



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**CAMPUS DAS ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**CURSO DE AGRONOMIA**



**VICENTE FERREIRA DE ARAÚJO NETO**

**GEOTECNOLOGIAS NA AVALIAÇÃO DE PERDAS DE SOLO NO  
MUNICÍPIO DE LIMOEIRO DE ANADIA, AL**

**RIO LARGO**

**2021**

**VICENTE FERREIRA DE ARAÚJO NETO**

**GEOTECNOLOGIAS NA AVALIAÇÃO DE PERDAS DE SOLO NO  
MUNICÍPIO DE LIMOEIRO DE ANADIA, AL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a conclusão do curso de Bacharelado em Agronomia, da Universidade Federal de Alagoas - Campus das Engenharias e Ciências Agrárias, para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Profa. Dra. Lígia Sampaio Reis

Co-orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato Gomes Júnior

**RIO LARGO**

**2021**

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias**  
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

A663g Araújo Neto, Vicente Ferreira de  
Geotecnologias na avaliação de perdas de solo no Município de  
Limoeiro de Anadia, AL. / Vicente Ferreira de Araújo Neto – 2021.  
44 f.; il.

Monografia de Graduação em Agronomia (Trabalho de Conclusão de  
Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e  
Ciências Agrárias. Rio Largo, 2021.

Orientação: Profa. Dra. Lígia Sampaio Reis  
Coorientação: Prof. Dr. Raimundo Nonato Gomes Júnior

Inclui bibliografia

1. Geoprocessamento. 2. Conservação do solo. 3. Degradação.  
I. Título.

CDU 528

Folha de Aprovação

VICENTE FERREIRA DE ARAÚJO NETO

GEOTECNOLOGIAS NA AVALIAÇÃO DE PERDAS DE SOLO NO MUNICÍPIO  
DE LIMOEIRO DE ANADIA, AL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a conclusão do curso de Bacharelado em Agronomia, da Universidade Federal de Alagoas - Campus das Engenharias e Ciências Agrárias, aprovada em 02 de Julho de 2021.



---

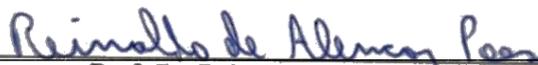
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lígia Sampaio Reis  
Universidade Federal de Alagoas  
Campus das Engenharias e Ciências Agrárias  
(Orientadora)

Banca examinadora



---

Doutorando Mirandy dos Santos Dias  
Universidade Federal de Campina Grande  
(Examinador externo)



---

Profa. Dr. Reinaldo de Alencar Paes  
Universidade Federal de Alagoas  
**(Examinador interno)**

## **Dedico**

Primeiramente ao infinito, ousado e eterno amor de Deus, por ser essencial em minha vida. A Nossa Senhora sobre o título da Virgem do Silêncio e Aparecida. Aos meus pais Edson Ferreira de Araújo, pelo profissionalismo e paciência sempre disposto a ensinar e Lubiana Nazareth de Andrade Silva de Araújo pela dedicação, carinho, paciência e atenção que nunca me faltaram e, por na alegria ou tristeza, sempre ser minha fortaleza.

As minhas irmãs Edyssa Laryssa da S. Ferreira de Araújo e Laura Catarina da Silva Ferreira de Araújo pelo companheirismo. Aos meus avós Antônia Alexandrina da Conceição (*in memoriam*), Vicente Ferreira de Araújo (*in memoriam*), Maria de Lourdes de Andrade (*in memoriam*) e Romildo Timóteo Sobral (*in memoriam*), pelo amor, carinho e apoio incondicional.

A minha namorada, Joana Maria, por ser companheira e por todo o apoio, amor, carinho, amizade, paciência e dedicação que sempre esteve presente. Pelos incontáveis momentos de escuta onde sempre a palavra servia de alavanca e determinação para continuar e jamais desistir do caminhar, mesmo com tantas pedras, fazendo acreditar que jamais seria obstáculos quando se quer vencer. Sempre ajudando e cobrando a conclusão definitiva deste trabalho com a seguinte pergunta: “já terminou o TCC?”

A todos os meus familiares que contribuíram direta e indiretamente para minha formação, em especial aos meus tios: João Roberto e Núbia Roberta, Romildo Júnior e Ana Patricia, João Joaquim e Eulacia Ferreira.

Aos meus primos pelo incentivo e presença nos momentos de descontração, em especial: Maria Clara, Jônatas Rodrigues, Natália Sobral, Lucas Cunha.

Aos amigos, em especial: Dr. Izael Oliveira, Dr. Eduardo Cabral, Janderson Aquino, Carlos Serafim, Moises Victor, Dra. Ligia Sampaio Reis, Dr. Raimundo Nonato que sempre acreditaram na minha capacidade de vencer e superar todas as dúvidas impostas sobre se conseguiria ou não.

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, paz, discernimento e amparo nos momentos difíceis.

A mãe terra, por nos proporcionar o convívio em seu território.

Aos meus pais pela dedicação, apoio e paciência na minha formação durante todos esses anos.

A Professora Dra. Ligia Sampaio Reis, pelos momentos de orientação, companheirismo que foram fundamentais para realização deste trabalho e minhas recentes conquistas, por sempre acreditar e ser luz de conhecimento, na dedicação e incentivo.

Ao Prof. Dr. Raimundo Nonato Gomes Júnior, pelas importantes contribuições no desenvolvimento do trabalho, que, apesar de distante, esteve sempre presente.

Ao Prof. Dr. Reinaldo de Alencar Paes, pela paciência e disponibilidade em sempre ouvir.

Àqueles Professores do Centro de Ciências Agrárias – UFAL que realmente exerceram seu papel.

Aos companheiros e amigos de turma: João Batista de Melo, Júlio Cesar de Melo, Marcos Antonio, Hugo Rodrigues, Rilbson Henrique, Gilvan José, Mauro Bernardo, Jhamerson Luiz, Flávio Bernardo, Thiago, Clécio Tavares, Wellington Tavares, José Maria, Joelma Benigna, Tamara, Joelcio Barros, Valdeí Marcelino, Leticia, Wyslana Larissa, Ana Rosa.

Ao CORUFAL, pelos momentos de descontração.

A Usina Porto Rico, Gerência e Supervisores do setor agrícola, por todo largo conhecimento a mim transmitido e pelos vastos conselhos de gestão e controle.

Ao meu primo Jonatas Rodrigues, pelas inúmeras caronas no retorno para casa.

Aos motoristas Adilson, Wellington e Gabriel, por toda paciência e disponibilidade.

A Beatriz do Restaurante Universitário, pela disponibilidade.

Ao Hélio Júnior da xerox, pelos momentos de descontração e disponibilidade.

A todos, enfim, o meu sincero reconhecimento pela colaboração e participação direta ou indireta neste importante trabalho.

Muito obrigado.

A gratidão é uma forma singular de reconhecimento, e o reconhecimento é uma forma sincera de gratidão.

*Alan Vaszatte*

Se quisermos que a glória e o sucesso acompanhem nossas armas, jamais devemos perder de vista os seguintes fatores: a doutrina, o tempo, o espaço, o comando, a disciplina.

*(A arte da guerra)*

## RESUMO

Os impactos ambientais ocasionados pela erosão são bastante significativos para degradação dos solos e, conseqüentemente, perda de produtividade agrícola e da capacidade de armazenamento de água. O município de Limoeiro de Anadia, no Agreste Alagoano, tem a economia baseada na agropecuária e vem sofrendo com impactos ambientais devido à antropização. Objetivou-se mapear áreas mais suscetíveis a erodibilidade e erosividade do município de Limoeiro de Anadia - AL por meio de técnicas de geoprocessamento e análise hierárquica. Foram utilizados mapas de declividade, uso e ocupação do solo e tipo de solos como variável de entrada na análise hierárquica para obtenção dos mapas de erosividade e erodibilidade. Foi constatado que, apesar da antropização ocorrida no município, grande parte da área (94%) foi tida como baixa e muito baixa potencialidade a erosão. Essas áreas possuem, em média, precipitações pluviométricas entre 420 mm e 560 mm, são classificadas como planas e onduladas e, em sua grande maioria, são de pastagens. Esse tipo de cobertura do solo é considerado de médio grau de proteção do solo, enquanto que áreas agrícolas têm baixo grau. O município de Limoeiro de Anadia tem baixa propensão a impactos por erosão, contudo, a expansão das áreas de pastagem e agrícolas sem planejamento são fatores potenciais para desencadear propensão a erosão, reduzindo assim, a fertilidade e a capacidade de armazenamento de água no solo com reflexos negativo sob a produção agrícola. Apesar do estudo ter conclusões importantes sobre as perdas de solo e seus fatores intervenientes, é importante destacar que para maior consistência dos dados, é recomendável que seja realizado um estudo de variabilidade temporal do uso e ocupação do solo para identificar a real perda da vegetação. Também recomenda-se analisar uma série pluviométrica atualizada, assim como, obter mais detalhes da taxa de perda de solo para melhor compreender as classes de fragilidade.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento. Conservação do solo. Erosão. Degradação.

## ABSTRACT

The environmental impacts caused by erosion are quite significant for soil degradation and, consequently, loss of agricultural productivity and water storage capacity. The municipality of Limoeiro de Anadia, in Agreste Alagoano, has its economy based on agriculture and cattle raising and has already suffered from environmental impacts due to anthropization. This work seeks to map the areas susceptible to environmental degradation due to erosion. Slope maps, land use and occupation and soil types were used as input variable in the hierarchical analysis to obtain the erosivity and erodibility risk maps. The data show that, despite the anthropization that took place in the municipality, a large part of its area (94%) was considered low and erosion potential was very low. These areas have, on average, rainfall between 420mm and 560mm and are classified as flat and wavy and, for the most part, are pasture. This type of ground cover is considered to have a medium degree of soil protection, while agricultural areas have a low degree of protection. It is concluded that the municipality of Limoeiro de Anadia has a low propensity to impacts by erosion, however, the expansion of unplanned pasture and agricultural areas can become potential factors to trigger erosion propensity, thus reducing fertility and capacity of soil water storage with negative effects on agricultural production. Although the study has important conclusions about soil loss and its intervening factors, it is important to highlight that for greater data consistency, it is recommended that a study of temporal variability of land use and occupation be carried out to identify the real loss of vegetation. It is also recommended to analyze an updated rainfall series, as well as obtain more details of the soil loss rate to better understand the fragility classes.

