

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GERSON DOS SANTOS LISBOA

DINÂMICA DA COBERTURA FLORESTAL E DA DESERTIFICAÇÃO NA REGIÃO DE
GILBUÉS-PI, POR MEIO DE IMAGENS DE SATÉLITE

CURITIBA - 2020

GERSON DOS SANTOS LISBOA

DINÂMICA DA COBERTURA FLORESTAL E DA DESERTIFICAÇÃO NA REGIÃO DE
GILBUÉS-PI, POR MEIO DE IMAGENS DE SATÉLITE

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Especialização
em Manejo Florestal de Precisão, do
Programa de Educação Continuada em
Ciências Agrárias, da Universidade
Federal do Paraná, como requisito para
obtenção do título de especialista.

Orientador: Prof. Franciel Eduardo Rex

DINÂMICA DA COBERTURA FLORESTAL E DA DESERTIFICAÇÃO NA REGIÃO DE GILBUÉS-PI, POR MEIO DE IMAGENS DE SATÉLITE

Gerson dos Santos Lisboa¹; Franciel Eduardo Rex².

¹Universidade Federal do Sul da Bahia, Campus Jorge Amado, Itabuna, BA.

² Departamento de Ciências Florestais / Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal
– Universidade Federal do Paraná. Curitiba/PR/Brasil

RESUMO

A região de Gilbués (Piauí) é um dos quatro núcleos de desertificação do Brasil com elevada suscetibilidade a processos de degradação ambiental. É considerada uma das principais questões ambientais do mundo, contribuindo com o aumento de problemas sociais, econômicos e ambientais. Desta forma, o objetivo do presente estudo, foi utilizar imagens de satélite de média resolução espacial para monitorar a dinâmica da cobertura florestal e da desertificação para determinar as áreas suscetíveis aos processos erosivos no município de Gilbués, PI. Para realização desta etapa utilizou-se imagens correspondentes a órbita/ponto 220/67 e 220/66, dos Satélites LANDSAT 5, sensor *Thematic Mapper* (TM), para os períodos de 1984, 1990, 2000 e 2010 e LANDSAT 8, sensor *Operational Land Imager* (OLI) para o período de 2018, com resolução espacial de 30 metros e sem cobertura de nuvens. A metodologia proposta baseou-se na análise multitemporal de mapas de uso e cobertura da terra, provenientes da classificação supervisionada de imagens de satélite. A validação da análise multitemporal foi realizada utilizando a matriz de confusão e o índices Kappa, exatidão global, acurácia do usuário e do produtor. Os resultados da classificação resultou em mapas adequados, apresentando o índice Kappa acima de 80% e a acurácia média do usuário e do produtor ficaram em torno de 88%, sendo considerados muitos bons. A partir do estudo multitemporal, verificou-se significativa modificação da paisagem quanto à exposição do solo e o desmatamento das áreas de Cerrado (de 1984 a 2018 reduziu 14,27%) e Cerrado/Caatinga (de 1984 a 2018 reduziu 22,12%). No contexto da fragilidade ambiental, o município é denominado por classes baixa e levemente baixa, sendo o fator predominante a característica da declividade do terreno, sendo que as áreas de maior vulnerabilidade correspondem a 12% da cobertura total do município. Os impactos ambientais resultantes da modificação da dinâmica da cobertura vegetal, sinalizam que no município de Gilbués devem ser adotadas estratégias de conservação do solo para atenuar o avanço da desertificação e para a manutenção das formações vegetais resilientes. Gilbués naturalmente apresenta a tendência à degradação ambiental, com taxas de fragilidade que variam de média a extremamente alta. A manutenção da cobertura vegetal exerce um papel fundamental no equilíbrio ambiental, sendo esta a que mais influencia a fragilidade.

Palavras-chave: Estudo Multitemporal; Sensoriamento Remoto; Degradação do Solo.

DYNAMICS OF FOREST COVERAGE AND DESERTIFICATION IN THE REGION OF GILBUÉS-PI, THROUGH SATELLITE IMAGES

ABSTRACT

The Gilbués region (Piauí) is one of the four desertification centers in Brazil with high susceptibility to environmental degradation processes. It is considered one of the main environmental issues in the world, contributing to the increase in social, economic and environmental problems. Thus, the objective of the present study was to use satellite images of medium spatial resolution to monitor the dynamics of forest cover and desertification to determine areas susceptible to erosive processes in the municipality of Gilbués, PI. To perform this step, images corresponding to the orbit / point 220/67 and 220/66 were used, from the LANDSAT 5 Satellites, sensor Thematic Mapper (TM), for the periods of 1984, 1990, 2000 and 2010 and LANDSAT 8, Operational sensor Land Imager (OLI) for the period of 2018, with spatial resolution of 30 meters and without cloud cover. The proposed methodology was based on multitemporal analysis of land use and land cover maps, derived from the supervised classification of satellite images. The validation of the multitemporal analysis was performed using the confusion matrix and the Kappa index, global accuracy, user and producer accuracy. The classification resulted in adequate maps, presenting the Kappa index above 80% and the average accuracy of the user and the producer were around 88%, being considered very good. From the multitemporal study, there was a significant change in the landscape in terms of soil exposure and deforestation in the Cerrado (from 1984 to 2018 decreased by 14.27%) and Cerrado / Caatinga (from 1984 to 2018 reduced by 22.12%). In the context of environmental fragility, the municipality is called low and slightly low classes, the predominant factor being the slope of the land, with the areas of greatest vulnerability corresponding to 12% of the total coverage of the municipality. The environmental impacts resulting from the change in the dynamics of vegetation cover, indicate that in the municipality of Gilbués, soil conservation strategies must be adopted to mitigate the advance of desertification and to maintain resilient vegetation formations. Gilbués naturally has a tendency to environmental degradation, with fragility rates ranging from medium to extremely high. The maintenance of vegetation cover plays a fundamental role in environmental balance, which is the one that most influences fragility.

Keywords: Multitemporal Study; Remote Sensing; Soil Degradation.

DEDICO COM CARINHO

Aos meus avós paternos, Octávio Francisco Lisboa e Maria Karpinski Lisboa (*in memorian*), meus avós maternos Moisés Romualdo dos Santos e Maria Lipovieski dos Santos (*in memorian*), pessoas vencedoras, que mesmo enfrentando grandes dificuldades em suas vidas, nunca desistiram de lutar por seus ideais.

Aos meus pais Romeu Karpinski Lisboa e Zenaide dos Santos Lisboa.

Aos meus irmãos Gilmara dos Santos Lisboa e Jonatan dos Santos Lisboa.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que permitiu a realização deste trabalho concedendo saúde, proteção e conforto nas horas de maior dificuldade.

Aos meus Pais Romeu Karpinski Lisboa e Zenaide dos Santos Lisboa pelo incentivo e encorajamento nessa longa jornada acadêmica.

Ao Professor Franciel Eduardo Rex pela orientação, apoio e compreensão.

Ao estudante de Engenharia Florestal da UFPI Gabriel Rodrigues de Oliveira pela valiosa colaboração.

Ao Engenheiro Florestal e estudante de Doutorado da UFLA Luciano Cavalcante de Jesus França pela valiosa colaboração e contribuição.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico) pela concessão da bolsa de Apoio a Pesquisa e recurso financeiro, no qual auxiliou na execução desse trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Manejo Florestal de Precisão da UFPR, que sempre dispostos em repassar seus conhecimentos e experiências, sendo peças chave no desenvolvimento de todos os trabalhos.

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	11
2. Objetivo Geral	14
2.1. Objetivos específicos	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1. Desertificação	15
3.2. Sensoriamento Remoto	17
3.2.1. Principais Características das Imagens Landsat	19
3.2.2. Principais Usos das Imagens de Satélite	22
3.2.3. Comportamento Espectral dos Objetos	23
3.2.4. Interpretação das Imagens de Satélite	23
3.3. Estudos Desenvolvidos que Apontam a Problemática.....	24
3.4. Cerrado.....	25
3.5. Caatinga	28
3.6. Fragilidade e Vulnerabilidade Ambiental	29
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
4.1. Área de estudo.....	32
4.2. Aquisição dos dados Vetoriais.....	33
4.3. Imagens de Satélite	33
4.4. Aquisição do Atlas Brasil	34
4.5. Modelo Digital de Elevação.....	34
4.6. Softwares para Visualização e Processamento das Imagens	35
4.7. Tratamento das Imagens	35
4.8. Pré Processamento das Imagens	35
4.9. Correção Atmosférica	36
4.10. Correção Radiométrica	36
4.11. Contraste	36
4.12. Recorte de Plano de Informação	36
4.13. Mosaico.....	37
4.14. Segmentação de Imagens	37

4.15. Classificação do Uso e Ocupação da Terra.....	37
4.16. Mapas multitemporais da desertificação e cobertura florestal.....	39
4.17. Validação da classificação	40
4.18. Classificação de risco aos processos erosivos	42
 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	 45
5.1. Modelo Digital de Elevação.....	45
5.2. Mapas multitemporais do uso e ocupação da terra de 1984 a 2018.....	46
5.3. Validação da Classificação	51
5.4. Classes de riscos aos Processos Erosivos	52
 6. CONCLUSÕES	 58
 7. REFERÊNCIAS	 59
 8. APÊNDICE	 69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Composições coloridas utilizadas nos satélites Landsat 5 e 7, e suas respectivas bandas usadas no Landsat 8.....	22
Figura 2. Malhadas da paisagem de Gilbués.	28
Figura 3. Mapa de localização da área de pesquisa, município de Gilbués-Piauí, Brasil.	32
Figura 4. Etapas operacionais desde a aquisição do Software, imagens de satélite e elaboração do produto final.	38
Figura 12. Visão geral da vegetação.....	70
Figura 13. Visão geral do solo e vegetação.	70
Figura 14. Dimensão das partículas de solo.	71
Figura 15. Dimensão da erosão e a vegetação.....	71
Figura 16. Rio temporário.	72
Figura 17. Visão geral de um rio temporário e da vegetação.	72
Figura 18. Visão geral da erosão, solo exposto e vegetação ao fundo.	73
Figura 19. Dimensão da erosão, solo exposto e a vegetação ao fundo.....	73
Figura 20. Dimensão geral da erosão, solo exposto e a vegetação ao fundo.....	74
Figura 21. Intensidade da erosão.	74
Figura 22. Erosão e a vegetação.	75
Figura 23. Solo exposto e a vegetação ao fundo.	75
Figura 24. Solo exposto e a vegetação ao fundo.	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais características e aplicações das Bandas TM e ETM dos satélites Landsat 5 e 7.	19
Tabela 1. Principais características e aplicações das Bandas TM e ETM dos satélites Landsat 5 e 7.	20
Tabela 2. As principais características e aplicações do satélite Landsat 8 dos sensores OLI e TIRS são similares ao Landsat 5 e 7 dos sensores TM e ETM.	21
Tabela 3. Descrição das classes utilizadas para o processamento das imagens.	38
Tabela 3. Descrição das classes utilizadas para o processamento das imagens.	39
Tabela 4. Exemplo de uma Matriz de erro.	40
Tabela 5. Avaliação da qualidade da classificação via Índice de Kappa.	41
Tabela 6. Classes de fragilidade atribuída aos parâmetros avaliados no estudo.	44
Tabela 7. Áreas (km ²) e percentuais das diferentes classes de declividade do terreno na região de Gilbués, Piauí, Brasil.	46
Tabela 8. Dinâmica multitemporal do uso e ocupação do solo para o município de Gilbués, PI.	48
Tabela 9. Resultado da avaliação da classificação das imagens.	51
Tabela 10. Área referente as classes de vulnerabilidade aos processos erosivos.	56

1- INTRODUÇÃO

A desertificação tornou-se um tema relevante nos debates sobre a degradação das terras, feitos pela Organização Mundial das Nações Unidas. A discussão a respeito da desertificação tem ganhado força ao longo dos anos, visto que o fenômeno vem tornando-se cada vez mais evidente. As regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas são as mais vulneráveis a ocorrência, seja por fatores naturais ou por ação antrópica. Atualmente, os estudos a respeito da desertificação abrangem dimensões globais, pois o fenômeno atinge as chamadas regiões de terras secas de todo o planeta (ZHA; GAO, 1997; SEELY, 1998; SALES, 2002; Wu; Ci, 2002; ROSÁRIO, 2004; YANG et al, 2005; BEEKMAN, 2006, CAVALCANTE; COUTINHO; SELVA, 2007; MORAIS, 2010; NASCIMENTO, 2013).

No Brasil, o município de Gilbués-PI, destaca-se entre esta zona de vulnerabilidade, região conhecida mundialmente pela intensa degradação ambiental, sendo considerada pelas organizações nacionais e internacionais, a maior em processo de desertificação do país, chamando atenção, além da extensão, o acelerado nível de degradação (LOPES et al., 2011). Uma vez que as terras secas são frequentemente afetadas por erosão acelerada do solo, degradação da terra e desertificação associadas a perdas na cobertura vegetal, é necessário o monitoramento constante do uso da terra e mudanças na sua cobertura (TOMASELLA et al., 2018). Os estudos sobre desertificação são complexos em virtude da amplitude e da falta de uma metodologia de estudo universalmente aceita (MATALLO JÚNIOR, 2001).

A identificação de áreas em processo de degradação tem sido um tema epistemologicamente polêmico e amplamente discutido mediante o atual contexto de preocupação com os impactos ambientais gerados por ações antrópicas e a intensa produção científica nessa área tem motivado pela popularização do uso de geotecnologias (SILVA, 2008).

Desde 1970, técnicas de sensoriamento remoto são utilizadas para realizar o estudo de recursos naturais, para avaliar danos causados principalmente por ações antrópicas. Com o lançamento de satélites que levam a bordo sensores capazes de distinguir inúmeros objetos na superfície terrestre, devido à sua resolução, tornou-se possível o mapeamento dos recursos naturais e também o monitoramento dos mesmos (TOEBE e LÚCIO, 2020).

Diante do exposto, o sensoriamento remoto vem sendo largamente aplicado para o monitoramento da cobertura florestal e a degradação ambiental. As distintas áreas do conhecimento, cujo objeto de estudo sejam a observação e análise da vegetação (agronomia,

biologia, geociências, manejo florestal, silvicultura, etc.) vêm sendo utilizadas e aprimoradas as formas de utilização desses recursos (EASTMAN, 2010; LUSCH, 1999; MELESSE et al., 2007; MOREIRA, 2011; PONZONI; SHIMABUKURO, 2007; WENG, 2010).

O sensoriamento remoto é a arte e a ciência de se obter informações acerca de objetos presentes na superfície terrestre sem contato físico com os mesmos (JENSEN, 2009). Um sensor remoto é um sistema capaz de detectar, medir e registrar a Radiação Eletromagnética (REM) emitida ou refletida pela superfície terrestre, sendo seu intervalo completo denominado espectro eletromagnético.

Por meio de imagens de satélite é possível observar o ambiente e sua transformação, destacando elementos da paisagem, tais como o relevo, a vegetação, a água e o uso de solo em diversos períodos de tempo e de extensas áreas da superfície da terra, sendo possível, assim, observar as áreas que obtiveram maiores transformações, sejam elas positivas ou negativas.

A realização de levantamentos das áreas de cobertura vegetal são importantes para analisar o uso e ocupação do solo e fornecer elementos para o planejamento de uso ambiental e administração dos recursos naturais, visando avaliar e monitorar a preservação de áreas de vegetação, bem como, a melhor qualidade de vida da população (TOEBE e LÚCIO, 2020).

Os satélites por sua vez são as fontes mais significativas de novos dados sobre o planeta e os bancos de dados de sistema de informações espaciais são os que mais crescem (SILVA et al., 2005). Essas informações vêm sendo utilizada para tomar decisões relativas a um conjunto de temas relevantes, incluindo a mudança na terra, variações climáticas e estudos de biodiversidade. Eventos como o desmatamento, correlações de mudança climática e dinâmica de espécies são exemplos de aplicações (SILVA, CÂMARA e ESCADA, 2008).

As imagens de sensoriamento remoto devem ser vistas como uma forma de documentos que representam, em escala e sobre um plano 2D, os acidentes e as feições naturais e artificiais da superfície terrestre, a partir da medição de um processo físico da radiação eletromagnética. A energia da radiação eletromagnética conduz de forma analógica a informação sobre os objetos e no sensor um conversor analógico/digital converte essa informação em um valor digital, codificado por uma unidade denominada de pixel. A forma digital do dado é que possibilita o uso de computadores para processar as imagens, com o objetivo principal de representar porções bem definidas do espaço terrestre, utilizando-se de processamentos matemáticos, estatísticos e probabilísticos das informações (MENESES et al, 2012).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi monitorar a dinâmica e os impactos na cobertura florestal e na desertificação, utilizando imagens de Satélite de média resolução espacial, para determinar as áreas suscetíveis aos processos erosivos na região Sul do Estado do Piauí.

2. Objetivo Geral

Monitorar a dinâmica e os impactos na cobertura florestal e na desertificação, utilizando imagens de Satélite de média Resolução Espacial, para determinar as áreas suscetíveis aos processos erosivos na região Sul do Estado do Piauí.

2.1. Objetivos específicos

- Realizar o estudo multitemporal da cobertura florestal e da desertificação durante o período de 1984 à 2018;
- Classificar o uso e ocupação da solo no período de 1984 à 2018 e
- Delimitar áreas de maiores riscos e avaliar a fragilidade ambiental.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Desertificação

A desertificação tornou-se tema relevante nos debates sobre a degradação das terras, feitos pela Organização Mundial das Nações Unidas. A desertificação pode ser considerada um complexo de processos de degradação que constitui graves problemas ambientais. A discussão das causas e consequências da desertificação, degradação de terras e ocorrência de secas é um assunto complexo por ser um processo dinâmico e resultante de um conjunto de causas e efeitos que se entrelaçam (SAMPAIO e SAMPAIO, 2002).

