

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
MESTRADO PROFISSIONAL EM ANÁLISE E PLANEJAMENTO ESPACIAL –
GEOGRAFIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL EM TIMON (MA)

EDUARDA E SILVA DA CUNHA

Orientador Prof. Dr. Francílio de Amorim dos Santos

**TERESINA (PI)
2023**

EDUARDA E SILVA DA CUNHA

MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL EM TIMON (MA)

Dissertação Mestrado apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial, do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Análise e Planejamento Espacial.

Área de Concentração: Organização do Espaço.
Linha de Pesquisa: Análise ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Francílio de Amorim dos Santos

**TERESINA (PI)
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Cunha, Eduarda e Silva da

C972m Mapeamento da vulnerabilidade ambiental em Timon (MA) / Eduarda e
Silva da Cunha. - 2023.
63 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial) -
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus
Teresina Central, 2023.

Orientador : Prof Dr. Francílio de Amorim dos Santos.

1. Timon. 2. Vulnerabilidade ambiental. 3. Mapa. I. Título.

CDD - 910

Elaborado por Maria Rosismar Farias CRB 3/631

EDUARDA E SILVA DA CUNHA

MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL EM TIMON (MA)

Dissertação Mestrado apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial, do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Análise e Planejamento Espacial.

Aprovada em ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francílio de Amorim dos Santos (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Profa. Dra. Valdira de Caldas Brito Vieira
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Profa. Dra. Roneide dos Santos Sousa
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Aquele que nunca me abandonou, Deus,
e as pessoas que acreditaram em mim. . .

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por nunca me abandonar, sempre me dando força e coragem para vencer as batalhas da vida. A Maria, Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, por sempre me colocar nos seus braços e me proteger com seu manto Sagrado.

Aos meus pais, Francisca Maria e Francisco Elias, por me proporcionarem uma base familiar que reflete em toda a minha vida, por seus ensinamentos e principalmente pelo amor que me é dado desde o meu nascimento.

Ao meu irmão, Eduardo Elias, meu Manin, arrisco a dizer que seja a única pessoa que me conhece de olhos fechados.

Agradeço a mim por não desistir, os momentos difíceis foram muitos. A pequena Eduarda, obrigada viver dentro de mim, nós conseguimos! Chegamos onde você se questionava se chegaria, não que aqui seja o limite, mas de onde viemos isso representa muito.

Aquele que escolhi para caminhar comigo nos percursos da vida ao meu lado, Rannyell, sou grata pelo seu amor e paciência. Nós estamos apenas começando a nossa vida juntos.

Ao Apollo, um dos melhores presentes que a vida poderia me dá, a sua presença trouxe leveza a minha vida.

As minhas tias Socorro, Maria José e Lucineide por serem conforto, refúgio e me repassarem sabedoria em momentos difíceis.

Aos meus amigos, listá-los aqui seria injusto então cito-os sem nomeá-los, que representam encontro de almas para mim, e, que me trazem alegrias, novas formas de olhar o mundo e me são fortaleza.

Ao quarteto do MAPEPROF que faço parte; Jacqueline, Maria e Patrícia, essa amizade começou no meio acadêmico, mas vai muito além dele; aqui deixo meu agradecimento pela força em me apoiar, paciência em explicarem sobre temas que eram novos e principalmente o ombro amigo para enxugar as minhas lágrimas.

Aos colegas de curso, só nós sabemos as dificuldades e alegrias que o mestrado nos proporcionou.

Ao IFPI e MAPEPROF pela oportunidade que tive em ampliar meus conhecimentos; aos professores do programa que tiveram um grande desafio ao se adaptarem tão rapidamente em manter a mesma qualidade de um mestrado

presencial de forma online. Dentre o quadro docente cito os professores Dr. Francílio e Dra. Bruna, assim como os demais professores possuem um currículo impecável; no entanto, possuem uma forma única e humana de repassar conhecimento, ensinam de forma simples não deixando de lado a complexidade que o conhecimento exige.

Novamente cito o professor Dr. Francílio, aqui como orientador, com sua paciência e grande conhecimento me fez crescer enquanto pesquisadora, ensinando-me complexidades com uma simplicidade sem igual; suas dicas de SIGs são valiosas!

Aqueles que já estiveram presente na minha vida, aqueles que estiveram em alguns ciclos e a vida os levou por outros caminhos, aqueles que cruzaram meu caminho nessa grande jornada que é a vida e que de alguma forma me trouxeram aprendizados.

Meu muito obrigada, a todos!

"Lembre da minha ordem:
Seja forte e corajoso!
Não fique desanimado, nem tenha medo, porque
eu, o SENHOR, seu Deus, estarei com você
em qualquer lugar para onde você for!"

- Josué 1:9

RESUMO

O intenso crescimento populacional acarreta expansão urbana, gerando pressão sobre o meio ambiente e causando desequilíbrio nos sistemas ambientais. Assim, a presente pesquisa buscou avaliar a vulnerabilidade ambiental de Timon considerando o agrupamento de informações ambientais. A relevância da pesquisa se dá por agrupar essas informações e conectar as mesmas, possibilitando a análise integrada ambiental do município. Logo, o objetivo geral dessa pesquisa foi analisar as unidades geoambientais do município de Timon e avaliar a sua vulnerabilidade ambiental; enquanto, os objetivos específicos foram: caracterizar e mapear os aspectos geoambientais, aplicar uma adaptação da metodologia proposta por Crepani et al. (2001);e, produzir o mapa da vulnerabilidade ambiental. A pesquisa se fundamentou na abordagem geossistêmica e vulnerabilidade ambiental; a utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) mostrou-se necessária, sendo, imprescindível a aplicação de técnicas de geoprocessamento. Os indicadores utilizados foram: litologia (geologia), declividade (geomorfologia), erodibilidade (solos), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) (vegetação) e erosividade (clima); a escolha desses indicadores deu-se pela necessidade de adaptação da metodologia amplamente utilizada de Crepani et al. (2001), as notas atribuídas aos indicadores buscaram seguir a mesma proposta metodológica, os formato dos dados utilizados foram: tabulares, *shapefile* e *raster*, cada dado foi tratado e por fim teve-se um mapa temático de cada indicador, esses mapas foram utilizados na formulação matemática proposta, assim, chegou ao mapa da vulnerabilidade ambiental em Timon. A vulnerabilidade para a litologia mostrou-se majoritariamente baixa, pois no município encontra-se um grande quantitativo de rochas de baixa coesão; em relação à vulnerabilidade quanto a declividade foi constatado predominância do relevo suave ondulado e plano; a vulnerabilidade para a erosividade mostrou-se alta e muito alta; no que tange a vulnerabilidade para a erodibilidade foi identificado que os solos possuem uma drenagem de mediana a boa; a vulnerabilidade ao SAVI evidenciou de uma forma geral media atividade fotossintética. Assim, chegou-se à vulnerabilidade ambiental de Timon, as classes definidas a saber: muito baixa , baixa, forte e muito forte. Dentre os indicadores usados foi possível observar que a declividade teve maior influência no resultado; logo, esse indicador deve ser estudado mais profundamente. As bases da pesquisa se mostraram de grande importância para o prosseguimento do estudo e análise dos resultados. Por fim, o mapeamento executado evidenciou as potencialidades e vulnerabilidades de Timon, promovendo assim o debate acerca desses assuntos bem como pode servir de subsídio para a gestão ambiental eficiente do município.

Palavras - chave: Timon; vulnerabilidade ambiental; mapa.

ABSTRACT

The intense population growth leads to urban expansion, generating pressure on the environment and causing imbalance in environmental systems. Thus, this research sought to identify the environmental vulnerability of Timon considering the grouping of environmental information. The relevance of the research is to group this information and connect them, enabling the integrated environmental analysis of the municipality. Therefore, the general objective of this research was to perform the geoenvironmental analysis of Timon and evaluate his environmental vulnerability; while, the specific objectives were: to characterize and map the geoenvironmental aspects, apply an adaptation of the methodology proposed by Crepani et al. (2001); produce the map of environmental vulnerability, and analyze the results obtained. The research was based on the geosystemic approach and environmental vulnerability; the use of a Geographic Information System (GIS) proved to be necessary, being essentially the application of geoprocessing techniques. The indicators used were: lithology (geology), slope (geomorphology), erodibility (soils), SAVI (vegetation) and erosivity (climate); the choice of these indicators was due to the need to adapt the widely used methodology of Crepani et al. (2001) indicators sought to follow the same methodological proposal, the format of the data used were tabular, shapefile and raster, each data was treated and finally had a thematic map of each indicator, these maps were used in the proposed mathematical formulation, thus, came to the map of environmental vulnerability in Timon. The vulnerability to lithology was shown to be mostly low, as there is a large number of rocks with low cohesion in the municipality; in relation to vulnerability in terms of slope, a predominance of smooth, wavy and flat relief was observed; vulnerability to erosivity was high and very high; with regard to vulnerability to erodibility, it was identified that the soils have medium to good drainage; vulnerability to SAVI generally showed moderate photosynthetic activity. Thus, the environmental vulnerability of Timon was arrived at, the classes defined namely: very low, low, strong and very strong. Among the indicators used, it was possible to observe that the slope had the greatest influence on the result; therefore, this indicator should be studied more deeply. The bases of the research proved to be of great importance for the continuation of the study and analysis of the results. Finally, the mapping carried out showed Timon's potentialities and vulnerabilities, thus promoting the debate on these issues and can serve as a subsidy for the efficient environmental management of the municipality.

Keywords: Timon; environmental vulnerability; map.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da área em estudo	28
Figura 2 - População de Timon nos Censos Demográficos de 1970/2010.	29
Figura 3 – Unidades Geológicas	31
Figura 4 - Formações geológicas	32
Figura 5 - Relevo de Timon	33
Figura 6 - Micro bacias Hidrográficas em Timon	35
Figura 7 - Solos de Timon.	36
Figura 8 - Latossolo Amarelo	36
Figura 9 - Uso e cobertura das terras de Timon.....	38
Figura 10 - Uso e cobertura das terras de Timon em percentual	39
Figura 11 - Ordem de execução dos procedimentos.....	40
Quadro 1 - Resumo dos dados utilizados	42
Figura 12 - Litologia de Timon	45
Figura 13 - Classificação do relevo pela declividade em Timon	46
Figura 14 - Classes do relevo em percentuais.	47
Figura 15 - Erosividade em Timon	48
Figura 16 - Erodibilidade em Timon.	50
Figura 17 - Erodibilidade em percentuais	50
Figura 18 - SAVI de Timon.....	52
Figura 19 - Classes do SAVI em percentuais	53
Figura 20 - Vulnerabilidade em Timon	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do relevo pela declividade pela EMBRAPA	41
Tabela 2 - Intervalos de Erosividade das chuvas (R) e classes atribuídas.	42
Tabela 3 - Vulnerabilidade Ambiental em Timon	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
SAVI	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
NDVI	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
OMS	Organização Mundial da Saúde
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 APORTE TEÓRICO-CONCEITUAL E METODOLÓGICO	15
2.1 A ABORDAGEM GEOSISTÊMICA.....	15
2.1.1 Análise integrada ambiental	18
2.2 VULNERABILIDADE AMBIENTAL	19
2.2.1 Vulnerabilidade para Litologia.....	21
2.2.2 Vulnerabilidade para Geomorfologia	21
2.2.3 Vulnerabilidade para Erosividade	23
2.2.4 Vulnerabilidade para Erodibilidade	24
2.2.5 Vulnerabilidade para o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)	25
2.3 GEOPROCESSAMENTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIGS) AUXILIANDO NA ANÁLISE AMBIENTAL.....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS E TÉCNICAS	28
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	28
3.2 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS DA ÁREA EM ESTUDO	30
3.2.1 Geologia	30
3.2.2 Geomorfologia.....	32
3.2.3 Caracterização Climática.....	33
3.2.4 Hidrografia	34
3.2.5 Pedologia	35
3.2.6 Uso e cobertura das terras.....	37
3.3 MÉTODOS E TÉCNICAS.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1 VULNERABILIDADE PARA LITOLOGIA	45
4.2 VULNERABILIDADE PARA DECLIVIDADE	46
4.3 VULNERABILIDADE PARA EROSIVIDADE	48
4.4 VULNERABILIDADE PARA A ERODIBILIDADE.....	49
4.5 VULNERABILIDADE PARA O SAVI	51
4.6 VULNERABILIDADE AMBIENTAL	53
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
REFERÊNCIAS	57
APENDICE – ATLAS	64

1 INTRODUÇÃO

O intenso crescimento populacional acarreta expansão urbana, de tal modo, que gera pressão sobre o meio ambiente devido ocupação de áreas que deveriam ser protegidas. Essas ocupações remetem ao impacto ambiental, que de acordo com BRASIL (1986), pode ser definido como as mudanças ocorridas no meio ambiente em decorrência da ação do homem que “direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais”.

Aliada as essas mudanças que o homem ocasiona no meio ambiente, ocorre a quebra dos sistemas ambientais; alterando o funcionamento e equilíbrio do ambiente natural, o que leva há ambientes com alterações no fluxo de matéria e energia.

O recorte espacial da pesquisa é o município maranhense de Timon. A seleção desse município como área de estudo ocorreu pelos seguintes motivos: o município, assim como muitos outros, nos últimos anos vem sofrendo com a pressão antrópica, possibilidade de reunir e discutir informações acerca desse município, haja vista a escassez de estudos ambientais desse local; proporcionar o debate sobre a vulnerabilidade ambiental, bem como chamar a atenção do poder público e da sociedade em geral acerca da importância das vulnerabilidades que o município tem e conseqüentemente a relevância da preservação do meio ambiente para que as vulnerabilidades não acarretem problemas futuro a população.

Nesse sentido, evidencia-se a necessidade de discutir a temática em questão, tendo em vista que acaba por interferir na qualidade de vida da população de uma forma geral. Logo, a realização dessa pesquisa visa contribuir com a divulgação de informações acerca da vulnerabilidade ambiental e, ainda, evidenciar a importância da utilização dos recursos naturais de forma eficiente de tal forma que não os tornem fragilizados.

Assim, será necessária a utilização de um SIG, que permite o manuseio de várias informações de forma simultânea e possibilita uma análise espacial integrada do objeto em estudo. Em vista disso, serão aplicadas técnicas de geoprocessamento e emprego de dados espaciais do tipo matricial (imagens de satélite), vetoriais (*shapefile*) e tabulares, que serão cruzados e manipulados para obtenção dos mapas

temáticos. Propõe-se, também, a utilização de álgebra de mapas, como possibilidade de conhecimento das áreas com maior vulnerabilidade ambiental.

Considerando o exposto, o agrupamento de informações ambientais de Timon e a metodologia amplamente utilizada de Crepani *et al.* (2001); surge o seguinte questionamento: é possível com uma adaptação da metodologia chegar-se a vulnerabilidade ambiental de Timon?

Apesar do município de Timon possuir bastantes áreas consolidadas, principalmente no perímetro urbano, o mapeamento da vulnerabilidade permite o conhecimento das fragilidades ambientais de Timon, tal conhecimento possibilita que as limitações naturais do município sejam consideradas. Dessa forma, auxiliando no planejamento e tomada de decisões relacionadas à gestão ambiental e ao desenvolvimento sustentável do local.

Partindo desse pressuposto a relevância dessa pesquisa se dá pelo fato de agrupar várias informações ambientais e conectar as mesmas, ao tempo em que possibilita uma análise integrada ambiental baseando-se em uma metodologia replicada no país há anos considerando as particularidades do município.

Com o intuito de responder esse questionamento o objetivo geral dessa pesquisa foi realizar a análise geoambiental de Timon e avaliar a sua vulnerabilidade ambiental, para auxiliar na tomada de decisões tendo em vista as particularidades do município. Ao passo que os objetivos específicos foram: caracterizar e mapear os aspectos geoambientais do município, aplicar uma adaptação da metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001); produzir o mapa da vulnerabilidade ambiental de Timon, e, analisar os resultados obtidos.

2 APORTE TEÓRICO-CONCEITUAL E METODOLÓGICO

2.1 A ABORDAGEM GEOSISTÊMICA

Na história da humanidade nunca se teve tanto conhecimento sobre o meio ambiente e degradação ambiental, tal fato se dá por um lado pelo grande crescimento populacional, da demanda que esse crescimento implica, como, por exemplo, o crescimento urbano e, principalmente, pela falta de conscientização e preocupação da sociedade em geral com o meio em que se vive. Por outro lado, há grande preocupação dos estudiosos quanto as mudanças ocorridas na natureza.

Não é de hoje que os pesquisadores se preocupam com o funcionamento e equilíbrio do ambiente natural. Ademais, essas preocupações remontam ao século XX, quando foi proposta a Teoria Geral dos Sistemas que à época não se aplicava a Geografia. No entanto, anos após essa teoria foi desenvolvida a Teoria Geossistêmica numa tentativa de entender o espaço geográfico como uma unidade integrada entre os fatores físicos, biológicos e antrópicos.

A Teoria Geral dos Sistemas, desenvolvida por Ludwing von Bertalanffy, de uma forma geral, diz que existe uma inter-relação entre as partes de um sistema e essas partes não apenas se somam para construção do todo, mas se relacionam entre si e constroem um sistema integrado, com isso a Teoria Geral dos Sistemas visa entender a relação entre as partes com o todo analisando sua complexidade. Nas palavras de Bertalanffy:

É necessário estudar não somente partes e processos isoladamente, mas também resolver os decisivos problemas encontrados na organização e na ordem que os unifica, resultante da interação dinâmica das partes, tornando o comportamento das partes diferentes quando estudado isoladamente e quando tratado no todo (MARQUES NETO, 2009 apud BERTALANFFY, 1973, p. 53).

Dentro desse conceito, o autor propõe que os problemas existentes nas mais diferentes ciências não sejam tratados e resolvidos de forma isolada, mas que sejam debatidos e solucionados com as outras ciências, para ocorrer uma troca, e, assim, sejam preenchidas as lacunas existentes, permitindo integração entre as mais diversas áreas do conhecimento.

Diante da Teoria Geral dos Sistemas há a necessidade, na Geografia, de analisar de forma integrada o fluxo de matéria e energia dos sistemas ambientais, surgindo dessa necessidade a concepção de Geossistema, abordado na Geografia dentro da Geografia Física.

A Teoria Geossistêmica foi proposta, inicialmente, por Viktor Borisovich Sochava, em síntese, a época, essa teoria era “como uma forma de estudo de paisagens geográficas complexas, definida como uma unidade dinâmica como organização geográfica própria e um espaço que permite repartição de todos os componentes de um geossistema” (NASCIMENTO; SAMPAIO, 2012, p.160). Tricart (1977) contribui com o conceito de sistemas ambientais, afirmando que, os fenômenos acontecem por meio do fluxo de matéria e energia originados de interdependência, assim, surgindo uma nova entidade dinâmica e dialética; logo, permitindo a análise do todo e não apenas partes do todo.

Assim, o geossistema pode ser definido como um sistema aberto, de hierarquia organizada, instável e de fatores físicos, biológicos e antrópicos, sendo o resultado da combinação dos potenciais ecológicos (geomorfologia, clima, hidrologia) com a exploração biológica (vegetação, solo, fauna) e as atividades antrópicas (SALES, 2004). Logo, fica evidenciado a relação do potencial ecológico com a exploração biológica que variam no tempo e no espaço, possibilitando assim a dinâmica ao geossistema (DIAS; SANTOS, 2007).

Partindo do geossistema se faz necessário recorrer a conceituação de paisagem, visto que os geossistemas de acordo com Bertrand (2004) é composto de diferentes paisagens que evidenciam os estágios dos geossistemas, assim, paisagem que ao longo dos tempos apresentou várias definições, conforme o autor, vai além do natural - como já proposto em outras épocas - e abrange a ação do homem. Nas palavras do autor

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução. BERTRAND, 2004, p.141).

Assim, como já dito acima, a paisagem considera a inserção da ação antrópica no meio, no entanto, a exploração dos recursos naturais deve considerar a limitação

da natureza, portanto, deve ocorrer o equilíbrio de tal forma que os recursos naturais sejam explorados, mas que não sejam degradados.

2.1.1 Análise integrada ambiental

A compreensão da análise integrada ambiental necessita de uma visão ampliada, sem reduções, uma vez que análise de todo o sistema ambiental vai além do somatório das partes, e, a análise das partes sem suas conexões reduz essa visão de análise (MARQUES NETO, 2009). O autor ainda cita que a necessidade da análise integrada surgiu por soluções isoladas não compreenderem uma solução completa.

Assim, a análise integrada ambiental considera a ação do homem - ser inserido nos sistemas ambientais e o impacto das suas ações no meio ambiente; permitindo a associação de vários aspectos, como por exemplo: geologia, pedologia, geomorfologia, hidrografia, uso e ocupação do solo, clima; assim, com isso é possível conhecer as potencialidades naturais e permitir a tomada de decisões baseadas nas suas vulnerabilidades.

Silva (2012) vai além e afirma que a análise integrada dentro dos seus objetivos necessita atender alguns fundamentos, assim, é dito pelo autor que a Análise Integrada deve:

Conhecer e avaliar os componentes geoambientais e os processos desenvolvidos no meio natural; Levantar e avaliar o potencial de recursos naturais das regiões; Executar mapeamentos temáticos setoriais ou integrados que tratam dos recursos naturais e do meio ambiente; Identificar as condições de uso e ocupação da terra e as implicações ambientais derivadas; Fazer cenários das perspectivas da evolução ambiental em função de impactos que têm sido produzidos; promover zoneamentos geoambientais e/ou socioambientais; Utilizar produtos de sensoriamento remoto para executar mapeamentos; Levantar problemas em áreas vulneráveis visando a recuperá-las ou conservá-las; e Promover avaliações integradas do meio físico natural. (SILVA, 2012, p.37)

De uma forma geral, a análise integrada visa identificar os problemas ambientais, bem como compreendê-los e avaliá-los considerando o efeito cumulativo do tempo; possibilitando a realização dos planejamentos ambientais sustentáveis onde leva em consideração medidas de mitigação e recuperação, considerando a

utilização eficiente dos recursos naturais; com isso, visa garantir um equilíbrio entre as ações do homem e o meio ambiente.

2.2 VULNERABILIDADE AMBIENTAL

O termo vulnerabilidade passou a ser difundindo na década de 80, a época sendo bastante aplicado a questões de saúde, relacionado a uma epidemia desconhecida que assolava grupos de pessoas jovens; os pesquisadores buscavam compreender quais grupos tinham mais riscos de desenvolver a síndrome e se outros fatores influenciavam no aumento desse risco, a partir daí é difundida a palavra vulnerabilidade com o intuito de identificar quais pessoas, grupos sociais e fatores influenciavam e tornava vulnerável uma pessoa (SÃO PAULO, 2021).

