

# Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente em núcleo de desertificação no semiárido brasileiro (Gilbués, Piauí)

## Potential and emerging environmental fragility in desertification nucleus in the brazilian semi-arid (Gilbués, Piauí)

FRANÇA, Luciano C. J. [1](#); PIUZANA, Danielle [2](#); ROSS, Jurandy L. S. [3](#)

Recibido: 25/01/2017 • Aprobado: 16/02/2017

### Conteúdo

- [1. Introdução](#)
- [2. Metodologia](#)
- [3. Resultados](#)
- [4. Conclusões](#)

[Referências bibliográficas](#)

#### RESUMO:

Objetivou-se determinar os diferentes níveis de fragilidade ambiental na área municipal do núcleo de desertificação de Gilbués, Piauí, Brasil, por meio de estudos geotecnológicos considerando os Sistemas de Informações Geográficas (SIG). A análise multicriterial gerou Mapas de Fragilidade Potencial que levou em consideração fatores abióticos e o Mapa de Fragilidade Emergente pelo uso ainda do mapa vegetal e uso e ocupação do terreno. Gilbués naturalmente apresenta uma tendência à degradação ambiental, com elevadas taxas de mediana e extremamente alta fragilidade.

**Palavras-chave:** Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Combinação Linear Ponderada, Recuperação de Áreas Degradadas, Álgebra de Mapas

#### ABSTRACT:

The objective was to determine the different levels of environmental fragility in the municipal area of the Gilbués desertification nucleus, Piauí, Brazil, through geotechnical studies considering the Geographic Information Systems (GIS). Multicriteria analysis generated Potential Fragility Maps that took into account abiotic factors and the Emergent Fragility Map by still using the vegetation map and land use and occupation. Gilbués naturally presents a tendency to environmental degradation, with high rates of median and extremely high fragility.

**Key-words.** Geographic Information Systems (GIS), Weighted Linear Combination, Recovery of Degraded Areas, Map Algebra.

## 1. Introdução

A desertificação, um complexo grau de degradação de solos, é um problema de debate global, que afeta as regiões de clima árido, semiárido e sub-úmido seco da Terra, decorrente de fatores climáticos, muitas vezes associado a atividades antropogênicas. No Brasil, as áreas susceptíveis

à desertificação compreendem 1.340.863 km<sup>2</sup>, englobando 1.488 municípios de nove Estados da região Nordeste, além de municípios setentrionais de Minas Gerais e Espírito Santo (PEREZ-MARIN et al, 2012). A região semiárida brasileira apresenta 6 (seis) núcleos de desertificação: Irauçuba (CE), Inhamus (CE), Seridó (RN), Cabrobró (PE), Jaguaribe (CE) e Gilbués (PI). O núcleo de Gilbués é considerado o maior do país, com extensão de aproximadamente 6.131 km<sup>2</sup> (BRASIL, 2004) e engloba, além desse, os municípios de Monte Alegre do Piauí, Barreiras do Piauí, São Gonçalo do Gurgueia, Santa Filomena, Alto Parnaíba apresentando, ainda, forte influência sobre outras áreas não inclusas oficialmente no núcleo (PEREZ-MARIN et al., 2012).

Historicamente, a região de Gilbués possui trajetória de ocupação vinculada à atividade pecuária por meio de conquistadores oriundos do estado da Bahia, o que levou a colonização do sudoeste piauiense (SILVA, 2016). Esta ocupação se desenvolveu a partir da segunda metade do século XVII, com a instalação das primeiras fazendas de gado procedentes do rio São Francisco, com registro das primeiras expedições por volta de 1676 (DINIZ, 1982). Ainda há registros históricos de que a região de Gilbués foi habitada por populações indígenas (*Guguês e Acaroás*) que denominavam a região de *Jeruboés* cujo significado é "Terra Fraca", indicativo de que a paisagem natural já apresentava fragilidade ambiental (SILVA, 2014).

Estudos na área com enfoque na vulnerabilidade do terreno da região originando focos erosivos vinculam-se aos fatores abióticos como litologia, relevo e clima e apontam que locais de maior declividade apresentam altas taxas de perda de solo devido à alta velocidade e volume de enxurradas escoadas pelas vertentes aliado à má distribuição das chuvas e sua intensidade ao longo do ano (AMORIM et al., 2001; SANTOS et al., 2013; SILVA, 2013; SILVA, 2014). A área em questão, devido a esses condicionantes, caracteriza-se por intenso processo de degradação dos solos, principalmente na porção Centro-Sul (SILVA, 2014).

Para o entendimento da fragilidade ambiental destaca-se a proposta metodológica Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados (ROSS, 1994), o qual baseia-se na aplicação das concepções de ecodinâmica e ecossistema em projetos de planejamento ambiental associados a: (i) meios instáveis a áreas, caracterizados por intervenção antrópica e (ii) meios estáveis, caracterizadas pelo estado natural, sem intervenção do homem segundo a concepção de Tricart (1977).

A metodologia para determinação da fragilidade ambiental com base na classe de declividade (ROSS, 1994) é a mais utilizada no meio científico. Ainda, trabalhos são realizados com adaptações visando obter resultados mais realísticos (SPORL; ROSS, 2004; SANTOS; SOBREIRA, 2008; MANGANHOTTO et al., 2010; SANTOS et al., 2010; MASSA; ROSS, 2012; JUNIOR et al., 2014; SCHIAVO et al., 2016). Normalmente há atribuição de pesos vinculados ao número de classes, de forma a fornecer indicativo da contribuição do fator analisado para com o nível de fragilidade (GONÇALVEZ et al., 2011).

Neste sentido, o presente trabalho partiu de uma adaptação metodológica de Ross (1994) visando caracterizar 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.