As áreas afetadas e/ou susceptíveis à desertificação no Brasil encontram-se, predominantemente, na região semiárida, e as consideradas em estágio mais avançado estão situadas no Nordeste. De acordo com o Instituto Nacional do Semiárido – INSA (2012), o espaço geográfico do semiárido brasileiro estende-se por oito estados da região Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe), além do Norte de Minas Gerais, totalizando uma extensão territorial de 980.133,079 km². A população residente no semiárido brasileiro alcançou a marca de 22.598.318 habitantes em 2010, representando 11,85% da população brasileira, 42,57% da população nordestina, 28,12% da população residente na região Sudeste.

O Núcleo de Desertificação de Gilbués localiza-se ao Sudoeste do Piauí, a cerca de 800 km da capital Teresina, a região centrada no município de Gilbués é considerada oficialmente um “núcleo de desertificação”. No Brasil, são ao todo quatro núcleos de desertificação. Todos se encontram na região Nordeste. São eles: Cabrobó-PE, Seridó-RN, Irauçuba-CE, além de Gilbués-PI, que é considerado um dos núcleos mais graves nesse processo.

O problema da desertificação vem agravando-se em decorrência das secas sucessivas que assolam o Nordeste e, principalmente, das pressões antrópicas em um ecossistema tipicamente frágil (ACCIOLY, 2000).

Áreas Susceptíveis à Desertificação ainda precisam ser melhor caracterizadas (em todos os sentidos), por se tratar de questões ainda carentes de estudos e amadurecimento científico, portanto, é fundamental a elaborar parâmetros de análise, desenvolvimento de metodologias e técnicas para a compreensão da dinâmica natural e ação sobre a natureza, de modo a mitigar e/ou recuperar os danos já causados pela ação humana, tendo em vista as emergências dos problemas ambientais, sociais e econômicas decorrentes (PAN-BRASIL, 2005).

A degradação e desertificação aumentam a vulnerabilidade das comunidades expostas às inundações, deslizamentos de terra e secas, exacerbando os desafios sociais e ambientais. Os fenômenos supracitados ainda podem reduzir o rendimento das culturas, aumentar a escassez de água nas terras secas e reduzir a biodiversidade, as faces mais extremas da desertificação podem levar a perda completa de produtividade da terra, limitando-se as opções de adaptação (IPCC, 2019).

Segundo alguns estudiosos, especialistas em solo, algumas áreas já tornaram-se irreversíveis. É fato que, a extração desordenada de diamantes, iniciada por volta de 1940, tem contribuído para esse quadro assustador. Enormes crateras foram abertas, e têm provocado a irreversibilidade do solo, além das características naturais de clima, relevo e solo, propícias à degradação natural. A ação antrópica tem frequentemente contribuído para a aceleração desse processo, associadas ao desmatamento, à mineração, ao sobrepastoreio, ao cultivo excessivo, à irrigação inadequada e ao latifúndio (PATRÍCIO, SILVA e RAMOS, 2012).

O município de Gilbués é conhecido mundialmente pela intensa degradação ambiental, sendo considerado pelas organizações nacionais e internacionais, a maior em processo de desertificação do país, chamando atenção, além da extensão, o acelerado nível de degradação (OLIVEIRA et al., 2011).

A região de Gilbués tem sua trajetória de ocupação apoiada historicamente pela atividade pecuária (SILVA, 2014). Cita ainda que há registros históricos na literatura científica de que a região foi habitada por populações indígenas que denominavam a região de Jeruboés que significa “Terra Fraca”, ou seja, a paisagem de Gilbués já apresentava aspectos de fragilidade. França et al. (2017), em análise multicritério da fragilidade ambiental potencial e emergente da região, via Sistemas de Informações Geográficas, constataram que Gilbués naturalmente apresenta a tendência à degradação ambiental, com elevadas taxas de mediana e extremamente alta fragilidade ambiental.

Esta região é oficializada pelo Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação como um dos “núcleos de desertificação” do Nordeste brasileiro, sendo considerada o maior núcleo do país (PAN-BRASIL, 2005). Conhecido internacionalmente por ser o maior do país, apresentar condições ambientais que o distingue das demais áreas em desertificação no Nordeste Brasileiro (SILVA, 2014), e pelo acelerado nível de degradação (LOPES et al., 2011).

A alta incidência de raios solares, com consequentes altas temperaturas, aumento do índice de evapotranspiração, variabilidade climática, assim como, os períodos de seca, a intensidade das chuvas, a erodibilidade dos solos, o escoamento superficial e a derivação antropogênica como o desmatamento indiscriminado, as queimadas e o pastoreio de caprinos e ovinos acima da capacidade de suporte do ambiente, são fatores que aceleram e agravam o processo de desertificação na região do município de Gilbués (SILVA et al., 2011). Os autores destacam que nos arredores da área do núcleo de Gilbués, os solos degradados apresentam vegetação de Cerrado e Caatinga sob estresse hídrico, sobre uma camada de areia clara que pouco a pouco está sendo erodida, dando lugar ao solo avermelhado, com feições erosivas, e que em regiões onde há uma quantidade maior de vegetação, o processo de erosão não é intenso, possibilitando a formação de “ilhas” de Cerrado e Caatinga em meio ao núcleo. Destaca-se que a manutenção da cobertura vegetal é fundamental no controle ao avanço da desertificação nesta região.

A identificação de áreas em processo de degradação tem sido um tema epistemologicamente polêmico e amplamente discutido mediante o atual contexto de preocupação com os impactos ambientais gerados por ações antrópicas e a intensa produção científica nessa área, motivada pela popularização do uso de geotecnologias (SILVA, 2008).

3.2. Sensoriamento Remoto

A expressão “Sensoriamento Remoto” foi criada na década de 60 (século passado), por geógrafos da “US Office Naval Research”, quando o uso de satélites, até então exclusivo dos militares, passava também para a esfera civil (CRACKNELL e HAYNES, 1991).

A observação do fenômeno de maneira remota realiza-se a partir de uma base ou plataforma terrestre, suborbital (avião e/ ou balão), ou orbital (satélite). Os sensores orbitais são aqueles em que o instrumento (sensor) para à aquisição dos dados encontra-se, principalmente, a bordo de satélites.

Os sensores de aquisição podem ser classificados em ativos e passivos. Uma maneira simples de diferenciar os dois tipos de sensores é que os ativos possuem uma fonte própria de energia, a partir da qual as medições são realizadas. Em oposição, os sensores passivos não possuem uma fonte de energia própria, utilizando nesse caso, a energia solar. Em geral, o que mede-se é a energia refletida (ou emitida no caso da termal) pelos diversos alvos da superfície terrestre. Cada alvo possui um determinado comportamento e característica frente à energia radiante (assinatura espectral), o que ajudam na distinção dos objetos (INPE, 2006).

Os sistemas de Sensoriamento Remoto (SR) possuem a capacidade de fazer o registro de informações da superfície e também da dinâmica da paisagem, firmando-se cada vez mais como uma ferramenta eficiente para controle e análise de recursos naturais (FLORENZANO, 2002), pois a periodicidade das imagens associadas às metodologias propostas permitem inferências e conclusões a cerca da superfície terrestre e dos alvos observados (NOVO, 2010).

Entre as ciências e tecnologias disponíveis e crescentes utilizadas em estudos acerca da desertificação, destaca-se o Sensoriamento Remoto. O Sensoriamento Remoto pode ser entendido como a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves etc., com o objetivo de estudar fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra por meio do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2010).

Os sensores remotos são caracterizados a partir de diferentes resoluções (espaciais, espectrais, temporais e radiométricas), que serão refletidos em suas imagens. A resolução espacial está relacionada à área mínima medida pelo sensor, representada pelo pixel, e quanto maior é esta área, menor é a resolução espacial; a resolução espectral está relacionada ao número e a dimensão (tamanho) de intervalos de comprimentos de ondas específicos (bandas ou canais) no espectro eletromagnético aos quais um instrumento de sensoriamento remoto é sensível (JENSEN, 2009), sendo assim, quanto maior o número de bandas, maior a resolução espectral; a varredura de um satélite em determinado local da crosta terrestre é, as vezes, periódica, sendo esse período regular e definidor da resolução temporal de um sistema de sensoriamento remoto; por último, mas não menos importante tem-se a resolução radiométrica que, segundo INPE (2006), está associada à sensibilidade do sensor em distinguir os níveis de intensidade do sinal de retorno, ou seja, o maior número possível de identificação de níveis de cinza (NC) – por exemplo, uma resolução de 10 bits (1024 NC) é superior a uma de 8 bits (256 NC).

Os satélites de sensoriamento remoto dos recursos terrestres (conhecidos como de observação da Terra) têm uma órbita circular, heliossíncrona e quase polar. Isto quer dizer que o satélite desloca-se em torno da Terra com a mesma velocidade de deslocamento da Terra em relação ao Sol, garantindo as mesmas condições de iluminação para a superfície terrestre e a passagem aproximadamente no mesmo “horário local” sobre os diferentes pontos

da Terra. Entre os vários satélites de sensoriamento remoto dos recursos terrestres existentes, podemos mencionar os americanos da série Landsat (FLORENZANO, 2011).

A série Landsat (Land Remote Sensing Satellite) teve o início em 1972 com o lançamento do satélite ERTS-1 (Landsat 1). Em seguida foram lançados os Landsat 2 (1975), 3 (1978), 4 (1982), 5 (1984), 6 (1993), 7 (1999) e 8 (2013). Sendo assim, são 40 anos de imageamento e produção de dados contínuos, em uma parceria INPE/NASA que possibilitou a disponibilização gratuita das imagens para toda a América do Sul, produtos que atendem a estudos variados em mesoescala (1:100.000). A série conta, hoje, com apenas dois satélites em operação: 7 e 8 (ZANI, DUARTE, CRUZ, 2015).

3.2.1. Principais Características das Imagens Landsat

O Landsat 5 foi o quinto satélite do Programa Landsat da NASA. Foi lançado em 1º de março de 1984 da Base da Força Aérea de Vandenberg, Califórnia, Estados Unidos, por meio de um foguete Delta 3920.

O Programa Landsat é administrado pela NASA e gerenciado pela USGS e os dados obtidos dos satélites são coletados e distribuídos pelo *USGS's Center for Earth Resources Observation and Science*. O satélite é um dos mais longevos em funcionamento, estando em uma órbita baixa da Terra.

Em 21 de dezembro de 2012, o USGS anunciou que o Landsat 5 seria desativado nos meses seguintes após o fracasso de um dos giroscópios do satélite. O satélite foi desativado em 5 de junho 2013. A Tabela 1 apresenta as principais características e aplicações das Bandas TM e ETM dos satélites Landsat 5 e 7 (LANDSAT 5, 2019).

Tabela 1. Principais características e aplicações das Bandas TM e ETM dos satélites Landsat 5 e 7.

Banda	Intervalo espectral (μm)	Principais características e aplicações das bandas TM e ETM dos satélites LANDSAT 5 e 7.
1	(0,45 - 0,52)	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	(0,52 - 0,60)	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.

continua...

continuação...

Tabela 2. Principais características e aplicações das Bandas TM e ETM dos satélites Landsat 5 e 7.

Banda	Intervalo espectral (µm)	Principais características e aplicações das bandas TM e ETM dos satélites LANDSAT 5 e 7.
3	(0,63 - 0,69)	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: Campo, Cerrado e Floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem por meio da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	(0,76 - 0,90)	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: Aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	(1,55 - 1,75)	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	(10,4 - 12,5)	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	(2,08 - 2,35)	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Fonte: INPE: http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php

O Landsat 8 (também chamado de Landsat Data Continuity Mission) é um satélite estadunidense de observação da terra. É o oitavo da série de satélites do Programa Landsat e o sétimo a alcançar com sucesso a órbita terrestre. O satélite foi construído pela Orbital Sciences Corporation que serviu como contratante principal para a missão. Os instrumentos do satélite foram construídos pela *Ball Aerospace* e pela NASA *Goddard Space Flight Center* e seu lançamento foi contratado para a *United Launch Alliance*.

Foi lançado em 11 de fevereiro de 2013. Durante os primeiros 100 dias em órbita, o LDCM passou por *check-out* e verificação pela NASA.

Uma vez completo, o LDCM foi entregue ao USGS e oficialmente renomeado Landsat 8. O Landsat 8 envia imagens com mais detalhes, cores mais reais e pormenores mais definidos. O satélite tira duas vezes mais fotografias diárias que o antigo satélite usado pela

Google, o Landsat 7, além de ter uma qualidade, rapidez, detalhe e área cobertura inigualáveis. A Tabela 2 apresenta as principais a Bandas, Intervalo espectral e resolução espacial do satélite Landsat 8 das Bandas OLI e TIRS (LANDSAT 8, 2016).

Tabela 3. As principais características e aplicações do satélite Landsat 8 dos sensores OLI e TIRS são similares ao Landsat 5 e 7 dos sensores TM e ETM.

Landsat 8 – Quantidade de Bandas	Intervalo espectral (µm)	Resolução (metros)
<i>Band 1 – Coastal aerosol</i>	0,43 – 0,45	30
<i>Band 2 – Blue</i>	0,45 – 0,51	30
<i>Band 3 – Green</i>	0,53 – 0,59	30
<i>Band 4 – Red</i>	0,64 – 0,67	30
<i>Band 5 – Near Infrared (NIR)</i>	0,85 – 0,88	30
<i>Band 6 – SWIR 1</i>	1,57 – 1,65	30
<i>Band 7 – SWIR 2</i>	2,11 – 2,29	30
<i>Band 8 – Panchromatic</i>	0,50 – 0,68	15
<i>Band 9 – Cirrus</i>	1,36 – 1,38	30
<i>Band 10 – Thermal Infrared (TIRS) 1</i>	10,60 – 11,19	100
<i>Band 11 – Thermal Infrared (TIRS) 2</i>	11,50 – 12,51	100

O processo de identificação dos objetos representados nas imagens de satélite é chamado de interpretação. Nesse processo, os objetos são identificados por meio dos seguintes aspectos: tonalidade/cor “tons de cinza, facilidade de discriminar cor”, textura “impressão de rugosidade”, tamanho “relacionado com a escala”, forma “visada; objetos naturais e artificiais”, sombra “ajuda; mascara”, altura “pode ser inferida pela sombra”, padrão “arranjo dos elementos”, localização (contraste, posição topográfica, região) e contexto “conjunto de informações” (FLORENZANO, 2008).

Com relação à cor dos objetos, é necessário salientar que as imagens de satélite são originalmente processadas em preto e branco. Com o uso de programas de computador elas podem ser transformadas em imagens coloridas (FLORENZANO, 2008).

Algumas composições coloridas habituais usadas nos satélites Landsat 5 e Landsat 7, e suas respectivas bandas usadas no Landsat 8, Figura 1.

		No Landsat 5 & 7	No Landsat 8
	Falsas cores Infra Vermelho:	4, 3, 2	5,4,3
	Cores Naturais:	3, 2, 1	4,3,2
	Cores Naturais Simuladas:	5,4,3	6,5,4
	Cores Naturais Simuladas:	7,5,3	7,6,4
	Cores Naturais Simuladas:	7,4,2	7,5,3

Figura 1. Composições coloridas utilizadas nos satélites Landsat 5 e 7, e suas respectivas bandas usadas no Landsat 8.

Fonte: Engesat 2020.

3.2.2. Principais Usos das Imagens de Satélite

As imagens de satélite podem ser utilizadas no estudo e no monitoramento de vários objetos e fenômenos da superfície terrestre. A partir da interpretação de diferentes tipos de imagens, é possível realizar a previsão do tempo, estudar fenômenos oceânicos, detectar e monitorar furacões, inundações, queimadas e desflorestamentos, estimar safras agrícolas, estudos ambientais e gerar vários tipos de mapas, entre outras aplicações (FLORENZANO, 2008). Destacam-se alguns exemplos dessas aplicações e de projetos desenvolvidos pelo INPE.

Deteção e monitoramento de desflorestamento desde 1989, pesquisadores do INPE fazem estimativas anuais das taxas de desflorestamento da Amazônia Legal, a partir da interpretação de imagens do satélite Landsat e, mais recentemente, também do CBERS. O cálculo dessas taxas é conduzido dentro do projeto “Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite”, chamado de PRODES.

Pode-se destacar a importância direta e indireta do desenvolvimento da tecnologia espacial. Por meio dos exemplos de aplicação, mostramos o grande potencial das imagens de satélite no estudo e monitoramento dos ambientes terrestres, por exemplo, estudos relacionados ao meio ambiente e a desertificação. As informações obtidas dessas imagens dão subsídios a órgãos de planejamento no uso sustentável dos ambientes urbanos e rurais. Além disso, a crescente disponibilidade gratuita dessas informações na internet facilitam seu uso nas escolas e pela própria sociedade, contribuindo para a conscientização de problemas da realidade local e regional e no exercício da cidadania (FLORENZANO, 2011).

3.2.3. Comportamento Espectral dos Objetos

As imagens orbitais constituem matrizes de pixel em que cada elemento representa o valor médio da radiância dos objetos que compoem o elemento correspondente a cena. A radiância é uma grandeza radiométrica que depende da iluminação solar e principalmente do modo como cada objeto reflete a radiação solar. Este fenômeno pode ser estudado por meio dos espectros de refletância ou assinaturas espectrais desses objetos que estão intimamente relacionados com as propriedades físicas, químicas e biológicas dos objetos.

Diferenças nas assinaturas espectrais dos objetos terrestres produzem diferenças correspondentes nas suas radiâncias e por essa razão aparecem de maneira distinta nas imagens orbitais. As variações na radiância espectral de um mesmo tipo de objeto são decorrentes de alterações nas suas propriedades e estas relações podem ser estudadas por meio de suas assinaturas espectrais.

O estudo do comportamento espectral dos objetos terrestres, isto é, das relações entre as suas assinaturas espectrais e suas propriedades físico-químicas e biológicas, são fundamentais para o desenvolvimento das técnicas de Sensoriamento Remoto e constitui um importante campo da pesquisa fundamental (STEFFEN, MORAES, GAMA, 1996).

