

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOMÁTICA

Andressa Caroline Trautenmüller

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA DETERMINAÇÃO
DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA
PC5 DO RIO IBIRAPUITÃ-RS.**

Santa Maria, RS
2018

Andressa Caroline Trautenmüller

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA DETERMINAÇÃO
DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA
PC5 DO RIO IBIRAPUITÃ – RS.**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Geomática, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Geomática.**

Orientador: Prof. Dr. Diogo Belmonte Lippert

Santa Maria, RS
2018

Andressa Caroline Trautenmüller

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA DETERMINAÇÃO DA
FRAGILIDADE AMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA
PC5 DO RIO IBIRAPUITÃ – RS.**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Geomática, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Geomática.**

Aprovado em 19 de outubro de 2018:

Diogo Belmonte Lippert, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Ana Caroline Paim Benedetti, Dra. (UFSM)

Valmir Vieira, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2018

RESUMO

GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA DETERMINAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA PC5 DO RIO IBIRAPUITÃ – RS.

AUTORA: ANDRESSA CAROLINE TRAUTENMÜLLER

ORIENTADOR: DIOGO BELMONTE LIPPERT

O presente trabalho tem como objetivo a proposta de uma metodologia que utilize ferramentas de Geoprocessamento para avaliar a fragilidade ambiental de uma sub-bacia hidrográfica, metodologia esta que poderá ser empregada em outras unidades de estudo para a mesma finalidade. A fragilidade ambiental pode ser conceituada como o grau de suscetibilidade onde um ambiente é exposto a algum tipo de evento danoso, levando em conta aspectos naturais como relevo, declividade, pluviosidade, solos, bem como a ação antrópica sobre o meio. A sub-bacia hidrográfica PC5 localiza-se na região Oeste do Estado do RS, sendo uma das sub-bacias hidrográficas que compõem a Bacia Hidrográfica do Ibicuí, abrangendo, em sua grande parte a APA do Ibirapuitã. A metodologia aplicada neste estudo se baseou na análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados proposta por Ross em 1994. Os pesos de cada característica ambiental foram atribuídos de forma participativa utilizando-se o software Vista SAGA. É possível avaliar que a fragilidade potencial predominante na sub-bacia hidrográfica PC5 é classificada como média, prevalecendo nos Neossolos e Planossolos e sua maior formação geológica de Serra Geral. Já quando se atribui a variável humana, com o mapa de uso e ocupação do solo, há um aumento significativo das áreas de média e alta fragilidade, ainda sendo acrescentada uma nova classe, de fragilidade muito alta. A identificação das classes de fragilidade possibilitou uma análise das condições naturais do ambiente, juntamente com o fator humano, onde foram identificados diferentes graus desta fragilidade, tornando a metodologia aplicada eficiente.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Grau de suscetibilidade. Vista SAGA.

ABSTRACT

GEOPROCESSING APLIED TO DETERMINATION THE ENVIRONMENTAL FRAGILITY OF THE PC5 HYDROGRAPHIC SUB-BASIN OF THE IBIRAPUITÃ-RS RIVER.

AUTHOR: ANDRESSA CAROLINE TRAUTENMÜLLER

ADVISOR: DIOGO BELMONTE LIPPERT

This paper aims to propose a methodology using geoprocessing tools to measure the environmental fragility of a watershed, this methodology can be used in other study units for the same purpose. The environmental fragility can be defined as the degree of susceptibility where an environment is exposed to some kind of damaging event, taking into account aspects such as natural relief, slope, rainfall, soil, and the human action on the environment. The sub-basin hydrographic PC5 is located in the western region of the State of Rio Grande do Sul (Brazil), being one of the hydrographic basins that comprise the Ibicuí Basin hydrographic, covering, in its large part the APA of Ibirapuitã. The methodology used in this study was based on empirical analysis of the fragility of natural and anthropogenic environments proposed by Ross in 1994. The weights of each environmental feature were assigned in a participatory manner using the software Vista SAGA. You can evaluate the predominant potential weakness in the watershed is classified as average, prevailing in Neossolos and Planossolos and its largest geological formation of the Serra Geral. But when is attributed to human variable with the map of use and occupation, there is a significant increase in average areas and high fragility, still added a new class of very high fragility. The identification of classes of weakness allowed an analysis of the natural conditions of the environment, along with the human factor, where this weakness varying degrees have been identified, making the methodology efficient.

Key words: Geoprocessing. Degree of susceptibility. Vista SAGA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.....	21
Figura 2 – Mapa de localização da APA do Ibirapuitã.....	23
Figura 3 – Mapa de solos da sub-bacia hidrográfica PC5.....	33
Figura 4 – Mapa de geologia da sub-bacia hidrográfica PC5.....	34
Figura 5 – Mapa de geomorfologia da sub-bacia hidrográfica PC5.....	35
Figura 6 – Mapa de declividade da sub-bacia hidrográfica PC5.....	36
Figura 7 – Mapa de uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica PC5.....	37
Figura 8 – Mapa de fragilidade potencial da sub-bacia hidrográfica PC5.....	39
Figura 9 – Mapa de fragilidade emergente da sub-bacia hidrográfica PC5.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de grau de fragilidade ambiental.....	25
Tabela 2 – Notas das características ambientais de solos da sub-bacia hidrográfica PC5.....	27
Tabela 3 – Notas das características ambientais de geologia da sub-bacia hidrográfica PC5.....	29
Tabela 4 – Notas das características ambientais de geomorfologia da sub-bacia hidrográfica PC5.....	30
Tabela 5 – Notas das características ambientais de declividade da sub-bacia hidrográfica PC5.....	31
Tabela 6 – Notas das características ambientais de uso e ocupação do solo da sub- bacia hidrográfica PC5.....	31
Tabela 7 – Notas dos mapas de fragilidade potencial da sub-bacia hidrográfica PC5.....	32
Tabela 8 – Notas dos mapas de fragilidade emergente da sub-bacia hidrográfica PC5.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Área de Preservação Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IUCN	International Union for Conservation of Nature
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MNT	Modelo Numérico do Terreno
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRTM	Shuttle Radar Topographic. Mission
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
UC	Unidade de Conservação
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	PROBLEMA.....	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVO GERAL.....	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
2.3	JUSTIFICATIVA.....	12
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1	BACIA HIDROGRÁFICA.....	14
3.2	GEOPROCESSAMENTO.....	15
3.3	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG).....	16
3.4	ANÁLISE AMBIENTAL.....	17
3.4.1	Fragilidade ambiental	17
3.5	UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (UC).....	19
4	MÉTODOS E TÉCNICAS	21
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	21
4.2	MATERIAIS.....	23
4.3	METODOLOGIA APLICADA.....	24
4.3.1	Elaboração dos mapas base	25
4.4	DISTRIBUIÇÃO DOS PESOS POR CARACTERÍSTICA AMBIENTAL...	26
4.4.1	Informações pedológicas da sub-bacia hidrográfica PC5	26
4.4.2	Informações geológicas da sub-bacia hidrográfica PC5	28
4.4.3	Informações geomorfológicas da sub-bacia hidrográfica PC5	29
4.4.4	Informações sobre declividade da sub-bacia hidrográfica PC5	30
4.4.5	Informações sobre uso e ocupação do solo da sub-bacia hidrográfica PC	31
4.5	DISTRIBUIÇÃO DOS PESOS POR MAPA.....	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1	MAPAS BASE.....	33
5.2	FRAGILIDADE AMBIENTAL.....	38
5.2.1	Fragilidade potencial da sub-bacia hidrográfica PC5	38
5.2.2	Fragilidade emergente da sub-bacia hidrográfica PC5	40
6	CONCLUSÃO	43

1 INTRODUÇÃO

Mudanças ambientais globais estão associadas à degradação ambiental e a práticas que não são sustentáveis, relacionado à utilização dos recursos naturais, comprometendo a existência humana e a sustentabilidade do planeta, trazendo grandes preocupações para a sociedade.

Essas mudanças vêm afetando as estratégias de planejamento, desde aqueles em pequena escala chegando aos planejamentos de larga escala, como as indústrias e demais entidades que desenvolvem algum tipo de atividade humana.

Segundo Spörl (2001) estudos e investigações que dão suporte à avaliação do meio físico natural, integrando as atividades antrópicas, são considerados de extrema importância no planejamento e ordenamento do uso da terra, compatibilizando o desenvolvimento socioeconômico com a conservação do meio ambiente. A identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento ambiental e planejamento do território.

Para analisar a fragilidade natural de uma área, são considerados alguns aspectos como: relevo, hidrografia, pluviometria, geologia, vegetação. Através dos resultados obtidos, as áreas são categorizadas, apresentando diferentes graus de fragilidade. Também se pode definir a fragilidade emergente, onde se atribui a variável humana, e assim, baseado nos resultados, é possível realizar a tomada de decisão que venha a diminuir ou reverter o processo de degradação do meio ambiente.

A utilização de ferramentas de Geoprocessamento vem para auxiliar no desenvolvimento de técnicas e metodologias para a identificação de áreas que podem estar sendo modificadas, principalmente, pela ação antrópica, podendo ocasionar a escassez ou diminuição da qualidade dos recursos naturais.

1.1 PROBLEMA

O crescente desenvolvimento populacional tem trazido grandes preocupações, econômicas, sociais e principalmente ambientais, com a utilização desenfreada dos recursos naturais.

Ao abordar assuntos referentes ao meio ambiente e desenvolvimento sustentável dos recursos naturais, percebe-se que uma pequena parcela da população está capacitada a discutir sobre esse assunto, levando a problemática a nível mundial.

Ross (1994) afirma que

A crescente industrialização concentrada em cidades, a mecanização da agricultura em sistemas de monocultura, a generalizada implantação de pastagens, a intensa exploração de recursos energéticos e matérias primas como o carvão mineral, petróleo, recursos hídricos, minérios, tem alterado de modo irreversível o cenário da terra e levado com frequência a processos degenerativos profundos da natureza.

Com esta expansão populacional e a utilização dos recursos, faz-se necessária a preservação da natureza para conservar o equilíbrio do planeta, mantendo-o seguro e habitável para as próximas gerações.

As Unidades de Conservação (UC) surgiram da necessidade de preservar o meio ambiente em sua forma natural, visando que seja ecologicamente equilibrado, conforme garantia constitucional prevista no Art. 225 da Constituição Federal, onde dispõe que:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

Com isso, a utilização de geotecnologias, vem para auxiliar na tomada de decisão para o planejamento ambiental territorial. Também é possível realizar uma análise das áreas com maior interferência humana, que podem ocasionar uma maior fragilidade no ambiente natural.

Padilha (2008) considera que as ferramentas de Geoprocessamento são essenciais na análise da fragilidade ambiental, pois permitem que sejam realizadas

análises, planejamento e monitoramento de áreas naturais. Permitem assim simulações e estabelecimento de intervenções das melhores alternativas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral propor uma metodologia que utilize ferramentas de Geoprocessamento para avaliar a fragilidade ambiental de uma sub-bacia hidrográfica, metodologia esta que poderá ser empregada em outras unidades de estudo para a mesma finalidade.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter mapas temáticos de cada variável ambiental a ser estudada;
- Efetuar o cruzamento de todos os planos de informação;
- Realizar o mapeamento visando à identificação das áreas de maior e menor fragilidade ambiental.

