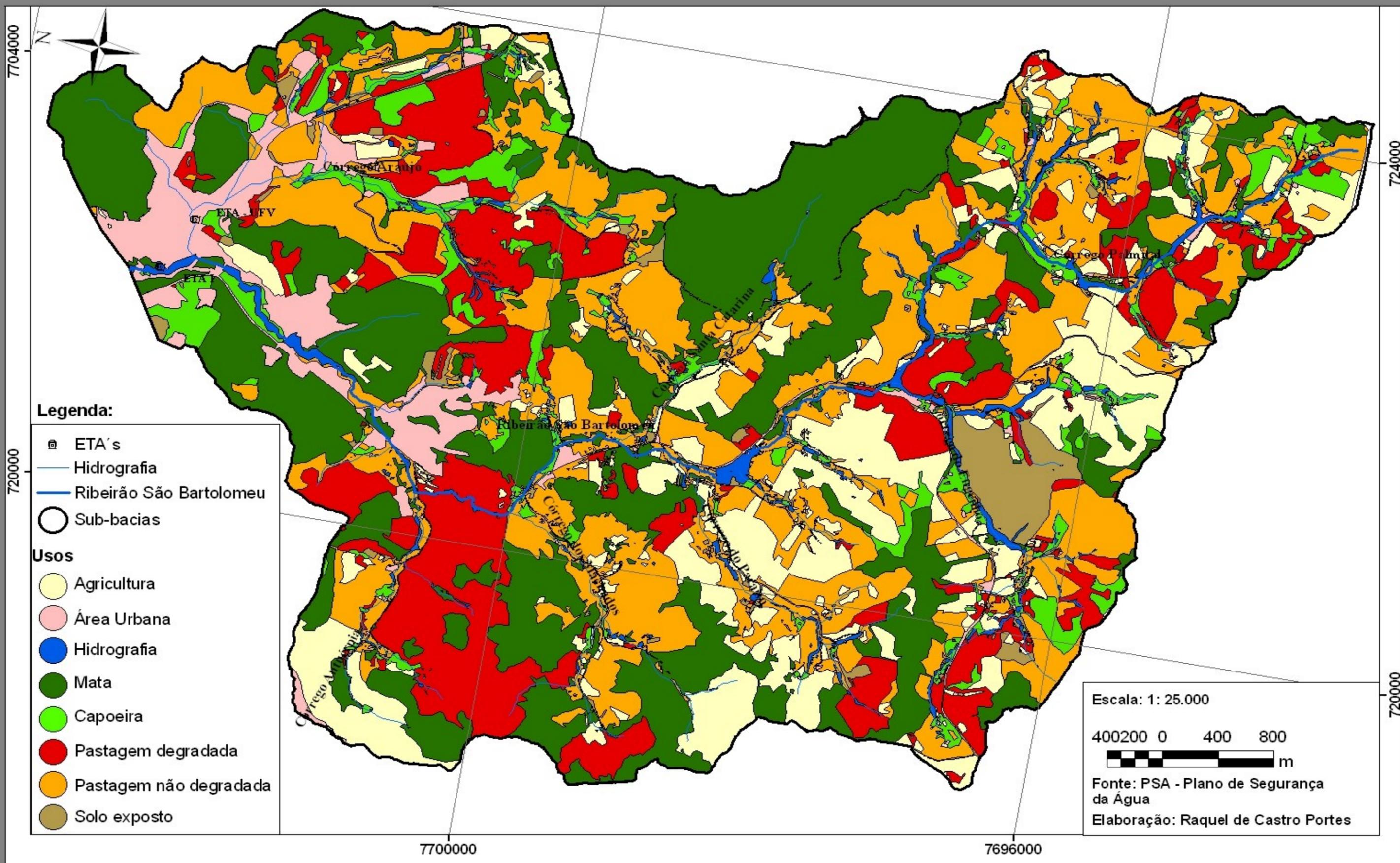
MAPA 5 - FLUXO ACUMULADO DE ÁGUA DA BACIA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU, VIÇOSA - MG



MAPA 6 - SOLOS DA BACIA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU, VIÇOSA - MG



MAPA 7 - USO E OCUPAÇÃO DO SOLO - BACIA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU, VIÇOSA - MG



3.4.2.2. Cruzamento dos critérios

3.4.2.2.1. Fragilidade potencial

A confecção do mapa de fragilidade potencial foi realizada a partir das informações obtidas do cruzamento dos mapas dos critérios de declividade, fluxo acumulado de água e solos.