3.2.4. Interpretação das Imagens de Satélite

Para o sucesso da interpretação e classificação de imagens, o conhecimento do intérprete sobre o tema de interesse (litologia, relevo, solos, cobertura vegetal e uso da terra) e Sensoriamento Remoto (fundamentos, satélites e sensores) é essencial. Conhecer a área geográfica de estudo, por meio de trabalho de campo e da aquisição de dados e informações de outras fontes, também é fundamental no processo de interpretação de imagens. Esse conhecimento é necessário na definição das chaves de interpretação, na avaliação do resultado obtido de forma automática e na edição final de mapa (FLORENZANO, 2008).

3.3. Estudos Desenvolvidos que Apontam a Problemática

Durante os últimos anos, vários estudos relacionados à dinâmica da paisagem e a desertificação do município de Gilbués foram desenvolvidos, os quais podemos citar:

A Metodologia para Monitoramento da Desertificação Utilizando Imagens CBERS: um Estudo de Caso de Gilbués, PI (TANAJURA, GONÇALVES; CÔRTEZ; RIBEIRO; TAVARES JUNIOR; 2007).

O Uso de imagens Landsat TM para Avaliar a Extensão da Desertificação na Região de Gilbués, Sul do Estado do Piauí, teve como foco avaliar o emprego de imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat 5 para estimar a extensão da área em processo de desertificação naquela região. Os resultados foram obtidos por meio da aplicação de técnicas de segmentação e classificação por região em imagens adquiridas na estação seca e no início da estação de chuvas do ano de 2005. A escolha desses dois períodos teve como objetivo verificar como a precipitação pluviométrica, e a consequente regeneração da vegetação, poderia influenciar na obtenção dos resultados (CARVALHO e ALMEIDA FILHO, 2007).

A dissertação Geotecnologias no Mapeamento de Áreas Degradadas no Núcleo de Desertificação em Gilbués, PI, buscou identificar, quantificar e qualificar processos de degradação do solo, por exposição, no Núcleo de Estudos de Desertificação com sede em Gilbués-PI e abrangência em 15 municípios, localizados no Cerrado piauiense na região Sul do Estado. Para tanto, fez-se o uso de imagens dos satélites EOS-TERRA, LANDSAT e CBERS-2, imagens de radar do projeto SRTM e imagens do programa *GoogleEarth* (SILVA, 2008).

O Núcleo de Desertificação de Gilbués observado pelo Sensoriamento Remoto e pelo Geoprocessamento apresentado por Crepani (2009), trata do uso de um banco de dados geográficos desenvolvido para o acordo IICA/ DNOCS e mostra que os efeitos da degradação obedecem a um processo com fases determinadas e a observação de imagens de satélite de um período de trinta anos, mostrando que os efeitos da degradação são restritos apenas a uma área ocupada pelo Grupo Areado, unidade sedimentar da bacia Sanfranciscana. Essas observações permitiram uma nova configuração para o Núcleo de Desertificação de Gilbués.

Outro estudo desenvolvido na região foi, Núcleo de desertificação de Gilbués (PI): causas e intervenções (LOPES et al., 2011).

Áreas Degradadas na Microbacia de Gilbués-PI, Itilizando Imagens do Sensor CCD-CBERS-2, para mapear as áreas de exposição do solo em uma microbacia do Rio Sucuruí,

no Município de Gilbués, quantificando e caracterizando quanto a intensidade de exposição (SILVA, SALVIANO e ANDRADE, 2017).

No tema Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente no núcleo de desertificação no semiárido brasileiro “Gilbués, Piauí”, caracterizou os diferentes níveis de fragilidade ambiental do terreno e do ambiente para o município de Gilbués pelo uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), com o intuito de contribuir no entendimento de processos de degradação ambiental desta área (FRANÇA et al., 2017).

No artigo DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM GILBUÉS-PI: BASES CONCEITUAIS, CONDICIONANTES GEOAMBIENTAIS E IMPACTOS NA PAISAGEM, apresenta a relação expressiva das condicionantes geoambientais com o processo de degradação ambiental, sobretudo, buscando a seguinte indagação: em que medida as condicionantes geoambientais permitem determinar as condições ambientais favoráveis e influenciar a gênese e ampliar a degradação ambiental (SILVA, 2013).

3.4. Cerrado

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul e representa cerca de 10% das savanas tropicais do mundo (BROOKS et al., 2005). No território brasileiro ocupa, aproximadamente, 2 milhões de km² (IBGE, 2004). O bioma é reconhecido com sendo a savana tropical mais rica do mundo (WALTER, 2006).

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, sendo superado em área apenas pela Amazônia. Ocupa 21% do território nacional e é considerado a última fronteira agrícola do planeta (BORLAUG, 2002). O termo Cerrado é comumente utilizado para designar o conjunto de ecossistemas (savanas, matas, campos e matas de galeria) que ocorrem no Brasil Central (EITEN, 1977; RIBEIRO et al., 1981).

O semiárido nordestino abrange aproximadamente 1 milhão de Km², caracterizado por apresentar altas temperaturas, baixa pluviosidade, solos pouco intemperizados e pequena produção de biomassa vegetal devido as características da vegetação nativa (SAMPAIO et al., 2005). Além das suas peculiaridades edafoclimáticas, constata-se a adoção de sistemas agrícolas intensivos, como o desmatamento para implementação de atividades agrosilvipastoris em grandes áreas do bioma Caatinga (AGUIAR, MONTEIRO, 2005).

O clima dessa região é estacional, onde apresenta um período chuvoso, que dura de outubro a março, é seguido por um período seco, de maio à outubro. A precipitação média anual é de 1.200 mm e as temperaturas são geralmente amenas ao longo do ano, entre 22°C e 27°C em média. Os remanescentes de Cerrado que existem nos dias de hoje desenvolveram-se

sobre solos muito antigos, intemperizados, ácidos, depauperados de nutrientes, mas que possuem concentrações elevadas de alumínio (muitos arbustos e árvores nativas do Cerrado acumulam o alumínio em suas folhas – HARIDASAN, 1982). Para torná-los produtivos para fins agrícolas, aplicam-se fertilizantes e calcário nos solos do Cerrado.

A destruição dos ecossistemas que constituem o Cerrado continua de forma acelerada. Um estudo, que utilizou imagens do satélite MODIS do ano de 2002, concluiu que 55% do Cerrado já foram desmatados ou transformados pela ação humana (MACHADO et al., 2004).

As transformações ocorridas no Cerrado também trouxeram grandes danos ambientais, fragmentação de habitats, extinção da biodiversidade, invasão de espécies exóticas, erosão dos solos, poluição de aquíferos, degradação de ecossistemas, alterações nos regimes de queimadas, desequilíbrios no ciclo do carbono e possivelmente modificações climáticas regionais. Embora o Cerrado seja um ecossistema adaptado ao fogo, as queimadas utilizadas para estimular a rebrota das pastagens e para abrir novas áreas agrícolas, causam perda de nutrientes, compactação e erosão dos solos, um problema grave que atinge enormes áreas, especialmente nas regiões montanhosas do Leste goiano e Oeste mineiro. A eliminação total pelo fogo pode também causar degradação da biota nativa, pois, devido ao acúmulo de material combustível (biomassa vegetal seca) e à baixa umidade da época seca, uma eventual queimada nessas condições tende a gerar temperaturas extremamente altas que são prejudiciais à flora e à fauna do solo (KLINK e MOREIRA, 2002).

A degradação do solo e dos ecossistemas nativos e a dispersão de espécies exóticas são as maiores e mais amplas ameaças à biodiversidade. A partir de um manejo deficiente do solo, a erosão pode ser alta: em plantios convencionais de soja, a perda da camada superficial do solo é, em média, de $25 \text{ ton.ha.ano}^{-1}$, embora práticas de conservação, como o plantio direto, possam reduzir a erosão a $3 \text{ ton.ha.ano}^{-1}$ (RODRIGUES, 2002). Aproximadamente 45.000 km^2 do Cerrado correspondem a áreas abandonadas, onde a erosão pode ser tão elevada quanto a perda de $130 \text{ ton.ha.ano}^{-1}$ (GOEDERT, 1990).

O estado do Piauí tem vivenciado, uma ocupação do Cerrado de forma acelerada. Entre as décadas de 1970 e 1980, a mesma ocorreu com a implantação de megaprojetos agropecuários (pecuária e cajucultura) incentivados por várias linhas de créditos. Já na década de 1990, nessa região, considerada como uma das últimas fronteiras agrícolas do Brasil, esse processo intensificou-se por meio de implementação de grandes projetos para a produção de grãos, tendo como carro chefe a soja, voltada para a exportação (AGUIAR, MONTEIRO, 2005).

O Cerrado do Piauí contempla 24 municípios, todavia tem-se como objeto de estudo o município de Uruçuí, em decorrência da exploração moderna da agropecuária ter-se iniciado ainda na década de 1970 e intensificando-se na década de 1990, com a produção granífera, alicerçada no monocultivo de soja, além de sediar a maior produção de grãos do Estado. Ademais, a ocupação e uso agrícola do solo seguem o mesmo receituário desenvolvimentista ocorrido em outras regiões de Cerrado do Brasil. Essa constatação ensejou a necessidade de analisar a ocupação e uso das terras nesse município, principalmente nos eixos: ambiental “Licenciamento Ambiental - LA, Estudo de Impacto Ambiental - EIA e Relatório de Impacto Ambiental- RIMA) e socioeconômico (relações trabalhistas e geração de postos de trabalho” (AGUIAR, MONTEIRO, 2005).

O intensivo uso do solo e a redução da cobertura vegetal vem ocasionando, os processos erosivos e a redução da sua fertilidade (ARAÚJO e SOUSA, 2011). As mudanças no uso e ocupação dos recursos naturais (solo, vegetação e água) provocados por ações antrópicas têm gerado impactos negativos no ecossistema (COELHO et al., 2014).

Os efeitos que o processo de desertificação, atingem uma área total de 7.759 km² distribuídos por 15 municípios piauiense: Gilbués, Barreiras do Piauí, Corrente, São Gonçalo do Gurgueia, Riacho Frio, Monte Alegre do Piauí, Bom Jesus do Piauí, Redenção do Gurgueia, Curimatá, Cristalândia, Parnaguá, Júlio Borges, Avelino Lopes, Morro Cabeça do Tempo e Sebastião Barros.

Conforme Silva (2014) o núcleo de Gilbués possui clima tropical subúmido (ausência de aridez) com pluviosidade em torno de 1.200 mm.ano⁻¹, abundância hídrica (rios perenes e aquíferos) e embasamento sedimentar, solos profundos constituídos de argila e areia, domínio do Cerrado, chapadas, morrotes e rampas longas como principais feições geomorfológicas.

Assim, considera-se mais adequado, o emprego do termo “degradação ambiental”, para elucidar os processos de erosão, que ocorre apenas na porção Centro-Sul do município de Gilbués. O processo de erosão é caracterizado por uma extensa área de solo exposto avermelhado, com vegetação rasteira desenvolvida de forma raquítica em superfícies levemente onduladas, produzindo na paisagem uma microtopografia conhecida pela comunidade como “malhadas” (Figura 2).



Figura 2. Malhadas da paisagem de Gilbués.
Fonte: Luciano Cavalcante de Jesus França, 2017.

3.5. Caatinga

A caatinga é considerada como sendo o único Bioma exclusivamente brasileiro, é a vegetação predominante do Nordeste brasileiro, recobrando 54,53% da área da região (IBGE, 2011). O bioma Caatinga abrange cerca de 845.000 km² (IBGE, 2004), estando presente nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Bahia, Piauí, Alagoas e Sergipe, em pequenas porções no Nordeste de Minas Gerais e Maranhão (Andrade-Lima, 1981; IBGE, 2004).

A região na qual a vegetação encontra-se é marcada por longos períodos de estiagem e pela alta heterogeneidade de solo (MEDEIROS et al., 2018), as áreas de Caatinga apresentam um regime de chuvas cuja deficiência hídrica ocorre na maior parte do ano (MENEZES; SAMPAIO, 2000). O clima apresenta forte irregularidade climática, apresentando os valores meteorológicos mais extremos do país: a mais forte insolação, a mais baixa nebulosidade, as mais altas médias térmicas entre 25° e 30° C, as mais elevadas taxas de evaporação e, sobretudo, os mais baixos índices pluviométricos, em torno de 500 a 700 mm anuais, com grande variabilidade espacial e temporal (SAMPALIO, 2003).

Segundo Rodal et al., (2008), a cobertura vegetal da região é determinada e influenciada pelo clima, relevo e embasamento geológico. Naturalmente, as plantas encontradas nesta área não apresentam características uniformes (GIULIETTI et al., 2004).

A caatinga é dividida em dois grupos: caatinga arbórea, caracterizada por vertentes e pé-de-serras e dos aluviões e a caatinga arbustiva-arbórea onde é na sua maior parte dominantes nos sertões (ARAÚJO FILHO; CRISPIM, 2002). A altura da vegetação encontra-se em torno

de 4 a 7 metros, no estrato herbáceo, por sua vez, destacam-se espécies suculentas das famílias Bromeliaceae, Cactaceae e Portulacaceae (QUEIROZ, 2009). A fisionomia florestal pode ser aberta ou densa, decídua, na época seca e verde na estação das chuvas, e geralmente com cactáceas e bromeliáceas (MOREIRA et al., 2007).

A vegetação típica é do tipo xerofítica lenhosa caducifoliar espinhosa (ARAÚJO, 2005), grande parte das espécies vegetais são caducifólias, que caem na época de seca em resposta à escassez de água, influenciando desta forma, na denominação do termo “Caatinga” que significa “mata-branca” no tupi-guarani (LOIOLA et al., 2012).

O ecossistema do bioma Caatinga vem sendo alvo de grande exploração humana, pela atividade agrícola desenvolvida, pelo extrativismo na extração de madeira e lenha e pelo uso da pecuária extensiva (MOREIRA et al., 2006). Um dos principais problemas é a utilização de metodologias rudimentares no preparo do solo como o desmatamento seguido pela queimada, prejudicando a manutenção das populações da fauna silvestre, qualidade da água e o equilíbrio do clima e do solo (MEDEIROS et al., 2018), assim como a falta de conhecimento sobre o bioma (SANTANA e SOUTO, 2006).

Segundo Albuquerque et al., (2010), outros fatores impactantes são o desmatamento e as queimadas, práticas comuns para a preparação da terra com fins agropecuários, alterando o ambiente, provocando a diminuição da diversidade vegetal e animal. No entanto, nem sempre a degradação é regida pelo antropismo, pois devem ser considerados, também, fatores abióticos como o clima, que tem grande influência sobre a vegetação (ALBUQUERQUE, 1999).

3.6. Fragilidade e Vulnerabilidade Ambiental

Os sistemas ambientais são compostos por um conjunto de elementos (relevo, solo, vegetação, clima, etc.) que inter-relacionam-se e estão em equilíbrio dinâmico. Quando ocorre interferência negativa no meio, sua resposta é dada em função das características naturais, sendo esta condição denominada de fragilidade ambiental (LISBOA, 2016).

O conhecimento das potencialidades dos recursos naturais passa pelos levantamentos dos solos, relevo, rochas e minerais, água, clima, flora e fauna, ou seja, todos os componentes do estrato geográfico que dão suporte a vida. Para analisar a fragilidade ambiental, faz-se necessário o conhecimento pormenorizado e avaliado de forma integrada, sustentada no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre os componentes físicos e bióticos (ROSS, 1994).

A fragilidade ambiental está relacionada ao nível de suscetibilidade natural frente a interferência antrópica. Desta forma, qualquer tipo de alteração, pode comprometer de forma parcial ou total toda a biodiversidade (RATCLIFFE, 1971).

A identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam a melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo como suporte para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território (ROSS e SPÖRL, 2004).

A análise de uma determinada área exige levantamentos básicos referentes ao solo, geologia, uso da terra, relevo e clima. Estes elementos, quando tratados em conjunto, permitem encontrar um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade do ambiente (TRICART, 1977).

Integrante ao conceito de fragilidade ambiental destacam-se dois termos distintos envolvidos, sendo eles: a **fragilidade potencial** e a **fragilidade emergente** (ROSS, 1994). Em concordância à Schiavo et al., (2016), a fragilidade potencial de uma determinada área é conceituada como sendo a susceptibilidade natural de um ambiente em função de suas características físicas como a declividade, índice de pluviosidade, tipo de solo, entre outros, enquanto que a fragilidade emergente além de considerar as características físicas, contempla também, os graus de proteção dos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal e do território sobre o ambiente, conforme a metodologia apresentada.

A fragilidade potencial, diferente da fragilidade emergente, representa fatores intrínsecos à paisagem, enquanto a fragilidade emergente considera também a cobertura da terra e intervenções humanas (VALLE et al., 2016). O estudo destas variáveis possibilita a definição das classes de fragilidades naturalmente potenciais à erosão e movimentação dos solos, que, se sujeitos a ações antropogênicas, apresentar-se-ão em condições de instabilidade ambiental.

Tamanini (2008) reitera que o conceito de fragilidade ambiental diz respeito à vulnerabilidade do ambiente em sofrer qualquer tipo de dano, ou seja, relaciona-se com fatores de desequilíbrio de ordem tanto natural (expresso pela própria dinâmica do ambiente), como em situações de elevadas declividades e alta susceptibilidade erosiva dos solos, quanto antropogênica (uso inadequado da terra e de intervenções em regimes fluviais). Daí a definição de ecossistemas ou áreas frágeis como àqueles que, por suas características, são particularmente sensíveis aos impactos ambientais adversos, de baixa resiliência e pouca capacidade de recuperação.

A vulnerabilidade não é consenso em estudos sobre o tema, dificultando a comparação dos resultados de trabalhos semelhantes. Metzger et al. (2006) e Schoter et al. (2004) relacionaram o conceito ao grau de susceptibilidade de um sistema aos efeitos negativos provenientes de mudanças globais. Nesse estudo, a susceptibilidade está relacionada ao grau de exposição de ecossistemas a mudanças ambientais, à sensibilidade (avaliada a partir de medidas dos impactos ambientais potenciais resultantes da exposição) e à capacidade de resposta da sociedade em adotar ações de ajuste às mudanças.

Li et al. (2006) relacionaram vulnerabilidade a características do meio físico e biótico (declividade, altitude, temperatura, aridez, vegetação, solo), à exposição a fontes de pressão ambiental (densidade populacional, uso da terra) e à ocorrência de impactos ambientais (erosão hídrica) em uma área montanhosa.

Barreto (2006) ao revisar métodos de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos, utilizou um método que relaciona esse conceito a características do meio físico que tornam aquíferos mais ou menos sensíveis à contaminação por nitrato e agrotóxico.

Para Lima et al. (2000) a vulnerabilidade de um geossistema é avaliada analisando-se características dos meios físicos (solo, rocha, relevo, clima e recursos hídricos), biótico (tipo de vegetação) e antrópico (uso e ocupação do solo), que tornam o relevo mais ou menos instável ou sujeito a processos erosivos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

O município de Gilbués está localizado na região Sul do Estado do Piauí, Brasil (Figura 3). A área de estudo encontra-se na porção Sudoeste do estado do Piauí, em zona 23S de acordo com os dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos, na Microrregião do Alto Médio Gurguéia, entre as Coordenadas 09°49'54" Latitude Sul (S) e 45°20'38" Longitude Oeste (W), à 797 km de distância da capital Teresina. A área de unidade Territorial compreende a 3.495,18 km² e densidade demográfica de 2,94 hab. Km⁻² (SILVA et al., 2011). Faz limites ao Norte com os municípios de Baixa Grande do Ribeiro, Bom Jesus do Piauí e Santa Filomena, ao Sul Barreiras do Piauí e São Gonçalo do Gurguéia, a Leste Monte Alegre do Piauí e Riacho Frio, e a Oeste Barreiras do Piauí, Santa Filomena e o Estado do Maranhão. A principal via de circulação é a Rodovia Federal BR 135.

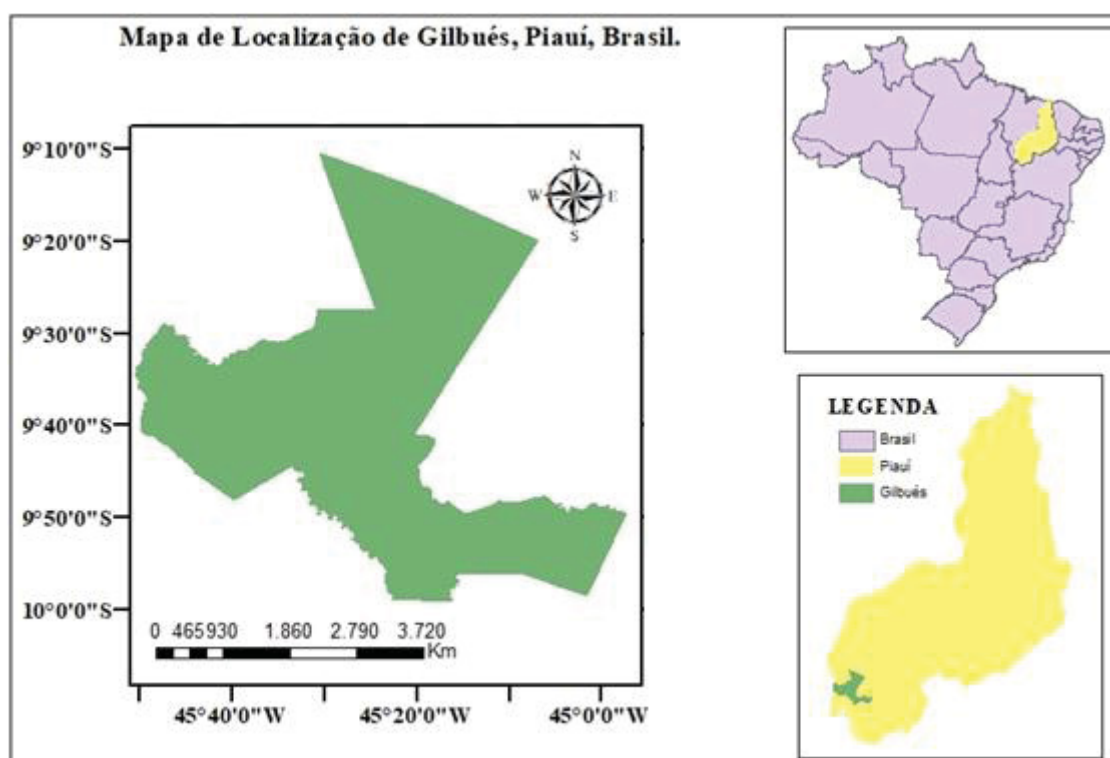


Figura 3. Mapa de localização da área de pesquisa, município de Gilbués-Piauí, Brasil.
Fonte: Autor.

As temperaturas mínimas do município de Gilbués é de 25°C e máximas de 36°C e a precipitação pluviométrica média anual variam de 800 a 1200 mm, concentrando-se de novembro a maio (INMET, 1992).

O clima é tropical subúmido quente, com duração do período seco de cinco meses. O clima da região é do tipo Aw (Tropical Chuvoso) no sistema de Köppen, e com temperaturas com estação chuvosa concentrada entre os meses de maio a dezembro (SILVA, 2017).

A vegetação do município é caracterizada como Parque, Campo Cerrado, Cerradão e em menor proporção, Caatinga arbórea (CEPRO, 2014).

Os recursos hídricos da região são: Rio Gurguéia, Uruçuí Preto, Uruçuí Vermelho e Água Quente e riachos do Sucuruí e do Castanheiro. Os solos são do tipo: Latossolos vermelho-amarelo distróficos associados à areias quartzosas distróficas, solos indiscriminados tropicais e solos litólicos vérticos (CEPRO, 2014).

4.2. Aquisição dos dados Vetoriais

Os dados vetoriais (limites dos municípios e estados da federação) foram obtidos no servidor do FTP do IBGE que disponibiliza as informações georreferenciadas para download. As informações encontram-se no formato ESRI Shapefile (*.shp), DWG, raster (imagem), PDF, entre outros, disponibilizados gratuitamente no link: <ftp://geofp.ibge.gov.br>.

O Centro de Sensoriamento Remoto (CSR) - Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) possibilita o download de temas ambientais variados no formato ESRI Shapefile (*.shp), disponibilizados nos links:

- <http://siscom.ibama.gov.br/shapes/>;
- <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>.

4.3. Imagens de Satélite

As imagens de satélites são disponibilizadas pelo INPE, com resolução média resolução espacial, muito utilizada (ou empregadas) em estudos socioambientais, análises de uso e ocupação do solo, etc.. Para a realização deste estudo foram utilizadas: cenas do sensor TM/LANDSAT 5, e do sensor OLI/LANDSAT 8.

As imagens dos satélites da série LANDSAT podem ser obtidas no sítio eletrônico do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que contenham órbita e ponto do local em datas pré-estabelecidas, importadas no sítio eletrônico da <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> ou no sítio eletrônico do USGS - Serviço Geológico dos Estados Unidos (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). As imagens do satélite LANDSAT 8 podem ser adquiridas também por meio dos seguintes links:

Acesso 01: <http://lv.eosda.com/>

Acesso 02: <https://remotepixel.ca/projects/satellitesearch.html>

Para as imagens que estão disponíveis na página do INPE, é necessário que o usuário realize o cadastro e informe os seus dados de e-mail. Após, deve-se definir os parâmetros básicos (como exemplo: Satélite Landsat 5 e 8) e escolher a localidade (Gilbués, PI).

Na página do INPE, o usuário é direcionado para o acervo correspondente cena (órbita e ponto) de interesse, bastando selecionar a imagem e realizar o download.

O usuário receberá no e-mail cadastrado, um link enviado pelo INPE para o acesso a página com os arquivos para download. Cada um dos arquivos são correspondentes às bandas da imagem.

É importante salientar que as imagens de satélite tanto do Landsat 5 sensor TM e as imagens Landsat 8 sensor OLI, ambas com resolução espacial de 30 m, foram obtidas no período seco, entre os meses de maio a novembro. A definição desse período, deu-se para facilitar a visualização das áreas afetadas pela desertificação, já que grande parte da vegetação presente na região tem a características de perder as folhas.

4.4. Aquisição do Atlas Brasil

Para realizar o Download do Banco de Dados Atlas 2008, para trabalhar no ambiente do Software SPRING, basta acessar o endereço <http://www.inpe.br/> e na opção Produtos e Serviços, em seguida em *Softwares* livres e SPRING. Uma nova tela do SPRING se abrirá para que o usuário escolha opção do idioma desejado. Na tela “Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas” ir em Dados, exemplos de Banco de Dados, Banco_Atlas_2008.exe, download, próximo e terminar.

4.5. Modelo Digital de Elevação

Utilizou-se dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) para a geração dos Modelos Digitais de Elevação (MDE), com resolução espacial de 30 m. Realizou-se o mosaico da área de estudo, para união das imagens SRTM e, posteriormente, a remoção das depressões espúrias, que são imperfeições do modelo, oriundas de falhas no levantamento dos dados da SRTM. Obteve-se, após os procedimentos anteriores, o MDHEC (Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente), modelo apto para os demais processamentos com maior precisão. A base de dados foi obtida via internet no site da Embrapa, Brasil em relevo (MIRANDA, 2005) e estão disponíveis segundo à articulação das folhas topográficas em escala 1:250.000, disponível no sítio eletrônico da <<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br/download/>>.

4.6. Softwares para Visualização e Processamento das Imagens

Para visualizar e realizar as etapas de pré-processamento e processamento das imagens de satélite, foram utilizados os *Software* ARCGIS, versão PRO, permitindo trabalhar com o sistema de informações geográficas, mapas e informações geográficas, mantidos pela ESRI e também o *Software* SPRING versão 5.5., que é um software para sistemas de informação geográfica desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Conta com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais.

4.7. Tratamento das Imagens

O tratamento das imagens Landsat foi realizado com o objetivo de eliminar erros que são muito comuns em imagens grosseiras disponibilizadas de maneira gratuita, tais como nuvens, linhas defeituosas e pixels brancos e pretos, distorções.

4.8. Pré Processamento das Imagens

Para descrever as etapas de pré-processamento, foram coletados dados bibliográficos, cartográficos e de sensoriamento remoto com enfoque na temática, que abordassem assuntos específicos sobre Sensoriamento Remoto e Processamento Digital de Imagens (PDI), utilizando metodologias de pré-processamento digital de imagens, para a realização de procedimentos computacionais que resultaram na melhoria da qualidade das imagens, para posterior análises e processamentos das informações.

No intuito de reduzir os erros durante o processamento das imagens, aplicou-se correções preliminares ao processamento, por meio da correção geométrica e atmosférica. A primeira caracteriza-se por remoção de distorções geométricas. Para isso, deve-se definir qual é posição geográfica correta de todos os pontos da imagem usando um modelo matemático que associe posições de pontos da imagem nas respectivas coordenadas geográficas, ou seja, georreferenciamento da imagem (CASTEJON et al., 2015). A técnica de correção atmosférica, por sua vez, tem a finalidade de reduzir os danos causados por conta da absorção e do espalhamento atmosférico, que acabam por produzir alteração do brilho da cena e a diminuição de contraste entre os alvos (ANTUNES, et al., 2012).

4.9. Correção Atmosférica

Foi realizada a correção atmosfera que afeta a radiância refletida pela superfície que é captada pelo sensor devido aos fenômenos de espalhamento, absorção e refração da energia eletromagnética. Visando amenizar os principais efeitos atmosféricos na radiância de uma cena foram realizados os processos denominados correção atmosférica. Os principais efeitos observados nas imagens orbitais multiespectrais são a diminuição da faixa de valores digitais registrados pelo sensor, diminuição do contraste entre superfícies e alteração do brilho de cada ponto da imagem. Os gases - principalmente vapor de água, oxigênio, ozônio, dióxido de carbono e os aerossóis - influenciam diretamente nos referidos efeitos, pois refletem, refratam, absorvem e espalham a radiação refletida pelo solo desde a atmosfera até fora da mesma.

Altos níveis de cinza e alta frequência (nos locais aonde não tem valores, gera interferência na imagem, refração, difusão, gases, aerossóis, oxigênio, nuvens, etc., ou seja, são informações perdidas que o sensor não consegue imagear) e a (Radiação eletromagnética quantizada em valores radiométricos).

4.10. Correção Radiométrica

Durante a aquisição dos dados pelos sensores orbitais, existem vários fatores que causam as distorções radiométricas das imagens, tais como: a diferença das condições atmosféricas, iluminação, ângulos de visada, etc. Para determinadas aplicações, a correção destas distorções é um processo indispensável.

O Bandas do sensor OLI do Landsat 8 passaram por correção radiométrica, por meio da técnica de processamento disponíveis no SPRING, ou seja, uma imagem 16 bits (65536 níveis de cinza) para uma imagem 8 bits (256 níveis de cinza). O Software SPRING oferece ao usuário três opções de correção (2%, Estatístico e Linear). A correção radiométrica utilizada foi por algoritmo Linear.

4.11. Contraste

Foi realizada a técnica de Realce de Contraste nas três Bandas selecionadas, nos canais RGB para melhorar a qualidade das imagens, facilitando a visualização das feições das mesmas. Importante destacar que a Manipulação do Contraste não altera os dados da imagem.

4.12. Recorte de Plano de Informação

Foi realizado o recorte da imagem sintética. A principal função do uso deste recurso

foi diminuir o tamanho do arquivo e tempo de processamento, facilitando a manipulação e visualização das informações contidas na área de interesse.

4.13. Mosaico

O processo para gerar o mosaico foi realizado para a junção das imagens em uma única imagem, correspondente à área de Gilbués.

Antes de iniciar o mosaico, importou-se as três bandas das duas cenas adjacentes (220/66 e 220/67). O município de Gilbués necessita de duas cenas do LANDSAT 5 e 8 para abranger completamente o município.

4.14. Segmentação de Imagens

Segmentação foi o processo de dividir uma imagem digital em múltiplas regiões (conjunto de pixels) ou objetos. Como resultado, cada um dos pixels em uma mesma região é similar com referência a alguma característica ou propriedade computacional, tais como cor, intensidade, textura ou continuidade. O uso da segmentação de imagem, foi realizado anterior à fase de classificação, onde foram extraídos os objetos relevantes para a aplicação desejada (análise). No ARCGIS versão PRO foram utilizados para a segmentação das imagens as ferramentas: *ArcToolbox > Spatial Analysis Tolls > Segmentation and Classification > Segment Meam Shift > com os Limiares: Spectral Detail (17) > Spatial Detail (2) > Minimum Segment Size In Pixel (10) > Band Indexes (em branco)*.

4.15. Classificação do Uso e Ocupação da Terra

As imagens utilizadas do LANDSAT 5, foram referentes ao comprimento de onda na região do vermelho (banda 3: 0,63 - 0,69 μm), infravermelho próximo (banda 4: 0,76 - 0,90 μm) e infravermelho médio (banda 5: 1,55 - 1,75 μm), para o LANDSAT – 8, fez-se uso do vermelho (banda 4: 0,63 - 0,68 μm), infravermelho próximo (banda 5: 0,84 - 0,88 μm) e infravermelho médio (banda 6: 1,56 - 1,66 μm). Utilizou-se a composição colorida RGB, respectivamente com a seguinte configuração: Landsat 5 R5G4B3; e Landsat 8 R6G5B4, gerando a composição com falsas cores.

Os mapas de uso e ocupação do solo, foram gerados a partir da técnica de classificação supervisionada, Máxima Verossimilhança (MAXVER), podendo ser definida como o processo de usar amostras de identidade conhecidas para classificar pixels de identidade desconhecida (SANTOS et al., 2010). Para o processamento dos dados fez-se o uso do *Software* ARCGIS versão PRO, seguindo os passos apresentados na Figura 4.

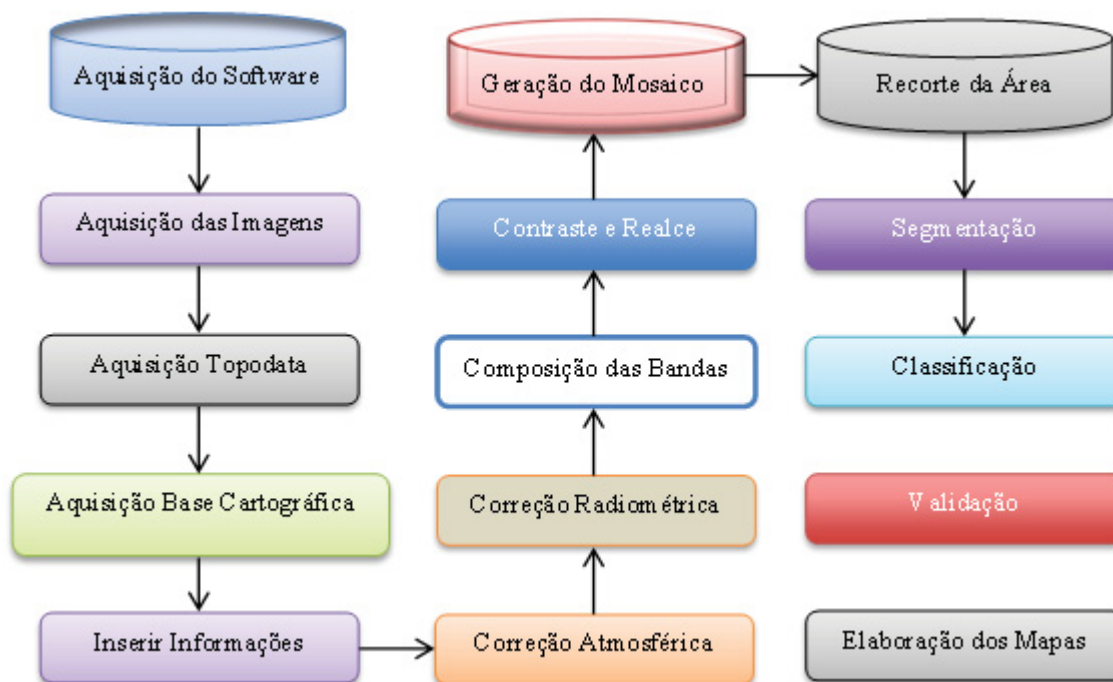
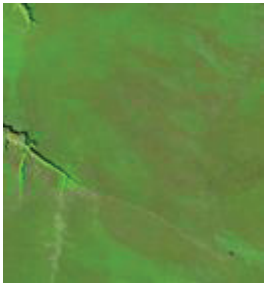


Figura 4. Etapas operacionais desde a aquisição do Software, imagens de satélite e elaboração do produto final.
Fonte: Autor.

Após a correção das imagens para os períodos de estudo estabelecidos, deu-se o início ao processo de classificação que consistiu em treinamento e classificação. O primeiro passo foi a coleta de amostras de áreas previamente conhecidas para caracterizar as classes (Tabela 3). As classes escolhidas foram selecionadas com base nos impactos ambientais, avanço das áreas agrícolas e a semelhança de resposta espectral entre os diferentes alvos.

Tabela 4. Descrição das classes utilizadas para o processamento das imagens.

Classes	Descrição	Cena
Savana Arborizada	Fisionomia nanofanerofítica rala e outra hemicriptofítica graminóide contínua.	

continua...

continuação...

Tabela 5. Descrição das classes utilizadas para o processamento das imagens.

Classes	Descrição	Cena
Transição Cerrado/Caatinga	Vegetação variada, caracterizada pela presença de arbustos, plantas espinhosas, gramíneas e árvores de grande porte.	
Solo Exposto	Áreas sem cobertura vegetal	
Agricultura	Áreas agrícolas, destacadas pelos polígonos visivelmente talhados.	

*Fonte: Adaptado do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2012; Fundação CEPRO, 1996).

4.16. Mapas multitemporais da desertificação e cobertura florestal

A elaboração dos mapas multitemporais foi realizada com o objetivo de acompanhar as mudanças na dinâmica da vegetação e ocupação do solo. Por meio da função “*Calculate geometry*” foi possível obter a área total do município de Gilbués, PI.

Para realização desta etapa utilizou-se imagens correspondentes a órbita/ponto 220/67 e 220/66, dos Satélites LANDSAT 5, sensor *Thematic Mapper* (TM), para o período de 1984, 1990, 2000 e 2010 e LANDSAT 8, sensor *Operational Land Imager* (OLI) para 2018, adquiridas juntos *United States Geological Survey* (USGS) com resolução espacial de 30 metros e sem cobertura de nuvens.

A data das imagens é referente a 20/06/1984, 05/06/1990, 16/06/2000, 12/06/2010 e 18/06/2018, essas datas foram selecionadas por tratar-se de um período intermediário (período chuvoso e seco), procurando evitar efeitos drásticos das estações sobre a vegetação assim como a influência negativa das nuvens.

4.17. Validação da classificação

Após o estabelecimento das classificações, foi possível gerar as matrizes de erro (Matriz de confusão) para cada ano de referência, assim determinou-se 50 (cinquenta) pontos de controle distribuídos de forma aleatória na área estudada, sendo que, a comparação da verdade de campo com a classificação foi realizada via literatura e mapeamentos existentes da área, como o do MapBiomass e Google Earth. A matriz de confusão permitiu comparar a verdade de campo com os resultados correspondentes da classificação, com é exemplificado abaixo (Tabela 4). Para cada uma dessas matrizes foi calculado o Índice de Kappa, Exatidão Global, Acurácia do Usuário e Acurácia do Produtor.

Tabela 6. Exemplo de uma Matriz de erro.

		Verdade de Campo				
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Total
Classificação	Classe 1	$X_{1,1}$	$X_{1,2}$	...	...	X_{1+}
	Classe 2	$X_{2,1}$	$X_{2,2}$	$X_{2,3}$	...	X_{2+}
	Classe 3	$X_{3,1}$	$X_{3,2}$	...	...	...
	Classe 4	X_{c1}	X_{c2}	...	...	X_{c+}
	Total	X_{+i}	X_{+2}	...	...	n

O índice de kappa pode ser obtido pela equação (BISHOP, FIENBERG, HOLLAND, 1975), equação 01:

$$K = \frac{N \sum X_{ii} - \sum X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum X_{i+} X_{+i}} \quad \text{eq. 01}$$

Em que:

K = Índice Kappa de concordância;

N = número de observações (verdades de campo);

X_{ii} = observações na linha i e coluna i (diagonal principal);

X_{i+} = total marginal da linha i;

X_{+i} = total marginal da coluna i

O índice Kappa pode ser comparado com os intervalos determinados que caracterizam a acurácia das classificações realizadas em relação à verdade terrestre, determinados por Landis e Koch (1977), conforme Tabela 5.

Tabela 7. Avaliação da qualidade da classificação via Índice de Kappa.

Valor de Kappa	Qualidade da Classificação
< 0,0	Péssima
0,0 – 0,2	Ruim
0,2 – 0,4	Razoável
0,4 – 0,6	Boa
0,6 – 0,8	Muito boa
0,8 – 1,0	Excelente

Fonte: Congalton; Green (1998) e Fonseca (2000).

A Exatidão Global foi obtida dividindo o somatório dos pixels classificados corretamente (diagonal principal) pelo número total de pixels, conforme equação 02 (ROSS, 1994).

$$\text{Exatidão Global} = \frac{\text{número de pixels classificados corretamente (diagonal principal)}}{\text{total de pixels}} \quad \text{eq. 02}$$

Acurácia do Usuário foi obtida dividindo o número total de pixels corretamente classificados em uma classe pelo número total de pixels classificados nessa classe, conforme equação 03 (ROSS, 1994):

$$\text{Acurácia do Usuário} = \frac{\text{número de pixels da classe corretos}}{\text{total de pixels classificados na classe}} \quad \text{eq. 03}$$

Acurácia do Produtor foi obtida dividindo o número total de pixels corretamente classificados em uma classe pelo número total de pixels desta classe, indicado na verdade de campo, conforme equação 04 (ROSS, 1994).

$$\text{Acurácia do Produtor} = \frac{\text{número de pixels da classe corretos}}{\text{total de pixels desta classe}} \quad \text{eq. 04}$$

4.18. Classificação de risco aos processos erosivos

A Fragilidade Ambiental Potencial (FAP) foi determinada pelo tipo de solo e declividade, conforme (ROSS, 1994) e permitiu verificar o grau de proteção necessário para o equilíbrio ambiental de uma área. Neste estudo, fez-se uma adaptação da referida proposta metodológica, em que foram utilizados os seguintes critérios físicos: Declividade do Terreno, Classes de Solos, Litologia, Fluxo Acumulado de Drenagem.

A determinação da Fragilidade Ambiental Emergente (FAE) considerou os parâmetros da FAP somados as informações de Uso e Ocupação da Terra e a Vegetação. Para cada parâmetro foi estabelecido classes de fragilidade e seus respectivos pesos: Baixa (Peso 1), Levemente Baixa (Peso 2), Média (Peso 3), Alta (Peso 4) e Extremamente Alta (Peso 5), conforme (ROSS, 1994). A partir dos Planos de Informação (PI), foram atribuídos pesos de importância e, por meio do método de Combinação Linear Ponderada, foram geradas as informações de FAP e FAE. Para análise da FAP realizou-se a soma algébrica ($\sum F.$) dos PI a partir da seguinte expressão:

$$F_{AP} = F_D + F_S + F_L + F_{FA}$$

Em que:

F_{AP} = Fragilidade Ambiental Potencial;

F_D = Fragilidade quanto a Declividade do Terreno;

F_S = Fragilidade quanto às Classes de Solo;

F_L = Fragilidade quanto a Litologia;

F_{FA} = Fragilidade quanto ao Fluxo Acumulado.

Para a determinação da Fragilidade Ambiental Emergencial (FAE), realizou-se a soma algébrica ($\sum F.$), consistindo-se a seguinte expressão:

$$F_{AL} = F_{AP} + F_{USO} + F_V$$

Em que:

F_{AL} = Fragilidade Ambiental Emergente;

F_{AP} = Fragilidade Ambiental Potencial;

F_{USO} = Fragilidade quanto ao Uso e Ocupação da Terra;

F_V = Fragilidade quanto à Vegetação Natural.

Segundo Tagliani (2003), a vulnerabilidade ambiental expressa a maior ou menor suscetibilidade de um ambiente sofrer efeitos adversos resultantes de um potencial impacto ocasionado por ações antrópicas. Assim, o desenvolvimento desta etapa seguiu conforme a adaptação metodológica destes autores (ROSS 1994; SPRÖL; ROSS, 2004; LOLLO; CARMO, 2012; MELLO et al., 2014; KAWAKUDO et al., 2005; COSTA et al., 2006; FRANCO et al., 2012) adaptado por FRANÇA et al., 2017.

A determinação da vulnerabilidade de um ambiente se sucede por uma soma de diferentes parâmetros, sendo que para cada um deles são atribuídos fatores e classes de fragilidade. Portanto, foram gerados os mapas a partir da base de dados dos respectivos órgãos Declividade, Fluxo de drenagem (*United States Geological Survey – USGS*); Litologia (Serviço Geológico do Brasil – CPRM); Solos (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE); Cobertura do solo (MapBiomas).

Para obtenção do mapa de vulnerabilidade ambiental foi realizado o cruzamento dos diferentes mapas apresentados acima por meio da “Calculadora Raster” no *Software* ARCGIS versão PRO, nos quais foram atribuídos diferentes pesos compensatórios para os fatores de vulnerabilidade (Tabela 6), conforme apresentado na equação 05 (CREPANI, et al., 1996):

$$V = (0,2 * MD) + (0,1*ML) + (0,1 * MS) + (0,1*MF) + (0,5*MC) \quad \text{eq. 05}$$

Em que:

- V= representa a vulnerabilidade ambiental;
- MD= representa a declividade;
- ML= representa a litologia;
- MS= representa as classes de solos;
- MF= representa o fluxo de drenagem acumulado;
- MC= representa cobertura da terra.

Tabela 8. Classes de fragilidade atribuída aos parâmetros avaliados no estudo.

Classes de Fragilidade	Pesos	Litologia	Cobertura da terra	Fluxo Acumulado	Declividade do terreno	Classes de Solos
Baixa	1	Folhelho, Siltito (P12pf)	Savana arborizada com floresta de galeria (Saf)	0 – 163.680	Plano (0 -1,5°) Suave ondulado (1,5 – 3,5°)	Latossolo amarelo
Levemente Baixa	2	----- Folhelho, Arenito, Conglomerado, Siltito (K1a)	Savana arborizada sem floresta de galeria (Sas)	163.680 – 607.954	Ondulado (3,5 – 6,8°)	Luvissolo crômico
Média	3	Arenito, Siltito, Folhelho (C1po) Arenito, Folhelho, Argilito, Siltito (C2pi)	Agricultura com culturas cíclicas (Acc)	607.954 - 1.414.663	Forte ondulado (6,8 – 11,6°)	Neossolo Quartzarenico
Alta	4	Arenito, Conglomerático, Pelito, Arenito (K2u)	Agropecuária (Ag)	1.414.663 - 2.291.520	Montanhoso (11,6 – 17,6°)	-----
Extremamente alta	5	Arenito(T12s) Depósito de areia e cascalho (Q2a)	Desertificação (Ai) Influencia Urbana (IU)	2.291.520 - 2.981.315	Escarpado (>17,6°)	Neossolo Litólico

* O peso atribuído está relacionado a capacidade do parâmetro de modelar a paisagem. O fator cobertura da terra ganha valor superior por ser altamente susceptível a modificações por meio de ações antrópicas, já o de declividade por ter forte influência na modelagem do relevo.

Fontes: Litologia: CPRM – Serviço Geológico Brasileiro; Vegetação: IBGE (2012); Solos: IBGE (2007).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Modelo Digital de Elevação

Por meio do Modelo Digital de Elevação foi possível obter a declividade do terreno de Gilbués, Piauí, e inferir que não ultrapassam inclinações de $31,8^\circ$. Em sua maioria, as áreas da região são planas, com muitas áreas onduladas e fortemente-onduladas dispersas. As maiores inclinações são concentradas a Norte e Leste do município, com declividades Montanhosas e Fortemente-Montanhosas, encontradas nas bordas de tabuleiros e encostas de morros (Figura 5).

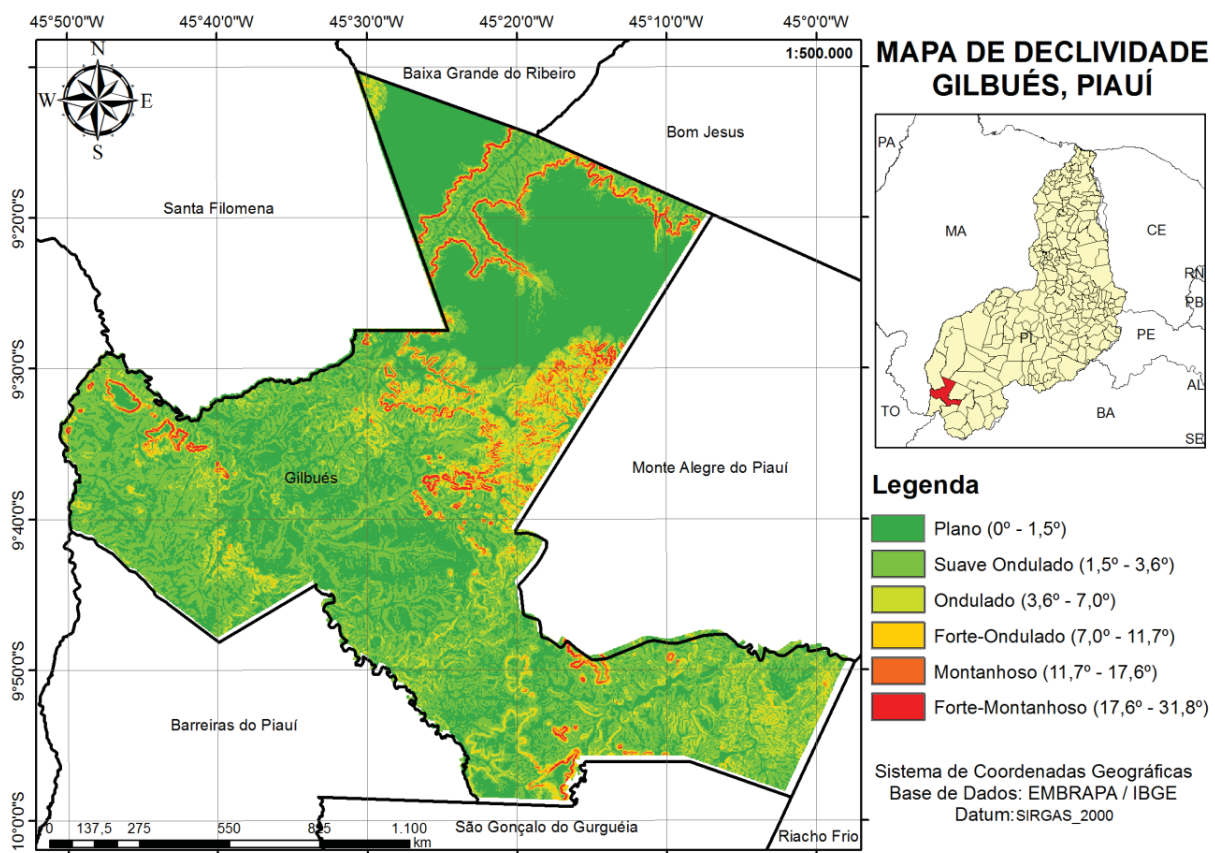


Figura 5. Mapa de Declividade de Gilbués, Piauí, Brasil.
Fonte: (IBGE, 2009).

Foi observado que a maior parte da região do município de Gilbués, é classificada como Plano (43,56%) e Suave Ondulado (39,07%), com apenas 1,14% da área do município é Fortemente-Montanhoso e 2,14 % Montanhoso, concentrando-se nas áreas de maior altimetria (Tabela 7).

Tabela 9. Áreas (km²) e percentuais das diferentes classes de declividade do terreno na região de Gilbués, Piauí, Brasil.

Classes de Declividade do Terreno	Área (Km ²)	Área (%)
Plano	1.492,50	43,56
Suave Ondulado	1.338,60	39,07
Ondulado	346,90	10,12
Forte-Ondulado	136,00	3,97
Montanhoso	73,30	2,14
Forte-Montanhoso	39,10	1,14
Total Geral (Σ)	3.426,40	100,00

*A área total obtida pelo somatório da extensão de cada tipo de declividade, não equivale exatamente a área oficial do Município de Gilbués (3.495,18 km²), devido a imprecisões na extensão geográfica dos vetores utilizados para as operações de mapeamento. Portanto, a área de cada classe de declividade obtida, deve ser tomada como a aproximação média.

5.2. Mapas multitemporais do uso e ocupação da terra de 1984 a 2018

A elaboração do estudo multitemporal foi realizada com o objetivo de acompanhar as mudanças na dinâmica da área de vegetação e ocupação da terra. Por meio da função “*Calculate geometry*” foi possível obter a área total do município de Gilbués-PI, constituindo 3.492,45 km², uma diferença sutil, todavia, importante, dos valores calculados por Aquino (2002), área de 3.495,18 km², e INMET (1992), encontrou a área de 3.484 km².

Analisando os resultados, evidencia-se que o avanço da agricultura concentra-se em sua maior porção sobre a classe de vegetação de Cerrado, situada na região Centro Norte do município. No ano de 1984 observou-se a ausência de áreas na classe agrícola, entretanto, não significa afirmar que a mesma não ocorra. Possivelmente, a ausência ocorre devido à falta de áreas visibilidade/identificação, para serem utilizadas durante a classificação, fato bastante nítido com o avanço do agronegócio nos anos seguintes. A partir da classificação das imagens, foram gerados os mapas de uso e ocupação do solo, para os anos de 1984, 1990, 2000, 2010 e 2018 conforme apresentado na Figura 6.

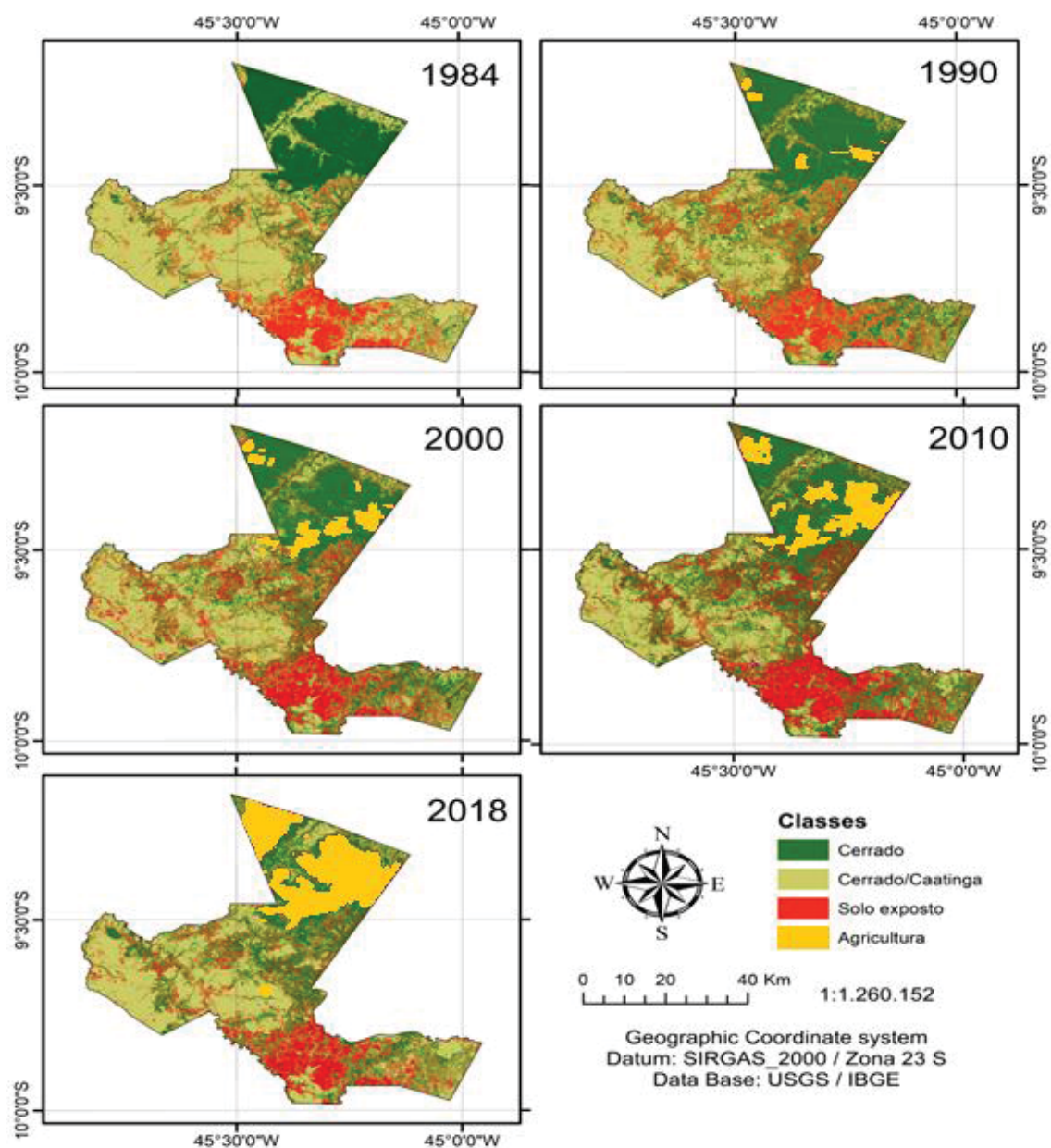


Figura 6. Mapa de uso e ocupação do solo referente aos anos de 1984, 1990, 2000, 2010 e 2018.

As primeiras manchas da classe agricultura em larga escala no município de Gilbués começam a serem observadas a partir de 1990 e segue crescendo ao longo dos anos. Essa tendência é observada por outros autores de forma similar em outros municípios que compreendem a região do MATOPIBA, corroborando com Garcia e Buainain (2016), que citam que a partir de 1990 deu-se o início de uma nova fronteira agrícola sobre o Cerrado Nordeste, pautadas por modernas bases de produção. Aguiar e Monteiro (2005), destacam que à

intensificação nas mudanças de uso do solo (a partir de 1990) foi intensificada devido a produção de grãos, cuja a consequência foi o desmatamento de extensas áreas.

Segundo Bolfe et al. (2016) o principal instrumento governamental para incentivar a produção agrícola na região do MATOPIBA, foi por meio de crédito para investimentos em máquinas e equipamentos e para o custeio das safras, outro fator que alavancou o agronegócio foi o baixo custo de aquisição das terras, possibilitando a obtenção de extensas áreas.

Para a classe agrícola a qual houve as primeiras detecções a partir de 1990 a avaliação foi dividida em três períodos, o primeira de 1990 a 2000, quando constatou-se o aumento de 134,4% da área classificada como agricultura. No período intermediário, de 2000 a 2010, observou-se o crescimento de 110,3%. Para o terceiro período analisado de 2010 a 2018, a taxa de crescimento foi de 105,9%.

Para as demais classes o período de estudo foi dividido em quatro, compreendidos de 1984 a 1990, 1990 a 2000, 2000 a 2010 e 2010 a 2018 conforme apresentado na Tabela 8. Ao considerar o período completo, de 1984 a 2018, ocorreu a redução de 14,3% para a cobertura de Cerrado e 22,1% para as áreas de transição Cerrado/Caatinga e aumento de 0,5% para a classe de Solo Exposto.

Tabela 10. Dinâmica multitemporal do uso e ocupação do solo para o município de Gilbués, PI.

ANO	Cobertura da terra (km ²)			
	Cerrado	Cerrado/Caatinga	Solo Exposto	Agricultura
1984	977,40	1.984,10	530,70	-
1990	1.336,10	1.464,40	635,20	56,70
2000	1.184,80	1.507,60	667,00	132,90
2010	1.298,50	1.173,10	741,00	279,50
2018	837,90	1.545,30	533,10	575,70

A área de agricultura passou de 13.290 para 27.950 hectares de 2000 a 2010, ocorrendo o aumento de 110,3% em área plantada. De acordo com o IBGE (2016), esse crescimento foi alavancado em decorrência da produção de soja e milho em meados de 2000-2005. Segundo Bolfe et al. (2016), a dinâmica do avanço da agricultura no estado do Piauí e Maranhão tendem a ser sobre áreas anteriormente ocupadas com vegetação nativa, diferentemente da agricultura de larga escala em Tocantins e Bahia que o avanço deu-se em sua maior parte sobre áreas

antropizadas anteriormente. Os mesmos autores citam que esse fato associa-se ao estoque de área antropizadas.

Ao observar a distribuição das áreas agrícolas no município, verificou-se que há uma tendência de situarem-se em extensas áreas planas. Garcia et al. (2018), ao analisarem “O papel da dimensão ambiental no MATOPIBA”, relataram que esse fator favorece a mecanização da produção, contribuindo para obter maiores ganhos. O agronegócio concentra-se sobre a classe Latossolo, essa caracteriza-se pelo elevado estágio de intemperismo, profundo, boa drenagem e baixa fertilidade natural (Embrapa, 2014), apesar da última ser tratada como um empecilho, apresentando características físicas que favorecem ao cultivo.

No período de 1984 a 2018 foram mapeadas 575,7 km² de áreas agrícolas, sendo que destes 279,5 km² foram estabelecidos entre 2010 e 2018. Os resultados obtidos por esse trabalho são corroborados no trabalho apresentado por Matricardi et al. (2018), que ao desenvolverem a modelagem do desmatamento para a região do MATOPIBA, relataram que o desmatamento pode atingir elevadas taxas, que podem ocasionar complicações ambientais.

A dinâmica multitemporal das classes mapeadas ao longo do período de estudo podem ser observadas na Figura 7.

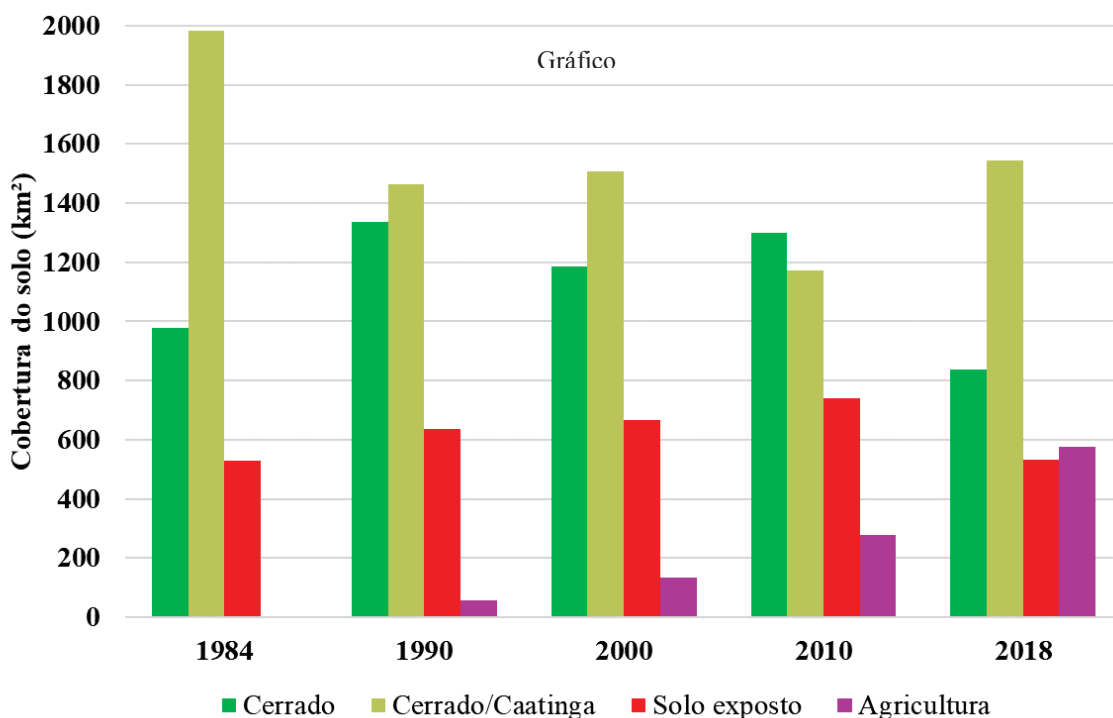


Figura 7. Comportamento multitemporal para as classes de uso e ocupação do solo, Gilbués, PI.

Ao observar a Figura 6 e a Tabela 8, constatou-se uma oscilação entre as classes citadas, decorrente da interação entre a fisiologia da planta e as condições edafoclimática. Como é confirmada por Botrel et al. (2015), que destacam que vegetação da região Sul piauiense perde as folhas, em ambientes com restrição hídrica, o que é uma estratégia fisiológica das plantas para reduzir a quantidade de água eliminada pela transpiração. Novo (1992), enfatiza que a vegetação sofre alterações ao longo do tempo em relação ao seu comportamento espectral, como resultado de alterações sazonais ou em decorrência de seu estágio fenológico, dentre outros processos de modificações naturais. Todos esses fatos citados anteriormente influenciam na resposta espectral da vegetação o que influenciam a classificação e podem ocasionar essa transição de cobertura entre as classes, esse fato não é observado para as áreas agrícolas devido a sua peculiaridade em relação às demais.

Analisando a classe de solo exposto, a qual compreende a área desertificada no município na Figura 6, é possível identificar o aumento contínuo até o ano de 2010, no entanto, esse quadro é invertido na análise seguinte em 2018. Todavia, o uso de imagens provenientes de diferentes sensores (Landsat 5 e 8), com diferenças na resolução radiométrica podem ter o seu resultado afetado em relação aos demais anos de estudo (FRANÇA et al., 2017).

O processo de exposição do solo em Gilbués pode estar associado a diversos fatores: exaustão do solo por atividade antrópica, como ressaltou Dalmas et al. (2015), afirmando que as áreas de solo exposto provavelmente são desencadeadas por novas frentes agrícolas; ou por apresentar litologias extremamente vulneráveis à erosão, representadas basicamente por siltitos, arenitos, argilitos, calcário e conglomerados distintos pertencentes às Formações Poti, Piauí, Areado, Pedra de Fogo, Sambaíba e Urucuia (SALES, 2003).

Comparando os resultados com os de Garcia et al., (2018), essa afirmação torna-se contraditória em alguns pontos. Os autores citam que a desertificação está ocorrendo nas áreas de ocupação agrícola, que podem ser agravadas pelas práticas de manejo adotadas pelos agricultores, pelo avanço do desmatamento.

É importante ressaltar que, a evolução da classe de Solo Exposto deve ser analisada sob interpretação de diferentes fatores. Observando-se a Figura 6, verifica-se ao Norte do município, intenso uso da terra, correspondendo as práticas agrícolas com cultivo principalmente da Soja, integrando a classe de solo exposto devido as áreas estarem provavelmente em período de preparo, havendo, portanto, revolvimento dos solos. Esta porção ao norte do município

corresponde à bacia do rio Uruçuí-Preto, região de intensa atividade agrícola (FRANÇA et al., 2016). Entretanto, as manchas de solo exposto ao Sul de Gilbués, correspondem os sítios desertificados, sendo nestas zonas os solos degradados e expostos. Estudo de França et al., (2017) remonta estes mesmos terrenos ao Sul de Gilbués, como as áreas de maiores fragilidades ambientais, com taxas elevadas de mediana e extremamente alta fragilidade, o que requer bastante atenção do ponto de vista da recuperação ambiental.

É importante ressaltar que as áreas de preservação permanente não estão inseridas dentro das áreas prioritárias, sendo que as mesmas apresentam extrema relevância para manutenção e conservação da biodiversidade.

5.3. Validação da Classificação

Após a classificação, foi realizado teste de avaliação dos resultados obtidos. A exatidão global e índice de *Kappa* podem ser considerados excelentes (Tabela 9). A acurácia média do usuário e do produtor oscilaram em torno de 88% podendo ser considerados muitos bons, entretanto, no ano de 1990 às áreas classificadas como agricultura apresentaram valores contraditórios aos demais, esse baixo resultado é devido a classe apresentar pequenas extensões territoriais no referido período analisado, dificultando a interpretação visual.

Tabela 11. Resultado da avaliação da classificação das imagens.

Ano	Kappa	Exatidão Global	Acurácia do Usuário				Acurácia do Produtor			
			Cer	Cerr/Caa	Expo	Agro	Cer	Cer/Caa	Expo	Agro
1984	0,96	0,96	0,90	1	1	-	1	0,90	1	-
1990	0,81	0,82	0,77	0,92	0,85	0,50	0,85	0,71	1	0,50
2000	0,84	0,82	0,71	0,88	0,85	1	0,86	0,70	0,92	1
2010	0,83	0,82	0,72	0,91	0,85	0,88	0,93	0,59	0,92	1
2018	0,98	0,98	1	0,94	1	1	1	1	1	0,94

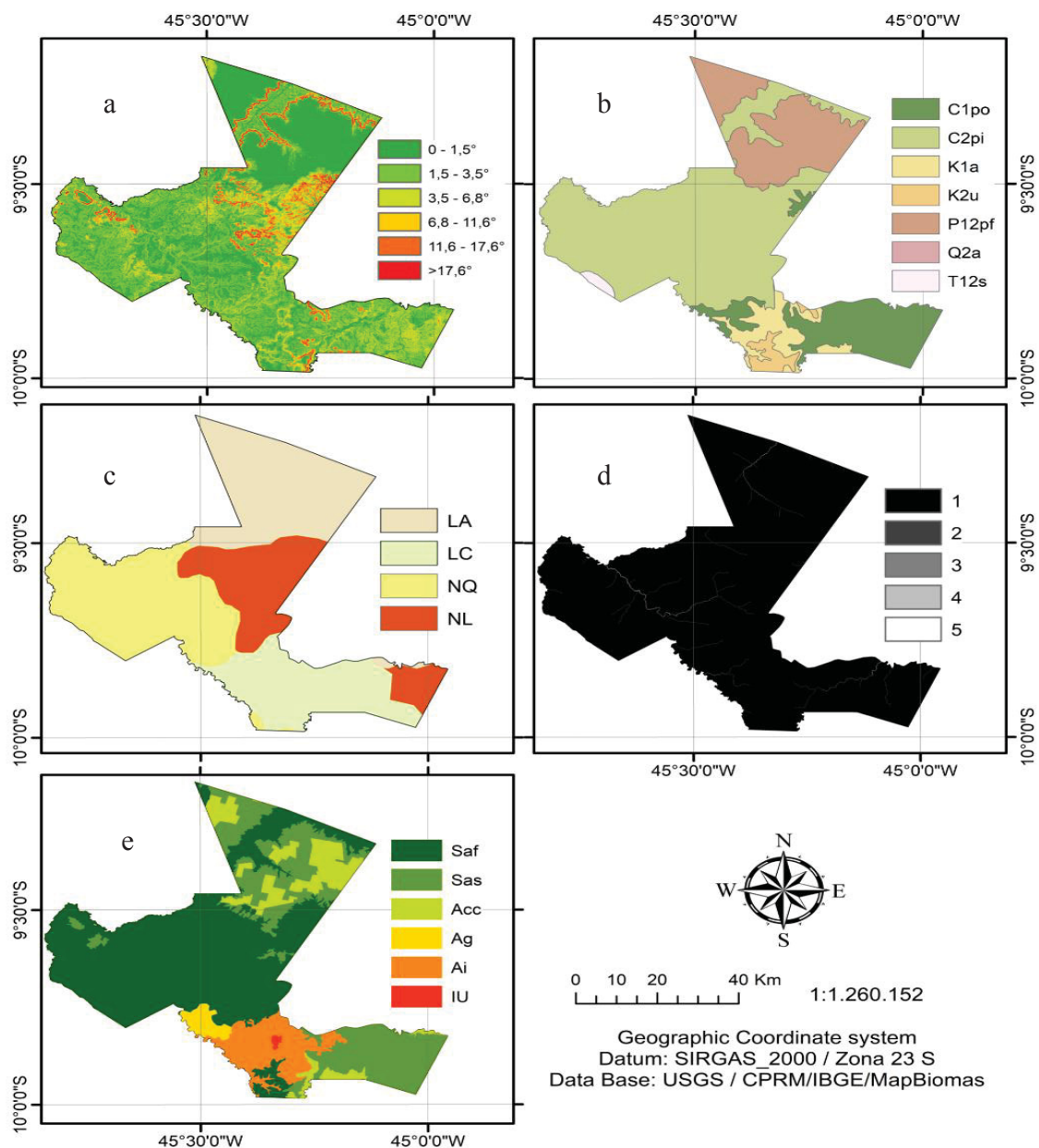
*Cer.= Cerrado *Cer/Caa.= Transição Cerrado/Caatinga *Expo= Solo exposto *Agro= Agricultura.