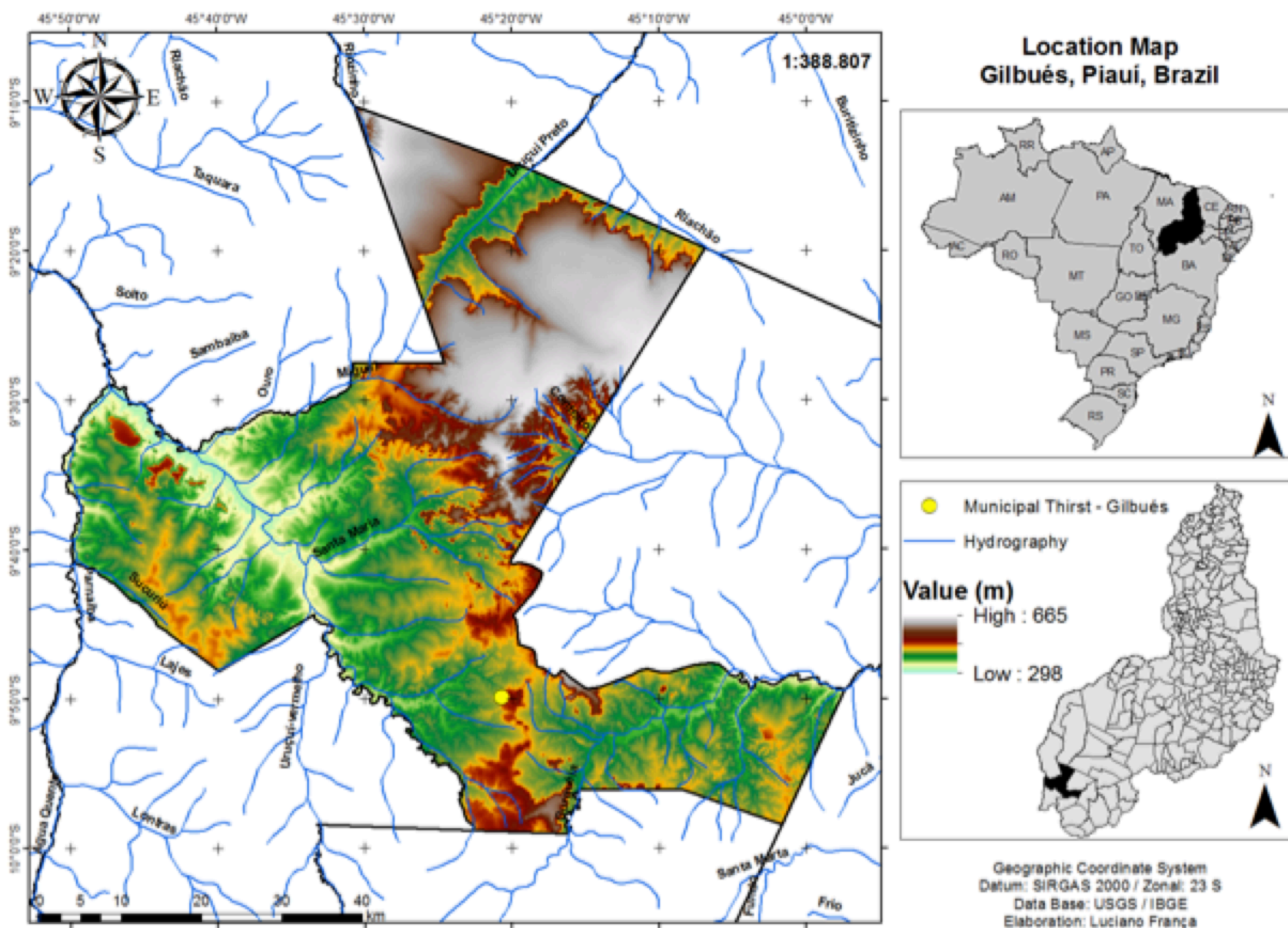
---

## 2. Metodologia

### 2.1. Localização e caracterização fisiográfica

A área de estudo corresponde à delimitação do município de Gilbués, Sul do Estado do Piauí, com área de aproximadamente 3.495,18 km<sup>2</sup> e dista 794 km da capital do estado, Teresina. Seu território encontra-se na Microrregião do Alto Médio Gurgueia, localizada entre as coordenadas geográficas 09°49'54" de latitude Sul e 45° 20' 38" de longitude Oeste (Figura 1). O clima predominante na região, segundo a classificação de Köppen, é o semiúmido (Tropical chuvoso com seca no inverno) com 4 a 5 meses de estiagem e temperaturas que variam de 25°

a 36°C. A precipitação pluviométrica média anual é definida no regime equatorial e continental, com regime pluviométrico bastante heterogêneo caracterizado por alta amplitude pluviométrica durante o ano, que pode variar de 820 a 1840 mm (SILVA, 2013; 2014). O município apresenta vasta malha hidrográfica, com alguns cursos hídricos organizados em perenes, sobretudo com predominância de mananciais intermitentes. Na área há três principais bacias hidrográficas: a bacia do rio Uruçuí-Vermelho, Uruçuí-Preto e Gurguéia.



**Figura 1.** Mapa temático de localização do município de Gilbués, Piauí, com representação da hipsimetria e rede hidrográfica da região.

Além disso, o relevo na região exerce funções geoambientais de grande importância dada a influência do comprimento da vertente e variações hipsométricas. Pelo mapeamento hipsométrico acima observa-se superfícies topográficas de altitudes variando entre 298 a 665 m (Figura 1), que relaciona-se à mobilização dos sedimentos carreados no escoamento superficial para as áreas mais baixas e, por conseguinte, acentua os processos erosivos por meio do aumento da velocidade e volume das enxurradas (SILVA, 2013).

A área está inserida no limite de duas províncias geológicas: a Bacia Intracratônica do Parnaíba e pela Bacia do São Francisco, ambas sedimentares, de idade Fanerozoica cujas idades de deposição datam do Paleozoico Inferior ao Mesozoico Superior (MILANI et al, 2007). Rochas sedimentares paleozoicas da Bacia Sedimentar do Parnaíba na região compreendem as formações Sambaíba, Pedra de Fogo, Piauí e Poti e rochas mesozoicas da Bacia do São Francisco são representadas pelas formações Areado e Urucuia (SILVA, 2014). As litologias compreendem arenitos, argilas, siltitos, calcários, sedimentos quartzo-arenosos e conglomerados distintos bastante vulneráveis a erosões (SALES, 2003).

A classe de solos predominante é do tipo Latossolo Vermelho Amarelo com textura média, são provenientes da alteração de arenito, conglomerado, folhelho, calcário, silexito e siltito, são

espessos, friáveis, porosos, jovens, com influência do material subjacente, predominando os latossolos amarelos álicos ou distróficos de textura média, associados com areias quartzosas e/ou podzólico vermelho-amarelo, plíntico ou não plíntico (GALVÃO, 1994). Além disso, os solos da área de estudo são predominantemente arenosos, pobres em matéria orgânica e com baixa umidade (SILVA et al., 2011)

Do ponto de vista fitogeográfico, a região encontra-se em ambiente de transição entre Caatinga e Cerrado, predominando, no entanto, espécimes pertencentes ao cerrado com predominância das classes vegetacionais Campo Cerrado e/ou Cerrado *Sensu Strictu* (IBGE, 2011).

A caracterização fisiográfica foi validada por meio de diagnóstico de campo dos elementos do ambiente físico e das atividades antrópicas na região de Gilbués, com verificação *in situ* realizada em julho de 2015, onde realizou-se análises em escala de paisagem para avaliação da dinâmica do uso e cobertura da terra, bem como das interações entre os padrões espaciais e processos ecológicos da região, envolvendo vegetação, recursos hídricos, e demais formas de uso do solo, tais como agricultura e pecuária.

## 2.2. Aquisição e Processamento dos dados

### 2.2.1. Plano de Informação: Modelo Digital de Elevação (MDE)

Para esta etapa foram utilizadas imagens *raster* da base MDE (Modelo Digital de Elevação), originário da missão de mapeamento do relevo terrestre SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 30 m, obtida no sítio eletrônico da Embrapa Monitoramento por Satélite (EMBRAPA, 2016). Realizou-se o mosaico da área de estudo, para união das células de 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 partir do MDHEC, o processo subdividiu-se em quatro etapas: preenchimento de depressões (*"fill sinks"*), fluxo acumulado (*"flow accumulation"*), declividade (*"Slope"*) e altimetria do terreno do município.

### 2.2.2. Plano de Informação: Vegetação, Solos e Litologia

A vegetação no mapeamento de uso e ocupação do terreno foi classificada segundo Ribeiro e Walter (1998) para o domínio Cerrado. Uma vantagem desta classificação é a subdivisão em fitofisionomias (Tabela 1), compatibilizada com a adotada pelo IBGE (2012), também considerada como critério de análise, quando da realização de estudos em escalas de semidetalhe e detalhe.