O cruzamento foi efetuado a partir da extensão *spatial analyst* com a ferramenta *raster calculator*. Os três critérios receberam pesos iguais na multiplicação, ou seja, cada critério em relação ao outro teve peso de importância igual no cruzamento. Deste modo, todas possíveis combinações foram efetivadas e um novo arquivo foi gerado contendo a combinação dos critérios. A equação a seguir demonstra o cruzamento.

$$\text{Declividade} * 100 + \text{Fluxo acumulado de água} * 10 + \text{Solos} * 1$$

Esta é uma parte da tabela de atributos (adaptada) que o novo arquivo “fragilidade potencial” recebeu após o cruzamento.

Tabela 6 – Cruzamento dos critérios para fragilidade potencial.

Cruzamento	Nº de células	Grau de fragilidade potencial
S(1)F(1)D(1)	35698	$S(20) + F(25) + D(4) / 3 = \mathbf{16}$
S(1)F(1)D(2)	64162	$S(20) + F(25) + D(10) / 3 = \mathbf{18}$
S(1)F(1)D(3)	36517	$S(20) + F(25) + D(25) / 3 = \mathbf{23}$
S(1)F(1)D(4)	2814	$S(20) + F(25) + D(55) / 3 = \mathbf{33}$
S(2)F(3)D(1)	647	$S(70) + F(100) + D(4) / 3 = \mathbf{58}$
S(2)F(4)D(1)	690	0*

Nota: D = Solos; F = Fluxo acumulado de água e S = Solos

O valor entre parênteses () na coluna “Cruzamento” é o número da classe de cada critério, e o valor entre parênteses () na coluna “Grau de fragilidade potencial” é o valor do grau de fragilidade de cada classe dos critérios.

* A classe de fluxo (4) representa o curso d’água, que está fora da análise.

Cada célula tem uma área de 5m².

O arquivo fragilidade potencial passou por uma reclassificação, ou seja, foram estabelecidas classes para o grau de fragilidade potencial da bacia. Estas classes foram quantificadas em área (ha) e sua proporção em relação à bacia.

3.4.2.2.2. Fragilidade ambiental

O procedimento metodológico do cruzamento para obtenção da fragilidade ambiental obedeceu ao mesmo princípio que o cruzamento da fragilidade potencial. Porém, além dos critérios de declividade, fluxo acumulado de água e solos foi acrescentado na equação o critério uso e ocupação do solo. A equação a seguir demonstra o cruzamento dos critérios para determinação da fragilidade ambiental.

$$\text{Declividade} * 1000 + \text{Fluxo acumulado de água} * 100 + \text{Solos} * 10 + \text{Uso e ocupação do solo} * 1$$

O arquivo “fragilidade ambiental” gerado após o cruzamento recebeu uma tabela de atributos e parte dela (adaptada) está exposto a baixo.

Tabela 7 – Cruzamento dos critérios para fragilidade ambiental.

Cruzamento	Nº de células	Grau de fragilidade potencial
S(1)F(1)D(1)U(7)	6207	$S(20) + F(25) + D(4) + U(40) / 4 = 22$
S(1)F(2)D(1)U(6)	222	$S(20) + F(70) + D(4) + U(70) / 4 = 41$
S(2)F(2)D(3)U(4)	6544	$S(70) + F(70) + D(25) + U(10) / 4 = 44$
S(2)F(3)D(5)U(4)	74	$S(70) + F(100) + D(85) + U(10) / 4 = 66$
S(2)F(3)D(4)U(5)	184	$S(70) + F(100) + D(55) + U(30) / 4 = 63$
S(3)F(4)D(4)U(7)	5	0*

Nota: D = Solos; F = Fluxo acumulado de água; S = Solos e U = Uso e ocupação do solo.