Keywords: Geoprocessing. Soil conservation. Erosion. Degradation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sobreposição das informações ambientais.....	20
Figura 2 – Estrutura arquitetônica de um Sistema de Informações Geográficas.....	21
Figura 3 – Estrutura hierárquica do método AHP. ....	22
Figura 1 - Localização do município de Limoeiro de Anadia, AL.....	24
Figura 3 - Topografia de Limoeiro de Anadia – AL. ....	32
Figura 4 - Pedologia do município de Limoeiro de Anadia – AL. ....	34
Figura 5 - Suscetibilidade erosiva de Limoeiro de Anadia -AL.....	36
Figura 6 - Mapa de uso e ocupação do solo do município de Limoeiro de Anadia, Agreste Alagoano, no ano de 2021.....	37
Figura 7 - Mapa de suscetibilidade a erosão do município de Limoeiro de Anadia, Agreste Alagoano, no ano de 2021.....	38

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Escala de importância do método AHP.....	23
Tabela 1 - Classes de elevação.....	26
Tabela 2 - Ponderações dos critérios de declividade e hipsometria.....	27
Tabela 3 - Ponderações dos critérios do uso e ocupação do solo e erodibilidade.....	27
Tabela 4 – Ponderação do critério solos.....	27
Tabela 5 – Matriz decisão.....	28
Tabela 6 – Pesos dos critérios avaliados.....	28
Tabela 7 – Índice randômico.....	29
Tabela 8 - Distribuição quantitativa das classes de suscetibilidade a erosão do município de Limoeiro de Anadia, Agreste Alagoano, no ano de 2021.....	38

## SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO .....	14
2 – REFERENCIAL TEÓRICO .....	16
2.1 Intervenções antrópicas e vulnerabilidade ambiental .....	16
2.2 Erosão, equação universal das perdas de solo .....	17
2.2.1 Erosividade .....	18
2.3 Erodibilidade.....	19
2.4 Geoprocessamento .....	19
2.5 AHP .....	22
3 - MATERIAL E MÉTODOS .....	24
3.1 Área de estudo .....	24
3.2 Obtenção dos dados .....	24
3.3 Análise e elaboração dos mapas .....	25
3.4 Processo Analítico Hierárquico – AHP .....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	31
5. CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS .....	41

## 1 - INTRODUÇÃO

A exploração desenfreada dos recursos naturais tem ocasionado impactos significativos ao meio ambiente, os quais refletem em riscos a população, tais como, inundação, queimadas, secas, etc. Nas áreas urbanas há uma potencialização dos riscos, haja vista que há mais áreas suscetíveis a incidência desses devido a ocorrência de intensos processos de urbanização.

O processo de antropização e, conseqüentemente, a mudança do uso e ocupação do solo têm grande influência sobre a erosão das superfícies. Esse fenômeno, é responsável pela destruição do solo, devido a ocorrência de perdas aceleradas dos nutrientes e da matéria orgânica (SANTOS, 2019). Os dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO e ITPS, 2015) apontam que há perdas da ordem de 40 milhões de toneladas de solo por ano devido a erosão, reduzindo assim, a produtividade das culturas e a capacidade de armazenar nutrientes, carbono e água.

Dentro do aspecto supracitado, destaca-se como principal forma de degradação, a erosão hídrica. Os dados disponibilizados por Lal et al. (2011) apontam que no globo há 1,094 milhões de hectares de áreas propensas a erosão hídrica. Nesse contexto, há necessidade de estudos sobre erosão e conservação dos solos, haja vista que o conhecimento prévio desse fenômeno, pode apontar para processos de mitigação por meio de uso e manejo sustentável dos recursos naturais disponíveis em uma área (AQUINO et al., 2012).

As técnicas de geoprocessamento veem se mostrando muito eficientes e abrangentes na análise e conservação dos recursos naturais, assim como, ajudam em análises de suscetibilidades e vulnerabilidade à erosão em bacias hidrográficas (RIZZARD, 2013; MAGRI, 2013; SILVA e MACHADO, 2014; SOUZA et al., 2019; SANTOS, 2019).

O município de Limoeiro de Anadia, na parte central do estado de Alagoas – mesorregião do Agreste Alagoano, tem sua atividade pautada no comércio e na agropecuária (LIMA et al., 2014). O município passa por diversas transformações em sua dinâmica de uso e ocupação do solo, com impactos ambientais significativos no seu processo de desenvolvimento (DUARTE e SANTOS, 2020).

Assim, objetivou-se mapear as áreas mais suscetíveis a erodibilidade e erosividade do município de Limoeiro de Anadia - AL por meio de técnicas de geoprocessamento e

análise hierárquica. Para atender o objetivo geral foram determinados os seguintes objetivos específicos: construir a base de mapas que subsidiassem a análise hierárquica; especializar a erosão por meio do mapa de suscetibilidade e vulnerabilidade e discutir alternativas viáveis, do ponto de vista técnico e econômico, que auxiliem na tomada de ações para mitigar os impactos ambientais ocasionados pela erosividade.

## **2 – REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Intervenções antrópicas e vulnerabilidade ambiental**

O crescimento populacional tem acentuado as vulnerabilidades ambientais em detrimento ao aumento de produção para suprir a alimentação mundial, o que segundo dados do IBGE (2020), apontam que o crescimento populacional foi de 0,77% em relação ao ano de 2019.

O constante crescimento populacional mundial é motivo de preocupação por ser um fator básico para a alteração e crescimento da demanda em diversas áreas. De acordo com Lima Santin (2006), a influência do homem sobre o meio ambiente tem gerado significativos impactos sobre o ecossistema. Problemas como poluição atmosférica, degradação do solo, contaminação dos sistemas hídricos e destruição florestal são alguns dos danos diretos causados ao meio ambiente. A mesma autora ressalta que as vulnerabilidades ambientais decorrentes da utilização degradante dos recursos naturais, deve-se a ação antrópica. Segundo Pinese Júnior e Rodrigues (2012), a vulnerabilidade ambiental pode ser definida como um conjunto de fatores ambientais que estão ou não ocorrendo e que podem ou não sofrer adversidades e afetar de forma parcial ou total a estabilidade ecológica de uma determinada região de interesse. Em outras palavras podemos dizer que, a vulnerabilidade ambiental é quanto que uma área está fragilizada ao agente degradador.

Para informações mais cruciais de vulnerabilidades ambientais é preponderante o levantamento de fatores que tem influência direta que de acordo com Sporn e Ross (2004), são: o levantamento da geomorfologia, dos solos, do uso e ocupação do solo e do clima. Estes importantes fatores básicos para obter um diagnóstico de diferentes hierarquias de fragilidades ambientais.

O emprego de tecnologias capazes de cruzar essas informações como, o uso do Geoprocessamento, tem sido um grande aliado pois permite o planejamento de forma adequada as ações que minimizem efeitos adversos, atuando de forma preventiva as vulnerabilidades e danos ao meio ambiente. Além disso, possibilita a integração de mapas temáticos, o que torna uma ferramenta essencial para a elaboração de estudos integrados do ambiente (COELHO, 2009).

## 2.2 Erosão, equação universal das perdas de solo

Um dos grandes problemas ambientais provocadas por fatores ambientais e/ ou antrópicos é a erosão, pois trata-se de um processo de desagregação, transporte e deposição das partículas de solo (Leite (2016),).

Ainda para Leite (2016), a erosão é um efeito nocivo pois acelera a perda dos nutrientes provocando o empobrecimento e a degradação do agro ecossistema, o que consequentemente acaba gerando impactos socioeconômicos exercendo pressões sobre o meio ambiente. São os diversos fatores impulsionam aos processos erosivos, desde ações antrópicas, decorrente do uso inadequado do solo, bem como e ações naturais

Dentre as ações naturais, estão as erosões hídricas, impulsionadas pelas chuvas intensas. De acordo com Panachuki et al. (2011), as áreas desprovidas de vegetação têm maior suscetibilidades a esse tipo de ocorrência, uma vez que o solo desprotegido se torna compactado pelo impacto da chuva sobre o solo. Com isso, ocorre o aumento do escoamento superficial transportando os sedimentos causados pelas chuvas (MORAIS; SILVA, 2020).

Eduardo (2012), destaca que a Equação Universal da Perda de Solo (na sigla em inglês, USLE – *Universal Soil Loss Equation*), é um dos modelos matemáticos mais conhecidos e utilizados no mundo na predição da erosão. O modelo foi desenvolvido nos Estados Unidos com base em observações de perdas de solo em mais de 10.000 parcelas. Segundo De Maria & Lombardi Neto (1997) a USLE trata-se de uma ferramenta de planejamento de medidas de conservação do solo. O modelo pode ser expresso pela Equação 1.

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Em que:

A: perda média anual do solo por erosão por unidade de área e tempo ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ );

R: erosividade da chuva,  $MJ \cdot ha^{-1} \cdot mm^{-1} \cdot ano^{-1}$ ;

K: Fator erodibilidade do solo,  $ton \cdot ha \cdot MJ \cdot mm^{-1}$

L: fator de comprimento de rampa, adimensional;

S: fator declividade, adimensional;

C: fator uso e manejo do solo, adimensional;

P: fator prática conservacionista, adimensional.

Por meio desta equação, é permitido que o analista preveja e planeje quais as taxas médias de erosão do solo em função do sistema de cultivo, das técnicas de controle e manejo em qualquer nível específico de tolerância de perda local (Eduardo, 2012). Esses procedimentos subsidiam elementos importantes para a análise da suscetibilidade a erosões.

### 2.2.1 Erosividade

Denominada também como Fator R, segundo Sporn e Ross (2004), a erosividade trata-se de um índice numérico qualitativo obtido a partir dos dados anuais de séries históricas de chuva que mede o potencial pluviométrico. Ainda segundo os autores, o fator R, é uma taxa esperada da perda do solo em função a solos desprovidos de camadas protetivas como a vegetação sob ação da chuva.

Segundo Xavier et al. (2019), a primeira metodologia utilizada para o cálculo do fator R foi proposto por Wischmeier e Smith (1978) através da equação original da Equação Universal da Perda de Solos (Eq. 1). O Fator R pode ser expresso pela Equação 2.

$$R = \sum EI 30 = 67,355 * \left(\frac{r^2}{p}\right)^{0,85} \quad (2)$$

Onde:

R: é a erosividade das chuvas em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>

EI30: é o somatório da média mensal do índice de Erosividade em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>;

r: a precipitação pluviométrica média mensal (mm);

p: a precipitação pluviométrica média anual (mm).

### 2.3 Erodibilidade

A capacidade de um solo resistir e/ou suportar as erosões provocadas pelas chuvas, segundo o site Canal Rural (2020), é definida como erodibilidade. Essa definição está vinculada a características do solo como a granulometria, permeabilidade, profundidade e presença ou a ausência de camadas compactadas e pedregosas.

Em decorrência dos solos apresentarem diferentes características, que segundo Farinasso et al. (2006), é o que leva a um solo ser mais erodido do que outro e isso está vinculada as suas propriedades ou, ao seu fator K expressa pela Equação 3:

$$\text{Fator } K = \frac{\frac{\% \text{ areia} + \% \text{ silte}}{\% \text{ argila}}}{100} \quad (3)$$

Segundo Mannigel et al. (2002), a porcentagem de areia, silte e argila é igual aos valores médios do horizonte superficial de cada classe do solo obtido nas tradagens.

O mapa de erodibilidade é obtido a partir da substituição das classes do solo pelo seu respectivo fator K, que por sua vez está vinculado ao mapa de solos (Farinasso et al. (2006).

### 2.4 Geoprocessamento

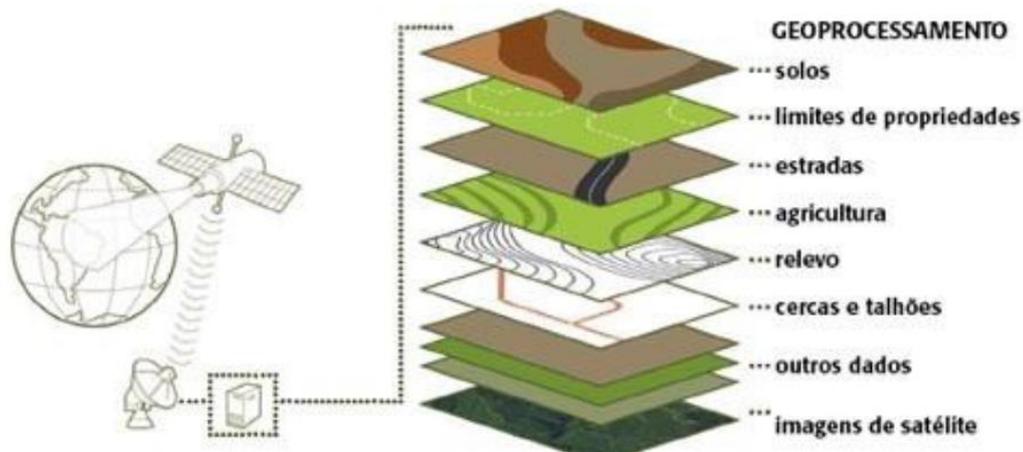
O geoprocessamento, segundo Augusto (2016), pode ser definido como um conjunto de técnicas de coleta de dados, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais voltados para um objetivo específico. Já de acordo com Câmara (2007), ele define geoprocessamento como uma tecnologia interdisciplinar, que converge com distintas áreas da ciência para estudo de fenômenos ambientais e urbanos.

O Geoprocessamento, segundo Câmara e Davis (1998), tem como objetivo o fornecimento de ferramentas computacionais para que os usuários de diferentes modalidades possam determinar as evoluções espaciais e temporais, bem como a inter-relações de um fenômeno geográfico.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) que têm o papel de coletar e gerar um produto como por exemplo os mapas temáticos, uma vez que os SIG'S concebidos para capturar, armazenar, mostrar, comunicar, transformar, analisar e arquivar

informações georreferenciadas, isto é, informações associadas a locais da superfície terrestre (MESQUITA JÚNIOR, 2016). A Figura 1 representa a sobreposição das informações ambientais em decorrência da integração entre as técnicas de Geoprocessamento.

Figura 1 – Sobreposição das informações ambientais.



Fonte: Amaral (2008).

É possível observar como essas ferramentas se integram uma à outra para a geração de um produto associado a várias informações. O uso do Geotecnologias, dentre elas o uso de Geoprocessamento, é de grande relevância para diversas áreas de multidisciplinares e a sua interação aos SIG'S promovem uma melhor estruturação em análises ambientais.

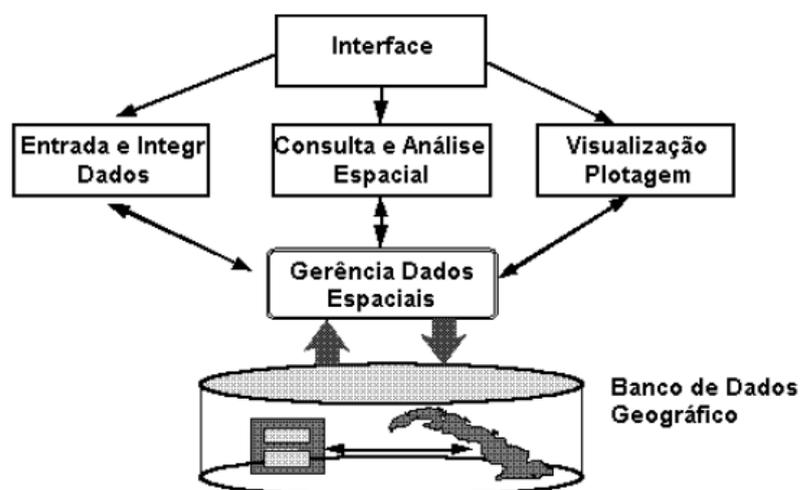
As possibilidades oferecidas pela tecnologia computacional, associada à demanda exponencial de dados ambientais, ao mesmo tempo que se proliferam e se agravam os problemas ambientais, assim como as consequências derivadas da necessidade de se conseguir melhor o uso dos recursos naturais, têm impulsionado as atividades e a ciência do Geoprocessamento, e o crescente e sólido desenvolvimento de Sistemas Geográficos de Informação (SILVA; ZAIDAN, 2011, p. 258).

Os SIG'S não são apenas a representação de um software como alguns ainda pensam, mas sim uma composição, uma espécie de organismo que permite uma perfeita interação entre os seus componentes.

De acordo com Silva (2006, p.17), “os Sistemas de Informações Geográficas são sequências ordenadas de operações, desenvolvidas para auxiliar o usuário nas tarefas de observar, coletar, armazenar e analisar dados com a finalidade de dar apoio aos processos de decisões” (*apud* RÖHM, 2003, p.5).

Isso torna os SIG’S tecnologias mais complexas, pois ela engloba todas outras técnicas como manipulações de dados, técnicas de Geoprocessamento, recursos humanos, softwares e entre outras. A Figura 2 está a representação de uma estrutura de uma Sistema de Informações Geográficas.

Figura 2 – Estrutura arquitetônica de um Sistema de Informações Geográficas.



Fonte: INPE, 2021.

A arquitetura dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG’S) seguem uma hierarquia onde é possível percebê-la na imagem. Na interface, é determinado o seu modo de operação conforme o usuário que opera, em seguida a entrada e integração de dados, consulta e análise, visualização e plotagem e saída, essa região pode ser entendida como a região do processamento de dados espaciais e logo em seguida temos os bancos de dados geográficos onde são ofertados tanto o armazenamento quanto a recuperação desses dados espaciais e seus atributos.

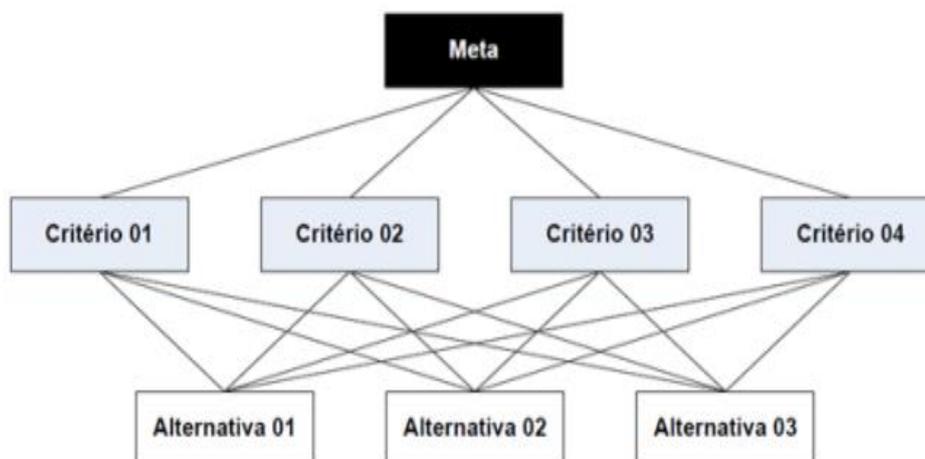
Os Sistema de Informação Geográfica, de acordo com Filho e Iochpe (1996), possuem componentes distintas particularidades que vão determinar o seu modo de operação, então podemos descreve-los sendo os hardwares e softwares, ou os conjuntos de equipamentos necessários por onde serão processados diferentes informações

espaciais; os métodos ou as técnicas adotadas, conhecimentos profissionais; os dados geográficos ou fonte de alimento para o sistema, conhecido também como dado bruto que irá gerar um produto, uma informação; pessoas ou também recursos humanos, o sistema precisa de pessoas qualificadas para manusear o conjunto.

## 2.5 AHP

As modelagens matemáticas tornam-se importantes modelos vinculado aos SIG'S, juntos visam nos auxiliares nessa tomada de decisão de forma mais consistente. Dentre os vários modelos existentes, destaca-se o Processo Analítico Hierárquico (AHP), conhecido também como Análise Multicritério de Saaty (1999), o modelo segue alguns passos e dentre eles é a montagem de uma estrutura de hierárquica (Figura 3) de acordo com os critérios necessários para solucionar o problema. De acordo com Silva et al. (2016), o método possibilita ao analista ponderar e qualificar a importância de cada variável seguindo uma lógica da comparação de pares em relação a um critério. Em outras palavras, cabe ao analista o poder de atribuir valores as variáveis atribuindo-lhes um menor ou maior valor de acordo com o seu grau de relevância, mostrado na Tabela 1.

Figura 3 – Estrutura hierárquica do método AHP.



Fonte: Direitinho, Marques Neto e Córdoba (2020).

Tabela 1 – Escala de importância do método AHP.

Intensidade	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência ou juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação a outra com mais alto grau de segurança
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Fonte: Moda (2017).

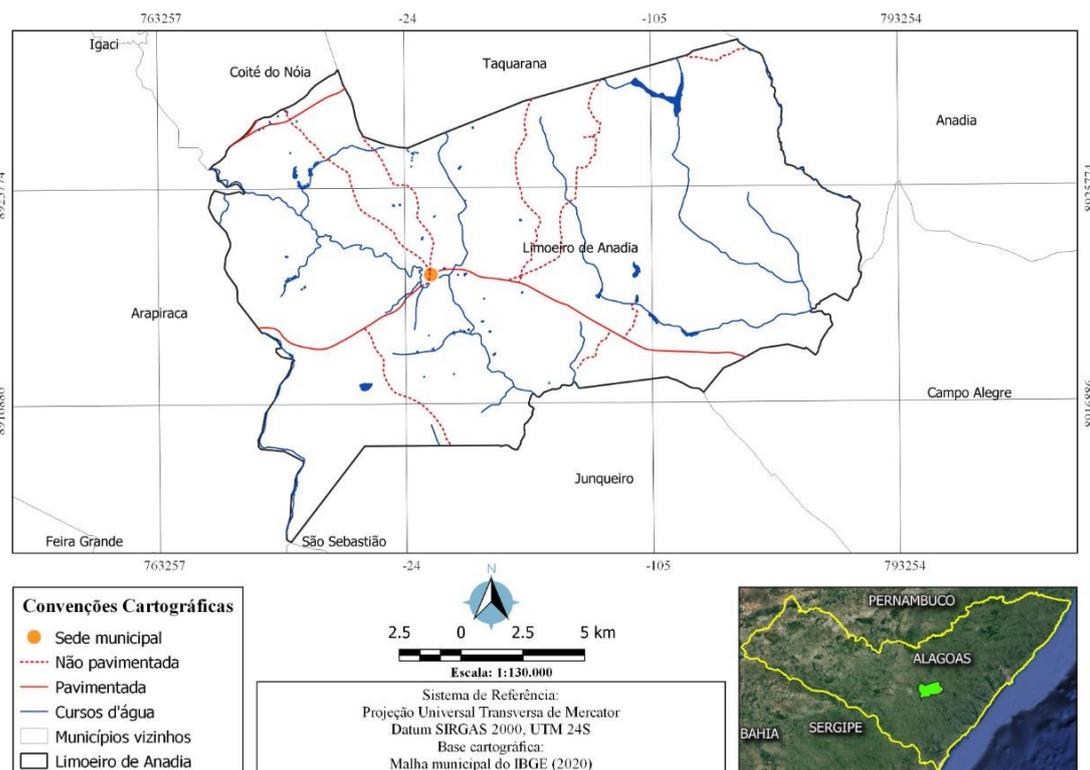
Em seguida são realizados cálculos para se chegar a um valor denominado como Razão de Consistência (RC), esse valor, segundo Saaty (1991), deverá ser  $\leq 0,1$  para que as ponderações realizadas nos critérios definidos apresentem coerência nas informações.

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

O município de Limoeiro de Anadia, situado na região central do estado de Alagoas (Figura 1) está delimitada pelas coordenadas geográficas -9,74 de latitude e -36,50 de longitude. O município integra a bacia hidrográfica do Rio Coruripe, estando entre os municípios de Arapiraca, Coité do Noia e Taquarana. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020), o município tem uma projeção de 28.770 habitantes e possui área de, aproximadamente, 310 Km<sup>2</sup>, o equivalente a 1,12% de todo estado alagoano.

Figura 4 - Localização do município de Limoeiro de Anadia, AL.



Fonte: Autores (2021).

#### 3.2 Obtenção dos dados

Foram utilizadas imagem de satélite do Sentinel 2B com resolução espacial de 10 metros referente ao dia 31 de março de 2021, obtidas na plataforma americana Earth Explorer, para a confecção do mapa de uso e ocupação do solo. Para extrair as

informações referentes ao relevo, foi utilizado o SRTM (09S375) de 30 metros de resolução espacial obtidas a partir do projeto do TOPODATA (2021) disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Na Embrapa (1999) foram obtidas informações do tipo e dos valores de vulnerabilidade do solo. Foram extraídas também informações sobre a pluviometria para confecção do mapa de Erosividade. Os dados foram obtidos no portal HidroWeb (2021) referentes as estações: 936019; 936020; 936022; 936026 e 936066, abrangendo os anos de 1985 a 2000. A HidroWeb é uma ferramenta que integra o Sistema Nacional de Informações dos Recursos Hídricos – SNIRH. Para a delimitação do município, foi adquirido um arquivo no formato *Shapefile*, referente a malha digital municipal disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2020).

Todas as informações obtidas foram importadas para o software Qgis 3.16 e confeccionado os mapas temáticos de declividade, hipsometria, erosividade, erodibilidade, pedologia, uso e ocupação do solo e como produto final mapa de suscetibilidade à erosão.

### **3.3 Análise e elaboração dos mapas**

Primeiramente foi realizado a etapa do pré-processamento no próprio software Qgis 3.16, os dados foram reprojatados para o Sistema de Coordenadas Planas – UTM (Universal Transversa de Mercator), Datum SIRGAS 2000 Fuso 24S. De acordo com Oliveira (2018), este *software* tem a capacidade de manipular diversos tipos de informações espaciais, realizando mapeamento e modificação de bases cartográficas, gerenciamento de dados, auxílio em análises geográficas diversas, administração de dados avançados e desenvolvimento.

Devido as imagens de satélite apresentarem algumas interferências atmosféricas como gases, partículas de água e fumaça, foi realizado a correção atmosférica pelo software SNAP utilizando o plugin Sen2cor. Trata-se de um software com boas ferramentas e o mais adequado para manipulação dos dados do Sentinel 2B. Para o processo de correção, segundo Santos, Augusto e Richter (2017) consiste num conjunto de módulos orientados em linha de comando, escrito em linguagem de programação *Python*, incorporado as ferramentas (*toolboxes*) do *software* SNAP, fornecidas pela ESA (*European Spatial Agency*) para manuseio e processamento das imagens Sentinels.

Para a elaboração do mapa de uso e ocupação do solo, foram delimitadas seis classes temáticas, são: Vegetação; Pastagem; Agricultura, Solo exposto; Corpos d'água e Mancha urbana. Em seguida foi realizado uma composição colorida do tipo RGB (*Red*, *Green* e *Blue*) com as bandas 4, 3 e 2 para ilustrar cor real e 4, 8 e 3 para falsa cor. A composição RGB, nada mais é que a sobreposição de três bandas multiespectrais do *Red*, *Green* e *Blue* para produzir imagens coloridas, a escolha das bandas irá variar de um sensor para outro, permitindo assim, a separação das feições a qual deseja-se observar. Em seguida foi feito o recorte compreendendo a área de estudo e realizado uma classificação supervisionada utilizando o plugin Semi – Classification Plugin (SCP).

Trata-se de um complemento que possibilita a classificação pixel a pixel de maneira semi-automática de imagens, permite ao usuário a realização de pré-processamento, pós-processamento e álgebra de mapas, criando áreas amostrais em formato “*Shapefile*”, permitindo assim, o cálculo de áreas, distâncias e entre outros de forma rápida (ARAÚJO, 2015).

A elaboração dos mapas topográficos, foram feitos a partir dos dados SRTM, onde as classes de elevação foram delimitadas em intervalos de 50 metros e os de declividade, expressas em porcentagem (%) de acordo com a Embrapa (1999), Tabela 1.

Tabela 2 - Classes de elevação.

Declividade (%)	Relevo	Hipsometria (m)
0 - 3	Plano	1 – 100
3 - 8	Suave ondulado	100 – 150
8 - 20	Ondulado	150 – 200
20 - 45	Forte ondulado	200 – 250
45 - 75	Montanhoso	250 – 300
> 75	Escarpado	≥ 300

Fonte: Adaptado de Embrapa (2018).

Para a elaboração do mapa de pedologia, foram extraídas informações da vulnerabilidade quanto ao tipo de solo do banco de dados da Embrapa. Para confecção do mapa de erosividade foi inserido dados da precipitação referentes a cinco estações pluviométricas dos anos de 1985 a 2000. Os dados foram obtidos no portal *HidroWeb* da Agência Nacional de Águas – ANA. Em seguida foi utilizado o método das isoietas para identificação das áreas e contribuição e construir o mapa de Erosividade e um gráfico

para análise comportamental da chuva ao longo dos dezesseis anos. Foi elaborado um mapa de interpolação de Kernel com função quartico identificar de forma pontual os dados pluviométricos e serviu de auxílio na elaboração do mapa de erodibilidade. Classificando-as em: muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta.

Após a aquisição os dados passaram por uma normatização, ou seja, cada classe tem o seu grau de importância referente a contribuição a erosões. Então seguiu para a elaboração dos mapas, onde foi-lhes atribuídos valores equivalentes aos pesos que medem o seu grau de importância. Os pesos variaram entre 1 e 3 e, de acordo com Arnesen, Genofre e Curtarelli (2009), os pesos abrangem o potencial de estabilidade, o potencial intermediário e o potencial de instabilidade. Utilizando a função quantil, que divide a série ordenada em cinco partes e cada parte ficará com seus 20% dos elementos, conforme Tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 3 - Ponderações dos critérios de declividade e hipsometria.

Declividade (%)	Relevo	Hipsometria (m)	Precipitação (mm)	Pesos
0 - 3	<i>Plano</i>	1 – 100	< 420	1
3 – 8	<i>Suave ondulado</i>	100 – 150	420 – 494	1,2
8 – 20	<i>Ondulado</i>	150 – 200	494 - 560	1,5
20 – 45	Forte ondulado	200 – 250	560 – 590	2
45 – 75	<i>Montanhoso</i>	250 – 300	590 – 600	2,5
>= 75	<i>Escarpado</i>	≥ 300	>= 600	3

Fonte: Autores (2021).

Tabela 4 - Ponderações dos critérios do uso e ocupação do solo e erodibilidade.

Uso e ocupação do solo	Área (%)	Área (Km <sup>2</sup> )	Erodibilidade	Pesos
Vegetação	9,84	30,5	Muito baixa	1
Pastagem	63,90	198,1	Baixa	2,5
Agricultura	17,84	55,3	Moderada	3
Solo exposto	4,03	12,5	Alta	3
Corpos d'água	2,74	8,5	Muito alta	1
Mancha urbana	1,09	3,4		1,5

Fonte

Tabela 5 – Ponderação do critério solos

Solos	Pesos
Latossolos Amarelos Distróficos	1
Argissolos Vermelho-amarelo Distróficos	2

Fonte: Autores (2021).

Após realizada as ponderações, os dados passaram por uma normalização, nada mais é que uma organização dos dados com os respectivos valores. Para isso foi utilizado uma análise de forma empírica sobre as classes temáticas para avaliação dos dados de forma hierárquica. O método utilizado foi o Processo Analítico Hierárquico – AHP.

### 3.4 Processo Analítico Hierárquico – AHP

O método é aplicado no auxílio de problemas que envolvem tomadas de decisão. O processo, segundo Ribeiro e Alves (2016) utiliza comparações e avalia os pares dos critérios, realizando uma comparação entre os valores e reconhecendo o critério mais importante no processo de tomada de decisão. Para isso construiu uma matriz de decisão (Tabela 5).

Tabela 6 – Matriz decisão.

Classes	Solos	Altitude	Declividade	Erosividade	Erodibilidade	Uso e ocupação
Solos	1	2	1	1	5	4
Altitude	0,5	1	1	1	2	3
Declividade	1	1	1	1	1	4
Erosividade	1	0,33	0,5	1	2	4
Erodibilidade	0,2	0,33	0,20	0,50	1	3
Uso e ocupação	0,25	0,33	0,20	0,25	1	1

Fonte: Autores (2021).

Nota-se que os valores da diagonal são iguais a um, ou seja, cada classe comparada a ela mesmo torna-se iguais. Em seguida foram obtidos os pesos de cada classe (Tabela 6).

Tabela 7 – Pesos dos critérios avaliados.

Classes	Pesos
Solos	0,29
Altitude	0,17
Declividade	0,19
Erosividade	0,18
Erodibilidade	0,11
Uso e ocupação	0,06

Fonte: Autores (2021).

Logo após serem atribuídos os pesos foi feito o teste de consistência. Uma vez calculado o  $\lambda_{m\acute{a}x}$  através da (Equação 1).

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{1}{n} \sum \frac{Aw}{w} \quad (1)$$

Foi calculado o índice de consistência (IC) (Equação 2), onde (n) é o número de critérios estabelecidos:

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Em seguida foi calculado a razão de consistência (RC), a partir da Equação 3:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (3)$$

O valor do (IR), trata-se do índice randômico, utiliza uma escala de 1 a 9 e o seu valor é tabelado de acordo com Saaty (1990) (Tabela 7).

Tabela 8 – Índice randômico.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	<b>1,24</b>	1,32	1,41	1,45

Fonte: Saaty (1990).

A razão de consistência (RC) de acordo com o método, deverá ser menor que 0,10 para que haja coerência nos dados. O resultado obtido para o  $\lambda_{m\acute{a}x}$  foi de 5,99 e para o (RC) foi 0,001. A partir dos dados extraídos deu-se segmento para confecção dos mapas temáticos.

A álgebra de mapas foi realizada em ambiente SIG, no *software* Qgis 3.16 através da Calculadora *Raster*. Foram inseridas novas ponderações nos arquivos *shapefiles* por meio da tabela de atributos e depois convertidas para arquivos *rasters* calculando o produto entre eles através da (Equação 4).

$$S = (E * 0,20) * (K * 0,12) * (H * 0,17) * (D * 0,18) \quad (4)$$

Sendo:

**S**= Suscetibilidade;

**E**= Erosividade;

**K**= Erodibilidade;

**H**= Hipsometria;

**D**= Declividade;

**UCS**= uso e ocupação do solo;

**V**= Vulnerabilidade.

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade, foi atribuído de forma empírica os valores de 1,5 para suscetibilidade e de 3 para o uso e cobertura do solo (Equação 5), de acordo com Santos e Nascimento (2020), o modelo é baseado em compreender as características do ambiente alterado pelas ações negativas do homem.

$$V = (S * 1,5) * (UCS * 3) \quad (5)$$

A tipologia do solo, altitude e declividade, são fatores que influenciam diretamente no processo de erosão. Solos que apresentem boa permeabilidade são menos vulneráveis de sofrer processos erosivos e, quanto a declividade, de acordo com Santos e Nascimento (2020), quanto maior o declive, maior a energia cinética da água da chuva e conseqüentemente acarreta a suscetibilidade à erosão. Logo a classe de maior ponderação é classe de solos e em seguida a declividade.

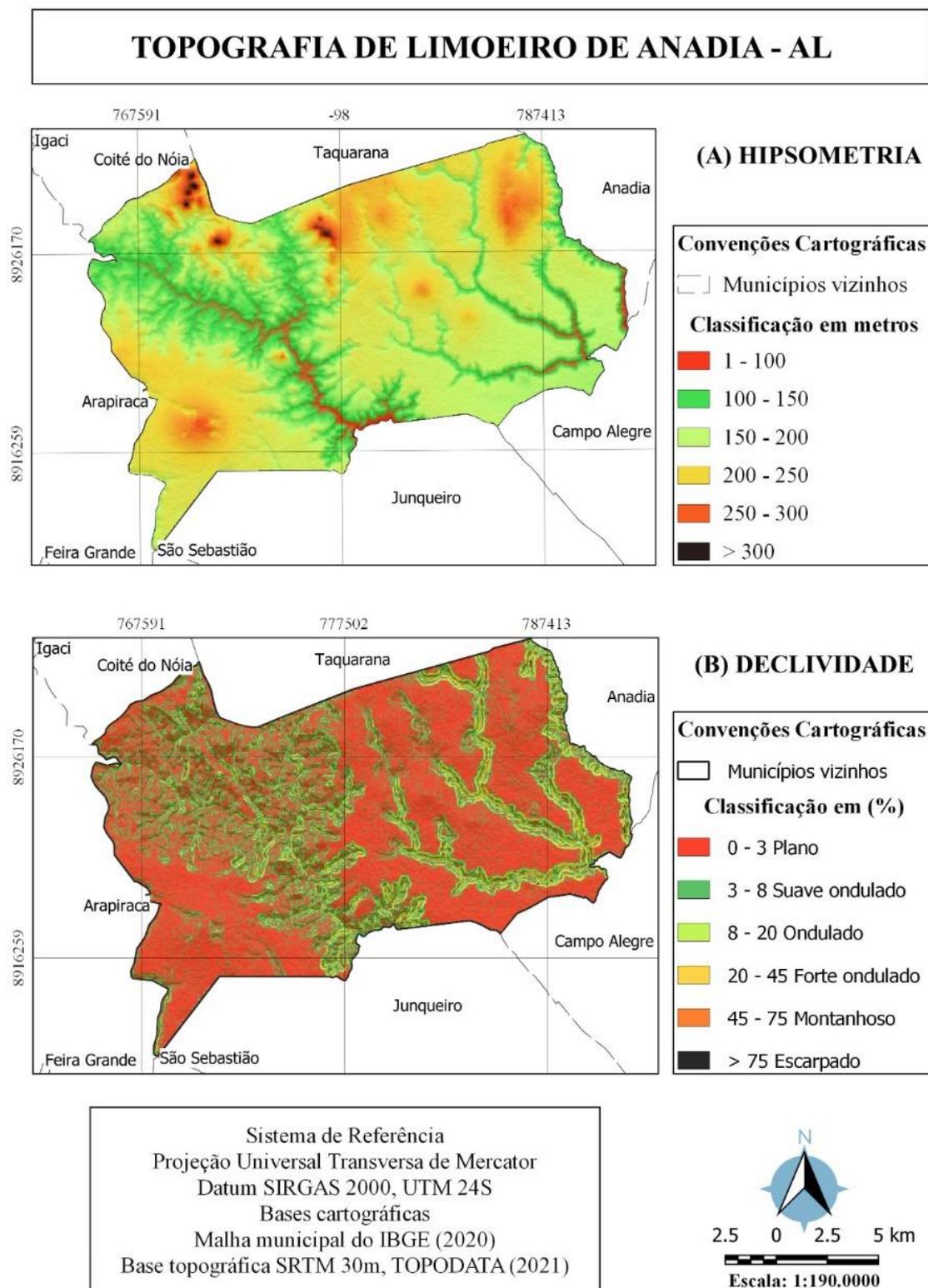
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar as vulnerabilidades ambientais de uma determinada área, torna-se imprescindível conhecer sobre a sua topografia. Informações como declividade e hipsometria, são elementos chaves para avaliação da geomorfologia local.

De acordo com as classes topográficas representadas na Figura 3, é possível avaliar a instabilidade aos processos erosivos de uma determinada área. As áreas que variam de 0 a 3 foram classificadas como planas com área de 201,08 km<sup>2</sup> o equivalente a 64,86%. Para as áreas que variam de 200 a 250, classificadas como classes forte ondulado, apresentam zonas intermediárias. São zonas que apresentam um relevo mais acentuado e, quanto maiores as altitudes, maiores as influências que as águas pluviais têm sobre a área, isso é devido à medida em que as águas escoarem irem ganhando volume o que potencializa o lixiviamento de sedimentos e favorecendo à processos erosivos (LESEN, 2006). Sendo assim, os mapas topográficos, tornam-se importantes ferramentas para análise sistemática as suas influências a partir das informações do relevo.

Outro fator importante para análise é o solo, este fator está interligado as práticas de conservação ambiental. Quando não existe um bom manejo, o solo se torna vulnerável as chuvas e conseqüentemente suscetível a erosões.

Figura 5 - Topografia de Limoeiro de Anadia – AL.

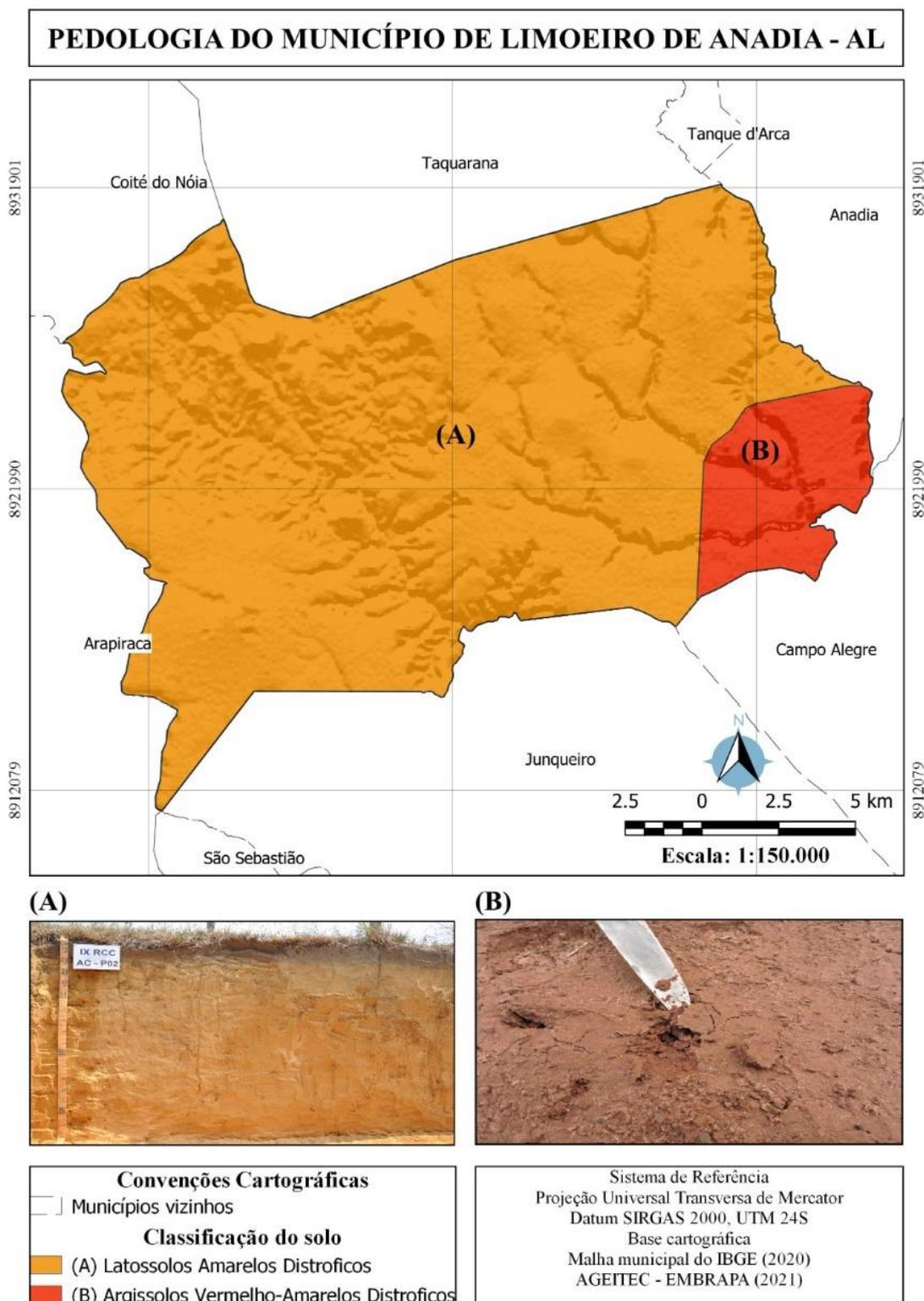


Fonte: Autores (2021).

O município, apresenta duas tipologias de solos, conforme Figura 4. São eles: Latossolos amarelo distróficos e os Argissolos vermelho-amarelo. Os Latossolos representam aproximadamente 92% de todo território estudado. Esse solo apresenta boas condições físicas e não é favorável a processos erosivos, o que lhe confere boas condições de reter umidade e, portanto, são muito utilizados em diversos tipos de plantios (SANTOS, ZARONI e ALMEIDA, 2021a). Segundo os mesmos autores, em tempos secos, apresentam problemas de compactação o que o tornam um, solo muito duro.

Já os 8% restantes, os Argissolos vermelho-amarelo distróficos, são solos suscetíveis a erosões e apresentam baixa fertilidade natural, necessitando assim, de correções que envolvam adubagem e calagem (SANTOS, ZARONI e ALMEIDA, 2021b). Os Argissolos vermelho-amarelo são bastante utilizados no plantio de cana-de-açúcar, nas pastagens e fruticultura e, geralmente, apresentam características de solos profundos e de baixa fertilidade (MASCARENHAS, BELTRÃO e SOUZA JUNIOR, 2005). A partir das informações da tipologia do solo, foi confeccionado o mapa de erodibilidade.

Figura 6 - Pedologia do município de Limoeiro de Anadia – AL.



Fonte: Autores (2021).

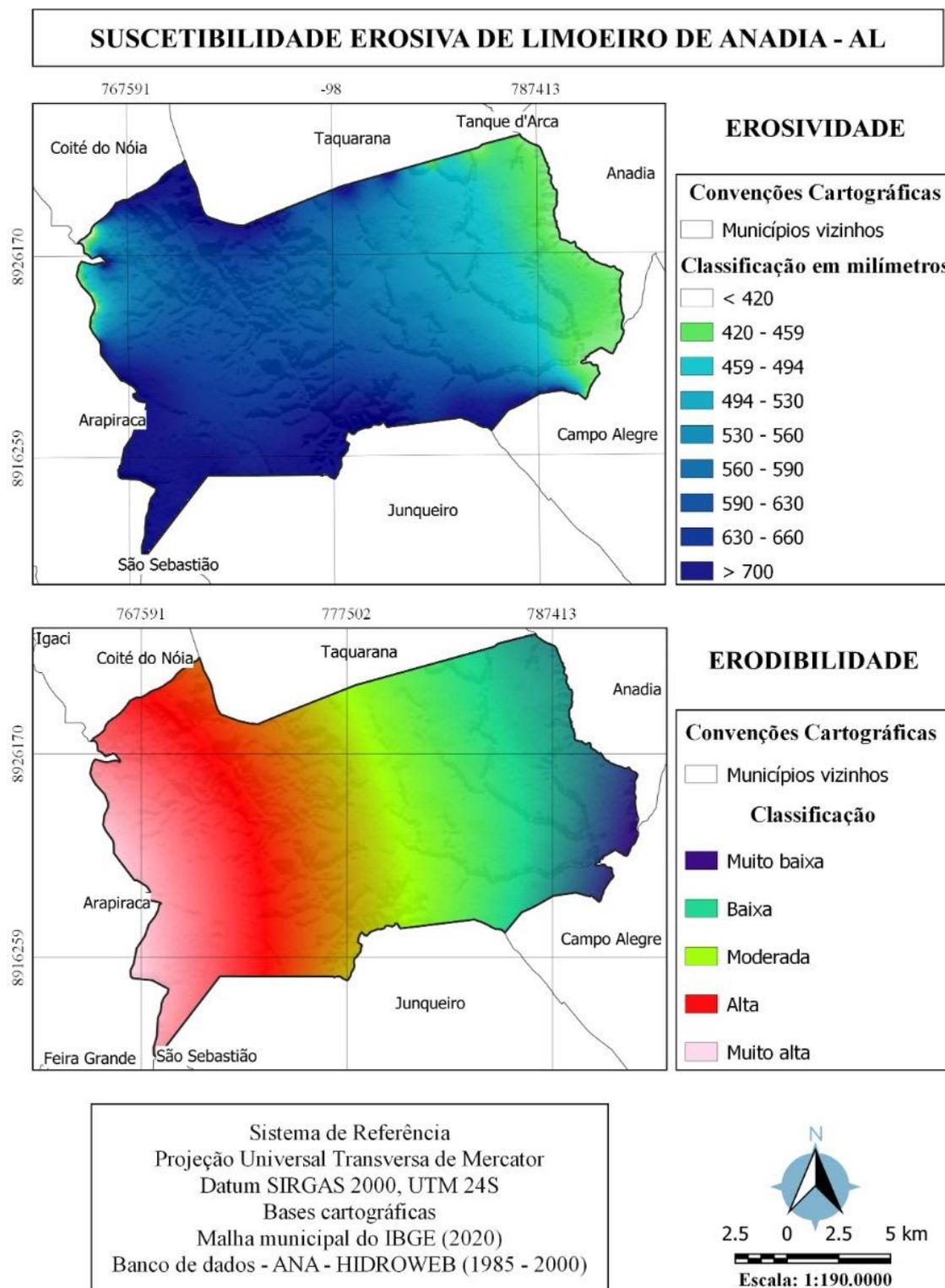
Ao analisar a erodibilidade (Figura 5), observamos as classes variando entre as zonas classificadas muito baixas em áreas com suscetibilidade a erosões e muito altas em

regiões onde o solo não apresenta características erosivas. Esse efeito pode ser explicado se analisarmos as classes pluviométricas no mapa de erosividade. Assim podemos perceber que as regiões classificadas como muito baixa a erodibilidade apresentaram baixo índice pluviométrico e o mesmo acontece se analisarmos as áreas classificadas como muito alta em solos de baixa vulnerabilidade com índices pluviométricos altos, ou seja, torna-se proporcional à medida que o índice pluviométrico aumenta independente da classe do solo.

O outro fator importante, é a sua topografia, onde os índices pluviométricos situam-se em áreas que variam de 100 a 300 metros classificados como de aclives moderado com características de relevo que influencia para a acentuada velocidade de escoamento das águas pluviais, tornando-se regiões mais vulneráveis.

Para conter as regiões dos efeitos de vulnerabilidade, surge a necessidade de tecnologias que visem amenizar os efeitos com potenciais de degradação e as práticas de conservação com fator preponderante, a vegetação, tornam-se elementos indispensáveis para a proteção do solo. Giambelluca (2002), diz que a cobertura vegetal são tipos ou formas de vegetação de origem natural ou plantada pelo homem que recobrem um determinado espaço no qual é de extrema importância para proteção do meio ambiente. A cobertura vegetal funciona como uma espécie de telhado diminuindo o impacto, como por exemplo causado pelas chuvas e ventos, protegendo o solo da erosão e desertificação ao proteger o solo e as raízes das árvores equilibrando a temperatura.

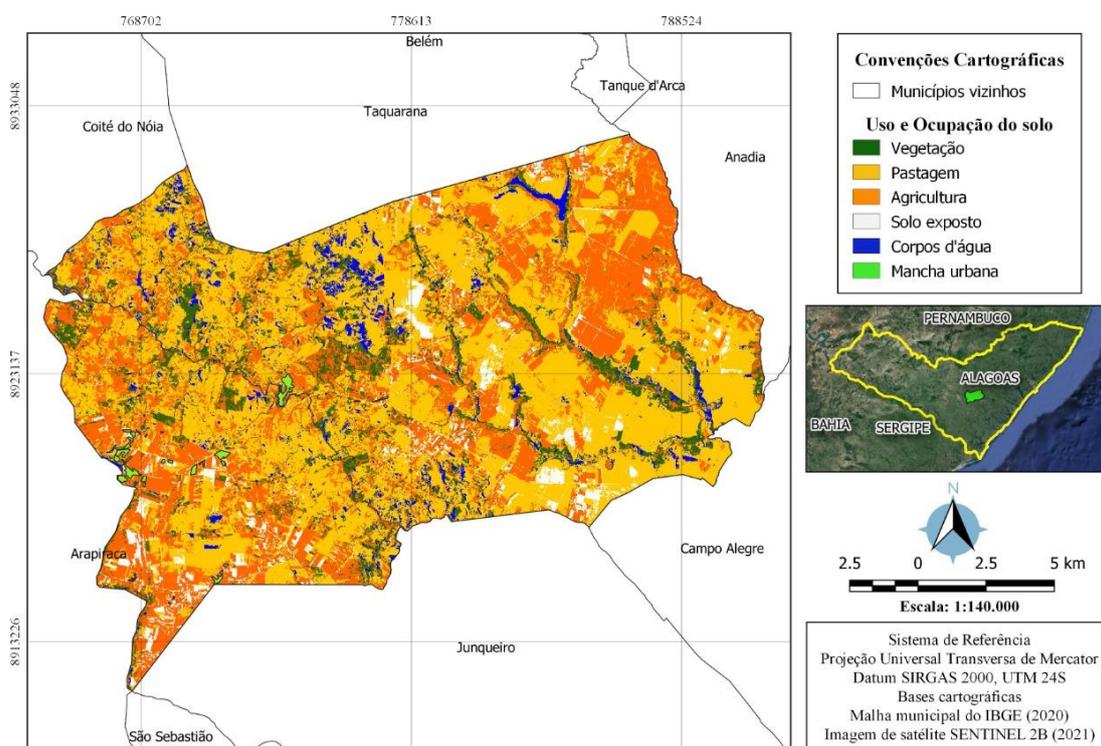
Figura 7 - Suscetibilidade erosiva de Limoeiro de Anadia -AL.



Fonte: Autores (2021).

Analisando as informações contidas no mapa de uso e ocupação do solo (Figura 6), nota-se uma perda expressiva de vegetação equivalente a 9,84% ocupando uma área de apenas 30,5 do município. Em seguida as áreas de pastagem ocupando 198,1 km<sup>2</sup> o equivalente a 63,90% e a agricultura ocupando 55,3 km<sup>2</sup> cerca de 18%, juntos ocupam quase todo o território.

Figura 8 - Mapa de uso e ocupação do solo do município de Limoeiro de Anadia, Agreste Alagoano, no ano de 2021.



Fonte: Autores (2021).

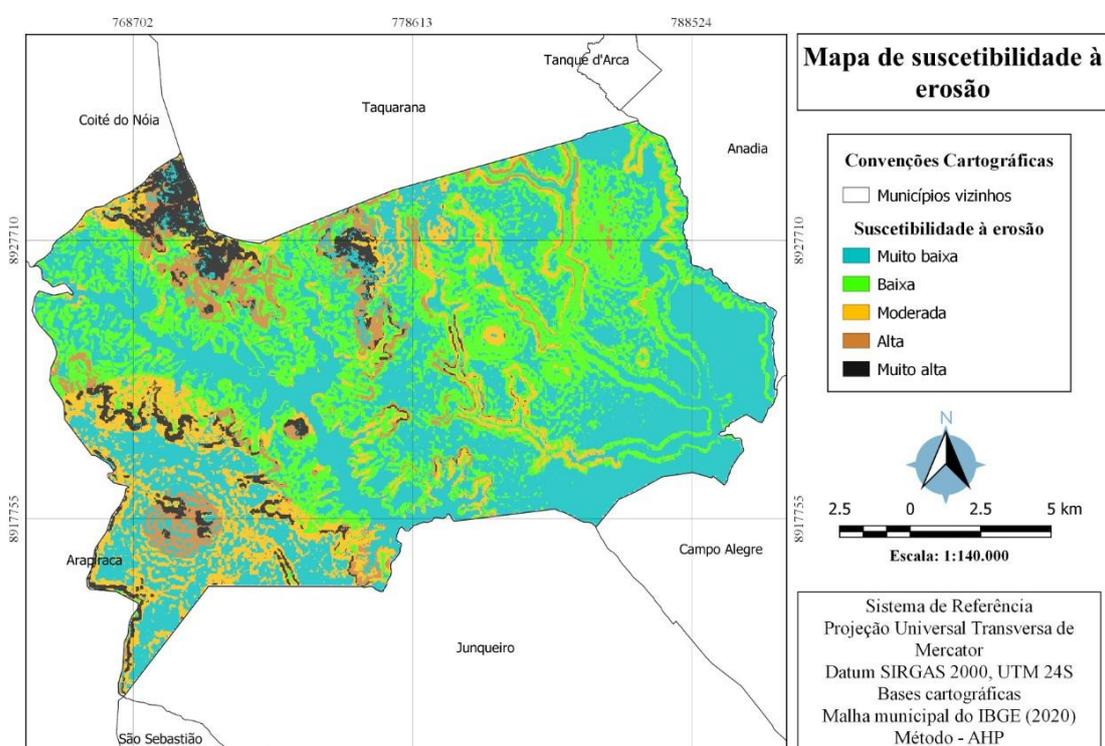
Essa taxa de ocupação pode ser compreendida de acordo com Lima (2019), em que mais de seis mil hectares disponíveis para agricultura abrangendo os municípios de Campo Alegre, Anadia e Limoeiro de Anadia. Contudo, o mesmo autor destaca também, que o estado de Alagoas caminha para o cultivo diversificado como a: soja, o feijão e o algodão. Esse dado reforça a diversificação dos cultivos agrícolas em substituição ao monocultivo de cana-de-açúcar, o que ajuda na manutenção da fertilidade do solo.

Em seguida temos a representação do solo exposto que ocupa uma área de 12,5 km<sup>2</sup> o equivalente à 4,03 %, os corpos d'água que ocupam área de 8,5 km<sup>2</sup> equivalente 2,74% e a mancha urbana que ocupa uma área de 3,4% o que representa uma taxa de

ocupação de 1,09%, visto que se trata de um município que comporta aproximadamente 29 mil habitantes (IBGE 2020).

Graças as técnicas de geoprocessamento existentes foram possíveis através do cruzamento de informações como topografia, pedologia, uso e ocupação do solo e pluviometria, obter um mapa apontando a suscetibilidade ou se não, as fragilidades ambientais do município de Limoeiro de Anadia - AL (Figura 7).

Figura 9 - Mapa de suscetibilidade a erosão do município de Limoeiro de Anadia, Agreste Alagoano, no ano de 2021.



Fonte: Autoria própria.

Ao analisarmos o mapa (Figura 7) podemos observar que o predomínio varia entre as classes de muito baixa a baixa. Correspondendo 94% da área total do município (Tabela 8).

Tabela 9 - Distribuição quantitativa das classes de suscetibilidade a erosão do município de Limoeiro de Anadia, Agreste Alagoano, no ano de 2021.

Fragilidade	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (%)
Muito baixa	148,37	47,87
Baixa	142,5	45,97
Moderada	15,6	4,90
Alta	1,11	3,55
Muito alta	0,26	0,08

Fonte: Autores (2021).

Essas classes, são zonas que estão contidas em altitudes que variam de 1 a 200 metros classificadas de plano a ondulado com taxas de precipitação pluviométricas variando entre 420 mm e 560 mm. Apesar da classificação, são áreas que merecem um monitoramento mais minucioso com dados mais atuais de pluviometria, vale lembrar que os dados obtidos para elaboração desse estudo são referentes aos anos de 1985 a 2000.

Ainda nas áreas de predomínio estão contidas as pastagens, importante fator econômico para município. De acordo com Messias et al. (2012), as pastagens possuem um médio grau de proteção ao solo, enquanto os cultivos agrícolas, apresentam um baixo grau de proteção. Para as zonas classificadas de moderada a muito alta, juntas totalizam aproximadamente 17 Km<sup>2</sup> o que é cerca de 6%. São áreas localizadas em pontos com altitudes mais elevadas e com concentrações pluviométricas mais acentuadas.

## 5. CONCLUSÃO

A área de estudo apresenta pequeno percentual com alta suscetibilidade a erosão, contudo, a expansão desordenada da área urbana e do setor agropecuário pode impulsionar os riscos de erosão, desencadeando assim, perdas de fertilidade e de capacidade de infiltração do solo.

A diversidade de culturas e o planejamento ambiental subsidia, entre outros, o manejo adequado do solo a fim de melhorar a produtividade agrícola.

Para uma maior consistência nos dados, é recomendável que seja feito um comparativo do uso e ocupação do solo com anos anteriores para identificar a real perda da vegetação ao longo dos anos, comparativo dos dados pluviométricos com mais atualizados para entender melhor o comportamento das chuvas com passar do tempo e uma análise mais detalhada de taxa de perda de solo para uma melhor compreensão das classes de fragilidade e visitas em alguns pontos do município para diagnóstico real.

## REFERÊNCIAS

AGRONOMIA, C. D. E. P. E. M.; EDUARDO, E. N. **Determinação da Erodibilidade e do Fator Cobertura e Manejo do Solo sob Condições de Chuva Natural e Simulada**. 2012.

AQUINO, R.; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F.; CURI, N.; MELLO, C. R.; AVANZI, J. C. Spatial variability of the rainfall erosivity in southern region of Minas Gerais state, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36, n. 5, p. 533-542, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542012000500006>.

ARAÚJO, M. **QGIS: Classificação Supervisionada de Imagens Orbitais com o Semi-Automatic Classification Plugin**. 2015. Disponível em: <https://qgisbrasil.org/2015/08/18/qgis-classificacao-supervisionada-de-imagens-orbitais-com-o-semi-automatic-classification-plugin/>. Acesso em: 19 jun. 2021.

ARNESEN, A. S.; GENOFRE, F. T.; CURTARELLI, M. P. ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À EROSÃO ATRAVÉS DE SIG: um subsídio ao zoneamento ecológico-econômico de Santo Amaro da Imperatriz/SC. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XVII, 2009, Florianópolis. **Simpósio...** Florianópolis: 2009.

AUGUSTO, R. A Cartografia de Paisagens e a Perspectiva Geossistêmica como Subsídios ao Planejamento Ambiental. **Revista Tamoios**, n. 1, 2016.

BETÂNIA, M.; DUARTE, P.; PPGG, G. ANÁLISES DOS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS VIVENCIADOS PELOS MORADORES DO SÍTIO GULANDIM / LIMOEIRO DE ANADIA, **Revista Equador**, v. 9, n. 3, p. 40–60, 2020.

CANAL RURAL. **Veja onde estão os solos brasileiros mais vulneráveis à erosão hídrica**. 2020. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/agronegocio/solos-brasil-erosao-hidrica/>. Acesso em: 29 jun. 2021.

COELHO, A. L. N. Sistema de Informações Geográficas (SIG) como suporte na elaboração de planos diretores municipais. **Caminhos de Geografia** (UFU), Espírito Santo, v. 10, p. 93-110, 2009.

DIREITINHO, R. M. L. C.; MARQUES NETO, J. C.; CÓRDOBA, R. E. Estudo do método AHP para desenvolvimento de estrutura de sistema de apoio à decisão (sad) no gerenciamento de resíduos da construção civil em canteiros de obras verticais. **Brasilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 5435-5460, 2020.

EDUARDO, E. N. **Determinação da erodibilidade e do fator cobertura e manejo do solo sob condições de chuva natural e simulada**. 2012. 47f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-Rio de Janeiro.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006, 306p

FARINASSO, M.; JÚNIOR CARVALHO, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – equação universal de perdas de solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n. 2, p. 73-85, 2006.

Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – **Main Report.**, Rome, Italy, 2015.

GEOGRAFIA, R. D. E. Sig Na Análise Ambiental: Susceptibilidade Erosiva Da Bacia Hidrográfica Do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. **Revista de Geografia (Recife)**, 2014. v. 31, n. 2, p. 66–87.

HIDROWEB Software. **Séries Históricas de Estações**. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 18 jun. 2021.  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geociências**. 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 18 jun. 2021.

IESEN, R. E. **Relação entre declividade e as ocorrências erosivas na área do morro do cerrito em Santa Maria, RS**. [S.l.]: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2006. Disponível em: <[https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/2189/Iesen\\_Rosa\\_Elaine.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/2189/Iesen_Rosa_Elaine.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Introdução ao SPRING**. 2021. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/introdu1/teoria1.htm>>. Acesso em: 15/06/2021.

LAL, R.; DELGADO, J.A.; GROFFMAN, P.M.; MILLAR, N.; DELL, C.; ROTZ, A. Management to mitigate and adapt to climate change. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.66, p.276-285, 2011.

LEITE, D. S. **Mapeamento da erodibilidade e erosividade na bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro – Oeste do Paraná**. 2016. 57f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Medianeira – Paraná.

Lima Santin, M. F. C. Vulnerabilidades ambientais e implicações para o desenvolvimento sustentável. **Análise-Revista de Administração da PUCRS**, v. 17, n. 1, 2006.

Lima, D. L.; Santos, J. M.; Campos, I. B. M. **Informações socioeconômicas municipais: município de Limoeiro de Anadia-AL**. 31f. 2014. Disponível em: <<https://www.bnb.gov.br/documents/80223/1309601/Relat%C3%B3rio+Limoeiro+de+Anadia.pdf/d3f50ccb-d40f-d8f6-5ab1-310796da9d09>>. Acesso em 05 de jul. 2021.

MANNIGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

Marianne, S. S. **ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E VULNERABILIDADE AOS PROCESSOS EROSIVOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO NO ESTADO DE SERGIPE**. 2019. 36f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Sergipe. São Cristovam, 2019.

MESQUISTA JÚNIOR, H. N. **Lições Aprendidas no Uso do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informação Geográficas para a Gestão Pública das Florestas Brasileiras**. 2016. 69f. Monografia (Especialização em Gestão Pública). Escola Nacional de Administração Pública, Brasília – Distrito Federal.

MORAIS, R. C. de S.; SILVA, A. J. O. Estimativa do potencial natural de erosão dos solos na Bacia Hidrográfica Do Rio Longá, Piauí, Brasil. **GEOTemas**, v. 10, n. 2, p. 116-137, 2020.

OLIVEIRA, G. H. M. **Sensoriamento Remoto Aplicado a Expansão do Perímetro Urbano do Município de Santana-AP**. 2018. 41f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Ambientais). Universidade Federal do Amapá, Macapá – Amapá.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S. de; RODRIGUES, D.B.B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1777- 1785, 2011.

RIBEIRO, M. C. de C. R.; ALVES, A. S. Aplicação do método analytic hierarchy process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. **Sistemas & Gestão**, v.11, p. 270-281, 2016.

RIZZARDI, A. S. et al. **Determinação Da Susceptibilidade À Erosão Laminar Na Bacia Do Rio Vacacaí-Mirim – Rs** . 1992. p. 1–8.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, p. 9-26, 1990.

SANTOS, M. S.; NASCIMENTO, P. S. R. Análise da suscetibilidade e vulnerabilidade à erosão hídrica pelo processo analítico hierárquico (AHP). **Gesta**, v. 9, n. 1, p. 1-19, 2020.

SANTOS, P. P. dos; AUGUSTO, R. C.; RICHTER, A. M. Sentinels 2 - Procedimentos e potencial de utilização a partir de geotecnologias gratuitas. In: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, XVIII, 2017, Santos. **Anais...** Santos: 2017. 7731 – 7737.

SILVA, J. X.; ZAIDEN, R. T. **Geoprocessamento e Meio Ambiente**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil Ltda, 2011. 330 p. ISBN 8528614891.

SILVA, M. **Sistemas de Informações Geográficas: elementos para o desenvolvimento de bibliotecas digitais geográficas distribuídas**. 2006. Dissertação

(Mestrado em Ciências da Informação). Universidade Estadual Paulista, Marília – São Paulo.

SOUZA, F. L. P. DE *et al.* Geotechnologies in soil loss evaluation. **Irriga**, 2019. v. 24, n. 3, p. 624–644.

SOUZA, F. L. P., LEME, M. D. C., SARTORI, A. D. C., MANZATO, C. L.; CAMPOS, S. Geotechnologies in soil loss evaluation. **Irriga**, v. 24, n. 3, p. 624–644, 2019.

TOPODATA. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em: 18 jun. 2021.