**Tabela 1.** Classificação regional da vegetação savânica do cerrado.

Autor	Classificação	
	Formações Florestais	Mata Ciliar
		Mata de Galeria
		Mata Seca
		Cerradão
		Cerrado Sentido Restrito

<b>Ribeiro e Walter (1998)</b>	Formações Savânicas	Parque de Cerrado
		Palmeiral
		Vereda
	Formações campestres	Campo Sujo
		Campo Rupestre
		Campo Limpo

A carta de Solos foi adquirida junto a EMBRAPA (2011), atualizada e com novas classes de mapeamento. As informações vetoriais de litologia foram adquiridas no sítio eletrônico do Serviço Geológico Brasileiro CPRM (2016). Todos os planos de informações utilizados neste estudo foram processados no *Software ArcGIS 10.2* (ESRI, 2013).

### **2.2.3. Plano de Informação: Uso e Ocupação do Terreno**

Para o mapeamento do uso e ocupação do terreno, utilizou-se imagens do sensor TM, do satélite Landsat 8, resolução espacial de 30 x 30m e temporal de 16 dias, referentes ao mês de julho de 2016, obtidas no sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e processadas em ambiente SIG.

As bandas utilizadas foram referentes aos comprimentos de ondas do vermelho (banda 3: 0,62-0,69  $\mu\text{m}$ ) e do infravermelho próximo (banda 4: 0,78-0,90  $\mu\text{m}$ ), gerando uma composição colorida passando por classificação não supervisionada das feições da paisagem pelas ferramentas *Spatial Analyst Tool – Multivariate – Isso Cluster* e *Maximum Likelihood Classification*. Posteriormente realizou-se a reclassificação por meio do *Reclassify* para quantificação das áreas em extensão territorial. As imagens classificadas pelo método de classificação não-supervisionada, permitiram a subdivisão em 5 (cinco) classes: Mata densa, Cerrado *Sensu Strictu*, Vegetação Rala (Campos) ou Pastagens, Talhões Agrícolas/Agricultura e Áreas desertificadas ou Solos Expostos.

### **2.2.4. Análise Multicritério: Fragilidade Ambiental**

A execução desta etapa partiu de adaptação metodológica de Ross (1994) e outros trabalhos (SPORL; ROSS, 2004; SANTOS; SOBREIRA, 2008; MANGANHOTTO et al., 2010; SANTOS et al., 2010; MASSA; ROSS, 2012; JUNIOR et al., 2014; SCHIAVO et al., 2016), com adição de novos critérios de relevância, a fim de determinar com eficiência os diferentes níveis de fragilidade ambiental para a região de estudo.

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

A determinação da Fragilidade Ambiental Emergente (FAE) considera os parâmetros da FAP somados aos dados de Uso e Ocupação do Terreno e a Vegetação. Para cada parâmetro foi estabelecida 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). A partir dos Planos de Informação (PI) processados referentes a cada um dos critérios avaliados, 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 cálculo de soma algébrica ( $\Sigma F.$ ) dos PI a partir da seguinte expressão:

Onde:

**FAP** = Fragilidade Ambiental Potencial

**F<sub>D</sub>** = Fragilidade quanto à Declividade do Terreno

**F<sub>S</sub>** = Fragilidade quanto à Classes de Solos

**F<sub>L</sub>** = Fragilidade quanto à Litologia

**F<sub>FA</sub>** = Fragilidade quanto à Fluxo Acumulado

Já para a FAE, o cálculo de soma algébrica ( $\sum F.$ ), consistiu da seguinte expressão:

$$F_{AE} = F_{AP} + F_{USO} + F_V \quad (\text{Exp. 2})$$

Onde:

**F<sub>AE</sub>** = Fragilidade Ambiental Emergente

**F<sub>AP</sub>** = Fragilidade Ambiental Potencial

**F<sub>USO</sub>** = Fragilidade quanto ao Uso e Ocupação do Terreno

**F<sub>V</sub>** = Fragilidade quanto à Vegetação Natural

## 3. Resultados

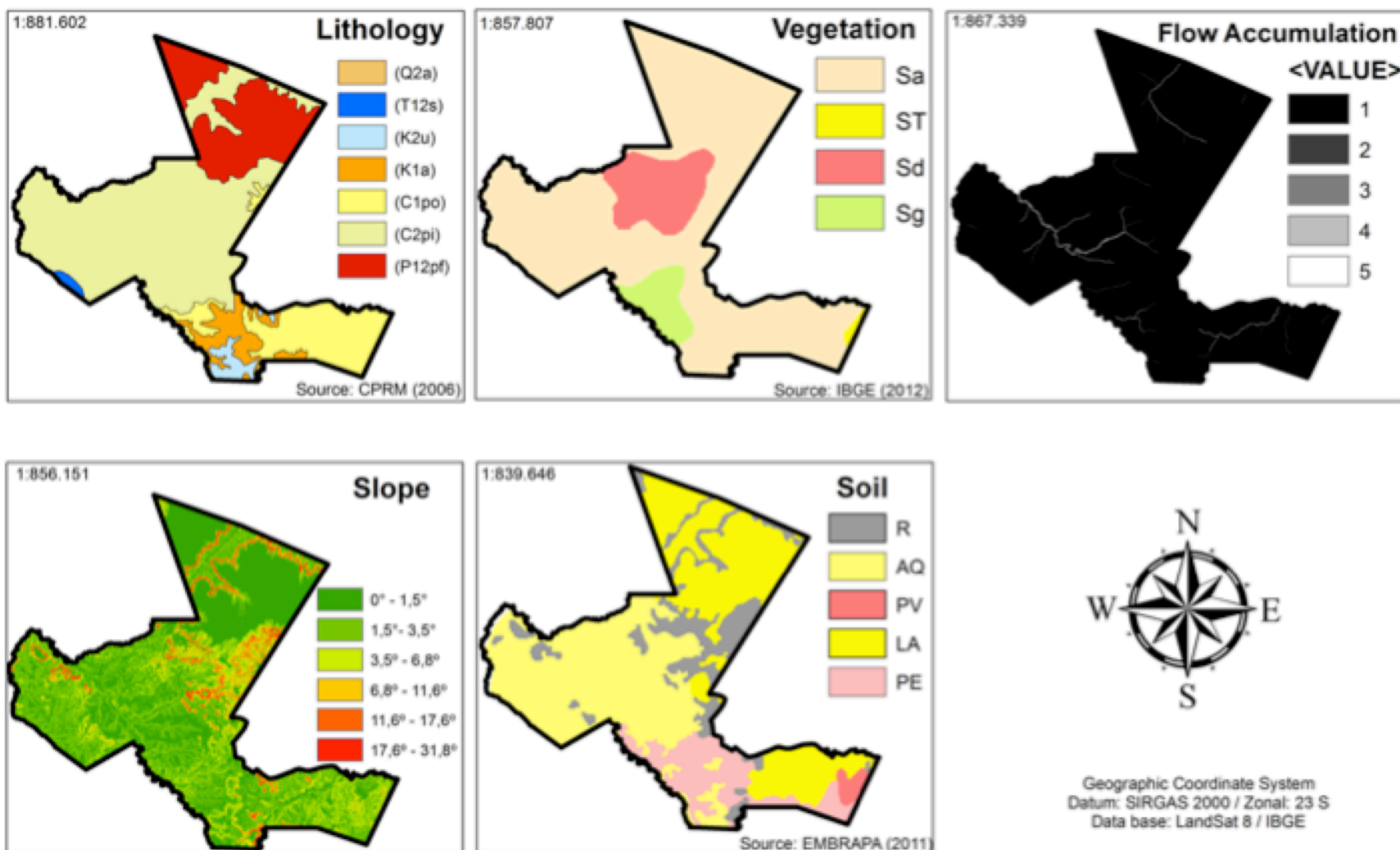
### 3.1. Planos de Informação Multicritérios

Confeccionou-se as cartas referentes à litologia, vegetação, fluxo acumulado, declividade e solos da área do município, que compõem o Plano de Informação de Multicritérios, apresentados na Figura 2. Realizou-se a reclassificação de cada variável em uma mesma escala de valor, que variou de baixa a extremamente alta. Inclui-se ainda ao Plano de Informações de Multicritérios a carta de ocupação e uso do terreno (Figura 3).

