

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS
HÍDRICOS E SANEAMENTO



CINTHIA CARMO LEITE

**Avaliação da vulnerabilidade ambiental em assentamento rural
do estado de Alagoas**

Maceió

2018

CINTHIA CARMO LEITE

**Avaliação da vulnerabilidade ambiental em assentamento rural
do estado de Alagoas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientador(a): Prof(a). Dr.(a) Rosangela Sampaio Reis

Maceió

2018

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecária Responsável: Janis Christine Angelina Cavalcante

L525a Leite, Cinthia Carmo.
Avaliação da vulnerabilidade ambiental em assentamento rural do estado de Alagoas. / Cinthia Carmo Leite. – 2018.
84 f. : il. color., tabs.

Orientadora: Rosangela Sampaio Reis.
Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Maceió, 2018.

Bibliografia: f. 79-84.

1.Reforma agrária – Alagoas. 2.Modelagem Fuzzi. 3. Sistema de informação geográfico. 4. Fragilidade ambiental. I. Título.

CDU: 628(813.5)



Folha de Aprovação

CINTHIA CARMO LEITE

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL EM ASSENTAMENTO RURAL
DO ESTADO DE ALAGOAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Em: 23 / 03 / 2018

Prof.^a Dr.^a Rosângela Sampaio Reis (Orientadora- PPGRHS)

Banca examinadora:

Prof.^a Dr.^a Cleuda Custódio Freire
(Examinadora interna-PPGRHS/CTEC/UFAL)

Prof.^a Dr.^a Sália Gavazza dos Santos Pessôa
(Examinadora externa-UFPE)

RESUMO

Para a implantação dos assentamentos rurais oriundos da Reforma Agrária no Brasil é necessário adotar uma série de medidas que visam reduzir impactos ambientais, mas nem sempre isso acontece na prática. Este trabalho analisa o grau de vulnerabilidade ambiental a que está sujeita a área do assentamento rural Sebastião Gomes situado entre os municípios de Flexeiras e São Luiz do Quitunde, sob o ponto de vista das leis ambientais. Para isto, foi utilizada como metodologia a modelagem da lógica *fuzzy* para elaboração de mapas de vulnerabilidade, utilizando como indicadores as características geológicas do terreno, a declividade, os tipos de solos, a intensidade pluviométrica, o uso e ocupação do solo e as Áreas de Proteção Permanente e Reserva Legal. Os resultados obtidos na aplicação da modelagem *fuzzy* por meio do operador gama *fuzzy* foi um mapa de vulnerabilidade natural e três mapas de vulnerabilidade ambiental para os cenários de 1996, antes da implantação do assentamento, 2007 no ano da implantação e 2017, cenário atual. Foi possível notar que, em relação à vulnerabilidade natural, a declividade é o fator de maior influência no resultado indicando vulnerabilidade variando de muito baixa à média. Já em relação à vulnerabilidade ambiental a supressão da vegetação de maior densidade pesou muito nos resultados indicando que de 1996 até 2017 houve uma redução de cerca de 25% da área com vulnerabilidade muito baixa, na mesma proporção em que houve um aumento da vulnerabilidade média. Os mapas podem servir de subsídio para uma discussão acerca dos impactos causados por meio da implantação do assentamento rural. Essa proposta visa contribuir com o planejamento e gestão de áreas de assentamentos rurais de forma a conservar os recursos naturais.

Palavras-chave: Reforma Agrária. Fragilidade Ambiental. Modelagem *fuzzy*. Sistema de Informação Geográfica

ABSTRACT

For the implementation of rural settlements from land reform in Brazil it is necessary to adopt a series of measures to reduce environmental impacts, but not always it happens in practice. This paper analyzes the degree of environmental vulnerability that is subject to rural settlement area Sebastião Gomes situated between the municipalities of Flexeiras and São Luiz do Quitunde, from the point of view of environmental laws. For this, will be used like fuzzy logic modeling methodology for vulnerability mapping, using as indicators the geological features of the terrain, slope, soil types, rainfall intensity, the use and occupation of the soil and the areas of Permanent Protection and Legal Reserve. The results obtained in the application of fuzzy modeling by means of fuzzy gamma operator was a map of natural vulnerability and three environmental vulnerability maps for the 1996 scenarios, before the implementation of the settlement, in the year 2007 and 2017, deployment current scenario. It was possible to note that, in relation to natural vulnerability, the slope is the most influential factor in the result indicating vulnerability ranging from very low to medium. Already in relation to the environmental vulnerability of vegetation suppression of higher density weighed a lot on the results indicating that of 1996 until 2017 there has been a reduction of about 25% of the area with very low vulnerability, in the same proportion in which there was an increase in average vulnerability. The maps will serve as a subsidy for a discussion about the impacts caused by implantation of rural settlement. This proposal aims to contribute to the planning and management of areas of rural settlements in order to conserve natural resources.

Keywords: Agrarian Reform. Environmental Fragility. Fuzzy modeling. Geographic Information System

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por estar à frente de meu caminho me orientando e dando força em momentos difíceis para conseguir cumprir minha caminhada.

Sou grata aos meus pais, Dite e Edinho, por me incentivarem, apoiarem e financiarem toda a minha trajetória acadêmica. Por serem a minha base e a minha força, sem eles não teria conseguido.

À minha irmã, Andreia Leite pela parceria de sempre, por me apoiar e incentivar em minhas decisões e por ser presente em minha vida.

Agradeço ao meu sobrinho, Victor Coni por ser a luz de minha vida, por me proporcionar tantos sorrisos e momentos de descontração.

Agradeço aos meus *brothers* Thiago e Heitor pela parceria, apoio e momentos de descontração e por me aturarem por 2 anos (rsrsrs). “Tamo junto sempre!”

Agradeço a minha orientadora, professora Rosangela Sampaio Reis pela orientação do trabalho, por me proporcionar a experiência da sala de aula, pelas palavras de incentivo e pelo apoio desde o início, sem o qual não conseguiria executar meu trabalho.

Agradeço ao professor Frede Carvalho por compartilhar seu conhecimento comigo e auxiliar no desenvolvimento do meu trabalho.

Agradeço a cada um dos professores do PPGRHS/UFAL por compartilharem seus conhecimentos e experiências que contribuíram para a minha formação acadêmica e pessoal.

Agradeço a todos os amigos que fiz no PPGRHS/UFAL pelos momentos compartilhados, cumplicidade, risadas compartilhadas, vocês foram essenciais para a minha permanência no programa e em Alagoas. Sentirei saudades de todos!

Aos funcionários da limpeza, em especial Janielson, que deixava o ambiente de trabalho mais agradável e foi sempre prestativo conosco.

Aos meus amigos, externos ao programa, pelo apoio e incentivo.

E por fim agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa no Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema representativo da metodologia aplicada	32
Figura 2 - Mapa de Localização do Projeto de Assentamento Sebastião Gomes.....	33
Figura 3 - Mapa de Vulnerabilidade da Declividade	43
Figura 4 - Litologia do P. A. Sebastião Gomes	45
Figura 5 – Mapa de Vulnerabilidade da Geologia.....	46
Figura 6 - Localização do Posto Pluviométrico Flexeiras	49
Figura 7 - Valores mensais de precipitação média do posto de Flexeiras, 1963-2017.	50
Figura 8 - Vegetação do P. A. Sebastião Gomes em 1996	52
Figura 9 - Vegetação do P. A. Sebastião Gomes em 2007	53
Figura 10 - Vegetação do P. A. Sebastião Gomes em 2017	53
Figura 11 - Vista do alto de uma parte do P. A. Sebastião Gomes.....	55
Figura 12 - Trecho do Rio Bandeira com presença de Mata Ciliar	56
Figura 13 - Trecho do Rio Jitituba com presença de Mata Ciliar em uma das margens	56
Figura 14 - Cultivo de Milho	57
Figura 15 - Plantação de Banana	57
Figura 16 - Cultivo de Macaxeira	58
Figura 17 - Plantação de Abacaxi	58
Figura 18 - Cultura irrigada de coentro	59
Figura 19 - Vista do alto com lotes sem produção	59
Figura 20 - Mapa de Vulnerabilidade do Uso do Solo para os 3 cenários	60
Figura 21 - Parcela de terra com solo exposto.....	62
Figura 22 - Representação da vegetação na Floresta Ombrófila Aberta	63
Figura 23 - Áreas de APP/RL do P. A. Sebastião Gomes	64
Figura 24 - APP de topo de morro	65
Figura 25 - APP/RL com vegetação em recomposição	66
Figura 26 - APPs marginal a curso d'água.....	67
Figura 27 - Trecho do rio Bandeira, APP em desconformidade com a norma.....	68
Figura 28 - Mata ciliar em um trecho do rio Jitituba.....	68
Figura 29 - Curso d'água dentro do P. A. Sebastião Gomes.....	69
Figura 30 - Vulnerabilidade das áreas de APP/RL.....	70

Figura 31 - Mapa da Vulnerabilidade da APP/RL para os 3 cenários.....	71
Figura 32 - Vulnerabilidade das áreas de APP ao entorno dos corpos hídricos	73
Figura 33 - Mapa da Vulnerabilidade da APP de cursos d'água para os 3 cenários.....	73
Figura 34 - Mapa de Vulnerabilidade Natural do P. A. Sebastião Gomes	75
Figura 35 - Vulnerabilidade Ambiental do P. A. Sebastião Gomes para os 3 cenários	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vulnerabilidade para diferentes tipos de solos	26
Tabela 2 - Intervalos de classes de declividade e seu relevo correspondente.....	34
Tabela 3 - Dados das imagens de satélite	35
Tabela 4 - Escala de vulnerabilidade em relação à declividade do solo.....	36
Tabela 5 - Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns	37
Tabela 6 - Escala de vulnerabilidade em relação ao tipo de solo	38
Tabela 7 - Escala de vulnerabilidade em relação ao clima.....	39
Tabela 8 - Escala de vulnerabilidade em relação ao uso e ocupação do solo.....	40
Tabela 9 - Escala de vulnerabilidade em relação à vegetação em APP e RL.....	40
Tabela 10 - Escala de Cores referente ao Grau de Vulnerabilidade	42
Tabela 11 - Escala de vulnerabilidade em relação à declividade do solo.....	43
Tabela 12 - Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas	46
Tabela 13 - Características do Posto Pluviométrico de Flexeiras.....	49
Tabela 14 - Postos utilizados para o preenchimento de falhas	50
Tabela 15 - Classes dos Índices de Vegetação	52
Tabela 16 – Resumo quantitativo da vulnerabilidade para Usos do Solo	61
Tabela 17 – Resumo quantitativo da APP/RL no P. A. Sebastião Gomes	64
Tabela 18 - Resumo quantitativo da vulnerabilidade para APP/RL.....	72
Tabela 19 – Resumo quantitativo da Vulnerabilidade Natural.....	75
Tabela 20 - Resumo quantitativo da Vulnerabilidade Ambiental	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

APP – Área de Preservação Permanente

CAR – Cadastro Ambiental Rural

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CPRM – Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais

GPS – “*Global Positioning System*” – Sistema de Posicionamento Global

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrícola

MDE – Modelo Digital de Elevação

NDVI – “*Normalized Difference Vegetation Index*” – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

RL – Reserva Legal

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SR – Sensoriamento Remoto

SRTM – “*Shuttle Radar Topographic Mission*”

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Assentamentos Rurais.....	17
3.2 Aspectos Normativos.....	18
3.3 Vulnerabilidade Ambiental.....	20
3.4 Indicadores Ambientais	24
3.4.1 Ambiente Físico.....	24
3.4.1.1 Declividade	25
3.4.1.2 Geologia.....	25
3.4.1.3 Solos	26
3.4.1.4 Clima.....	26
3.4.2 Ambiente Antrópico	27
3.4.2.1 Uso e Ocupação do Solo.....	27
3.4.2.2 Áreas de APP e RL	28
3.5 Geotecnologias aplicadas a estudos ambientais.....	28
3.6 Lógica <i>fuzzy</i>	29
4 METODOLOGIA.....	32
4.1 Área de estudo	32
4.2 Caracterização da Área de Estudo	34
4.2.1 Declividade	34
4.2.2 Geologia.....	34
4.2.3 Solos	35
4.2.4 Clima.....	35
4.2.5 Uso e Ocupação do Solo.....	35

4.2.6 Usos nas Áreas de APP e RL.....	36
4.3 Elaboração de Mapas Indicadores de Vulnerabilidade.....	36
4.3.1 Declividade	36
4.3.2 Geologia.....	36
4.3.3 Solos	37
4.3.4 Clima.....	38
4.3.5 Uso e ocupação do solo	39
4.3.6 Áreas de Proteção Permanente e Reserva Legal.....	40
4.4 Mapeamento da vulnerabilidade por meio de cruzamento de informações.....	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
5.1 Caracterização da Área de Estudo	42
5.1.1 Declividade	42
5.1.2 Geologia.....	44
5.1.3 Solos	47
5.1.4 Clima.....	48
5.1.5 Uso e Ocupação do Solo.....	51
5.1.6 Áreas de Proteção Permanente e Reserva Legal.....	63
5.2 Mapas de Vulnerabilidade Natural e Ambiental.....	74
5.2.1 Vulnerabilidade Natural.....	74
5.2.2 Vulnerabilidade Ambiental.....	76
6 CONCLUSÃO	80
REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

Com o dinamismo em que vive o mundo moderno, a exploração dos recursos naturais aumenta cada vez mais para suprir as necessidades de um modelo baseado no consumismo. Dessa forma, o ambiente natural vem sofrendo diversas modificações ao longo dos anos, a maioria delas negativas. A ocupação pela população, quase que em sua totalidade, se dá de forma desordenada, provocando impactos nos mananciais e terras potencialmente produtivas.

A bacia hidrográfica é o espaço físico adotado para estudos que visam analisar as condições ambientais, a fim de serem tomadas decisões para mitigação de impactos. Nesse contexto, a vulnerabilidade ambiental estuda o grau de fragilidade ou de resistência que o ambiente possui diante dos impactos causados pela dinâmica natural ou por fatores antrópicos (SANTOS, 2015). Pesquisas que visam melhorar as condições de uso e ocupação do solo, no Brasil, têm avançado bastante, mas há ainda muito trabalho para que o homem possa entender seu espaço, como conviver e usufruir da melhor forma possível com os recursos naturais.

É muito importante o planejamento adequado do espaço geográfico e para isso conta-se com o auxílio de tecnologias que otimizam os diagnósticos ambientais, como é o caso das ferramentas de geoprocessamento. Atualmente, o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e sensoriamento remoto têm auxiliado em pesquisas para diversas áreas. A utilização de *softwares* de geoprocessamento garante uma visão integrada dos diversos componentes de um ambiente e permite o cruzamento de informações para avaliação de condições ambientais (CARDOSO et al., 2015). Aliado ao uso de SIG e sensoriamento remoto para que se tenham resultados mais confiáveis, é recomendada visita de campo, dessa forma é possível comparar os dados obtidos por imagens de satélite com os dados coletados em campo.

No meio rural a modificação do ambiente natural se dá, principalmente pela exploração de florestas nativas e atividades agropecuárias. Essas transformações interferem na manutenção do ecossistema local e aumenta os riscos de degradação ambiental. Os assentamentos rurais são parcelamentos de terras entregues aos trabalhadores rurais a fim de que possam extrair dali a sua subsistência, por meio das atividades agropastoris. Essas áreas selecionadas pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) devem, obrigatoriamente, possuir uma parcela destinada à preservação dos recursos e manutenção da fauna e flora. Respeitada a área destinada à preservação, a exploração dos recursos pode render lucros, mas no caso em que não haja um planejamento adequado para conservação dos recursos, com o passar do tempo, o ambiente pode tornar-se improdutivo. Sendo assim, é

fundamental o estudo prévio da vulnerabilidade ambiental, para que se tenha uma visão integrada das condições do ambiente estudado.

Os estudos voltados para as problemáticas ambientais em assentamentos rurais implantados no Brasil são escassos, e em Alagoas, essa quantidade é ainda mais reduzida. Este trabalho visa investigar o grau de vulnerabilidade ambiental em um assentamento rural do estado de Alagoas por meio da análise integrada de características físicas do meio e a ação antrópica de uso e ocupação do solo, utilizando ferramentas de geoprocessamento. Os resultados irão contribuir com informações importantes para o melhor gerenciamento destas áreas. Podendo servir para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos posteriores em áreas de assentamento rural para diferentes regiões geográficas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar o grau de vulnerabilidade ambiental a que está sujeita a área do projeto de assentamento rural Sebastião Gomes, sob o ponto de vista das leis ambientais.

2.2 Objetivos Específicos

- Mapear as características físicas da área de estudo;
- Mapear o uso e ocupação do solo no assentamento estudado;
- Analisar as condições de vegetação nas áreas de APP e RL;
- Identificar e mapear os níveis de vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental;
- Avaliar impactos em APP e RL.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Assentamentos Rurais

Os assentamentos rurais são áreas destinadas a trabalhadores rurais selecionados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). O INCRA já criou até hoje 9.340 assentamentos, destes 176 projetos só em Alagoas, beneficiando 14.245 famílias. Estas áreas possuem a finalidade de produção para subsistência e geração de renda das famílias assentadas. Atualmente o modelo de assentamento rural é baseado em três critérios: viabilidade econômica, sustentabilidade ambiental e desenvolvimento territorial (INCRA, 2017).

A sustentabilidade ambiental no cenário da reforma agrária está ainda em processo de evolução. O que se deseja ao ser implantado um projeto de assentamento em uma área de desapropriação é que sejam melhoradas as condições ambientais naquele local (INCRA, 2017). As áreas de Reserva Legal e APP's nos assentamentos são definidas com esse propósito. Entende-se por Área de Preservação Permanente uma área protegida, que pode estar com ou sem vegetação nativa. É uma área muito importante para manutenção do ecossistema, pois possui a função de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, entre outras coisas (BRASIL, 2012). Já a Reserva Legal é uma área localizada no interior de uma propriedade rural que tem a finalidade de assegurar ao trabalhador rural o uso dos recursos de forma sustentável, bem como auxilia na conservação dos ecossistemas (BRASIL, 2012).

O percentual destinado à APP e RL e a localização dessas áreas são determinados antes do parcelamento da terra. Após isso, fica a rigor do técnico separar os lotes de acordo com a quantidade de famílias a serem assentadas e as características da área.

Um dos principais problemas encontrados, apesar de definidas as áreas para proteção, é o desmatamento ilegal que acontece por parte dos assentados. Em busca de novas áreas para agricultura e pastoreio algumas famílias acabam invadindo áreas de florestas conservadas (BRANDÃO JR.; SOUZA JR., 2006; GOSCH; FERREIRA, 2015). Este ato afeta a dinâmica do ecossistema atuante naquele local e pode impactar, em longo prazo, as características do solo, dos recursos hídricos e interferir nos corredores ecológicos para a fauna silvestre.

Alguns estudos vêm sendo desenvolvidos para analisar os impactos ambientais em áreas de assentamentos rurais (ALVES; SANTOS; SILVA, 2014; ÁVILA; WADT, 2015;

BARROS; 2013). Porém há muito que se investigar para entender o modo de vida dos trabalhadores rurais assentados.

3.2 Aspectos Normativos

Áreas destinadas à proteção ambiental necessitam de instrumentos legais que justifiquem e direcionem o seu tratamento. Porém, aliado a isso é importante a verificação do cumprimento das normas a serem aplicadas, esta é uma dificuldade encontrada na gestão ambiental, a fiscalização. Não adianta todo o aparato legal se não houver fiscalização para garantir a implantação e manutenção dos aspectos normativos. O Brasil ainda é muito carente neste sentido (CARVALHO, 2015).

A Política de Reforma Agrária é prenunciada na Constituição Federal (1988) no Capítulo III, a partir do art. 184 ao art. 191, regulamentada pela Lei nº 8.629/93. É previsto o aproveitamento racional e adequado dos recursos e preservação do meio ambiente (BRASIL, 1993). Nota-se, portanto, uma preocupação prévia com a estabilidade das áreas destinadas aos assentamentos rurais e para cumprir essa exigência a implantação de Projetos de Assentamentos requerem o cumprimento de algumas determinações.

O art 9º, por exemplo, especifica nos parágrafos 2º e 3º, da Lei nº 8.629/93, a adequada utilização dos recursos naturais disponíveis quando a exploração se faz respeitando a vocação natural da terra, de modo a manter o potencial produtivo da propriedade. E ainda, entende-se a preservação do meio ambiente como a manutenção das características próprias do meio natural e da qualidade dos recursos ambientais, na medida adequada à manutenção do equilíbrio ecológico da propriedade e da saúde e qualidade de vida das comunidades vizinhas (BRASIL, 1993).

A Reforma Agrária é regulamentada também pelo Estatuto da Terra na forma da Lei nº 4.505/64, definida como um conjunto de medidas para a promoção da melhor distribuição de terra, a fim de atender aos princípios da justiça social e ao aumento da produtividade. O Estatuto pontua como objetivos da Propriedade Rural, entre outras coisas, obrigar a exploração racional da terra, efetuar obras de renovação, melhoria e valorização dos recursos naturais, e facultar a criação de áreas de proteção à fauna, à flora e outros recursos naturais, a fim de preservá-los de atividades predatórias (BRASIL, 1964).

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) estabelece, por meio da Resolução 458/2013, diretrizes para o licenciamento ambiental de projetos de assentamentos

de reforma agrária. Esta resolução visa garantir a gestão das áreas de assentamentos de forma que a exploração dos recursos naturais seja sustentável. Fica determinado no Art. 3º. §1º que as atividades agrossilvipastoris e empreendimentos de infraestrutura dentro dos assentamentos de reforma agrária devem requerer o licenciamento ambiental por meio de procedimento simplificado. Este procedimento se dá por meio do Termo de Referência elaborado a partir de informações sobre as características da propriedade, existência de infraestrutura, existência de unidades de conservação, pontuando impactos e possíveis medidas mitigadoras e ainda, deve ser anexado o mapa da área.