2.3 JUSTIFICATIVA

Avaliações da fragilidade ambiental, baseadas em fatores como o solo, o potencial de erosão das chuvas, a declividade e a cobertura vegetal, são necessárias ao planejamento ambiental. O conhecimento dos níveis de fragilidade presentes em uma bacia hidrográfica, por meio da integração de diversas variáveis que interferem nas potencialidades dos recursos naturais, possibilita compreender a realidade e obter uma visão mais clara sobre quais são as opções mais adequadas para o uso da terra (SPÖRL, 2001).

Segundo Spörl (2007), o homem ao fazer parte do ambiente como um elemento ativo, é capaz de modificar a paisagem, pois ele possui a capacidade de alterar solos, vegetação, condições hidrológicas e formas de erosão, introduzindo desta forma modificações no sistema que podem propiciar o desequilíbrio.

Assim, tornam-se importantes estudos sobre fragilidade ambiental, pois possibilita a interpretação da paisagem auxiliando no planejamento ambiental local, proporcionando uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas, servindo como base para o zoneamento ambiental e provendo de subsídios à gestão do território.

Vashchenko et al. (2007) citam a importância desse tipo de estudo em trabalhos de zoneamento em unidades de conservação e em outros tipos de áreas protegidas.

Como Franco et al. (2013) consideram que os sistemas ambientais podem responder de diferentes maneiras às intervenções humanas nos componentes da paisagem, como relevo, solo, clima, recursos hídricos e cobertura vegetal. Mapear a fragilidade ambiental permite definir áreas mais frágeis e que merecem maior atenção, pois sua má utilização pode resultar no comprometimento de todo sistema. O grau de um impacto sobre o equilíbrio de um sistema, dependendo do tipo de intervenção, pode ser maior ou menor em função das características intrínsecas do ambiente, ou seja, de sua fragilidade ambiental.

Para Ghezzi (2003), indica-se através do estudo da fragilidade, a vulnerabilidade de um ambiente a algum tipo de uso ou ocupação, quer por decorrência de sua exploração, quer por fatores naturais próprios. Seu estudo 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 antrópica.

Portanto, esses estudos ambientais, além de contribuírem para projeções de cenários futuros, auxiliando em planejamentos ambientais territoriais, ainda apresentam a vulnerabilidade que um ambiente tem quanto às questões naturais do meio, atrelado às intervenções humanas, possibilitando estudos de melhorias para os ambientes que tenham resultados preocupantes.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 BACIA HIDROGRÁFICA

As bacias hidrográficas constituem-se instrumentos de grande interesse científico, em virtude da riqueza de informações que delas podem ser extraídas. Através de estudos em seu interior, podem ser observados diversos aspectos indicadores, como sua forma, grau de conservação e possibilidades de sua exploração pelo homem, tornando-a um excelente objeto para desenvolver projetos relacionados ao planejamento ambiental (GHEZZI, 2003).

Fernandes (1999) apud Attanasio (2004) considera que o termo bacia hidrográfica refere-se a uma compartimentação natural delimitada por divisores de água. Este compartimento é drenado superficialmente por um curso d'água principal e seus afluentes.

Com o passar do tempo, a adoção de bacia hidrográfica como unidade de planejamento amplia-se para aplicações diversas, marcadas notadamente pelos avanços tecnológicos. O uso das geotecnologias como ferramenta de análise das bacias hidrográficas, possibilita a realização de uma efetiva radiografia desses sistemas ambientais, a partir da elaboração de modelos digitais, implementados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) (BACANI, 2010).

Segundo Guerra e Cunha (1996), as bacias hidrográficas são consideradas excelentes unidades de gestão dos elementos naturais e sociais, pois, nessa óptica, é possível acompanhar as mudanças introduzidas pelo homem e as respectivas respostas da natureza.

A bacia hidrográfica, considerada como uma unidade de manejo ambiental apresenta características intrínsecas, como relevo, tipo de solo e geologia que, em conjunto, convertem-se em um atributo denominado vulnerabilidade natural. Inserindo-se nessa unidade a ação humana, ou seja, introduzindo-se fatores externos de ocorrência não natural, é possível avaliar o nível de degradação que produzem. Surge assim a possibilidade de aplicação de estudos de fragilidade ambiental em bacias hidrográficas, constituindo-se numa importante ferramenta no planejamento ambiental estratégico (GONÇALVES et al., 2011).

Sendo assim, a bacia hidrográfica tem sido muito utilizada como unidade de planejamento, pois como tem sua delimitação natural e suas determinadas

características, possibilitando estudos ambientais levando em conta outros fatores como a interferência humana no ambiente natural.

3.2 GEOPROCESSAMENTO

Segundo Moreira (2005), o Geoprocessamento pode ser entendido como a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados e objetos ou fenômenos geograficamente identificados ou, extrair informações desde objetos ou fenômenos quando eles são observados por um sistema sensor.

Jensen (2009) relata que a utilização do Geoprocessamento para o mapeamento de ambientes terrestres é uma das aplicações mais antigas, já que geralmente é utilizada como subsídio para outros estudos, como os de monitoramento e de estimativas.

O Geoprocessamento é a tecnologia que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, influenciando todas as áreas que possuem características posicionais e temporais, como recursos naturais, transporte, comunicação, energia e gestão (HARTMANN et al. 2010).

Já para Silva (2001) o principal objetivo do Geoprocessamento é de fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas, através do uso do Geoprocessamento, tornem disponíveis para as análises ambientais, procedimentos que permitem a investigação detalhada de relacionamentos entre entidades pertencentes a um ambiente.

Assim, a utilização do Geoprocessamento torna-se aliada no trabalho onde são empregadas diversas variáveis que podem estar em constante transformação, caracterizando o planejamento ambiental. Viabiliza também análises complexas, simulações e auxilia na tomada de decisão para alternativas melhores e se possível, mais sustentáveis.

Nos trabalhos de Chaves (2005) o autor afirma que o Geoprocessamento, enquanto instrumento de gestão territorial, apresenta uma gama de possibilidades e utilização bastante extensa, muitas delas ainda pouco exploradas.

A aplicação de geotecnologia para a elaboração de produtos cartográficos relacionados com a fragilidade do ambiente difunde-se cada vez mais no Brasil, uma vez que configura conjunto de ferramentas altamente eficientes para gestão

territorial e promoção da qualidade da paisagem (RODRIGUES et al., 2001; FRANCISCO et al., 2008).

Consoante Donha et al. (2006) o uso de técnicas de Geoprocessamento aliado ao uso dos SIG's permite a avaliação integrada de diversas variáveis, sendo os resultados finais gerados de forma ágil. Os mapas temáticos gerados apresentam o grau de potencialidade e de restrição quanto aos diversos usos da terra, assim, constituem-se em uma das principais ferramentas do planejamento territorial.

3.3 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

A evolução do conceito de Sistema de Informação Geográfica (SIG) varia de acordo com as diferentes áreas de pesquisa que contribuíram para o seu desenvolvimento, como por exemplo, a informática que enfatiza a ferramenta banco de dados ou linguagem de programação, a geografia que relaciona mapas e outros que ainda enfatizam a aplicações como suporte a decisão (MIRANDA, 2005).

Madruga (1991) compreende que SIG é

Um banco de dados capaz de armazenar, recuperar e manipular informações digitais, georreferenciadas, provenientes de imagens, mapas e MNT (Modelo Numérico do Terreno) e, estes sistemas devem, além disso, fornecer ferramentas computacionais que permitam analisar, integrar essas informações com o objetivo de se obter soluções rápidas e precisas para os problemas relacionados ao comportamento espacial dos dados contidos no sistema (MADRUGA, 1991).

Para Silva (1992), a utilização de um SIG permite o ganho de conhecimento sobre as relações entre os fenômenos ambientais, estimando as áreas de risco, potenciais ambientais e definindo zoneamentos.

De acordo com o autor, além de responder as questões sobre localização, condição, tendência, rota, padrão, simulação e modelamento, o SIG pode ainda: produzir mapas mais elaborados, de forma rápida e com baixo custo; produzir mapas específicos de acordo com a personalização implementada; permitir diferentes representações gráficas, usando o mesmo banco de dados; possibilitar a automação da atualização e revisão e; revolucionar a análise quantitativa de dados espaciais (SILVA, 1999).

Os SIG's constituem importante técnica para os estudos ambientais por proporcionar rápida e constante integração e atualização de dados espaciais e

alfanuméricos que permitem a análise de fenômenos em diferentes escalas. As características do SIG permitem compreender a distribuição espacial e o porquê da ocorrência de determinado evento em determinado lugar, assim como simular situações e planejar o ambiente para tomada de decisões, entre outras possibilidades (SILVA e MACHADO, 2014).

Segundo Ferreira (1997), os SIG's podem ser considerados um instrumento para mapear e indicar respostas às várias questões sobre planejamento urbano e regional, meio rural e levantamento de recursos renováveis, descrevendo os mecanismos das mudanças que operam no meio ambiente e auxiliando o planejamento e manejo dos recursos naturais de regiões específicas.

Castilho (2004) apud Santos, (1994) ao mencionar o SIG no planejamento urbano, o mesmo relata que:

O uso destas tecnologias pode ajudar a trazer um novo olhar sobre a cidade, que é preciso poder generalizar ou individualizar como uma lente fotográfica que aproxima e distancia conforme o foco desejado. A generalização nos dá a listagem das possibilidades, a individualização nos indica como, em cada lugar algumas dessas possibilidades se combinam (CASTILHO, 2004 apud SANTOS, 1994).

Santos (2005) ainda identifica os SIG's como importantes para o planejamento ambiental, visto que manipulam grandes volumes de dados em ambientes e auxiliam nos seus gerenciamentos e integrações, não dispensando a interpretação do meio pelo planejador.

Já Hartmann et al. (2010) considera o SIG como sendo

A principal ferramenta computacional para o Geoprocessamento, que nos permite definir as informações, as características e/ou atributos que variam em função de sua posição (espacial) e tempo (temporais) (HARTMANN, 2010).

3.4 ANÁLISE AMBIENTAL

3.4.1 Fragilidade ambiental

A identificação da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica permite avaliar, através de análises isoladas de indicadores dos aspectos físicos do ambiente em estudo e posteriores cruzamentos destes, a intensidade com que este

ambiente pode ser explorado sem prejudicar sua dinâmica e seu equilíbrio (GHEZZI, 2003).

As unidades de fragilidade dos ambientes naturais devem ser resultantes dos levantamentos básicos de geomorfologia, solos, cobertura vegetal/uso da terra e clima. Esses elementos tratados de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais (ROSS, 1994).

A fragilidade ambiental é o grau de susceptibilidade a qualquer tipo de dano, ou seja, está relacionada aos ambientes em situação de risco, causada pelas próprias condições naturais somadas às contribuições das ações antrópicas, provocadas pelo uso e ocupação da terra (SPÖRL, 2007; BATISTA e SILVA, 2013).