A partir da análise do mapa de declividade do terreno da área do município em termos de extensão territorial os seguintes resultados: Declividade Plana (43,56%), Suave Ondulado (39,07%), Ondulado (10,12%), Montanhoso (2,14%) e Forte-Montanhoso (1,14%). Apesar de grande parte do município apresentar áreas planas e suave ondulada, as áreas com maior declividade têm significativa influência na erosão do solo.

Estudo realizado por Santos et al. (2013) em Gilbués, a partir de experimentação com malhas de amostragem em compartimentos de vertentes, concluíram que as perdas de solo, o potencial natural de erosão e o risco de erosão apresentaram relação espacial com o fator topográfico, comprovando a dependência dos fatores de erosão ao relevo.

## Planos de Informações (PI) Multicritérios, Gilbués (PI)



**Figura 2.** Prancha com os planos de informações (PI) utilizados para o cálculo algébrico da fragilidade ambiental potencial (natural). A descrição das nomenclaturas apresentadas na legenda de cada mapeamento é feita no Quadro 1, referentes aos pesos atribuídos às classes de fragilidade de cada critério analisado.

Já para Sales (2003) e Lopes; Soares (2016) as principais causas do processo de degradação do solo vinculam-se à geologia local, uma vez que as litologias (siltitos, arenitos e conglomerados) das bacias sedimentares fanerozoicas do Parnaíba e do São Francisco são vulneráveis à erosão. O relevo correspondente a estas litologias são superfícies tabulares de estrutura horizontal (chapadões) e feições em rampas intensamente dissecadas por processo de escoamento concentrado, que atuam na erosão laminar. Além disso, 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 1.200mm anuais de dezembro a março respectivamente (CONTI, 2005; SILVA, 2014).

Em Gilbués, no que concerne 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.

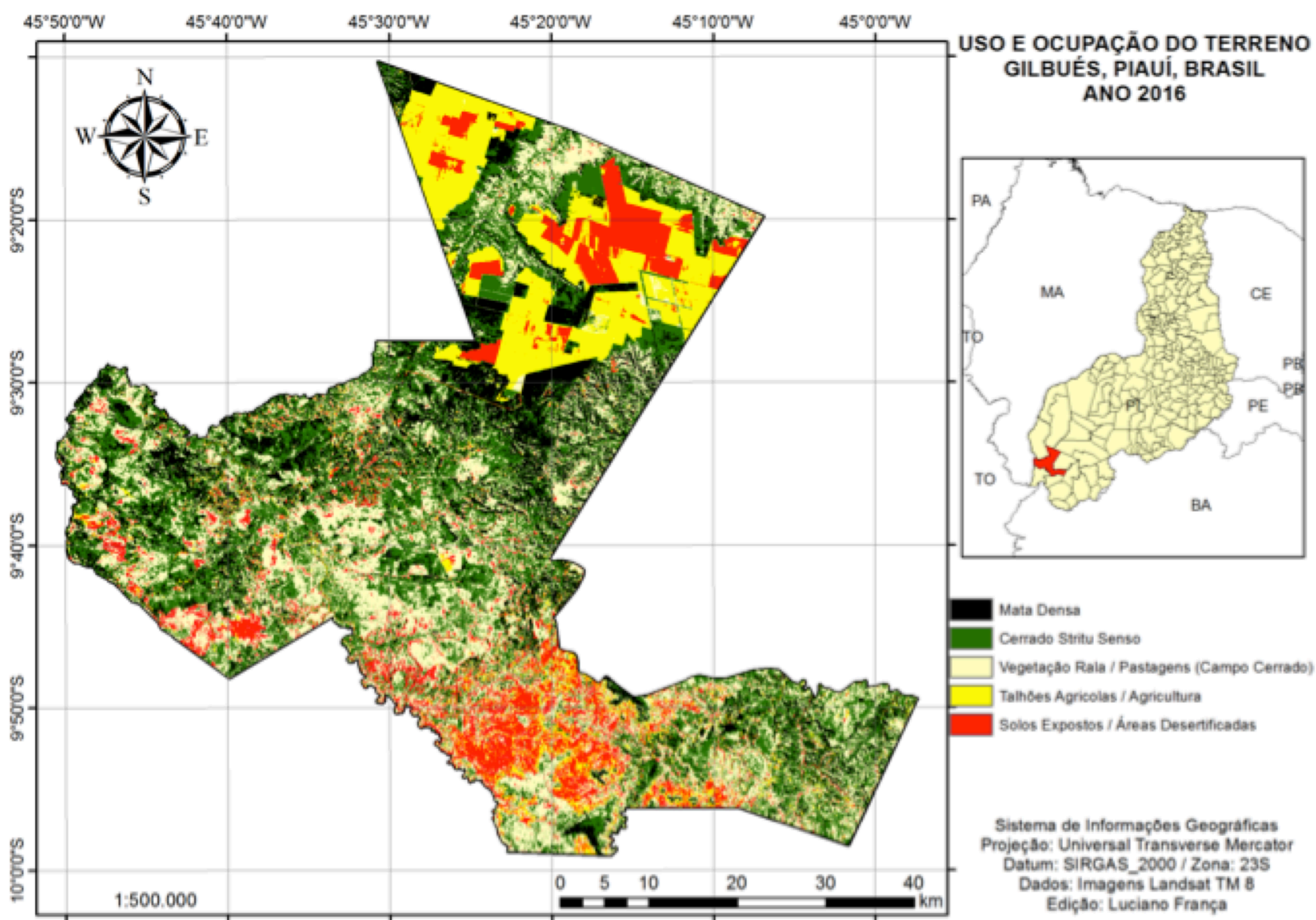
A carta de fluxo acumulado e drenagem da água ou área de captação, é necessária para compreensão de processos de erosão laminar e assoreamento dos cursos hídricos, uma vez que é um parâmetro indicativo o grau de confluência do escoamento e pode ser associado ao fator comprimento de rampa aplicado em 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.

Após a confecção dos mapas de parâmetros físicos utilizados no cálculo algébrico de combinação linear ponderada, gerou-se o mapa final de FAP, que posteriormente, foi cruzado com as cartas de uso e ocupação do terreno e vegetação nativa, o que gerou o mapa final de FAE. A carta de Uso e Ocupação do terreno da área em estudo, é apresentado na Figura 3. A quantificação das áreas referente à cada classe de uso e ocupação do terreno, encontram-se em Km<sup>2</sup>, apresentadas na Tabela 2.

A partir do resultado, é possível constatar que a presença de vegetação de porte mais densa, classe aqui estabelecida por *Mata Densa*, que correspondeu à 14% da área total, cerca de 484,11 km<sup>2</sup>, na qual incluem-se as formações florestais de Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão de acordo com a classificação de Ribeiro e Walter (1998).

Além desta classe, caracterizou-se o *Cerrado Senso Strictu* segundo Ribeiro e Walter (1998) ou Savana Arborizada (As) segundo IBGE (2012), correspondente à maior extensão do município, com 1.093,22 km<sup>2</sup>, o equivalente a 31% da área total.