5.4. Classes de riscos aos Processos Erosivos

Após o processamento da base de informações, confeccionou-se os mapas referentes declividade, litologia, solos, fluxo acumulado e cobertura da terra da área do município, conforme apresentados na Figura 8 e Tabela 6.

A partir dos resultados obtidos nos mapa de solos do município, em termos de extensão territorial, observou-se os seguintes resultados: Neossolo quartzarenico (31,9%), Latossolo amarelo (27,4%), Luvissolo crômico (20,7%) e Neossolo litolico (20%). Cerca de 59% da área do município encontra-se sobre as classes de solo consideradas baixa e levemente baixa aos riscos de processos erosivos. Em termo de declividade o cenário não é diferente, ou seja, 79,8% da área é considerada de baixo risco.

A dinâmica dos processos erosivos é condicionada ao aspecto climático, devido aos efeitos da erosão eólica e hídrica acarretando na remoção dos horizontes A e B dos solos no período seco que vai de maio a outubro e devido ao elevado e concentrado índice pluviométrico, em torno de 1.200 mm anuais de dezembro a março respectivamente (CONTI, 2005; SILVA, 2014).



a: Declividade do terreno; b: Litologia; c: Classes de Solos; d: *Pesos e e: Cobertura da terra.

*O peso atribuído está relacionado a capacidade do parâmetro de modelar a paisagem. O fator cobertura da terra ganha valor superior por ser altamente susceptível a modificações por meio de ações antrópicas, já o de declividade por ter forte influência na modelagem do relevo

Figura 8. Planos de informações utilizados para obter a carta de fragilidade.

Referente aos solos, há predominância de Latossolo Amarelo, sobre as chapadas elevadas (planaltos), por vezes associados à Areias Quartzosas; o Argissolo Vermelho Amarelo predomina em áreas mais dissecadas ou desnudas dos pediplanos (superfície topograficamente plana à suavemente inclinada e dissecada) e estão bastante associados às áreas desertificadas.

Neossolos Litólicos ocorrem principalmente nas áreas mais escarpadas e montanhosa, assim como nos pediplanos com alta dissecação e desnudos enquanto Neossolos Quartzarênicos ocorrem em áreas intensamente drenadas, frequentes em relevo suave ondulado.

A carta de fluxo acumulado e drenagem da água ou área de captação, é necessária para compreensão de processos de erosão laminar e assoreamento dos cursos hídricos, uma vez que é um parâmetro indicativo o grau de confluência do escoamento e pode ser associado ao fator comprimento de rampa aplicado em duas dimensões (VALERIANO; ABDON, 2007). Tal parâmetro, associado à geomorfologia da região, permite a identificação de áreas com maior capacidade de aporte sedimentar assim como áreas de carreamento de substrato pelos cursos hídricos. Além disso, se associado ao mapa de vegetação, como em termos de áreas desmatadas, pode indicar áreas mais propícias ao assoreamento ao longo dos leitos de rios, riachos, da área de estudo.

A classe Áreas desertificadas ou Solos Expostos, incluem, além das áreas desertificadas predominantemente na porção Sul do município, algumas manchas na porção Leste. Nesta classe foram inseridas as áreas com substrato exposto recém preparados para plantios agrícolas, os quais apresentam sua estrutura e camada superficial do solo revolvida pela mecanização agrícola. Apresentam formato poligonal referentes a delimitação territorial das propriedades rurais. Esta classe, correspondeu à 403,59 km², equivalente à 11% da área total do município.

O mapa de fluxo acumulado (escuro), basicamente tem função de demonstrar a densidade dos rios e demais linhas de água da área. Tem a finalidade de informar a diversidade hidrográfica da região em estudo. Basicamente para o município de Gilbués, pouco se vê as linhas brancas, afinal é uma região que está em desvantagem em relação à rede de hierarquias de drenagens. Ao ampliar a região (zoom) veremos uma rede de drenagem principal. Geralmente o maior rio da região é o que apresenta a linha mais branca, rios mais densos, calhas mais profundas, mais largos. Nesse caso merece destaque o Rio Gurguéia.

O mapa de densidade de drenagens ou fluxo acumulado, foi realizado a partir do MDE, de 30m de resolução. Merece destaque que quanto melhor a resolução melhor veremos as linhas brancas dos cursos de água. A partir do MDE ele é processado após uma sequência de comandos (no ARCGIS). Engloba fluxo de drenagens, direção de fluxo drenagens, podendo envolver até a geração de mapa de orientação de vertentes.

Os mapas de uso e cobertura da terra, oriundo da classificação, apresentaram acurácia adequada, e a partir destas análises, foi possível detectar o direcionamento do avanço da agricultura na região para o Centro Norte do município de Gilbués. Os avanços da agricultura só foram identificados nas imagens a partir dos anos de 1990, período de elevado crescimento da agricultura, favorecidos pelas condições topográficas, valor de aquisição das terras e incentivos fiscais.

A carta temática de vulnerabilidade aos processos erosivos do município de Gilbués foi gerada a partir da relação entre a declividade, classes de solos, litologia e fluxo acumulado, conforme pesos de fragilidades individuais estabelecidos na Tabela 6.

A combinação das classes de fragilidade observadas para cada atributo, permitiram a geração do mapa de vulnerabilidade ambiental apresentado na Figura 9. As classes de risco foram classificadas em: Baixa, Levemente Baixa, Média, Alta e Extremamente Alta conforme apresentado na Tabela 10. Deve-se ressaltar que as áreas de maiores riscos de degradação estão diretamente relacionadas com a necessidade da maior conservação destes locais. A degradação do solo é resultante de diversos fatores, os quais devem ter suas peculiaridades observadas e levadas em consideração de maneiras distintas, assim como, as diferentes interações com as demais variáveis ambientais.

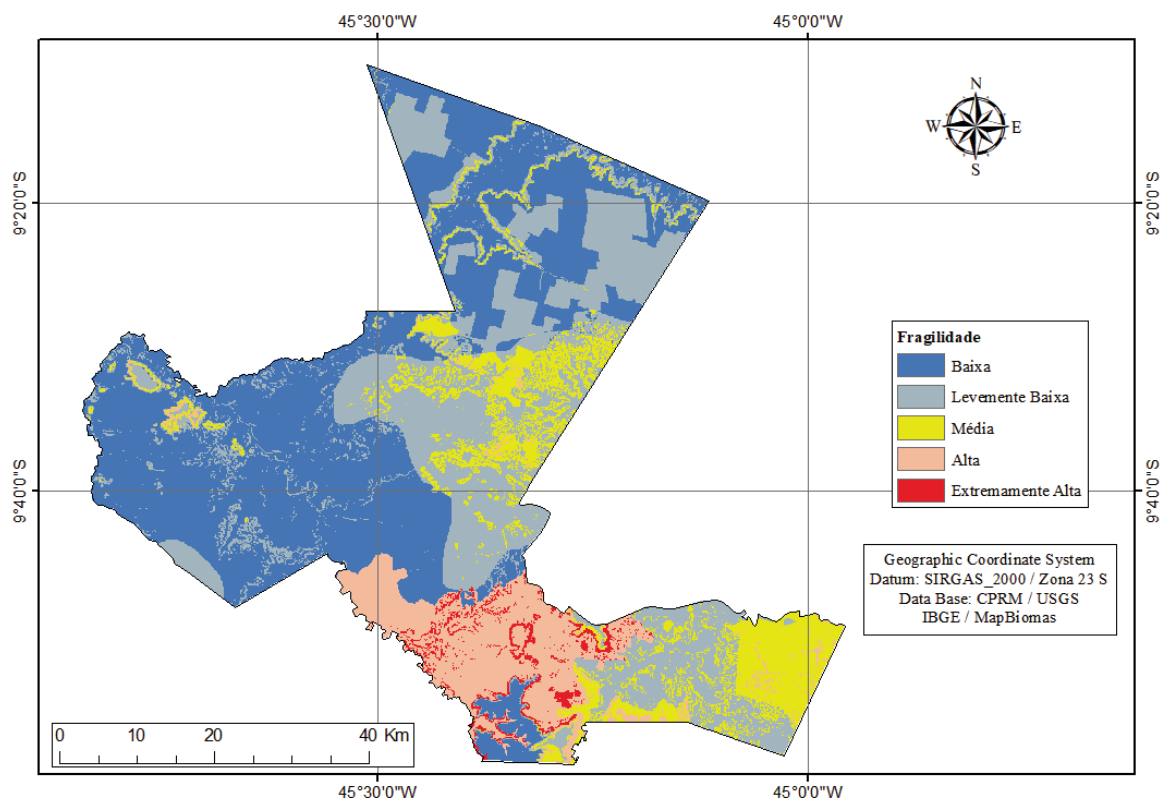


Figura 9. Carta temática de vulnerabilidade aos processos erosivos do município de Gilbués, PI.

A área que apresenta maior vulnerabilidade ou maior risco aos processos erosivos encontra-se na porção Centro Sul do município, dominada pela área de desertificação e as classes de solo Luvissoilo Crômico e Neossolo Litólico. O parâmetro que apresenta maior influência na determinação da vulnerabilidade, seguido da declividade, tipos de solo, e a coberturas do solo. As áreas de risco médio são influenciadas basicamente pela agricultura, uma vez que essas áreas encontram-se sobre classes de solos e declividades com baixo risco. A área de estudo apresentou 12% correspondente às classes de vulnerabilidade alta e extremamente alta.

Tabela 12. Área referente as classes de vulnerabilidade aos processos erosivos.

Vulnerabilidade	Área (Km²)	Porcentagem (%)
Baixa	1.794,70	51,30
Levemente Baixa	906,30	25,90
Média	375,00	10,70
Alta	356,00	10,20
Extremamente alta	63,00	1,80

Apesar do município ser dominado por classes baixa e levemente baixa com 77,2% da área total, não pode-se garantir que o terreno é pouco susceptível aos processos erosivos. O alto

valor percentual destas classes é em função de que 79,8% da área do município localiza-se sobre as classes de declividade plana e suave ondulada, consideradas de baixo risco. França et al. (2017), salientam que apesar da área ser considerada de baixo risco, tem que considerar as possíveis instabilidades ocasionadas por possíveis intervenções antrópicas.

As áreas de vulnerabilidade média cobrem 10,7%, totalizando 375 km² da área total do município, sendo a terceira classe mais representativa. Esta classe é distribuída sobre as classes de agricultura com culturas cíclicas, relevo plano, latossolo amarelo e litologia (Folhelho, Siltito), distribuídas ao longo da região Nordeste do município, no Sudeste encontra-se sobre relevo suave ondulado, Savana arborizada sem Floresta de Galeria, Luvisolo Crômico e formação Litológica (Arenito, Siltito, Folhelho).

No Apêndice é apresentado uma série de fotografias da situação geral e atual da desertificação do Núcleo de Desertificação de Gilbués, PI, conforme as Figuras 10 a 24.

6. CONCLUSÕES

A partir do estudo multitemporal, verificou-se significativa modificação da paisagem quanto à exposição do solo e o desmatamento das áreas de Cerrado e Caatinga. Os impactos ambientais resultantes da modificação da dinâmica da cobertura vegetal, sinalizam que no município de Gilbués devem ser adotadas estratégias de conservação do solo para atenuar o avanço da desertificação e para a manutenção das formações vegetais resilientes.

Na classificação da paisagem durante o período, a principal alteração ocorreu na classe agrícola sendo mais expressiva no período de 1990 a 2000, com aumento de 134,4%, período de elevado crescimento da agricultura, favorecidos pelas condições topográficas, valor de aquisição das terras e incentivos fiscais. Essa dinâmica avançou sobre as áreas anteriormente ocupadas por vegetação nativa, indicadas pelas áreas classificadas como Cerrado e transição Cerrado/Caatinga.

O aumento nas áreas de Solo exposto também foi notório no período de 2000 à 2010, no entanto, a variação observada entre a classificação das imagens obtidas pelos diferentes sensores, Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI, revelou a necessidade de se utilizar a metodologia que se adeque aos estudos dessa natureza, visto que essa é uma situação comum em análises multitemporais, em que geralmente há uma limitação dos próprios instrumentos de sensoriamento remoto, como a resolução da imagem e o tipo de informação coletada pelo satélite, principalmente as mais antigas.

O mapa de Fragilidade demonstrou estreita relação dos parâmetros avaliados com a susceptibilidade da área aos processos erosivos. A mesma, expressa a importância da manutenção da vegetação, sendo que essa é extremamente influenciada por ações antrópica e determinante para a estabilidade ou instabilidade do meio.

O processo de degradação ambiental em Gilbués, requer estudos mais aprofundados para melhor conhecimento do problema, uma vez que o fenômeno expande-se com rapidez e poucos estudos tem dificultado a compreensão das causas, impossibilitado intervenções práticas e efetivas *in loco*.

7. REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, L. J. O. Degradação do solo e desertificação no Nordeste do Brasil. B. Inf. SBCS, p. 23-25, 2000.
- AGUIAR, T. J. A.; MONTEIRO, M. S. L. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: a ocupação do Cerrado piauiense. Ambiente e Sociedade, v. 8, n. 2, jul/dez, 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2005000200009. Acessado em: 30/11/2019.
- ALBUQUERQUE, S. G. Caatinga vegetation dynamics under various grazing intensities by steers in the Semi-Arid Northeast, Brazil. Journal of Range Management, v.52, p.241-248, 1999.
- ALBUQUERQUE, U. P. et al. Caatinga Biodiversidade e Qualidade de Vida. Recife, PE: UFRPE, 120 p. 2010.
- ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. Revista Brasileira de Botânica, v. 4, p. 149-153, 1981.
- ANTUNES, M. A. H; DEBIASI, P; COSTA, A. D; GLERIANI, J. M. Correção atmosférica de imagens ALOS/AVNIR-2 utilizando o modelo 6S. Revista Brasileira de Cartografia, v. 64, n. 4, p. 531-539, 2012.
- ARAÚJO FILHO, J.A.; CRISPIM, S.M.A. Pastoreio combinado de bovinos, caprinos e ovinos em áreas de caatinga no Nordeste do Brasil. In: CONFERÊNCIA VIRTUAL GLOBAL SOBRE PRODUÇÃO ORGÂNICA DE BOVINOS DE CORTE, 2002, Concordia, SC. Anais... Corumbá, MS: Embrapa pantanal. p.1-7. 2002.
- ARAÚJO, F. S. Repartição da flora lenhosa no domínio da Caatinga. Análise das variações da biodiversidade do bioma Caatinga, p. 15-33. 2005.
- ARAÚJO, C. S. F.; SOUSA, A. N. Estudo do processo de desertificação na caatinga: uma proposta de educação ambiental. Ciência e Educação. v. 17, n. 4, p. 975-986, 2011.
- BARRETO, F. M. S. Contaminação da água subterrânea por pesticidas e nitrato no Município de Tianguá, Ceará. 2006. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2006.
- BEEKMAN G. B. El Programa de Combate a la Desertificación y Mitigación de los Efectos dela Sequía en América del Sur, BID-IICA. In: ABRAHAM, E. M.; BEEKMAN G. B. (Ed.). Indicadores de la Desertificación para América del Sur. Mendoza, Argentina, 2006.
- BISHOP, Y. M; FIENBERG, S. E; HOLLAND, P. W. Discrete multivariate analysis: theory and practice. 357 p. 1975.

BORLAUG, N. E. Feeding a world of 10 billion people: the miracle ahead. In: R. Bailey (ed.). Global warming and other eco-myths. Competitive Enterprise Institute, Roseville, EUA. p. 29-60. 2002.

BROOKS, T., MITTERMEIER, C. G., LAMOREUX, J., FONSECA, G. B. Hotspots revisited: Earths biologically richest and most endangered ecoregions. Conservação Internacional/CI, Agrupación Sierra Madre, 329 p. 2005.

CARVALHO, C. M.; ALMEIDA FILHO, R. Uso de imagens Landsat-TM para avaliar a extensão da desertificação na região de Gilbués, sul do Estado do Piauí. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. Anais... São José dos Campos: INPE, p. 4365-4372. 2007.

CASTEJON, E. F; FONSECA, L. M. G; FORSTER, C. H. Q. Melhoria do processo de correção geométrica de imagens Cbers-cdd pelo uso de amostras georreferenciadas classificadas. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 21, n. 4, p. 658-673, 2015.

CAVALCANTI, E. R.; COUTINHO, S. F. S.; SELVA, V. S. F. Desertificação e desastres naturais na região do semi-árido brasileiro. Revista Cadernos de Estudos Sociais. v. 22, n. 1. p. 1-22. Recife, 2007.

CEPRO. Piauí: Caracterização do quadro natural. Teresina, PI: Fundação CEPRO, 116 p. 1996.

CEPRO. Piauí: Diagnóstico socioeconômico do município de Gilbués, PI: Fundação CEPRO, 22 p. 2014.

COELHO, V. H.; MONTENEGRO, S. M.; ALMEIDA, C. D. N.; DE LIMA, E. R.; NETO, A. R.; DE MOURA, G. S. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental, V.18, N.1, P.64-72, 2014.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. New York: Lewis Publishers, 1998. 137 p.

CONTI, J. B. A questão climática do nordeste brasileiro e os processos de desertificação. Revista Brasileira de Climatologia, v.1, n.1, p.07-14, 2005.

CRACKNELL, A. P. e HAYES, L. W. B. Introduction to Remote Sensing. Taylor and Francis. London. 304 p. 1991.

CREPANI, E. O Núcleo de Desertificação de Gilbués observado pelo Sensoriamento Remoto e pelo Geoprocessamento. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 25-30 de abril de 2009, INPE, p. 5185-5192.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. Curso de Sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico. INPE: São José dos Campos, 1996.

EASTMAN, J. R. *IDRISI for Windows*. Editores da versão em português: HASENACK, H.; WEBER, E. Porto Alegre, UFRGS Centro de Recursos IDRISI, 107 p. 2010.

EITEN, G. Delimitação do conceito de Cerrado. *Arquivos do Jardim Botânico*, Rio de Janeiro 21: 125-134. 1977.

FONSECA, L. M. G. Processamento digital de imagens. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2000. 105p.

FRANÇA, L. C. J.; LISBOA, G. S.; SILVA, J. B. L.; RODOLFO JÚNIOR, F.; MORAIS JUNIOR, V. T. M. CERQUEIRA, C. L. Suitability for agricultural and forestry mechanization of the Uruçuí-Preto River Hydrographic Basin, Piauí, Brazil *Nativa*, Sinop, v.4, n.4, p.238-243, jul./ago. 2016.

FRANÇA, L. C. J.; PIUZANA, D.; ROSS, J. L.S. Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente em núcleo de desertificação no semiárido brasileiro (Gilbués, Piauí). *Revista Espacios*, v. 38, n.31, p.21, 2017.

FLORENZANO, T. G. Imagens de satélite para estudos ambientais. Oficina de Textos. São Paulo-Brasil. 97 p. 2002.

FLORENZANO, T. G. Iniciação em Sensoriamento Remoto. 3a ed. ampliada e atualizada. São Paulo: Editora Oficinas de textos. 128 p. 2011.

FLORENZANO, T. G. Os Satélites e Suas Aplicações. Editora SindCT, Série Especializando. São José dos Campos, SP. 52 p. 2008.

GOEDERT, W. Estratégias de manejo das savanas. In: G. Sarmiento (ed.). *Las sabanas americanas: aspectos de su biogeografía, ecología y utilización*. Acta Científica Venezolana. p. 191-218. 1990.

HARIDASAN, M. Aluminum accumulation by some Cerrado native species in Central Brazil. *Plant and Soil* 65: p. 265-273. 1982.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 1992. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/webcdp/climatologia/normais/imagens/normais/textos/metodologia.pdf>. Acessado em 11 de setembro de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>. (Acessado em 20 de agosto de 2019).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manuais técnicos em geociências: manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro, n. 1, 271 p. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Manual Técnico de Pedologia. 2ª ed. Rio de Janeiro. 2007. 316 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Manual Técnico de Geomeofologia, Rio de Janeiro. 2009. 178 p.

INPE. Introdução ao Spring – Teórica. São José dos Campos – SP Janeiro. 2006.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO – INSA. Sinopse do Censo Demográfico para o Semiárido Brasileiro. Campina Grande/PB, 12 p. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>. Acesso em: 13 fev. 2007. (acessado em 20 de agosto de 2019).

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE: IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. 874 p. 2019.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres. Tradução português 2ª Edição. Parentese Editora. São José dos Campos SP, 598 p. 2009.

KLINK, C. A.; MOREIRA, A. G. Past and current human occupation and land-use. In: P.S. Oliveira & R.J. Marquis (eds.). The Cerrado of Brazil. Ecology and natural history of a neotropical savanna. Columbia University Press, New York. p. 69-88. 2002.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. An Application of Heirarchical Kappa-type Statiscs in the Assessment of Majority Agreement among Multiple Observers. Biometrics 33, p. 363-374. June, 1977.

LANDSAT 5. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2019. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Landsat_5&oldid=56300493>. Acesso em: 21 set. 2019.

LANDSAT 8. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2016. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Landsat_8&oldid=46037221>. Acesso em: 29 jun. 2016.

LI, A. et al. Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS – a case study in the upper reaches of Minjiang River, China. *Ecological Modeling*, v. 192, p. 175–187, 2006.

LIMA, L. C.; MORAIS, J. O.; SOUZA, M. J. N. Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará. Fortaleza: Fundação Universidade Estadual do Ceará, 2000. 268 p.

LISBOA, G. T. Avaliação da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Una (Aliança), Bahia, como Subsídio para o Planejamento e a Gestão Territorial. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, UESC-BA. 79 p. 2016.

LOIOLA, M. I. B.; ROQUE, A. A; OLIVEIRA, A. Cl. P. Caatinga: Vegetação do semiárido brasileiro. *Revista Ecologia: Artigos de Divulgação*, p. 14-19. 2012.

LOPES, L. S. O.; SANTOS, R. W. P.; MIGUEL FILHO, M. A. Núcleo de desertificação de Gilbués (PI): causas e intervenções. *Revista Geografia (Londrina)*, v.20, n.2, p. 053-066, 2011.

LUSCH, D. P. *Introduction to Environmental Remote Sensing*. Publishing company: BRSRI. Center of Remote Sensing and GIS Michigan State University, 247 p. 1999.

MACHADO, R.B.; RAMOS NETO, M.B.; PEREIRA, P.; CALDAS, E.; GONÇALVES, D.; SANTOS, N.; TABOR, K.; STEININGER, M. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Conservation International do Brasil, Brasília. 26 p. 2004.

MATALLO JÚNIOR, H. Indicadores de Desertificação: Histórico e Perspectivas. Brasília: UNESCO, 122 p. 2001.

MEDEIROS, F. S., SOUZA, M. P., CERQUEIRA, C. L., ALVES, A. R., S. S., M., BORGES, C. H. A. Florística, fitossociologia e modelagem da distribuição diâ métrica em um fragmento de Caatinga em São Mamede-PB. ACSA, Patos-PB, v.14, n.2, p.85-95. 2018.

MELESSE, A. M. et al. Remote Sensing Sensors and Applications in Environmental Resources Mapping and Modelling. *Sensor*, v.7, p. 3209-3241, 2007.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; ROSA, A. N. C. S.; SANO, E. E. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Ed. UNB, Brasília. 276 p. 2012.

MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Agricultura sustentável no Semi-Árido nordestino. In: OLIVEIRA, T. S.; ROMERO, R. E.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; SILVA, J. R. C. S. (Ed.). Agricultura, Sustentabilidade e o Semiárido. Fortaleza: SBCS: UFC-DCS, p.20-46. 2000.

METZGER, M. J.; et al. The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 114, p. 69-85, 2006.

MIRANDA, E. E. (Coord.). *Brasil em Relevo*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 31/08/2019.

MORAIS, I. R. D. et al. A desertificação no Seridó Potiguar. In: MOREIRA, E.; TARGINO, I. (Org.). *Desertificação, desenvolvimento sustentável e agricultura familiar: recortes no Brasil, em Portugal e na África*. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2010.

MOREIRA, J. N., DE ANDRADE LIRA, M., DOS SANTOS, M. V. F., DE ANDRADE FERREIRA, M., DE ARAÚJO, G. G. L., FERREIRA, R. L. C., SILVA, G. C. Caracterização da vegetação de Caatinga e da dieta de novilhos no Sertão de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, p. 1643-1651. 2006.

MOREIRA, A. R. P. et al., Composição Florística e análise Fitossociológica Arbustivo-arbóreo no município de Caraúbas-RN. *Revista verde (Mossoró – RN - Brasil)*, v.2, n.1, p. 113-126, janeiro/julho de 2007.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 4ª ed. São José dos Campos: INPE, 422 p. 2011.

NASCIMENTO, F. R. O fenômeno da desertificação. Goiânia: Editora UFG, 240 p. 2013.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 4ª ed. revista e ampliada. Ed. Edgard Blücher. São Paulo-Brasil. 387 p. 2010.

OLIVEIRA, L. L. S.; SANTOS, R. W. P., MIGUEL FILHO, A. A. Núcleo de Desertificação de Gilbués (PI): Causas e Intervenções. *Revista Geografia (Londrina)*, v. 20, n. 2, p. 53-66, mai/ago. 2011.

PAN-BRASIL. Programa de Ação Nacional de Combate a Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - Secretaria de Recursos Hídricos. 242 p. 2005.

PATRÍCIO, M. C. M.; SILVA, V. M. A.; RAMOS, A. R. D. Gilbués - Núcleo de Desertificação do Piauí, Caracterização Física, Variabilidade Climática e Impactos Ambientais. *Polêmica, Revista Eletrônica*, p. 470-481, 2012.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. *Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação*. São José dos Campos: Parêntese, 144 p. 2007.

QUEIROZ, L. P. Leguminosas da Caatinga. Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana, 443 p. 2009.

RATCLIFFE, D. A. Criteria for the selection of natura reserves. *The advancement of Sciences*, v.

27, p. 294-296. 1971.

RIBEIRO, J. F.; SANO, S. M.; SILVA, J. A. Chave preliminar de identificação dos tipos fisionômicos da vegetação do Cerrado. In: Anais do XXXII Congresso Nacional de Botânica. Sociedade Botânica do Brasil, Teresina, Brasil. p. 124-133. 1981.

RODAL, M. J. N., MARTINS, F. R., SAMPAIO, E. V. S. B. Levantamento quantitativo das plantas lenhosas em trechos de vegetação de caatinga em Pernambuco. *Revista Caatinga*, 21.3: 192-205. 2008.

RODRIGUES, W. Tecnologias agrícolas sustentáveis no Cerrado. Coleção Centro-Oeste de Estudos e Pesquisas. Ministério da Integração Nacional & Universidade Estadual de Goiás, Brasília. 13 p. 2002.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizado. *Revista do Departamento de Geografia, São Paulo - SP*, n. 8, p.24-30, 1994.

ROSS, J. L. S.; SPÖRL, C. Análise Comparativa da Fragilidade Ambiental com Aplicações de Três Modelos. *GEOUSP, Espaço e Tempo. São Paulo*, n. 15, p. 39-49, 2004.

ROSÁRIO, L. Indicadores de desertificação para Portugal continental. Editideias: Lisboa, 59 p. 2004. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/12489837/rosario-l-2004-indicadores-de-desertificacao-para-portugal> (acessado em: 19/12/2019).

SALES, M. C. L. Evolução dos Estudos de Desertificação no Nordeste Brasileiro. *Revista Geousp: espaço e tempo*. n. 11, p. 115-126, São Paulo, 2002.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. *Revista de Geografia, Recife*, v. 22, n. 1, p. 90-112, 2005.

SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização da caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas. *Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação. Fortaleza, Expressão Gráfica e Editora*, p. 129-142, 2003.

SAMPAIO, Y.; SAMPAIO, E. V. S. B. A economia do semi-árido pernambucano e seu potencial de crescimento. In: TEUCHLER, H. & MOURA, A.S. Quanto vale a caatinga? Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer. p. 14-43. 2002.

SANTANA, J. A. S., SOUTO, J. S. Diversidade e estrutura fitossociológica da Caatinga na Estação Ecológica do Seridó-RN. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 6, n. 2, p. 232-242, 2006.

SANTOS, A. D., PELUZIO, T. D. O., SAITO, N. S. Spring 5.1. 2: Passo a passo: Aplicações práticas. Alegre, ES: CAUFES, 155 p. 2010.

SCHIAVO, B. N.V.; HENTZ, A. M.K.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria – RS. *Rev. Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, Santa Maria, v.20, n.1, p.464-473, 2016.

SCHOTER, Dagmar. et al. Vulnerability assessment - analysing the human-environment system in the face of global environmental change. *The ESS Bulletin*, v. 2, p. 11-17, 2004.

SEELY, M. K. Can science and community action connect to combat desertification?. *Journal of Arid Environments*. n. 39, p. 267-277, 1998.

SILVA, M. P. S.; CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; VALERIANO, D. M.; ESCADA, M. I. S. Mining Patterns of Change in Remote Sensing Image Databases. *Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Data Mining*. Washington, DC: IEEE Computer Society. p. 362-369. 2005.

SILVA, F. B. GEOTECNOLOGIAS NO MAPEAMENTO DE ÁREAS DEGRADADAS NO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO EM GILBUÉS, PI. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Piauí, 88 p. 2008.

SILVA, M. P. S.; CÂMARA, G.; ESCADA, M. I. S. Image Mining: Detecting Deforestation Patterns Through Satellites, p. 55-75, 2008. *Data Mining Applications for Empowering Knowledge Societies*. IGI Global. 2008.

SILVA, I. A. S.; SILVA, J. C. B.; SILVA, K. A.; BARROS, J. R. Estudo da Desertificação em Gilbués-Piauí, Caracterização Física, Variabilidade Climática e Impactos Ambientais. *Revista de Geografia (UFPE)* v. 28, n. 2, p.95-108. 2011.

SILVA, I. A. S. DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM GILBUÉS-PI: BASES CONCEITUAIS, CONDICIONANTES GEOAMBIENTAIS E IMPACTOS NA PAISAGEM. *Revista Equador (UFPI)*, Vol. 1, Nº 1, p. 14 - 29 (Jan/Jun, 2013).

SILVA, I. A. S. Clima e arenização em Gilbués-Piauí: dinâmica das precipitações e a vulnerabilidade da paisagem aos eventos pluviais intensos. Dissertação de Mestrado em Geografia: Programa de Pós- Graduação em Geografia - IESA/UFG. 185 p. 2014.

SILVA, F. B.; SALVIANO, A.; ANDRADE, J. B. Áreas degradadas em microbacia de Gilbués-PI utilizando imagens do sensor CCD- CBERS-2. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, 21-26, INPE, p. 4257-4260. Abril de 2017,

SILVA, I. A. S. EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO EM GILBUÉS-PIAUI: IMPACTOS NA PAISAGEM E POTENCIALIZAÇÃO DO PROCESSO DE ARENIZAÇÃO.

Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. Instituto de Geociências - UNICAMP. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia Física. 12 p. 28 de jun. à 02 de jul./ 2017.

STEFFEN, C. A.; MORAES, E. C.; GAMA, F. F. Radiometria Óptica Espectral. Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, BA, Brasil, p. 14-19 de abril de 1996, INPE.

TAMANINI, M. S. A. Diagnóstico físico-ambiental para determinação da fragilidade potencial e emergente da Bacia do Baixo Curso do Rio Passaúna em Araucária – PR. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 105f., 2008.

TANAJURA, E. L. X.; GONÇALVES, R. M.; CÔRTEZ, J. B. R.; RIBEIRO, M. G.; TAVARES JUNIOR, J. B. METODOLOGIA PARA MONITORAMENTO DA DESERTIFICAÇÃO UTILIZANDO IMAGENS CBERS: UM ESTUDO DE CASO DE GILBUÉS, PI. II Simpósio Brasileiro de Geomática, V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Presidente Prudente, SP, p. 1059-1062. 2007.

TOEBE, D.; LÚCIO L. T. ANÁLISE TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL ARBÓREA DO MUNICÍPIO DE FOZ DO IGUAÇU – PR UTILIZANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/arquivos_publicacoes/Artigo_Pos_Danielli_Toebe_Final.pdf. (Acessado em 21/01/2020).

TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M. S. P.; BARBOSA, A. A.; RODRIGUEZ, D. A.; SANTANA, M. O.; SESTINI, M. F. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000-2016. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*. v.73, p.197-206, 2018.

TRICART, J. Ecodinâmica Rio de Janeiro-RJ: IBGE/ SUPREN, 91 p. 1977.

VALLE, I. C.; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. S. K. Mapeamento da fragilidade ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. *Floram*, 23 (2), p. 295-308, 2016.

WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia-Tese/dissertação (ALICE), 389 p. 2006.

WENG, Q. Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods, and Applications. New York: McGraw-Hill, 397 p. 2010.

WU, B.; CI, L. J. Landscape change and desertification development in the Mu Us Sandland, Northern China. *Journal of Arid Environments*. n. 50, p. 429-444, 2002

YANG, X. et al. Desertification assessment in China: an overview. *Journal of Arid Environments*. n. 63, p. 517-531, 2005.

ZANI, M. V.; DUARTE, G. S.; CRUZ, C. B. M. Ajustamento geométrico e radiométrico entre imagens Landsat 5 e 8 para apoio de análises temporais. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. p. 5710-5717. 2015.

ZHA, Y.; GAO, J. Characteristics of desertification and its rehabilitation in China. *Journal of Arid Environments* n. 37, p. 419-432, 1997.

8. APÊNDICE



Figura 10. Visão geral da desertificação.



Figura 11. Malhadas da paisagem.
Fonte: Luciano Cavalcante de Jesus França, 2017.



Figura 5. Visão geral da vegetação.
Fonte: Luciano Cavalcante de Jesus França, 2017.



Figura 6. Visão geral do solo e vegetação.
Fonte: Luciano Cavalcante de Jesus França, 2017.



Figura 7. Dimensão das partículas de solo.
Fonte: Luciano Cavalcante de Jesus França, 2017.



Figura 8. Dimensão da erosão e a vegetação.
Fonte: Luciano Cavalcante de Jesus França, 2017.



Figura 9. Rio temporário.
Fonte: Luciano Cavalcante de Jesus França, 2017.



Figura 10. Visão geral de um rio temporário e da vegetação.
Fonte: Luciano Cavalcante de Jesus França, 2017.



Figura 11. Visão geral da erosão, solo exposto e vegetação ao fundo.
Fonte: Luciano Cavalcante de Jesus França, 2017.



Figura 12. Dimensão da erosão, solo exposto e a vegetação ao fundo.
Fonte: Luciano Cavalcante de Jesus França, 2017.



Figura 13. Dimensão geral da erosão, solo exposto e a vegetação ao fundo.
Fonte: Luciano Cavalcante de Jesus França, 2017.



Figura 14. Intensidade da erosão.
Fonte: Luciano Cavalcante de Jesus França, 2017.



Figura 15. Erosão e a vegetação.
Fonte: Luciano Cavalcante de Jesus França, 2017.



Figura 16. Solo exposto e a vegetação ao fundo.
Fonte: Luciano Cavalcante de Jesus França, 2017.



Figura 17. Solo exposto e a vegetação ao fundo.
Fonte: Luciano Cavalcante de Jesus França, 2017.