O valor entre parênteses () na coluna “Cruzamento” é o número da classe de cada critério, e o valor entre parênteses () na coluna “Grau de fragilidade potencial” é o valor do grau de fragilidade de cada classe dos critérios.

* A classe de fluxo (4) representa o curso d’água, que está fora da análise.

O arquivo fragilidade ambiental também passou por uma reclassificação, onde foram estabelecidas classes para o grau de fragilidade ambiental da bacia. Estas classes foram quantificadas em área (ha) e sua proporção em relação à bacia.

4. RESULTADOS E DICUSSÃO

4.1. Critérios

4.1.1. Declividade

O mapa de declividade (Mapa 4) apresenta os intervalos das classes conforme a porcentagem de inclinação. A distribuição das classes na área possui estreita relação com o relevo, sendo predominante a classe compreendida entre a faixa 20 – 45, com alto grau de fragilidade. (Tabela 2)

4.1.2. Fluxo acumulado de água

O mapa de fluxo acumulado (Mapa 5) expressa os intervalos das classes de acordo com o valor de células a montante que contribuem para aquela célula.

A proporção da classe que varia de 0 – 50 é predominante na área, correspondendo a 89,5%, tendo sido atribuída a ela grau de fragilidade baixo. Isto é explicado pela geoformas do relevo, principalmente pela geometria das encostas. A classe com valor superior a 1000, representa o curso d'água. (Tabela 3)

4.1.3. Solos

O mapa de solos (Mapa 6) demonstra de forma generalizada, a ocorrência de três classes. A distribuição dos solos na paisagem da área estudada segue o modelo solo/paisagem proposto por (CÔRREA, 1984).

A classe de Latossolos Vermelho-Amarelo Tb distrófico (LVAd) apresenta maior proporção em relação as demais, representado 80,2% da área. (Tabela 4)

4.1.4. Uso e ocupação do solo

O mapa de uso e ocupação do solo (Mapa 7) foi derivado de uma imagem recente, representado bem seu estágio atual. As classes, seus graus de fragilidade e a quantificação da área estão expressas na tabela 6.

A classe Mata apresenta maior área em relação às demais, com 28,8%. Este valor é bom e significativo, visto que a mata traz de benefícios para a análise em questão. Porém deve-se se considerar que estas classes se distribuem em forma de fragmentos florestais. Em nossa análise, na determinação da fragilidade ambiental visando a qualidade de água, esta distribuição é pouco significativa, mas pensando sobre o ponto de vista ecológico, estes fragmentos consistem em restrições para as migrações animais e fluxo gênico.

Outra classe que sobressai as demais é a pastagem degradada ocupando 25,9% da área de estudo. Este valor relativamente alto demonstrada o predomínio da pecuária com baixo uso de tecnologia e é uma fonte de problemas ambientais.

A pastagem não degradada constitui-se como uma boa cobertura vegetal considerando que ela tem um grande potencial para evitar a erosão e favorece a infiltração da água da chuva no solo. Vale ressaltar ainda que as gramíneas tem consomem menos água e por isto áreas com pastagens bem conservadas contribuem para a produção de água na bacia. Esta ocupa 15,4 % da área estudada.