Segundo Tamanini (2008), o conceito de fragilidade ambiental diz respeito à vulnerabilidade do ambiente em sofrer qualquer tipo de dano. Relaciona-se 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 (uso inadequado da terra e de intervenções em regimes fluviais).

Assim, a fragilidade ambiental pode ser conceituada como o grau de suscetibilidade onde um ambiente é exposto a algum tipo de evento danoso, levando em conta aspectos naturais como relevo, declividade, pluviosidade, solos, bem como a ação antrópica sobre o meio.

Câmara e Medeiros (2001) apontam que,

Na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana, e seu inter-relacionamento (CÂMARA e MEDEIROS, 2001).

Estudos de fragilidade podem auxiliar no planejamento ambiental e urbano em questões como realocação de determinada atividade, implantação de Áreas de Preservação Ambiental (APP), bem como estabelecimento de padrões de conservação ambiental, como as Unidades de Conservação.

Muitas vezes o homem acaba se apropriando e utilizando os recursos naturais de maneira inadequada, o que ocasiona uma exaustão dos mesmos. Assim, utilizando ferramentas de Geoprocessamento, é possível mensurar a fragilidade

natural do ambiente, que seria a fragilidade potencial, já quando se adiciona o fator humano, se designa fragilidade emergente.

Como Santos (2005), que conceitua a fragilidade ambiental potencial sendo aquela fragilidade natural a que uma área está submetida, ou seja, a partir do solo, da declividade do relevo, índice de pluviosidade, entre outros, este local poderá ou não apresentar um equilíbrio natural.

Entretanto, o mesmo autor ainda afirma que a fragilidade emergente, além de considerar os elementos naturais já constantes na fragilidade potencial, acrescenta o elemento humano, que se caracteriza pela forma de como o ser humano utiliza o solo.

Para Spörl e Ross (2004) a identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território.

A identificação de unidades naturais e dos graus de fragilidade (potencial e emergente) da paisagem proporcionam melhores definições para a etapa de planejamento territorial, base para traçar diretrizes e propor ações de zoneamento e gestão das áreas especiais, que necessitam de maiores esforços para conservação do equilíbrio ambiental (DUQUE et al., 2012; TOMCZYK, 2011).

3.5 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (UC)

A conservação da biodiversidade é o conjunto de práticas destinadas à proteção da diversidade biológica. Visa à manutenção da diversidade genética, dos processos ecológicos e dos sistemas vitais essenciais, bem como o aproveitamento perene das espécies e dos ecossistemas (IUCN, 1984).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), as UC's são espaços territoriais e seus componentes que abrangem as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituídas pelo poder público, com objetivos de preservação/conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção. As unidades de conservação podem ser de uso indireto quando não envolvem consumo, coleta,

dano ou destruição dos recursos naturais e de uso direto quando envolvem o uso comercial ou não dos recursos naturais.¹

Tendo em vista que os recursos para a conservação da biodiversidade são escassos, é necessário escolher áreas prioritárias para o investimento e atuação do Poder Público e da sociedade civil. Alguns critérios baseiam-se na identificação das espécies cujas características exigem intervenção urgente (GANEM, 2010).

Uma vez avaliados os critérios para estabelecimento das áreas protegidas, elas são classificadas, segundo o SNUC, como Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável.

A Área de Preservação Ambiental (APA) é categorizada como uma Unidade de Uso Sustentável e

É uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (BRASIL, 2000).

As áreas de proteção ambiental disciplinam as atividades humanas de forma a proporcionar o uso sustentável dos recursos naturais e a qualidade ambiental para as comunidades locais, por meio de planos de manejo e zoneamento, incluindo áreas de proteção integral da vida silvestre (RYLANDS e BRANDON, 2005).

Para Barros (2000) e Pádua (1997), os diferentes tipos de UC's nasceram a partir de vários fatores, inclusive da sintonia de cientistas e administradores com as mudanças no panorama mundial da conservação ambiental, a ampliação do interesse social na questão, pressões internacionais e a concorrência entre organismos gestores e as suas diferentes políticas.

As Unidades de Conservação constituem uma forma efetiva de proteção da biodiversidade e dos recursos naturais, através de práticas destinadas à proteção da diversidade biológica, garantindo a capacidade de produção de riquezas a longo prazo, especialmente para o Brasil, que possui boa parte de seu crescimento justificado pela abundância de recursos naturais (MANETTA et al., 2015).

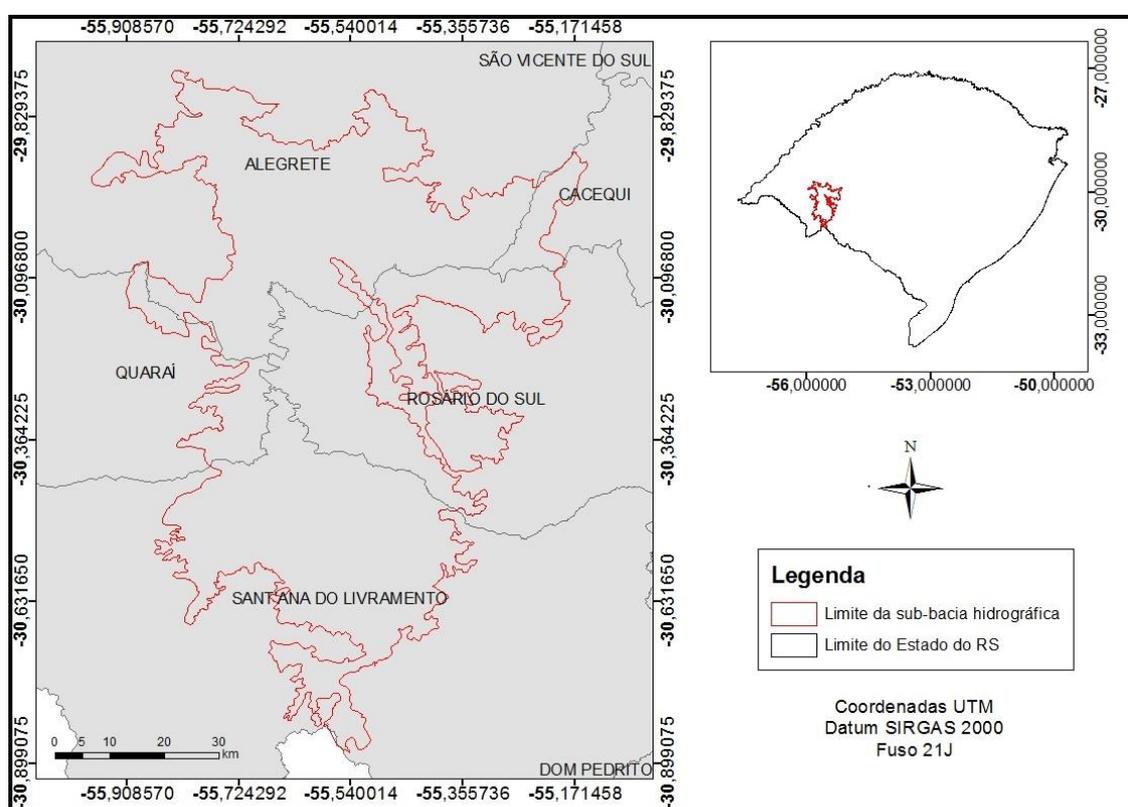
¹ BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Áreas Protegidas**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/programas-e-projetos/projeto-corredores-ecologicos/conceitos>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

4 MÉTODOS E TÉCNICAS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A sub-bacia hidrográfica em estudo (Figura 1), nomeada PC5 pela FEPAM, localiza-se entre as coordenadas geográficas 29°70' a 30°87' de latitude sul e 55°10' a 56°00' de longitude oeste, na região oeste do estado do Rio Grande do Sul, sendo uma das sub-bacias hidrográficas que integram a Bacia Hidrográfica do Ibicuí.

Figura 1 – Mapa de localização da sub-bacia hidrográfica PC5



Fonte: a autora (2018).

A sub-bacia hidrográfica PC5 abrange uma área de aproximadamente 420.300 hectares e engloba os municípios de Alegrete, Cacequi, Rosário do Sul, Santana do Livramento e Quaraí, tendo como curso hídrico principal o Rio Ibirapuitã.

A área de estudo está inserida no Bioma Pampa, tendo um clima Temperado do tipo Subtropical, classificado como Mesotérmico Úmido (segundo classificação de Köppen) com chuvas bem distribuídas e estações bem definidas. As temperaturas

médias variam de 16°C a 19°C ao ano, com precipitações médias anuais em torno de 1.500 mm a 1.690 mm.

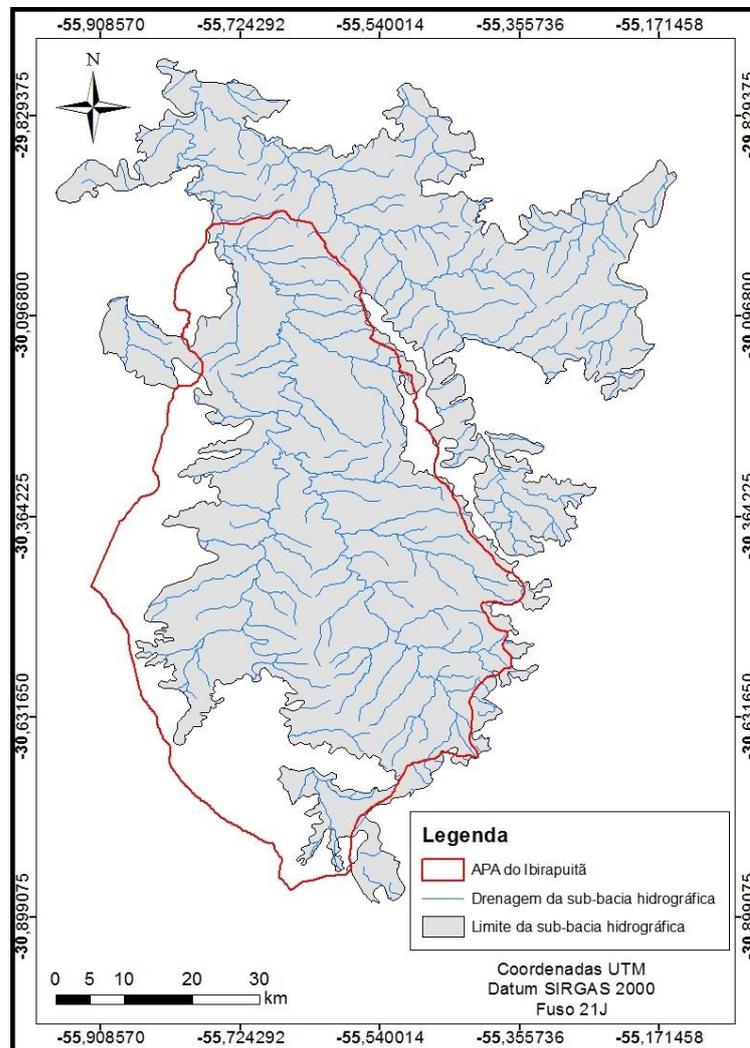
Segundo Sampaio et al., (2010) a vegetação predominante nesta área é constituída por campos, na qual predomina o Estepe Gramíneo - Lenhoso, e pela floresta (Floresta Estacional Decidual e Floresta Aluvial), principalmente no rebordo do planalto, além das matas ciliares que ocorrem ao longo do rio. Com a exploração econômica da área, a vegetação original encontra-se muito modificada, com o cultivo de gramíneas para pastagens e a implementação de cultivos agrícolas de soja, milho e arroz.

