

FRAGILIDADE AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ, NORDESTE DO ESTADO DO PIAUÍ

SANTOS, Francílio de Amorim¹

Recebido (Received): 2017-07-01 Aceito (Accepted): 2017-12-07

Resumo

O estudo objetivou caracterizar o quadro físico-natural e analisar a fragilidade ambiental no município de Castelo do Piauí, considerando-se variáveis biofísicas (Declividade média (Dm), Erosividade das chuvas (R), Erodibilidade dos solos (K) e Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI)), com o propósito de subsidiar o planejamento ambiental. Empregou-se metodologia quantitativo-qualitativa e natureza descritiva, com levantamento bibliográfico e cartográfico para obtenção de dados das variáveis biofísicas e manuseio via SIG QGIS. Para cada variável definiram-se classes e respectivas notas. Em seguida procedeu-se a execução de álgebra de mapas para integração e análise da fragilidade ambiental na área estudada, partindo-se do pressuposto de que quanto maior o valor do índice para cada parâmetro, mais alta a fragilidade ambiental no município. Foi possível identificar que em 71% da área predomina a classe de alta a muito alta fragilidade ambiental, devido à ocorrência de relevo forte ondulado a montanhoso, baixa a moderada erosividade, presença de solos jovens e pouco desenvolvidos e cobertura vegetal com baixa capacidade de proteção. Enquanto que 29,1% da área exibe fragilidade ambiental moderada, oriunda de relevo plano a suave ondulado, baixa a moderada erosividade e erodibilidade dos solos e cobertura vegetal com moderada a alta atividade fotossintética.

Palavras-chaves: Área Suscetível à Desertificação. Variáveis Ambientais. Geoprocessamento.

ENVIRONMENTAL FRAGILITY IN THE MUNICIPALITY OF CASTELO DO PIAUÍ, in the NORTHEAST OF THE STATE OF PIAUÍ

Abstract

The objective of this study was to characterize the physical-natural environment and to analyze the environmental fragility of Castelo do Piauí city, considering biophysical variables (mean slope(Dm), rainfall erosivity (R), soil erodibility (K) and soil-adjusted vegetation index (SAVI)), with the purpose of subsidizing the environmental planning. Quantitative-qualitative methodology and descriptive nature were used, with a bibliographical and cartographic survey to obtain biophysical variables data using GIS QGIS. For each variable, classes and respective grades were defined. Next, we have performed map algebra to integrate and analyze the environmental fragility in the studied area, starting from the assumption that, the bigger the index value is for each parameter increased, the higher is the environmental fragility in the municipality. It was possible to identify that in 71% of the area prevails the high to the very high environmental fragility class, due to the occurrence of strong relief to hilly, low to moderate erosivity, the presence of young and underdeveloped soils, and vegetation cover with low protection capacity. While 29.1% of the area exhibits moderate environmental fragility, originated from flat relief to smooth corrugation, low to moderate erosivity and erodibility of soils and vegetation cover with moderate to high photosynthetic activity.

Key words: Area Susceptible to Desertification. Environmental Variables. Geoprocessing.

FRAGILIDAD AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE CASTELO DO PIAUÍ, NORDESTE DEL ESTADO DEL PIAUÍ (BRASIL)

Resumen

El estudio tiene como objetivo caracterizar el cuadro físico-natural y analizar la fragilidad ambiental en el municipio de Castelo do Piauí, considerando variables biofísicas (declividad media (Dm), escurrimiento

¹ Doutorando em Geografia (UECE). Docente do Instituto Federal do Piauí – Campus Piripiri. E-mail: francilio.amorim@ifpi.edu.br

superficial (R), erosión de los suelos (K) e índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI)), con el propósito de subsidiar la planificación ambiental. Se empleó metodología cuantitativa-cualitativa y naturaleza descriptiva, con levantamiento bibliográfico y cartográfico para la obtención de datos de variables biofísicas y manejo a través del SIG QGIS. Para cada variable se definieron clases con sus respectivas notas. Seguidamente se procedió a la ejecución del álgebra de mapas para la integración y el análisis de la fragilidad ambiental en el área estudiada, partiendo del supuesto que cuanto mayor sea el valor del índice para cada parámetro, más alta será la fragilidad ambiental en el municipio. Fue posible identificar que en el 71% del área predomina la clase de alta a muy alta de fragilidad ambiental, debido a la presencia de relieve fuertemente ondulado a montañoso, de baja a moderada erosividad, presencia de suelos jóvenes y poco desarrollados y cobertura vegetal con baja capacidad de protección. Mientras que el 29,1% del área exhibe fragilidad ambiental moderada, propia de relieve plano a suavemente ondulado, de baja a moderada erosividad y erosión de los suelos y cobertura vegetal de moderada a alta actividad fotosintética.

Palabras clave: Área susceptible a la desertificación. Variables Ambientales. Geoprocesamiento.

1 Introdução

A compreensão da dinâmica que perpassa os elementos que compõem o quadro físico-natural da paisagem exhibe significativa importância, quando se considera o planejamento ambiental. Nesse contexto, a abordagem sistêmica apresenta singular importância, notadamente, no que tange ao conhecimento integrado das distintas variáveis biofísicas. Nessa lógica, é possível identificar potencialidades e fragilidades naturais emergentes e, por conseguinte, proceder ao uso racional dos recursos de determinada área.

É notório que as atividades humanas, quando realizadas sem o devido planejamento, considerando, sobretudo, o conhecimento das variáveis ambientais, promovem significativas transformações nas paisagens. Desse modo, Ross (1993) destaca que as ações que impactam o ambiente necessitam de planejamento físico territorial, numa perspectiva ambiental e socioeconômica, tomando como base as potencialidades dos recursos naturais e humanos e as fragilidades ambientais.

Nessa perspectiva, Guapyassú e Hardt (1998) asseveram que para conhecer a fragilidade de uma determinada área devem-se envolver certos atributos e elementos característicos dos ecossistemas de forma integrada visando uma percepção do conjunto. Spörl e Ross (2004) apontam que a identificação de ambientes naturais, suas fragilidades potenciais e emergentes, possibilita visualizar variáveis para definição de diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, configurando elementos essenciais para o zoneamento e subsídio à gestão do território.

A identificação das fragilidades torna-se de suma importância, principalmente quando se considera a elaboração de planejamento ambiental em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, tendo em vista que sua dinâmica ambiental natural aponta suscetibilidade ao processo de desertificação. Esta pode ser compreendida como “[...] a degradação do solo em áreas áridas,

semi-áridas e subúmidas secas, resultante de diversos fatores, inclusive de variações climáticas e de atividades humanas” (BRASIL, 1995, p.149).

Inserir-se nesse contexto o município de Castelo do Piauí apontado, de acordo com os estudos de Aquino (2002) e Santos e Aquino (2015), como possuidor de um quadro físico-natural que configura fragilidades ambientais emergentes. Desse modo, tornou-se necessário e oportuno a realização do presente estudo tomando como base o uso de variáveis biofísicas, partindo da proposta metodológica de Ross (1993).

A citada metodologia apresenta grande valia, tendo em vista que integra diversas variáveis da dinâmica ambiental, voltando-se notadamente para conhecimento do meio e criando a possibilidade de realização de adequado planejamento ambiental. A referida proposta tem sido adaptada e aplicada em diversos estudos, dentre eles destacam-se: Calijuri *et al.* (2007); Amaral e Ross (2009); Maganhotto *et al.* (2011); Ávila e Medeiros (2014). O presente estudo, também, buscou adaptar a proposta considerando os dados disponíveis para realização do estudo.

Desse modo, pode-se inferir que o conhecimento dos níveis de declividade em uma área constitui elemento fundamental, visto que quando associada à tipologia dos solos e à cobertura vegetal permitem identificar a velocidade de escoamento, infiltração, umidade do solo e armazenamento de água no subsolo (PINHEIRO, 2011). Por sua vez, a erosividade das chuvas (R) está relacionada à quantidade de solo perdido em relação aos totais pluviométricos (LOMBARDI NETO; PASTANA, 1972).

Por meio da erodibilidade dos solos (K) é possível medir a suscetibilidade dos solos ao desprendimento e transporte pelos agentes de erosão (LAL; ELLIOT, 1994). Uma das variáveis mais importantes e que merece análise diz respeito à cobertura vegetal, que nesse estudo considerou o SAVI. Este considera os efeitos do solo exposto em imagens de satélite, a partir do ajuste do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) quando a superfície não está totalmente recoberta pela vegetação (BORATTO; GOMIDE, 2013) e, de acordo com Braz *et al.* (2015) e Viganó *et al.* (2011), exibe produtos mais confiáveis ao destacar melhor a vegetação.

Diante da demanda pelo conhecimento integrado das fragilidades ambientais e uso adequado dos recursos naturais, o presente estudo objetivou caracterizar o quadro físico-natural e analisar a fragilidade ambiental no município de Castelo do Piauí, considerando-se variáveis biofísicas (Declividade média (Dm), Erosividade das chuvas (R), Erodibilidade dos solos (K)

e Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI)), com o propósito de subsidiar o planejamento ambiental.

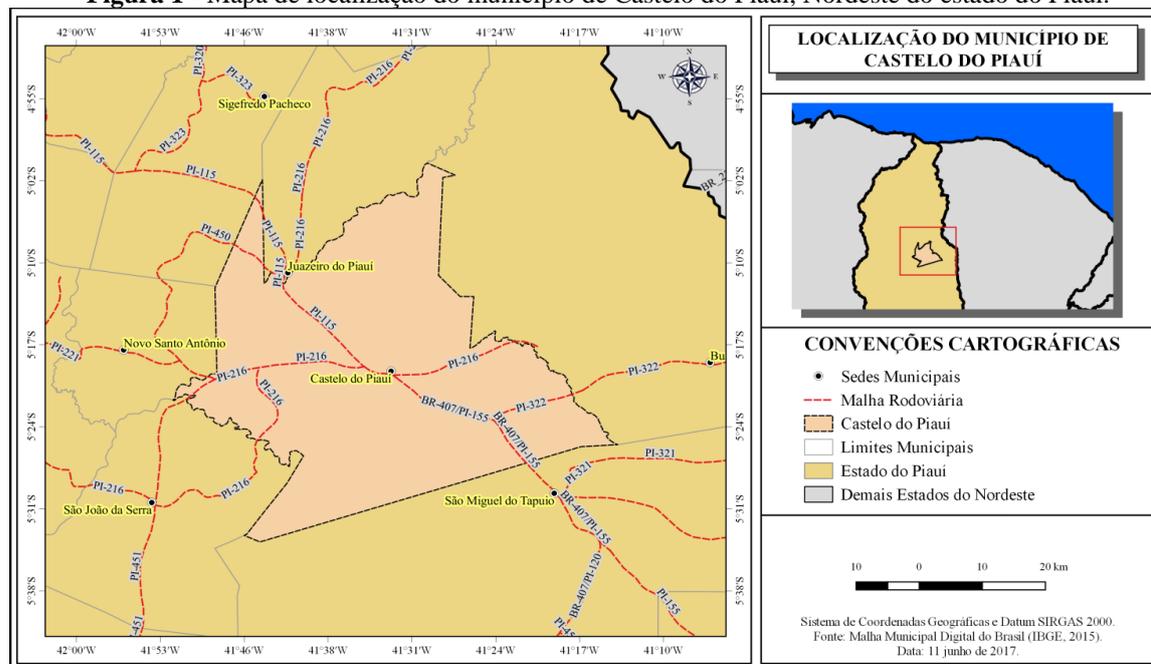
2. Materiais e métodos

2.1 Localização e caracterização da área em estudo

O estudo ora apresentado foi realizado no município de Castelo do Piauí, este localizado no Território de Desenvolvimento dos Carnaubais PIAUÍ (2006). O referido município exibe área de 2.035,2 km², cuja sede municipal está situada às Coordenadas Geográficas: 05°19'19"S e 41°33'10"O (**Figura 1**) e dista 184 km da capital do estado, Teresina (AGUIAR; GOMES, 2004).

A área em estudo está assentada sobre formações geológicas de cronologia Paleocenoica, a saber: Formação Cabeças, sendo a mais extensa abrangendo 1.408,4 km² (69,2%) da área; seguida pela Formação Pimenteiras, os Depósitos Colúvio-Eluviais, o Grupo Serra Grande e a Formação Longá que foram identificadas, respectivamente, em 305,3 km² (15%), 291 km² (14,3%), 22,4 km² (1,1%) e 8,1 km² (0,4%) da área do município (CPRM, 2006). O relevo apresenta cota altimétrica que variam de 180 a 300 m (SANTOS; AQUINO, 2015).

Figura 1 - Mapa de localização do município de Castelo do Piauí, Nordeste do estado do Piauí.



Fonte: IBGE (2015).

Castelo do Piauí é drenado pelos rios Poti, Cais e São Miguel e, ainda, os riachos São Francisco, Palmeira, Cangalhas e Boa Ventura (AGUIAR; GOMES, 2004). A área em estudo encontra-se sob influência direta da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e apresenta tipos climáticos que oscilam entre o subúmido úmido (28,6%), subúmido seco (64,7%) ao semiárido (6,7%), com totais pluviométricos anuais médios situando-se entre 1006,1 a 1160,0 mm, que se concentram em 4 a 5 meses, particularmente entre janeiro a maio (SANTOS; AQUINO, 2015).

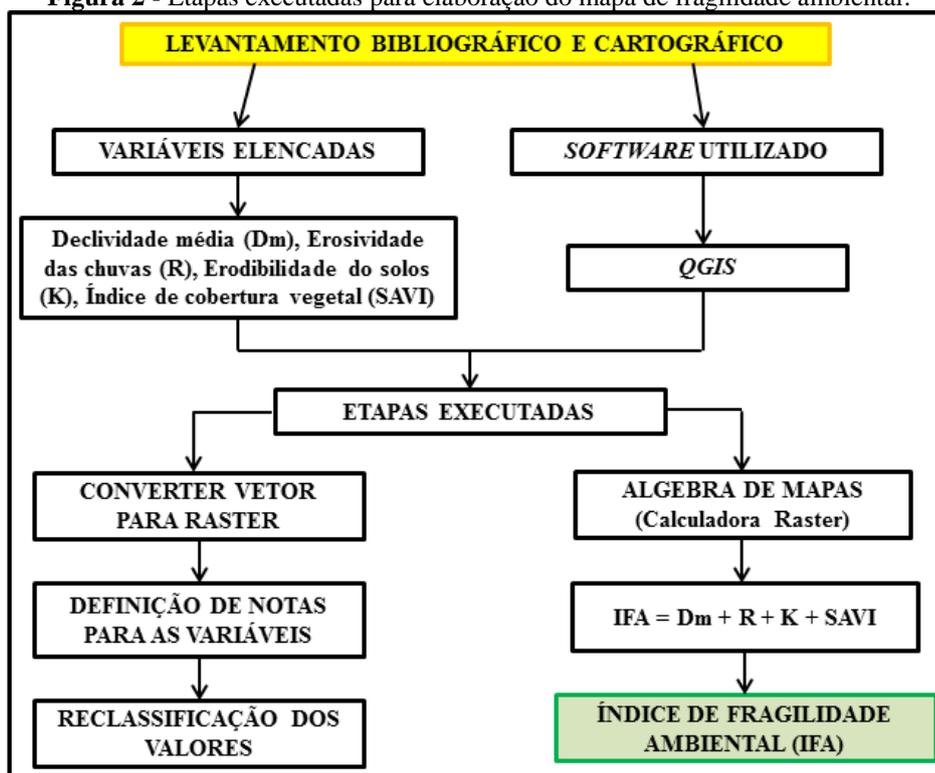
No município foram identificadas 4 ordens de solos, quais sejam: os Neossolos, que predominam na área e distribuem-se por 66%; os Latossolos que ocupam 27,7% do município; os Plintossolos e Planossolos que se distribuem por 3,6% e 2,7% da área do município estudado, respectivamente (INDE, 2014).

2.2 Procedimentos técnico-operacionais

Nessa pesquisa foi empregada metodologia quantitativo-qualitativa, tendo em vista que se buscou quantificar a coleta de dados, bem como análise e interpretação desses dados. Por sua vez, quando ao objetivo a pesquisa exibiu natureza descritiva, posto que tenha proposto analisar a fragilidade ambiental no município de Castelo do Piauí.

Inicialmente, realizou-se levantamento bibliográfico e cartográfico com o propósito de reunir informações acerca das variáveis biofísicas. Esse levantamento foi realizado junto à Agência Nacional de Águas (ANA), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Infraestrutura de Dados Espaciais (INDE) e *United States Geological Service (USGS - Serviço Geológico dos Estados Unidos)*. Os arquivos matriciais e vetoriais foram manuseados e refinados via ferramentas do Sistema de Informação Geográfica (SIG) *QuantumGIS (QGIS)*, versão 2.14. Destaca-se que para cada variável foram definidos classes e respectiva nota, com o propósito distinguir os níveis de fragilidade ambiental na área estudada. As etapas executadas para a elaboração do mapa de fragilidade ambiental estão dispostas na **Figura 2**.

Figura 2 - Etapas executadas para elaboração do mapa de fragilidade ambiental.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Ressalta-se que foi álgebra de mapas via SIG *QGIS* para integração e análise da fragilidade ambiental em Castelo do Piauí, conforme proposto na **Equação 1**. Destaca-se que quanto maiores os valores dos índices de cada parâmetro, mais alta a fragilidade ambiental que o município.

$$\begin{aligned}
 IFA &= Dm + R + K \\
 &+ SAVI
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Onde:

IFA = Índice de fragilidade ambiental;

Dm = Declividade média;

R = Erosividade das chuvas;

K = Erodibilidade dos solos;

SAVI = Índice de Vegetação Ajustado ao Solo.

As classes do IFA variaram de 1 a 5, sendo que quanto mais próximo a 1 menor a fragilidade ambiental e vice-versa, a saber: 1 - muito baixa; 2 - baixa; 3 - moderada; 4 - alta; 5 - muito alta. Diante do exposto, as variáveis utilizadas e os procedimentos executados para aquisição e manuseio dos arquivos vetoriais e matriciais serão mais bem detalhados a seguir.

2.2.1 Declividade média (Dm)

A identificação das classes de declividade do relevo baseou-se no Modelo Digital de Elevação (MDE), que foram obtidos a partir da missão *SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission)*, distribuídos gratuitamente no *site* do *USGS* <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Para essa variável foram estabelecidas notas para as 5 classes de declividade (**Tabela 1**), considerando-se a proposta de classificação adotada pela Empresa Brasileira de Agropecuária (EMBRAPA, 2009).

Tabela 1 - Intervalos da Declividade média (Dm), classes de relevo, notas e classes de suscetibilidade.

Intervalos de Dm (%)	Classes de relevo	Notas	Classes de fragilidade ambiental
0 a 3	Plano	1	Muito baixa
3 a 8	Suave Ondulado	2	Baixa
8 a 20	Ondulado	3	Moderada
20 a 45	Forte Ondulado	4	Alta
45 a 75	Montanhoso	5	Muito alta

Fonte: EMBRAPA (2009). Adaptado pelo autor (2017).

2.2.2 Erosividade das chuvas (R)

Procedeu-se à triagem e aquisição de dados de 5 postos pluviométricos (Tabela 2), junto ao *site* da Agência Nacional de Águas (ANA), a partir de série histórica de 39 anos (1963 a 2001).

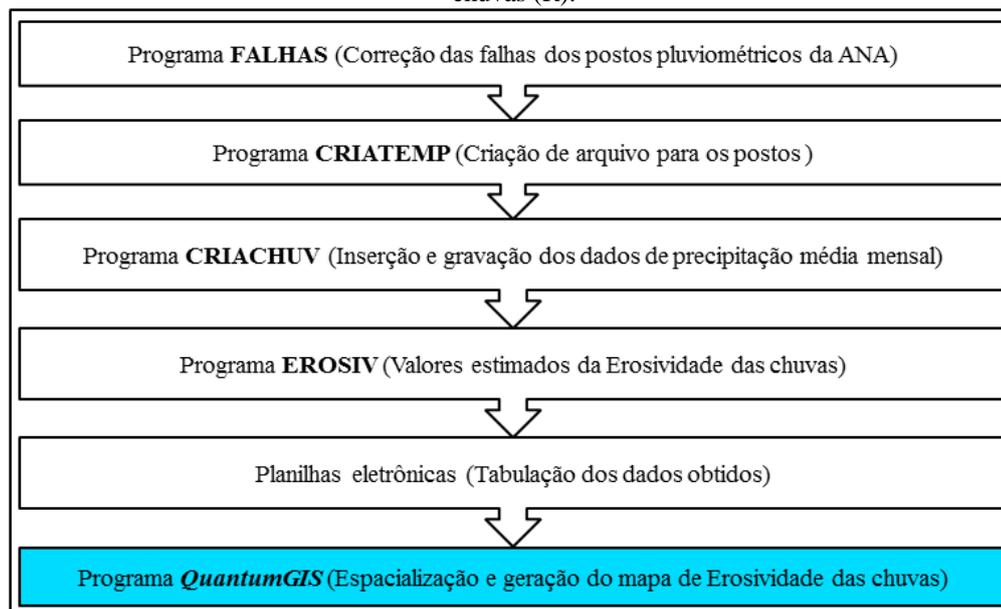
Tabela 2 - Características dos postos pluviométricos utilizados no estudo.

Nome do Posto	Município	Latitude	Longitude	Altitude
Castelo do Piauí	Castelo do Piauí	-05 20 0.00	-41 34 0.00	250 m
Fazenda Boa Esperança	Castelo do Piauí	-05 13 2.90	-41 44 1.30	120 m
Pajeú	Campo Maior	-05 03 0.00	-41 58 0.00	140 m
São João da Serra	São João da Serra	-05 30 0.00	-41 55 0.00	120 m
Retiro	Pedro II	-04 40 0.00	-41 28 0.00	530 m

Fonte: ANA (2017).

Posteriormente, foram realizadas as correções das falhas da série histórica via técnica de ponderação regional proposta por Tucci (1993) no pacote de programas USUAIIS, conforme sugestões de Oliveira e Sales (2016). As etapas utilizadas para manuseio dos dados de precipitação e posterior estimativas do fator Erosividade das chuvas (R) estão dispostas abaixo (**Figura 3**).

Figura 3 - Etapas executadas para manuseio dos dados de precipitação e estimativa da Erosividade das chuvas (R).



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

No que tange ao fator R utilizou-se método indireto, conforme **Equação 2**, sugerida por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), cuja estimativa tem relativa precisão para os valores de R considerando longos períodos. A referida equação baseia-se em regressão linear entre o índice médio mensal de erosão e o coeficiente de chuva.

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

Onde:

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

r = precipitação média mensal em mm;

P = precipitação média anual em mm.

Os valores obtidos foram organizados em planilhas eletrônicas e especializados via ferramentas *QGIS*, por meio do método de interpolação IDW (peso pelo inverso da distância). Posteriormente, o arquivo passou por processo de fatiamento considerando-se a diferença entre o maior e o menor valor, resultando em 3 classes de intervalos de igual amplitude (**Tabela 3**). O modelo IDW foi selecionado devido apresentar manuseio fácil e boa compreensão dos resultados, tendo em vista que se baseia em dependência espacial, ou seja, quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores.

Tabela 3 - Intervalos de Erosividade das chuvas (R) com respectivas classes de fragilidade ambiental correspondente a cada nota.

Amplitude de R (MJ.mm/ha.h.ano)	Notas	Classe de fragilidade ambiental
7.073,0 a 7.197,6	2	Baixa
7.197,6 a 7.321,9	3	Moderada
7.321,9 a 7.446,3	4	Alta

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

2.2.3 Erodibilidade dos solos (K)

Após a identificação das ordens de solos, aplicou-se a proposta metodológica de Crepani *et al.* (2001) para estimar as classes do fator K. Ressalta-se que a referida proposta considera o nível de desenvolvimento ou maturidade dos solos como forma de estimar o fator K. Desse modo, Foram definidas 3 classes e notas para o fator K no que se refere aos solos encontrados em Castelo do Piauí, conforme exposto na Tabela 4.

Tabela 4 - Intervalos de Erodibilidade dos solos (K), com classes de fragilidade ambiental e respectivas notas.

Ordens de solos	Notas	Classe de fragilidade ambiental
Latossolos	2	Baixa
Planossolos	3	Moderada
Neossolos e Plintossolos	5	Muito alta

Fonte: Crepani *et al.* (2001). Adaptado pelo autor (2017).

2.2.4 Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)

Para a elaboração do mapa de índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) foi adquirida uma imagem do satélite *Landsat 8 OLI*, junto ao *USGS*, via *site* <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. A imagem possui as seguintes características: órbita/ponto 218/64, data de passagem de 17 de agosto de 2016, resolução de 30 metros. A seleção da data da imagem deu-se pelo fato de o mês em questão apresentar menor quantidade de nuvens e, também, devido a possibilidade de melhor visualização das classes de fisionomia da cobertura vegetal.

A imagem selecionada passou por processo de conversão geométrica e radiométrica (16 para 8 bits) por meio das ferramentas do SIG *QGIS*. Posteriormente, foi aplicada a **Equação 3** do SAVI, que analisa os efeitos do solo exposto na imagem, considerando-se o ajuste do índice de vegetação pra diferença normalizada (NDVI), quando a superfície não está totalmente recoberta pela vegetação (BORATTO; GOMIDE, 2013).

$$SAVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L)} * (1 + L) \quad (3)$$

Onde:

L corresponde a uma constante chamada de fator de ajuste do índice SAVI, que nesse estudo assumiu o valor de 0,5, aplicado à vegetação com densidade intermediária.

O processo de fatiamento do SAVI resultou em 4 classes, que estão relacionadas a solo exposto e a cobertura vegetal que varia de baixa a alta atividade fotossintética, conforme está apresentado na **Tabela 5**. As classes de fatiamento foram as que melhor representaram a cobertura vegetal encontrada na área em estudo, visto que atividade fotossintética no município estudado está diretamente atrelada à vegetação do tipo caatinga arbustiva e arbórea.

Tabela 5 - Intervalos do SAVI, classes de fisionomia da cobertura vegetal, com notas e respectivas classes de fragilidade ambiental.

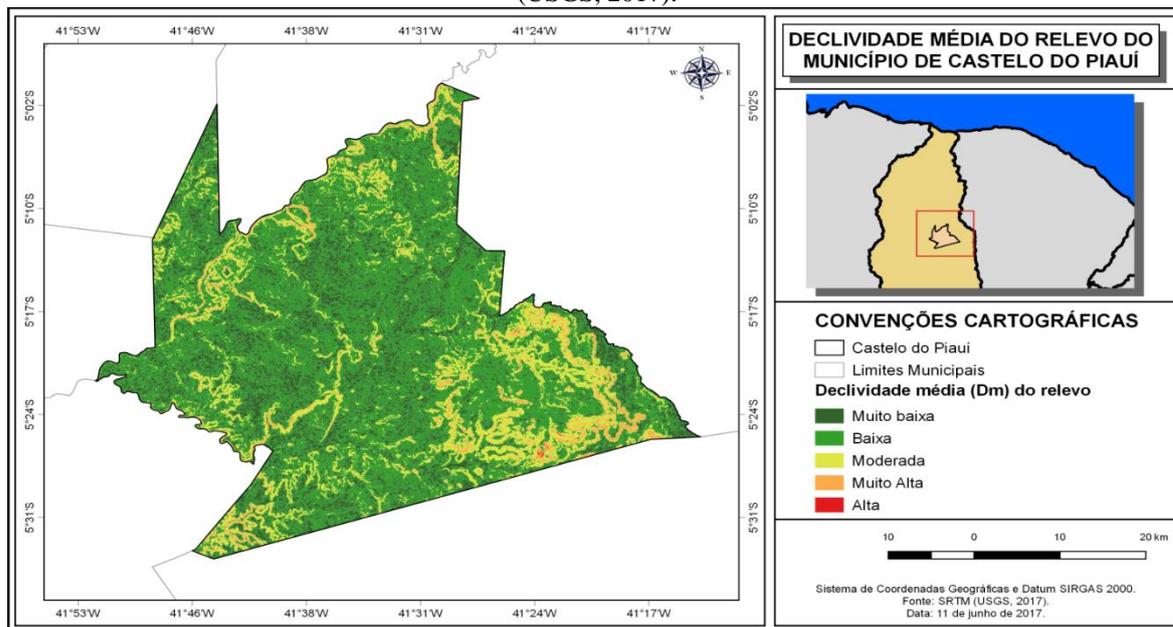
Intervalos do SAVI	Classes de fisionomia da cobertura vegetal	Notas	Classes de fragilidade ambiental
> 0,5 a 0,7	Vegetação com alta atividade fotossintética	1	Baixa
> 0,3 a 0,5	Vegetação com moderada atividade fotossintética	2	Moderada
> 0,1 a 0,3	Vegetação com baixa atividade fotossintética	3	Alta
> 0 a 0,1	Solo exposto	4	Muito alta

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

3 Resultados e discussão

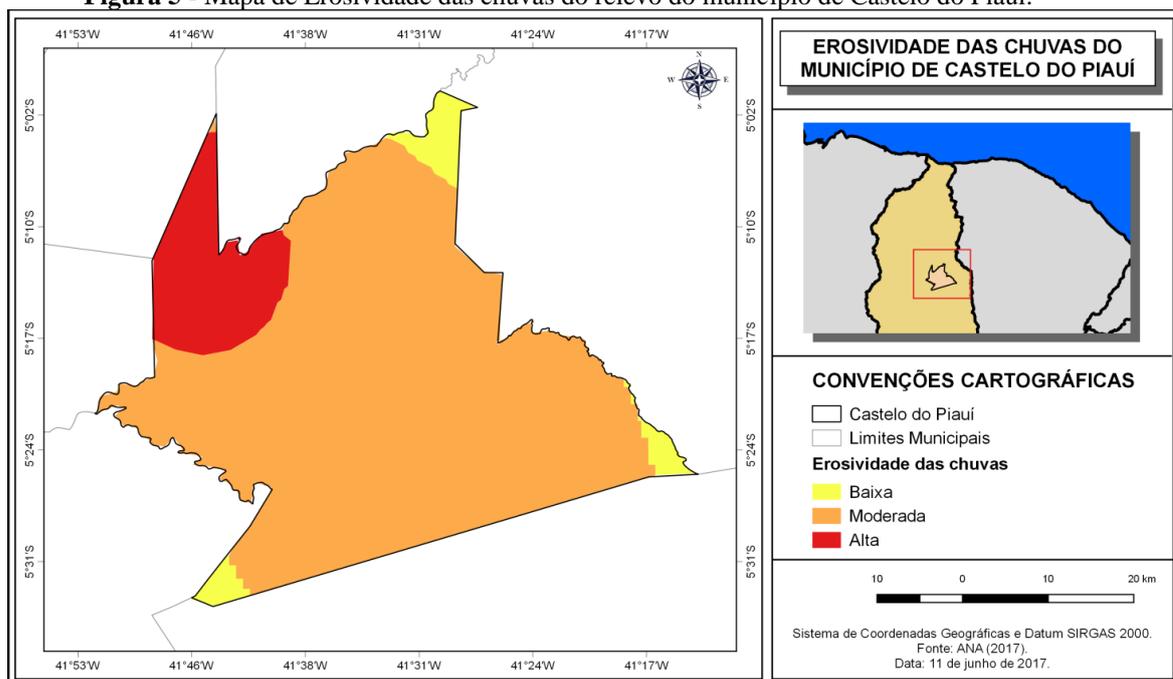
O município de Castelo do Piauí destaca-se pela presença de relevo com preponderância de relevo com formas tabulares e ainda aqueles dissecados em forma de colinas. No que diz respeito à fragilidade ambiental o município exibe predomínio de classes de declividade muito baixa a baixa, particularmente em aproximadamente 80,3% de sua área, que se deve à presença de relevo plano a suave ondulado (**Figura 4**). Por outro lado, aproximadamente 3% do relevo na área apresenta alta a muito alta fragilidade, o que está atrelado à declividade forte ondulado a montanhoso, que dizem respeito às vertentes das principais formações geológicas, a exemplo da Serra Grande.

Figura 4 -Mapa de Declividade média do relevo do município de Castelo do Piauí. Fonte: *SRTM* (USGS, 2017).



Em relação ao fator R o município estudado possui 84,1% de sua área com erosividade moderada. Ao passo que as classes de baixa e alta erosividade ocupam 4,3% e 11,6% desse município, respectivamente (**Figura 5**). É preciso destacar que o fator R sofre influência dos volumes pluviométricos, que na área concentram-se em 4 a 5 meses ao longo do ano e, como tal, merece especial atenção no que tange às práticas das atividades humanas.

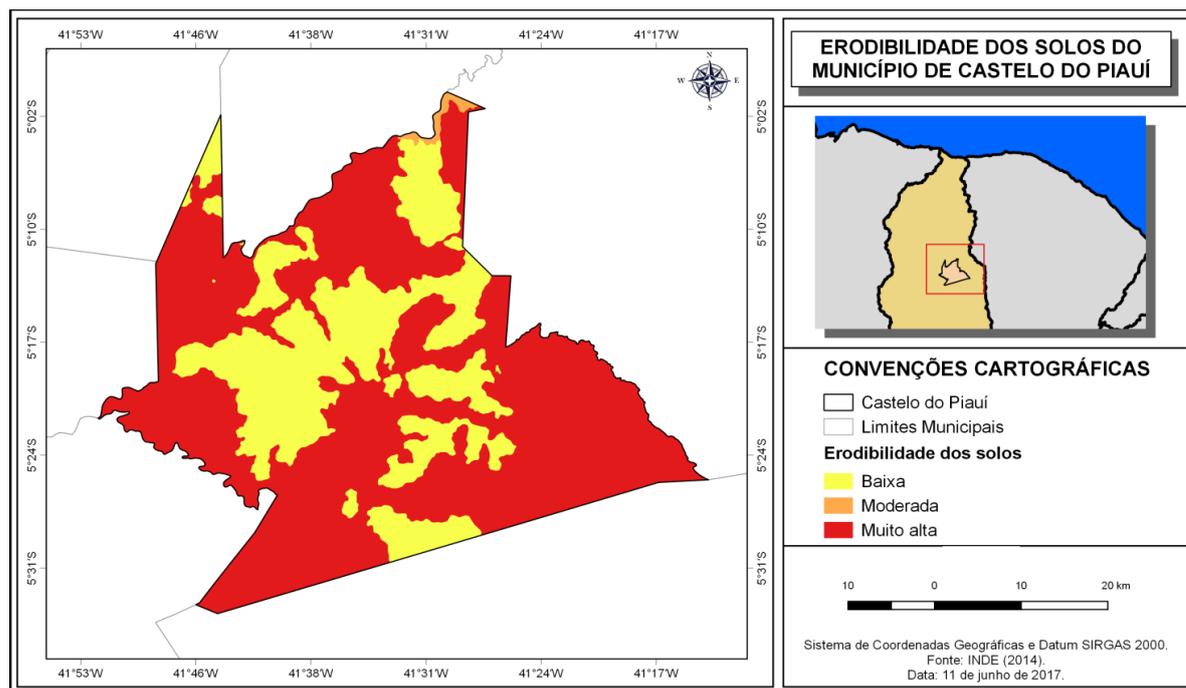
Figura 5 - Mapa de Erosividade das chuvas do relevo do município de Castelo do Piauí.



Fonte: ANA (2017).

As ordens de solos identificadas na área em estudo evidenciam predomínio da classe de muito alta fragilidade ambiental, identificada em 69,5% da área estudada (**Figura 6**), que estão vinculados à presença de solos jovens e poucos desenvolvidos, tais como os Neossolos Litólicos e os Neossolos Quartzarênicos. Em 29,9% e 0,5% da área constatou-se a ocorrência de solos com baixa fragilidade ambiental (Latosolos) e moderada fragilidade (Planossolos).

Figura 6 - Mapa de Erodibilidade dos solos do município de Castelo do Piauí.

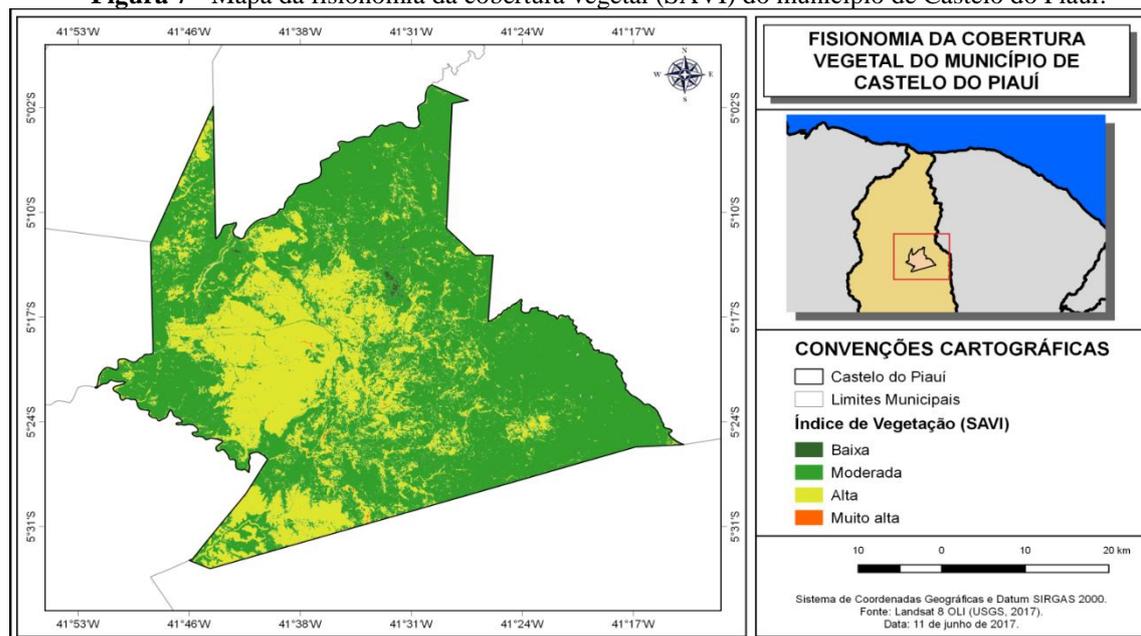


Fonte: INDE (2015).

Os solos em Castelo do Piauí estão recobertos por vegetação com predomínio de moderada atividade fotossintética, identificada em 70,4% do município estudado, que diz respeito à vegetação do tipo caatinga arbórea (**Figura 7**). A classe de menor fragilidade ambiental está atrelada à vegetação do tipo cerrado, que ocupa 0,4% da área estudada, enquanto as classes de maior fragilidade (alta e muito alta) distribuem-se, respectivamente, por 29,1% e 0,1%, exibindo fisionomia do tipo caatinga arbustiva aberta e solo exposto.

Deve-se enfatizar que uma maior atividade fotossintética indica maior absorção de radiação solar e, por conseguinte, maior produtividade de biomassa nas plantas, gerando uma maior proteção aos solos. Em áreas onde não há cobertura vegetal ou a mesma ocorre de forma espaçada o solo fica desprotegido e, por conseguinte, suscetível aos processos erosivos.

Figura 7 - Mapa da fisionomia da cobertura vegetal (SAVI) do município de Castelo do Piauí.

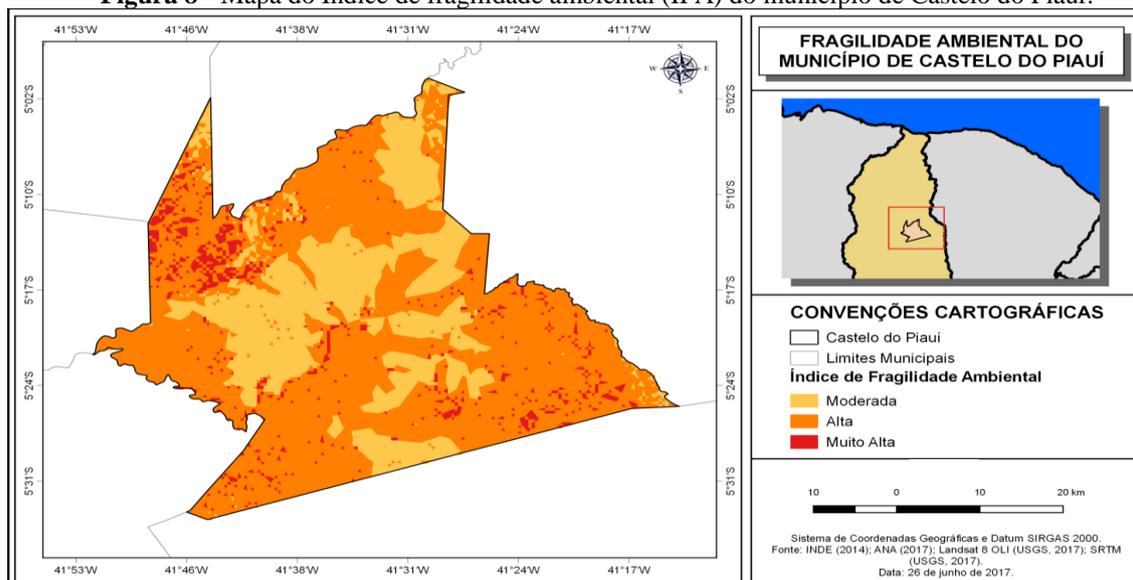


Fonte: Imagens *Landsat 8 OLI* (USGS, 2017).

Por meio de álgebra de mapas foi possível identificar que na área estudada predomina a classe de alta a muito alta fragilidade ambiental (**Figura 8**), encontrada em 71% desse município que se deve, principalmente, à presença de relevo forte ondulado a montanhoso, baixa a moderada erosividade, presença de solos jovens e pouco desenvolvidos que geram muito alta erodibilidade, notadamente, os Neossolos, que são recobertos por vegetação com baixa capacidade de proteção, particularmente caatinga arbustiva aberta. Por outro lado, em 29,1% ocorre fragilidade ambiental moderada, oriunda da integração do relevo plano a suave ondulado, ocorrência de baixa a moderada erosividade e erodibilidade dos solos e cobertura vegetal com moderada a alta atividade fotossintética.

As informações apresentadas indicam necessidade de desenvolver atividades econômicas à luz de adequado de planejamento e gestão ambiental em Castelo do Piauí, tendo em vista que nesse município prevalece alta a muito alta fragilidade ambiental, proveniente de relevo forte ondulado a montanhoso, erosividade e erodibilidade altas, solos jovens e pouco desenvolvidos e cobertura vegetal com baixa capacidade de proteção.

Figura 8 - Mapa do Índice de fragilidade ambiental (IFA) do município de Castelo do Piauí.



4 Conclusões

Por meio do estudo foi possível identificar as áreas com maior fragilidade ambiental em Castelo do Piauí. Ao passo que as características ambientais exprimem formações geológicas de natureza sedimentar, e drenagem cujo principal rio é o Poti. Os elementos climáticos, por sua vez, recebem influência da ZCIT e concentração pluviométrica em 4 a 5 meses do ano. Digase, também, que ocorrem no município solos predominantemente jovens e pouco desenvolvidos.

A integração das informações acerca das variáveis biofísicas, por meio do SIG *QGIS*, indicou predominância das classes alta a muito de fragilidade ambiental, em 71% do município estudado, devido à presença de relevo forte ondulado a montanhoso, ocorrência de erosividade e erodibilidade altas, solos jovens e pouco desenvolvidos e cobertura vegetal com baixa capacidade de proteção. Desse modo, sugerindo-se atenção espacial a essas áreas, notadamente no que tange ao desenvolvimento de atividades humanas compatíveis com a fragilidade desse ambiente.

Por outro lado, em 29,1% foi identificada fragilidade ambiental moderada, oriunda da existência de relevo plano a suave ondulado, presença de baixa a moderada erosividade e erodibilidade, além de cobertura vegetal com moderada a alta atividade fotossintética. Entretanto, mesmo com a indicação de que esses elementos sugerem moderada fragilidade, deve-se buscar desenvolver atividades econômicas em observância às limitações desse ambiente.

A integração de variáveis biofísicas como subsídio ao desenvolvimento de planejamento e gestão ambiental evidenciada pelo estudo expõe uma necessidade fundamental para uso adequado

dos recursos naturais, notadamente em Castelo do Piauí, que é considerada uma área suscetível à desertificação. Contudo, os dados aqui apresentados não esgotam a necessidade de estudos posteriores, particularmente para atualização e uso de dados em escala mais próxima da realidade.

5 Referências

AGUIAR, R.B.; GOMES, J.R.C. (Org.). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí**: diagnóstico do município de Castelo do Piauí. – Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2004.

AMARAL, R.; ROSS, J.L.S.R. As unidades ecodinâmicas na análise da fragilidade ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e entorno, Teodoro Sampaio/SP. GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, n. 26, p.59-78, 2009.

ANA - Agência Nacional de Águas. Hidro Web - Sistema de Informações Hidrológicas. **Séries históricas – ano de 1963 a 2001**. Disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em 14 de maio de 2017.

AQUINO, C.M.S. **Suscetibilidade Geoambiental das terras do Estado do Piauí à Desertificação**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Programa Regional de Pós-Graduação / Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE. 2002.

ÁVILA, G.G.; MEDEIROS, P.H.A. Susceptibilidade à erosão e vulnerabilidade da caatinga aos processos erosivos na ESEC de Aiuaba - CE. **Conex. Ci. e Tecnol.**, Fortaleza/CE, v. 8, n. 2, p.48-56, jul. 2014

BORATTO, I.M.P.; GOMIDE, R.L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XVI, Foz do Iguaçu - PR, **Anais...** Foz do Iguaçu: 2013, p.7.345-7.352.

BRASIL. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento: de acordo com a Resolução nº 44/228 da Assembléia Geral da ONU, de 22-12-89, estabelece uma abordagem equilibrada e integrada das questões relativas a meio ambiente e desenvolvimento: **Agenda 21**. – Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995.

BRAZ, A.M.; ANDRADE ÁGUAS, T.; GARCIA, P.H.M. Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e Índice de Área Folear (IAF) para a comparação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do córrego ribeirãozinho, município de Selvíria - MS. **Revista Percursos**, v. 7, n. 2, p. 5-22, 2015.

CALIJURI, M.L.; ALVES, J.E.M.; BAPTISTA, A.C.; SANTIAGO, A.F.; LOURES, S.S.P. Proposta metodológica para geração da carta de fragilidade ambiental, utilizando lógica fuzzy e combinação linear ponderada. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIII, Florianópolis - SC. **Anais...** Florianópolis: 2007, p.3311-3318.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapas estaduais de geodiversidade**: Piauí. Rio de Janeiro: CPRM. 2006. Documento cartográfico em arquivo vetorial. Disponível em <<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>>. Acesso em 15 de janeiro de 2014.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009.

GUAPYASSÚ, M.S.; HARDT, L.P.A. Avaliação de fragilidade ambiental: uma nova abordagem metodológica para unidades de conservação de uso indireto em áreas urbanas. **Floresta e Ambiente**, vol. 5, n. 1, p. 55-67, jan./dez. 1998.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Malha municipal digital do Brasil: situação em 2015**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em <ftp://geofp.ibge.gov.br/malhas_digitais/>. Acesso em 10 de abril de 2017.

INDE - Infraestrutura Nacional de Dados Especiais. **Mapa de Solos da Folha SB.24 - Jaguaribe**. Escala 1:250.000. Disponível em: <<http://www.visualizador.inde.gov.br/>>. 2014. Acesso em 27 de novembro de 2015.

LAL, R.; ELLIOT, W. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. **Soil Erosion: research methods**. Second Edition. p.180-208. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1994.

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

LOMBARDI NETO, F.; PASTANA, F.I. Relação chuva-perdas por erosão. **Bragantina**, Campinas, v. 31, n. 19, p.228-234, 1972.

MAGANHOTTO, R.F.; SANTOS, L.J.C.; OLIVEIRA FILHO, P.C. Análise da fragilidade ambiental como suporte ao planejamento do ecoturismo em unidades de conservação: estudo de caso FLONA de Irati-PR. **FLORESTA**, Curitiba -PR, v. 41, n. 2, p. 231-242, abr./jun. 2011.

OLIVEIRA, J.G.B.; SALES, M.C.L. Usuais: programas para uso em análise ambiental. **Revista Equador (UFPI)**, Vol. 5, n. 2, p.36-60, janeiro/Junho, 2016.

PINHEIRO, R.A.B. **Análise do processo de degradação/desertificação na bacia do Riacho Feiticeiro, com base no DFC, município de Jaguaribe-Ceará**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA). Fortaleza - CE, 2011.

ROSS, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo: FFLCH/USP, n. 8, p.63-74, 1993.

SANTOS, F.A.; AQUINO, C.M.S. Mapeamento das unidades geoambientais do município de Castelo do Piauí: subsídio ao planejamento ambiental. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v.9, n.3, p.428-449, João Pessoa - PB. 2015.

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

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Eds. da UFRGS e da USP. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4). 1993. 952.p.

USGS - United States Geological Service (Serviço Geológico dos Estados Unidos). Earth Explorer - Collection - **Landsat Archive**. Disponível em <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em 05 de maio de 2017.

_____. Earth Explorer - **Digital Elevation – SRTM 1 Arc-Second Global**. Disponível em <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em 05 de maio de 2017.

VIGANÓ, H.A.; BORGES, E.F.; ROCHA, W.J.S.F. Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem Aster. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XV, Curitiba - PR. **Anais...** Curitiba: 2011, p.1828-1834.