O Código Florestal, Lei 12.651/2012, também estabelece diretrizes que visam garantir a proteção ambiental e, portanto, deve ser cumprido pelos projetos de assentamentos. As áreas destinadas à Preservação Permanente e Reservas Legal são determinadas de acordo com critérios estabelecidos pelo Código Florestal, Lei 12.651/2012. Esta lei visa garantir a proteção da vegetação de forma que o desenvolvimento aconteça sustentavelmente e não haja exploração indevida de matéria prima florestal (BRASIL, 2012).

São consideradas APPs as faixas marginais a qualquer curso d'água perene e intermitente, áreas ao redor de lagos e lagoas naturais, ao entorno de reservatórios artificiais decorrentes de barramentos ou represamento, ao redor de nascentes, e em outras áreas mais suscetíveis de impactos ambientais. Nestas áreas só é permitido o trânsito de pessoas e animais para obtenção de água e para atividade de baixo impacto ambiental (BRASIL, 2012).

As áreas referentes à Reserva Legal são localizadas no interior da propriedade rural e possuem a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais. Visa também garantir a conservação da biodiversidade e dos processos ecológicos, entre outras coisas. Esta área é obrigatória em todo o imóvel rural, podendo, em caso de assentamentos rurais estabelecidos pela Reforma Agrária, ser contabilizada antes do parcelamento. A porcentagem a ser destinada para RL depende da localização do imóvel. Para imóveis que estão fora da Amazônia Legal, como é o caso do imóvel tratado neste trabalho, deverá ser reservada 20% da área total. A área de RL deve ser conservada com cobertura de vegetação nativa sendo permitida a exploração econômica dessa área desde que por meio de manejo sustentável. Caso haja desmatamento irregular da reserva, as atividades devem ser suspensas imediatamente (BRASIL, 2012).

É permitido contabilizar a APP no cálculo do percentual de RL do imóvel, porém devem ser atendidos alguns critérios como: não conversão de novas áreas para uso alternativo do solo, em razão deste benefício; a área a ser contabilizada deve estar conservada ou em processo de recuperação; e o proprietário deve ter requerido o Cadastro Ambiental Rural

(CAR) (BRASIL, 2012). Este é um registro obrigatório para imóveis rurais e visa acumular as informações ambientais das propriedades rurais. A área estabelecida será sujeita ao regime de proteção da APP que é mais rigoroso do que o de RL (BRASIL, 2012).

3.3 Vulnerabilidade Ambiental

Vários são os estudos relacionados aos impactos que os elementos do meio ambiente sofrem naturalmente ou por meio da ação antrópica. Com a evolução das pesquisas buscou-se entender um pouco mais a respeito não somente das características isoladas do meio, mas das inter-relações entre componentes de um mesmo ecossistema, a fim de investigar o nível de degradação ou o grau de impacto que pode ser suportado em determinada área.

O estudo da vulnerabilidade ambiental é a avaliação das condições de equilíbrio no ecossistema e visa analisar a susceptibilidade desse ambiente em sofrer danos tanto na ocorrência de fenômenos naturais quanto por meio da ação antrópica. Está relacionado ao conceito de fragilidade, ou seja, qualquer perturbação sofrida no relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos que anula o equilíbrio dinâmico tornando o ambiente fragilizado (CALDERANO FILHO et al., 2014; SANTOS, 2015; MELO et al., 2014; MILANEZI E PEREIRA, 2016). A vulnerabilidade é dita natural quando ocorre apenas por conta das características físicas do meio, ou seja, tipo do solo, declividade do relevo, índice de pluviosidade, entre outros fatores. Já a vulnerabilidade ambiental ocorre quando se soma os efeitos da vulnerabilidade natural com as interferências antrópicas decorrentes do uso e ocupação do solo (CUNHA et al, 2013).

O conceito de vulnerabilidade foi sendo construído ao longo dos anos e ainda hoje há variações na definição desse termo. Um dos pioneiros no desenvolvimento de estudos voltados para a análise da vulnerabilidade dos ambientes foi Tricart (1977), que inseriu o conceito de Ecodinâmica. Neste trabalho, ele desenvolve uma metodologia para análise da dinâmica do meio ambiente dos ecossistemas. Após essa obra, outros trabalhos foram apresentados buscando-se analisar o quão frágil era um ambiente, sempre com ênfase na avaliação integrada dos seus componentes. A exemplo disso, os trabalhos desenvolvidos por Crepani et al. (2001), Massa e Ross (2012), Ross (1994), entre outros, buscaram um entendimento maior da dinâmica que acontece em um sistema ambiental e os impactos decorrentes da ação humana. Nestes trabalhos foram desenvolvidas metodologias para análise da vulnerabilidade ambiental com base no conceito de Ecodinâmica. Alguns autores utilizam

o termo fragilidade no lugar de vulnerabilidade, porém ambos compartilham do mesmo conceito e metodologias análogas.

Em 1990, Ross, desenvolveu um estudo de geomorfologia ambiental, em que, com base na metodologia proposta por Tricart (1977), ele dividiu os ambientes em 5 classes de instabilidade potencial que variavam de muito forte a muito fraca, as quais ele determinou como grau de fragilidade. Após este estudo, em 1994, Ross, discute acerca do desenvolvimento do país e a consequente exploração dos recursos que acentuou problemas ambientais. Dessa forma, o autor enfatizou a necessidade de um planejamento que levasse em conta não somente as potencialidades dos recursos, mas acima de tudo as fragilidades dos ambientes naturais. Para Ross, a fragilidade ambiental é a avaliação integrada de todas as componentes do estrato geográfico que dão suporte à vida animal e do homem. Até este cenário, o termo vulnerabilidade ainda não era utilizado.

Só então em 1996 é que Crepani et al. Implementa o termo vulnerabilidade em um estudo desenvolvido com base na metodologia de Tricart (1977). O modelo sugere a criação de uma carta de vulnerabilidade, respeitando a abordagem Ecodinâmica, porém com a adição de um valor final para cada unidade da paisagem. Este valor variando de 1,0 para ambientes mais estáveis a 3,0 para ambientes mais vulneráveis. Neste trabalho, os autores não definiram o termo vulnerabilidade, mas é possível notar que eles o utilizaram com a mesma função que o trabalho desenvolvido por Ross (1994), para analisar a dinâmica do ambiente, frente as atividades antrópicas.

Em outro trabalho desenvolvido por Crepani et al. (2001), financiado pelo INPE para subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia, foi desenvolvida uma metodologia para elaboração de mapas de vulnerabilidade. Assim, como no trabalho anterior, essa metodologia também foi baseada no conceito de Ecodinâmica.

No ano de 2004, Ross, desenvolve um trabalho em que compara três metodologias de avaliação da fragilidade ambiental, porém ele faz uma mescla entre os termos fragilidade e vulnerabilidade de tal forma que não é possível distinguir a diferença entre eles (SPÖRL; ROSS, 2004). Um ano após este trabalho, o mesmo autor desenvolve um outro estudo em que ele define fragilidade potencial e ambiental em função da vulnerabilidade. Para, Ross (2005), a fragilidade potencial é a vulnerabilidade natural do ambiente e a fragilidade ambiental é a vulnerabilidade natural associada aos graus de proteção dos diferentes usos do solo (KAWAKUBO et al., 2005).

Com o avanço das pesquisas nesta área surgiu a necessidade de homogeneizar um material acerca deste assunto. Dessa forma, o Ministério de Meio Ambiente lançou um livro

em 2007 cujo título era Vulnerabilidade Ambiental. Com ele, surgiu um conceito de vulnerabilidade ambiental como a avaliação da resposta do meio, em função das características locais naturais e antrópicas, diante de uma perturbação.

Atualmente, é possível encontrar o conceito de vulnerabilidade ambiental como o grau em que um sistema é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas. Estas interações podem ser de origem natural ou antrópica (AQUINO, 2017).

Para análise da vulnerabilidade ambiental de um determinado ecossistema é necessário entender os processos que estão envolvidos e sua dinâmica. A partir destes elementos escolhem-se os indicadores que serão avaliados para determinar os riscos de degradação que aquela área está sujeita. Os indicadores são conjuntos de dados que visam mensurar uma resposta de um ambiente frente a um impacto, mais próxima possível da realidade (OLIVEIRA JR, 2014).

Em âmbito nacional, vários pesquisadores continuam agregando valor a esta área do conhecimento e desenvolvendo estudos acerca da vulnerabilidade em diversos estados. No Paraná, Schiavo et al. (2015) desenvolveram um trabalho de caracterização da vulnerabilidade ambiental em uma sub-bacia hidrográfica do Rio Padilha, utilizando declividade, geologia, geotecnia e o uso e ocupação do solo como indicadores.

Na Bahia, foi investigada a vulnerabilidade socioambiental em uma área de drenagem na Barragem Pedras Altas, no Rio Itapicuru (CASTRO; FONTES; TORRES, 2016). Por meio do estudo do ambiente físico, antrópico e biótico os autores perceberam que a barragem provocou alterações na parte de biótica e física da bacia. Outro estudo acerca da vulnerabilidade ambiental foi desenvolvido no município de Santa Luzia, na Paraíba para determinar o Índice de Vulnerabilidade Ambiental em uma microbacia. Os indicadores utilizados foram: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, fator topográfico, uso atual das terras e áreas de preservação permanente e uso restrito.

No Rio de Janeiro, Folharini, Oliveira e Furtado (2017), investigaram a vulnerabilidade à perda do solo do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba. Para isso, os autores analisaram a influência da distribuição espacial das unidades territoriais, considerando que quanto maior a área de cada unidade em relação a variável estudada, maior seu peso na análise da vulnerabilidade. Ainda na região sudeste do Brasil, Rezende, Kaizer e Peixoto (2018), fizeram um estudo para descrever os impactos antrópicos e apontar as principais vulnerabilidades encontradas nas margens e no corpo d'água do rio Tietê, no estado de São Paulo. Dessa forma, os autores avaliaram o risco à erosão, potencialidade poluidora de

atividades como: piscicultura, agricultura, pecuária, transporte de carga e atividades de lazer que aconteciam no rio e em suas margens.

Alguns autores utilizam a nomenclatura fragilidade ambiental para o estudo da vulnerabilidade como é o caso de um trabalho desenvolvido no sul do Brasil. Com o objetivo de analisar a fragilidade ambiental na bacia do Rio Pardo, no Rio Grande do Sul, com vistas a avaliar os impactos gerados no ambiente e na sociedade por conta da possível instalação, em cascata, de cinco pequenas centrais hidrelétricas (CARDOSO et al., 2015).

Cunha e Bacani (2016) analisaram a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Córrego Come Onça, no Mato Grosso do Sul, por meio de indicadores como declividade, solos, intensidade pluviométrica, importância da biodiversidade e uso e cobertura do solo. Por meio desses indicadores eles elaboraram o mapa de vulnerabilidade e perceberam os fatores que estavam afetando aquela área.

Outro trabalho desenvolvido nesta área foi o de Valle, Francelino e Pinheiro (2016), no Rio de Janeiro, onde esses autores apresentaram um modelo de fragilidade ambiental aplicado à bacia hidrográfica do Rio Aldeia Velha, esta área já possuía fatores que influenciavam processos erosivos. Com este trabalho, os autores conseguiram determinar áreas prioritárias para medidas de prevenção contra perda de solo.

Todos estes trabalhos utilizaram o Sistema de Informações Geográficas (SIG) como ferramenta de auxílio no desenvolvimento dos mapas de vulnerabilidade ambiental.

No âmbito internacional foi desenvolvido um estudo para classificar a vulnerabilidade eco-ambiental por meio da modelagem *fuzzy* em 38 unidades geográficas do Rio Lishui, na China (YANG; CHEN, 2015). Os autores perceberam que alguns fatores físicos eram determinantes para a vulnerabilidade, mas que os fatores antrópicos também contribuíam com o aumento do risco. Na Índia, Sahoo, Dhar e Kar (2016) aplicaram o método do Processo de Hierarquia Analítica Cinza utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto Integrado e Sistema de Informação Geográfica. Este trabalho foi desenvolvido utilizando 13 indicadores e com isso os autores conseguiram caracterizar a vulnerabilidade da área.

Na região litorânea central do Vietnã foi elaborado um estudo de zoneamento da vulnerabilidade ambiental, proposto por Nguyen et al. (2016), para gestão e proteção desta área. Neste trabalho, os autores propuseram um método integrado de Sensoriamento Remoto, Sistema de Informação Geográfica e Processo de Hierarquia Analítica, com isso conseguiram identificar três zonas e propor soluções diferentes para reatuação de cada uma. Enquanto Harik e outros autores (2017) desenvolveram um índice multi-critérios para avaliar pontos críticos de poluição ao longo da costa mediterrânea e auxiliar na tomada de decisão

relacionada com a gestão. Foi aplicado a áreas piloto ao longo da costa: Norte (Itália e França), Leste (Líbano) e Sul (Tunísia).

Pode-se perceber que os estudos são vastos acerca do tema vulnerabilidade ambiental, pois há uma relevância muito grande para a gestão ambiental. A partir do entendimento das áreas mais suscetíveis a riscos é possível fazer o zoneamento ambiental para uso e ocupação dessas áreas e ainda definir locais passíveis de proteção. Em assentamentos rurais, objeto deste estudo, a lei que regulamenta essas áreas exige um percentual destinado à proteção para manutenção da fauna e flora, porém é importante ressaltar que o restante das áreas ocupadas também merece atenção para que não haja exploração indevida que leve à degradação dos recursos hídricos e esgotamento dos demais recursos.

3.4 Indicadores Ambientais

O estudo da vulnerabilidade ambiental pode ser dividido em três ambientes para escolha dos indicadores a serem utilizados: ambiente físico (solo, rochas, relevo e clima), ambiente biótico (biodiversidade) e por fim, os indicadores do ambiente antrópico, e um dos mais importantes devido ao uso exaustivo que tem sido feito dos recursos naturais, está relacionado com o uso e ocupação do solo (MILANEZI; PEREIRA, 2016). (CARDOSO et al., 2015; CASTRO; FONTES; TORRES, 2016;). Neste trabalho será avaliado apenas o ambiente físico e o ambiente antrópico.

Embora a fauna faça parte da dinâmica ecossistêmica, não foram encontrados trabalhos que abordassem esse elemento como indicador, provavelmente pela dificuldade de caracterização de toda a fauna existente na área de estudo, ou ainda, pela dificuldade de mensurar o impacto deste elemento no ecossistema.

A maioria dos trabalhos utilizam as metodologias de peso dos indicadores propostas por Crepani et al. (2001) e Ross (1994), porém com algumas adaptações para cada caso específico. Em geral, os pesos caracterizam o grau de vulnerabilidade do ambiente frente a um impacto sobre determinado elemento natural.

3.4.1 Ambiente Físico

Os indicadores analisados nesse ambiente são: relevo, rocha, solo e clima.

3.4.1.1 Declividade

A declividade é um fator importante para determinação do grau de vulnerabilidade em um local, pois, quando acentuada, acelera os processos erosivos e reduz a infiltração da água da chuva, responsável pela recarga de aquíferos. Quanto maior a declividade maior a energia potencial nos solos, seguido disso, o escoamento transforma essa energia potencial em energia cinética, responsável pelo transporte de cargas oriundas da erosão (CREPANI et al., 2001). Este impacto recai sobre os recursos hídricos que normalmente ficam nas partes mais baixas e recebem a maior parte da carga transportada pelo escoamento, influenciando em sua qualidade e quantidade, este último devido ao acúmulo de sedimentos que provoca assoreamento.

O fator gravidade atuando apenas nas partículas próximas a encostas, sem levar em consideração a água, já é uma ameaça por si só. Isto se deve à ação do intemperismo que fragmenta as rochas deixando-as suscetíveis à ação da força peso (fator gravidade) e de ventos que tendem a transportar esses materiais para pontos mais baixos do relevo. Rochas maciças são mais resistentes a estes fenômenos, porém a atuação do intemperismo nestas rochas as deixa vulneráveis (CREPANI et al., 2001).

3.4.1.2 Geologia

A geologia é um indicador importante para a caracterização de áreas vulneráveis, pois determinará a suscetibilidade das rochas em sofrer ações de intemperismo e erosão. O grau de coesão das rochas determinará maior ou menor predisposição à erosão e ao intemperismo naquele local. O grau de coesão das rochas será medido com base em sua composição mineral e a natureza das ligações destes minerais (CREPANI et al., 2001).

O intemperismo é um processo que pode ser de natureza química ou física e causa desequilíbrio nas rochas, além disso, pode interferir na composição dos solos liberando agentes químicos que, quando lixiviados, interferem na qualidade dos corpos hídricos (CREPANI et al, 2001; SANTOS, 2015).

Crepani et al., (2001) desenvolveram um trabalho em que foi possível mensurar as ligações dos minerais de cada rocha. Sendo assim, eles atribuíram uma escala de vulnerabilidade à denudação (intemperismo + erosão) para os tipos de rochas mais encontradas.

3.4.1.3 Solos

A variedade de tipos de solos, suas características físicas, químicas e sua distribuição, influenciam na intensidade dos impactos ambientais, principalmente em termos de erosão (MELO et al., 2014; SANTOS, 2015). Em termos de vulnerabilidade, o tipo de solo é um fator primordial para determinar sua suscetibilidade à erosão. Em um mesmo local é possível que alguns tipos de solos se degradem mais que outros, em função de características como, textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade ou espessura (MELO et al., 2014; ROSS, 1994). Com base nessas características, o trabalho desenvolvido por ROSS (1994), classificou a vulnerabilidade (Tabela 1) dos diferentes tipos de solos, levando em consideração a atuação do escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais.

Tabela 1 - Vulnerabilidade para diferentes tipos de solos

Classes de Vulnerabilidade	Tipos de Solos
1 – Muito Baixa	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho amarelo textura argilosa
2 – Baixa	Latossolo Amarelo e Vermelho amarelo textura média/argilosa
3 – Média	Latossolo Vermelho amarelo, Terra Roxa, Terra Bruna, Podzólico Vermelho-amarelo textura média/argilosa
4 – Forte	Podzólico Vermelho-amarelo textura média/arenosa, Cambiosolos
5 – Muito Forte	Podzólizados com cascalho, Litólicos e Areias Quartzosas

Fonte: Ross, 1994

3.4.1.4 Clima

O clima é outro fator associado a impactos ambientais, pois ele também influencia no processo de denudação das rochas, formação dos solos e principalmente, na cobertura vegetal (SANTOS, 2015). Ele é um dos responsáveis pelo processo de intemperismo, pois controla o índice pluviométrico e a temperatura da região. A interação solo/chuva determinará o quão frágil ou quão forte é aquele solo para resistir aos processos erosivos, e este fato dependerá de algumas características locais da precipitação: pluviosidade total, intensidade pluviométrica e distribuição sazonal (CREPANI et al., 2001).

Nesse sentido, o dado mais utilizado nos diversos trabalhos desenvolvidos para analisar a vulnerabilidade de um ambiente é a intensidade pluviométrica (CREPANI et al.,

2001; CUNHA; BACANI; AYACH, 2013; CUNHA; BACANI, 2016; SANTOS; RUCHKYS; GOMES, 2014; VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016).

Em relação aos recursos hídricos, este é um indicador fundamental, pois, se por um lado ele pode ser responsável pelo intemperismo das rochas, lixiviação do solo e erosão, fatores que causam degradação dos corpos hídricos, por outro lado, é também responsável pela recarga e manutenção desses corpos hídricos, dessa forma, o ideal é que haja uma distribuição regular da precipitação em torno da área e ao longo do ano.

3.4.2 Ambiente Antrópico

Os indicadores analisados nesse ambiente são: Uso e Ocupação do Solo e áreas de APP e RL.

3.4.2.1 Uso e Ocupação do Solo

Uma das maiores preocupações atualmente é a ação antrópica no meio ambiente. Este indicador serve para assinalar locais de desmatamentos, solo exposto, densidade da vegetação, entre outros fatores e assim poder ponderar sobre os locais de maiores impactos (SANTOS, 2015).

Ao adicionar-se o fator uso e ocupação do solo ao cálculo da vulnerabilidade de uma determinada área, busca-se entender as alterações sofridas por meio da atividade antrópica e as pressões que o ambiente sofre por conta dos diversos usos que se faz da área a ser estudada (SANTOS; RUCHKYS; GOMES, 2014).

O uso que se faz do solo determina fatores para recarga de corpos hídricos e minimização de impactos. A vegetação é responsável por interceptar a água da chuva, com isso ela evita que o gotejamento diretamente no solo provoque compactação, reduzindo a infiltração e gerando maior escoamento superficial. Outro ponto importante é que as raízes aumentam a porosidade do solo e dessa forma auxiliam no processo de infiltração da água da chuva que servirá como recarga para aquíferos. O solo exposto é mais suscetível à erosão, portanto busca-se evitar ao máximo este tipo de situação, pois aumentará os riscos de impactos nos recursos hídricos como assoreamento e comprometimento da qualidade da água.

A prática de atividades econômicas também merece atenção em relação à análise de impactos, pois esta muitas vezes vem antecipada de desmatamento e queimadas para liberação de áreas com a finalidade de pastoreio ou práticas agrícolas (SANTOS, 2015; PIRES, 2015).

Algumas vezes essa vegetação suprimida faz parte de matas ciliares o que aumenta ainda mais os riscos de impactos nos recursos hídricos.

Busca-se o equilíbrio entre áreas cobertas por vegetação nativa e áreas utilizadas para fins econômicos de forma que o ecossistema seja adaptado e resista aos impactos decorrentes de fatores naturais.

3.4.2.2 Áreas de APP e RL

A vegetação possui efeitos em vários fatores que influenciam no grau de vulnerabilidade. A densidade da vegetação é fator de proteção para o solo contra processos erosivos, quanto maior a cobertura vegetal, maior será a proteção (CREPANI et al., 2001). Sendo assim, a investigação das condições vegetais das APP e RL possui relevância para determinação da vulnerabilidade ambiental.

O que se deseja ao criar esse indicador é que sejam cumpridas as exigências estabelecidas pela Lei 12.651/2012, o Código Florestal. Dessa forma, é possível garantir a conservação dos recursos hídricos, por meio da preservação de áreas ao entorno de corpos d'água.