**Figura 3.** Mapa temático de Uso e Ocupação do Terreno do município de Gilbués, Piauí.

**Tabela 2.** Classes de ocupação e uso do terreno do município de Gilbués, PI.

Classes	Área (Km <sup>2</sup> )	Percentual (%)
Mata Densa	484,11	14



Cerrado <i>Sensu Strictu</i>	1.093,22	31
Vegetação Rala (Campos) ou Pastagens	1.036,96	30
Talhões Agrícolas/ Agricultura	477,21	14
Áreas desertificadas ou Solos Expostos	403,59	11
<b>TOTAL</b>	3.495,12	100

A classe *Vegetação Rala/ Campos/ Pastagens* apresentam refletância semelhante aos campos de Cerrado, além de vegetação rala, que de acordo com o sistema de classificação aqui considerado, incluem os Campos sujos e limpos, compostos, predominantemente, por vegetação herbácea com raros arbustos. São encontrados em diversas posições topográficas do terreno, com diferentes variações de umidade do solo, fertilidade e profundidade do solo. Associam-se também às encostas, próximo às chapadas, além de ocorrência em áreas planas, geralmente extensas (Figura 3). Corresponde a segunda maior extensão territorial, com 1.036,96 km<sup>2</sup>, o equivalente à 30% da área total.

A classe *Talhões Agrícolas/ Agricultura* correspondem a 477,21 km<sup>2</sup> (14% da área total) e caracterizam-se como classe de alta relevância, dada à expansão agrícola latifundiária na região em áreas restritas aos planaltos. Restringem-se a porção norte de Gilbués onde ocorreu aumento de cerca de 55% do uso e ocupação do solo por culturas agrícolas, com consequente avanço do desmatamento das áreas de vegetação nativa, quando avaliadas entre 1984 a 2011 França et al. (2015).

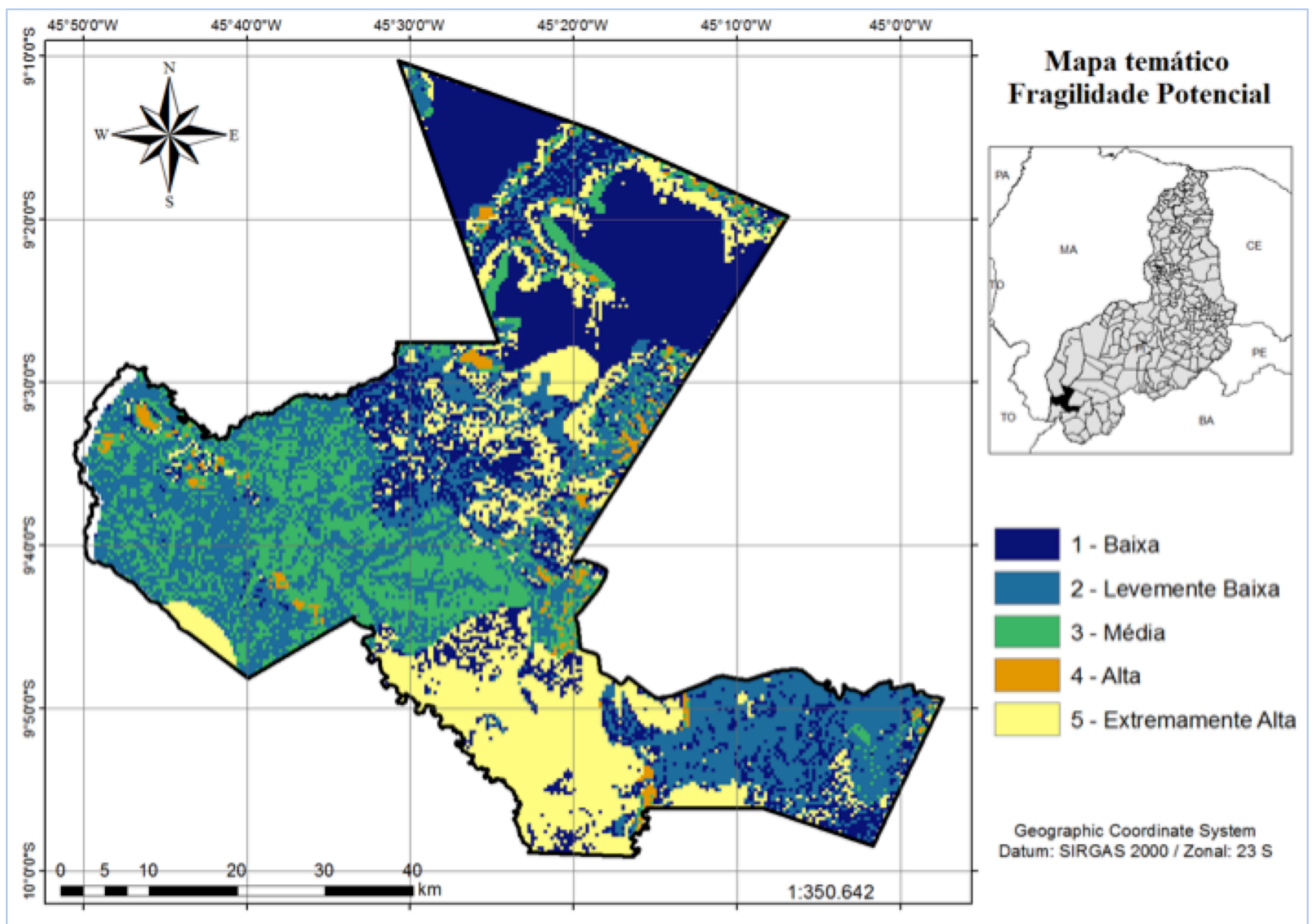
A classe *Áreas desertificadas ou Solos Expostos*, incluem, além das áreas desertificadas predominantemente na porção sul do município, algumas manchas na porção Leste. Nesta classe foram inseridas as áreas com substrato exposto recém preparados para plantios agrícolas, os quais apresentam sua estrutura e camada superficial do solo revolvida pela mecanização agrícola. Apresentam formato poligonal referentes a delimitação territorial das propriedades rurais. Tal classe, correspondeu à 403,59 km<sup>2</sup>, equivalente à 11% da área total do município.

### 3.2. Fragilidade potencial e emergente de Gilbués

De posse dos mapas finais referente aos Planos de Informações (PI) avaliados neste estudo, realizou-se o cruzamento dessas informações para a obtenção da FAP e FAE, para tal, foram estabelecidos os pesos referentes as classes de fragilidade (Quadro 1).

O mapa de FAP de Gilbués (Figura 4) foi gerado a partir da relação entre a declividade, classes de solos, litologia e fluxo acumulado, conforme pesos de fragilidades individuais estabelecidos no Quadro 1.

Classes de FAP foram classificadas em: Baixa (24%), Levemente Baixa (29%), Média (21%), Alta (2%) e Extremamente Alta (24%). O município apresentou 26% de sua área correspondente às classes fragilidade potencial alta e extremamente alta. Quando se considera individualmente os critérios utilizados pode-se afirmar Gilbués apresenta alta vulnerabilidade aos processos erosivos principalmente na porção Centro-Sul do município que corresponde às áreas desertificadas.