Dentre os problemas ambientais encontrados na região, se destaca o intenso processo de arenização que ocorre na área de estudo e ao entorno, principalmente nos municípios de Alegrete e Santana do Livramento, que compõem a sub-bacia hidrográfica PC5, processo este devido ao uso inadequado do solo arenoso.

A sub-bacia hidrográfica PC5, ainda compreende grande parte da Área de Preservação Ambiental (APA) do Ibirapuitã que tem uma área total de 316.792,02 hectares, abrigando 11 espécies de mamíferos raros ou que estão ameaçados de extinção e 22 espécies de aves que se encontram na mesma situação.

A APA do Ibirapuitã (Figura 2) é uma UC de Uso Sustentável, onde se caracteriza pelo objetivo da preservação ambiental, porém é possível que se faça a utilização dos recursos naturais, sem que isso prejudique a capacidade de mantimento e de regeneração do ecossistema.

Figura 2 – Mapa de localização da APA do Ibirapuitã, em relação à sub-bacia hidrográfica PC5



Fonte: a autora (2018).

4.2 MATERIAIS

Para a elaboração do presente trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Imagens do Satélite Landsat 8, sensor TM, órbita 224 e ponto 81, datadas de 13 de julho de 2017.
- Imagem SRTM obtida pela USGS.
- *Software* Spring versão 5.2.2.
- *Software* ArcGis versão 10.2.2.
- *Software* QGis versão 2.18.10.
- *Software* Vista SAGA.

- Arquivo *shapefile* de solos obtidos pelo IBGE.
- Arquivos *shapefile* de geologia, geomorfologia, bacias hidrográficas e limite do estado do Rio Grande do Sul, bem como seus municípios, adquiridos pela FEPAM.
- Arquivo *shapefile* da APA do Ibirapuitã apanhada pelo site do i3geo, disponibilizado pelo MMA.

4.3 METODOLOGIA APLICADA

A metodologia aplicada neste estudo se baseou na análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados proposta por Ross em 1994. Essa metodologia consiste em estudos de solo, relevo, uso e cobertura da terra, onde posteriormente, são analisados de forma integrada, gerando um produto que apresenta os diferentes níveis de fragilidade ambiental de uma área.

Ross (1994) propôs a metodologia para a análise da fragilidade ambiental, com o objetivo de estudar a relação entre o espaço geográfico integrado com a análise ambiental, tanto em ambiente em condições naturais quanto sob ação antrópica.

Estudos posteriores também utilizaram o método proposto por Ross em 1994. Oliveira et al., (2008) utilizaram esse mesmo método para estudos de fragilidade ambiental e uso do solo na bacia hidrográfica do Córrego Pindaíba, em Uberlândia.

Cabral et al. (2011) caracterizaram e avaliaram a fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Doce-GO, com predominância de média fragilidade, ocupando cerca de 65,26% da área total.

Ainda Ross e Massa (2012), aplicaram a metodologia anteriormente citada para a aplicação de um modelo de fragilidade ambiental para a Bacia do Córrego do Bispo em São Paulo.

Para realizar a análise dos dados é necessária que se faça a atribuição de pesos ou notas para cada característica/variável ambiental a ser estudada, a qual ocorreu de forma técnica participativa, utilizando-se o *software* Vista SAGA.

O programa Vista SAGA contempla diversos módulos para análise ambiental, entre eles, a “assinatura ambiental” que permite a identificação da ocorrência conjunta de variáveis através de planimetrias; e a “avaliação ambiental” que permite fazer estimativas sobre possíveis ocorrências de alterações ambientais, segundo

diversas intensidades, definindo-se a extensão destas estimativas e suas relações de proximidade e conexão, fornecendo como resultados mapas e relatórios para a tomada de decisão (MARINO, 2005).

Na área de estudo os parâmetros utilizados para cada variável estão apresentados na Tabela 1, onde também se realizou um agrupamento de notas:

Tabela 1 – Tabela de grau de fragilidade ambiental

Nota	Grau de fragilidade
1 – 2	Muito Baixo
3 – 4	Baixo
5 – 6	Médio
7 – 8	Alto
9 - 10	Muito Alto

Fonte: adaptado de Ross (1994).

Foram mensurados dois tipos de fragilidade ambiental, a fragilidade potencial que se utiliza de características físicas da paisagem, no caso deste estudo foram geomorfologia, solos, declividade e geologia. Já para a fragilidade emergente, além das informações físicas naturais, se é adicionado o fator humano, ou seja, além dos dados citados acima, foi utilizado o mapa de uso e cobertura do solo.

4.3.1 Elaboração dos mapas base

Para a elaboração dos mapas base de geologia, geomorfologia, solos, declividade e uso e ocupação do solo, foi utilizado o *software* ArcGis, Datum SIRGAS2000, coordenadas UTM, fuso 21, hemisfério Sul. A delimitação da sub-bacia hidrográfica PC5 se deu através da extração de seu limite pelo *shapefile* adquirido pela FEPAM.

Mediante a delimitação da área de estudo, foi possível efetuar a extração dos demais planos de informação que seriam utilizados, como geologia, geomorfologia e solos.

O SRTM de 30 metros, que é uma missão espacial que vem a contribuir para estudos de relevo no Brasil, onde através deste é possível gerar o Modelo Numérico

do Terreno (MNT), foi utilizado para elaborar o mapa de declividade, baseando-se a metodologia de Lepsch et al., (1983).

O mapa de uso e cobertura do solo foi confeccionado no *software* Spring, empregando-se a Classificação Supervisionada, que se utiliza da fase de treinamento, onde são identificadas as áreas com características espectrais parecidas.

Dentre os métodos de classificação supervisionada disponíveis, o utilizado neste trabalho foi o classificador de Máxima Verossimilhança (MaxVer) com um limiar de aceitação de 100%, que segundo Miranda (2011) é o método mais eficiente, porém mais complexo que outros. Por décadas tem sido escolhido por especialistas em sensoriamento remoto como um dos melhores para classificação de agrupamentos em imagens de satélite.

Este método de classificação parte do pressuposto que o usuário conheça previamente a área analisada, bem com a distribuição das classes, para que desta forma, quando da aplicação da classificação, a seleção de amostras de treinamento possa ser o mais eficiente possível (CRÓSTA, 1993).

4.4 DISTRIBUIÇÃO DOS PESOS POR CARACTERÍSTICA AMBIENTAL

A distribuição dos pesos de cada característica ambiental é determinada a partir da sua fragilidade a algum fenômeno/evento ambiental. Assim, as notas foram atribuídas utilizando o método participativo, onde a nota 1 é considerada como sendo a menor fragilidade e 10 sendo a maior fragilidade.

Essa distribuição dos pesos ocorre em escala numérica (dados quantitativos), porém os resultados são obtidos de forma qualitativa, amenizando assim, os possíveis erros que possam ocorrer.

4.4.1 Informações pedológicas da sub-bacia hidrográfica PC5

Os Planossolos compreendem solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com textura leve, geralmente de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta (CLINE, 1949).

O autor ainda cita que os solos desta classe ocorrem em áreas de relevo plano ou suave ondulado, onde as condições ambientais e do próprio solo

favorecem vigência periódica anual de excesso de água. Nas baixadas, várzeas e depressões sob condição de clima úmido, são solos verdadeiramente hidromórficos.

Os Neossolos são constituídos por material mineral ou orgânico pouco espesso que não apresenta alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos (CLINE, 1949).

Segundo Cardoso (2005) são solos novos, pouco desenvolvidos. São solos de formação muito recente, derivados do basalto. São encontrados em condições de relevo médio a fortemente ondulado, com drenagem moderada.

Os Argissolos são de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, com textura variando de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte B (CLINE, 1949).

Para Cardoso (2005) são solos geralmente profundos a muito profundos, bem drenados e podem ser originados a partir de rochas eruptivas como o basalto, granitos ou arenitos e outros sedimentos. A declividade interfere na erosão hídrica e no potencial de uso, pois ocorrem em relevo suavemente ondulado até fortemente ondulado, formado por elevações com declives que variam de 5 a 10% e altitude de 400 a 700 metros.

Os Latossolos são considerados solos em estágio avançado de intemperização, muito evoluídos como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo. Variam de fortemente a bem drenados, embora tenham solos de drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenado. São normalmente muito profundos e seus horizontes A, B e C tem pouca diferenciação (CLINE, 1949).

Segundo o mesmo autor, são solos típicos das regiões equatoriais e tropicais, ocorrendo também em zonas subtropicais, distribuídos por amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos, de relevo plano e suave ondulado.

Diante do exposto acima, as notas atribuídas para cada característica de pedologia apresentam-se na Tabela 2:

Tabela 2 – Notas das características ambientais de solos da sub-bacia hidrográfica PC5

Característica ambiental	Nota	Grau de fragilidade
Neossolo Litólico Eutrófico (RL35)	10	Muito alto

Planossolo Háplico Eutrófico (SX16)	7	Alto
Latossolo Vermelho Distrófico (LV25)	4	Baixo
Argissolo Vermelho Distrófico (PV7)	4	Baixo

Fonte: a autora (2018).

As características físicas dos Latossolos e Argissolos foram agrupadas pelo *software*, quando realizada a extração das mesmas, assim, foi efetuada uma média para a atribuição da nota dessas características.

4.4.2 Informações geológicas da sub-bacia hidrográfica PC5

A Formação Serra Geral é constituída por uma sucessão de corridas de lavas de composição eminentemente básica na sua sequência inferior e ácida na sequência superior. Litologicamente, a sequência de rochas básicas a intermediárias da Formação Serra Geral é composta por rochas pertencentes a 3 grandes grupos: basaltos, andesitos e basaltos com vidro. Estas rochas intercalam ainda arenitos interderrames, tipos litológicos subordinados, como brechas basálticas e sedimentares, e corpos hipoabissais na forma de diques e sills (MMA²).

Os Aluviões Holocênicos são depósitos que acompanham os cursos d'água. Segundo Rapp (2007), eles podem ser separados em atuais e indiferenciadas antigas. Os Aluviões antigos têm uma distribuição descontínua (diferente das atuais) e representam marcas dos diferentes comportamentos dos agentes deposicionais. Estas marcas denotam os movimentos dos meandros e a presença de diques aluviais. Os tamanhos destas formas assemelham-se aos das planícies aluviais atuais, indicando que os rios apresentavam grandes dimensões.