De forma literal, recorrendo ao dicionário, vulnerabilidade é dita como “qualidade ou estado do que é ou se encontra vulnerável” (OXFORD LANGUAGES, 2023, n.p). No entanto, com o passar dos anos a palavra vulnerabilidade foi adquirindo vários conceitos a depender da área do conhecimento ao qual está sendo aplicada, como, por exemplo: vulnerabilidade social, vulnerabilidade ambiental, vulnerabilidade pessoal dentre outras. Aquino *et al.* (2017, p.13) afirmam que “o conceito de vulnerabilidade se aplica para entidades físicas (pessoas, ecossistemas) e também para conceitos abstratos (sistemas sociais, sistemas econômicos, países)” os autores ainda reforçam que por ser abrangente o termo vulnerabilidade pode ser aplicado a diversas situações.

Diante da grande variação de definição de vulnerabilidade, na presente pesquisa será adotado o conceito de vulnerabilidade ambiental, proposto por Aquino *et al.* (2017, p.15), que diz o seguinte “pode ser definida como o grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas”; o autor acrescenta que isso pode ocorrer em função das características naturais ou pela ação do homem, e, tendo em vista que os sistemas ambientais são interligados; logo o solo, clima, recursos hídricos, vegetação se relacionam entre si e o equilíbrio entre eles permite um sistema em equilíbrio da mesma forma o desequilíbrio entre eles pode tornar o sistema vulnerável.

Para realizar a análise da vulnerabilidade ambiental é necessário recorrer aos indicadores e índices; contudo, cabe salientar que existe uma discussão acerca da conceituação de indicador e índice, que por vezes são utilizados como sinônimos.

Morato (2023) com o intuito de elucidar esses conceitos e sendo respaldado por várias discussões acerca de indicadores e índice, coloca de forma interessante que os indicadores agrupam fenômenos e traduzem valores de forma simples, ou seja, simplificam algo complexo numericamente, enquanto o índice tem o objetivo de agrupar os indicadores e de forma resultante representar o todo.

O referido autor destaca a importância da utilização de indicadores ambientais de qualidade, pois consequentemente o índice resultante terá ligação direta com os bons indicadores utilizados e tendo isso em consideração eles permitirão a utilização dos recursos naturais de forma mais eficiente.

É importante destacar o fato de que os indicadores precisam atender os seguintes requisitos da Organização Mundial da Saúde (OMS), segundo Aquino *et al.* (2017), que são: serem válidos, objetivos, sensíveis e específicos. Logo, para que o índice de vulnerabilidade ambiental venha a “compreender e mensurar as vulnerabilidades do meio ambiente, antever danos maiores e irreversíveis que coloquem em risco o bem-estar e o futuro da humanidade” (AQUINO *et al.*, 2017, p.40).

O Mapeamento da Vulnerabilidade proposto pela presente pesquisa foi elaborado tomando como base a metodologia de Crepani *et al.* (2001), tendo como recorte espacial Timon. Logo, após essa pesquisa vários estudos foram desenvolvidos usando a mesma metodologia ou uma adaptação; como, por exemplo, a pesquisa desenvolvida por Rabelo *et al.* (2016) que investiga a vulnerabilidade ambiental da lagoa Bacuri, localizada também no Maranhão, onde foi possível detectar vários níveis de vulnerabilidade no recorte espacial do estudo e identificar as características dos locais em que ocorreram, como, por exemplo, sedimentos geológicos. O estudo realizado por Leal (2019) tem entre seus objetivos a execução de um mapa de vulnerabilidade ambiental de São Miguel do Tapuio, a autora concluiu que o município necessita de ordenamento territorial.

Considerando a metodologia aplicada por Crepani *et al.* (2001), e a sua respectiva adaptação, chegou-se a Vulnerabilidade Ambiental de Timon através dos seguintes indicadores: litologia, geomorfologia, erosividade, erodibilidade e SAVI que serão discutidos ao longo dessa pesquisa.

2.2.1 Vulnerabilidade para Litologia

O conhecimento da Litologia de uma área permite o entendimento do funcionamento da base física onde todos os outros processos, quer sejam naturais ou antrópicos acontecem; dentro disso, a Geologia deixa de ser uma matéria isolada do conhecimento e passa a interagir com as outras áreas do conhecimento tornando-a parte do sistema ambiental e sendo uma geologia “menos estática, mais viva” (PENHA, 1990).

Assim, surge a geologia ambiental com o intuito de entender como funciona os “sistemas terrestres de prever seu comportamento futuro e de prevenir e corrigir os danos e prejuízos que podem derivar da interação entre processos terrestres, meio ambiente e atividade humana” (RIBEIRO; CARDOSO, 2014, p.07)

Dessa forma, o estudo geológico permite o entendimento do ambiente em que se formou os terrenos e seu uso e ocupação, possibilitando a compreensão das suas potencialidades e fragilidades, assim, o conhecimento das vulnerabilidades do solo no qual estamos assentados possibilita que seja realizada a prevenção e/ou mitigação de acidentes geológicos, ocasionando em menos problemas sociais que são desencadeados por acidentes dessa magnitude.

Rabelo *et al.* (2016) na sua pesquisa estudou a Vulnerabilidade Ambiental para a gestão da Lagoa Bacuri no Maranhão. Os autores utilizaram uma adaptação da metodologia de Crepani *et al* (2001), e dentre os índices foi utilizado a Litologia (Geologia), os resultados da pesquisa foi satisfatório uma vez que foi possível quantificar a vulnerabilidade no entorno da lagoa atingindo assim o objetivo proposto da pesquisa.

2.2.2 Vulnerabilidade para Geomorfologia

De acordo com Christofolletti (1980), as formas do relevo como também os processos em que esculpiram o relevo, são o objeto central da geomorfologia, que com suas “relações constituem o sistema geomorfológico, que é um sistema aberto pois recebe influencias e também atua sobre outros sistemas componentes de seu universo” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.8).

Diante disso, o relevo em si influencia na ocupação do solo, visto que regiões planas são mais solicitadas para construções do que regiões com declividade

acentuada, assim, o comportamento do relevo pode servir de subsídio para o planejamento das cidades.

Ainda que o relevo possua suas características resultantes de processos naturais moldadas ao longo do tempo é necessário considerar a construção do relevo em curto período de tempo, onde nessa situação o ser humano é o maior agente modelador, as alterações causadas pelo homem no relevo são bastantes comuns nas cidades. Uma vez que é realizada a expansão da malha urbana novos espaços começam a ser ocupados, nisso, regiões mais extremas começam a ser ocupadas e como consequência morros, fundo de vales dentre outros tipos de formações são ocupados e obras de terraplanagem são realizadas com o intuito de realizar cortes e aterros objetivando a planificação dessas áreas; logo, tem-se uma remodelação do relevo ocasionada pela ação do homem que resulta na alteração do fluxo em que ocorrer os processos naturais bem com no equilíbrio natural.

Portanto, “as novas formas de relevo são oriundas da acumulação de detritos urbanos, associados a sedimentos que são removidos, transportados e depositados, se acumulando em locais, que não sejam de sua origem” (MIYAZAKI, p. 78, 2014). A vulnerabilidade do relevo quanto a ocupação é definida pela localização que a população ocupa, por exemplo, edificações construídas em morros tem um risco maior a sofrerem deslizamentos como também as edificações construídas em planícies de inundação são suscetíveis a enchentes e/ou alagamentos.

Além da formação natural o fator econômico também influencia na vulnerabilidade, considerando que as populações que são menos favorecidas financeiramente buscam por moradia em locais que possuem menos valor de mercado, que comumente são regiões de morros, planícies de inundação, regiões próximas a rios, entre outros tipos; assim, tem-se edificações construídas em locais onde há risco maior de deslizamento, alagamentos, inundações.

Isto posto Christofolletti *apud* Miyazaki (2014,p. 73-74) diz que a “potencialidade aplicativa do conhecimento geomorfológico insere-se, portanto, no diagnóstico das condições ambientais, contribuindo para orientar a alocação e o assentamento das atividades humanas”; o que remete ao que foi discutido anteriormente, assim, a vulnerabilidade a ocupação do relevo está diretamente interligada com as condições naturais, ocupação do relevo e sua esculturação acelerada ocasionada pelo homem, e, as condições sociais da população.

Andrade e Rovani (2022) pesquisaram sobre a vulnerabilidade natural a perda do solo considerando a análise integrada ambiental e a metodologia de Crepanni *et al* (2001), na pesquisa dentre os índices usados foi utilizado a geomorfologia; a pesquisa obteve êxito com o mapa síntese final da vulnerabilidade da área em estudo sendo possível evidenciar como os próprios autores afirmam “de forma integrada, as relações entre elementos naturais e o uso e cobertura da terra, do ponto de vista da ecodinâmica da paisagem” (ANDRADE E ROVANI , p. 21, 2022).

2.2.3 Vulnerabilidade para Erosividade

O conceito de Erosividade remete a capacidade que o solo tem de sofrer erosão, principalmente, por meio da água ou do vento, no entanto, é importante destacar que a erosão ocorre de forma natural e pode ser potencializada pela ação antrópica (desmatamento, agricultura, urbanização entre outras ações), pois a erosão do solo em síntese se trata de partículas que são desprendidas e arrastadas por meio da chuva ou vento; sendo que alguns fatores influenciam, são eles: clima, topografia, tipo do solo, cobertura vegetal e ação antrópica (RUBIRA *et al.*, 2016). Assim esses fatores devem ser observados com bastante atenção uma vez que eles tornam uma área suscetível a erosão, o que pode acarretar degradação dos solos, assoreamento, perda de produtividade dos solos.

Apesar dos conceitos de erosividade e erosão estarem diretamente interligados, destaca-se que a erosividade almeja quantificar a potencialidade dos processos naturais têm de ocasionar a erosão. Essa quantificação pode ser realizada por métodos diferentes considerando os elementos em análise, sendo assim calculado, por exemplo, a erosividade da água ou do vento em ambos o que se mensura é a capacidade de remoção do solo quer seja pelo escoamento da água ou transporte pelo ar.

Santos *et al.* (2020, p.3) afirma que a “a vulnerabilidade à erosão é decorrente das atividades antrópicas e está condicionada aos fatores de cobertura vegetal e uso do solo” e reforça que a vegetação é um dos principais agentes que protegem o solo; esse conhecimento permite um planejamento adequado para locais suscetíveis a erosão e medidas de conservação do solo, como, por exemplo: manutenção da vegetação que auxilia na infiltração das águas das chuvas, fixa o solo por meio das raízes.

Oliveira e Fehr (2019), respaldados pela pesquisa desenvolvida por Crepanni *et al* (2001), utilizaram o indicador denominado influencias climáticas (chuvas), em resumo trata-se dos dados pluviométricos, que também foram utilizados na presente pesquisa; ao concluírem a pesquisa os autores afirmam que foi possível constatar a relação dos elementos físicos com as ações do homem e reproduzir espacialmente a situação de vulnerabilidade ambiental da área em estudo.

2.2.4 Vulnerabilidade para Erodibilidade

O conceito de erodibilidade remete a erosão que consiste no processo onde as partículas são separadas e arrastadas do solo e são arrastadas por agentes erosivos: água, vento, temperatura, e quando o transporte não é mais possível essas partículas se depositam em outros solos e/ou corpos hídricos; a textura, permeabilidade, densidade influenciam sobre o processo de erosão (CUIABANO *et al.*, 2017); de acordo com Santos *et al.* (2020), no Brasil o tipo de erosão mais presente é a erosão hídrica, assim o arraste e depósito desse material nos corpos hídricos poderá ter como resultado a poluição, eutrofização, enchentes, aceleração do assoreamento, inutilização da água por conta dos fertilizantes e agentes químicos presentes no solo arrastado.

Assim, a erodibilidade pode ser definida como “como a resistência do solo à desagregação e transporte e varia com a textura do solo, a estabilidade de agregados, a força de cisalhamento, a capacidade de infiltração e com o conteúdo químico e orgânico” (CUIABANO *et al.*, 2017, p.139). Santos (2021, p.19) resume a erodibilidade como “a susceptibilidade do solo de ser erodido em decorrência da ação dos processos erosivos, os quais estão relacionados com os processos de infiltração e resistência do solo a desagregar e transportar suas partículas”.

Acrescenta-se que existem outros fatores que também influenciam na erodibilidade como a cobertura vegetal, principalmente a vegetação rasteira, que protege o solo reduzindo o escoamento como também diminui o impacto da precipitação; a topografia pois potencializa a força da água que escoa; frequência e intensidade da precipitação e a velocidade do escoamento.

Com isso a utilização da erodibilidade terá grande valia, pois com ela a vulnerabilidade mapeada estará condicionada as características do solo quanto a sua

resistência de desagregação e transporte, tal conhecimento pode permitir a prevenção da formação de ravinas, voçorocas, assoreamento e poluição de corpos d'água.

O trabalho executado por Rabelo *et al.* (2016), já citado anteriormente, utilizou o índice denominado como pedologia representado nesta pesquisa pela Erosividade. Os referidos autores, também, basearam sua pesquisa na metodologia de Crepani *et al.* (2001). O resultado da pesquisa apontou pontos de fragilidade natural causadas por atividades humanas na área em estudo.

2.2.5 Vulnerabilidade para o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)

O SAVI é um índice que objetiva quantificar a densidade e condição da vegetação, o seu diferencial é o fato de que ajusta e minimiza o efeito do solo entre a vegetação, corrigindo assim ruídos nas imagens de satélites que podem afetar nos resultados.

Esse índice foi proposto por Huete em 1988 e os valores resultantes do SAVI variam entre -1 a 1, onde quanto mais próximo de um é indicativo de vegetação e valores negativos indicam a ausência de vegetação (LEITE *et al.*, 2017).

O cálculo do SAVI é facilmente realizado em SIGs como *ArcGIS* ou *QGIS*, usando-se a calculadora raster, porém, com o intuito de evidenciar a fórmula interna (equação 01) que os SIGs utilizam nesse cálculo, abaixo é detalhada a fórmula do SAVI:

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} * (1 + L), \text{ onde:} \quad Eq. [01]$$

NIR: Banda Infravermelho Próximo;

RED: Banda Vermelha;

L = 1 , em baixas densidades de vegetação;

L = 0,5 , em densidades médias de vegetação e

L = 0,25 , em densidades altas de vegetação .

A vantagem na utilização do SAVI dentre outros índices de vegetação se dá pelo fato de que ele avalia a qualidade da vegetação existente com a correção de ruídos, como o solo, que eventualmente aparecem na imagem, assim, possibilitando

apenas a análise da vegetação que é um indicador valioso para o mapeamento da vulnerabilidade ambiental.

A pesquisa desenvolvida por Leal (2019) visou mapear a vulnerabilidade ambiental em São Miguel do Tapuio – PI, dentre os indicadores escolhidos pela autora o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) foi um deles, no entanto, nesta pesquisa optou-se pelo uso do SAVI em razão da correção de ruídos que o índice realiza, ambos se tratam de índices de vegetação, mas no SAVI é aplicado o fator de correção já mencionado anteriormente.

2.3 GEOPROCESSAMENTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIGs) AUXILIANDO NA ANÁLISE AMBIENTAL

De acordo com Câmara e Davis (2001, p.1) o Geoprocessamento “utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica” das mais diversas áreas do conhecimento, sendo essas técnicas executadas em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), que permite “realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos” (CÂMARA; DAVIS, 2001, p.1).

Vale destacar que um banco de dados geográficos é um conjunto de vários arquivos organizados de forma que facilite o acesso e a análise de informações que representam o espaço terrestre, sendo sua característica principal a localização geográfica. Em um ambiente SIG são diversos os tipos de arquivos aceitos para manipulação, no entanto, os arquivos utilizados nesta pesquisa, foram: arquivos matriciais, vetoriais e dados tabulares.

Na representação matricial tem-se o espaço retratado em forma de uma matriz, ou seja, a representação é plana, $P(m, n)$, onde m representa as colunas e n as linhas; dentro disso uma célula além de possuir sua identificação de coluna e linha possuirá também o valor da entidade em estudo como também as suas coordenadas (CÂMARA; MEDEIROS, 2005). Enquanto na representação vetorial pode ocorrer por meio de três tipos de elementos, sendo eles: ponto, linha e polígono. Em síntese, os pontos têm atribuídos a si um par de coordenadas; linhas são compostas de vários pontos interligados; e, polígonos são várias linhas agrupadas, em ambos pode-se atrelar atributos (dados não espaciais) (CÂMARA; MEDEIROS, 2005).

Com as informações discutidas se faz necessário discorrer sobre operações aritméticas realizadas em ambiente SIG, considerando que é uma ferramenta utilizada nesta pesquisa. As operações aritméticas são realizadas com dados matriciais, nesse processo é realizada uma transformação com base nos dados matriciais inseridos na operação que são combinados conforme as regras matemáticas pré-definidas, assim, tem-se como resultante um arquivo matricial único e distinto daqueles inseridos no início da operação; logo, um único arquivo apresenta uma informação de vários dados combinados otimizando a representação. Assim, sendo uma técnica de grande valia para análise da vulnerabilidade ambiental, haja vista que permite uma análise integrada e combinação de vários elementos característicos da área em estudo e aplicar operações aritméticas, além de todas as outras ferramentas necessárias para obtenção desse resultado.

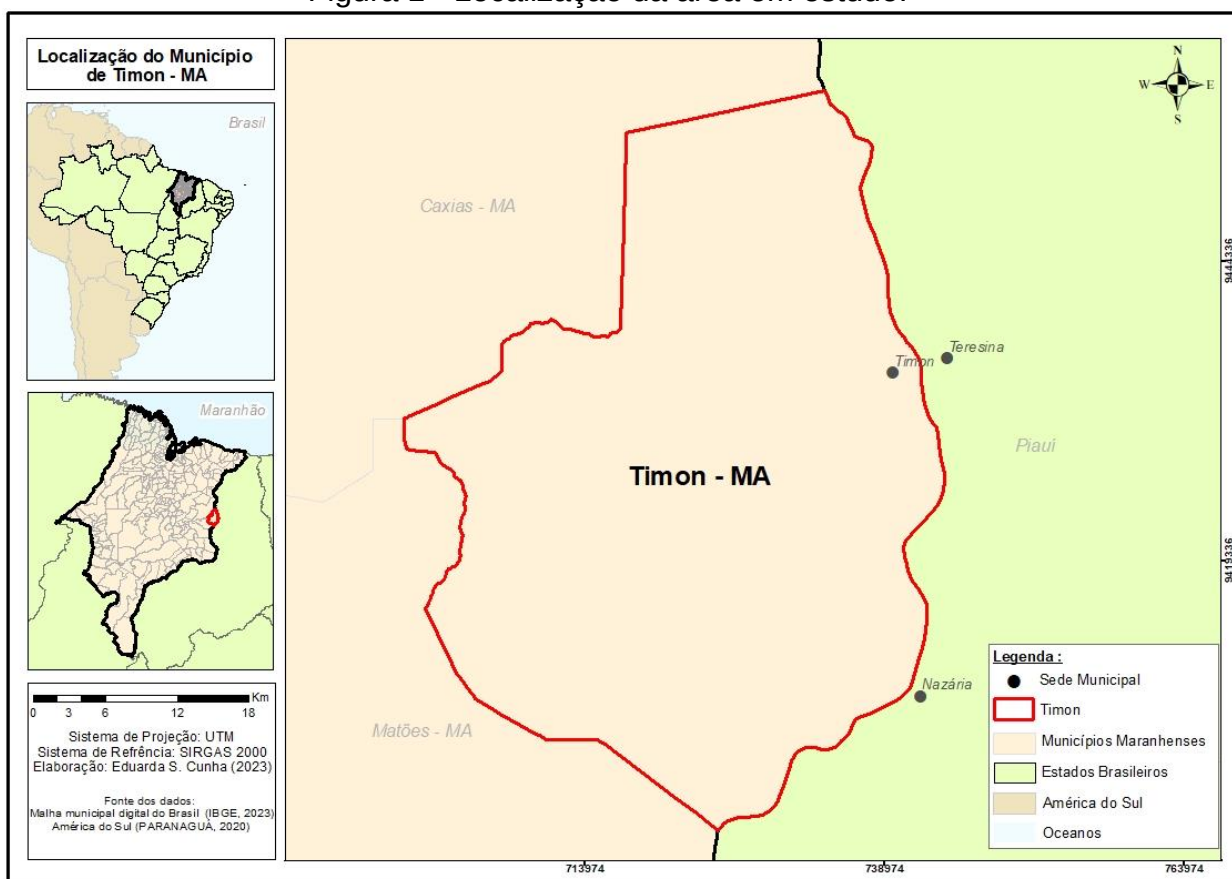
De posse de todos esses dados geoespaciais é possível reconhecer a importância do Geoprocessamento e SIG. Pois a utilização dos mesmos para a análise da vulnerabilidade ambiental, ponto central desta pesquisa, fica evidente, visto que possibilitou a análise de toda a área em estudo de forma combinada com vários fatores e como resultado permitiu de forma espacializada a melhor forma de uso dos recursos naturais, possibilitando o uso dos recursos naturais para otimizar seus potenciais e identificando suas limitações.

3 MATERIAL E MÉTODOS E TÉCNICAS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Timon, se localiza no Estado do Maranhão, com sede municipal localizada nas seguintes coordenadas, latitude 5°5'54.69"S e longitude 42°49'28.93"O, limita-se ao leste com Teresina (capital do Piauí), ao Sul com Matões, ao norte com Caxias e ao oeste com Caxias e Matões (IBGE, 2022). A figura 1 permite a visualização da localização de Timon.

Figura 1 - Localização da área em estudo.



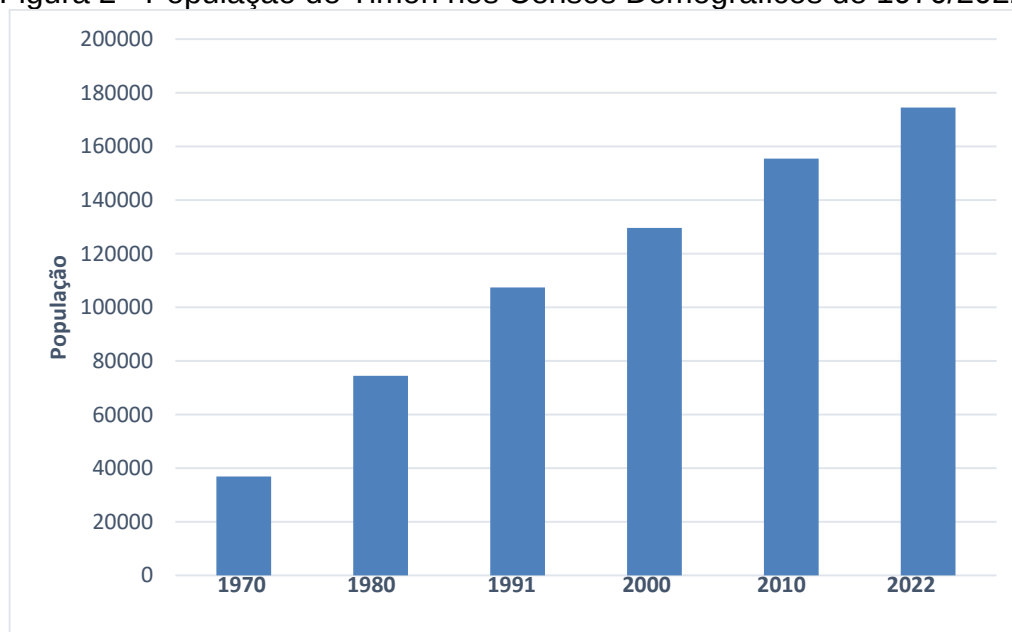
Fonte: (IBGE, 2022). Organizado pela autora (2023).

Timon possui sua sede que se situa cerca de 69 metros acima do nível do mar; e, de acordo com Correia Filho (2011), a temperatura no município varia entre 22°C e 32,9°C, no entanto, durante o ano são registradas temperaturas maiores nos meses em que a temperatura se intensifica, que são nos meses de setembro a dezembro. O clima, ainda conforme o autor, é classificado como tropical subúmido seco, possuindo os períodos chuvoso e seco bem definidos.

O início da ocupação de Timon remonta ao século XIX, ao ano de 1890, quando a época não se chamava de Timon, mas sim Povoado Cajazeiras, em 22 de dezembro daquele ano o povoado é elevado a Vila, passando assim a denominar-se como Flôres. No entanto, foi posteriormente constatado do que a vila não possuía infraestrutura para pertencer a essa categoria, então foi anulado o decreto ao qual elevava o povoado a vila, e, somente em 1896 de fato é obtida a categoria definitiva de Vila Flôres. E, somente em 1922 a vila tornou-se cidade; posteriormente, em 1943, a cidade de Flôres passa a se chamar de Timon, tal fato ocorreu, pois já existia outra cidade no país denominada de Flôres, então, assim nascia a cidade de Timon, a escolha desse nome se deu em homenagem ao primeiro jornal que circulou em São Luís, capital do Maranhão (TIMON, 2022).

Segundo o IBGE (2022), Timon possui 1.763,220 km² e a densidade demográfica na cidade em 2022 era de 98,95 hab/km² enquanto possuía uma população de 174.465 pessoas, Timon é o quarto município do Maranhão no *ranking* de número de habitantes; o padrão de crescimento da população na cidade nos últimos censos demográficos (1970 a 2022) é evidenciado na figura 2.

Figura 2 - População de Timon nos Censos Demográficos de 1970/2022.



Fonte: (IBGE, 2023). Organizado pela autora (2023).

Por meio do gráfico é possível observar o crescimento constante da população timonense; nos dados disponibilizados pelo IBGE (2022) é notório que entre a década de 1970 a 1980 foi o ápice do crescimento populacional de Timon, essa época remete

aos anos em que mais ocorreu o êxodo rural no Brasil, na década seguinte foi o segundo maior crescimento populacional timonense.

3.2 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS DA ÁREA EM ESTUDO

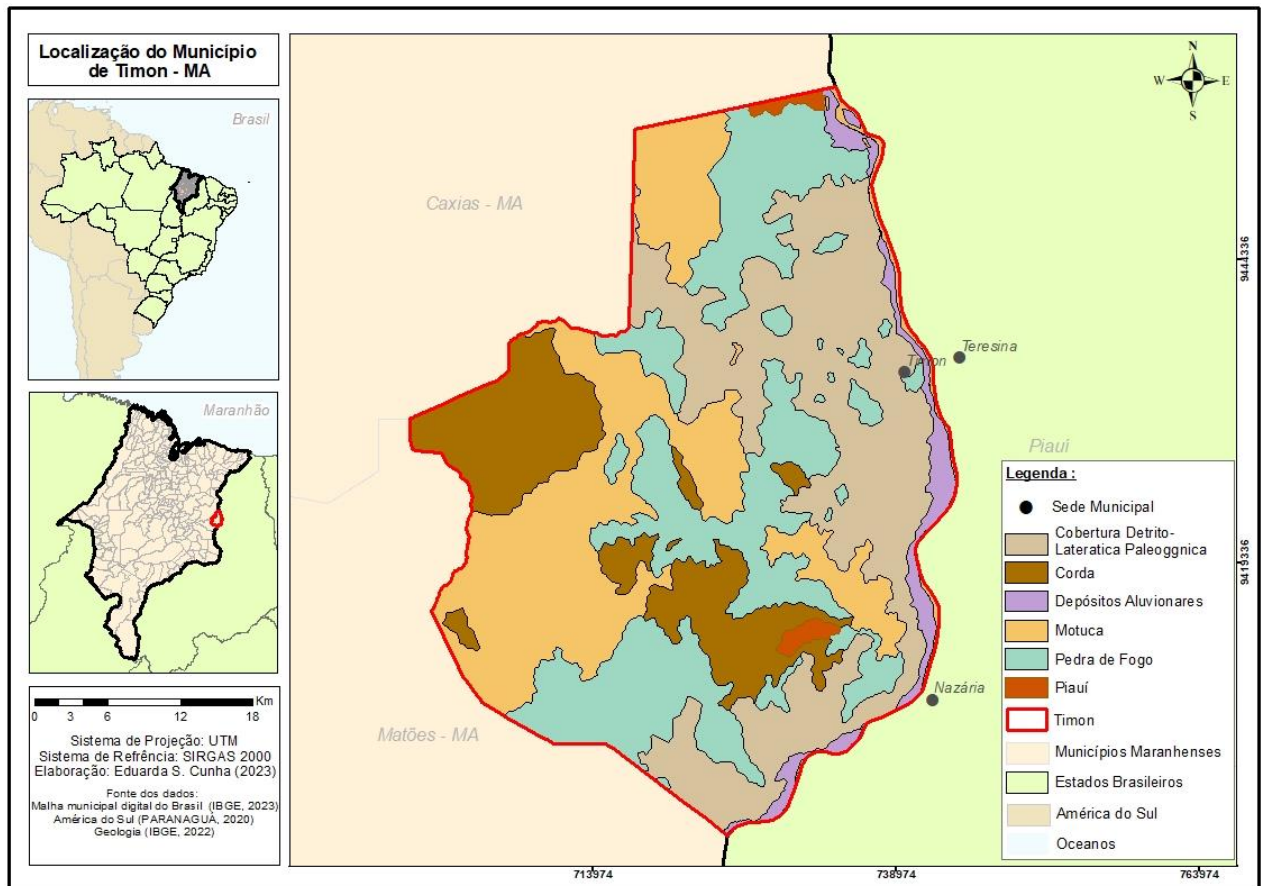
3.2.1 *Geologia*

O Brasil em sua imensa extensão territorial é abrangido por distintos segmentos de bacias sedimentares, com diferentes características, como afirma Mohriak (2003); logo, é interessante destacar que a área de interesse desta pesquisa se encontra na Bacia Sedimentar do Parnaíba, que compreende quase que totalmente os Estados do Piauí e Maranhão e parte dos Estados do Ceará, Tocantis e Pará (TIMON, 2011).

De acordo com Santos *et al.* (2004) a bacia sedimentar do Parnaíba possui como característica nos seus registros faunas e floras antigas, isso remete como o autor afirma ao indicativo de alternância das influências continentais e marinhas que ocorreram nessa bacia, o autor acrescenta também que os registros históricos demonstram que a formação dessa bacia é resultado de uma combinação de fenômenos geológicos e biológicos.

As formações Piauí e Pedra Fogo consistem em “uma sequência essencialmente arenosa, com níveis de siltitos e folhelhos, além de intercalações de calcário” (CORREIA FILHO, 2011, p.20) sendo que no topo da formação Piauí como afirma o autor se desenvolvem níveis de sílex; essa formação é aflorada ao sul e norte de Timon com destaque na calha do rio Parnaíba; na formação Pedra Fogo se nota que na base e próximo ao topo tem-se troncos de madeira silificada, como também é possível identificar vestígios de conchas e restos vegetais. A figura 3 evidencia a espacialização das unidades geológicas.

Figura 3 – Unidades Geológicas



Fonte: (IBGE, 2022). Organizado pela autora (2023).

A figura 4 detalha informações das formações: Piauí, Pedra Fogo, Motuca. A Formação Corda é composta principalmente por “arenitos com estratificações cruzadas de grande porta que sugerem a deposição em ambiente desértico” de acordo com Cruz (2016, p.18), enquanto Costa Neto *et al.* (2014, 34) afirma que os estudos atuais “consideram Formação Corda essencialmente os arenitos vermelhos e castanho-avermelhados, muito finos a médios, de seleção regular a boa, semi-friáveis a semi-coesos, ricos em óxido de ferro e zeólitas”.

Figura 4 - Formações geológicas

Cronoestratigrafia			Litostratigrafia				Paleoambiente		Super-sequência
Era	Periodos	Idades							
MESOZ	TRIÁSSICO	251 Ma	GRUPO BALSAS	SAMBAÍBA		Arenito com grãos finos a médios, exibindo sets de estratificação cruzada de média a grande escala	Campo de dunas, deserto	NeoCarbonífera-EoTriássica	
	MOTUCA				Siltitos intercalados com arenito e evaporitos	Lagos, pequenos rios e salinas			
	PERMIANO	298 Ma		PEDRA DE FOGO		Intercalações de diferentes litologias, tais como: carbonatos, evaporitos, argilitos, folhelhos e arenitos, organizados em ciclos de sedimentação. Contém significativa variedade e diversidade de fósseis animais e principalmente vegetais, além de intensa silicificação	Mar raso a <i>sabkha</i> costeiro? Conjunto de lagos rasos e/ou <i>sabkha</i> continental com fluxos fluviais efêmeros. Lagos sujeitos a expansão em períodos de maior umidade e sob influência de tempestades		
PALEOZOICO	CARBONÍFERO			PIAUI		Arenito com grãos finos a médios, eventualmente conglomerados, siltitos/folhelhos e carbonatos	Sistema fluvial e deltaico/ Deserto costeiro/ Mar epicontinental		
Arenito Siltito Folhelho Carbonatos Anidrita/gipsita Cherte Inconformidades Estratificação cruzada planar Estratificação cruzada canalada Estratificação cruzada sigmoidal									

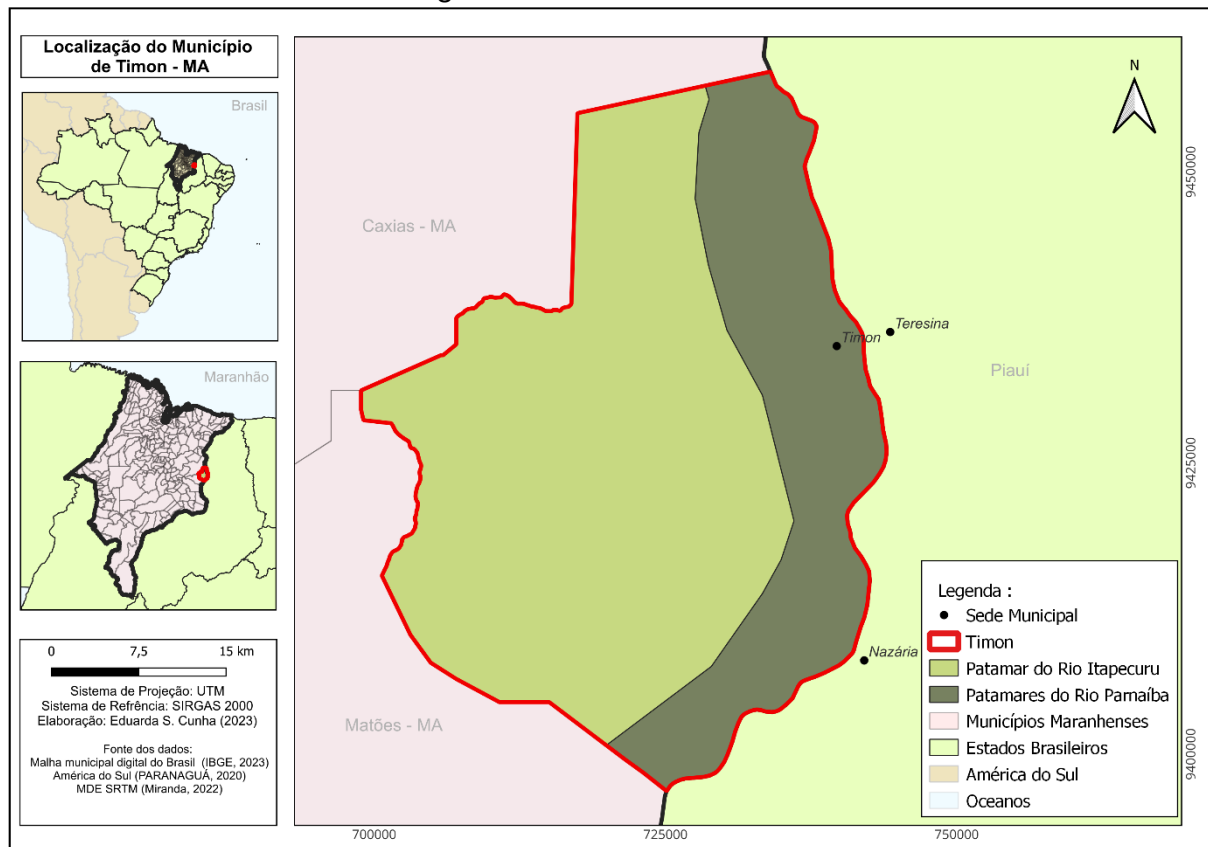
Fonte: Andrade e Nogueira (2001)

A Cobertura Detrito-Laterática Paleogênica ocorre em chapadões e possui como característica um “perfil laterítico completo” (RODRIGUES *et al.*, 2003, p. 17) que acaba “ocorrendo da base para o topo os horizontes argilosos e mosqueados, culminando com uma espessa crosta laterítica luminosa” (RODRIGUES *et al.*, 2003, p. 17).

3.3.2 Geomorfologia

Com os dados disponibilizados pelo IBGE (2022), é possível constatar que existe uma variedade de relevo no Maranhão, possuindo o estado várias classificações de chapadas, planícies, patamares, tabuleiros e dentre outros; a figura 5 detalha a espacialização dos tipos de relevo encontrados em Timon. Ainda de acordo com essa classificação, é possível constatar que essa área se encontra nas regiões denominadas como Patamar do Rio Itapecuru com maior representatividade sendo 68,43% e Patamar do Rio Parnaíba com 31,57%.

Figura 5 - Relevo de Timon.



Fonte: (Miranda, 2022). Organizado pela autora (2023).

O Patamar do Rio Parnaíba apresenta erosão que acarretou diferentes níveis altimétricos em toda sua extensão, que variam entre 50 a 300 metros, com presença de superfícies aplainadas degradadas; é caracterizado por ser extensamente suave ondulado, porém, sem muitas colinas; tem destaque nesse relevo terreno com superfícies aplainadas, áreas de relevos residuais (tipo mesetas), baixos plâtos dissecados (PFALTZGRAFF *et al.*, 2010).

3.3.3 Caracterização Climática

O conhecimento do clima de uma região é de grande importância, haja vista que, influência no conforto térmico para as pessoas, o conhecimento do seu comportamento auxilia na tomada de decisões para prevenir e se preparar contra eventos naturais que possam ocorrer, além de influenciar também na esculturação do relevo.

O Maranhão se localiza em uma zona de transição climática, possuindo um clima do semiárido e úmido equatorial, predominando no oeste do estado o clima

quente e úmido, e, nas demais regiões, prevalece o clima tropical e semiúmido. Sua temperatura média é de 24°C e em alguns locais 26°C, possui duas estações bem definidas, sendo o período chuvoso e período seco (CORREIA FILHO, 2011).

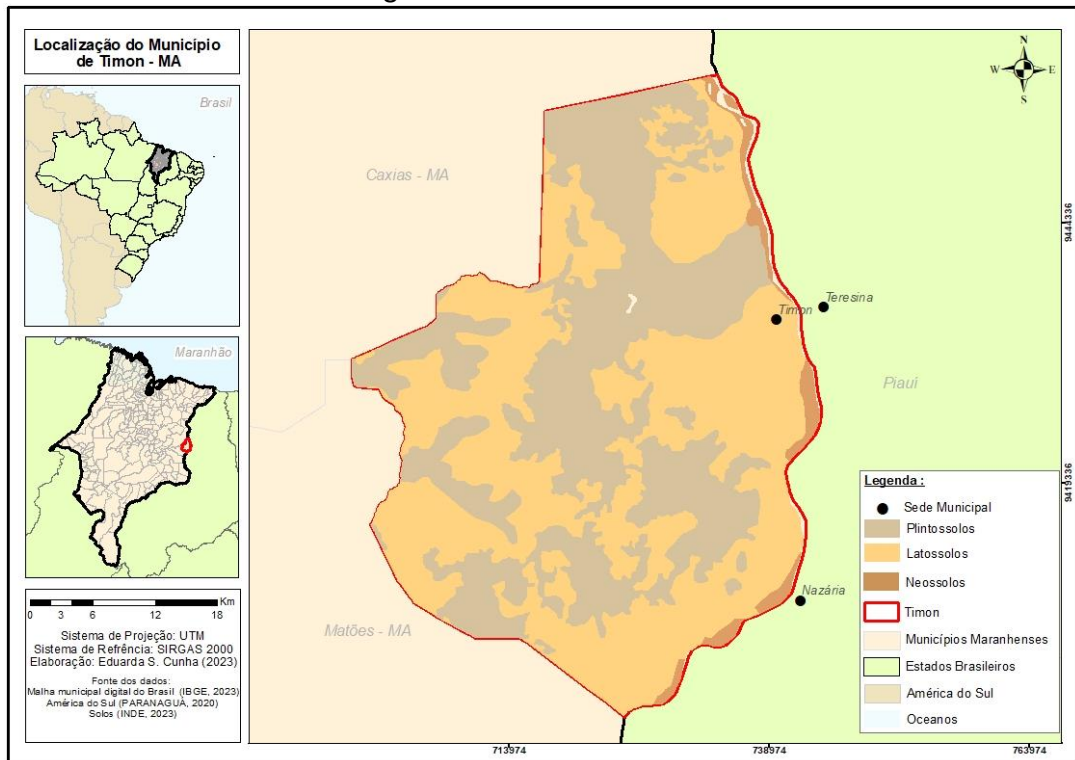
Enquanto Timon que possui sua sede a 69 metros acima do nível do mar, de acordo com Correia Filho (2011), a temperatura no município varia entre 22°C e 32,9°C, no entanto, durante o ano são registradas temperaturas maiores nos meses em que a temperatura se intensifica, que são nos meses de setembro a dezembro. O clima, ainda de acordo com o autor, é classificado como tropical subúmido seco, possuindo os períodos chuvoso e seco bem definidos.

3.3.4 Hidrografia

O município de Timon está inserido em duas regiões hidrográficas, sendo elas Parnaíba e Atlântico Nordeste Ocidental, sendo que essas regiões hidrográficas são divididas em sub – bacias, assim a área em estudo se encontra nas seguintes sub – bacias: médio Parnaíba, baixo Parnaíba e Itapecuru.

A figura 6 evidenciam as microbacias hidrográficas existentes no município de Timon, de acordo com dados da Timon (2020), sendo as microbacias de maior destaque aquelas referentes aos seguintes riachos: Bacuri, Buriti, Cabeceira da Bacaba, Garapa, Pombas, Gameleira, Itaguará, Seco e a Zona Urbana.

Figura 7 - Solos de Timon.



Fonte: (INDE, 2023). Organizado pela autora (2023).

Os Latossolos Amarelos são solos profundos, bem drenados, possuem uma coloração amarelada, são homogêneos e na maioria das vezes sua fertilidade é baixa sendo necessário fazer uma correção para tornar o solo agricultável e com isso é possível o cultivo de diversas lavouras, outra característica desse tipo de solo é que se trata de um solo duro (IBGE, 2007). A figura 8 permite visualizar uma amostra do latossolo amarelo.

Figura 8 - Latossolo Amarelo



Fonte: Embrapa (2022)

Os Plintossolos, assim como os demais, têm “textura média e argilosa que tem restrição à percolação d’água, sujeitos ao efeito temporário do excesso de umidade” (CORREIA FILHO, 2011, p.19), são comuns em locais planos e/ou ondulados, os Plintossolos eutróficos permitem uma maior produtividade, enquanto, os plintossolos álicos e distróficos possuem baixa fertilidade, é comum nesse tipo de solo o plantio de “mandioca, arroz, feijão, milho, fruticultura e a pecuária extensiva, principalmente bovinos” (CORREIA FILHO, 2011, p.19).

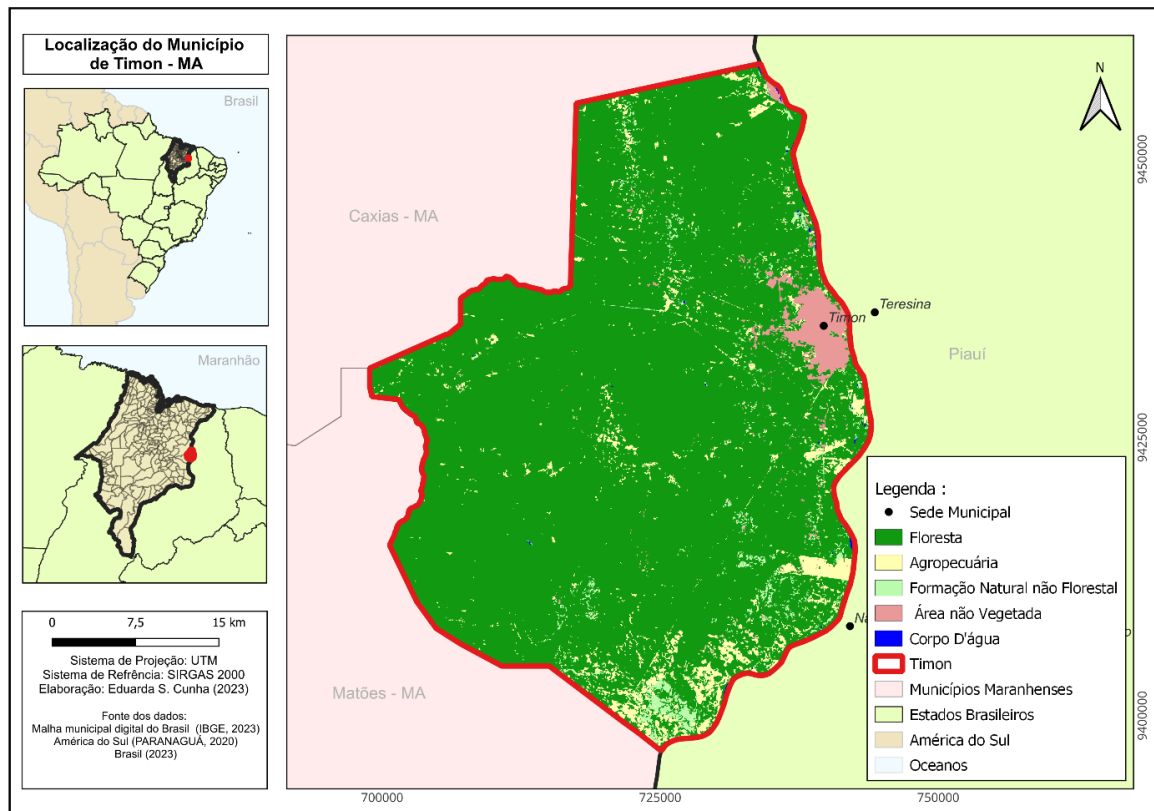
Por fim, os Neossolos Flúvicos, são solos característicos das margens de cursos d’água, a sua textura é heterogênea, tem potencial agrícola, e é comum em área de relevo plano e várzeas.

3.3.6 Uso e cobertura das terras

O mapeamento temático do uso e cobertura das terras e vegetação disponibilizados pelo MapBiomas (2023) agrupa classes de interesses por grupos e subgrupos, aqui será adotada a divisão dos grupos. Em Timon foram identificadas as seguintes classes de interesse: floresta, agropecuária, área não vegetada, corpo d’água e formação natural não florestal.

A figura 9 permite visualizar a espacialização das classes citadas na área em estudo; para validar esses dados, foi verificado no *software Google Earth* as imagens disponíveis nesse software no ano de 2021.

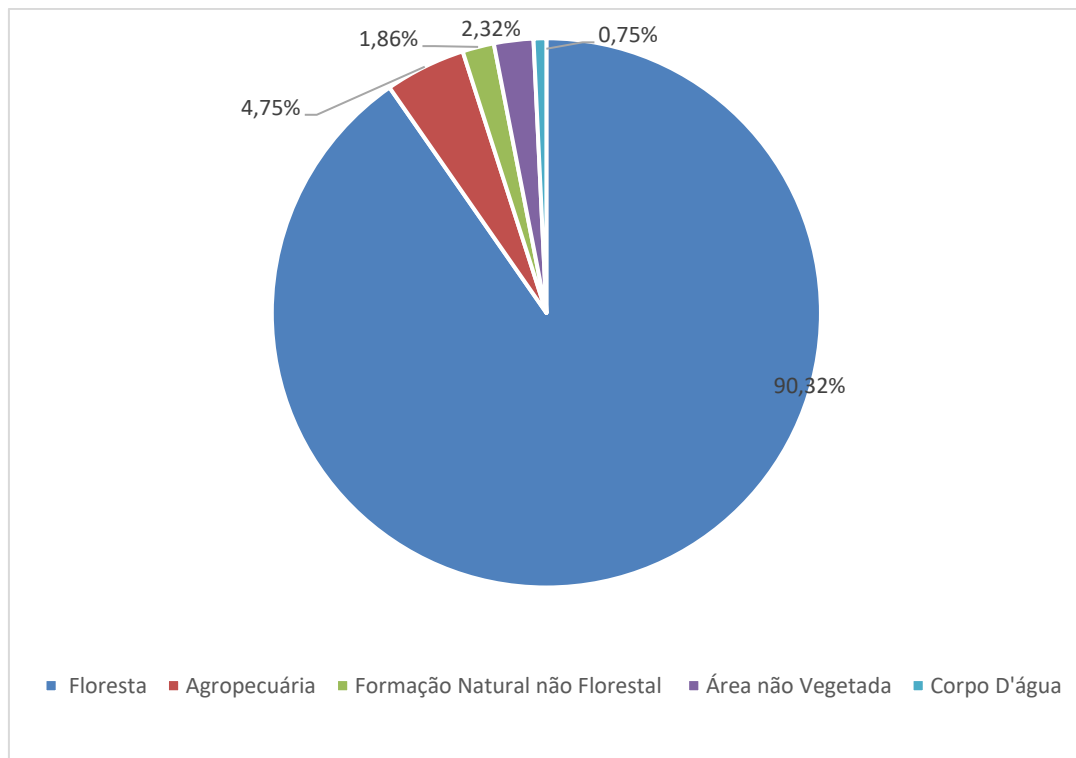
Figura 9 - Uso e cobertura das terras de Timon.



Fonte: MapBiomas (2023). Organizado pela autora (2023).

Com base nesse mapeamento é possível extrair as porcentagens de ocupação do uso e cobertura das terras de Timon; sendo possível observar que a classe com maior prevalência no município é a floresta, correspondendo a 90,32%, sendo seguida da agropecuária com 4,75%, logo abaixo a figura 10 demonstra os percentuais das classes de cobertura do solo presente na área em estudo.

Figura 10 - Uso e cobertura das terras de Timon em percentual.



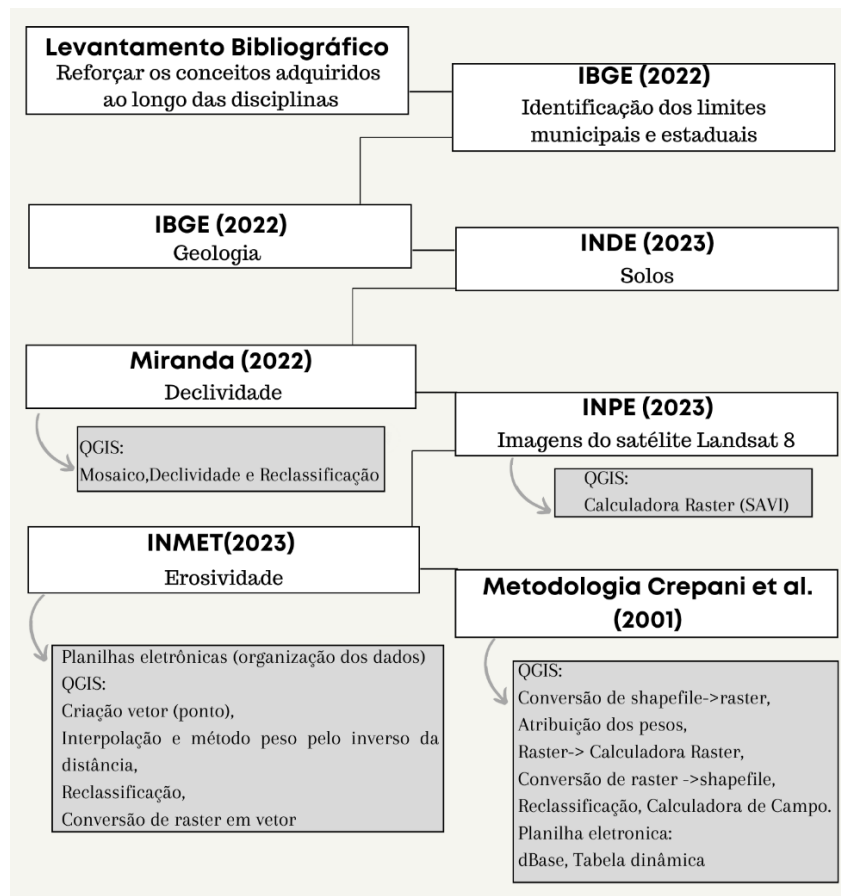
Fonte: MapBiomas (2023). Organizado pela autora (2023).

3.3 MÉTODOS E TÉCNICAS

Com o intuito de reforçar os conceitos adquiridos ao longo das disciplinas do presente programa, foi necessário realizar um levantamento bibliográfico acerca dos assuntos abordados durante a realização desta pesquisa, bem como aprofundar os estudos para manipulação do SIG.

Para obter os mapas temáticos aqui apresentados foi necessário visitar várias fontes de dados, a figura 11 apresenta um panorama geral das fontes visitadas, e os procedimentos executados que serão discutidos à frente.

Figura 11 - Ordem de execução dos procedimentos.



Fonte: elaborada pela autora (2023).

Inicialmente, recorreu-se aos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022) para identificação dos limites municipais e estaduais, que auxiliaram na localização da área; assim, o recorte espacial da área de interesse foi delimitado tomando como base a malha territorial municipal de Timon disponível no *site* do IBGE.

A partir dos dados geológicos do IBGE (2022) obteve-se a litologia da área em estudo. Por sua vez, o tipo de solo da área foi identificado a partir de dados do INDE (2023).

Os dados de declividade foram obtidos por meio dos dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponibilizados por Miranda (2022). Foram necessárias duas imagens SRTM para o recobrimento da área de estudo, tendo sido necessária a construção de um arquivo mosaico, que foi processado utilizando-se a ferramenta Declividade no *QGIS* e, posteriormente, procedeu-se a reclassificação desse arquivo.

Assim sendo, foi usada a classificação amplamente utilizada da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2022) das classes de declividade do relevo, que possui seis classes variando de plano a montanhoso, onde a declividade é dada em porcentagem, foi adotada essa classificação de declividade, a tabela 1 detalha essa classificação:

Tabela 1 - Classificação do relevo pela declividade pela EMBRAPA.

Declividade	Discriminação
0 – 3	Relevo plano
3 – 8	Relevo suavemente ondulado
8 – 20	Relevo ondulado
20 – 45	Relevo fortemente ondulado
45 – 75	Relevo montanhoso
> 75	Relevo fortemente montanhoso

Fonte Cardoso *et al.* (2006, apud EMBRAPA,1979).

Os dados referentes a vegetação foram extraídos de imagens do satélite *Landsat 8* disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2023), nesse sentido foi necessário recorrer ao SAVI, para isso foi realizado o download das bandas 5 e 4, que respectivamente no Landsat 8 se tratam das bandas de Infravermelho Próximo e Vermelho, assim as aplicando na fórmula do SAVI, já discutida anteriormente, por meio da função *Calculadora Raster* no QGis .

Para estimativa do potencial de Erosividade das chuvas foi necessário efetuar o levantamento de postos pluviométricos, junto ao *site* do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023), considerando a série histórica de 30 anos (1981 a 2010). Foram selecionadas 2 (duas) estações meteorológicas com dados disponíveis, a saber: Caxias (MA) e Teresina (PI).

Os dados de precipitação foram organizados em planilhas eletrônicas e empregados para estimativa da Erosividade das chuvas (R) via método indireto, como mostra a Equação 3, proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992). Esse método estima com relativa precisão os valores de R para longos períodos, cuja equação baseia-se em regressão linear entre o índice médio mensal de erosão e o coeficiente de chuva, tendo boa aceitação entre os pesquisadores brasileiros. Os dados de 'r' foram obtidos das planilhas de dados pluviométricos das 2 (duas) estações meteorológicas, supracitadas.

$$E = 67,355 (r^2/P)^{0,85}$$

Eq. [3]

Onde:

E = média mensal do índice de erosão (t/ha.mm/h);

r = precipitação média mensal em mm;

P = precipitação média anual em mm.

Para espacialização dos dados no QGIS, inicialmente, foi criada uma camada de texto delimitado e, posteriormente, exportada no formato vetor do tipo ponto, com sistema de referência SIRGAS 2000 UTM 23S. O vetor foi utilizado para geração de arquivo matricial (*raster*) através da ferramenta interpolação e método peso pelo inverso da distância (IDW). O produto foi reclassificado a partir da ferramenta *r.reclass*, do QGIS, considerando as classes representadas na tabela 2. Procedeu-se à conversão do arquivo matricial em arquivo vetorial do tipo polígono e, em seguida, realizou-se o recorte da área do município de Timon.

Tabela 2 - Intervalos de Erosividade das chuvas (R) e classes atribuídas.

Intervalos de R (MJ.mm/ha.h.ano)	Classes atribuídas
9771,1 a 9837,9	Muito baixa
9837,9 a 9904,6	Baixa
9904,6 a 9971,4	Média
9971,4 a 10038,1	Alta
10038,1 a 10104,9	Muito alta

Fonte: elaborada pela autora (2023).

Todos esses dados foram inseridos em ambiente SIG e recortados para a área de interesse, permitindo espacializar as informações por meio de mapas. Alguns dos dados citados são disponibilizados em formato *shape* e outros em *raster*, com o intuito de aplicar a metodologia necessária para execução dessa pesquisa procedeu-se a conversão de todos os dados para o formato raster.

Com o intuito de obter o mapeamento da vulnerabilidade ambiental de Timon foi utilizada uma adaptação da metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001), que se baseia na álgebra de mapas e atribuição de notas a cada informação temática.

Portanto, foram utilizados os seguintes mapas das unidades de paisagem executados anteriormente, sendo eles: litologia, geomorfologia, erodibilidade, SAVI e Erosividade, ao tempo que esses mapas podiam caracterizar o município em estudo também permitirão a utilização na fórmula da vulnerabilidade.

Ambos os mapas foram sobrepostos no *software* QGIS essa operação foi possível por meio da ferramenta *Raster > Calculadora Raster*, é importante destacar

que para a execução da metodologia proposta é necessário utilizar notas para cada camada, como propõe Crepani *et al.* (2001), assim chegou-se ao quadro 1 que detalha resumidamente todos os dados utilizados e as demais informações relevantes sobre os mesmos.

Quadro 1 - Resumo dos dados utilizados.

Indicador	Fonte	Escala	Intervalo de Classes	Notas		Classe de Vulnerabilidade ambiental	Produto Gerado
Litologia	IBGE (2022)	1:250.000	Arenito, Folhelho, Siltito, Argilito	Crepani et al. (2001). Adaptado pela autora	2,7	Baixa	Mapa de Geologia
			Margas		2,9	Alta	
Declividade	Miranda (2022)	Resolução espacial de 30 m	0 – 3% Relevo Plano	Fonte: Santos (2018)	1	Muito baixa	Mapa de Declividade
			0 – 8% Relevo suavemente ondulado		2	Baixa	
			8 – 20% Relevo ondulado		3	Moderada	
			20 – 45% Relevo fortemente ondulado		4	Alta	
Erosividade	INMET (2023)	Série histórica de 30 anos	9771,1 – 9837,9	Fonte: Santos (2018). Adaptado	1	Muito baixa	Mapa de Erosividade
			9837,9 – 9904,6		2	Baixa	
			9904,6 – 9971,4		3	Média	
			9971,4 – 10038,1		4	Alta	
			10038,1 – 10104,9		5	Muito alta	
Erodibilidade	INDE (2023)	1:250.000	Latossolo Amarelo	Crepani et al. (2001)	1	Baixa	Mapa de Solos
			Plintossolos, Neossolos Flúvicos		3	Alta	
SAVI	INPE (2023)	Resolução espacial de 30 m	0,8 – 1,0	Fonte: Santos (2019). Adaptado pela autora (2023)	1	Vegetação com muito alta atividade fotossintética	Mapa SAVI
			0,6 – 0,8		2	Vegetação com alta atividade fotossintética	
			0,4 – 0,6		3	Vegetação com média atividade fotossintética	
			0,2 – 0,4		4	Vegetação com baixa atividade fotossintética	
			0,1 – 0,2		5	Vegetação com muito baixa atividade fotossintética	
			0 – 0,1		6	Solo Exposto	
			< 0,0		-	Corpo Hídrico	

Fonte: elaborada pela autora (2023).

Por fim utilizou-se a equação proposta por Crepani et al. (2001) com adaptações que se fizeram necessárias, segue detalhada abaixo a equação, essa equação 04 foi realizada no QGIS por meio da ferramenta Raster > Calculadora Raster.

$$V = \frac{G+R+S+Vg+C}{5}, \text{onde:} \quad \text{Eq. [04]}$$

V = Vulnerabilidade;

G = Vulnerabilidade para Litologia ;

R = Vulnerabilidade para Geomorfologia;

S = Vulnerabilidade para Erodibilidade;

Vg = Vulnerabilidade para o SAVI;

C = Vulnerabilidade para Erosividade;

Neste ponto, todos os dados trabalhados foram convertidos em *shapefile*, haja vista a necessidade de quantificar a área/porcentagem de ocupação de cada classe, para isso foi utilizada no QGIS a ferramenta de reclassificação *r.recorde*. Em seguida, foi calculada a área de cada polígono gerado por meio da ferramenta calculadora de campo, após o arquivo *dBase*, que compõe a *shapefile*, foi inserido no *excel* e manipulado por meio da opção tabela dinâmica para se obter os percentuais de cada classe/nota.

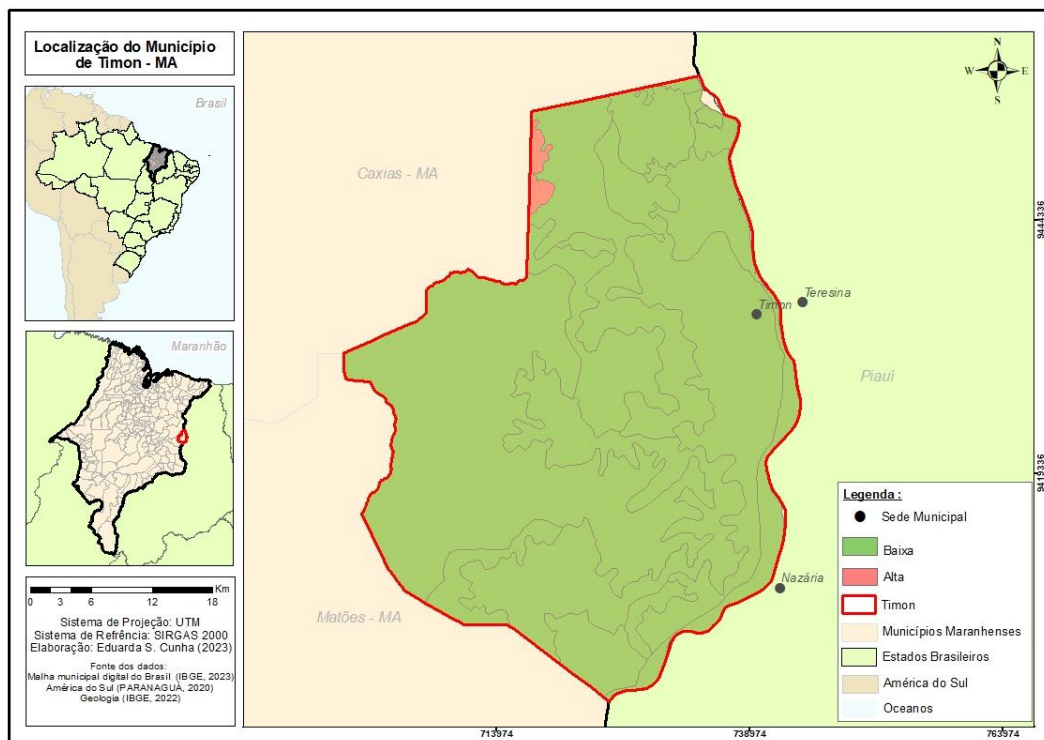
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 VULNERABILIDADE PARA LITOLOGIA

O tempo geológico é organizado em intervalos de tempo, ou melhor, em unidades cronoestratigráficas, dentro disso, percebe-se que a área em estudo pertence à formação de três eras, sendo elas: paleozoica, mesozóica e cenozóica. Dentro desses períodos existem grupos, e Timon se localiza no grupo Balsas, representado pelas formações: Piauí, Pedra Fogo, Motuca e a formação Corda do grupo Mearim (CORREIA FILHO, 2011) e, ainda, a Cobertura Detrito-Laterática Paleogênica; como demonstra a figura 11.

Diante disso com os dados disponibilizados pelo IBGE (2022) quanto as formações geológicas de Timon foi possível identificar a litologia do município, assim, observou-se a presença de arenito, folhelho, siltito, argilito e margas; com isso e uma adaptação das notas utilizadas por Crepani et al. (2001) quanto a escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns chegou-se a figura 12 onde é possível visualizar apenas duas classes de vulnerabilidade quanto a litologia em Timon, sendo elas: alta e baixa.

Figura 12 - Litologia de Timon.



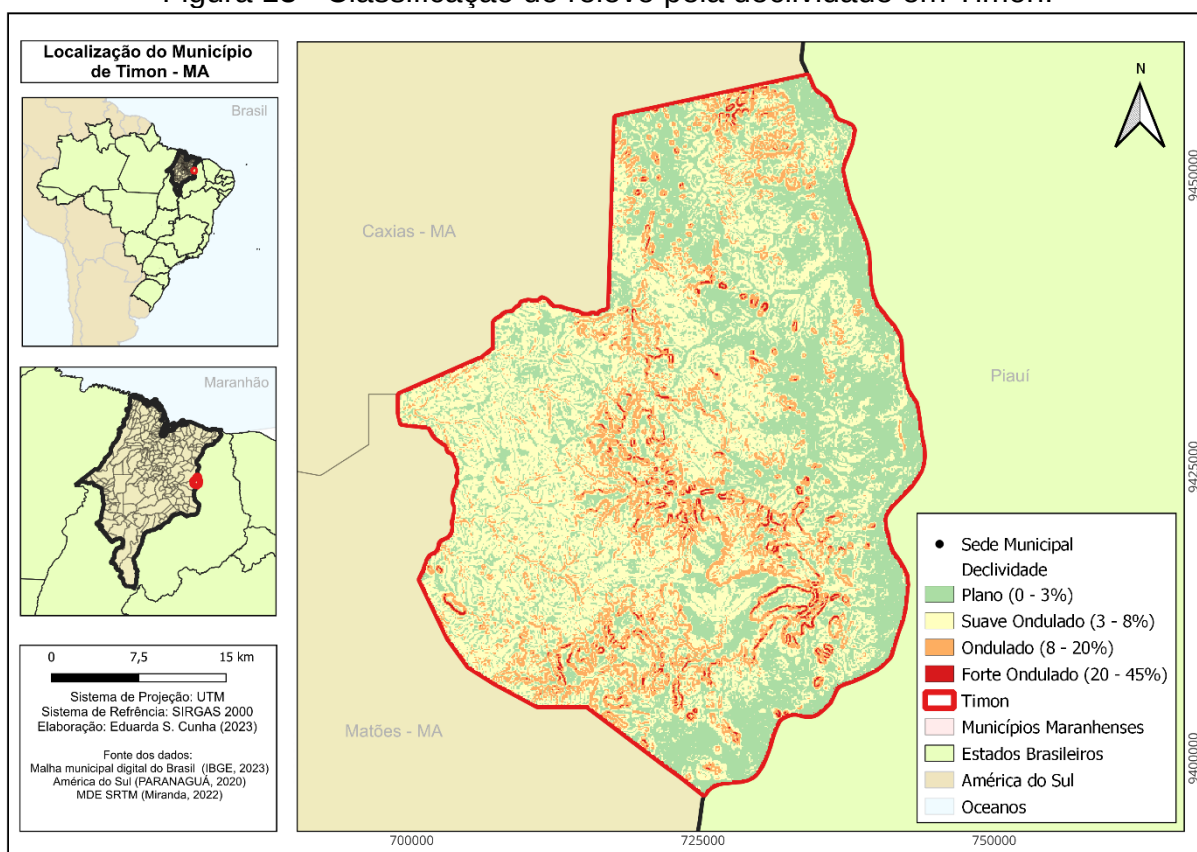
Fonte: (IBGE, 2022). Organizado pela autora (2023).

Assim, pode-se afirmar que o município de Timon majoritariamente possui vulnerabilidade baixa no que tange a litologia.

4.2 VULNERABILIDADE PARA DECLIVIDADE

O mapa de declividade (figura 13) permite visualizar o comportamento do relevo de Timon, sendo possível observar que existe no município quatro classes de relevo, sendo elas: plano, suave ondulado, ondulado e forte ondulado.

Figura 13 - Classificação do relevo pela declividade em Timon.



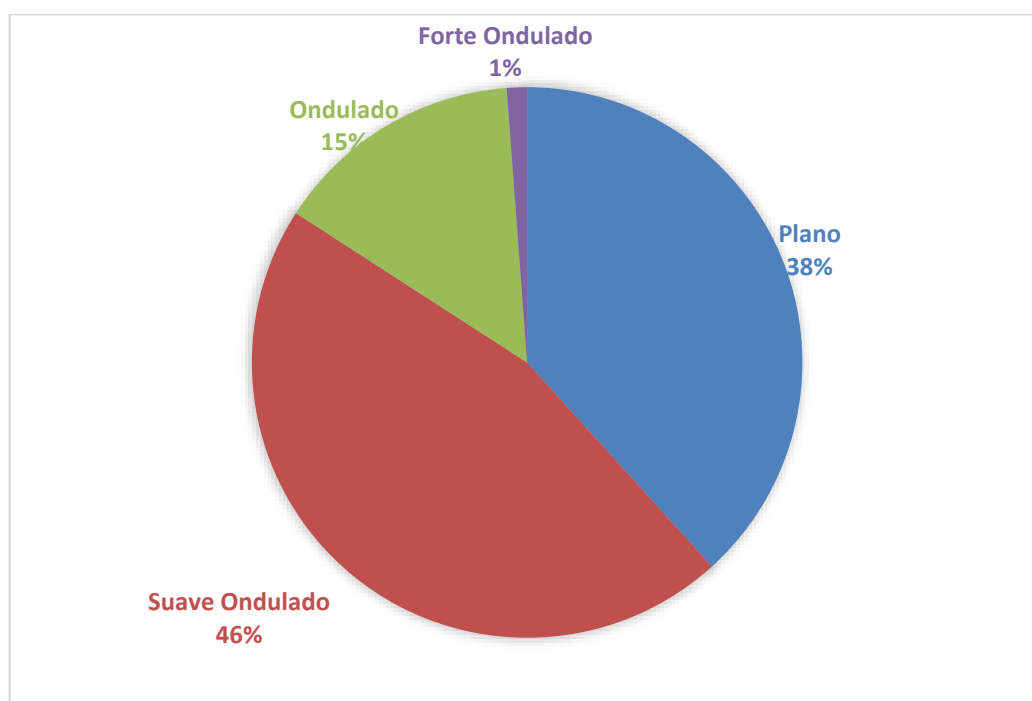
Fonte: (Miranda, 2022). Organizado pela autora (2023).

A partir do mapa elaborado foi possível quantificar a porcentagem de ocupação, gráfico 04, das classes de relevo amplamente adotadas nos estudos brasileiros, desenvolvida pela EMBRAPA (2022). Com a figura 14 é possível afirmar que em Timon há uma predominância do relevo suave ondulado, que ocupa 45,85%, seguido pelo relevo plano, que ocupa 38,28%. Ainda é possível afirmar que o relevo ondulado

e forte ondulado não possui grande representatividade considerando que ambos representam respectivamente 14,68% e 1,19% de ocupação.

Logo, quanto a declividade, é possível concluir que Timon é um município predominantemente suave ondulado e plano; fato este que é de fundamental importância para essa pesquisa considerando que, como já discutido anteriormente, a vulnerabilidade quanto a declividade está diretamente interligada com o relevo, pois regiões com declividade acentuada tendem a possuir o risco de sofrer deslizamentos.

Figura 14 - Classes do relevo em percentuais.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Acrescenta-se, ainda, que na região definida pelo IBGE (2023) como Área Urbana de Alta Densidade não foi identificado relevo da classe forte ondulado, somente as demais classes foram identificadas, no entanto, a maioria do relevo nessa área de alta densidade populacional é do tipo plano. Esse fato é de grande relevância considerando que o impacto é maior de desastres que acontecem em regiões de alta densidade populacional.

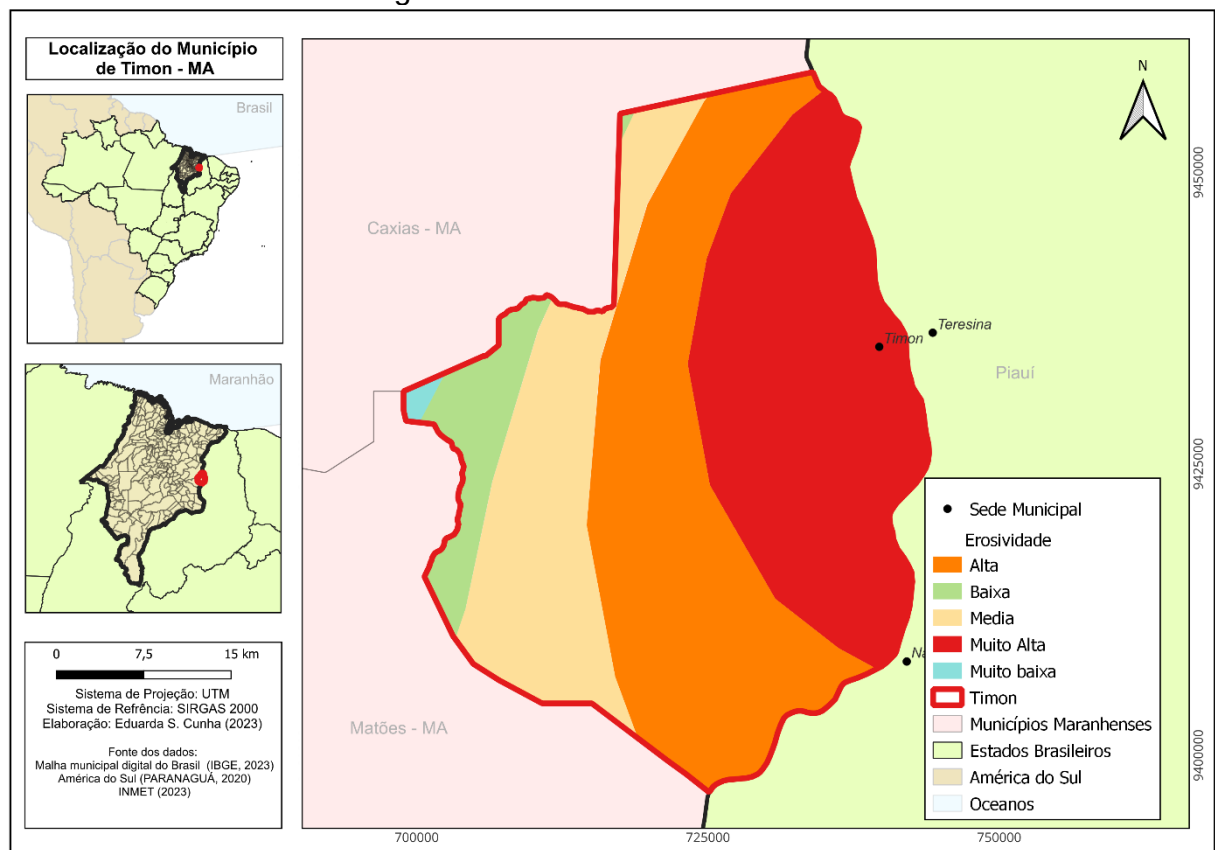
Assim, com as informações apresentadas anteriormente é possível afirmar que em Timon apenas 15,87% do relevo demanda de mais atenção, sendo as classes de relevo ondulado e forte ondulado, quanto a representatividade de relevo plano no

município não há significância quanto ao risco, pois não há corpos d'água com grande volume próximo a regiões planas. Portanto, quanto a declividade a mesma possuirá menor influência no mapeamento da vulnerabilidade ambiental na presente pesquisa, em virtude da baixa representatividade de classes de relevo que ocasionam vulnerabilidade.

4.3 VULNERABILIDADE PARA EROSIVIDADE

Com os dados coletados dos postos pluviométricos espacializados, foi possível chegar-se a figura 15, em que é possível notar como a Erosividade se comporta em Timon.

Figura 15 - Erosividade em Timon.



Fonte: INMET (2023). Elaborado pela autora (2023).

Por meio desse mapa é possível afirmar que as faixas que possuem maior erosividade são aquelas mais próximas ao rio Parnaíba, sendo a erosividade muito alta (36,83%) e alta (36,12%), uma vez que os pontos mais distantes e ao oeste do rio se mostraram com média (20,23%), baixa (6,39%) ou muito baixa (0,43%)

erosividade. Com essas informações é possível afirmar que Timon possui em sua maioria uma erosividade que varia entre alta e muito alta, ambas totalizando 72,95%.

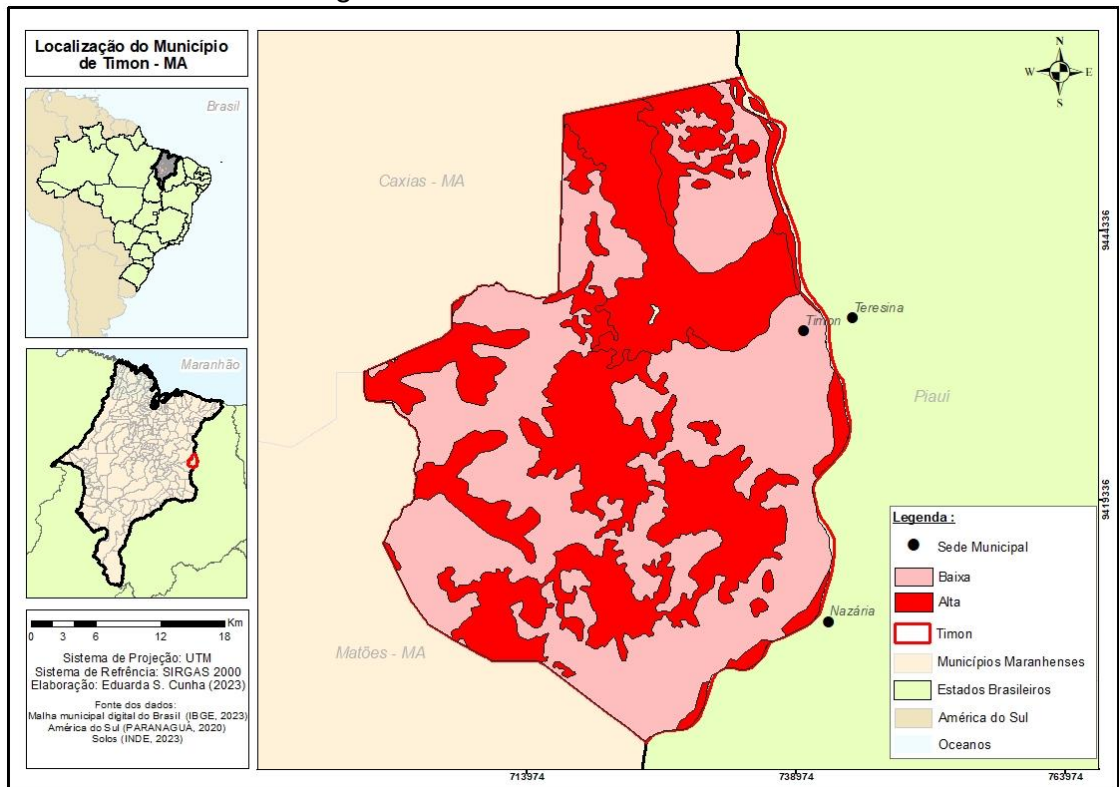
Quanto ao mapeamento realizado cabe discutir que, Timon é uma cidade em que o seu processo de urbanização deu-se as margens do rio Parnaíba e sabe-se que a precipitação bem como os pequenos corpos d'água seguem o caminho natural das águas que findam no rio, assim, a área de maior densidade populacional coincide totalmente com a região de maior vulnerabilidade a erosão, fato esse potencializado por meio da impermeabilização do solo, quer seja, pela construção de edificações, calçamento, asfalto dentre outros, ou seja, nos ambientes urbanos é onde mais se tem mudanças quanto ao uso e cobertura do solo.

A retirada da vegetação que protege o solo, também, é um dos principais fatores que afetam diretamente a vulnerabilidade a erosividade. Diante disso, esse indicador é de grande valia para o mapeamento da vulnerabilidade considerando que os dados encontrados de alta erosividade se encontram na região de alta densidade.

4.4 VULNERABILIDADE PARA A ERODIBILIDADE

Com os dados referentes a solos e as suas respectivas notas das classes de vulnerabilidade, foi possível chegar-se à figura 16, em que é possível notar como a Erodibilidade se comporta em Timon, vale salientar que as notas adotadas tiveram como base os valores de vulnerabilidade usados por Crepani et al. (2001).

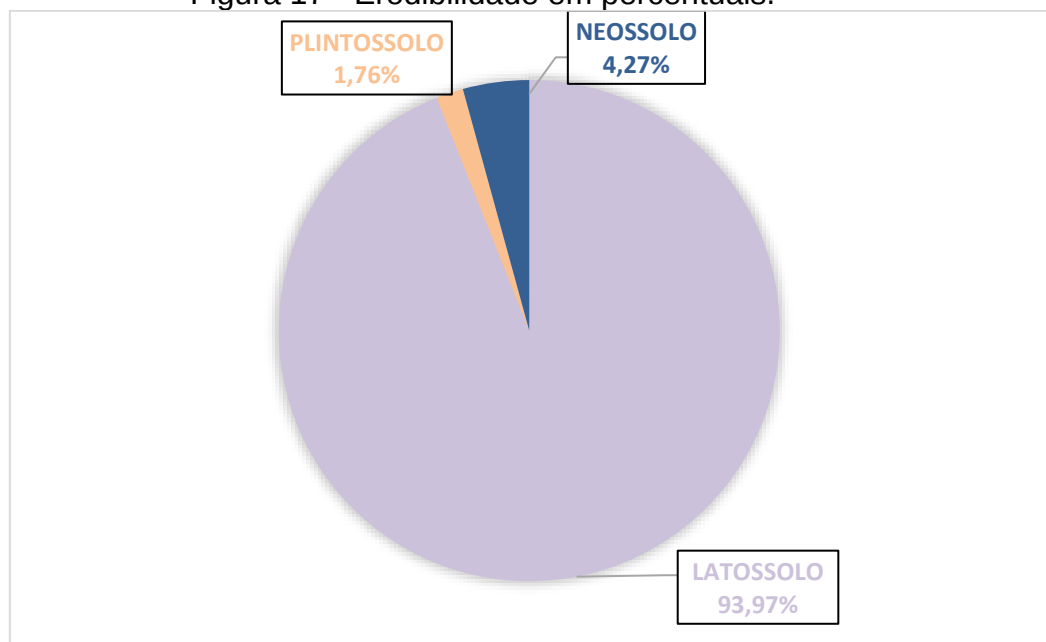
Figura 16 - Erodibilidade em Timon.



Fonte: (INDE, 2023). Organizado pela autora (2023).

Com o mapa já apresentado da erodibilidade com sua respectiva distribuição do solo, tornou-se possível quantificar a ocupação de cada classe encontrada em Timon, possibilitando a obtenção da figura 17.

Figura 17 - Erodibilidade em percentuais.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Como demonstra o gráfico são três tipos de solos que se encontram na área estudada, sendo respectivamente: Latossolo Amarelo (93,97%), Plintossolos (1,76%) e Neossolos Flúvicos (4,27%); atenta-se que o neossolos flúvicos e plintossolos são abrangidos pela classe alta, enquanto o latossolo amarelo como baixa.

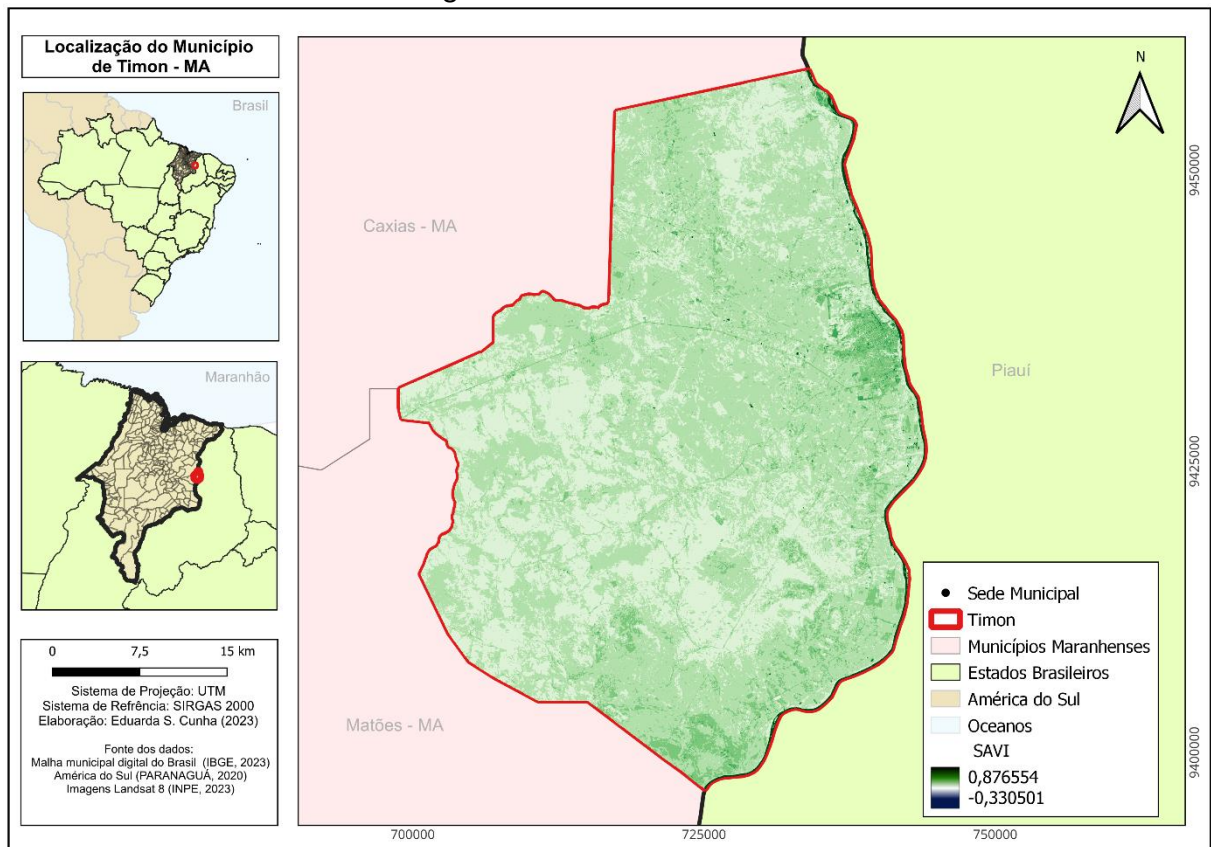
De acordo com Streck *et al.* (2018) os Latossolos possuem boa drenagem e bem permeáveis, os Plintossolos possuem uma drenagem moderada, imperfeita e mal drenados, pois em algumas épocas do ano o lençol freático é elevado; por fim os Neossolos estão presentes próximo de cursos d'água.

Em vista disso é possível afirmar a maior representatividade de solo em Timon é o Latossolo, com 93,97%, logo, o município tem em sua maioria solo com drenagem Oboa, fato esse que é de grande importância quando se fala em vulnerabilidade, pois essa característica é valiosa no que tange a erosão.

4.5 VULNERABILIDADE PARA O SAVI

No mapeamento realizado (Figura 18) foi possível constatar que o SAVI em Timon variou entre -0,33 a 0,87, totalmente dentro do parâmetro esperado, como já detalhado na metodologia foram estabelecidas sete classes dentro desse intervalo mapeado, sendo elas: vegetação com muito alta atividade fotossintética, vegetação com alta atividade fotossintética, vegetação com média atividade fotossintética, vegetação com baixa atividade fotossintética, vegetação com muito baixa atividade fotossintética, solo exposto e corpo hídrico.

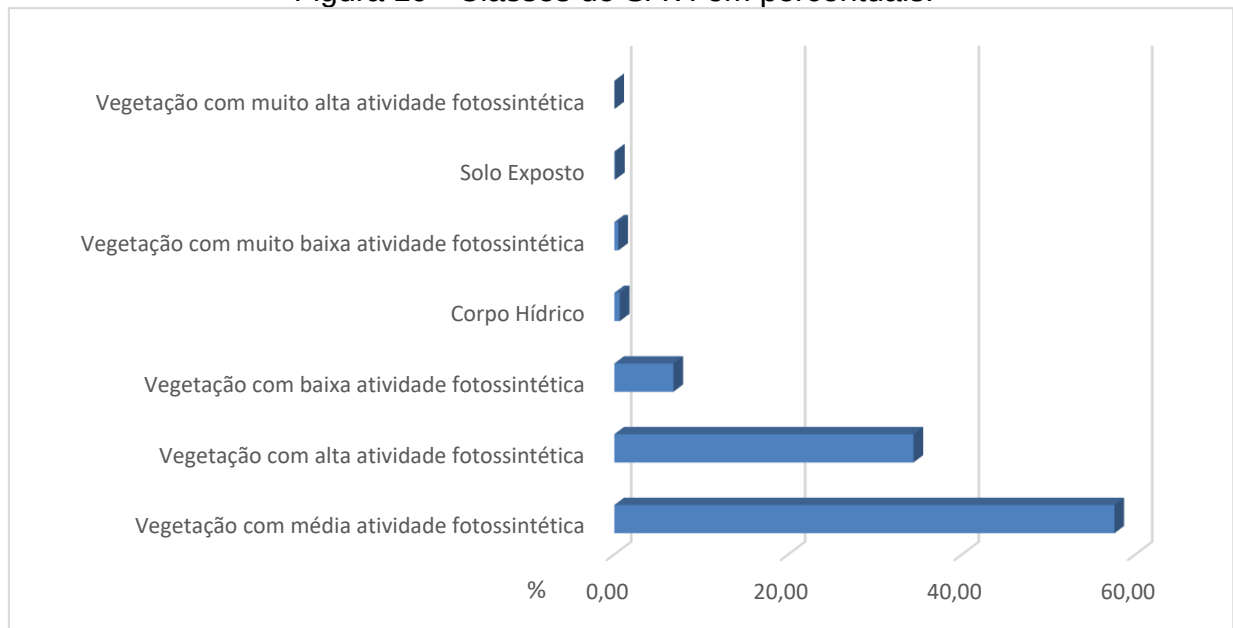
Figura 18 - SAVI de Timon.



Fonte: INPE (2023). Elaborado pela autora (2023).

A figura 19, extraída do mapeamento, exemplifica as porcentagens de cada classe no município. Como pode ser observado no gráfico os valores mais expressivos são referentes a vegetação com média (57,59%), alta (34,42%) e baixa (6,80%) atividade fotossintética. Ainda de acordo com a figura 19, a média atividade fotossintética se encontra bem distribuída em todo o município inclusive na zona urbana, no entorno dela e na zona rural; ao tempo em que a alta atividade fotossintética se localiza expressivamente na zona rural no município sendo mais significativa ao sul e oeste; por fim, a baixa atividade fotossintética encontra-se bem concentrada na zona urbana e ao sul do município.

Figura 19 - Classes do SAVI em percentuais.



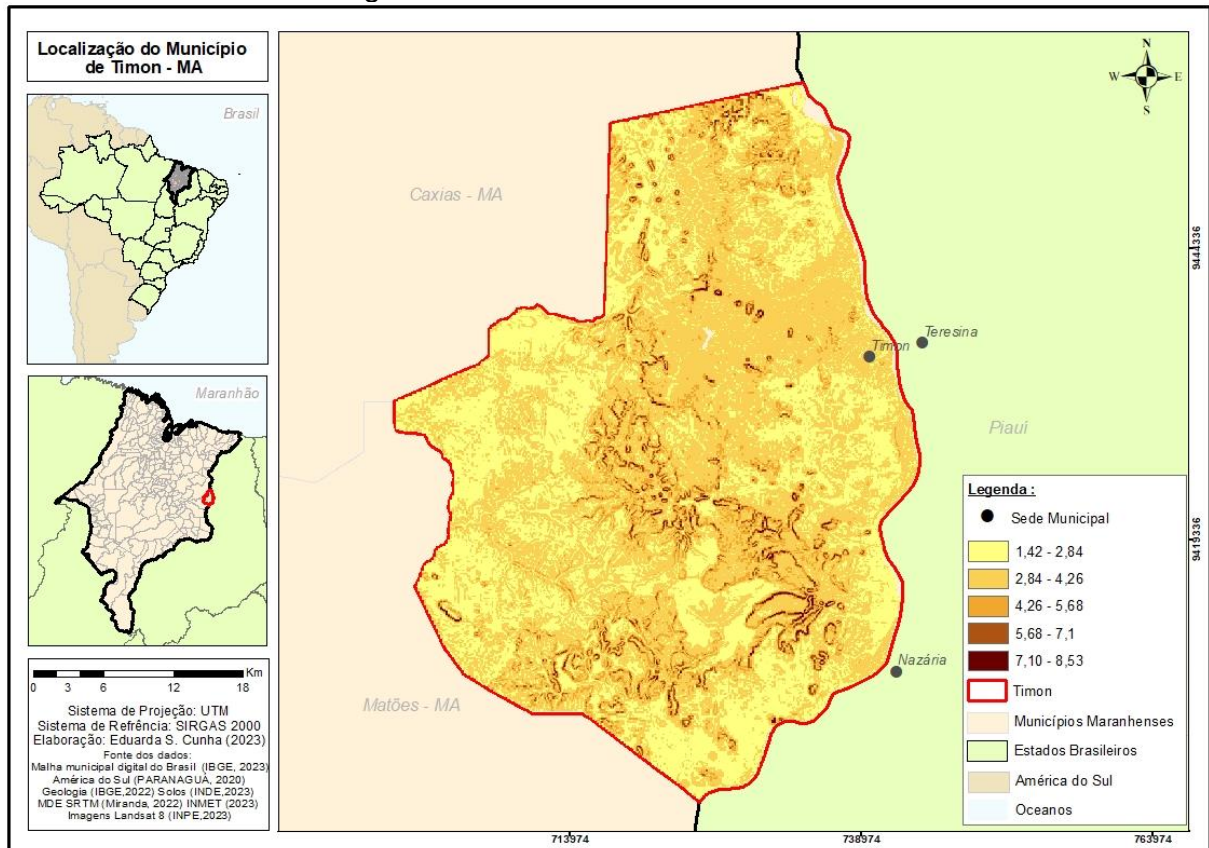
Fonte: elaborado pela autora (2023).

Considerando os dois maiores percentuais, pode-se afirmar que Timon tem média a alta atividade fotossintética, sendo essa informação bastante relevante para essa pesquisa haja vista que a presença da vegetação está também interligada com dois indicadores utilizados que são a erosividade e erodibilidade, já discutidos anteriormente.

4.6 VULNERABILIDADE AMBIENTAL

Assim, de posse dos mapas temáticos já citados e executados, anteriormente, - Litologia, Erosividade, Geomorfologia, Erodibilidade e SAVI – os mesmos foram aplicados na fórmula proposta por Crepanni *et al* (2001), que consiste na aplicação de álgebra de mapas em ambiente SIG, por fim chegou-se ao produto final, figura 20, desta pesquisa que é o mapeamento da Vulnerabilidade Ambiental para o município de Timon.

Figura 20 - Vulnerabilidade em Timon.



Fonte: IBGE (2022), EMBRAPA (2022), Miranda (2022), INMET (2023), INPE (2023).
Elaborado pela autora (2023).

Visando melhor entendimento a tabela 3 evidencia as classes de vulnerabilidade e os intervalos de cada classe.

Tabela 3 - Vulnerabilidade Ambiental em Timon.

Classes de Vulnerabilidade	Intervalos
Muito baixa	1,42 - 2,84
Baixa	2,84 - 4,26
Média	4,26 - 5,68
Forte	5,68 - 7,10
Muito Forte	7,10 - 8,53

Fonte: elaborado pela autora (2023).

Como pôde ser verificado na figura apresentada anteriormente o resultado quanto a vulnerabilidade ambiental de Timon evidenciou que no município as classes: muito baixa, baixa, média possuem maior destaque enquanto as classes forte e muito forte se mostraram menos expressivas. Assim, a análise da distribuição das classes

de vulnerabilidade ambiental identificadas revela que a predominância da vulnerabilidade ambiental em Timon é de muito baixa a média.

Dentre os indicadores utilizados e sua distribuição, constatou-se que a declividade foi o indicador de maior influência na vulnerabilidade ambiental de Timon. Essa constatação pode ser verificada ao comparar os mapas apresentados ao longo da pesquisa lado a lado. Em contraste, os demais indicadores não apresentam distribuições significativas quando comparados ao mapa de vulnerabilidade ambiental.

Essas observações ressaltam a importância da declividade como um indicador-chave para compreender a vulnerabilidade ambiental em Timon, enquanto os outros indicadores desempenham um papel menos expressivo nesse contexto. Esses resultados contribuem para uma compreensão mais aprofundada da dinâmica ambiental e fornecem subsídios valiosos para a tomada de decisões e a gestão ambiental adequada do município.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos conceitos discutidos ao longo dessa pesquisa, a análise integrada se mostra de grande importância para compreender as limitações ambientais e, conseqüentemente, permitir o uso eficiente dos recursos naturais, assim, garantindo o equilíbrio entre o desenvolvimento socioeconômico e a conservação ambiental a longo prazo. Os resultados obtidos a partir da caracterização e mapeamento da vulnerabilidade ambiental do município de Timon revelou que a vulnerabilidade ambiental predominantemente é de muito baixa a média.

Com isso se permite que orientações adequadas sejam dadas para evitar áreas de risco e identificar locais propícios para intervenções, considerando as características ambientais. A partir dos resultados obtidos entende-se, ainda, que a declividade mostrou-se como o indicador principal para a vulnerabilidade ambiental de Timon.

O mapa da vulnerabilidade ambiental, ao permitir uma compreensão abrangente das potencialidades e limitações, possibilita o uso adequado dos recursos, promovendo a preservação ambiental e uma gestão eficiente. Essas informações são essenciais para o planejamento e tomada de decisões sustentáveis, visando à proteção do meio ambiente e ao desenvolvimento equilibrado do município de Timon.

REFERENCIAS

ANDRADE, Luiz Saturnino de; NOGUEIRA, Afonso César Rodrigues. A origem das “Pedras de Fogo” no Estado do Piauí. **Academia de Ciências do Piauí**, Teresina, v. 3, n. 3, p. 266-284. Semestral. Disponível em: <https://periodicos.ufpi.br/index.php/acipi/article/view/1743/1575>. Acesso em: 08 jun. 2022.

ANDRADE, Marcus Vinicius Maidana de; ROVANI, Franciele Francisca Marmentini. Análise da vulnerabilidade natural à perda de solo do município de Ivorá - RS. **Geografia Ensino & Pesquisa**, [S.l.], v. 26, n. 37, p. 1-24, 25 nov. 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/69100>. Acesso em: 09 abr. 2023.

AQUINO, Afonso Rodrigues de et al (org.). **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2017. 112 p. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/27686>. Acesso em: 22 mar. 2023
BRASIL. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima. **MapBiomias**. 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 16 fev. 2023.

BRASIL. Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. **Resolução Conama**. S.l., Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0001-230186.PDF>. Acesso em: 15 maio 2023.

BERTRAND, Georges. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **Ra'E Ga - O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004. Quadrimestral. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/3389/2718>. Acesso em: 20 maio 2021.

CARDOSO, Christiany Araujo et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 241-248, abr. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622006000200011>. Disponível em: https://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/SIF-1_d42e94124ee1090215eae33ed40b248. Acesso em: 09 jun. 2022.

CÂMARA, Gilberto; MEDEIROS, José Simeão de. Modelagem de dados em geoprocessamento. **Sistemas de Informação Geográfica: aplicações na agricultura (ED Assad & EE Sano, eds)**. EMBRAPA, Brasília, p. 47-66, 2005.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu (Org.). Introdução. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (Org.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2001. p. 1-14.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. Introdução a Geomorfologia. In: CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1980. Cap. 7. p. 1-189. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/256383988/Geomorfologia-Antonio-Christofoletti-pdf>. Acesso em: 07 abr. 2022.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil -. **Downloads**. 2023. Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acesso em: 10 fev. 2023.

COSTA NETO, Manoel Corrêa da *et al.* **Geologia da Folha Imperatriz – SB.23-V-C-V, Estado do Maranhão, Escala 1:100.000**. Belém: Cprm, 2014. 87 p. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/pgb/Folha_Imperatriz\(SB.23-V-C-V\)NotaExplicativa.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/pgb/Folha_Imperatriz(SB.23-V-C-V)NotaExplicativa.pdf). Acesso em: 2 mar. 2023.

CORREIA FILHO, Francisco Lages *et al.* **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão**: relatório diagnóstico do município de timon. Teresina: Cprm - Serviço Geológico do Brasil, 2011. 53 p. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/15662/rel_timon.pdf?sequence=1. Acesso em: 23 maio 2021.

CREPANI, Edison *et al.* **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 124 p. Disponível em: <http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2022.

CUIABANO, Marcel do Nascimento *et al.* Vulnerabilidade Ambiental à Erosão Hídrica na Sub-Bacia do Córrego do Guanabara/ Reserva do Cabaçal-MT Brasil. **Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 138-153, 2017. Disponível em: https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/36/volume36_1_files/36-1-artigo-09.pdf. Acesso em: 12 abr. 2023.

CRUZ, Erlanny Maria Alves. **Análise estratigráfica da sequência siluriana da Bacia do Parnaíba, Nordeste do Brasil**. 2016. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geodinâmica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016. Cap. 4. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/21574/1/ErlannyMariaAlvesCruz_DISERT.pdf. Acesso em: 21 abr. 2023.

DIAS, J.; SANTOS, L. A paisagem e o geossistema como possibilidade de leitura da expressão do espaço sócio-ambiental rural. *Confins*, número 1, 2º semestre, 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Brasília). **Formação do solo**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/formacao-do-solo>. Acesso em: 15 maio 2022.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Brasília). **Mapa de solos do Brasil**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/formacao-do-solo>. Acesso em: 29 abril 2022.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Brasília). **Latossolo**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/classificacao-de-solos/ordens/latossolos/subordens>. Acesso em: 08 jun. 2022.

INDE. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. **Área de Download**. Disponível em: <https://inde.gov.br/AreaDownload>. Acesso em: 16 jul. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Malha Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 10 maio 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Unidades de Relevo 1:5.000.000|2006**. [S.I.]. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia/15827-unidades-de-relevo.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 10 abril 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geologia 1:250.000**. [S.I.]. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geologia/15822-geologia-1-250-000.html?=&t=downloads>. Acesso em: 10 agosto 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manuais Técnicos em Geociências**: manual técnico de pedologia. 2. ed. Rio de Janeiro, 2007. 316 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. 2016. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/8db5549f-2b94-40f0-b968-6f940bad68fa>. Acesso em: 22 fev. 2023.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Balanço hídrico climatológico mensal**: série histórica de 1981 a 2010. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/climatologia/bhclimatologicomensal/index>. Acesso em: 28 fev. 2023.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Divisão de Geração de Imagens**. 2023. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>. Acesso em: 01 abr. 2023.

LEAL, Janaira Marques. **Vulnerabilidade Ambiental no município de São Miguel do Tapuio, Piauí**: bases para o ordenamento territorial. 2019. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=8070304. Acesso em: 12 mar. 2023.

LEITE, Ana Paula *et al.* Análise temporal dos índices de vegetação NDVI e SAVI na Estação Experimental de Itatinga utilizando imagens Landsat 8. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, [S.I.], v. 6, n. 4, p. 606-623, 11 out. 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/45830>. Acesso em: 21 mar. 2023.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solos em Campinas - SP. **Bragantina**, Campinas, v.51, n.2, p.189-196, 1992.

MARQUES NETO, Roberto. A Abordagem Sistêmica e os Estudos Geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Geografia (Londrina)**, Londrina, v. 17, n. 2, p. 67-87, 2008. Semestral. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/about>. Acesso em: 19 maio 2021.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, [S.l.]. 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 12 jun. 2022

MIYAZAKI, Leda Correia Pedro. **Dinâmicas de apropriação e ocupação em diferentes formas de relevo**: análise dos impactos e da vulnerabilidade nas cidades de presidente prudente/sp. 2014. 265 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2014. Cap. 05. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle>. Acesso em: 11 abr. 2023.

MORATO, Rúbia Gomes. **Uso de índices e indicadores em Geografia**. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/resource/view>. Acesso em: 23 abr. 2023.
MOHRIAK, Webster Ueipass. Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira. In: BRASÍLIA. Luiz Augusto Bizzi. Cprm – Serviço Geológico do Brasil (org.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**: texto, mapas & sig. Brasília, 2003. Cap. 17. p. 1-692. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/5006>. Acesso em: 11 maio 2022.

NASCIMENTO, Flávio Rodrigues do; SAMPAIO, José Levi Furtado. Geografia Física, Geossistemas e Estudos Integrados da Paisagem. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral, v. 6, n. 1, p. 167-179, 27 out. 2012. Quadrimestral. Disponível em: <https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/130>. Acesso em: 20 maio 2021.

OLIVEIRA, Janiel Lopes de; FEHR, Manfred. Análise da Vulnerabilidade Erosiva Para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Conquistinha no Oeste de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, S.l, v. 12, n. 07, p. 2428-2444, dez. 2019. Bimensal. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/241436/34616>. Acesso em: 10 maio 2023.

OXFORD LANGUAGES. Vulnerabilidade. Disponível em: <https://languages.oup.com/google-dictionary-pt/>. Acesso em: 21 mar. 2023.

PARANAGUÁ, Prefeitura de. **Metadados**: fronteiras internacionais da américa do sul. Fronteiras internacionais da América do Sul. 2020. Disponível em: https://geonode.paranagua.pr.gov.br/layers/geonode:a__031_001_americaDoSul/metadata_detail. Acesso em: 09 abr. 2023.
PENHA, Hélio Monteiro. A Geologia e os problemas ambientais. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 13, p. 31-38, 1990. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/article/download>. Acesso em: 09 abr. 2023.

SANTOS, Francílio de Amorim dos. **Resiliência Ambiental a Secas e a Inundações na sub-bacia Hidrográfica do Rio Piracuruca (CE-PI)**. 2019. 269 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Geografia, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2019. Cap. 7. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UECE-0_42bab879faf2113fd50a9e91798a350c. Acesso em: 15 abr. 2023.

SANTOS, Maria Eugenia de Carvalho Marchesini *et al.* Resumo. In: SANTOS, Maria Eugenia de Carvalho Marchesini *et al.* **Paleontologia das Bacias Do Parnaíba, e São Luís: reconstituições paleobiológicas**. Rio de Janeiro, 2004. Cap. 18. p. 1-212. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/448>. Acesso em: 11 maio 2022.

SANTOS, Marianne Silva *et al.* Análise da Suscetibilidade e Vulnerabilidade à Erosão Hídrica pelo Processo Analítico Hierárquico (AHP). **Revista Eletrônica de Gestão Ectecnologias Ambientais (Gesta)**, S.I, v. 9, n. 1, p. 1-19, dez. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/37588/24537>. Acesso em: 11 abr. 2023.

SÃO PAULO. Prefeitura Municipal de São Paulo. Secretaria Municipal de Educação de São Paulo. **Vulnerabilidade e Educação**. São Paulo: SME / COPED, 2021. 24 p. Disponível em: <https://acervodigital.sme.prefeitura.sp.gov.br/wp-content/uploads/2022/08/Dialogos-NAAPA-vulnerabilidade-educacao-v3.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2023.

SILVA, Juliana Maria Oliveira. **Análise Integrada na bacia hidrográfica do Rio Pirangi – CE: Subsídios para o Planejamento Ambiental**. 2012. 271 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/7972>. Acesso em: 01 jun. 2022.

STRECK, Edemar Valdir *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. 3. ed. Porto Alegre: Rs: Emater/Rs- Ascar, 2018. 252 p. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/solos/livros/SOLOS%203%20EDICAO.pdf>. Acesso em: 01 maio 2023.

TIMON. Prefeitura Municipal de Timon. **História Completa**. [S.I.]. 2022. Disponível em: http://timon.ma.gov.br/site/?page_id=242. Acesso em: 15 maio 2022.

TIMON. Prefeitura Municipal de Timon. **Plano de Controle Ambiental**: complexo empresarial e residencial cocaís shopping, Timon, Maranhão. Timon. 2011.

TIMON. Prefeitura Municipal de Timon. **Microbacias Hidrográficas no Município de Timon-MA**. Timon. 2020.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE. Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente, 1977. 91 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?id=29679&view=detalhes>. Acesso em: 30 jun. 2023.

TORRES, Filpe Tamiozzo Pereira et al. Geomorfologia do Brasil: arcabouço geológico. In: TORRES, Filpe Tamiozzo Pereira et al. Introdução à Geomorfologia. São Paulo: Cenage Learning, 2011. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/392182204/Texto-Basico-Geomorfologia-Aula-6-A>. Acesso em: 17 maio 2022.

MAPEAMENTO DA

VULNERABILIDADE AMBIENTAL

EM TIMON-MA

Eduarda e Silva da Cunha

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	02
TIMON.....	03
<i>Localização</i>	<i>03</i>
ASPECTOS GEOAMBIENTAIS DE TIMON.....	04
<i>Geomorfologia.....</i>	<i>04</i>
<i>Hidrografia.....</i>	<i>05</i>
<i>Pedologia</i>	<i>06</i>
<i>Uso e cobertura das terras.....</i>	<i>07</i>
VULNERABILIDADE DE TIMON.....	08
<i>Vulnerabilidade para Litologia</i>	<i>08</i>
<i>Vulnerabilidade para declividade.....</i>	<i>09</i>
<i>Vulnerabilidade para Erosividade.....</i>	<i>10</i>
<i>Vulnerabilidade para a Erodibilidade</i>	<i>11</i>
<i>Vulnerabilidade para o SAVI.....</i>	<i>12</i>
<i>Vulnerabilidade ambiental</i>	<i>13</i>
REFERÊNCIAS	15

APRESENTAÇÃO

O presente Atlas, intitulado como Mapeamento da Vulnerabilidade Ambiental em Timon – MA, é o produto final da dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial, do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Análise e Planejamento Espacial.

O Atlas, foi idealizado com o intuito de uma forma dinâmica e interativa disponibilizar informações geoambientais de Timon – MA, evidenciando as potencialidades e vulnerabilidades de Timon.

Objetiva-se com esse material, promover o uso adequado dos recursos, promovendo a preservação ambiental e uma gestão eficiente. Essas informações são essenciais para o planejamento e tomada de decisões sustentáveis, visando à proteção do meio ambiente e ao desenvolvimento equilibrado do município de Timon.

Eduarda e Silva da Cunha (Mestranda)

Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Francílio de Amorim dos Santos (Orientador)

Instituto Federal do Piauí (IFPI)

TIMON

Timon, se localiza no Estado do Maranhão.

Limita-se ao leste com Teresina (capital do Piauí), ao Sul com Matões, ao norte com Caxias e ao oeste com Caxias e Matões.

(IBGE, 2022)

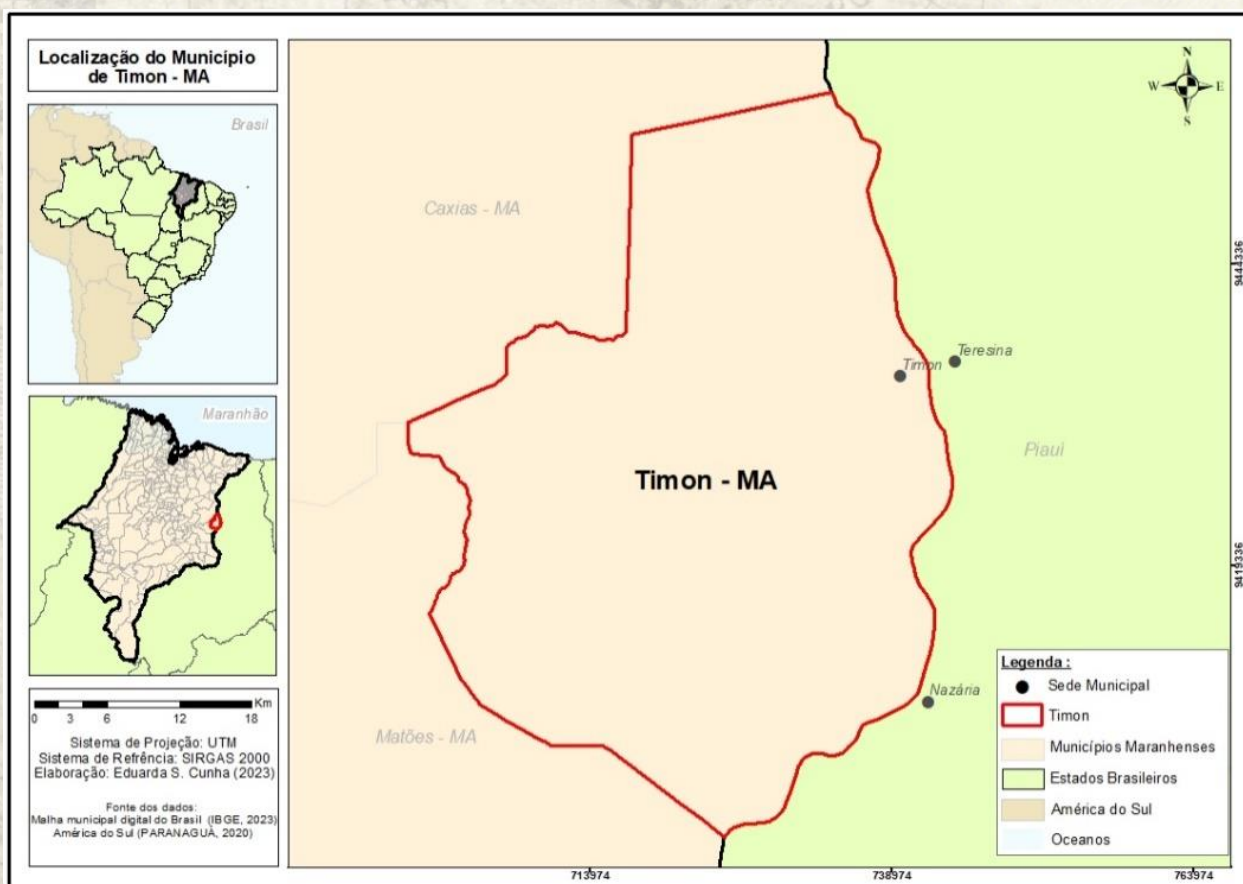
TIMON

Localização

Timon possui sua sede a cerca de 69 metros acima do nível do mar; e, de acordo com Correia Filho (2011), a temperatura no município varia entre 22°C e 32,9°C. O clima, ainda conforme o autor, é classificado como tropical subúmido seco, possuindo os períodos chuvoso e seco bem definidos.

Segundo o IBGE (2022), Timon possui 1.763,220 km² e a densidade demográfica na cidade em 2010 era de 89,18 hab/km² enquanto possuía uma população de 155.460 pessoas; estima-se que em 2021 esse quantitativo chegou a 171.317 habitantes.

Figura 1 - Localização da área em estudo.



Fonte: (IBGE, 2022). Organizado pela autora (2023).

Sede Municipal:

Latitude 5°5'54.69" S
Longitude 42°49'28.93" O

ASPECTOS GEOAMBIENTAIS DE TIMON

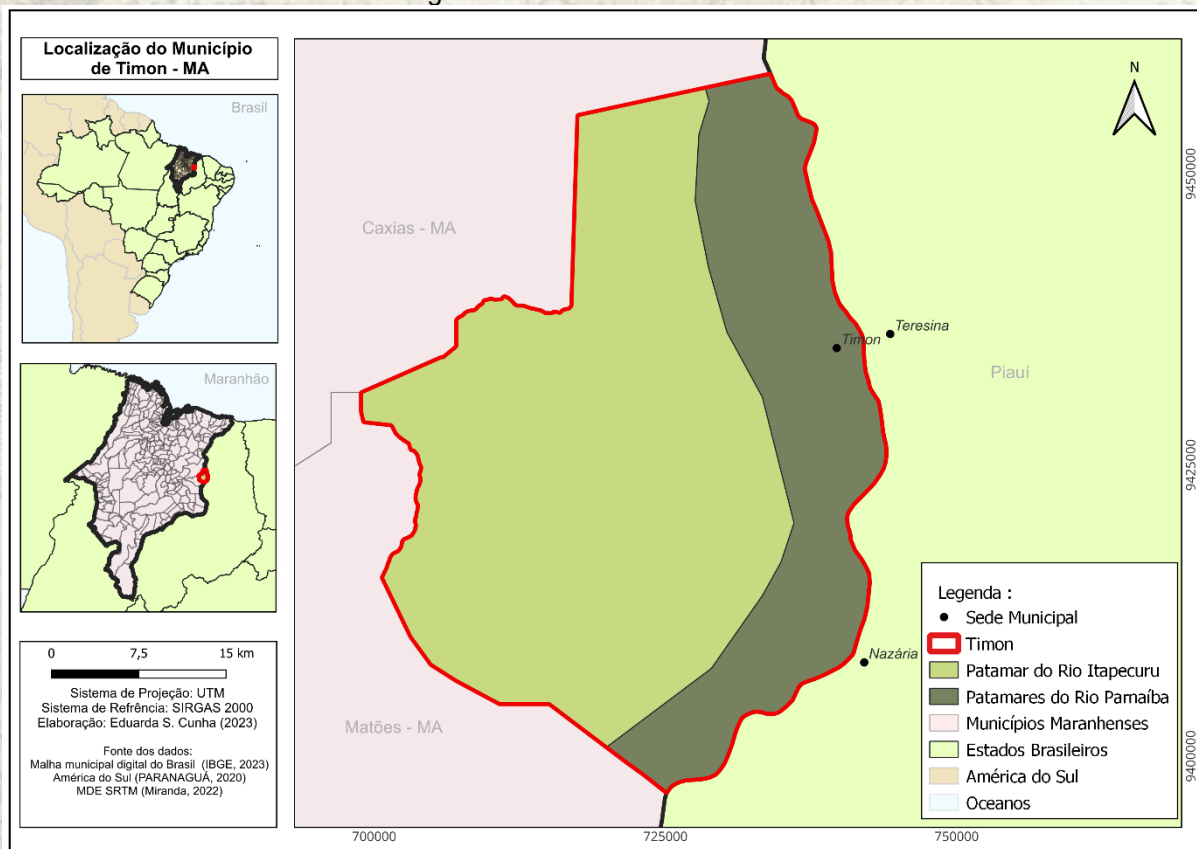
Geomorfologia

A figura 2 detalha a espacialização dos tipos de relevo encontrados em Timon. Ainda de acordo com essa classificação, é possível constatar que essa área se encontra nas regiões denominadas como Patamar do Rio Itapecuru com maior representatividade sendo 68,43% e Patamar do Rio Parnaíba com 31,57%.

Patamar do Rio Parnaíba

O Patamar do Rio Parnaíba apresenta erosão que acarretou diferentes níveis altimétricos em toda sua extensão, que variam entre 50 a 300 metros, com presença de superfícies aplainadas degradadas (PFALTZGRAFF et al., 2010). É caracterizado por ser extensamente suave ondulado, porém, sem muitas colinas; tem destaque nesse relevo terreno com superfícies aplainadas, áreas de relevos residuais (tipo mesetas), baixos plâtos dissecados (PFALTZGRAFF et al., 2010).

Figura 2 - Relevo de Timon.

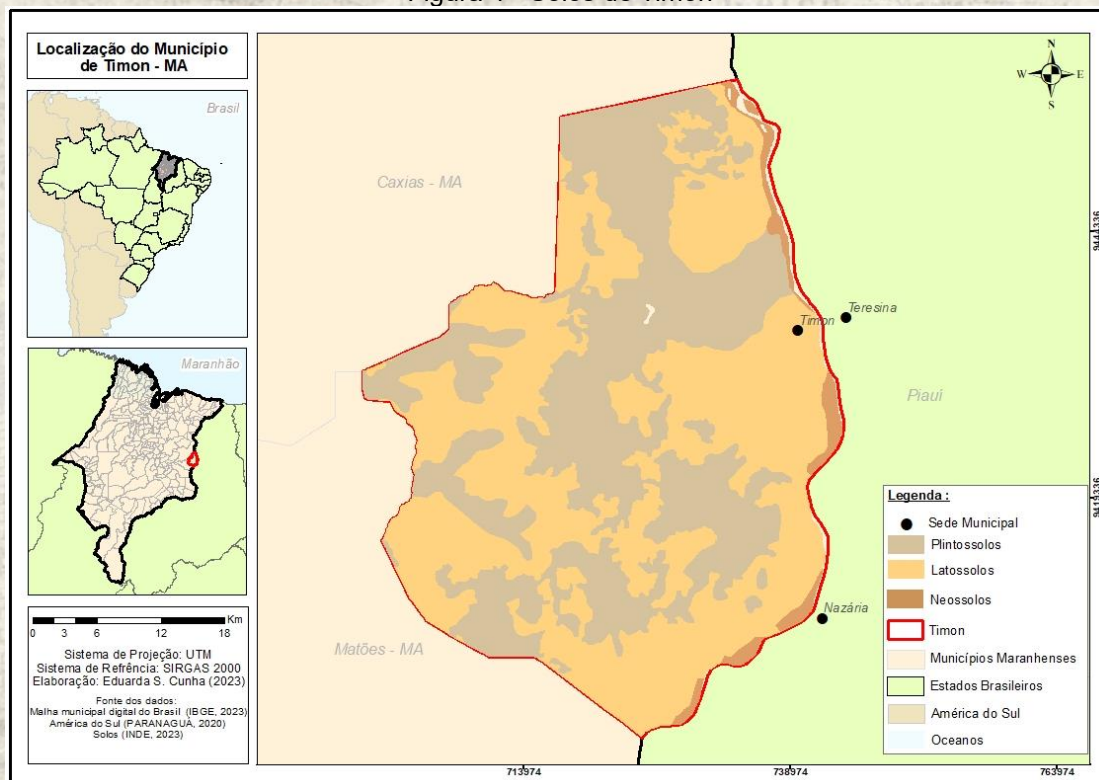


Fonte: (Miranda, 2022). Organizado pela autora (2023).

Pedologia

São quatro ordens de solo identificados em Timon: Latossolo Amarelo, Plintossolos e Neossolos Flúvicos. A figura 4 demonstra a localização desses solos na área em estudo.

Figura 4 - Solos de Timon



Fonte: (CPRM, 2023). Organizado pela autora (2023).

Solos profundos, bem drenados, coloração amarelada, são homogêneos e na maioria das vezes sua fertilidade é baixa sendo necessário fazer uma correção para tornar o solo agricultável e com isso é possível o cultivo de diversas lavouras, outra característica desse tipo de solo é que se trata de um solo duro (IBGE, 2007).

**Latossolos
Amarelos**

Tem “textura média e argilosa que tem restrição à percolação d’água, sujeitos ao efeito temporário do excesso de umidade” (CORREIA FILHO, 2011, p.19). Os Plintossolos eutróficos permitem uma maior produtividade, enquanto, os plintossolos álicos e distróficos possuem baixa fertilidade, é comum nesse tipo de solo o plantio de “mandioca, arroz, feijão, milho, fruticultura e a pecuária extensiva, principalmente bovinos” (CORREIA FILHO, 2011, p.19).

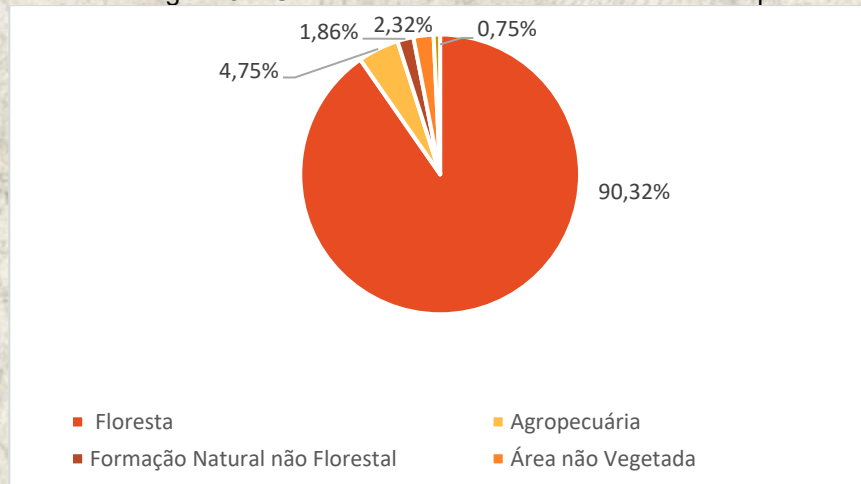
Plintossolos

Solos característicos das margens de cursos d’água, a sua textura é heterogênea, tem potencial agrícola, e é comum em área de relevo plano e várzeas.

**Neossolos
Flúvicos**

Uso e cobertura das terras

Figura 5 - Uso e cobertura das terras de Timon em percentual.

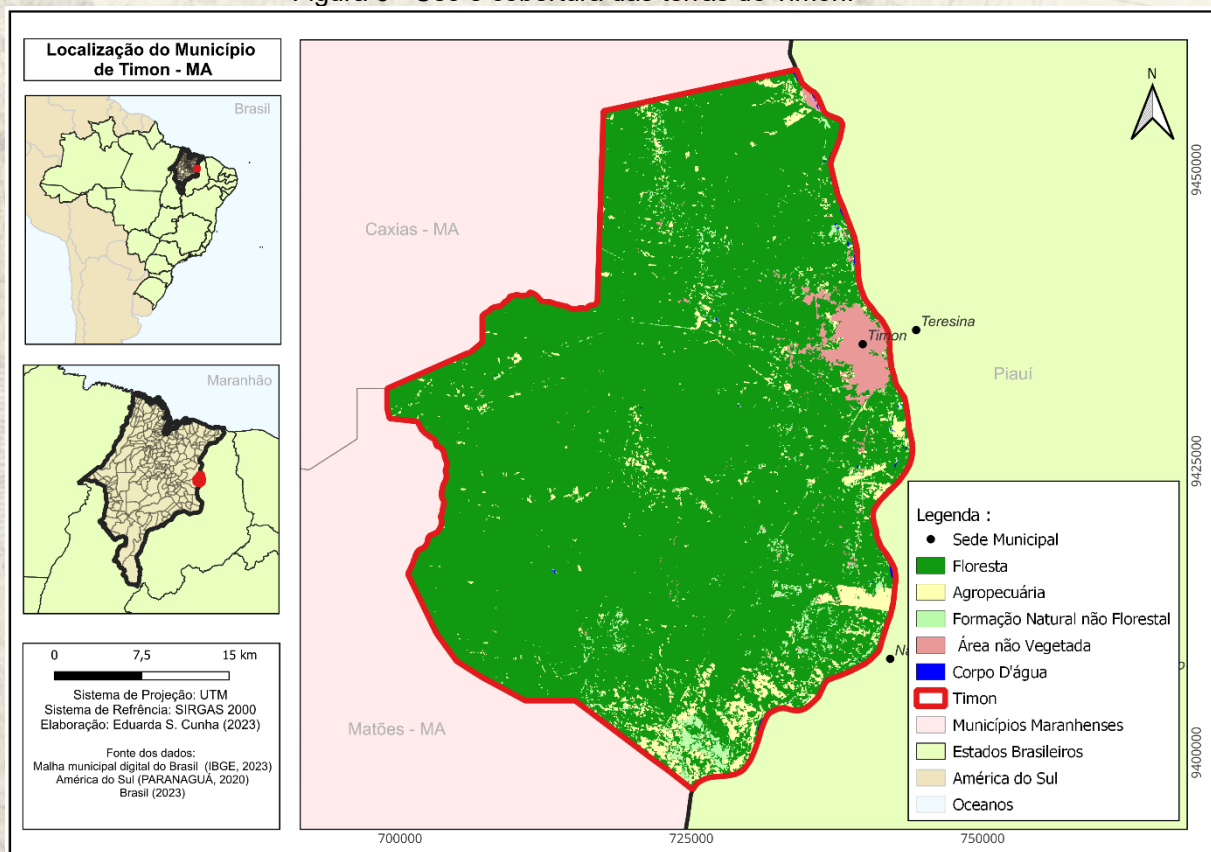


Fonte: MapBiomas (2023). Organizado pela autora (2023).

**Classes com maior
prevalência:**

Floresta (90,32%)
Agropecuária (4,75%)

Figura 6 - Uso e cobertura das terras de Timon.



Fonte: MapBiomas (2023). Organizado pela autora (2023).

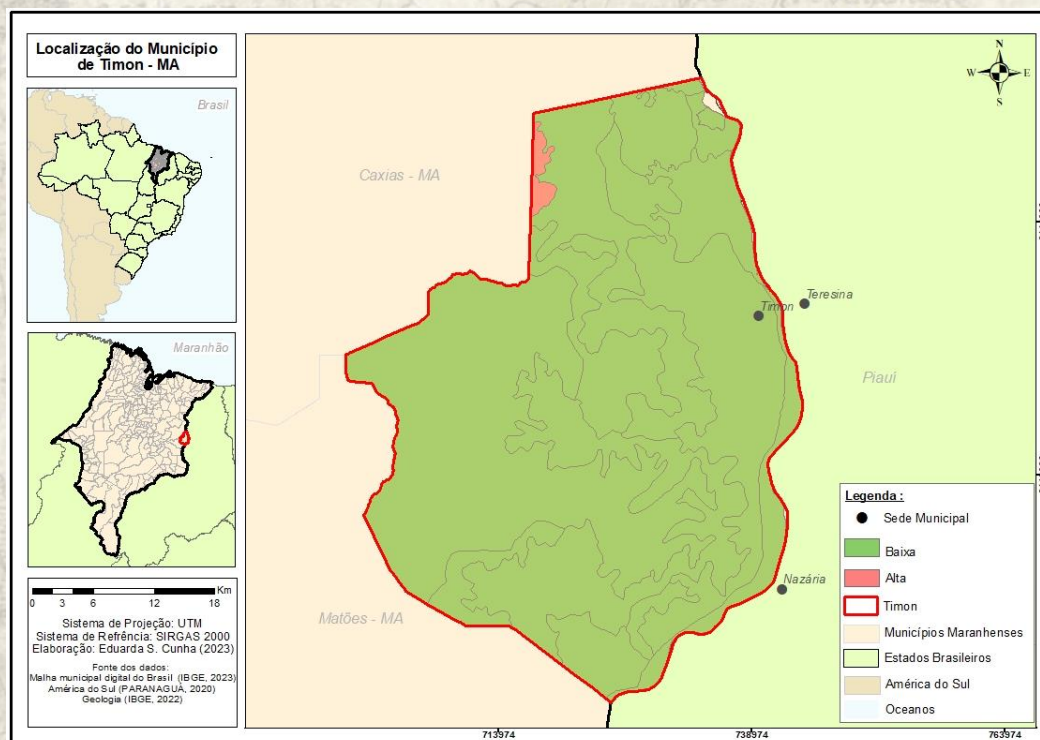
VULNERABILIDADE DE TIMON

Vulnerabilidade para Litologia

Vulnerabilidade para Litologia

Quanto as formações geológicas de Timon foi possível identificar a litologia do município, assim, observou-se a presença de arenito, folhelho, siltito, argilito e margas

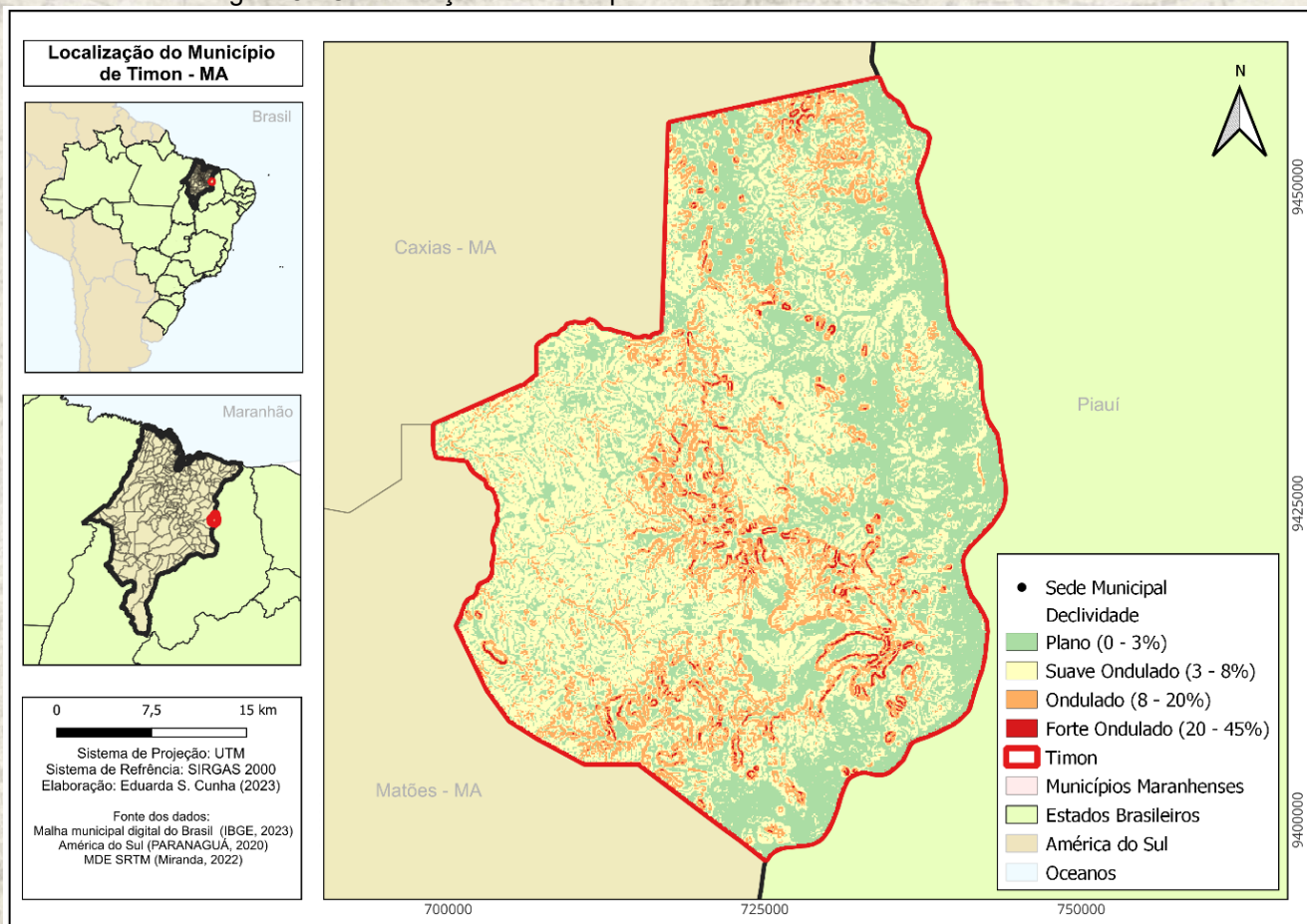
Figura 7 - Geologia de Timon.



Fonte: IBGE (2022). Organizado pela autora (2023).

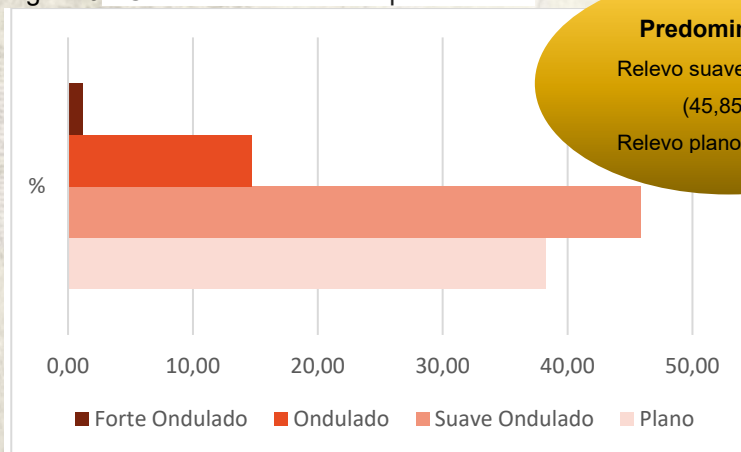
Vulnerabilidade para declividade

Figura 8 - Classificação do relevo pela declividade em Timon.



Fonte: (Miranda, 2022). Organizado pela autora (2023).

Figura 9 - Classes do relevo em percentuais.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Área de Alta Densidade Populacional:

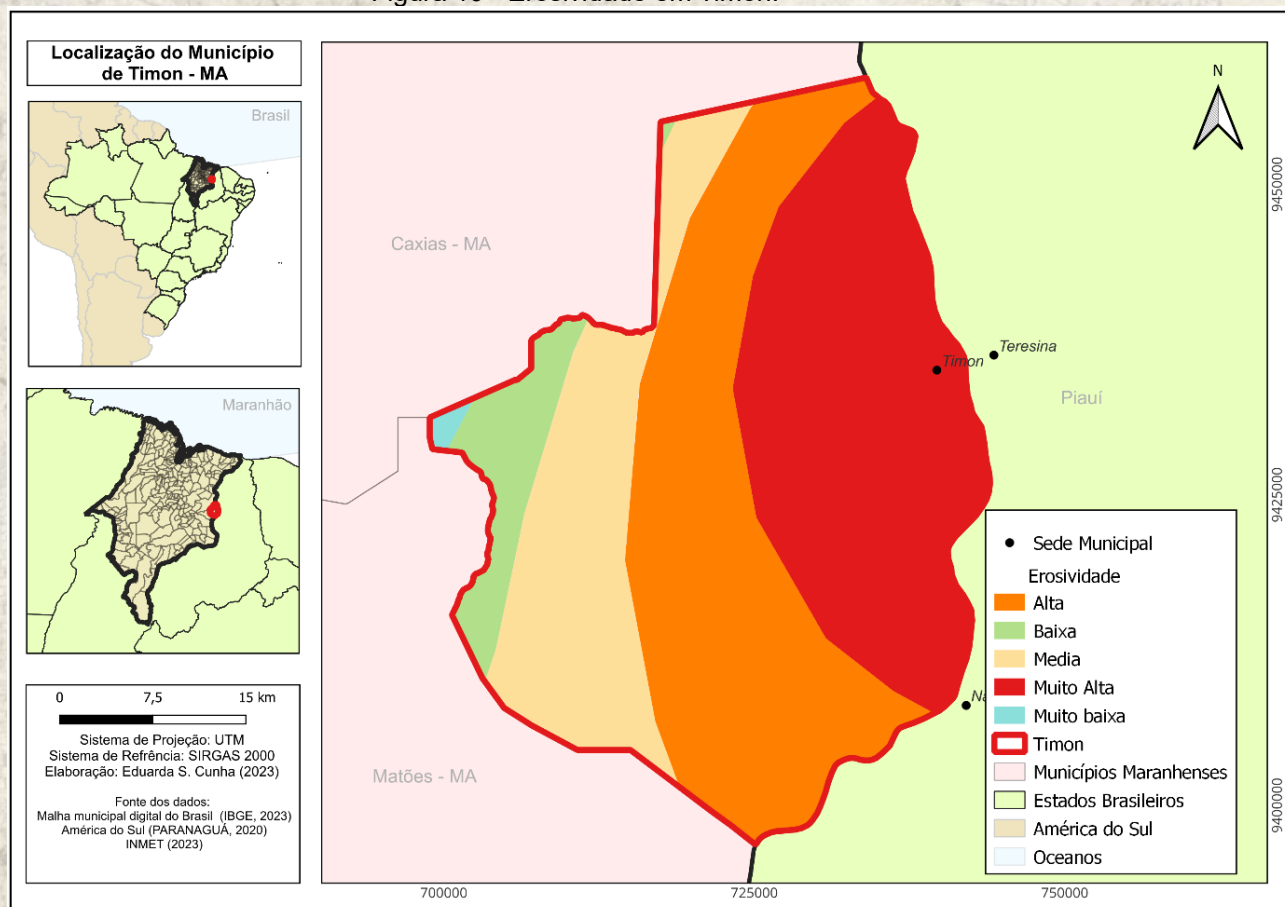
Relevo Plano

Vulnerabilidade para Declividade

15,87% do relevo demanda de atenção, sendo as classes de relevo ondulado e forte ondulado.

Vulnerabilidade para Erosividade

Figura 10 - Erosividade em Timon.



Fonte: INMET (2023). Elaborado pela autora (2023).

Erosividade:

Muito alta (36,83%)

Alta (36,12%)

Média (20,23%)

Baixa (6,39%)

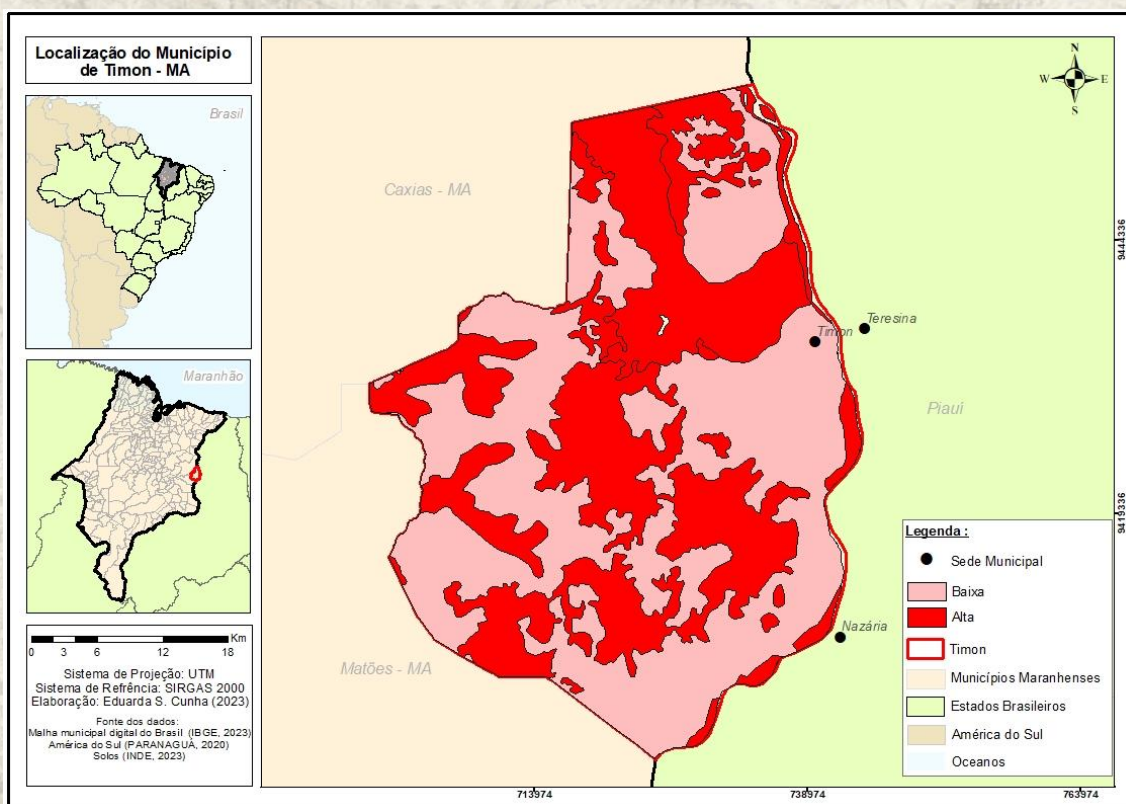
Muito baixa (0,43%)

Vulnerabilidade para Erosividade

A área de maior densidade populacional coincide totalmente com a região de maior vulnerabilidade a erosão.

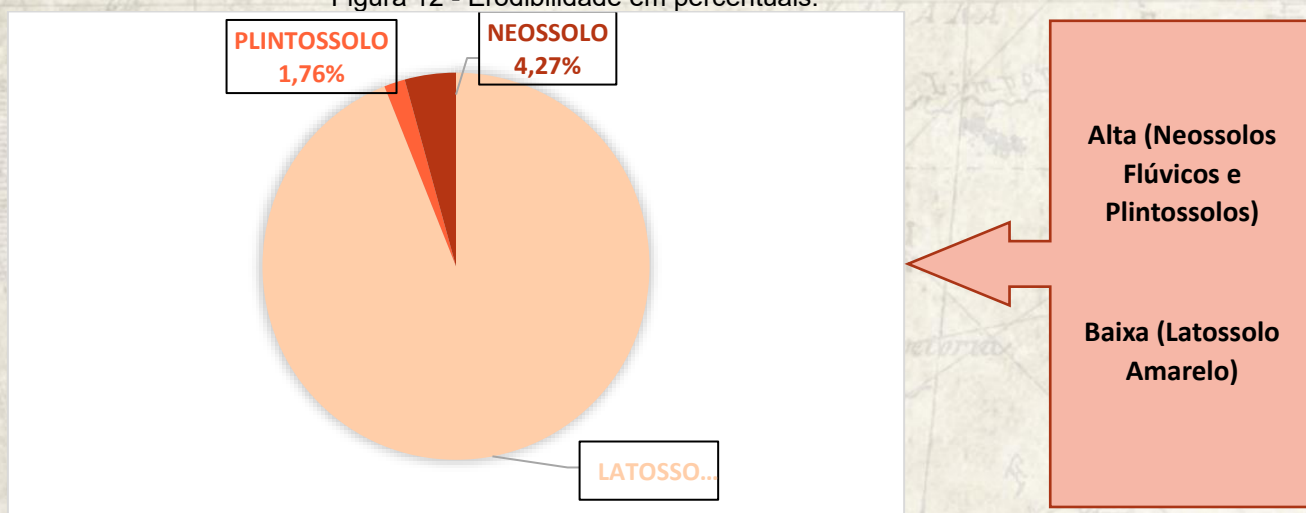
Vulnerabilidade para a Erodibilidade

Figura 11 - Erodibilidade em Timon.



Fonte: (CPRM, 2023). Organizado pela autora (2023).

Figura 12 - Erodibilidade em percentuais.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

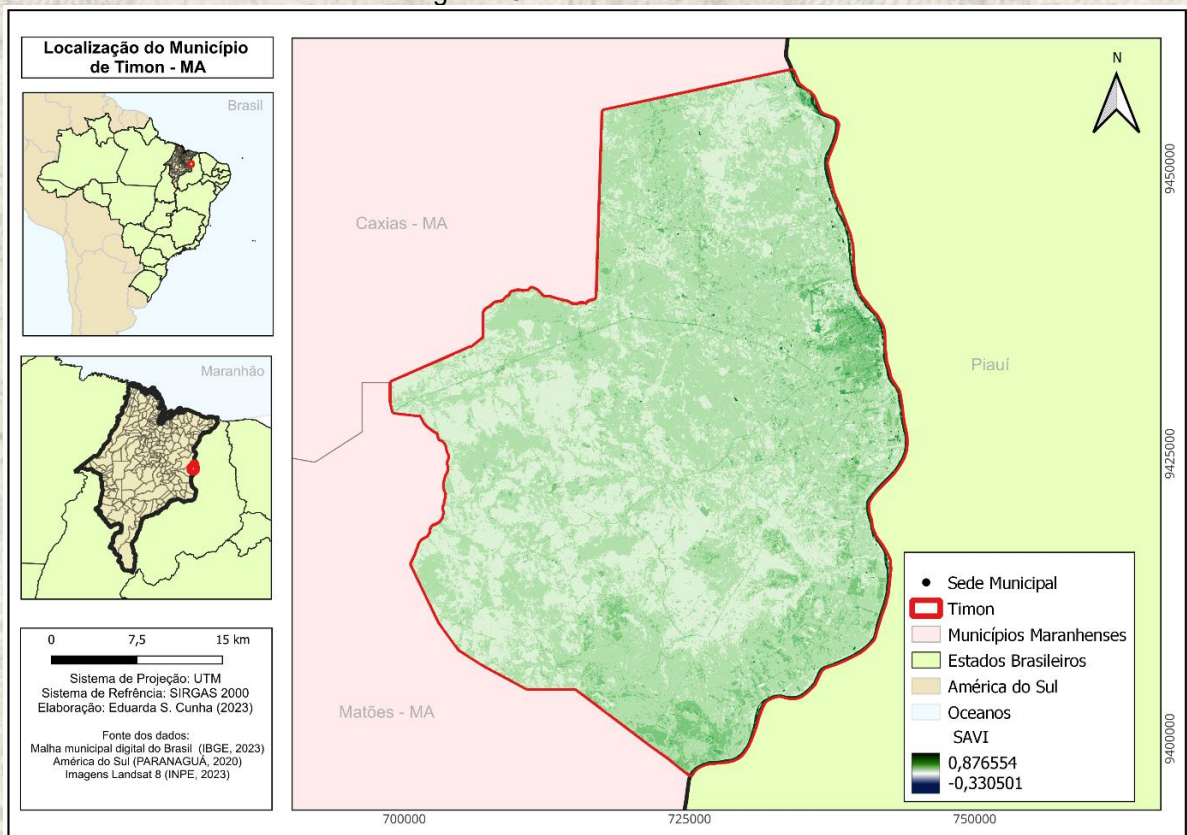
Vulnerabilidade para Erodibilidade

Maiores representatividade de solos: Latossolo.

Logo, o município tem em sua maioria solos com drenagem mediana à boa.

Vulnerabilidade para o SAVI

Figura 13 - SAVI de Timon.



Fonte: INPE (2023). Elaborado pela autora (2023).

Predominância da atividade fotossintética:

Média (57,59%);
Alta (34,42%);
Baixa (6,80%).

Média atividade fotossintética distribuída em todo o município.

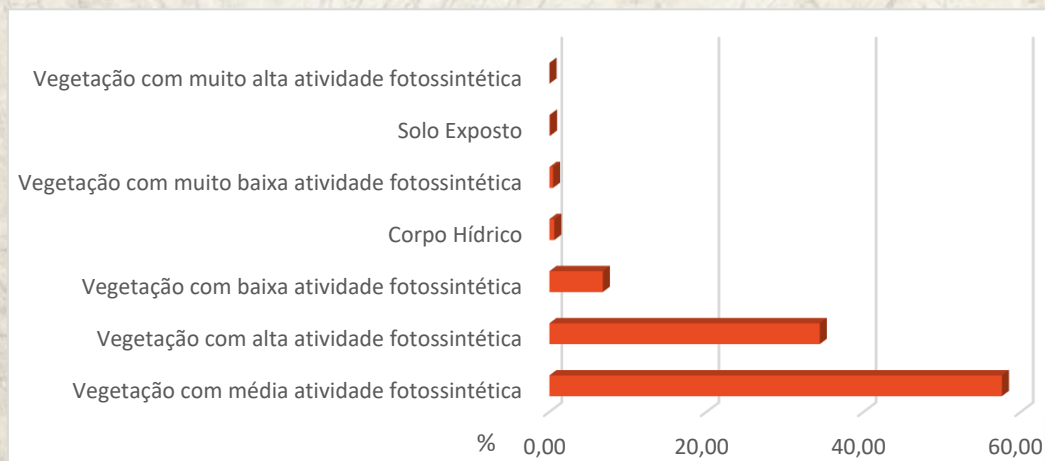
Alta atividade fotossintética expressivamente na zona rural.

Baixa atividade fotossintética concentrada na zona urbana e ao sul de Timon.

SAVI variou entre:

-0,33 a 0,87

Figura 14 - Classes do SAVI em percentuais.



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Vulnerabilidade para SAVI

Prevalece em Timon Média e Alta atividade fotossintética.

Vulnerabilidade ambiental

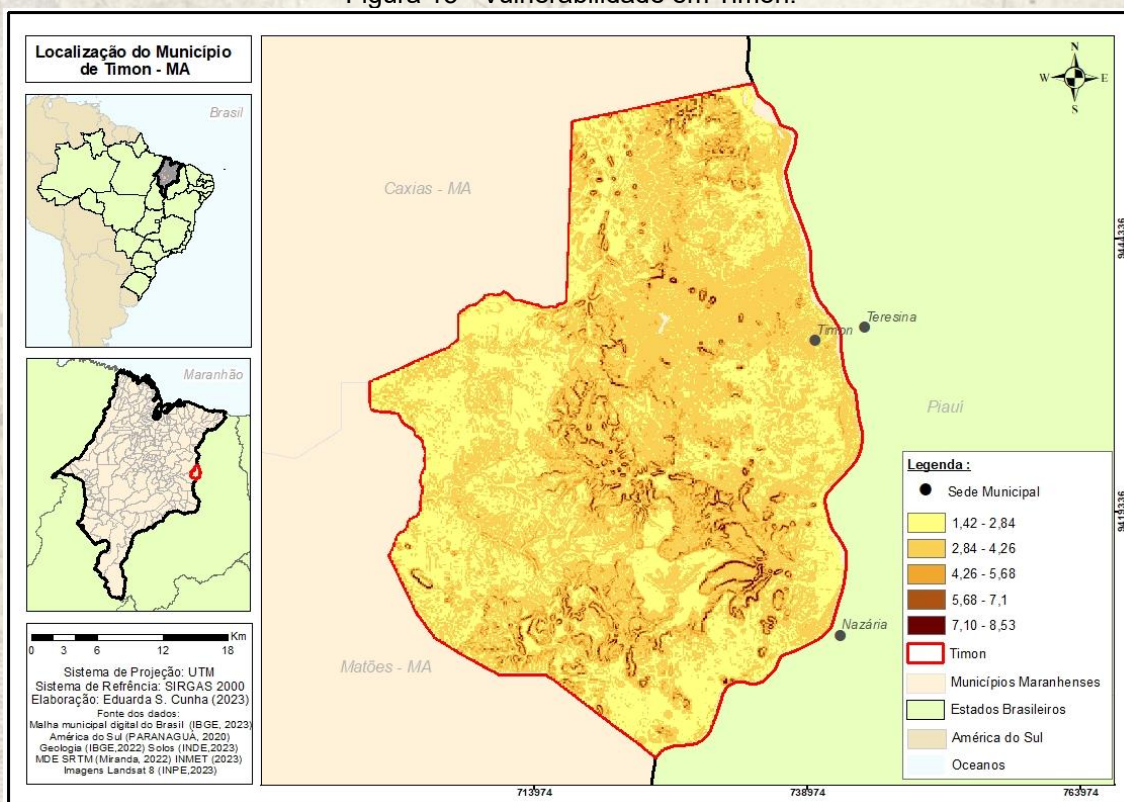
A declividade foi o indicador de maior influência na vulnerabilidade ambiental de Timon.

Tabela 1 - Vulnerabilidade Ambiental em Timon

Classes de Vulnerabilidade	Intervalos
Muito baixa	1,42 - 2,84
Baixa	2,84 - 4,26
Média	4,26 - 5,68
Forte	5,68 - 7,10
Muito Forte	7,10 - 8,53

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 15 - Vulnerabilidade em Timon.



Fonte: IBGE (2022), EMBRAPA (2022), Miranda (2022), INMET (2023), INPE (2023). Elaborado pela autora (2023).

Essas conclusões contribuem para uma compreensão mais aprofundada da dinâmica ambiental e fornecem subsídios valiosos para a tomada de decisões e a gestão ambiental adequada do município.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AQUINO, Afonso Rodrigues de et al (org.). **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2017. 112 p. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/27686>. Acesso em: 22 mar. 2023.

CORREIA FILHO, Francisco Lages et al. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão**: relatório diagnóstico do município de timon. Teresina: Cprm - Serviço Geológico do Brasil, 2011. 53 p. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/15662/rel_timon.pdf?sequence=1. Acesso em: 23 maio 2021.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Downloads**. 2023. Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acesso em: 10 fev. 2023. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Brasília). **Mapa de solos do Brasil**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/formacao-do-solo>. Acesso em: 29 abril 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Malha Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 10 maio 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. 2016. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/8db5549f-2b94-40f0-b968-6f940bad68fa>. Acesso em: 22 fev. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manuais Técnicos em Geociências**: manual técnico de pedologia. 2. ed. Rio de Janeiro, 2007. 316 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2022.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Balanço hídrico climatológico mensal**: série histórica de 1981 a 2010. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/climatologia/bhclimatologicomensal/index>. Acesso em: 28 fev. 2023.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Divisão de Geração de Imagens**. 2023. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>. Acesso em: 01 abr. 2023.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, [S.l.]. 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 12 jun. 2022

PFALTZGRAFF, Pedro Augusto dos Santos et al (org.). **Geodiversidade do Estado do Piauí**: programa geologia do brasil levantamento da geodiversidade. Recife: Cprm - Serviço Geológico do Brasil, 2010. 176 p. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/16772>. Acesso em: 09 jun. 2022.

TIMON. Prefeitura Municipal de Timon. **Microbacias Hidrográficas no Município de Timon-MA**. Timon. 2020.