**Figura 4.** Mapa temático final de Fragilidade Ambiental Potencial de Gilbués, Piauí.

Embora as classes de fragilidade baixa e levemente baixa correspondam à 53% da área total, não significa que o terreno não seja susceptível aos processos de degradação, afinal, a FAP caracteriza-se pela condição natural do terreno a degradarem-se, ou seja, são áreas em equilíbrio dinâmico em seu estado natural, sem se considerar a instabilidade potencial diante da possibilidade da intervenção antrópica. A classe de maior representatividade em extensão territorial foi a classe 2, fragilidade Levemente Baixa, com área de 986,7 km<sup>2</sup>, e a classe de menor extensão é a 4, referente a Alta Fragilidade, cerca de 73,76 km<sup>2</sup> (Tabela 3). As demais áreas quantificadas para cada classe são apresentadas na Tabela 3.

Considerando os resultados dos mapas de Uso e Ocupação do Terreno (Figura 3), e FAP (Figura 4) é possível constatar que as porções Sul, centro Sul e Oeste da área apresentam maiores consequências do processo de degradação de solos, que se manifestam na forma de erosão com transporte e depósito sedimentar oriundos de chuvas intensas e consequente assoreamento, além de áreas desertificadas.

**Quadro 1** – Quadro com as classes de fragilidade atribuídas aos parâmetros Litologia, Vegetação, Fluxo Acumulado, Declividade do Terreno, Classes de Solos e Uso e Ocupação do Terreno. Fontes: Litologia: CPRM – Serviço Geológico Brasileiro; Vegetação: IBGE (2012); Solos: IBGE (2011).

Classes de Fragilidade	Pesos	Litologia	Vegetação*	Fluxo Acumulado	Declividade do Terreno	Classe de Solos	Uso e Ocupação do Terreno
					Plano (0° - 1,5°)		Mata Densa

Baixa	1	Folhelho, Siltito, Arenito (P12pf)	Savana Estépica (ST)	0 – 3.879,38	Suave Ondulado (1,5° - 3,5°)	Latossolos Amarelos LA	Cerrado Sensu Stricto
Levemente Baixa	2	--	Savana Arborizada (Sa)	3.879,38 – 19.396,94	Ondulado (3,5°- 6,8°)	--	--
Média	3	Folhelho, Arenito, Conglomerado, Siltito (K1a)	Savana Florestada (Sd)	19.396,94 – 40.949,09	Forte Ondulado (6,8° - 11,6°)	Neossolos Quartzarênicos AQ	Talhões Agrícolas/ Agricultura
		Arenito, Siltito, Folhelho (C1po)				Argissolos Vermelhos PE	
		Arenito, Folhelho, Argilito, Siltito (C2pi)				Argissolos Vermelho-Amarelos PV	
Alta	4	Arenito conglomerático, Pelito, Arenito (K2u)	Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg)	40.949,09 – 75.863,59	Montanhoso (11,6° - 17,6°)	--	Vegetação Rala/ Pastagens
Extremamente Alta	5	Arenito (T12s)	--	75.863,59 – 109.916	Escarpado (17,6° - 31,8°)	Neossolos Litólico R	Solo Exposto/ Áreas desertificada
		Depósitos de areia e cascalho (Q2a)					

**Tabela 3-** Área (km<sup>2</sup>) referente as classes de FAP.

<b>Pesos / Fragilidade Potencial</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentagem (%)</b>
1 - Baixa	811,64	24
2 - Levemente Baixa	986,7	29
3 - Média	706,89	21
4 - Alta	73,76	2
5 - Extremamente Alta	837,85	24

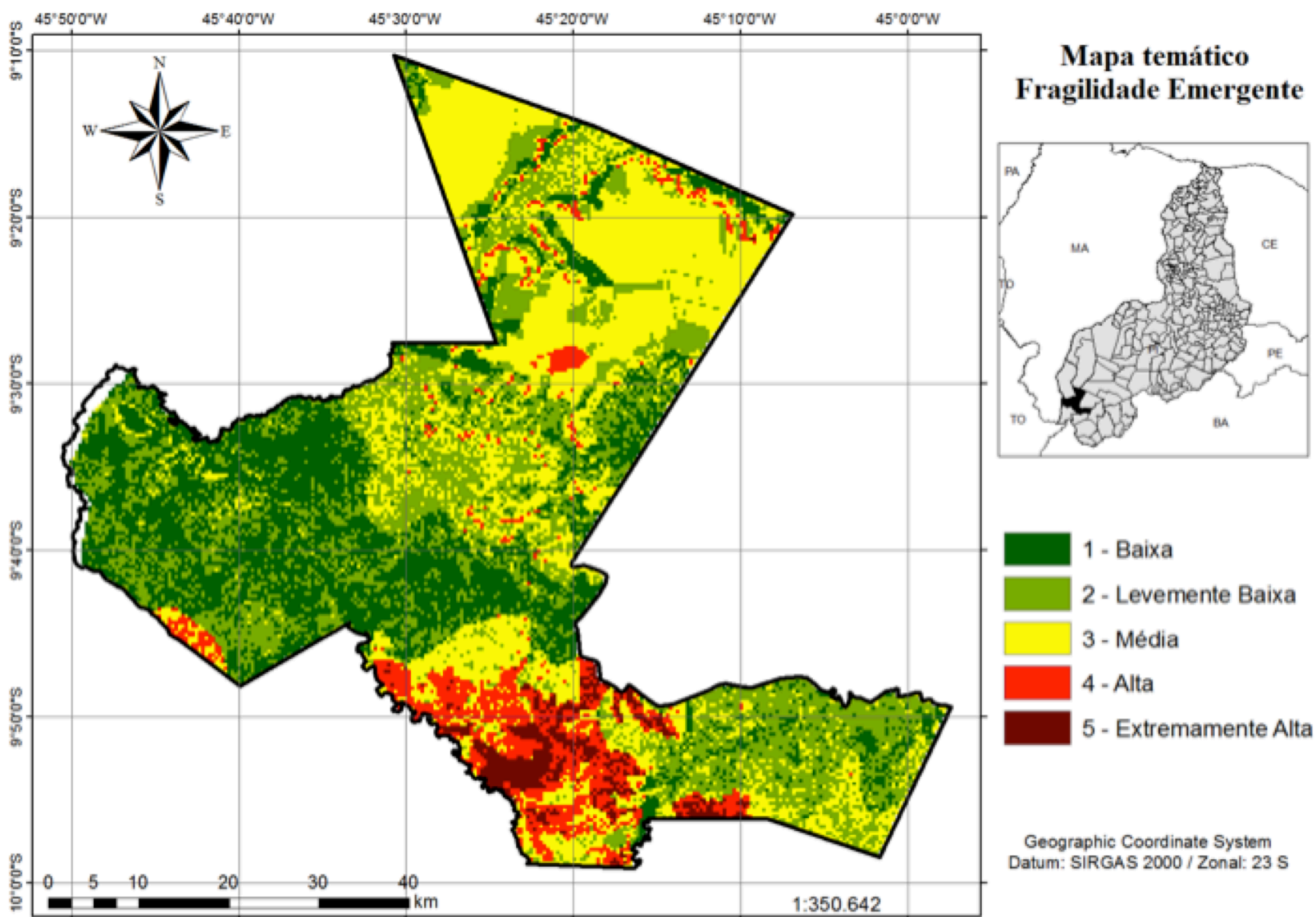
<b>TOTAL*</b>	3.416,84	100
---------------	----------	-----

\*A área total obtida pelo somatório da extensão referente a cada classe de fragilidade, não equivale exatamente a área oficial do município (3.495,18 km<sup>2</sup>), segundo IBGE (2016), devido a imprecisões na extensão geográfica dos vetores e imagens utilizados para as operações de mapeamento. Portanto, a área total aqui calculada, deve ser tomada como uma aproximação média.