A Formação Rosário do Sul é caracterizada por formas de relevo suave, ocasionalmente por formas abruptas. Ela só se faz presente através da fácies fluvial, constituída por arenitos e siltitos, ocasionalmente argilitos. A fácies fluvial é caracterizada por arenitos finos a muito finos com estratificação planoparalela típica, condicionada pelo ambiente de deposição; e arenitos, siltitos e argilitos de planície de inundação (PINHEIRO e DIAS, 1995).

² BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Manejo do Parque Nacional de Aparados da Serra e Serra Geral**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/plano-de-manejo/DCOM_pm_Parna_de_Aparados_da_Serra_volume_2_anexo_encarte_3_aparados.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2018.

Para Frank et al. (2010), os Arenitos Interderrames têm sua estrutura formada por estratos cruzados de grande porte, que correspondem a depósitos residuais de dunas eólicas e que são típicos tanto dos arenitos eólicos da Formação Botucatu como dos Arenitos Interderrames formados pelo mesmo tipo de sedimento.

A litologia da Formação Botucatu é caracterizada por arenitos finos a médios, de coloração vermelha e rosa, com estruturas típicas de deposição eólica. Pode-se dizer que a principal característica da Formação Botucatu é a ausência de variação litológica. Essa formação constitui uma monótona sucessão de corpos onde persistem, de modo geral, as mesmas propriedades texturais, estruturais e mineralógicas. A estratificação cruzada tangencial de médio a grande porte é a feição mais comum dos arenitos desta formação (MMA, 2004).

As classes de corpos d'água e área urbana ocorreram em pequenas quantidades, não interferindo na atribuição das notas. Com isso, a ponderação de cada variável encontrada na área de estudo explana-se abaixo (Tabela 3):

Tabela 3 – Notas das características ambientais de geologia da sub-bacia hidrográfica PC5

Característica ambiental	Nota	Grau de fragilidade
Formação Rosário do Sul	7	Alto
Formação Botucatu	6	Médio
Aluviões Holocênicos	6	Médio
Arenitos Interderrames	5	Médio
Serra Geral	4	Baixo
Corpos d'água e área urbana	0	-

Fonte: a autora (2018).

4.4.3 Informações geomorfológicas da sub-bacia hidrográfica PC5

A classe Planalto da Campanha tem suas litologias constituídas por rochas vulcânicas e areníticas onde os solos variam de bem desenvolvidos a rasos. Nesta porção ocorre ampla exposição de rochas areníticas com rochas vulcânicas formando delgadas capas no topo dos morrotes e colinas situadas nas menores altitudes do Patamares da Campanha (ROBAINA et al., 2010).

A Depressão do Rio Ibicuí, segundo Robaina et al. (2010), é compreendida como sendo um relevo de colinas em altitudes variando entre 100 e 200 metros em substrato de arenitos finos, solos argilosos e arenosos desenvolvidos com ocorrência de sulcos, voçorocas e areais com atuação de processos erosivos avançados.

As Planícies Aluvio-coluvionares se caracterizam por serem planas ou pouco inclinadas. São formadas pela deposição de sedimentos ao longo de tempo, os quais são trazidos pelos rios, formando solos aluvionares constituídos de argila, silte e areia. Assim, pode se formar as planícies de inundação ou várzeas como parte do processo, já a planície formada abarca as áreas de várzeas antigas que já não inundam devido ao acúmulo de sedimentos.

Após estudos diante do mencionado acima, a atribuição das notas de geomorfologia (Tabela 4) ficou da seguinte maneira:

Tabela 4 – Notas das características ambientais de geomorfologia da sub-bacia hidrográfica PC5

Característica ambiental	Nota	Grau de fragilidade
Depressão do Rio Ibicuí	9	Muito alto
Planalto da Campanha	5	Médio
Planícies Alúvio-coluvionares	4	Baixo
Corpos d'água	0	-

Fonte: a autora (2018).

4.4.4 Informações sobre declividade da sub-bacia hidrográfica PC5

O mapa de declividade foi elaborado a partir da metodologia proposta por Lepsch (1983), classificando as declividades com relevo plano até escarpado.

Para isso, os intervalos de cada classe foram adaptados de forma a representar a sub-bacia hidrográfica PC5, com isso as notas atribuídas encontram-se na Tabela 5:

Tabela 5 – Notas das características ambientais de declividade da sub-bacia hidrográfica PC5

Característica ambiental	Nota	Grau de fragilidade
0 – 2%	1	Muito baixo
2 – 5%	3	Baixo
5 – 10%	5	Médio
> 10%	7	Alto

Fonte: Adaptado de Lepsch et al. (1983).

4.4.5 Informações sobre uso e ocupação do solo da sub-bacia hidrográfica PC5

Após a realização da Classificação Supervisionada, foi possível identificar as diferentes classes, assim as notas de cada uma destas encontram-se na Tabela 6:

Tabela 6 – Notas das características ambientais de uso e ocupação do solo da sub-bacia hidrográfica PC5

Característica ambiental	Nota	Grau de fragilidade
Solo Exposto	10	Muito alto
Arroz	9	Muito alto
Agricultura	8	Alto
Campo	7	Alto
Silvicultura	6	Médio
Floresta	2	Muito baixo
Corpos d'água	0	-

Fonte: a autora (2018).

4.5 DISTRIBUIÇÃO DOS PESOS POR MAPA

Para a realização das análises de fragilidade potencial e fragilidade emergente foi necessária a atribuição de pesos por cada mapa utilizado no estudo, sendo que em cada estudo, esses valores variam de acordo com o grau de importância na análise, em consequência, os valores dos mapas de fragilidade

potencial encontram-se na Tabela 7 e as notas para os mapas de fragilidade emergente, na Tabela 8:

Tabela 7 – Notas dos mapas de fragilidade potencial da sub-bacia hidrográfica PC5

Mapa	Nota
Solos	30
Geomorfologia	30
Geologia	25
Declividade	15

Fonte: a autora (2018).

Tabela 8 – Notas dos mapas de fragilidade emergente da sub-bacia hidrográfica PC5

Mapa	Nota
Uso e Ocupação do Solo	25
Geomorfologia	25
Solos	20
Geologia	15
Declividade	15

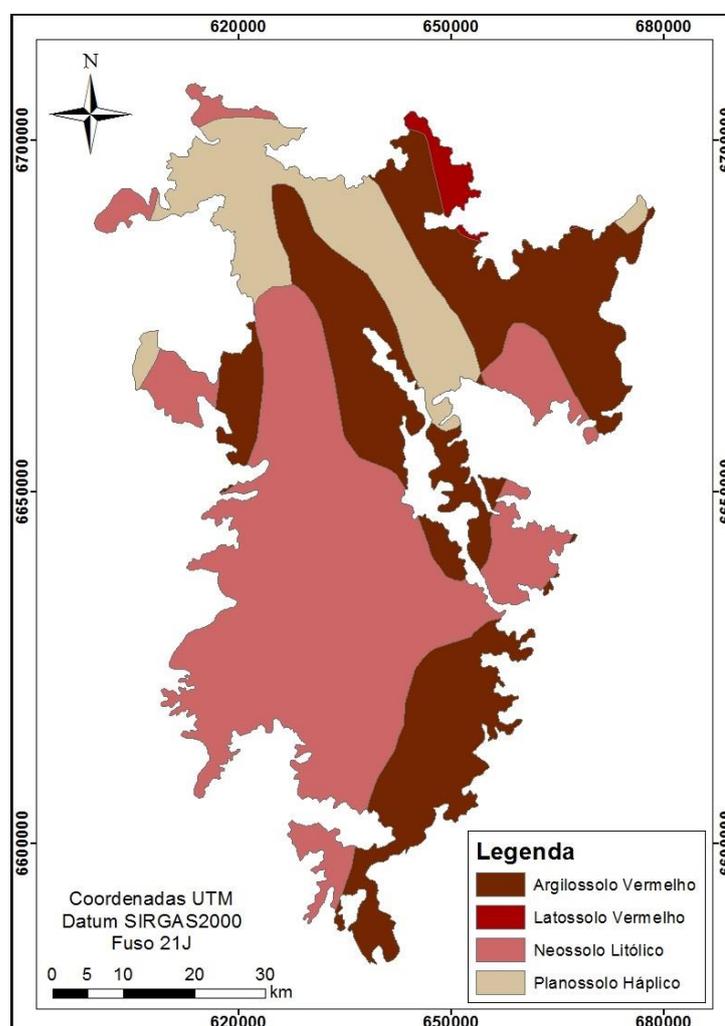
Fonte: a autora (2018).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 MAPAS BASE

Na Figura 3 encontra-se o mapa de solos onde é possível perceber que os Neossolos ocupam a maior parte da sub-bacia hidrográfica PC5, estando em maior quantidade inseridos na APA do Ibirapuitã, os Planossolos aparecem logo após, seguido dos Argissolos e dos Latossolos.

Figura 3 – Mapa de solos da sub-bacia hidrográfica PC5

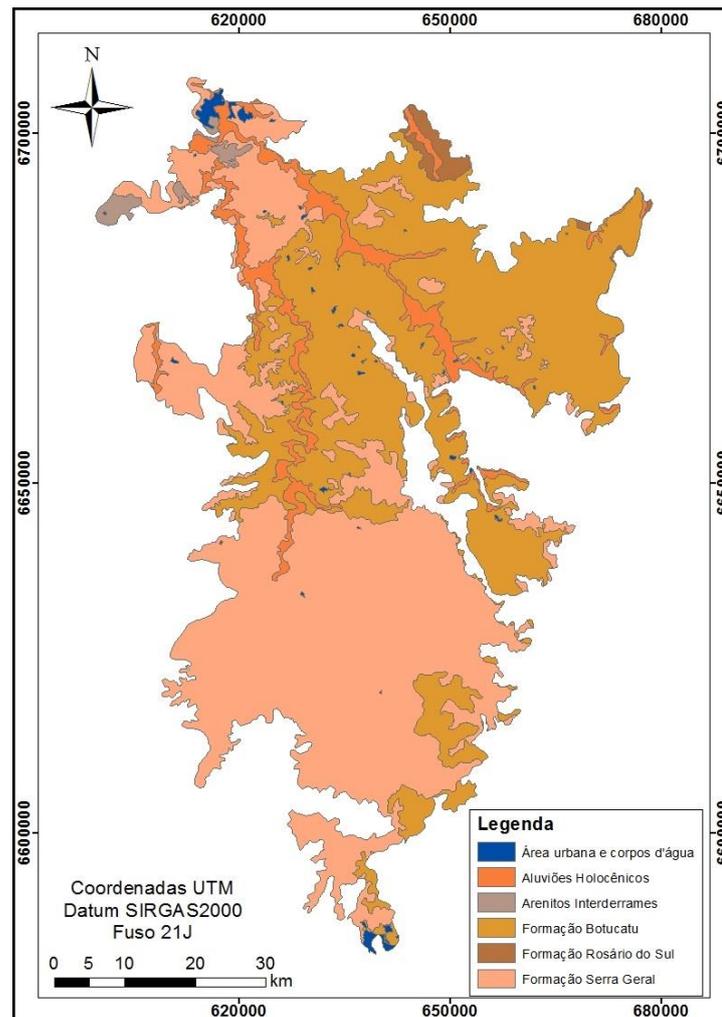


Fonte: a autora (2018).

A Figura 4 apresenta o mapa de geologia, onde encontram-se características de Aluviões Holocênicos, que ficam dispostos ao entorno dos corpos hídricos, os

Arenitos Interderrames, contendo poucas porções de área, a Formação Botucatu, bem como a Formação Serra Geral que são as variáveis que ocupam as maiores áreas na sub-bacia hidrográfica, além de uma pequena parcela da Formação Rosário do Sul e de área urbana e corpos d'água.

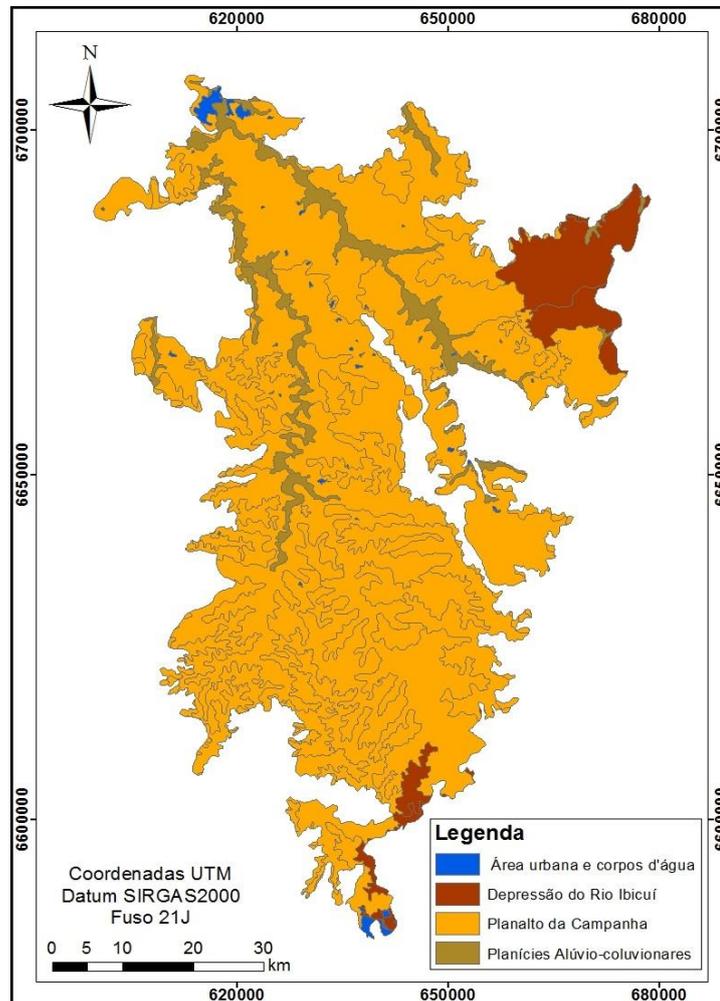
Figura 4 – Mapa de geologia da sub-bacia hidrográfica PC5



Fonte: a autora (2018).

O mapa de geomorfologia (Figura 5) apresenta as características de Planalto da Campanha, onde ocupa a maior parte da área de estudo, bem como as variáveis ambientais da Depressão do Rio Ibicuí, a qual localiza-se na parte nordeste da sub-bacia hidrográfica e de Planícies Alúvio-coluvionares, nota-se que estas últimas ficam localizadas ao entorno dos recursos hídricos, nas APP's.

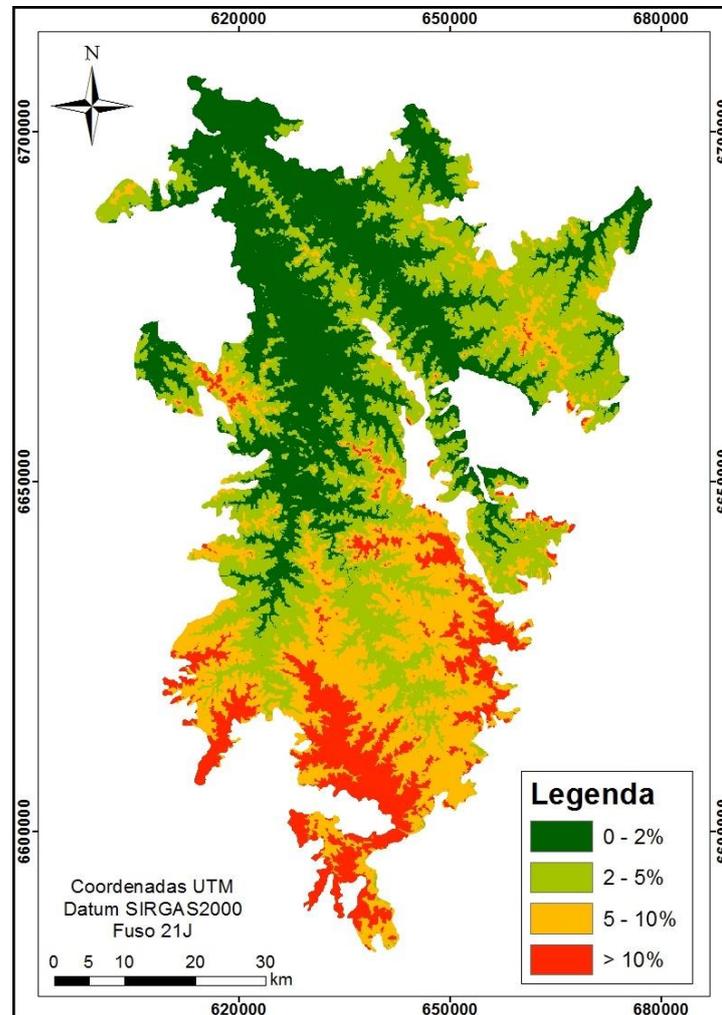
Figura 5 – Mapa de geomorfologia da sub-bacia hidrográfica PC5



Fonte: a autora (2018).

O mapa de declividade apresenta-se na Figura 6 e contém declividades consideradas baixas, variando de 0,1% a 14%. As maiores declividades situam-se na parte sul da área de estudo, onde encontra-se a APA que está inserida na sub-bacia hidrográfica PC5, já as menores declividades ficam dispostas ao entorno das margens dos rios, configurando a verdade do terreno.

Figura 6 – Mapa de declividade da sub-bacia hidrográfica PC5



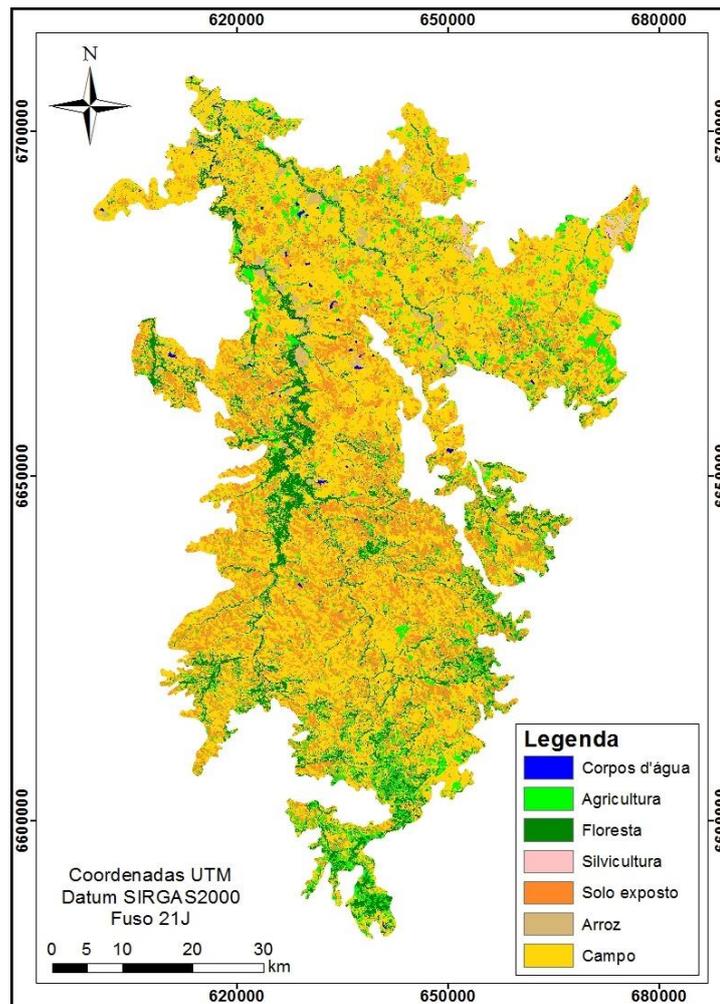
Fonte: a autora (2018).

Para o mapa de uso e cobertura do solo (Figura 7), foram encontradas características ambientais de agricultura (7,55%), floresta (11,05%) que se encontram como APP's ao entorno dos corpos hídricos, algumas áreas de silvicultura (0,36%), solo exposto (19,65%), áreas de arroz irrigado (1,53%) e a maior parte da área sendo composta por campo (59,40%).

Dentro da área da APA do Ibirapuitã são encontrados todos os tipos de uso e ocupação do solo, onde em maior quantidade pode-se citar a classe de campo, seguido do solo exposto e da atividade agrícola. Apenas não é encontrada a atividade de silvicultura, pois esta localiza-se na parte nordeste da sub-bacia hidrográfica PC5.

Ressalta-se a maior quantidade de APP ao entorno do Rio Ibirapuitã, que é o curso hídrico principal da área de estudo, essa grande quantidade de APP se explica em razão de estar dentro da área da APA, a qual deve estar em conformidade com as legislações vigentes.

Figura 7 – Mapa de uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica PC5



Fonte: a autora (2018).

Com a elaboração dos mapas base, dispostos acima, percebe-se que as características dos Neossolos contemplam praticamente toda a geologia de Serra Geral e parte da Formação Botucatu. Compreende a geomorfologia do Planalto da Campanha e algumas áreas de Planície Alúvio-coluvionares. Atinge também as áreas de campo, floresta, solo exposto, agricultura e algumas áreas de arroz irrigado.

A maior parte das variáveis ambientais de Argissolos e Latossolos Vermelhos da sub-bacia hidrográfica, se encontram em declividades de 0-2%, estando também em declividades >10%. Esses tipos de solos estão inseridos na Formação Botucatu, Serra Geral e Rosário do Sul com o relevo de Planalto da Campanha, Depressão do Rio Ibicuí e, nas margens dos cursos hídricos, se apresentam as Planícies Alúvio-colvionares. Envolve também as características físicas de solo exposto, campo, agricultura, áreas de silvicultura além de florestas.

Os Planossolos encontram-se nas menores declividades, entre 0-2%, apresentam as características da Serra Geral, Arenitos interderrames e Aluviões Holocênicos. Em sua maior parte, ficam dispostos nos relevos das Planícies Alúvio-colvionares, em algumas áreas encontram-se a variável de Planalto da Campanha e resquícios da Depressão do Rio Ibicuí. Também se encontram, em grande quantidade, cultivo de arroz, como também áreas de campo, agricultura, floresta e solo exposto.

5.2 FRAGILIDADE AMBIENTAL

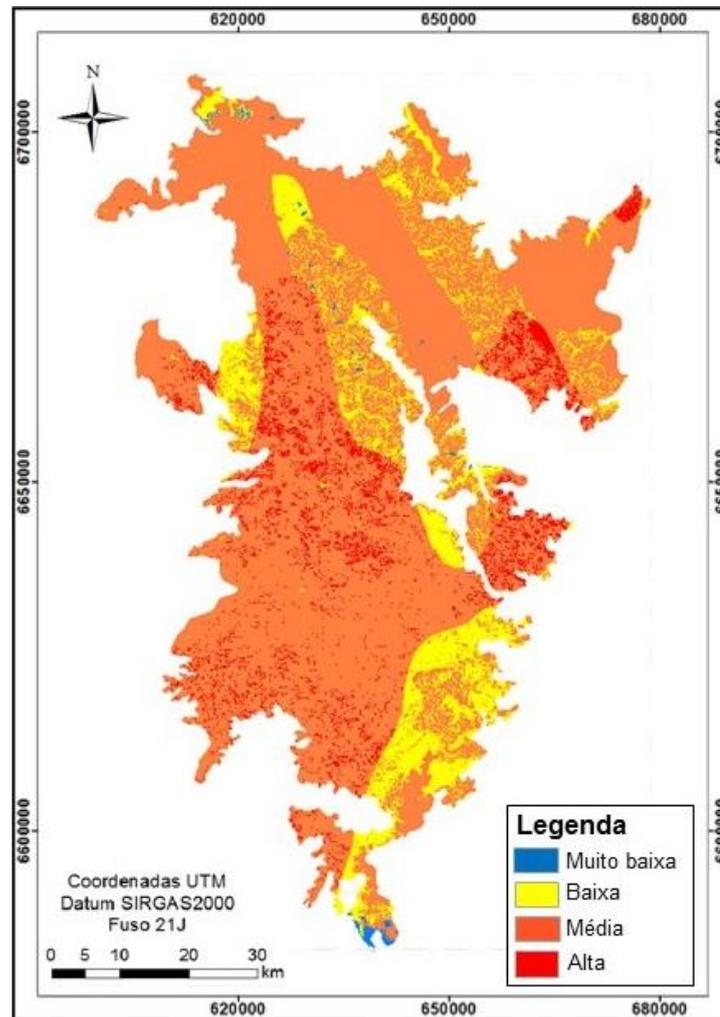
5.2.1 Fragilidade potencial da sub-bacia hidrográfica PC5

A contribuição de uma metodologia baseada em estudos de fragilidade ambiental está em servir de subsídio para uma gestão territorial planejada e sustentável, que evite problemas de ocupação desordenada (SPÖRL, 2001).

Ainda Spörl (2004), considera de suma importância conhecer a fragilidade potencial de um determinado local, pois a partir desta, será possível reconhecer as áreas mais suscetíveis a instabilidade, ou seja, aquelas áreas pelas suas características de origem podem facilmente ser alteradas.

Com a interpolação dos mapas base de solos, geologia, geomorfologia e declividade, foi possível obter o mapa de fragilidade potencial (Figura 8), o qual foi realizado utilizando-se apenas os fatores naturais para determinar as áreas mais frágeis.

Figura 8 – Mapa de fragilidade potencial da sub-bacia hidrográfica PC5



Fonte: a autora (2018).

Percebe-se que as áreas classificadas como baixa fragilidade encontram-se sob os Argissolos e Latossolos Vermelhos, englobando também a Formação Botucatu.

É possível avaliar que a fragilidade predominante na sub-bacia hidrográfica é classificada como média, prevalecendo nos Neossolos e Planossolos e sua maior formação geológica de Serra Geral. Isso se deve ao fato de que, tanto os Neossolos quanto os Planossolos, receberem os maiores pesos, 10 e 7 respectivamente, levando em conta que o mapa de solos também recebeu o maior peso (30), dentre os que foram utilizados para a análise.

A classe de alta fragilidade está distribuída em várias regiões da sub-bacia hidrográfica, com maior predominância na área central, estando nitidamente

delimitada pelo tipo de solo do local, prevalecendo na característica ambiental dos Neossolos.

Em relação à pedologia, solos considerados jovens e pouco desenvolvidos apresentam grau máximo de vulnerabilidade ambiental como, por exemplo, os Gleissolos e os Neossolos (LEME, 2007).

Considerando a APA do Ibirapuitã, que está inserida na sub-bacia hidrográfica PC5, salienta-se que esta apresenta alta e média fragilidade, visto que compreende os Neossolos, que tiveram nota 10, apresentando também as maiores declividades encontradas em toda a área de estudo e diversas áreas de solo exposto, que também receberam nota 10, na atribuição dos pesos.

Com isso verifica-se que a sub-bacia hidrográfica PC5 já tem uma fragilidade ambiental significativa uma vez que, grande parte da área, é classificada como alta e média fragilidade.

Assim, como Cabral et al. (2011) configuram a fragilidade potencial como sendo a informação que faz uma avaliação natural do ambiente, sabendo que essas são as condições apresentadas em termos naturais de fragilidade não necessariamente precisando da atividade humana para afetar esse meio, sendo uma ocorrência natural dos processos de modificações da terra, como as gotas de chuvas, as irregularidades dos declives, e até os ventos. Exemplos esses associados às atividades humanas podem acelerar o processo de degradação alterando o equilíbrio natural do ambiente, chegando ao diagnóstico de fragilidade emergente.

5.2.2 Fragilidade emergente da sub-bacia hidrográfica PC5

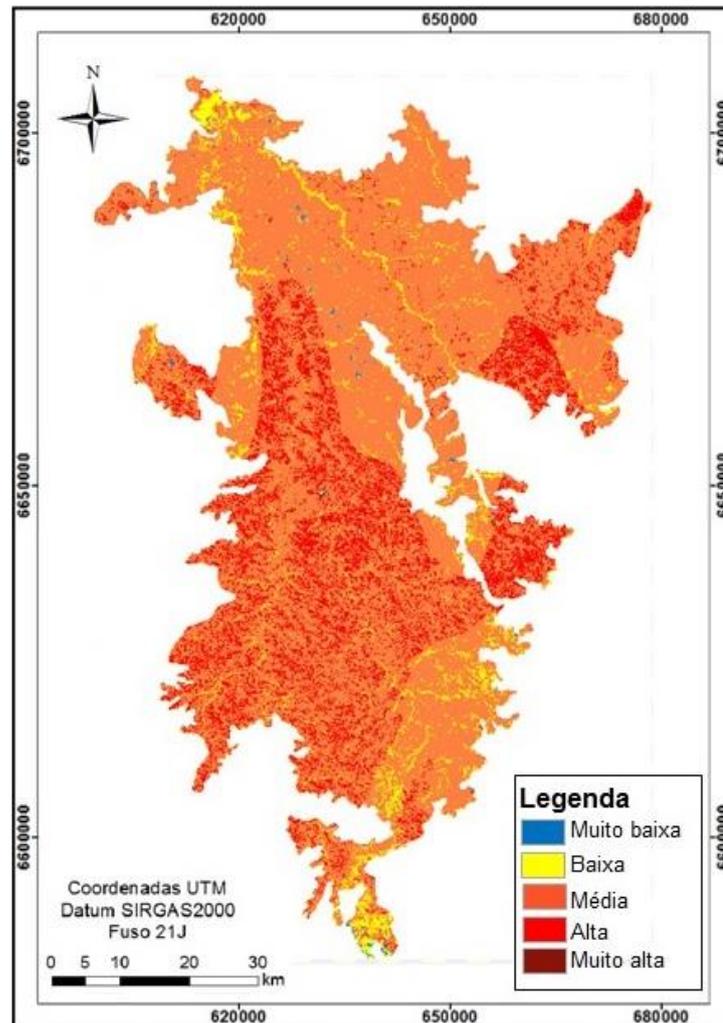
Conforme Scoti (2015), analisar as fases e as formas de ocupação do território nos permite avaliar a pressão que os modelos de exploração exercem sobre a área de estudo.

Com o conhecimento sobre a maneira de utilização do solo, torna-se possível a criação de medidas de conservação do solo e conseqüentemente dos recursos naturais. Essas medidas minimizam os impactos gerados pelo homem, como a poluição e assoreamento dos recursos hídricos, esgotamento do solo e erosões, auxiliando o planejamento ambiental, que como afirma Foladori (1999), apud Saraiva (2005, p.85) “que surge como prerrogativa no intuito de serem evitadas tais

consequências, principalmente vinculando-se à busca por soluções que promovam a manutenção da exploração econômica dos recursos”.

O mapa de fragilidade emergente (Figura 9) é resultado do cruzamento do mapa de fragilidade potencial e do mapa de uso e ocupação do solo.

Figura 9 – Mapa de fragilidade emergente da sub-bacia hidrográfica PC5



Fonte: a autora (2018).

Com o acréscimo do mapa de uso e ocupação do solo, pode-se analisar que as áreas de fragilidade muito baixa tiveram uma expressiva diminuição, encontrando-se apenas na área central da sub-bacia hidrográfica. A classe de baixa fragilidade também teve uma significativa redução de suas áreas.

Houve aumento significativo das áreas de média fragilidade, onde anteriormente, eram classificadas como baixa fragilidade. Ainda é possível verificar

que há o acréscimo de uma nova classe, determinando a classe de fragilidade muito alta, porém ocupando pequenas áreas.

Apura-se que houve um visível aumento das áreas classificadas como sendo de alta fragilidade, ainda ocupando a maior parte dos Neossolos, porém agora mais distribuída pela área de estudo, estando também nos Argissolos.

É notório que a grande quantidade de campo (59,40%) e de solo exposto (19,65%), que receberam as notas 7 e 10 respectivamente, acabam contribuindo para que, praticamente, toda a área de estudo classifique-se como média e alta fragilidade ambiental, visto que o peso do mapa de uso e ocupação do solo foi 25.

Percebe-se que os fatores de solo e a ocupação humana são as variáveis mais determinantes para o aumento da fragilidade da área de estudo, portanto, como a grande parte dela é uma UC, é perceptível o quanto o homem está alterando e modificando o ambiente.

Para Costa et al. (2009) com a crescente demanda dos recursos naturais, o levantamento periódico do uso da terra em uma região tornou a compreensão dos padrões de organização do espaço de interesse fundamental, uma vez que em dado período, quase nunca é permanente, uma vez que o solo está sempre sendo agredido pela ação antrópica.

Assim, estudos sobre as áreas de fragilidade emergente tornam-se importantes aliados para os gestores municipais, que com as informações de cada caso, é possível tomar as medidas necessárias, com a criação de políticas públicas, se necessário, para que o homem continue utilizando dos recursos naturais, porém de uma forma mais sustentável, não tornando esses recursos escassos para as futuras gerações.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a aplicação da metodologia proposta foi possível a identificação das áreas frágeis da sub-bacia hidrográfica PC5, sendo que a utilização de técnicas e ferramentas de Geoprocessamento tornaram-se grandes aliadas para a obtenção dos resultados satisfatórios, mostrando eficiência no tratamento de informações ambientais, que podem ser utilizadas para trabalhos posteriores.

Do estudo da fragilidade potencial, nota-se que a maior parte da sub-bacia hidrográfica PC5 está classificada como média e alta fragilidade, tendo um aumento significativo quando se é adicionada a variável de uso e ocupação do solo, aferindo que a ação antrópica interfere nas condições ambientais dos ecossistemas, resultado que compreende a fragilidade emergente.

A APA do Ibirapuitã, que está inserida na área de estudo, apresenta fragilidades médias e altas, entendendo assim, que o homem altera o ambiente natural e, em uma UC, as políticas de conservação dos recursos naturais devem ser bem aplicadas e compreendidas pela população ao entorno desse locais.

A identificação das classes de fragilidade possibilitou uma análise das condições naturais do ambiente, juntamente com o fator humano, onde foram identificados diferentes graus de fragilidade.

Seriam necessários estudos mais aprofundados quanto a utilização do solo, e dos recursos naturais, pois a grande parte da sub-bacia hidrográfica encontra-se em uma UC.

Diante da análise dos dados, conclui-se que é necessária a aplicação de políticas públicas voltadas ao planejamento ambiental e à utilização racional dos recursos naturais, preservando-os para que não sejam exauridos.

REFERÊNCIAS

ATTANASIO, C. M. **Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola**: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, p.193, 2004.

BACANI, V. M. **Geotecnologias aplicada ao ordenamento físico - territorial da bacia do alto rio Coxim - MS**. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BARROS, L. A. **Vocabulário das unidades de conservação do Brasil**. Arte & Ciência; Marília: Unimar, São Paulo, 2000.

BATISTA, J. P. G.; SILVA, F. M. Avaliação da fragilidade ambiental na microbacia do riacho Cajazeiras no semiárido Potiguar. **Boletim Goiano de Geografia**, p. 53-72, 2013.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Art. 225, cap. VI. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaoconsolidado.htm>. Acesso em: 02 jun. 2018.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Conceitos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/programas-e-projetos/projeto-corredores-ecologicos/conceitos>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Manejo do Parque Nacional de Aparados da Serra e Serra Geral**. Encarte 3 – Anexo. Relatórios Temáticos, v. 2, p.26, 2004. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/plano-de-manejo/DCOM_pm_Parna_de_Aparados_da_Serra_volume_2_anexo_encarte_3_a_parados.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2018.

BRASIL. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC)**. Art. 15, cap. III, 2000. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=322>>. Acesso em 19 jun. 2018.

CABRAL, J. B. P.; ROCHA, I. R.; MARTINS, A. P.; ASSUNÇÃO H. F.; BECEGATO, V. A. Mapeamento da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento. Universidade do Estado de Santa

Catarina, Lages – SC. **Revista Internacional de Ciencia y tecnologia de la Información Geográfica**, n. 11, p. 51-69, 2011.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. Introdução à Ciência da Geoinformação. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.

CARDOSO, C. D. V. **Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica nos solos da região central do estado do Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

CASTILHO, J. L. S. **Aplicações de técnicas de geoprocessamento na definição de interferência da área de risco em áreas de uso urbano** – estudo de caso de Dom Pedrito – RS. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

CHAVES, F. T. **Uso do geoprocessamento para o planejamento de biodiversidade na bacia hidrográfica do Rio Caraíva em um modelo de gestão compartilhada**. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Universidade Federal de Minas, Belo Horizonte, 2005.

CLINE, M. G. Basic principles of soil classification. **Soil Science**, Baltimore, v. 67, p. 81-91, 1949.

COSTA, N. M. C.; COSTA, V. C.; SANTOS, J. P. C.S. Definição e caracterização de áreas de fragilidade ambiental, com base em análise multicritério, em zona de amortecimento de Unidades de Conservação. In: *12° ENCUENTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA*. Montevideo, Uruguay, 2009.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas – SP. ed. rev., 1993.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. P.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p.175–181, 2006.

DUQUE J. F. M.; GARCÍA J. C.; URQUÍ L. C. **Geoheritage information for geoconservation and geotourism through the categorization of landforms in a Karstic Landscape: a case study from Covalagua and Las Tuerces (Palencia, Spain)**. p. 93-108, 2012.

FERREIRA, C. C. M. **Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos**, em Minas Gerais. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. p. 158, 1997.

FRANCISCO C. E. S.; COELHO R. M.; TOREES R. B.; ADAMI S. F. Análise Multicriterial na seleção de bacia hidrográfica para recuperação ambiental. **Revista Ciência Florestal**. p. 1-13, 2008.

FRANCO G. B.; BETIM L. S.; MARQUES E. A. G.; GOMES R. L.; CHAGAS C. S. Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia. **Brazilian Journal of Geology**. p. 114-127, 2013.

FRANK, H. T.; CARON, F.; LIMA, L. G.; LOPES, R. P.; FORNARI, M.; BUCHMANN, F. S. C. **Uma caverna formada por processos biofísicos e geológicos: a paleotoca do Arroio da Bica (Nova Hartz, Rio Grande do Sul, Brasil)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

GANEM, R. S. **Conservação da Biodiversidade: Legislação e Políticas Públicas**. Brasília: Câmara dos Deputados, n. 2, p. 437, 2010.

GHEZZI A. O. **Avaliação e mapeamento da fragilidade ambiental da Bacia do Rio Xaxim**, Bahia de Antonina – PR, com o auxílio de geoprocessamento. Dissertação. Curitiba - Universidade Federal do Paraná, 2003.

GONÇALVES, G. G. G.; DANIEL, O.; COMUNNELO, E.; VITORINO, A. C. T.; ARAI, F. K. Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas. **Revista Floresta**, v. 41, n. 4. p.798. Curitiba, PR. 2011.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Degradação ambiental. In: **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro, p. 337-339, 1996.

HARTMANN, C.; BULLA, L. A. S.; FELLINI B. D. Emprego de Mosaico de médio formato e do Geoprocessamento na definição dos limites técnicos para extração da areia do baixo rio Jacuí-RS, Brasil. **Universidade Federal do Rio Grande**. v. 8, n. 1. p. 9-19. Porto Alegre, 2010.

IUCN. International Union for Conservation of Nature. **Guidelines protected Area Management Categories**. Gland, 1984.

JENSEN J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. José Carlos Neves Epiphanyo tradutor. São José dos Campos, SP, p. 598, 2009.

LEME S. M. **Relevo, processos geocológicos e sócio/ reprodutores e a fragilidade ambiental da bacia do ribeirão Piracicamirim/ SP**. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, 2007.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZI JR. R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas – SP, p. 175, 1983.

MADRUGA. P. R. A. **Sistema integrado de manejo de bacias hidrográficas**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

MANETTA, B. A. R.; BARROSO, B. R.; LIPIANI, G. O.; AZEVEDO, J. B.; ARRAIS, T. C.; NUNES, T. E. S. Unidades de conservação. **Revista Engenharias Online**, v. 1, n. 2, 2015.

MARINO, T. B. **Vista Saga 2005**: Sistema de Análise Geo-Ambiental. (2005). Monografia (Graduação em Ciência da Computação) – Instituto de Matemática, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos e Sistemas de Informações Geográficas**. Embrapa Informações Geográficas. Ed. 1, Brasília, DF, 2005.

MIRANDA, J. I. **Processamento de imagens digitais: métodos multivariados em JAVA**. Ed. 1, p. 301. Campinas-SP, 2011.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Ed. 3, Viçosa - MG, 2005.

OLIVEIRA, P. C. A.; RODRIGUES, G. S. S. C.; RODRIGUES, S. C. Fragilidade ambiental e uso do solo da bacia hidrográfica do Córrego Pindaíba, Uberlândia, MG, Brasil. **Revista Ambi-Água**, Taubaté – SP. v. 3, n. 1, p. 54-67, 2008.

PADILHA D. G. **Geoprocessamento aplicado na caracterização da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande - RS**. Dissertação - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, p. 87, 2008.

PÁDUA, M. T. J. Sistema brasileiro de unidades de conservação: de onde viemos e para onde vamos? In: *CONGRESSO BRASILEIRA DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO*. Anais, Curitiba - PR, 1997.

PINHEIRO, R. J. B.; DIAS, R. D. Mapeamento Geotécnico da Formação Rosário do Sul na região metropolitana de Porto Alegre. **Revista IG**, ed. Especial, p. 77. São Paulo, 1995.

RAPP, P. D. L. **Biodiversidade do Médio Madeira**: bases científicas para proposta de conservação. cap 3, p. 38. Manaus, 2007.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; BAZZAN, T.; RECKZIEGEL, E. W.; VERDUM, R.; NARDIN, D. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil: proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 11, n. 2, p. 20, 2010.

RODRIGUES J. B. T.; ZIMBACK C. R. L.; PIROLI E. L. Utilização de Sistema de Informação Geográfica na Avaliação do Uso da Terra em Botucatu (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. p. 675-681, 2001.

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

ROSS, J. L. S.; MASSA, E. M. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. Universidade de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**. v. 24, p.57-79, 2012.

RYLANDS, A. B.; BRANDON, K. Unidades de conservação brasileiras. **Revista Megadiversidade**. v. 1, n. 1, 2005.

SAMPAIO, M. V. Zoneamento ambiental da sub-bacia hidrográfica do Rio Ibicuí-Mirim, RS. *Tecnologia e Ciência Agropecuária*, João Pessoa, Pb, v. 4, n. 2, p.25-28, jun. 2010.

SANTOS, E. **Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Jirau município de Dos Vizinhos – Paraná**. Tese (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SARAIVA, F. Considerações acerca da pesquisa em Geografia Física aplicada ao

Planejamento Ambiental a partir de uma perspectiva sistêmica. **Revista RA'E GA**, Curitiba, n.9, p.83-93, 2005.

SCCOTI, A. A. V. **Zoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do Rio Ibicuí da Armada – RS**: potencialidades e suscetibilidade. Dissertação (Mestrado em geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas**: conceitos e fundamentos. Campinas: Unicamp, p. 236, 1992.

SILVA, J. S. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro, 2001.

SILVA, V.C. B; MACHADO, P. S. SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. **Revista de Geografia**, v. 31, n. 2, 2014.

SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

SPÖRL, C. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de São Paulo, 2007.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP: Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 15, p. 39 - 49, 2004.

TAMANINI M. A. S. **Diagnóstico físico-ambiental para a determinação da fragilidade potencial e emergente da Bacia do Baixo curso do Rio Passaúna em Araucária**. Dissertação. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 118, 2008.

VASHCHENKO, Y.; FAVARETTO, N.; BIONDI, D. Fragilidade ambiental nos picos Camacua, Camapuã e Tucum, Campina Grande do Sul, PR. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 2, p. 201 - 215, 2007.