3.5 Geotecnologias aplicadas a estudos ambientais

As preocupações com as questões ambientais continuam surgindo e com elas a necessidade de buscar meios para mitigar os impactos causados ao meio ambiente. Uma das soluções encontrada e muito utilizada na atualidade é o uso de geotecnologias que auxiliam no planejamento para a gestão ambiental. O geoprocessamento tem se mostrado uma ferramenta eficiente para a criação de planos integrados de manejo e conservação dos recursos naturais.

Os sistemas de sensoriamento remoto existentes são utilizados para diversas finalidades em pesquisas relacionadas ao meio ambiente como, por exemplo, desenvolvimento de mapas temáticos, monitoramento de desastres ambientais tais como enchentes, poluição de rios e reservatórios, erosão, deslizamentos de terras e secas, controle de desmatamento, monitoramento de mananciais e corpos hídricos superficiais entre outras finalidades (CONCEIÇÃO, 2004; FERREIRA et al., 2011; LUNA; PEREIRA, 2003; RODRIGUES; PEREIRA, 2013).

Para o monitoramento da vegetação por meio do Sensoriamento Remoto são utilizadas imagens de satélites que são produto da refletância de diversos elementos contidos na área de abrangência do satélite. Para isso são utilizados índices de vegetação constituídos por operações algébricas que visam representar a densidade e o tipo de vegetação da área estudada. Eles são mensurados por meio da interação da radiação eletromagnética com as plantas e outros elementos presentes no ambiente. Vários são os índices elaborados com esta finalidade: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), Índice de Área Foliar (IAF), Índice de Vegetação Melhorado (EVI), entre outros. Porém, todos são derivados do NDVI e este é o mais utilizado para determinação da densidade da cobertura vegetal em diversos trabalhos (SOUZA et al., 2012; FERNANDES et al., 2016).

O NDVI é um indicador da quantidade e da qualidade da vegetação, reduz o efeito topográfico e varia conforme a densidade e umidade das plantas. Este índice possui uma variação de -1 a 1, sendo valores mais próximos de -1 e 0 indicando pouca ou nenhuma vegetação e valores bem próximos de 1 indicando bastante vegetação (FERNANDES et al., 2016). O índice NDVI é expresso da seguinte forma:

$$NDVI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4}$$

Onde, ρ_4 é a refletância na região do visível (vermelho) (0,63-0,69 μm) e ρ_5 é a refletância no infravermelho próximo (0,78-0,90 μm) (FERNANDES et al., 2016).

3.6 Lógica *fuzzy*

Por meio da lógica clássica entende-se que um elemento ou pertence ou não pertence a um determinado conjunto e, caso pertença, é apenas a este. Dessa forma, existe apenas o sim ou não na lógica clássica, não havendo, portanto, a possibilidade de meio termo. Isso não se aplica bem às ciências ambientais, pois esta é cercada de incertezas. Sendo assim, o ideal é buscar auxílio em técnicas mais flexíveis, como a lógica *fuzzy*, que permite soluções aproximadas (SILVA et al, 2013).

Segundo Santos (2010), conforme o grau de incerteza aumenta acerca de um fenômeno qualquer, menores são as chances de encontrar um modelo que represente bem o fenômeno. A lógica *fuzzy* permite verificar as incertezas acerca dos estudos ambientais e

simular possibilidades de respostas com base no julgamento subjetivo de um especialista. Isso significa que não há um limite rígido, é possível analisar os componentes por meio de várias possibilidades (SANTOS, 2015). Segundo Garófalo e Ferreira (2015), o conjunto de valores *fuzzy* torna os resultados coerentes com a realidade, pois considera as áreas de transição.

Muito, alto, pouco, etc são termos associados a certo grau de incertezas, que apesar de poder ser compreendida no cotidiano, para a lógica clássica são termos impossíveis de serem identificados (SANTOS, 2010). O objetivo central da lógica *fuzzy* é apresentar uma função de pertinência a um sistema complexo, onde existem muitas incertezas associadas. A fim de obter um comportamento mais próximo do real, são atribuídos valores à função de pertinência que podem ser infinitos números de 0 a 1 (MOREIRA; CÂMARA; ALMEIDA FILHO, 2001; ARAÚJO, 2015). As funções de pertinência mais utilizadas são as lineares (triangular ou trapezoidal), seguidas por quadrática e gaussiana. Por conta da simplicidade e por já estarem inseridas nos diversos aplicativos de SIG, as funções lineares são as mais empregadas, visto que a implementação de outras funções no sistema acaba por ser onerosa e nem sempre traz o ganho necessário (SANTOS, 2010).

De acordo com Cunha et al. (2011), o resultado da aplicação da lógica *fuzzy* são mapas integrados, ao invés de mapas fundidos, como exemplo da lógica clássica. Isto significa que os mapas não são cumulativos, como na álgebra de mapas, eles são inter-relacionados por meio de uma função específica. Existem variadas metodologias *fuzzy* para o desenvolvimento de cenários por meio da composição de mapas entre elas os operadores Mínimo, Máximo, a Média, Ponderação *fuzzy* (Processo Analítico Hierárquico), e o gama *fuzzy*. Este último operador, é definido por dois termos, uma soma algébrica e um produto algébrico: $Gama = (soma\ algébrica)^g \times (produto\ algébrico)^{(1-g)}$ (LOBÃO; ROCHA; SILVA, 2006; SANTOS, 2015).

O operador gama (g) multiplica diferentes planos de informação e como resposta de saída obtém-se um valor menor ou igual al valor original. Isto se deve ao fato do sistema *fuzzy* operar com valores entre 0 e 1, dessa forma a multiplicação destes termos são números bem pequenos ou iguais a 1 (MOREIRA; CÂMARA; ALMEIDA FILHO, 2001). Por meio desse operador é possível desenvolver diferentes cenários para o objeto de estudo, tanto para cenários otimistas, quanto pessimistas, quando assim for necessário para inferir acerca de algum assunto. O que determina os resultados da modelagem é o coeficiente gama que pode variar de 0 a 1, para $g=0$, o resultado dependerá apenas do produto algébrico, já para $g=1$, o resultado dependerá apenas da soma algébrica. A soma superestima o cenário, enquanto que o produto subestima (SANTOS, 2015; GONÇALVES; ARAÚJO; IMAI, 2016). Para valores de

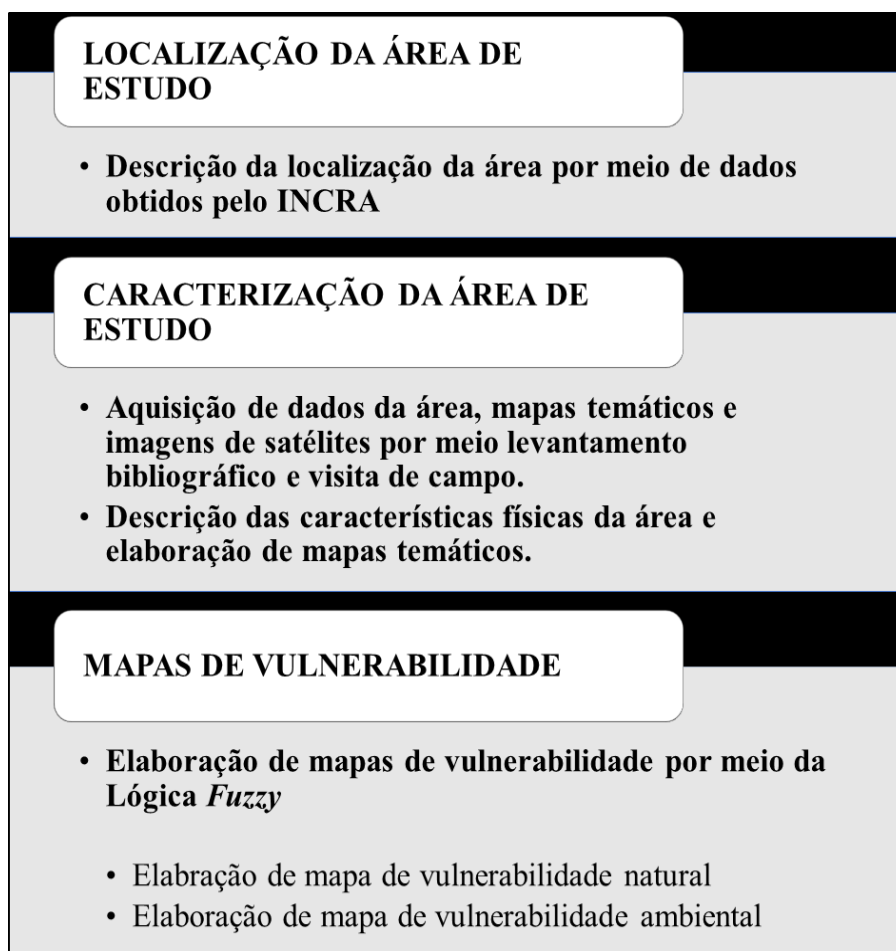
gama entre 0 e 0,35 o resultado será subestimado, já para valores de gama entre 0,8 e 1, os resultados serão superestimados, pois o fator soma prevalecerá. Dessa forma, para obter um cenário mais centralizado, não cair nem no caráter aumentativo nem no diminutivo o ideal é que se utilize um valor de gama entre 0,35 e 0,8 (MOREIRA; CÂMARA; ALMEIDA FILHO, 2001).

Vários trabalhos na área ambiental são desenvolvidos com a lógica *fuzzy* de forma a se obter a melhor representação possível dos fenômenos naturais ocorridos em torno de um espaço geográfico. Cunha et al. (2011) elaboraram um estudo de análise das variáveis de vulnerabilidade ambiental em uma bacia hidrográfica de São Carlos – SP. Neste estudo, a lógica *fuzzy* foi aplicada com o auxílio de ferramentas do SIG. Outro trabalho desenvolvido foi o de França e outros autores (2014) que buscavam utilizar essa ferramenta como suporte de diagnóstico ambiental participativo e dessa forma avaliar as ações antrópicas prejudiciais ao meio. Liu et al. (2017) também elaboraram um trabalho utilizando a lógica *fuzzy* com o objetivo de desenvolver um método para avaliar as mudanças na vulnerabilidade em uma reserva natural na China, entre os anos de 1990 a 2010. Esses autores conseguiram desenvolver um método eficiente, porém recomendaram maiores estudos para que fossem minimizadas as variáveis subjetivas.

4 METODOLOGIA

Este estudo foi fundamentado na interpretação de produtos de sensoriamento remoto, visitas a campo e consulta bibliográfica. O esquema abaixo, Figura 1, resume as etapas que compõem a metodologia do trabalho.

Figura 1 - Esquema representativo da metodologia aplicada



Fonte: Autor, 2017.

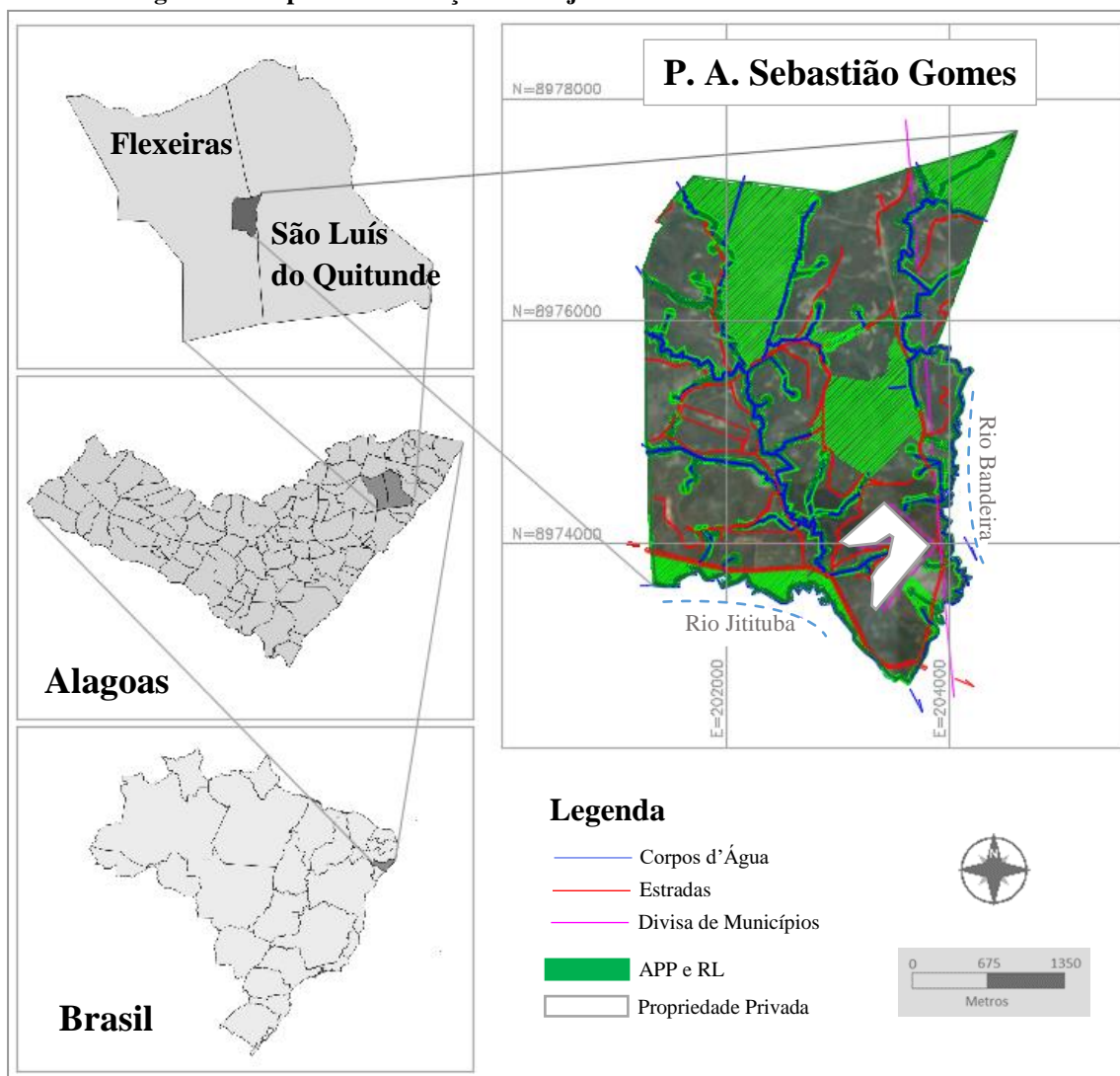
4.1 Área de estudo

O objeto a ser estudado é o Projeto de Assentamento Sebastião Gomes, implantado pelo INCRA por meio do programa de Reforma Agrária. O assentamento está situado entre os municípios de Flexeiras e São Luiz do Quitunde, no estado de Alagoas (Figura 2), com coordenadas de latitude 9°14'17" S e longitude 35°41'17" W. A área total do projeto de assentamento é 1.047,20 ha, sendo parte desta dedicada à Área de Preservação Permanente,

contabilizando 30,67ha e outra parte com 241,82ha, dedicada à área de Reserva Legal. Atualmente, estão assentadas nesse local 118 famílias.

Inserido no bioma Mata Atlântica, na mesorregião do Leste Alagoano e na microrregião da Mata Alagoana (IBGE, 2017). O clima da região é do tipo Tropical Chuvoso com estação chuvosa no outono/inverno (MME, 2005). O projeto de assentamento é margeado pelo rio Jitituba e seu afluente o rio Bandeira, situados na Região Hidrográfica do Rio Camaragibe (MME, 2005; SEMARH/AL, 2017).

Figura 2 - Mapa de Localização do Projeto de Assentamento Sebastião Gomes



Fonte: Autor, 2017. Com base nos dados fornecidos pelo INCRA.

4.2 Caracterização da Área de Estudo

Nesta etapa foi feito um levantamento dos materiais disponíveis em sites oficiais que continham informações da área estudada, mapas temáticos e imagens de satélite. Aliado a isso, pesquisa bibliográfica para obtenção de trabalhos anteriores que ajudassem a entender as características da área e preencher dados não encontrados nos sites oficiais.

Além disso, foram feitas visitas a campo para aquisição de informações e registro fotográfico, a fim de auxiliar na caracterização da área e elaboração do mapa temático de uso e ocupação.

4.2.1 Declividade

O mapa de declividade foi elaborado por meio do fatiamento de gradientes realizado pelo software Idrisi em uma carta topográfica elaborada a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE). A imagem para a área de estudo foi adquirida por meio do satélite Alos, sensor Palsar, na plataforma Vertex (ALASKA SATELLITE FACILITY, 2018). Nestes dados foi obtido um MDE da cena ALPSRP25351700 com resolução espacial de 12,5m.

A classificação dos intervalos de declividade foi elaborada de acordo com a tabela desenvolvida pela Embrapa (1979) (Tabela 2).

Tabela 2 - Intervalos de classes de declividade e seu relevo correspondente

Declividade (%)	Discriminação
0 – 3	Relevo plano
3 – 8	Relevo suavemente ondulado
8 – 20	Relevo ondulado
20 – 45	Relevo fortemente ondulado
>45	Relevo montanhoso e escarpado

Fonte: EMBRAPA, 1979.

4.2.2 Geologia

A caracterização da geologia da área foi desenvolvida com base na coleta de dados em Mapa geológico e de recursos minerais do estado de Alagoas, em formato *shapefile*, disponibilizado pela plataforma online GEOBANK da Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais – CPRM, em escala de 1:250.000.

4.2.3 Solos

Os dados de solo foram obtidos do Zoneamento Agroecológico de Alagoas (EMBRAPA, 2017). E por meio do arquivo em formato *shapefile* do Mapa do Solo no estado de Alagoas, disponibilizado pelo GEOBANK da CPRM, na escala de 1:250.000.

4.2.4 Clima

Os dados pluviométricos foram adquiridos no site da Agência Nacional de Águas – ANA, por meio da plataforma HIDROWEB e de arquivos contendo dados de precipitação disponibilizados pela SEMARH/AL em sua plataforma digital.

4.2.5 Uso e Ocupação do Solo

O uso e ocupação do solo foi analisado sob três cenários: antes, durante e após a implantação do P. A. Sebastião Gomes. Dessa forma foi possível analisar a evolução da paisagem por meio do NDVI e fotografias tiradas durante o trabalho em campo (para a situação atual).

Os três períodos verificados para a construção dos cenários foram nos anos de 1996 (antes da implantação), 2007 (no ano da implantação) e 2017 (atualmente). Diante da dificuldade de encontrar imagens sem a interferência de nuvens foram utilizadas as imagens com a menor quantidade de nuvens dos anos citados. Não foram utilizadas imagens do ano de 1997, pois haviam muitas nuvens.

Os mapas de uso e ocupação do solo foram elaborados a partir de 03 imagens de satélite disponibilizadas pelo INPE (Tabela 3).

Tabela 3 - Dados das imagens de satélite

Ano	Satélite	Sensor	Imagem	Resolução (m)
1996	Landsat 5	TM	L5TM 214/66 – 1996-05-10	30
2007	Landsat 5	TM	L5TM 214/66 – 2007-08-29	30
2017	Landsat 8	OLI	L8-OLI 214/066 2017-04-18	30

Fonte: Autor, 2017.

As imagens foram processadas pelo *software* Idrisi, para a classificação com os respectivos usos e cobertura do solo. Aliado a isso, foram coletados dados de campo com o

auxílio do GPS para validar os resultados obtidos a partir da interpretação das imagens de satélite.

4.2.6 Usos nas Áreas de APP e RL

A carta com as condições das Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal foi elaborada com o auxílio da carta de uso e ocupação do solo e do arquivo em formato *dwg* da área do projeto de assentamento Sebastião Gomes fornecido pelo INCRA (2017). A densidade da vegetação foi determinada por meio do Índice de Diferença Normalizada (NDVI) aplicado por meio do *software* Idrisi.

4.3 Elaboração de Mapas Indicadores de Vulnerabilidade

4.3.1 Declividade

O critério para geração desse mapa foi o grau de inclinação, quanto maior, mais suscetível à erosão, portanto, mais vulnerável o ambiente. Dessa forma, a Tabela 4 representa os pesos de acordo com a declividade do terreno.

Tabela 4 - Escala de vulnerabilidade em relação à declividade do solo

Declividade (%)	Discriminação	Grau de Vulnerabilidade
0 – 3	Relevo plano	1,0
3 – 8	Relevo suavemente ondulado	1,5
8 – 20	Relevo ondulado	2,0
20 – 45	Relevo fortemente ondulado	2,5
>45	Relevo montanhoso e escarpado	3,0

Fonte: Adaptado de Valle; Francelino; Pinheiro, 2016.

4.3.2 Geologia

A metodologia utilizada para geração do mapa da vulnerabilidade da geologia foi a proposta por Crepani et al. (2001), em que são atribuídos pesos para cada classe de feição, segundo a Tabela 5.

A análise geológica da vulnerabilidade da área de estudo foi desenvolvida a partir de informações litológicas. São atribuídos pesos de 1 – 3 para cada tipo de rocha, quanto mais

próximos de 1 mais próximo da estabilidade e quanto mais próximos de 3 mais suscetíveis à denudação.

Tabela 5 - Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns

Tipos de Rochas	Grau de Vulnerabilidade
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0
Riólito, Granito, Dacito	1,1
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2
Migmatitos, Gnaisses	1,3
Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4
Andesito, Diorito, Basalto	1,5
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6
Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7
Piroxenito, Anfibolito, Kimberlito, Dunito	1,8
Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9
Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0
Filito, Metassiltito	2,1
Ardósia, Metargilito	2,2
Mármore	2,3
Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Grauvacas, Arcózios	2,6
Siltitos, Argilitos	2,7
Folhelhos	2,8
Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios, etc.	3,0

Fonte: Crepani et al, 2001.

4.3.3 Solos

A geração dos pesos nesta categoria é baseada nos tipos de solo, analisando-se a suscetibilidade à erosão de acordo com critérios estabelecidos por Crepani et al. (2001). Dessa forma, solos mais próximos do valor 1 são mais resistentes à erosão e solo mais próximos do valor 3 são mais vulneráveis (Tabela 6).

Tabela 6 - Escala de vulnerabilidade em relação ao tipo de solo

Tipos de Solos	Grau de Vulnerabilidade
Latossolos	1,0
Argissolos, Nitossolos, Luvisolos, Chernossolos, Planossolos, Espodossolos	2,0
Cambissolos	2,5
Neossolos, Vertissolos, Gleissolos, Plintossolos, Organossolos	3,0

Fonte: Adaptado de Crepani et al., 2001.

4.3.4 Clima

O clima foi caracterizado com base na intensidade pluviométrica. Os dados foram obtidos pela plataforma digital HIDROWEB da Agência Nacional de Águas e pela SEMARH. Os pesos foram atribuídos com base na metodologia proposta por Crepani et al, (2001), representado na Tabela 7.

Tabela 7 - Escala de vulnerabilidade em relação ao clima

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Grau de Vulnerabilidade
<50	1,0
50 – 75	1,1
75 – 100	1,2
100 – 125	1,3
125 – 150	1,4
150 – 175	1,5
175 – 200	1,6
200 – 225	1,7
225 – 250	1,8
250 – 275	1,9
275 – 300	2,0
300 – 325	2,1
325 – 350	2,2
350 – 375	2,3
375 – 400	2,4
400 – 425	2,5
425 – 450	2,6
450 – 475	2,7
475 – 500	2,8
500 – 525	2,9
>525	3,0

Fonte: Crepani et al, 2001.

4.3.5 Uso e ocupação do solo

O mapa de vulnerabilidade para o uso e ocupação do solo foi formado com base no potencial de degradação da atividade antrópica sobre o meio, a fim de entender a distribuição espacial das atividades desenvolvidas na área de estudo e o grau de vulnerabilidade que estas atividades podem causar. A Tabela 8 que apresenta os pesos foi desenvolvida de acordo com a proposta por Crepani et al., 2001.

Tabela 8 - Escala de vulnerabilidade em relação ao uso e ocupação do solo

Cobertura e uso do solo	Grau de Vulnerabilidade
Floresta	1,0
Agricultura	2,5
Pastagem	2,8
Solo exposto	3,0

Fonte: Crepani et al., 2001; Pedrosa, 2008.

4.3.6 Áreas de Proteção Permanente e Reserva Legal

Foi utilizada a Tabela 9 para determinação do grau de vulnerabilidade para as áreas de Reserva Legal e APP com relação ao grau de densidade da vegetação. Para isso serão utilizados os mapas de NDVI para avaliar o risco de erosão que estas áreas podem estar sujeitas.

Tabela 9 - Escala de vulnerabilidade em relação à vegetação em APP e RL

CONDIÇÕES DE VEGETAÇÃO EM APP E RL			GRAU DE VULNERABILIDADE
Com Relação à densidade da Vegetação	Densidade da Vegetação	NDVI	Vulnerabilidade
	Densa	0,55 – 1,0	1,0
	Esparsa	0,40 – 0,55	2,0
	Rasteira	0,25 – 0,40	2,5
	Solo Exposto	0 – 0,25	3,0
	Água / Sombra	-1,0 – 0	---

Fonte: Adaptada de Demarchi; Piroli; Zimback, 2011.

4.4 Mapeamento da vulnerabilidade por meio de cruzamento de informações

A elaboração dos mapas de vulnerabilidade foi feita por meio da lógica *fuzzy*, através do cruzamento entre os indicadores elaborados pelos mapas temáticos. Para a execução da lógica *fuzzy* será utilizado o *software* Idrisi Selva.

Para a aplicação da modelagem *fuzzy* duas etapas foram desenvolvidas: a primeira foi a padronização dos mapas indicadores de vulnerabilidade e a segunda parte foi o cruzamento de todos os indicadores a fim de se obter o mapa síntese.

Para converter as imagens em um único padrão as funções mais utilizadas em modelagens ambientais são as lineares e as sigmoidais (CALJURI et al., 2007; GONÇALVES; ARAÚJO; IMAI, 2016; SILVA, 2013; SAMIZAVA et al., 2008). Foram feitos testes com ambas, e, para este trabalho, a função sigmoideal apresentou alguns valores superestimados e outros subestimados, já a função linear se ajustou bem aos intervalos de vulnerabilidade. Neste trabalho foi utilizada a ferramenta de modelagem *fuzzy* com função linear crescente implementada no Idrisi Selva. A padronização utilizou o sistema real que varia de 0-1, classificando áreas de menor vulnerabilidade, próximo de 0, a maior vulnerabilidade, próximo de 1.

Na segunda etapa os indicadores foram agregados através do operador gama *fuzzy* por meio da equação abaixo:

$$\text{Gama} = (\text{soma algébrica fuzzy})^g \times (\text{produto algébrico fuzzy})^{1-g}, \text{ onde } g=0.8$$

O valor atribuído ao índice gama ($g=0.8$) é justificado pelo fato deste valor não apresentar nem uma visão aumentada nem diminuída da realidade (MOREIRA; CÂMARA; ALMEIDA FILHO, 2001; LOBÃO; ROCHA; SILVA, 2006; SANTOS, 2015).

Foram desenvolvidos dois mapas de vulnerabilidade: um de mapa de vulnerabilidade natural e outro de vulnerabilidade ambiental (dividido em três cenários: 1996, 2007 e 2017).

O primeiro mapa foi em relação aos componentes físicos do meio, esta operação foi realizada por meio da equação gama *fuzzy* aplicada a quatro indicadores distintos: geologia, solos, clima e declividade.

$$\text{Gama} = ((1 - ((1 - \text{geologia}) * (1 - \text{solos}) * (1 - \text{clima}) * (1 - \text{declividade})))^g) * (\text{geologia} * \text{solos} * \text{clima} * \text{declividade})^{(1-g)}$$

O segundo mapa foi análogo ao anterior, porém acrescido do indicador de uso e ocupação do solo, segundo a equação abaixo.

$$\text{Gama} = ((1 - ((1 - \text{geologia}) * (1 - \text{solos}) * (1 - \text{clima}) * (1 - \text{declividade}) * (1 - \text{uso_do_solo})))^g) * (\text{geologia} * \text{solos} * \text{clima} * \text{declividade} * \text{uso_do_solo})^{(1-g)}$$






5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da Área de Estudo

A caracterização da área de estudo juntamente com a vulnerabilidade foi elaborada por meio de mapas temáticos e imagens de satélite como será detalhada nos tópicos a seguir.

Os mapas com as características locais de acordo com os indicadores escolhidos e seus respectivos valores de vulnerabilidade são representados segundo a Tabela 10.

Tabela 10 - Escala de Cores referente ao Grau de Vulnerabilidade

Escala de Cores	Grau de Vulnerabilidade	Intervalo Fuzzy	Vulnerabilidade
	1,0 — 1,4	0,0 — 0,2	Muito Baixa
	1,4 — 1,8	0,2 — 0,4	Baixa
	1,8 — 2,2	0,4 — 0,6	Média
	2,2 — 2,6	0,6 — 0,8	Alta
	2,6 — 3,0	0,8 — 1,0	Muito Alta

Fonte: Adaptado de Ross, 2004; Santos, 2015.

5.1.1 Declividade

O mapa de declividade foi elaborado por meio da aplicação da ferramenta Slope do software Idrisi Selva em um MDE da área com resolução espacial de 12,5 m adquirido na plataforma Vertex do Alaska Satellite Facility (2018).

Após esta etapa o mapa foi reclassificado para os intervalos de declividade segundo a Tabela 4, descrita no tópico da metodologia.

A Tabela 11 apresenta as classes de declividades encontradas no P. A. Sebastião Gomes e o grau de vulnerabilidade a elas associado. A declividade do terreno vai 0 a 76%, há uma variação entre relevo plano a montanhoso.

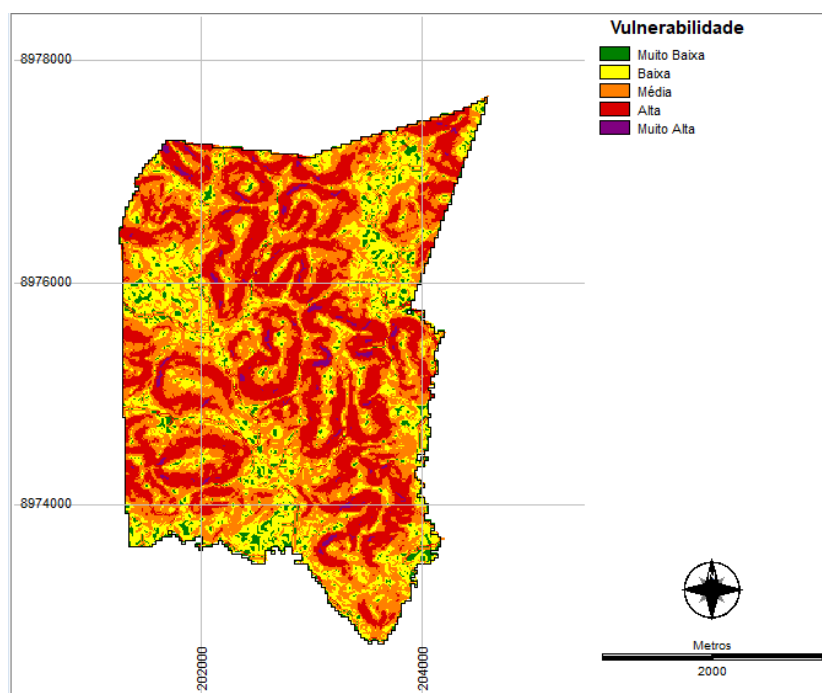
Tabela 11 - Escala de vulnerabilidade em relação à declividade do solo

Declividade (%)	Discriminação	Área (ha)	% da Área Total	Grau de Vulnerabilidade
0 – 3	Relevo plano	44,19	4,22	1,0
3 – 8	Relevo suavemente ondulado	231,12	22,07	1,5
8 – 20	Relevo ondulado	406,00	38,77	2,0
20 – 45	Relevo fortemente ondulado	352,17	33,63	2,5
>45	Relevo montanhoso e escarpado	13,71	1,31	3,0

Fonte: Adaptado de VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016

O mapa de vulnerabilidade apresentou uma variação de muito baixa a muito alta (Figura 27). Cerca de 4,22% da área total apresenta relevo plano, 22,07% relevo suavemente ondulado, caracterizando baixo grau de vulnerabilidade. No estudo desenvolvido por Schiavo et al. (2015), eles verificaram que quanto mais brusca a mudança de altitude do terreno, menor a taxa de infiltração do solo e maior o escoamento superficial. Consequentemente, maiores são as chances da ocorrência de processos erosivos nestes locais.

Figura 3 - Mapa de Vulnerabilidade da Declividade



Fonte: Autor, 2017.

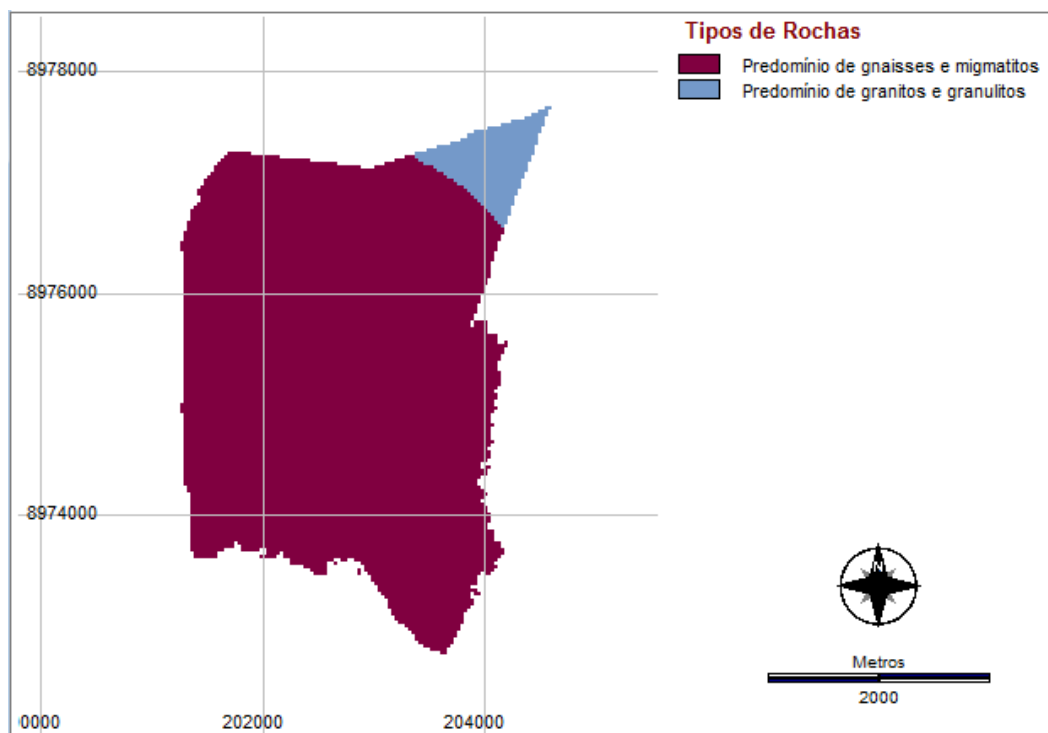
A maior parte da área possui relevo ondulado 38,77% relevo ondulado, este fato caracteriza um grau de média vulnerabilidade. O problema, porém, pode ser agravado caso haja solo com pouca ou nenhuma cobertura vegetal nestas áreas. Cunha, Bacani e Ayach (2013), em seu trabalho encontraram relevos com declividade entre 6% e 20% associados a solos de textura arenosa e estes apresentaram alta suscetibilidade à erosão. Yang e Chen (2015) destacaram que maiores inclinações associadas a baixa cobertura vegetal levam a um maior grau de vulnerabilidade ambiental.

Contudo, as parcelas referentes ao fortemente ondulado e montanhoso também são significativas. 33,63% e 1,31% respectivamente. Estes relevos estão associados ao alto grau de vulnerabilidade, visto que quanto maior a declividade, mais sujeita a processos erosivos. Para Cunha, Bacani e Ayach (2013) áreas com inclinações superiores a 30% possuem mais chances de ocorrência de processos erosivos decorrentes de precipitação. Isto se justifica pelo fato das raízes não conseguirem suprimento suficiente para ancorar o solo e conseqüentemente este se desprende na presença de muita água. Calderano Filho et al. (2014), corroboram com o fato de altos declives estarem associados ao grau de vulnerabilidade muito alta. Esta situação pode acelerar a perda do horizonte A, principalmente quando associado a altas precipitação.

5.1.2 Geologia

A área de estudo tem predomínio de gnaisses ortoderivados podendo conter porções migmáticas. Há ainda, uma parte da área que apresenta complexos granitoides deformados e granulitos (Figura 4).

Figura 4 - Litologia do P. A. Sebastião Gomes



Fonte: Autor, 2017.

A área com rochas migmáticas e gnaisses apresentam baixa porosidade, elevada resistência à compressão e moderada resistência ao intemperismo físico-químico. Os solos oriundos dessas rochas, normalmente possuem textura argilo-siltico-arenosa. Em terrenos onde há afloramento de ortognaisses granulíticos pode haver deslocamento de blocos rochosos em taludes de corte. Esse tipo de ambiente geológico pode dificultar o planejamento de áreas elevando o custo em função da heterogeneidade (CPRM, 2017).

Já a região de granitos e granulitos, na Figura 4, apresenta rochas com descontinuidades estruturais, isto é, deformadas e fraturadas na maioria das vezes. Este fato pode favorecer a circulação hídrica, possibilitando a existência de aquíferos. A presença de fraturas abertas pode gerar também a formação de planos de percolação favoráveis ao transporte de contaminantes. São características das rochas graníticas: moderado grau de coesão, de baixa a média porosidade e elevada resistência à compressão (CPRM, 2017).

A Tabela 12 apresenta os graus de vulnerabilidade de acordo com os tipos de rochas presentes na área do P. A. Sebastião Gomes

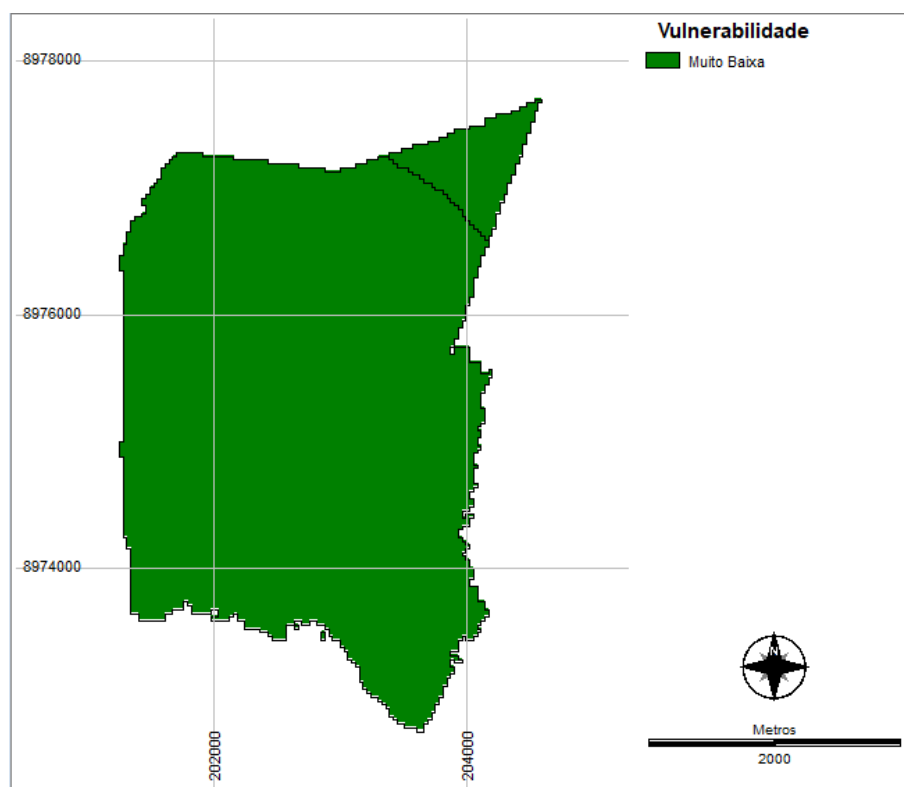
Tabela 12 - Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas

Classe	Tipos de Rochas	Grau de Vulnerabilidade
Ígneas	Granito, Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,15
Metamórficas	Migmatitos, Gnaisses	1,30

Fonte: Adaptado de Crepani et al, 2001.

De acordo com o mapa temático de geologia (Figura 5), é possível observar duas áreas com diferentes graus de vulnerabilidade para a geologia local. Há dois tipos diferentes de formações rochosas na área de estudo, uma área de classe de rochas metamórficas em que há predomínio de gnaisses, podendo conter porções migmáticas, cerca de 94,8% da área. E outra com rochas ígneas que apresenta complexos granitóides com rochas do tipo granito e granodioritos, em 5,2% da área, em torno de 56 hectares. Nesta última área foi necessário tirar uma média simples, visto que as rochas contidas neste espaço estavam divididas em duas classes diferentes da tabela original elaborada por Crepani et al., (2001).

Figura 5 – Mapa de Vulnerabilidade da Geologia



Fonte: Autor, 2017.

As rochas metamórficas contidas nesta área de estudo, com predomínio de gnaisses e migmatitos, são moderadamente a intensamente fraturadas com uma distribuição irregular dessas fraturas (CPRM, 2017). Já as rochas ígneas, com predomínio de complexos granitoides são pouco a moderadamente fraturadas, dessa forma a suscetibilidade ao intemperismo é reduzida (CPRM, 2017). Para Crepani et al. (2001), uma vez que haja o intemperismo e fragmente as rochas, desprezando-se a ação do vento e da precipitação, a atuação das forças de gravidade, para altos declives (> 100%) será suficiente para a movimentação desses fragmentos.

Diante de tudo o que foi exposto e por meio da análise do mapa e da tabela é possível averiguar que, para o indicador geologia, embora a área seja suscetível ao intemperismo por possuir característica fissural, a vulnerabilidade à denudação de uma forma geral é baixa estando entre 1,15 a 1,30, ou seja, as rochas presentes nesta área possuem estabilidade com relação a processos erosivos e intempéricos.

5.1.3 Solos

O tipo de solo encontrado em toda a área do P. A. Sebastião Gomes foi Argissolo vermelho amarelo (Anteriormente classificado como Podzólico vermelho-amarelo) (EMBRAPA, 2006). Este tipo de solo é não-hidromófico, com profundidades variadas e ampla variabilidade de classes texturais. Por conta disto, é possível desenvolver sérios problemas de erosão, acentuando-se com o aumento da declividade (EMBRAPA, 2017). Em casos de predomínio de solos com textura arenosa haverá contribuição para a atuação de processos erosivos mais intensos, segundo trabalho desenvolvido por Milanezi e Pereira (2016).

Por ser um solo distrófico, a fertilidade desse solo possui limitações sendo necessárias adubação e calagem para utilização agrícola, principalmente se estiverem em relevos ondulados a fortemente ondulados, como é o caso de algumas regiões da área do assentamento (EMBRAPA, 2017). Valle, Francelino e Pinheiro (2016), ao estudarem o fator vulnerabilidade para diferentes tipos de solo, perceberam que quanto mais jovens e pouco desenvolvidos os solos, mais seu grau de vulnerabilidade.

Para Shao et al. (2016), o indicador do solo é um fator essencial para análise de áreas propensas à erosão. No P. A. Sebastião Gomes foi encontrado o argissolo em toda a extensão, e este possui como classificação média vulnerabilidade (de acordo com a Tabela 6), apresentando suscetibilidade à erosão principalmente em relevos ondulados a fortemente

ondulados, devendo-se tomar devidas precauções ao manejar solos nestes locais para fins agrícolas. Melo et al. (2014), encontraram em seu trabalho, desenvolvido no Paraná, o predomínio de solos das classes latossolo e argissolo e atribuíram um baixo grau de vulnerabilidade para estas classes. Segundo os autores, isto se justifica por estes solos já serem mais desenvolvidos. Castro, Sousa e Torres (2016), também constataram que quanto mais desenvolvidos os solos, maior estabilidade, logo estes estarão associados a áreas de baixa vulnerabilidade.

A diferença de textura entre os horizontes A e Bt dificulta a infiltração da água e este fato favorece os processos erosivos (EMBRAPA, 2017). Além disso, associado a relevos com alta declividade e elevado índices pluviométricos pode haver perda de parte do horizonte A. Este fato empobreceria o solo, retirando sua camada de nutrientes e prejudicaria as culturas anuais (CALDERANO FILHO et al., 2014).

Como o projeto de assentamento é implantado com a finalidade de desenvolvimento de agricultura de subsistência, e ainda, por ser localizado na zona da mata uma região de altos índices pluviométricos, é necessário um alto rigor no manejo desse solo. Neste ponto, Milanezi e Pereira (2016), ao estudar a vulnerabilidade em uma microbacia, constataram que mesmo com solos mais propensos a processos erosivos, com o manejo adequado do solo, uma cobertura do solo vegetada e baixas declividades é possível que estes processos sejam minimizados.

5.1.4 Clima

Os dados pluviométricos foram adquiridos no site da Agência Nacional de Águas – ANA, por meio da plataforma HIDROWEB, e no site da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas – SEMARH. Para caracterizar o regime pluviométrico da área de estudo foi utilizado o posto com as características descritas na Tabela 13 e representado na Figura 5.

Tabela 13 - Características do Posto Pluviométrico de Flexeiras

Código	935001
Nome	Flexeiras
Bacia	Atlântico Norte/Nordeste
Estado	Alagoas
Município	Flexeiras
Responsável	SEMARH-AL
Operadora	SEMARH-AL
Latitude	9°17'0" S
Longitude	35°43'0" L
Período	1963-2001
Quantidade de Dados	409
Nível de Consistência	Dados Brutos

Fonte: Hidroweb/ANA, 2017.

Figura 6 - Localização do Posto Pluviométrico Flexeiras



Fonte: Autor, 2017.

O posto apresenta algumas falhas, dessa forma, foi necessária a utilização de outros postos para seu preenchimento. Com o intuito de verificar a homogeneidade das séries utilizadas para o preenchimento de falhas do posto de Flexeiras foi executada a análise de consistência para cada estação (Tabela 14), por meio do método da dupla massa. Dessa forma, pode-se perceber que todas as estações utilizadas estavam em uma região com

aproximadamente as mesmas características pluviométricas, de acordo com os valores encontrados por meio do coeficiente de correlação.

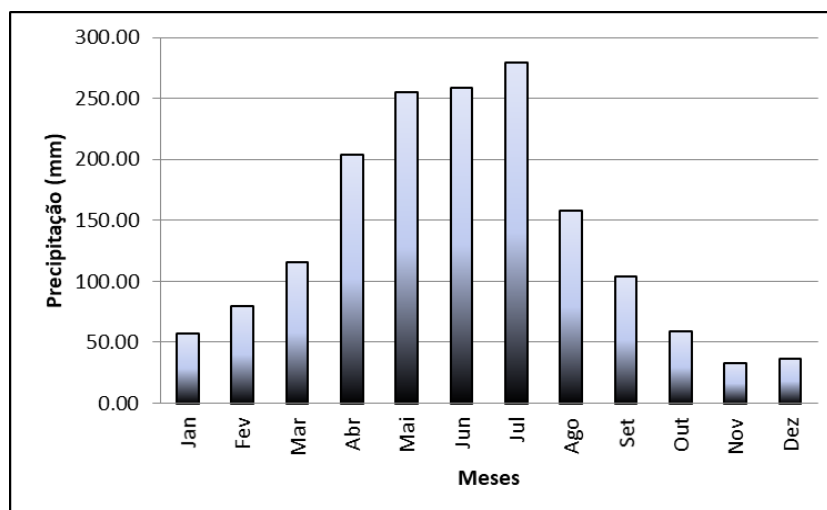
Tabela 14 - Postos utilizados para o preenchimento de falhas

Posto	Nome	Município	Latitude	Longitude	Anos da Série	Correlação com o Posto de Flexeiras (R ²)
935012	Murici-Ponte	Murici	-9,31	-35,95	1963-2015	0,9994
935056	Faz. Boa Fortuna	Rio Largo	-9,47	-35,86	1989-2015	0,9981
936112	São José da Laje	São José da Laje	-9,00	-36,05	1990-2015	0,9984
936113	União dos Palmares	União dos Palmares	-9,15	-36,04	1990-2015	0,9984
935025	São Luís do Quitunde	São Luís do Quitunde	-9,33	-35,55	1937-1987	0,9986

Fonte: Autor, 2017.

O P. A. Sebastião Gomes está situado em uma região de clima do tipo Tropical Chuvoso com verão seco (MMA, 2005). A precipitação média anual é de 1640 mm, com período chuvoso entre o outono e inverno (de abril a agosto) (Figura 7).

Figura 7 - Valores mensais de precipitação média do posto de Flexeiras, 1963-2017



Fonte: Autor, 2017.

A intensidade pluviométrica é uma característica importante de ser mensurada quando se avalia a erosividade (potencial da chuva em causar erosão), pois ela engloba duas outras características: quantidade de chuva e sazonalidade (CREPANI et al, 2001).

Para a classificação da vulnerabilidade do mapa de precipitação utilizou-se a intensidade pluviométrica. Para a região do P. A. Sebastião Gomes, a intensidade pluviométrica é de 328 mm/mês. Dessa forma, foi atribuído o grau de vulnerabilidade de 2,2 de acordo com a Tabela 7 desenvolvida por Crepani et al. (2001).

A região é caracterizada com distribuição anual desigual com altas concentrações de chuvas no outono e inverno com precipitações acima de 150 mm. Segundo Nguyen et al. (2016), áreas associadas a altas taxas de precipitação são mais propensas a deslizamento de terras, e este fato pode interferir, inclusive na fertilidade do solo, pois os nutrientes são carregados pela enxurrada.

A situação pluviométrica da área de estudo quando analisada isoladamente apresenta uma vulnerabilidade alta, e esta situação pode ser agravada quando este indicador for analisado junto com altas declividades e solo descobertos, ou baixo percentuais de cobertura vegetal. Calderano Filho et al. (2014), evidencia a alta tendência a erosão de solos quando de associa elevadas precipitações a altas declividades.

O solo desta região é sensível ao manejo agrícola, estando mais suscetível à erosão caso não seja aplicada uma técnica adequada, principalmente em períodos com maiores intensidades de chuvas. Garófalo e Ferreira (2015), ratificam esta afirmativa em seu trabalho destacando que áreas com baixa densidade de vegetação e altos índices pluviométricos são mais suscetíveis a ocorrência de escorregamentos.

O mapa da vulnerabilidade da precipitação não foi representado por conter apenas um valor de superfície contínua para toda a área de estudo.

5.1.5 Uso e Ocupação do Solo

Os três períodos verificados para a construção dos cenários estão representados nas Figuras 07, 08 e 09, com as imagens de satélite de 1996, 2007 e 2017, respectivamente.

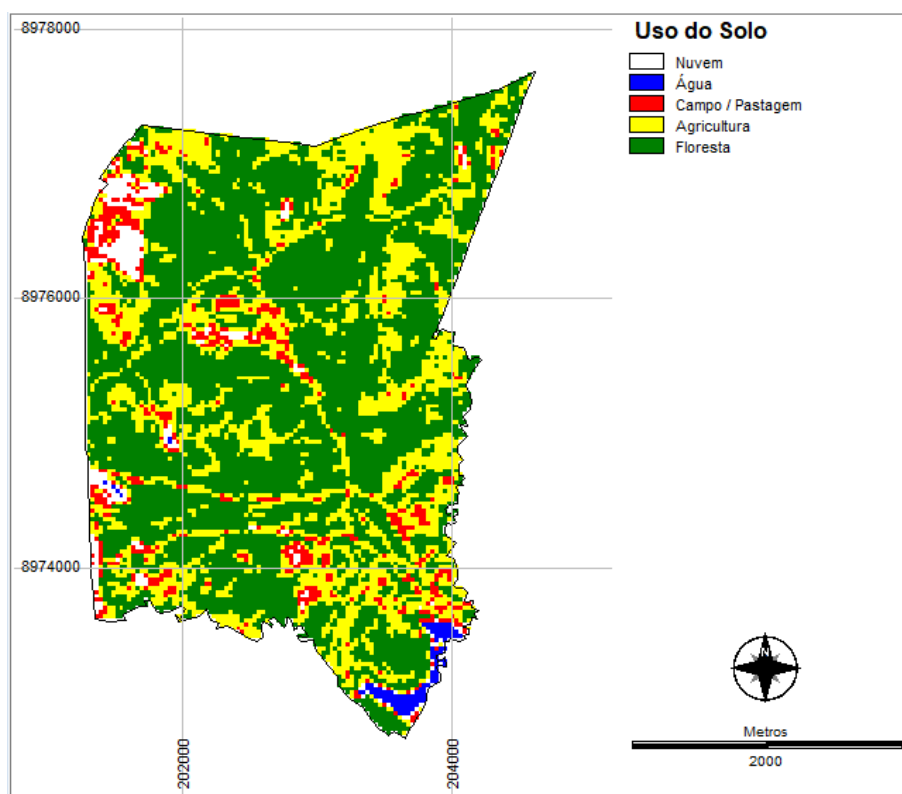
Os mapas de NDVI construídos a partir das imagens foram reclassificados para melhor representação das diferentes densidades da vegetação. A divisão foi feita por meio de cinco classes que podem ser verificadas na Tabela 15. Este processo resultou na elaboração dos mapas de Índices de Cobertura Vegetal do P. A. Sebastião Gomes (Figuras 8, 9 e 10).

Tabela 15 - Classes dos Índices de Vegetação

Escala de Cores	Classe do Índice de Vegetação	Densidade da Vegetação	Característica da Vegetação	Uso do Solo
	-1,0 – 0	Nenhuma	Água / Sombra	Água
	0 – 0,25	Muito Baixa	Nuvens	-
	0,25 – 0,40	Baixa	Vegetação Rasteira	Campo / Pastagem
	0,40 – 0,55	Média	Vegetação Esparsa	Agricultura
	0,55 – 1,0	Alta	Vegetação Densa	Floresta

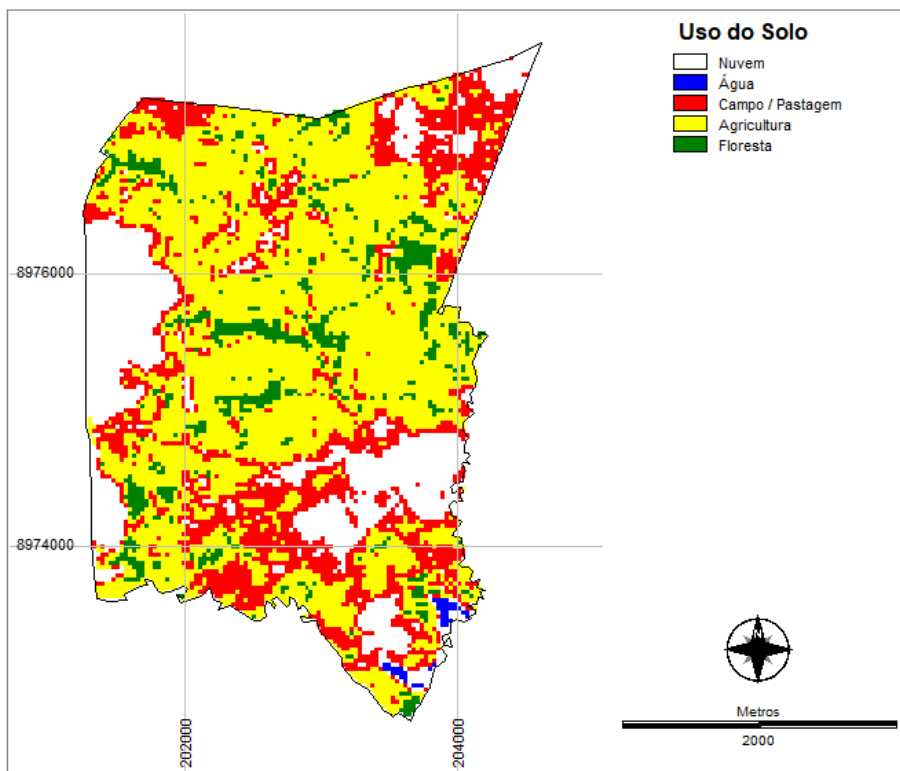
Fonte: Adaptada de Demarchi; Piroli;Zimback, 2011; Lima, 2014.

Figura 8 - Vegetação do P. A. Sebastião Gomes em 1996



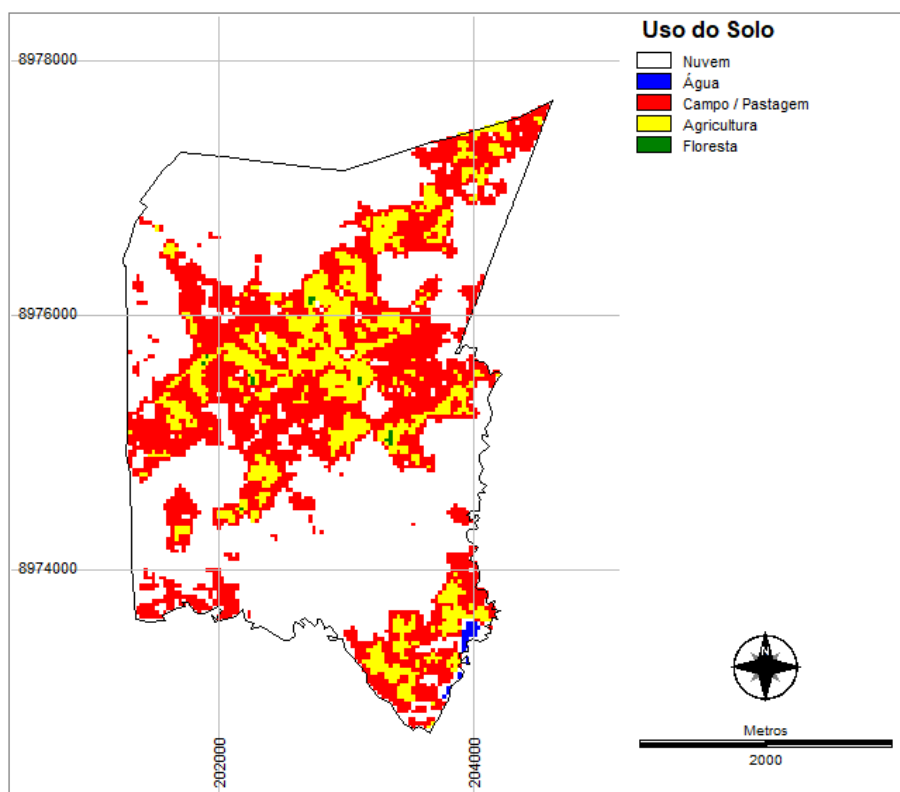
Fonte: Autor, 2017.

Figura 9 - Vegetação do P. A. Sebastião Gomes em 2007



Fonte: Autor, 2017.

Figura 10 - Vegetação do P. A. Sebastião Gomes em 2017



Fonte: Autor, 2017.

Como pode ser observado na análise das Figuras 8, 9 e 10, a cobertura vegetal passou por modificações ao longo dos anos, de acordo com o NDVI estabelecido para os anos de 1996, 2007 (ano da implantação do assentamento) e 2017.

O ano de 1996 foi o que apresentou áreas com índices de alta densidade de vegetação. Ainda analisando este cenário, foi possível verificar que há uma mancha d'água de cerca de 10 ha na ponta inferior direita do assentamento, porém os cursos d'água existentes ao longo do assentamento não foram identificados por meio da imagem de satélite e esta situação permanece para os três cenários.

Para o ano de 2007, houve uma redução na densidade da vegetação em comparação como o ano de 1996. Não foi possível analisar as condições legais e ambientais da área no ano da implantação do assentamento (2007), pois não há registro no banco de dados do INCRA, nem no banco de dados do IMA/AL acerca de Termo de Referência espedido para fim de licenciamento. Foi consultado o banco de dados do sistema Cerberus (IMA/AL) e não houve registros de processos de licenciamento ou fiscalização vinculados ao P. A. Sebastião Gomes. Assim como no INCRA, buscou-se informações das condições do assentamento no período de sua implantação e documentação acerca do processo de licenciamento e o órgão não possuía registro acerca destes dados. Desta forma, é possível apenas inferir acerca do que é encontrado nas imagens de satélite, porém sem maiores detalhamentos.

O cenário atual, 2017 (Figura 10), mostra que a intensificação do uso do solo foi acentuada com a implantação do P. A. Sebastião Gomes, pois a densidade da vegetação foi reduzida e já quase não há presença de vegetação de alta densidade. Com isso, as áreas de vegetação rasteira e esparsa foram aumentadas, isto se justifica pela prática de culturas agrícolas e criação de animais.

A área de estudo é essencialmente agrícola, visto que a finalidade da implantação do projeto de assentamento é justamente de subsistência das famílias contempladas. Desta forma, pode-se perceber pela análise dos mapas elaborados a partir do NDVI que, de 1996 para 2017 o cenário foi modificado por transformações ocorridas pela intensificação do uso do solo. Uma análise mais aprofundada é necessária para verificar se esta intensificação está desenvolvendo prejuízos ambientais para a área de estudo.

O uso intensivo do solo, sem que haja um manejo adequado e a exploração de áreas destinadas para tal pode ocasionar problemas, como erosão, por exemplo. De acordo com Valle, Francelino e Pinheiro (2016), a cobertura vegetal densa é capaz de reduzir as chances de ocorrência de processos erosivos. Isto porque a vegetação auxilia no processo de infiltração da água da chuva no solo e conseqüentemente reduz o escoamento superficial.

Foram feitas visitas com a finalidade de verificar os usos da terra no P. A. Sebastião Gomes (Figura 11), e discutir acerca de algumas questões relacionadas aos impactos ambientais.

Figura 11 - Vista do alto de uma parte do P. A. Sebastião Gomes



Fonte: Autor, 2017.

Em relação às áreas de proteção (Figuras 12 e 13), foi possível notar que, embora tenham conhecimento da existência dessas áreas, nem todos os moradores sabem exatamente onde elas são localizadas. Porém, é de conhecimento de todos os assentados que estas áreas não podem ter sua vegetação suprimida. Ainda assim, há relatos de desmatamento e queimadas em algumas das áreas de proteção. Isso se justifica, pelo fato de alguns moradores estarem insatisfeitos com o tamanho dos lotes (5,5 ha) e desejarem ampliar sua área de criação ou cultivo. Foi relatado, em conversa com um dos moradores, que todo ano tem queimadas e que alguns moradores se mobilizam para apagar o fogo e posteriormente fazer o reflorestamento de algumas destas áreas. Nos períodos da visita não haviam áreas queimadas, por conta disso não há registros fotográficos.

Figura 12 - Trecho do Rio Bandeira com presença de Mata Ciliar



Fonte: Autor, 2017.

Figura 13 - Trecho do Rio Jitituba com presença de Mata Ciliar em uma das margens



Fonte: Autor, 2017.

Acerca das questões relacionadas ao uso do solo foi relatado que a maior parte dos lotes são utilizados para o desenvolvimento de agricultura e apenas alguns poucos assentados criam animais como galinha, porcos e gados. A baixa atividade relacionada à pecuária foi justificada pelo tamanho do lote (5,5 ha) considerado pequeno para tal atividade. Há ainda, lotes sem produtividade alguma, em que os donos não moram no projeto de assentamento e

deixam apenas alguém responsável por cuidar do lote, a fim de que ele não seja tomado por outra pessoa.

O desenvolvimento da agricultura de subsistência do assentamento é marcado, principalmente, pelas culturas de milho (Figura 14), coentro, banana (Figura 15), macaxeira (Figura 16), batata, abacate, laranja, limão, goiaba, manga, abacaxi (Figura 17) e hortaliças.

Figura 14 - Cultivo de Milho



Fonte: Autor, 2017.

Figura 15 - Plantação de Banana



Fonte: Autor, 2017.

Figura 16 - Cultivo de Macaxeira



Fonte: Autor, 2017.

Figura 17 - Plantação de Abacaxi



Fonte: Autor, 2017.

Alguns agricultores utilizam bombeamento para alimentar o sistema de irrigação para cultivo de diversas culturas (Figura 18). Há também a utilização de bombas para o abastecimento das residências localizadas nas Agrovilas para o fim de uso pessoal e cultivo de hortas e jardins ao redor das casas.

Figura 18 - Cultura irrigada de coentro



Fonte: Autor, 2017.

Há ainda muitos lotes sem cultivo ou prática criatória que não estão cumprindo a sua função social, a de subsistência da família contemplada (Figura 19).

Figura 19 - Vista do alto com lotes sem produção



Fonte: Autor, 2017.

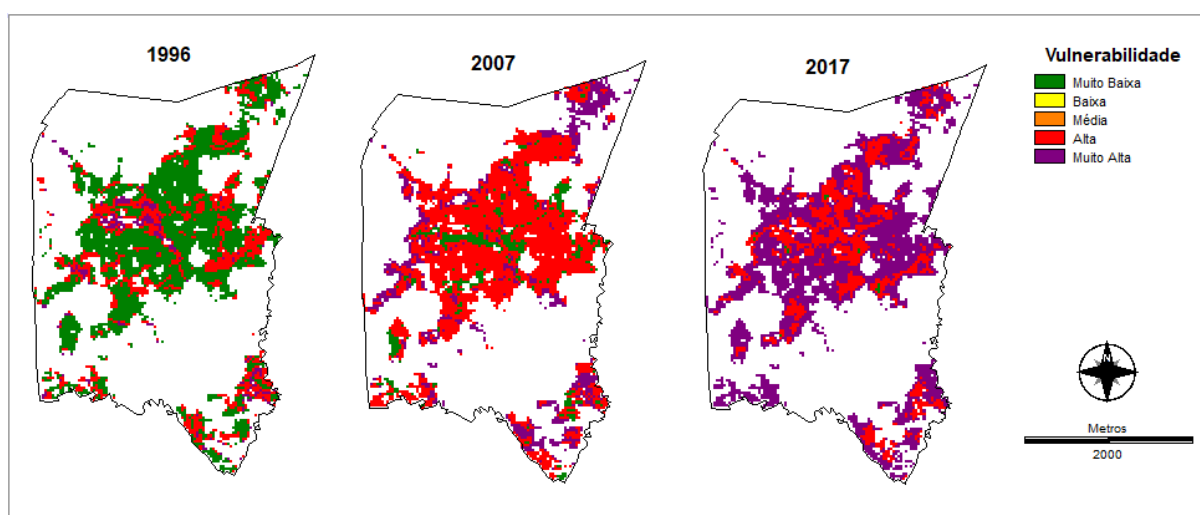
Por meio dos mapas de uso e ocupação do solo elaborados a partir das imagens de satélite foi possível classificar as áreas de acordo com o grau de vulnerabilidade associado à cada uso. As áreas classificadas como água e nuvens não entraram na classificação da

vulnerabilidade, visto que nenhum destes elementos afetam diretamente no desenvolvimento de processo erosivos no solo.

O P. A. Sebastião Gomes de uma forma geral apresentou três usos diferentes, florestas, agricultura e áreas com campo abertos classificados também como pastagens. Dessa forma, a vulnerabilidade na área de estudo varia de muito baixa a muito alta.

Para uma melhor análise da mudança do solo e o impacto dessa ação na vulnerabilidade da área, as imagens foram processadas extraíndo-se as áreas com nuvens. Dessa forma, pode-se estimar a mudança ao longo dos anos e comparar os três cenários sob o mesmo aspecto (Figura 20).

Figura 20 - Mapa de Vulnerabilidade do Uso do Solo para os 3 cenários



As nuvens foram extraídas para melhor interpretação das imagens.

Fonte: Autor, 2018.

A Tabela 16 especifica as áreas associadas a cada grau de vulnerabilidade e contabiliza a mudança dos cenários em termos percentuais.

Tabela 16 – Resumo quantitativo da vulnerabilidade para Usos do Solo

Ano	Característica da Vegetação	Vulnerabilidade	% da Área sem Nuvens
1996	Campo / Pastagem	2,8	2,04
	Agricultura	2,5	11,63
	Floresta	1,0	25,16
2007	Campo / Pastagem	2,8	7,92
	Agricultura	2,5	26,74
	Floresta	1,0	4,14
2017	Campo / Pastagem	2,8	28,0
	Agricultura	2,5	11,04
	Floresta	1,0	0,14

Fonte: Autor, 2018.

Em 1996, é possível notar que havia uma grande área coberta com uma vegetação mais densa, o que incorre a uma maior proteção do solo, reduzindo o grau de vulnerabilidade na área de estudo. Segundo Melo et al. (2014), o tipo de vegetação é tão importante para a proteção do solo, que caso ele seja suscetível a erosão, o tipo de vegetação que o recobre, ou a ausência dela, aumentará ou reduzirá esse fator. Santos, Ruchkys e Gomes (2014) ratificam essa situação afirmando que com a intensa pressão antrópica, inclusive para a formação de pastagens, o fator proteção do solo, apresentado no mapa de vulnerabilidade natural, é reduzido.

O ano de 2007 ilustra a afirmação anterior. A redução da área vegetada em relação ao cenário anterior foi de cerca de 20%, modificando os usos para agricultura e pastagem em locais onde haviam áreas florestadas, aumentando dessa forma, o grau de vulnerabilidade nestas áreas. Isto pode levar a consequências devastadoras no ambiente, como é disposto no trabalho desenvolvido por Garófalo e Ferreira (2015). Estes autores relataram que as áreas de maior suscetibilidade a ravinas, encontradas em seu trabalho, estavam associadas ao uso do solo agropastoril entremeado por fragmentos florestais e com a declividade variando de cerca de 20% a 40%.

No cenário atual, a situação é ainda mais delicada pois há apenas fragmentos de floresta, a área quase que em sua totalidade foi desmatada, restando menos de 1% de vegetação densa. O grau de vulnerabilidade atual para o indicador usos do solo varia de 1,0 (muito baixo) para 2,8 (muito alto). Novamente, o que acontece é a intensificação do uso do

solo para agricultura e pastoreio, visto que, a área de estudo é um projeto de assentamento em que o principal objetivo é a agricultura de subsistência. O uso econômico do solo requer técnicas especiais de manejo, visto que quando há processos modificadores do solo para o cultivo o solo fica mais propenso a processos erosivos (MILANEZI; PEREIRA, 2016). Ainda, segundo estes autores, o uso destas áreas devem estar ligados a atividades que não desprotejam ou impermeabilizem o solo. Além disso, é necessário estar atento ao gradiente de declividade para evitar atuação de processos erosivos.

No trabalho desenvolvido por Valle, Francelino e Pinheiro (2016), áreas agrícolas e de pastagens são representadas em sua maior parte por um alto grau de vulnerabilidade. Nguyen et al. (2016) encontraram resultado semelhante em seu trabalho, onde os índices de alta vulnerabilidade estavam associados as áreas agrícolas, solo exposto, e florestas plantadas. Shao et al. (2016) corroboram com este resultado, eles encontraram alta vulnerabilidade em áreas com gramas e arbustos esparsos.

A presença de muitas nuvens interferiu na interpretação da imagem em algumas áreas. Porém, mesmo com este agravo foi possível notar que boa parte da área é campo ou pastagem, e isto foi confirmado com as visitas feitas ao local, onde é possível notar que boa parte dos lotes não estão em processo de produção, nem para agricultura nem para pastagem.

Não houve regiões com solos descobertos na região. Há apenas uma pequena parcela de terra em que foi retirado material para a construção das estradas, mas esta parcela está em uma região embaixo das nuvens, por isso não foi possível detectar (Figura 21). E ainda, ela é separada como reserva, não pertence ao lote de nenhum dos assentados.

Figura 21 - Parcela de terra com solo exposto

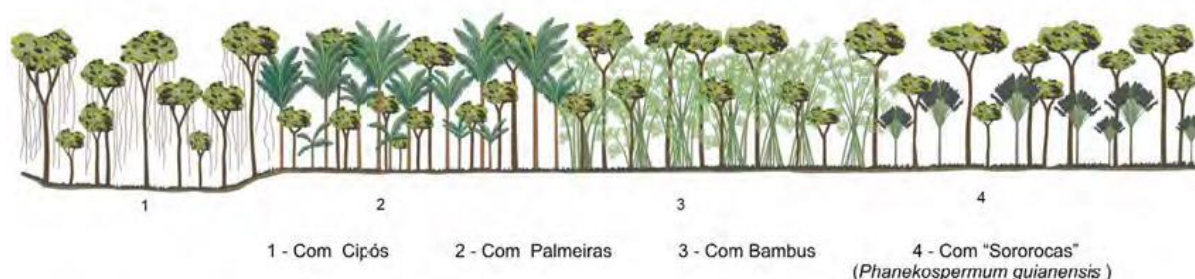


Fonte: Autor, 2018.

5.1.6 Áreas de Proteção Permanente e Reserva Legal

A cobertura vegetal original da área de estudo é Floresta Ombrófila Aberta (Figura 22), apresentando, portanto, fisionomia florestal com árvores mais espaçadas e menos densas. É característica de regiões úmidas com períodos secos de 2 a 4 meses e temperatura variando entre 24°C e 25°C (IBGE, 2017; MMA, 2017).

Figura 22 - Representação da vegetação na Floresta Ombrófila Aberta



Fonte: IBGE, 2017.

No P. A. Sebastião Gomes, atualmente, não há uniformidade da cobertura vegetal, possuindo apenas alguns fragmentos de floresta, visto que a área é essencialmente agrícola. Nos fragmentos reservados para a proteção ambiental é possível notar uma uniformidade maior, porém nem sempre em toda a sua extensão. Um dos fatores que pode ocasionar essa fragmentação das áreas de proteção é a frequência com que são provocadas queimadas na região. Cunha, Bacani e Ayach (2013) também se depararam com este problema sendo o motivo principal das queimadas, pequenos agricultores assentados utilizando-a para limpeza da área e preparo para fins agrícolas. O problema maior é que este fato pode ocasionar a perda de controle e queimar áreas maiores do que o esperado. Além disso, ainda segundo esses autores, o processo de queimadas elimina matéria orgânica deixando o solo desprotegido. E ainda, há o risco de mudança na taxa de infiltração tornando o solo mais impermeável o que acarretaria aumento do escoamento superficial e consequentemente aumentando as chances de ocorrência de processos erosivos.

Devido ao tempo que a vegetação leva para se recompor completamente e às queimadas que ocorrem anualmente na área é difícil se obter uma área de APP/RL essencialmente florestal. A esse respeito, alguns moradores do assentamento buscam fazer o reflorestamento destas áreas impactadas, porém o período é muito curto para recomposição total da vegetação.

A caracterização das áreas de APP e RL foi feita juntamente, visto que algumas áreas de APP foram contabilizadas na RL, totalizando cinco áreas de tamanhos e origens diversas (Tabela 17).

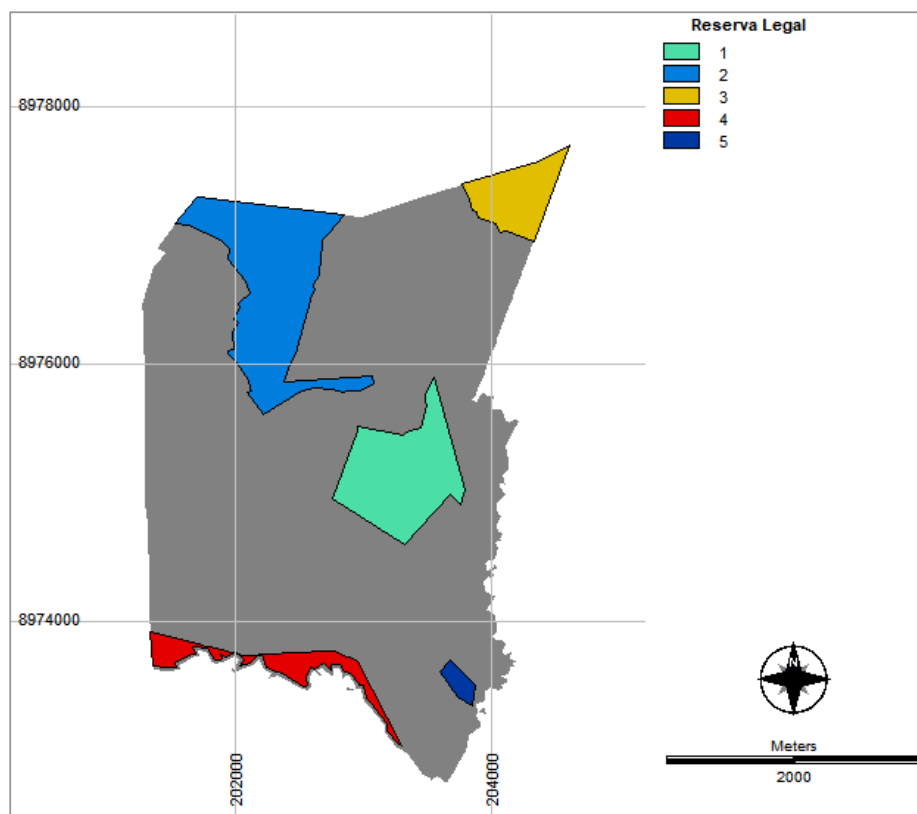
Tabela 17 – Resumo quantitativo da APP/RL no P. A. Sebastião Gomes

Nº da APP/RL	Área da APP/RL (ha)	% da Área Total
1	70,21	6,70
2	102,44	9,78
3	31,92	3,04
4	30,23	2,89
5	7,02	0,67
TOTAL	241,82	23,08

Fonte: Autor, 2017.

A Figura 23 apresenta a localização destas áreas dentro do projeto de assentamento. Além disso, há áreas também ao entorno dos corpos d'água que foram discutidas separadamente a fim de não interferirem na contabilização do percentual de RL.

Figura 23 - Áreas de APP/RL do P. A. Sebastião Gomes



Fonte: Autor, 2017.

As áreas de APP (topo de morro e uma parte da mata ciliar) destinadas à RL, contabilizam pouco mais de 20% do total da área do P. A. Sebastião Gomes. A área 2 no mapa, é uma APP de topo de morro (Figura 24) e, sozinha, possui 102,44 ha.

Figura 24 - APP de topo de morro



Fonte: Autor, 2017.

Ainda sobre a APP 1 é possível observar que a vegetação é bem esparsa e não há ainda vegetação de alto porte na área, pois as queimadas não permitem sua recomposição (Figura 25). As áreas de preservação permanente possuem função ambiental, ou seja, elas devem ter sua vegetação recomposta pois esta garantirá a preservação dos recursos hídrico, a biodiversidade, o fluxo de fauna e flora e ainda, a estabilidade geológica, para que sejam contidos processos erosivos (SENADO FEDERAL, 2018).

Assis et al. (2017) atestam a necessidade de medidas de conservação para a recomposição vegetal para compensar a inclinação do relevo e evitar erosão. Valle, Francelino e Pinheiro (2016) também afirmam que a cobertura vegetal oferece proteção às áreas de alto potencial natural à erosão, mesmo que este fator seja causado pela alta declividade ou até mesmo pelo tipo de solo. Dessa forma, é necessário um maior esforço por parte de todos os assentados para regularizar a situação das APP's do assentamento, a fim de serem evitados maiores impactos.

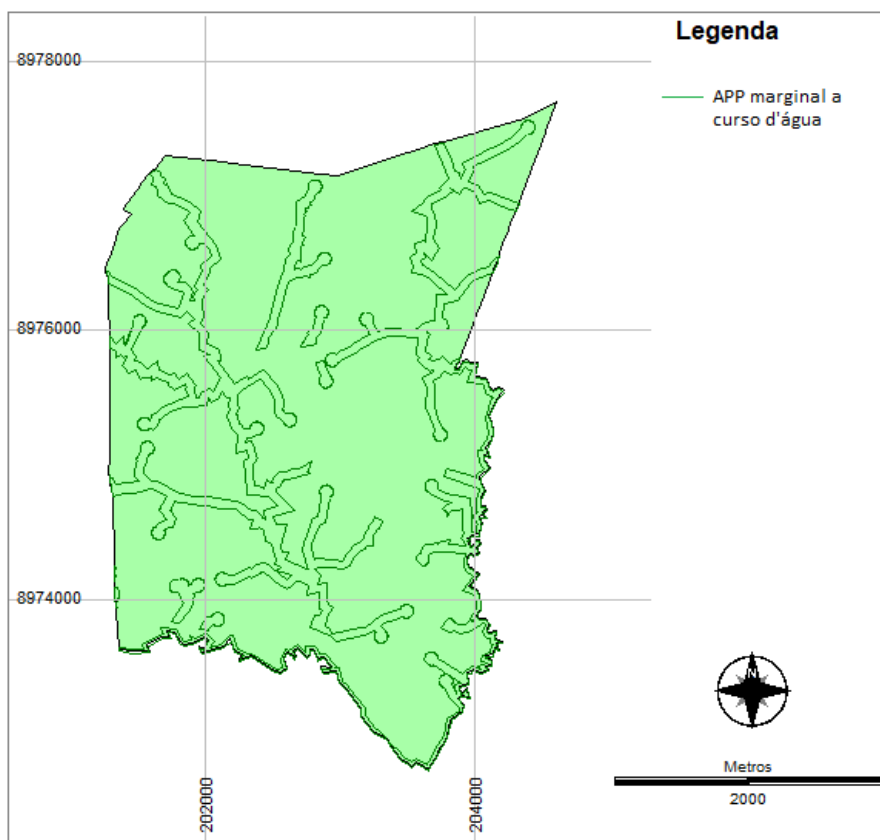
Figura 25 - APP/RL com vegetação em recomposição



Fonte: Autor, 2017.

As APP marginais a cursos d'água ou ao entorno de nascentes (Figura 26) foram mapeadas separadamente, visto que estas não são contabilizadas no percentual da RL. Estas APPs deveriam ter uma faixa marginal de 30m em cada lado do leito de acordo com o Código Florestal (Lei 12.651/2012).

Figura 26 - APPs marginal a curso d'água



Fonte: Autor, 2017.

Porém ao longo do assentamento é possível observar que não há uniformidade dessa faixa ao longo dos cursos d'água. Em alguns trechos é possível observar que os lotes margeiam o curso d'água e há até moradias (Figura 27). Rezende, Kaizer e Peixoto (2018) chamam a atenção para o risco de contaminação de corpos d'água por meio da agricultura irrigada, pois o uso de agrotóxicos e fertilizantes acabam retornando para o corpo hídrico por meio de lixiviação, caso não haja proteção nas margens.

De acordo com Milanezi e Pereira (2016) é importante a recomposição vegetal ao redor de corpos hídricos, pois elas são mais instáveis e passíveis de impactos. Para Cunha, Bacani e Ayach (2013) a ausência de mata ciliar representa a possibilidade de contaminação dos cursos d'água por meio da inserção de sedimentos, contribuindo com processos erosivos e assoreamento. Dessa forma, os autores destacam a importância de cercar e reflorestar as margens dos córregos e entorno de nascentes com árvores nativas da região.

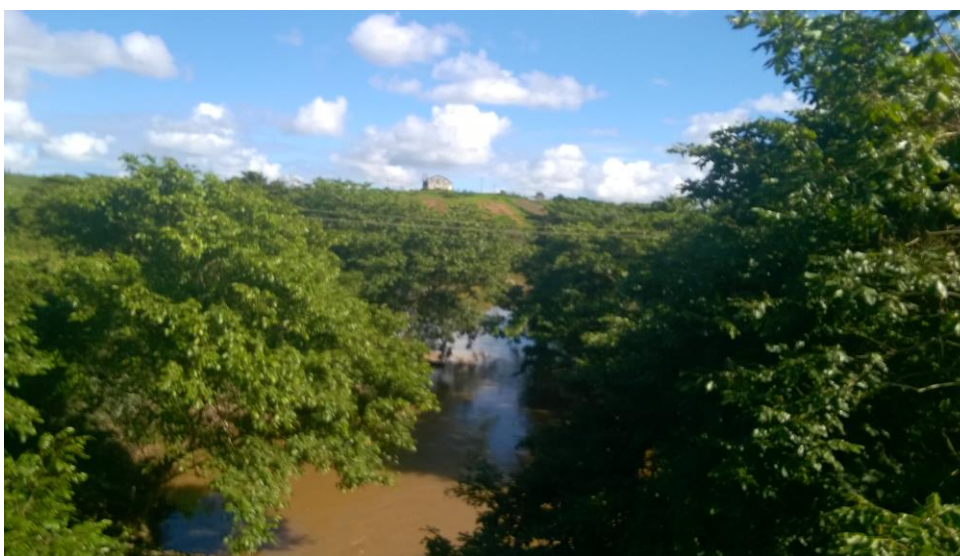
Figura 27 - Trecho do rio Bandeira, APP em desconformidade com a norma



Fonte: Autor, 2017.

A APP ao longo de um trecho do rio Jitituba, logo na entrada do P. A. Sebastião Gomes, está com a vegetação bem conservada em suas margens (Figura 28).

Figura 28 - Mata ciliar em um trecho do rio Jitituba



Fonte: Autor, 2017.

Já em uma parte central do assentamento, é possível verificar que há cerca ao lado do curso d'água indicando marcação de lote (Figura 29).

Figura 29 - Curso d'água dentro do P. A. Sebastião Gomes

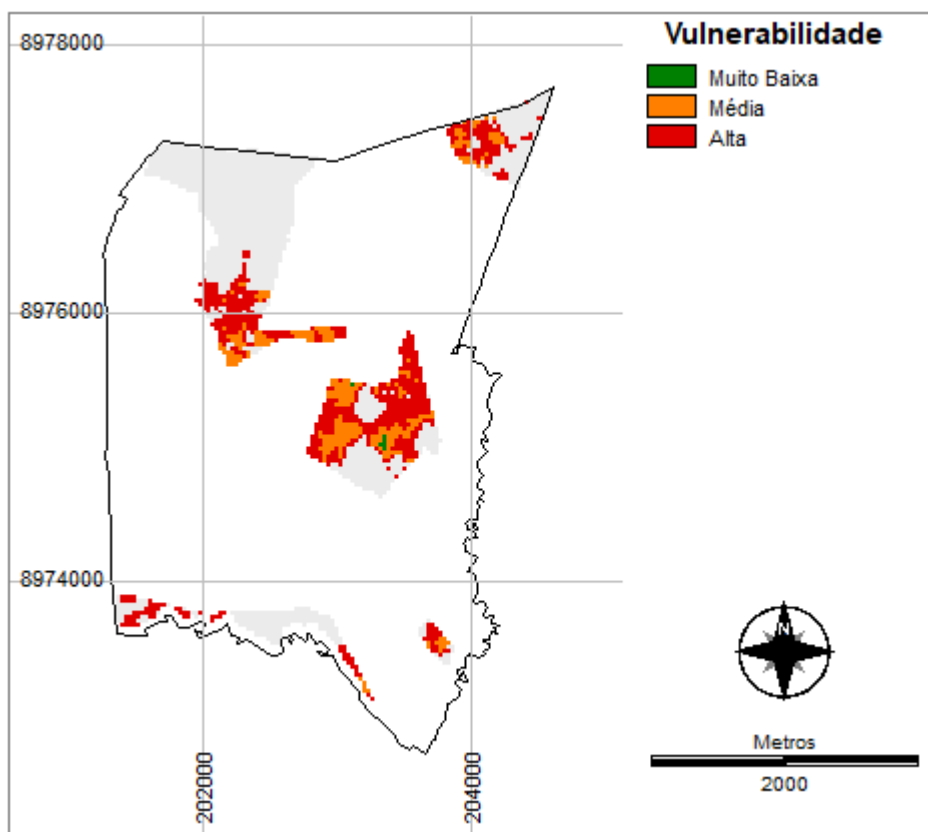


Fonte: Autor, 2017.

As áreas de APP/RL no P. A. Sebastião Gomes estão bastante impactadas, há apenas pequenos fragmentos de florestas. A maior parte da vegetação foi suprimida para utilização da terra para fins agrícolas ou para criação de animais. Há ações, atualmente, no assentamento para revitalizar estas áreas. Porém, mesmo com todo o esforço de alguns moradores a área continua com pouca vegetação. Segundo Assis et al. (2017), áreas que sofrem supressão de vegetação necessitam de medidas mitigadoras a fim de reduzir o potencial da vulnerabilidade nestas áreas.

A Figura 30 demonstra que a maior parte da reserva tem vegetação rasteira ou esparsa, portanto, apresentando vulnerabilidade média e alta e uns pequenos fragmentos de vegetação densa na RL do centro da área. Esta, foi de fato a área em que os moradores comentaram ser a parte mais conservada no projeto de assentamento. Não foi possível analisar estas áreas em termos percentuais, pois a quantidade de nuvens iria mascarar o resultado verdadeiro.

Figura 30 - Vulnerabilidade das áreas de APP/RL



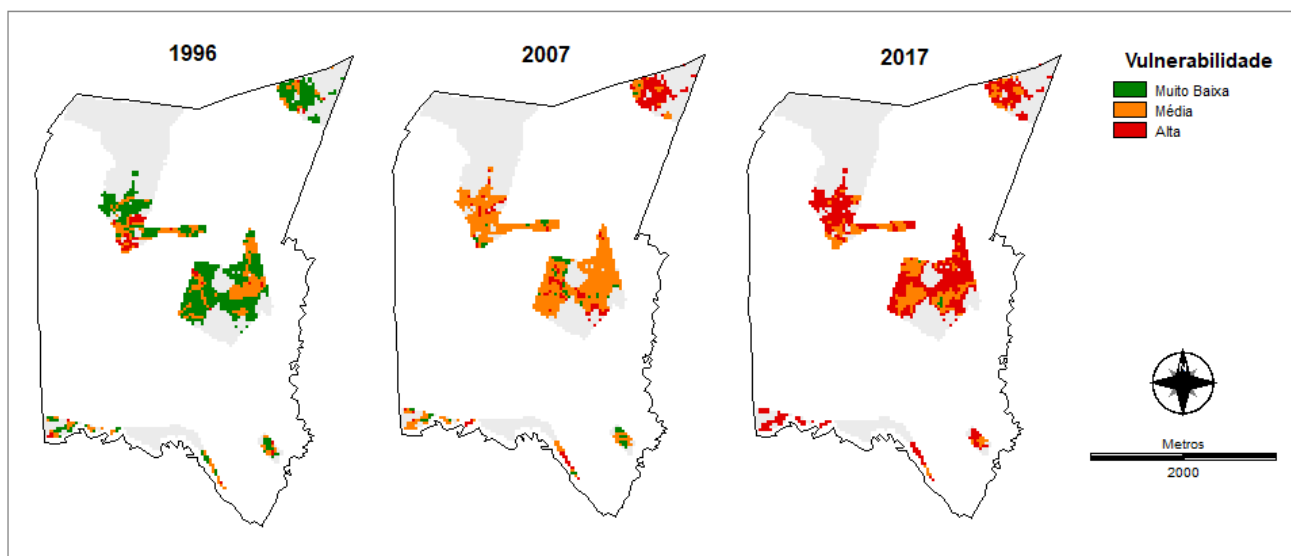
Fonte: Autor, 2018.

As visitas de campo permitiram verificar que o P. A. Sebastião Gomes não está totalmente em conformidade com a Lei nº 12.651/2012. Embora, as áreas de proteção estejam separadas como reserva, sua vegetação foi suprimida. De acordo com o Art. 7º, §1º da referida lei, tendo ocorrido a supressão, o proprietário da área é obrigado a promover a recomposição da vegetação. No caso da área de estudo, é responsabilidade de todos os proprietários, visto que é uma área comum.

Como algumas destas áreas são de morro, o risco de erosão é maior, principalmente caso haja queimadas, como foi relatado em visita ao assentamento. Alguns moradores estão se mobilizando para fazer o reflorestamento em algumas das áreas de APP. Com a recomposição da vegetação o grau de vulnerabilidade será reduzido, diminuindo o risco de erosão.

Análogo ao item anterior, foram retiradas as nuvens e analisado os três cenários (Figura 31). É importante ressaltar que nos anos de 1996 e 2007 as áreas destacadas ainda não eram reservas, foram postas de tal forma aqui apenas para histórico da vegetação onde hoje é área de RL.

Figura 31 - Mapa da Vulnerabilidade da APP/RL para os 3 cenários



Fonte: Autor, 2018.

É possível notar que em 1996 as áreas de destaque eram em sua maior parte vegetação densa e portanto possuíam um grau de vulnerabilidade muito baixo. Porém, com o passar dos anos a paisagem foi alterada e atualmente a maior parte da área de reserva possui um grau de vulnerabilidade alto. Nguyen et al. (2016) enfatizam a necessidade de políticas públicas de proteção ecológica em áreas de alta vulnerabilidade e gestão social para melhorar os hábitos de vida e a maneira de utilizar os recursos pela população.

Na Tabela 18 são representados os valores em termos percentuais da densidade da vegetação e do grau de vulnerabilidade a ela relacionado. Estes valores percentuais são referentes apenas às áreas de APP/RL e não da área total do assentamento. Nota-se que a vegetação densa foi quase que totalmente suprimida, restando apenas 0,22%.

Tabela 18 - Resumo quantitativo da vulnerabilidade para APP/RL

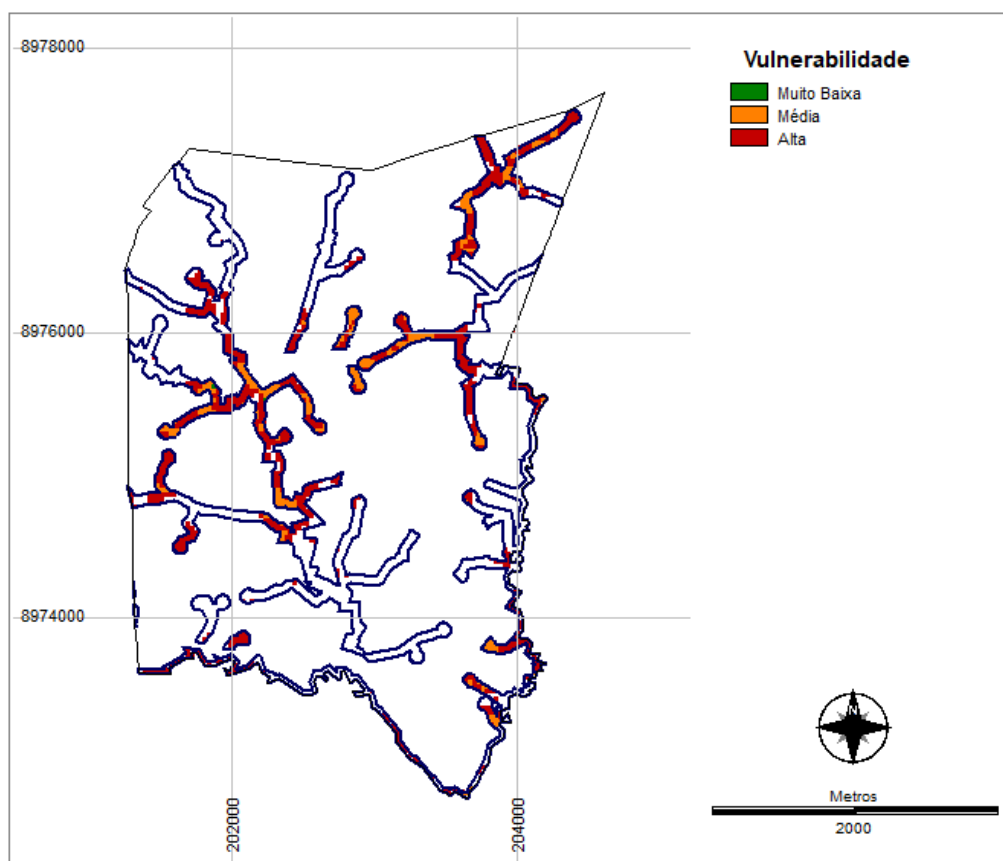
Ano	Densidade da Vegetação	Vulnerabilidade	% da Área sem Nuvens
1996	Densa	1,0	24,23
	Esparsa	2,0	11,61
	Rala	2,5	2,27
2007	Densa	1,0	2,79
	Esparsa	2,0	27,99
	Rala	2,5	7,41
2017	Densa	1,0	0,22
	Esparsa	2,0	11,50
	Rala	2,5	26,46

Fonte: Autor, 2018.

As áreas de APP ao entorno dos corpos hídricos também estão comprometidas, pois não há uma continuidade da mata ciliar, estando alguns lotes vizinhos aos cursos d'água. Há também um projeto para recomposição desse tipo de vegetação no assentamento, principalmente ao redor das nascentes. Porém, o que se vê é que a maior parte dos cursos d'água estão desprotegidos, estando sujeitos a erosão do solo nas adjacências e consequente assoreamento em seus leitos. Para Rezende, Kaizer e Peixoto (2018), a retirada da mata ciliar aumenta a vulnerabilidade das margens dos rios, principalmente quando há atividade de pecuária, pois interfere na estabilidade das margens por meio do pisoteio de animais. Cunha, Bacani e Ayach (2013) corroboram com esta afirmação, para eles, a introdução de pastagens ao longo das margens dos rios é um fator de peso no aumento da vulnerabilidade.

A cobertura vegetal é essencial para redução do risco de processos erosivos ao longo das margens dos cursos d'água, ela serve também como proteção para evitar que todo tipo de material seja carregado para dentro dos rios, inclusive reduzindo o risco de assoreamento de suas margens. De acordo com a Figura 32, ao longo de alguns cursos d'água a vulnerabilidade é alta, indicando que há pouca vegetação para a proteção dos mananciais, este fato pode afetar tanto na qualidade quanto na quantidade deste recurso. Não foi possível contabilizar em termos percentuais a área impactada, pois as partes em branco ao longo das APPs representa interferência de nuvens, dessa forma não seria possível obter um valor real do impacto.

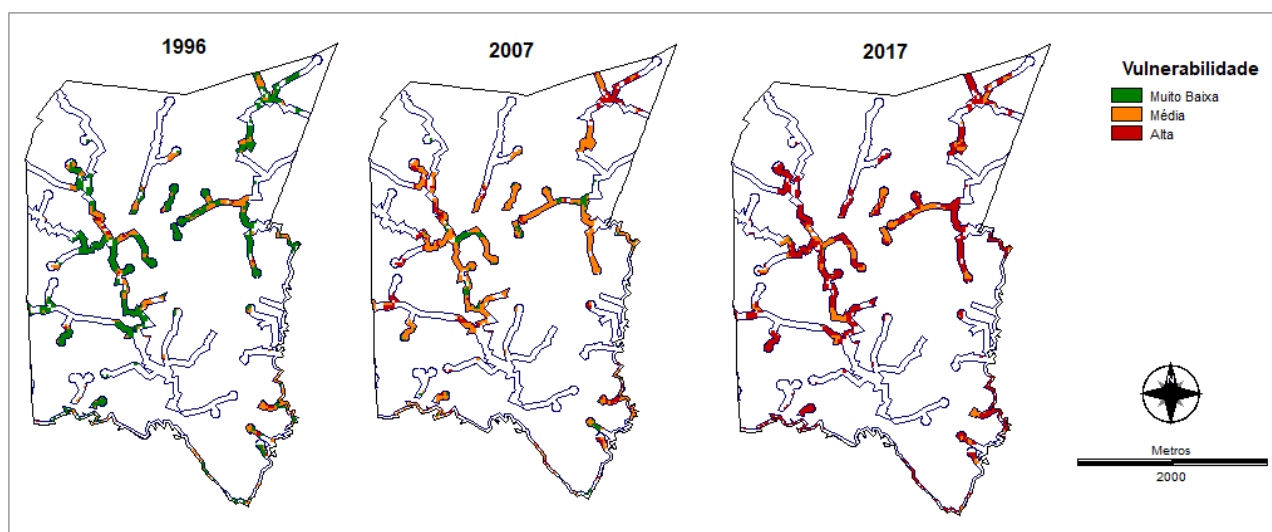
Figura 32 - Vulnerabilidade das áreas de APP ao entorno dos corpos hídricos



Fonte: Autor, 2018.

Por meio da Figura 33 é possível notar que a vulnerabilidade ao longo das APPs de rio foi modificada com o passar dos anos, mostrando-se um cenário atual pessimista. Estes cenários foram montados extraindo-se as nuvens, como nas etapas anteriores.

Figura 33 - Mapa da Vulnerabilidade da APP de cursos d'água para os 3 cenários



Fonte: Autor, 2018.

Observa-se que em 1996 a maior parte da área está em verde, indicando um grau de vulnerabilidade muito baixo. Em 2007, o cenário é modificado e a vulnerabilidade aumenta de muito baixa para média. Já em 2017, a situação torna-se ainda pior, pois a vegetação de maior densidade que deveria proteger os cursos d'água já é quase inexistente, resistindo apenas alguns fragmentos e por conta disso este cenário possui um alto grau de vulnerabilidade. Como há um projeto para revitalização da mata ciliar sendo desenvolvido por alguns moradores do assentamento, é possível que este cenário mude para melhor daqui há uns anos, caso haja a recomposição vegetal e conservação da mesma.

5.2 Mapas de Vulnerabilidade Natural e Ambiental

Os mapas de vulnerabilidade natural e ambiental são resultados da situação da área de estudo de acordo com o cruzamento dos mapas indicadores por meio da lógica *fuzzy*.

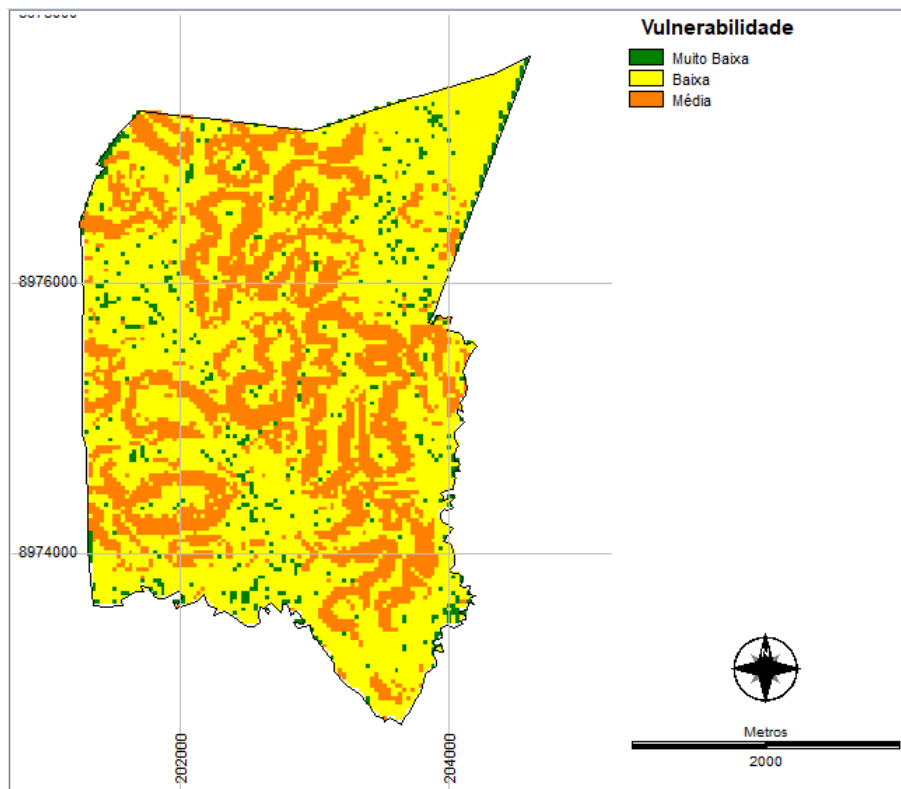
5.2.1 Vulnerabilidade Natural

A vulnerabilidade natural foi obtida por meio do cruzamento dos mapas indicadores das características físicas do ambiente: geologia, solos, clima e relevo. Estes, foram modelados por meio da lógica *fuzzy*.

O P. A. Sebastião Gomes apresenta vulnerabilidade natural variando de muito baixa a média (Figura 34). Por ser uma área relativamente pequena, pode-se atribuir essa variação em função da variação na declividade, visto que, os outros indicadores são praticamente constantes. O solo e a precipitação só possuem um valor de vulnerabilidade, pois são constantes em toda a extensão, e a geologia local possui apenas duas feições diferentes, portanto, dois valores de vulnerabilidade. Dessa forma, a declividade do terreno é a característica essencial para determinar o risco de erosão na avaliação da vulnerabilidade natural desta área.

No trabalho desenvolvido por Yang e Chen (2015) é destacada a importância do estudo das classes de declividade, pois para maiores inclinações o grau de vulnerabilidade é aumentado. Calderano Filho et al. (2014) concordam com esta afirmação relacionando altos declives a muito alta vulnerabilidade. Ainda sobre essa questão, Schiavo et al. (2015) verificaram que quanto mais brusca a mudança de altitude, maiores são as chances de ocorrência de processos erosivos.

Figura 34 - Mapa de Vulnerabilidade Natural do P. A. Sebastião Gomes



Fonte: Autor, 2018.

A Tabela 19 apresenta o percentual das áreas de acordo com a vulnerabilidade a que estão sujeitas. É possível notar que a maior parte da área, cerca de 62%, possui baixa vulnerabilidade natural. Isto significa que, desprezando-se a ação antrópica sobre o meio, a área do assentamento, naturalmente, por suas condições físicas, teria um baixo risco de erosão em grande parte da área.

Tabela 19 – Resumo quantitativo da Vulnerabilidade Natural

Vulnerabilidade	Área (ha)	% da Área Total
Muito Baixa	51,19	4,71
Baixa	673,65	61,97
Média	362,16	33,32

Fonte: Autor, 2018.

Dessa forma, é possível notar que, embora haja altos índices pluviométricos na região, em torno de 328 mm/mês, as características das rochas e solos compensam este fator

reduzindo o risco de intemperismo e erosão. E a declividade faz a vulnerabilidade oscilar em função do relevo mais plano ou mais montanhoso.

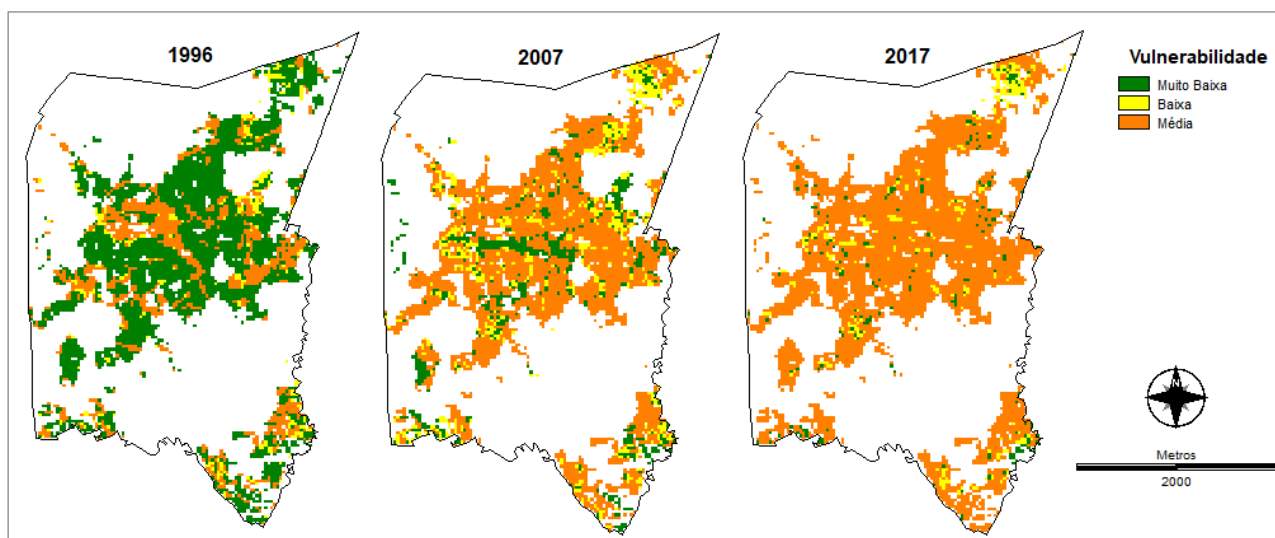
É necessário um rigor maior no manejo de áreas com declividades superiores a 30%, pois estas áreas possuem mais chances de erosão hídrica por conta dos altos índices pluviométricos a que estão relacionados (CUNHA; BACANI; AYACH, 2013). Muito embora, o P. A. Sebastião Gomes não esteja apresentando alto grau de vulnerabilidade natural, ainda assim é necessário a proteção de áreas mais intáveis, como as definidas como APP, segundo a Lei 12.651/2012. APP de topo de morro, por exemplo, por possuir altos declives, naturalmente, são mais suscetíveis a escorregamentos (CALDERANO FILHO et al., 2014).

5.2.2 Vulnerabilidade Ambiental

Os mapas foram analisados sob três cenários diferentes: 1996 (antes da implantação do assentamento), 2007 (no ano da implantação) e 2017 (atualmente). A ideia central do projeto foi confrontar estes três cenários para verificar se a implantação do assentamento teria impacto positivo ou negativo sobre a área. Para tanto, os usos seriam discutidos em relação às normas para saber se desde a época da implantação o assentamento está cumprindo com as exigências ambientais. Porém, durante a execução do trabalho alguns imprevistos surgiram e não foi possível saber a real situação do assentamento em sua implantação, visto que os órgãos ambientais não tinham documentos referentes ao licenciamento de projeto. Sendo assim, a análise será executada em cima do que foi encontrado nas imagens de satélite.

A Figura 35 apresenta o grau de vulnerabilidade do P. A. Sebastião Gomes nos diferentes cenários, foram retiradas as nuvens para melhor interpretação dos resultados. Com a análise da figura é possível notar a redução das áreas de vulnerabilidade muito baixa ao longo dos anos. No cenário atual, há predominância da vulnerabilidade média em quase toda a área de estudo.

Figura 35 - Vulnerabilidade Ambiental do P. A. Sebastião Gomes para os 3 cenários



Fonte: Autor, 2018.

A cobertura vegetal auxilia na redução e estabilização do grau de vulnerabilidade ambiental, pois possui função de estabilização contra processos erosivos, atuando como amortecedor de altas precipitações e reduzindo o escoamento superficial (CUNHA; BACANI; AYACH, 2013).

É possível notar que a área de estudo não apresentou vulnerabilidade alta ou muito alta, variando apenas entre muito baixa a média, este fato, como mencionado no item anterior, se deve boa parte às características geológicas e do solo. Somado a isso, o uso do solo, mesmo com características de alta vulnerabilidade para áreas de pastagens e campo, não apresenta áreas com solo descoberto, o que seria um fator atenuante para a ação do intemperismo e erosão do solo. Em seu trabalho, Shao et al. (2016) decutiram a importância da atividade antrópica para a avaliação de mudanças ambientais. Para estes autores, as tendências nos graus de vulnerabilidade são compatíveis com as mudanças na cobertura vegetal.

Como já mencionado, as altas intensidades pluviométricas auxiliam no sentido de manutenção da camada vegetal, contribuindo para a renovação e manutenção da cobertura do solo.

Ao analisarmos a Tabela 20, nota-se que houveram mudanças significativas na área para os diferentes cenários do P. A. Sebastião Gomes. Por meio dela, e das imagens anteriores é possível notar que de 1996 até 2017 houve uma redução de cerca de 25% da área com vulnerabilidade muito baixa, na mesma proporção em que houve um aumento da vulnerabilidade média. Isso se justifica pela intensificação do uso do solo ao longo dos anos para práticas agrícolas e pastoreio. Para Schiavo et al. (2015), quanto maior as alterações

antrópicas no meio, mais vulnerável fica o ambiente. Estes autores chamam a atenção para a importância de estudos para subsidiar as práticas agropastoris a fim de se obter o conhecimento acerca de problemas e soluções relacionadas a esta atividade. No estudo desenvolvido por Garófalo e Ferreira (2015), as áreas de maior vulnerabilidade ambiental foram encontradas onde se desenvolviam culturas anuais e pastagens degradadas.

Tabela 20 - Resumo quantitativo da Vulnerabilidade Ambiental

Ano	Vulnerabilidade	Área Total (ha)	% da Área Total
1996	Muito Baixa	273,68	26,13
	Baixa	27,90	2,66
	Média	109,62	10,47
2007	Muito Baixa	61,82	5,9
	Baixa	60,21	5,75
	Média	289,17	2761
2017	Muito Baixa	17,81	1,7
	Baixa	27,27	2,6
	Média	366,12	34,96

Fonte: Autor, 2018.

Assis et al. (2017) também encontraram vulnerabilidade média em áreas agrícolas e pastagens com a ocorrência de relevos moderadamente ondulado a fortemente ondulado, assim como no P. A. Sebastião Gomes. Segundo estes autores, estas áreas requerem práticas de conservação do solo para evitar impactos decorrentes de suas atividades. Shao et al. (2016) encontraram em seu trabalho grau de vulnerabilidade médio associado ao sistema ecológico instável, incluindo baixa resistência à erosão, solo estéril e poucos tipos de vegetação. Já para uma vulnerabilidade menor, o ambiente possui alta resistência à erosão, associado a solo fértil com boa cobertura vegetal.

Mesmo com as ações de reflorestamento no projeto de assentamento os trechos com vegetação densa são tão pequenos que não conseguiram dar conta de reduzir a vulnerabilidade atual. Para mudar este cenário e recompor as matas nas áreas de APP e RL é necessário a elaboração de um projeto que conte com a colaboração de todos os assentados, e medidas de educação ambiental e conscientização para que sejam evitadas queimadas. A falta de políticas de proteção ambiental, segundo Nguyen et al. (2016), torna as áreas mais suscetíveis a impactos ambientais, principalmente durante períodos chuvosos. Com as políticas de

proteção ambiental em uma subárea de uma bacia na China, estudada por Shao et al (2016), o ecossistema foi melhorado, reduziram-se problemas como perda de solo e água na bacia. Este estudo demonstra a importância do investimento em políticas públicas de proteção ambiental e, além disso, gestão social para a melhoria do uso dos recursos naturais pela população.

Apesar de tudo isso, é possível notar que a área do P. A. Sebastião Gomes apresenta baixo risco de processos intempéricos e movimentos de terra. Porém é possível melhorar ainda mais essa condição reduzindo a vulnerabilidade ambiental na mesma proporção em que seja aumentada a cobertura vegetal de maior densidade. Para tanto, é imprescindível a mobilização por parte dos assentados, para que todos colaborem com melhores práticas dentro do projeto de assentamento.

6 CONCLUSÃO

As ferramentas de geoprocessamento e as tecnologias de sensoriamento remoto são favoráveis à análise ambiental. Aliadas à metodologia desenvolvida por meio da lógica *fuzzy* foi possível avaliar e compreender os elementos físicos da área de estudo, bem como as interferências antrópicas no meio.

A avaliação da vulnerabilidade ambiental mostrou-se como uma ferramenta útil para o diagnóstico de áreas oriundas da redistribuição de terras, pois foi possível avaliar a situação da área antes e depois do projeto de assentamento. Dessa forma, estudos deste tipo podem subsidiar o planejamento e gestão de áreas como o P. A. Sebastião Gomes. Além disso, essa metodologia pode ser aplicada a áreas de assentamento localizada em outras regiões, necessitando apenas de adaptações para cada situação em particular.

É necessário o desenvolvimento de projetos de recomposição, manutenção e preservação de ecossistemas para que ocorram melhorias na qualidade ambiental em áreas de proteção nos projetos de assentamento. Visto que, foi possível notar que as diretrizes estabelecidas na Lei nº 12.651/2012 em relação à vegetação das áreas de APP e RL não estão sendo cumpridas.

O INCRA detém a escritura das terras dos projetos de assentamento por 10 anos, só então transfere a posse para o trabalhador rural. A sugestão é que estes projetos para recomposição de vegetação em áreas de APP e RL sejam implementados junto com a implantação dos assentamentos, assim, as áreas com vegetação suprimida terão tempo para se recompor, e o INCRA poderá fiscalizar o desenvolvimento destas áreas e a ocorrência de queimadas ilegais.

Não foi possível avaliar as condições ambientais durante a implantação do P. A. Sebastião Gomes, visto que os órgãos ambientais não possuíam registros nem documentações da área de estudo.

Outro fator que interferiu no desenvolvimento do trabalho foi que a área de estudo fica na Zona da Mata e esta região possui muitas nuvens o ano todo, resultando no comprometimento da análise de algumas imagens de satélite. Ainda assim, a metodologia aplicada cumpriu bem a sua função e foi possível avaliar a área de estudo em três cenários distintos.

REFERÊNCIAS

ALASKA SATELLITE FACILITY. **Portal de dados Vertex**. Disponível em: <<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>> Acesso em: 31/01/2018.

ALVES, V. P.; SANTOS, D. B.; SILVA, A. P. S. Análise dos recursos Hídricos no Assentamento Jiboia, Município de Senhor do Bonfim-BA. **Revista OURICURI**, Paulo Afonso, v. 4, n. 3, p. 1-31, 2014.

AQUINO, A. R. **Vulnerabilidade Ambiental** / Afonso Rodrigues de Aquino, Francisco Carlos Paletta, Josimar Ribeiro de Almeida, organizadores. São Paulo: Blucher. p. 112, 2017.

ARAÚJO, J. A. F. **Análise do risco ambiental em rios mediante aplicação de um modelo matemático bidimensional difuso considerando a influência de ondas de cheia**. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFC, Fortaleza, 2015.

ASSIS, F. R. V. et al. Índice de Vulnerabilidade Ambiental na Microbacia do Talhado, Santa Luzia, Paraíba. **Acta Brasiliensis**, v. 1, n. 3, p. 8-16, 2017.

ÁVILA, M. M.; WADT, P. G. S. Avaliação do Impacto Ambiental em Assentamentos Rurais do Estado do Acre, na Amazonia Brasileira. **REB**, v. 8, n. 1, p. 54-77, 2015.

BARROS, C. R. S. T.; MIGLIORINI, R. B.; BARROS NETA, M. A. P. Estudo da Disponibilidade de Recursos Hídricos nos Projetos de Assentamento da Reforma Agrária: Região do Pantanal do Corixo Grande, Cárceres-MT. **R. Pol. Públ.**, São Luís, v. 19, n. 1, p. 211-221, 2015.

BARROS, E. F. S. **Avaliação do Saeneamento Ambiental em Assentamentos de reforma Agrária utilizando o Método de Análise Hierárquica de Processos**. Dissertação de Mestrado, UFG, Goiânia, 2013.

BRANDÃO JR., A.; SOUZA JR., C. Desmatamento nos Assentamentos de Reforma Agrária na Amazônia. **IMAZON: O Estado da Amazônia**, n. 7, p. 1-4, 2006.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm > Acesso em: 13/03/2017.

_____. **Lei nº 8.629, de 25 de fevereiro de 1993**. Dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma agrarian, previstos no Capítulo III, Título VII, da Constituição Federal. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8629.htm > Acesso em: 20/03/2017.

_____. **Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964**. Dispõe sobre o Estatuto da Terra, e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4504.htm > Acesso em: 20/03/2017.

_____. **Resolução nº 458, de 27 de dezembro de 2006.** Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental em assentamentos de reforma agrária, e dá outras providências. In: **MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONAMA.** Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=696>> Acesso em: 20/03/2017.

CALDERANO FILHO, B. et al. Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental das Terras da Microbacia do Córrego Fonseca, Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. **Anais do Simpósio Regional de Geoprocessamento e sensoriamento Remoto – GEONORDETE**, Aracaju, 2014.

CALIJURI, M. L. et al. Proposta metodológica para geração de fragilidade ambiental, utilizando lógica *fuzzy* e combinação linear ponderada. **Anais XIII SBSR**, Florianópolis, p. 3311-3318, 2007.

CARDOSO, O. R. et al. Análise da fragilidade ambiental na bacia do rio Pardo – RS, frente à instalação de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). **Revista Brasileira de recursos Hídricos**, v. 20, n. 2, p. 507-522, 2015.

CARVALHO, L. V. Os efeitos da falta de fiscalização após a concessão do licenciamento ambiental no Direito Brasileiro. **JusBrasil**, 2015. Disponível em: <<https://leovenancio.jusbrasil.com.br/artigos/171411682/os-efeitos-da-falta-de-fiscalizacao-apos-a-concessao-do-licenciamento-ambiental-no-direito-brasileiro>>. Acesso em: 23/02/2018.

CASTRO, P. B.; FONTES, A. S.; TORRES, C. J. F. Análise da vulnerabilidade socioambiental do rio Itapicuru-BA, na área de drenagem da Barragem de Pedras Altas. **IV Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Cruz das Almas, 2016.

CREPANI, E. et al. Uso de Sensoriamento Remoto no Zoneamento Ecológico-Econômico. **Anais VIII SBSR**, Salvador, p. 129-135, 1996.

_____. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial.** São José dos Campos: INPE, 2001.

CONCEIÇÃO, L. A. B. S. **Diagnóstico Ambiental através do Uso de Técnicas de Sensoriamento Remoto como apoio para o Planejamento de Unidades Administrativas: O caso de Osório, RS.** Dissertação de Mestrado, UFRS, Porto Alegre, 2004.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 18/12/2017.

CUNHA, E. **Geoprocessamento aplicado a Estimativa de Perdas de Solo da Bacia Hidrográfica do Córrego Indaiá-MS.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFMS, Três Lagoas, 2015.

CUNHA, E. R.; BACANI, V. M. Caracterização da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Córrego Come Onça, Água Clara-MS. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v. 10, n. 22, p. 193-205, 2016.

CUNHA, E. R.; BACANI, V. M.; AYACH, L. R. Geoprocessamento Aplicado à Análise da Fragilidade Ambiental. **Revista da ANPEGE**, v. 9, n. 12, p. 89-105, 2013.

CUNHA, R. C. et al. Análise da influência das variáveis ambientais utilizando inferência *fuzzy* e zoneamento das vulnerabilidades. Estudo de caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos – SP. **Geociências**, v. 30, n. 3, p. 399-414, 2011.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens Landsat-5. **Ra'ega**, v. 21, p. 234-271, 2011.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/>> Acesso em: 20/03/2017.

_____. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

ESPERÓN-RODRIGUEZ, M.; BARRADAS, V. L. Ecophysiological vulnerability to climate change: water stress responses in four tree species from the central mountain region of Veracruz, Mexico. **Reg. Environ Change**. DOI 10.1007/s10113-014-0624-x, 2014.

FERNANDES, A. C. G. et al. Utilização de intervalos de índices de vegetação e temperature da superfície para detecção de queimadas. **Cad. Ciênc.Agrá.**, v. 8, n. 2, p. 30-40, 2016.

FERREIRA, C. C. et al. Uso de SIG para análise da vulnerabilidade ambiental da Bacia do Alto Sucuriú – MS/BR. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba, 2011.

FOLHARINI, S. O.; OLIVEIRA, R. C.; FURTADO, A. L. S. Vulnerabilidade à perda de solo do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba: Contribuição para uma proposta de atribuição de pesos. **Bol. Goia. Geogr.**, v. 37, n. 2, p. 343-359, 2017.

FRANÇA, L. V. G. et al. Modelagem *Fuzzy* Aplicada a Análise da Paisagem: Uma proposta para o diagnostic ambiental participativo. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 3, n. 3, p. 124-141, 2014.

FREITAS, E. P. et al. Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 4, p. 443-449, 2013.

GARÓFALO, D. T.; FERREIRA, M. C. Mapeamento de fragilidade ambiental por meio de análise geoespacial: Uma aplicação na alta bacia dos rios Piracicaba e Sapucaí-Mirim, APA Fernão Dias, MG. **Departamento de Geografia - USP**. v. 29, p. 212-245, 2015.

GEOBANK – CPRM Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <<http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em:20/03/2017.

GOMES, R. L. Avaliação da Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Almada-Bahia. **Bol. Geogra.**, Maringá, v. 13, n. 3, p. 41-53, 2013.

GONÇALVES, S. R. A.; ARAÚJO, R. R.; IMAI, N. N. Mapeamento do Grau de Fragilidade com Processo Hierárquico e Operadores *Fuzzy* Gama na Detecção Áreas de Fragilidade Ambiental. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 68/2, p. 327-337, 2016.

GOSCH, M. S.; FERREIRA, M. E. Monitoramento da Reserva Legal em assentamentos rurais em Goiás: um estudo de caso para a unidade de Umarama, com base em dados orbitais Landsat e RapidEye. **Anais XVII SBSR**, João Pessoa, p. 763-770, 2015.

HARIK, G. et al. Implications of adopting a biodiversity-based vulnerability index versus a shoreline environmental sensitivity index on management and policy planning along coastal areas. **Journal of Environmental Management**, v. 187, n. p. 187-200, 2017.

HIDROWEB – Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>> Acesso em: 20/03/2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>> Acesso em: 20/03/2017.

IMA – Instituto do Meio Ambiente de Alagoas. Disponível em: <<http://www.ima.al.gov.br/>>. Acesso em: 14/12/2017.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/>> Acesso em: 21/03/2017.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.inpe.br/>> Acesso em: 20/03/2017.

KAWAKUBO, F. S. et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. **Anais XII SBSR**, Goiânia, p. 2203-2210, 2005.

LIMA, D. B. **Análise Temporal da Cobertura e Uso da Terra como Subsídio ao Estudo de Degradação Ambiental da Serra da Meruoca – Ceará**. Dissertação de Mestrado, UEC, Fortaleza, 2014.

LIU, D. et al. Using fuzzy analytic hierarchy process for spatio-temporal analysis of eco-environmental vulnerability change during 1990-2010 in Sanjiangyuan region, China. **Ecological Indicators**, v. 73, p. 612-625, 2017.

LOBÃO, J. S. B.; ROCHA, W. J. S. F.; SILVA, A. B. Utilização de Lógica *Fuzzy* na Modelagem da Vulnerabilidade à Erosão no Município de Morro do Chapéu-BA. **Anais III SRGSR**, Aracajú, 2006.

LUNA, R. M.; PEREIRA, P. M. Sensoriamento Remoto no Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará. **Anais XI SBSR**, Belo Horizonte, p. 2531-2536, 2003.

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

MELO, L. C. et al. Análise da Fragilidade Ambiental Potencial dos Solos do Paraná. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 28, p. 101-111, 2014.

MILANEZI, C. H. S.; PEREIRA, J. G. Caracterização da Vulnerabilidade Ambiental na Microbacia do Córrego Azul, Ivinhema – MS. **Geografia**, Londrina, v. 25, p. 43-63, 2016.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 18/12/2017.

_____. **Vulnerabilidade Ambiental** / Rozely Ferreira dos Santos, organizadora. – Brasília: MMA. p. 192, 2007.

MME – Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>> Acesso em: 20/03/2017.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Diagnóstico do Município de Flexeiras**. Recife, 2005.

MOREIRA, F. R.; CÂMARA, G.; ALMEIDA FILHO, R. **Técnicas de Suporte a Decisão para Modelagem Geográfica por Álgebra de Mapas**. Relatório Técnico, INPE, 2001.

NGUYEN, A. K. et al. Zoning eco-environmental vulnerability for environmental management and protection. **Ecological Indicators**, v. 69, p. 100-117, 2016.

OLIVEIRA JUNIOR, I. **O Processo de Desertificação: A vulnerabilidade e a degradação ambiental no Polo Regional de Jeremoabo – Bahia**. Dissertação de Mestrado, UFBA, Salvador, 2014.

PEDROSA, E. C. T. **Análise da Vulnerabilidade Ambiental de Bacias Periurbanas e a Proteção de Reservatórios Utilizados em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água: Estudo de caso da Bacia do Rio Gramame/PB**. Dissertação de Mestrado, UFPB, João Pessoa, 2008.

PIRES, A. L. **Análise da Vulnerabilidade Ambiental de Bacias Hidrográficas do Litoral Sul Paraibano**. Dissertação de Mestrado – UFP, João Pessoa, 2015.

PIZANI, F. M. C.; AZEVEDO, U. R.; SOUZA, F. E. V. Geotecnologias aplicadas ao mapeamento da vulnerabilidade ambiental: Estudo de caso do município de Rio Acima/MG. **I Congresso Nacional de Geografia Física**, Campinas, 2017.

RESERVA DA BIOSFERA DA MATA ATLÂNTICA. **Floresta Ombrófila Aberta**. Disponível em:

<http://www.rbma.org.br/anuario/mata_02_eco_floresta_ombrofila_aberta.asp> Acesso em: 12/12/2017.

- REZENDE, L.; KAIZER, I. M.; PEIXOTO, A. S. P. Vulnerabilidade ambiental das margens do rio Tietê. **R. Gest. Ambient.**, v. 7, n. 1, p.136-166, 2018.
- RODRIGUES, F. S.; PEREIRA, J. G. Uso da geotecnologia na avaliação da vulnerabilidade ambiental na zona de amortecimento do Parque Nacional da Serra da Bodoquena. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu, 2013.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia, FFLCH-USP**, São Paulo, n. 8, 1994.
- SAHOO, S.; DHAR, A.; KAR, A. Environmental vulnerability assessment using Grey Analytic Hierarchy Process based model. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 56, p. 145-154, 2016.
- SAMIZAVA, T. M. et al. Suavização dos contatos entre compartimentos de relevo através de modelagem por inferência *fuzzy*: Mapeamento Geomorfológico no município de Presidente Prudente – SP – Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 9, n. 2, 2008.
- SANTOS, D. J.; RUCHKYS, U.; GOMES, M. Avaliação multicritério da vulnerabilidade ambiental e natural na identificação de áreas prioritárias para conservação do patrimônio espeleológico. **Pesquisas em Turismo e Paisagens Cásticas**, Campinas, v. 7, p. 29-42, 2014.
- SANTOS, F. C. B. **Desenvolvimento e Análise de um Índice de Sustentabilidade Energética utilizando Lógica Fuzzy**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – USP, São Paulo, 2010.
- SANTOS, P. S. **Estudo da Vulnerabilidade Ambiental no Município de Santo Amaro-BA**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.
- SCHIAVO, B. N. V. et al. Análise da vulnerabilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Padilha – PR, com uso de geotecnologias. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 3689-3698, 2015.
- SEMARH/AL – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.semarh.al.gov.br/>> Acesso em : 20/03/2017.
- SENADO FEDERAL. **Importância das áreas de preservação permanente**. Disponível em: <<https://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/codigo-florestal/areas-de-preservacao-permanente/importancia-das-areas-de-preservacao-permanente.aspx>>. Acesso em: 02/03/2018.
- SHAO, H. et al. A method to the impact assessment of the returning grazing land to grassland project on regional eco-environmental vulnerability. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 56, p. 155-167, 2016.
- SILVA, L. M. et al. Modelagem *Fuzzy* Aplicada na Detecção da Vulnerabilidade à Erosão Costeira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 19, p. 746-764, 2013.

SOUZA, A. M. B. et al. Utilização de Índice de Vegetação na avaliação da Cobertura Vegetal do Projeto de assentamento José Emídio dos Santos, Capela – SE. **Anais VI Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**, Aracaju, 2012.

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

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Superintendência de Recursos Naturais, Rio de Janeiro, 1977.

VALLE, I. C.; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. S. K. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 295-308, 2016.

YANG, G.; CHEN, Z. RS-based fuzzy multiattribute assessment of eco-environmental vulnerability in the source area of the Lishui River of northwest Hunan Province, China. **Nat Hazards**. DOI 10.1007/s11069-015-1762-2, 2015.