Por outro lado, a porção Norte, correspondente a uma parte bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, possui elevada aptidão agrícola e florestal pois oferece um conjunto de condições físicas favoráveis (clima, solo e topografia) para atividades agropecuárias por meio de mecanização dos solos, fatores necessários e atrativos para de culturas comerciais de projetos latifundiários, como já observado por França et al. (2016). Observa-se, portanto, a correlação entre a intensidade do uso e ocupação do terreno e zonas de fragilidade baixa, destacando-se a porção Norte, com menor vulnerabilidade à degradação ambiental.

O mapa de FAE (Figura 5) resultado da associação do produto final de FAP (Figura 4), cobertura vegetal e Uso e Ocupação do Terreno (Figura 3), é uma carta final de áreas vulneráveis a degradação ambiental (física, química e biológica) com a perda de biodiversidade nas camadas superficiais do terreno e pelo lixiviamento de nutrientes. Importante ressaltar que a degradação pode ser exponencialmente potencializada devido a tendência da desertificação da região. A interpretação, considerando-se cada parâmetro individualmente e no contexto da análise conjunta multicriterial, indica que a fragilidade por parâmetro corroborou com a carta final de FAP.

A quantificação das áreas para cada classe de mapeamento é apresentada na Tabela 4. Áreas de *Alta* e *Extremamente Alta* fragilidade são estimadas em cerca de 486,45 km<sup>2</sup>, além de 963,2 km<sup>2</sup> de áreas de *média* fragilidade, estas, devem ser prioritárias no que concerne ao planejamento ambiental, uma vez que encontram-se em transição entre classes mais baixas e mais altas (Figura 5).



**Figura 5.** Mapa temático de Fragilidade Ambiental Emergente de Gilbués, Piauí.

**Tabela 4.** Área em km<sup>2</sup> referentes as classes de fragilidade emergente

<b>Pesos / Fragilidade Potencial</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
1 - Baixa	907,27	26
2 - Levemente Baixa	1.083,29	32
3 - Média	963,2	28
4 - Alta	360,4	10
5 - Extremamente Alta	126,05	4
<b>TOTAL</b>	<b>3.440,21</b>	<b>100</b>

Pela comparação entre os mapas FAP e FAE observa-se que áreas de vulnerabilidade *baixa* (FAP), quando considerado a ação antropogênica e cobertura vegetal (FAE), alteram-se para classe *média* de fragilidade, indicativo da necessidade de se considerar a susceptibilidade de uma área não apenas pelo mapeamento de fragilidade natural, mas também pelas influências das ações antrópicas na mudança da paisagem e potencialização dos riscos ambientais.

A comparação da fragilidade ambiental para classes *altas* e *extremamente alta*, permaneceram

correlatas e semelhantes em ambos mapas. Já as áreas consideradas como de média fragilidade no FAP apresentaram-se como *baixa* e *levemente baixa* no FAE, uma vez que neste considerou-se fragilidade quanto ao grau de proteção da vegetação, considerando-se as fitofisionomias do domínio vegetacional predominante.

Destaca-se que os fatores climáticos também podem contribuir com a degradação ambiental em Gilbués, uma vez que há na região, predominância de chuvas intenso-concentradas (dezembro, janeiro e fevereiro). Lopes e Soares (2016) destacam que enquanto em Cabrobó (Núcleo de Desertificação em Pernambuco), o índice pluviométrico é em torno de 500 mm anuais, em Gilbués, as chuvas são torrenciais e o índice é de cerca de 1.200 mm anuais. Desta forma, além da má distribuição anual de chuvas, há uma alta variabilidade interanual.

A compreensão do regime pluviométrico de Gilbués é de grande importância para entendimento dos processos erosivos na região, que somados a classes de solos também vulneráveis aos episódios de chuvas, potencializam o escoamento superficial, o que provoca a desagregação estrutural do solo. Portanto, grandes extensões do município apresentam áreas com fragilidade ambiental entre moderada, alta e extremamente alta.

Em termos de pluviosidade, a discussão realizada em diversos estudos sobre Gilbués (SILVA, 2013; SILVA, 2014; SILVA, 2016; LOPES, 2016), é que a precipitação influencia no impacto das gotas que podem fragmentar os solos frágeis, sobretudo em áreas de solo exposto, sem cobertura vegetal, desta forma, o escoamento superficial, além de expandir os processos erosivos, é responsável pelo carreamento e remoção de nutrientes do solo, responsável principalmente geração de mais problemas ambientais, tais como o assoreamento dos rios, conforme diagnosticado em campo (Figuras 6a, b).

Outros estudos, tais como de Crepani (2009), consideram que a problematização de Gilbués não tenha ligação direta com fatores climáticos, mas exclusivamente a atividades humanas nas últimas centenas de anos, caracterizadas pela alteração/retirada da cobertura vegetal que expõe um raro tipo de associação de solos, de alta fertilidade e pouca resistência à erosão, às severas condições regionais de concentração pluviométrica (alta intensidade pluviométrica) o que implica na exposição do embasamento rochoso sedimentar que, por sua vez, é responsável pela redução ou perda da fertilidade e da produtividade biológica ou econômica, sintomática da degradação de terras.



**Figura 6 a, b.** Trechos do rio Gurguéia em processos de assoreamento do leito hídrico, em Gilbués (Registro dos autores).

Ainda de acordo com estudo realizado por Crepani (2009), o Núcleo de Desertificação de Gilbués constitui-se em caso especial de degradação do solo, relacionado diretamente ao Grupo Areado da Bacia Sanfranciscana que ocorre apenas no extremo sul do Estado do Piauí e não se

repetirá fora dessa circunscrição. O mesmo acontece quando procura-se a associação de solos podzólicos (Argissolos Vermelhos, conforme atualização da EMBRAPA, 2011), que novamente se restringe apenas ao extremo sul do estado, na região de Gilbués. Portanto, a característica básica da degradação de solos no município de Gilbués é a ocorrência de área ocupada por rochas do Grupo Areado e coberta por solos de associação podzólica, características estas que devem ser observadas para o mapeamento de outras áreas sujeitas ao mesmo tipo de degradação. No Estado do Piauí afluam as rochas eocretáceas do Grupo Areado e as neocretáceas do Grupo Urucuia, além de coberturas arenosas inconsolidadas recentes de caráter eluvio-coluvionar da Formação Chapadão. As rochas do Grupo Urucuia sustentam os latossolos da Chapada das Mangabeiras (Norte do município), área de intensa atuação do agronegócio, e apresentam comportamento totalmente diferente daquele apresentado pelas rochas do Grupo Areado frente ao uso e ocupação da terra sob as severas condições da intensidade pluviométrica regional, não sofrendo a ação dos mesmos processos erosivos descritos para estas rochas.

Diante do exposto, a partir dos resultados de fragilidade ambiental apresentados neste estudo, sugere-se que a associação e combinação multicriterial deva ser o método mais recomendado para o estudo do Núcleo de desertificação de Gilbués, uma vez que, se comparado aos demais núcleos do país, apresenta características que não assemelha-se. Portanto, considera-se que além do total pluviométrico, deva ser considerado a interação de outros elementos, tais como aqueles aqui utilizados, na análise algébrica de combinação em ambiente SIG, como a litologia, pedologia, geomorfologia, hidrologia, cobertura vegetal e uso e ocupação do terreno (ecodinâmica da paisagem muito alterada por fatores antropogênicos). Todos estes elementos contribuem para a dinâmica e morfogênese da paisagem com o aparecimento de sulcos, ravinas, assoreamento dos corpos hídricos, desmoronamento de encostas, voçorocas, expansão de terrenos arenosos, desertificação, dentre outras problemáticas consideradas na fragilidade ambiental em Gilbués.