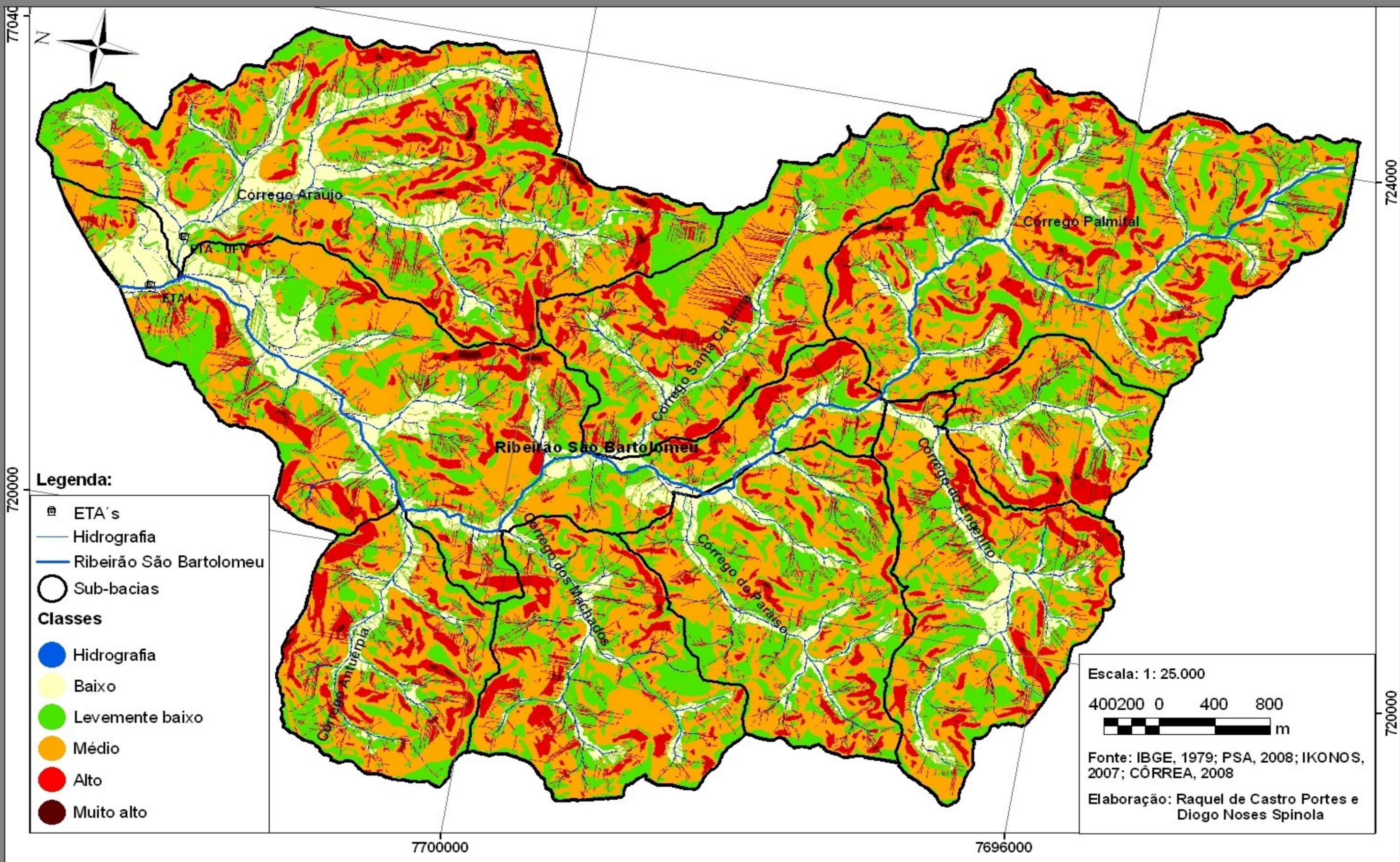
A classe agricultura, onde foram agrupados todos os tipos de cultivos, representa 13,9% da área. Sua distribuição ocorre em geral, em pequenos polígonos no mapa, indicando deste modo, o padrão de ocupação da área em pequenas propriedades rurais.

4.2. Fragilidade potencial

O mapa de fragilidade potencial foi gerado a partir do cruzamento dos critérios de declividade, fluxo acumulado de água e solos. Ele indica a fragilidade natural da área de estudo, desconsiderando a ação humana.

O arquivo gerado foi dividido em classes, com intervalos referentes ao grau de fragilidade potencial e depois reclassificado de acordo com as categorias de hierarquia, conforme o Mapa 8.

MAPA 8 - FRAGILIDADE POTENCIAL DA BACIA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU, VIÇOSA - MG



A quantificação destas classes é apresentada na tabela 8

Tabela 8 – Classes de fragilidade potencial e áreas

Classes	Área (ha)	Área (%) em relação à bacia	Categoria de hierarquia
0 - 1	47,3	1,3	Hidrografia
1 - 25	393,6	11,2	Baixo
25 - 40	1033,1	29,4	Levemente baixo
40 - 50	1446,4	41,3	Médio
50 - 70	557,2	15,9	Alto
70 - 95	32,21	0,9	Muito alto

Observa-se na área o predomínio da classe com intervalo de 40 – 50, com 41,3%, considerada de médio grau de fragilidade pontencial. Os critérios adotados para elaboração deste mapa possuem estreita relação.

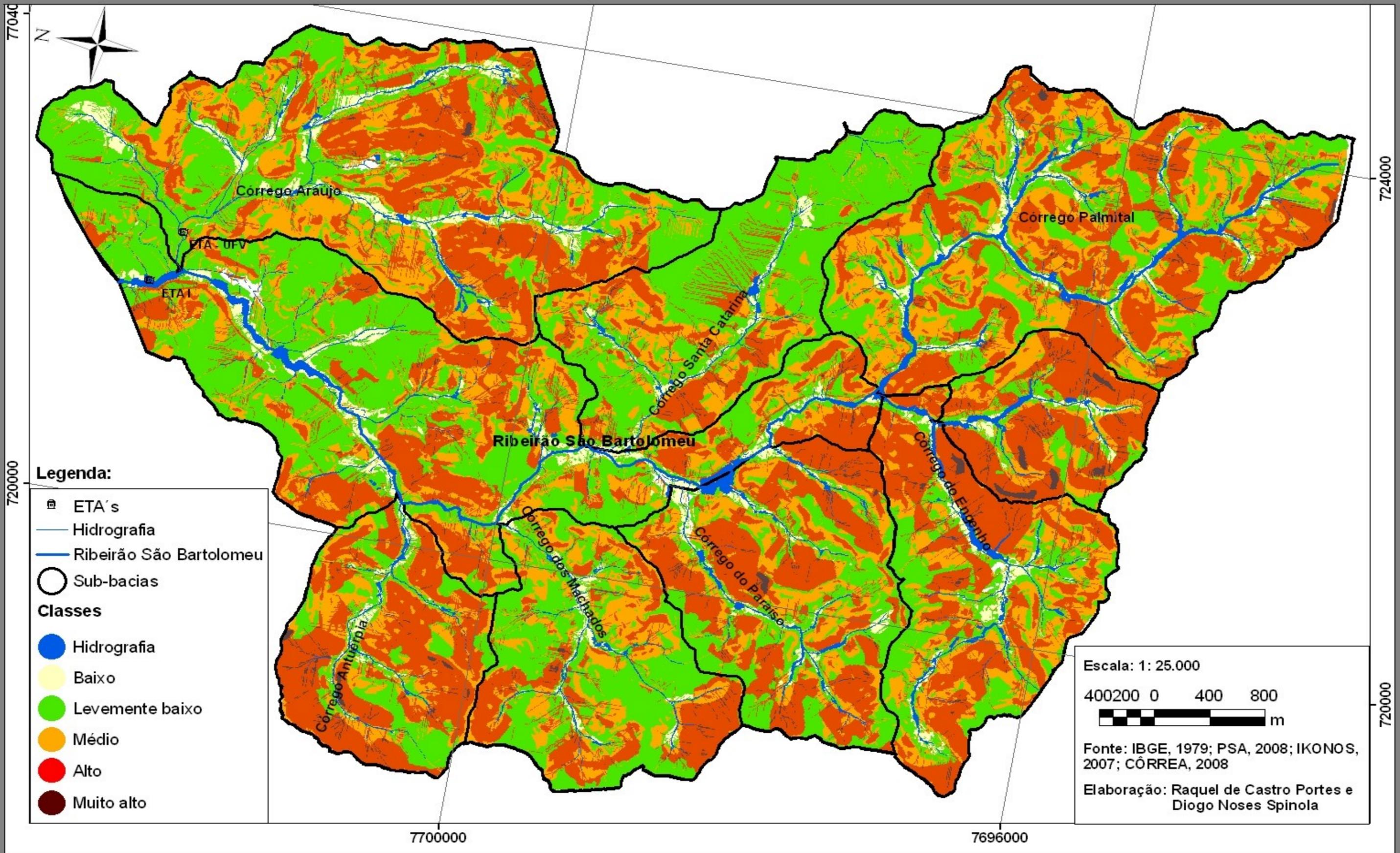
Um exemplo que ilustra bem esta correlação na área estudada: Os Cambissolos são naturalmente erodíveis e a classe que o representa no critério solos têm área igual a 2,2%, a qual recebeu peso 100. Estes solos encontram-se na paisagem em porções do relevo com acentuado declive, nas geoformas côncavas. Porcentagens de inclinação elevadas são atribuídos pesos altos e a geoforma côncava propicia um maior valor no fluxo acumulado, uma vez que direciona o fluxo para o centro da encosta, recebendo também um peso elevado. Desta forma, a partir dos dados gerados pode-se perceber os padrões da natureza e suas relações que auxiliam a tomada de decisão.

Assim, áreas com graus de fragilidade potencial elevados devem ser preservadas, evitando nelas qualquer tipo de uso que colabore na degradação da bacia como um todo e em particular na qualidade da água para abastecimento público.

4.3. Fragilidade ambiental

A determinação da fragilidade ambiental se deu a partir do acréscimo do critério uso e ocupação do solo à fragilidade potencial para o cruzamento das informações, já descrita nos procedimentos metodológicos. (Mapa 9)

MAPA 9 - FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU, VIÇOSA - MG



O arquivo gerado após o cruzamento foi dividido em classes, com intervalos referentes ao grau de fragilidade ambiental e logo em seguida ele foi reclassificado de acordo com as categorias de hierarquia. (Mapa 9)

As classes de fragilidade ambiental foram quantificadas como pode ser observado na tabela 9.

Tabela 9 – Classes de fragilidade ambiental e áreas

Classes	Área (ha)	Área (%) em relação à bacia	Categoria de hierarquia
0 - 1	102,3	2,9	Hidrografia
1 - 25	130,8	3,8	Baixo
25 - 40	1291,3	36,9	Levemente baixo
40 - 50	77,1	22,1	Médio
50 - 70	1163,3	33,3	Alto
70 - 92	37,8	1	Muito alto

Os resultados obtidos no mapa de fragilidade ambiental quando comparados com o mapa de fragilidade potencial apresenta diferenças marcantes. Houve uma redistribuição espacial e em área das classes de fragilidade ambiental na área de estudo significativas.

A classe apresentando maior abrangência da área 36,9% é a faixa compreendida entre 40 – 50, sendo considerada categoricamente em nível hierárquico como “Levemente baixo”. Já a classe entre 50 – 70 com 33,3% da área teve um aumento considerável, quase dobrou.

A explicação observada para esta redistribuição tanto espacial quanto quantitativa, deve-se que ora o uso do solo contribuiu para a diminuição do grau de fragilidade, ora aumentou.

Analisando espacialmente a distribuição das classes nos dois mapas, pode-se constatar que as áreas com valores altos no mapa de fragilidade potencial foram suavizadas, por exemplo, com a classe de Mata para o mapa de fragilidade ambiental.

Outro aspecto que explica o aumento da classe 50 – 70 no mapa de fragilidade ambiental é a classe “Pastagem degradada” influenciando no aumento. A pastagem degradada se distribui na paisagem da área de estudo geralmente nas encostas mais declivosas onde o fluxo de água acumulado é maior.

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A partir das informações obtidas no presente trabalho, conclui-se para a área estudada que:

- A classe predominante de declividade está compreendida na faixa que varia de 20 – 45, com alto grau de fragilidade, ocupando 45%.
- A área apresenta 89,5% de sua extensão enquadrada na classe 0 – 50 de fluxo acumulado de água, com grau de fragilidade baixo.
- A classe de Latossolos é a mais expressiva na área, 80,2% sendo que a classe possui baixo grau de fragilidade.
- A classe Mata apresenta maior área em relação às demais, com 28,8% Seguida da classe Pastagem degradada com 25,9%, pastagem não degradada 15,4 e agricultura com 13,9%.
- Na área ocorre o predomínio da classe com intervalo de 40 – 50, com 41,3%, considerada de médio grau de fragilidade potencial.
- O mapa de fragilidade ambiental demonstra a redistribuição espacial e quantitativa de suas classes. Assim, 36,9% da área está compreendida entre 40 – 50, sendo considerada Levemente baixo o grau de fragilidade ambiental. Já a classe entre 50 – 70 com 33,3% da área teve um aumento considerável, quase dobrou, devido aos diferentes usos com pesos elevados.

A metodologia adotada neste trabalho para determinação da fragilidade ambiental da área de estudo, através do uso de Geoprocessamento e Análise Multicritério atendeu com eficiência as necessidades da pesquisa, possibilitando de forma integrada e sistêmica a combinação dos critérios baseando-se numa relação hierárquica.

Para futuras pesquisas na determinação da fragilidade ambiental visando à qualidade da água para abastecimento público, recomenda-se a correlação entre os critérios naturais, de uso e ocupação do solo com os parâmetros físicos, químicos e biológicos que definem a qualidade da água havendo a possibilidade da aquisição de tais dados. Isto validaria de certa forma, a fragilidade ambiental.

Outra proposta seria fazer a análise acima com dados da qualidade da água de cada afluente do rio principal, verificando a influência que cada sub-bacia possui na análise.

E por fim, incorporar na análise um novo critério, com fontes de poluição pontual da bacia hidrográfica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A.T. & COSTA, A.P..C. S. Aplicações com métodos multicritério de apoio à decisão. Recife, 2003.
- ARÊDES, M.N.; COELHO, K.B.P. Uso do solo e implicações ambientais em áreas urbanas: Um estudo de caso. In: MOURA, A.M.S.; SENA FILHO, N. Cidades: relações de poder e cultura. Goiânia: Ed. Vieira, 2005.
- BERTONI, J; LOMBARDI NETO F. Conservação do solo. Ed. Ícone, São Paulo, 1990.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Coordenação Geral em Saúde Ambiental. Portaria MS n.º518/2004 – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005.
- CÂMARA, G. (Org.); DAVIS, Clodoveu (Org.) ; MONTEIRO, Antônio Miguel (Org.) ; PAIVA, J. A. (Org.) ; D'AGE, J. C. L. (Org.) . Geoprocessamento: Teoria e Aplicações. INPE - Edição On-line, 1999. v.1.
- CHAGAS, César da Silva. Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros. Tese de doutorado (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- CORRÊA, Gilberto Fernandes. Modelo de Evolução mineralógica da fração argila de solos do planalto de Viçosa, MG. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1984.
- DONHA, G.A.; SOUZA, L.C.; SUGAMOSTO, M.L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V.10, n. 1, p. 175-181, Campina Grande, PB, 2006.
- FONTES, L.E.F.; FERNANDES, R.B.A.; RODRIGUES, J.S.; FERNANDES FILHO, E.I. Recursos hídricos e uso do solo no município de Viçosa, MG. In: FONTES, Luiz Eduardo Ferreira; FERNANDES, Raphael Bragança A.; RODRIGUES, Jaqueline Sicupira. Recursos hídricos e percepção ambiental no município de Viçosa, MG. Viçosa, 2006.

- 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 (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- GOMES, L. F. M. A; GOMES, C. F. S; ALMEIDA, A. T. Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério. Rio de Janeiro, 2002.
- 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. Ponta Grossa, 2007. 11p
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Apostila do curso – SPRING 3.4 (versão windows). São José dos Campos, 2000.
- JANNUZZI, P.M. Construção de Indicadores e Mapas de pobreza e Riqueza nos Municípios Brasileiros. Brasília, 2005. 6p.
- KAWAKUBOL, F.S.; MORATO, R.G.; CAMPOS, K.C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J.L.S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril de 2005. INPE, p. 203-221
- LEMOS, R.C. de & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo, 3 ed. Campinas, SP. 1996 In: SILVA, Alexandre Marcos; SCHULZ, Harry Edmar; CAMARGO, Plínio Barbosa. Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas. São Carlos: RiMa, 2003.
- MARINS, C. S. & COZENDEY, M. I. A metodologia de multicritério como ferramenta para tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. In: 25º Encontro Nacional de Engenharia de Produção ENEGEP). Anais. Porto Alegre / RS, 2005.
- MENDES, C.A.B.; CIRILO, J.A. Geoprocessamento em recursos hídricos, integração e aplicação. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001. In: DIAS, L.S.O; ROCHA, G.A.; BARROS, E.U.A.; MAIA; P.H.P. Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas. Bahia – Análise & Dados, Salvador, v.14 n.2 p. 265-271, set 2004. Disponível em

- ORLANDINI, Dario. Avaliação do uso dos recursos naturais de uma sub-bacia do Ribeirão São Bartolomeu com vista ao aumento da produção de água com qualidade. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- PACHECHENIK, P.E. Caracterização hidrológica e da fragilidade ambiental na bacia do Rio das Pedras, Guarapuava – PR. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências do Solo) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- PANIAGO, M.C.T. Evolução histórica e tendências de mudanças sócio-culturais na comunidade de Viçosa – MG. Dissertação (Mestrado em Extensão rural) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1983.
- QUINTEIRO, Fernando Quirino Lucho. Levantamento do Uso da Terra e Caracterização de Ambiente da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo com utilização de aerofotos não-convencionais. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- REZENDE, Mauro. Et al. Pedologia: base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 1996.
- RODRIGUES, R. Erosão de fenômenos erosivos acelerados – Voçorocas. Tese – (Doutorado em Engenharia dos Transportes). EESC-USP, São Carlos, SP, 1982 In: SILVA, Alexandre Marcos; SCHULZ, Harry Edmar; CAMARGO, Plínio Barbosa. Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas. São Carlos: RiMa, 2003.
- ROSS, J.L.S. Revista do Departamento de Geografia; 8, São Paulo, USP, 1994.
- SILVA, Alexandre Marcos; SCHULZ, Harry Edmar; CAMARGO, Plínio Barbosa. Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas. São Carlos: RiMa, 2003.
- SOARES, S. R. Análise Multicritério com Instrumento de Gestão Ambiental. Dissertação de Mestrado – UFSC. Florianópolis, 2003.

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.

TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria técnica, SUPREN, 1977.

VIEIRA, J. M. P. ; MORAES, C. Manual para elaboração de Planos de Segurança de Água para consumo humano. Minho, Portugal: Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Universidade de Minho, 2005

VILAS BOAS, C..L. Análise de Aplicação de Métodos Multicritério de Apoio a Decisão (MMAD) na Gestão de Recursos Hídricos. Brasília, 2004. 19p.

ZAMBON, K.L; CARNEIRO, A.A.F.M; SILVA, A.N.R; NEGRI, J.C. Análise de Decisão Multicritério na Localização de Usinas Termoelétricas Utilizando SIG. São Carlos, 2005. 17 p.

http://www.sei.ba.gov.br/publicacoes/publicacoes_sei/bahia_analise/analise_dadospdf/tecnologia_informatica/leornado_santana.pdf Acesso: 28/04/2008

<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/estrutura.html> INPE 2008 Acesso: 28/04/2008

Site do SAAE www.saaevicosa.com.br Acesso: 14/05/2008