---

## 4. Conclusões

O mapeamento de Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente, como resultado da síntese deste estudo, mostrou-se eficiente quanto a adaptação multicriterial e resultados obtidos. Do ponto de vista da dinâmica natural, observou-se que o município de Gilbués apresenta uma tendência à degradação ambiental, com elevadas taxas de média e extremamente alta fragilidade. Estas foram potencializadas quando correlacionadas aos parâmetros que geraram a fragilidade emergente, considerando-se principalmente a ação antropogênica.

---

## Referências bibliográficas

- AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. P.; MATOS, A. T. "Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos". **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.124-130, 2001.
- BRASIL. **Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca - PAN-Brasil**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos, 2004.
- 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.
- CREPANI, E. O Núcleo de Desertificação de Gilbués observado pelo Sensoamento Remoto e pelo Geoprocessamento. In: **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, INPE. p. 5185-5192, 2009.
- EMBRAPA. "Brasil em Relevo". <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/mg/mg.htm>. (consultado 12-10-2016), (2016).
- ESRI - Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS 10.0: GIS by ESRI**. ESRI, 2013.

- FRANÇA, L.C.J.; LISBOA, G.S.; SILVA, J.B.L.; RODOLFO JÚNIOR, F.; MORAIS JÚNIOR, V.T.M.; CERQUEIRA, C.L. Suitability for agricultural and forestry mechanization of the Uruçuí-Preto River Hydrographic Basin, Piauí, Brazil. **Nativa**, v.4, n.4, p.238-243, 2016.
- FRANÇA, L.C.J.; SILVA, J.B.L.; LISBOA, G.S.; LIMA, T.P.; FERRAZ, F.T. Elaboração de Carta de Risco de Contaminação por Agrotóxicos para a Bacia do Riacho da Estiva, Brasil. **Floram: Floresta e Ambiente**. V.1. n.1, 2015.
- GALVÃO, A.L.C.O. **Caracterização geoambiental em região submetida aos processos de desertificação - Gilbués-PI, um estudo de caso**. Anais da Conferência Nacional da Desertificação, Fortaleza, 1994. Brasília, Fundação Esquel Brasil. p.79-167. 1994.
- GONÇALVES, G. G. G.; DANIEL, O.; COMUNELLO, E.; VITORINO, A. C. T.; ARAI, F. K. Determinação da Fragilidade Ambiental de Bacias Hidrográficas. **Floresta**, v.41, n.4, p.797-808, 2011.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2ª Edição, n.1, Rio de Janeiro, 2012.
- INSA - INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. **Áreas Susceptíveis à Desertificação**. Base cartográfica. IBGE-MMA, 2014.
- JÚNIOR, V. S. Q.; CABRAL, J.B.P.; ROCHA, I. R.; BARCELOS, A. A. Uso de geotecnologias na caracterização da fragilidade ambiental da bacia a UHE Foz do Rio Claro (GO). **Geofocus**, n.15, p. 193-212, 2015.
- LOPES, L. S. O.; SOARES, R.C. Susceptibilidade à desertificação das terras secas de Gilbués (Estado do Piauí) e Cabrobró (Estado do Pernambuco), Nordeste do Brasil. **Rev. Geográfica de América Central**, p. 307-323, nº 56, 2016.
- MANGANHOTTO, R. F.; SANTOS, L. J. C.; FILHO, P.C.O. Análise da fragilidade ambiental como suporte ao planejamento do ecoturismo em unidades de conservação: estudo de caso Flora de Iratí-PR. **Floresta**, Curitiba, PR. V.41, n.2, p.231-243, 2011.
- MASSA, E. M.; ROSS, J. L. S. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. **Revista do Departamento de Geografia – USP**. V. 24, p. 57-79, 2012.
- MILANI, E. J., RANGEL, H. D., BUENO, G. V., STICA, J. M., WINTER, W. R., CAIXETA, J. M.; NETO, O. P. Bacias sedimentares brasileiras: cartas estratigráficas. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, 15 (2) p. 183-205, maio/nov. 2007.
- PEREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A.M.B.; MEDEIROS, S.S.; TINÔCO, L.B.; SALCEDO, I.H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? **Parc. Estrat.** Brasília-DF, v.17, n.34, p.87-106, 2012.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P. de. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC. p. 89-166, 1998.
- 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.
- SALES, M. C. L. Degradação ambiental em Gilbués-Piauí. **Mercator**, 2 (04) 115-125, 2003.
- SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G. Análise da Fragilidade e Vulnerabilidade natural dos terrenos aos processos erosivos como base para o ordenamento territorial: o caso das bacias do córrego carioca, córrego do bação e ribeirão carioca na região do alto Rio das Velhas-MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.9, n.1, p. 65-73, 2008.
- SANTOS, R. M.; NÓBREGA, M. T.; PAIVA, R. G.; SILVEIRA, H. Análise da fragilidade ambiental no município de Tamboara-PR: Aplicação e Estudo comparativo de duas metodologias. **Geoambiente**, n.14, p. 93-120,2010.
- SANTOS, H. L., MARQUES JÚNIOR, J., MATIAS, S. S. R., SIQUEIRA, D.S.; MARTINS FILHO, M. V.



“Erosion factors and magnetic susceptibility in different compartments of a slope in Gilbués-PI, Brazil”. **Engenharia Agrícola**, 33(1), 64-74, 2013.

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. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v.20, n.1, p.464-473, 2016.

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, 2011.

SILVA, I. A. de S. **Clima e arenização em Gilbués-Piauí: dinâmica das precipitações e a vulnerabilidade da paisagem aos eventos pluviais intensos**. 184f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Goiás, Goiás.  
<http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tde/3036> (consultado 01-11-2016), 2014.

SILVA, I. A. de S. Degradação ambiental em Gilbués-PI: bases conceituais, condicionantes geoambientais e impactos na paisagem. **Revista Equador**, Vol.1, n.1, p. 14-29, 2013.

SILVA, I. A.D. Conflitos territoriais em Gilbués-PI: Desenvolvimento do Agronegócio e Degradação Ambiental. **Revista Tocantinense de Geografia**, Araguaína (TO), Ano 5, n.8, p.29-52, 2016.

SPORL, C.; ROSS, J.L.S. Análise comparativa da Fragilidade Ambiental com Aplicação de Três Modelos. **GEOUSP - Espaço e Tempo**. (15), 39-49, 2004.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE, Secretaria de Planejamento da Presidência da República, 1977.

VALERIANO, M. M.; ABDON, M. M. Aplicação de Dados SRTM a Estudos do Pantanal. **Rev. Brasileira de Cartografia**. v. 59. n.1, 63– 71, 2007.

---

1. Engenheiro Florestal, mestrando no Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM. E-mail: [lucianodejesus@florestal.eng.br](mailto:lucianodejesus@florestal.eng.br)

2. Geóloga, Professora no Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM. E-mail: [dpiuzana@yahoo.com.br](mailto:dpiuzana@yahoo.com.br)

3. Geógrafo, Professor Titular no Departamento de Geografia – FFLCH – Universidade de São Paulo – USP. E-mail: [juraross@usp.br](mailto:juraross@usp.br)

---

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015  
Vol. 38 (Nº 31) Año 2017

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](mailto:webmaster)]

©2017. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados