

**SUSCEPTIBILIDADE À EROSIÃO DAS TERRAS DO ALTO CURSO DO RIO BANABUIÚ, NO SERTÃO CENTRAL DO CEARÁ, USANDO LÓGICA NEBULOSA**  
EROSION LAND SUSCEPTIBILITY OF HIGH BANABUIÚ RIVER COURSE, IN CEARÁ HINTERLAND CENTRAL, USING FUZZY LOGIC  
SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN DE LAS TIERRAS DE ALTA CURSO DEL RÍO BANABUIÚ, EN EL SERTÓN CENTRAL DE CEARÁ, USANDO LA NEBULOSA DIFUSA

Léya Jéssyka Rodrigues Silva Cabral  
Universidade Federal do Piauí  
[leyarodrigues@hotmail.com](mailto:leyarodrigues@hotmail.com)

Gustavo Souza Valladares  
Universidade Federal do Piauí  
[valladares@ufpi.edu.br](mailto:valladares@ufpi.edu.br)

Renê Pedro de Aquino  
Universidade Estadual do Piauí  
[rene@uespi.br](mailto:rene@uespi.br)

### Resumo

O trabalho teve como objetivo avaliar a susceptibilidade à erosão das terras de parte do alto curso do rio Banabuiú, localizado no sertão central do Ceará, utilizando técnicas de geoprocessamento, com base em estudos pedológicos, geomorfológicos e erosividade das chuvas. Para a realização do mapa de susceptibilidade à erosão foram utilizados dados de precipitação média considerando uma série histórica de 30 anos, de 12 postos pluviométricos, a declividade da área, pedologia e os dados geomorfológicos baseados nas morfologias e nos processos envolvidos, indicando notas menores para ambientes mais estáveis e maiores para instáveis. Foram utilizadas técnicas de geoprocessamento dos dados equacionados por lógica nebulosa, onde foram interpolados e cruzados no software Arcgis. Os resultados obtidos permitem inferir que a área de estudo possui em sua grande parte áreas com alta susceptibilidade a erosão (mais de 60% das terras tem susceptibilidade moderada a extremamente forte), ficando clara a importância do planejamento do uso da terra, no intuito de conservar os solos e a sustentabilidade ambiental.

**Palavras-chave:** fuzzy, erodibilidade, erosividade, relevo, conservação do solo.

### Abstract

The study aimed to evaluate the susceptibility of soil erosion for the upper course of the river Banabuiú, located in the central hinterland of Ceará, using geoprocessing techniques, based on pedological, geomorphological and rainfall erosivity studies. For the realization of the erosion susceptibility map, average rainfall data were used considering a historical series of 30 years, 12 rainfall stations, the slope of the area, pedological and geomorphological data based on morphologies and processes involved, indicating lower grades for environments to larger more stable and unstable. Data geoprocessing techniques were used equated by fuzzy logics, which were interpolated and crossed the with Arcgis software. The results allow us to infer that the study area has for the most part areas with high susceptibility to erosion (over 60% of the land has moderate susceptibility to extremely strong), leaving clear the importance of planning of land use in order to soil conservation and environmental sustainability.

**Keywords:** fuzzy, erodibility, erosivity, relief, soil conservation

### Resumen

El objetivo del estudio es evaluar la susceptibilidad a la erosión de las tierras del curso superior del río Banabuiú, situado en el sertón central de Ceará, utilizando técnicas de geoprosesamiento, basado en estudios

de suelos, geomorfológicos y erosividad de las lluvias. Para la realización del mapa de susceptibilidad a la erosión fueron utilizados datos promedio de precipitaciones teniendo en cuenta una serie histórica de 30 años, 12 estaciones de lluvia, la pendiente de la zona, las condiciones del suelo y datos geomorfológicos sobre la base de morfologías y procesos involucrados, lo que indica grados inferiores a ambientes más estables y más grandes para inestable. Técnicas de geoprocésamiento de los datos se utilizaron equiparados por la lógica difusa, que se interpola y cruzó el software ArcGIS. Los resultados nos permiten inferir que el área de estudio, en su mayor parte las zonas con alta susceptibilidad a la erosión (más del 60% de la tierra tiene susceptibilidad moderada a muy fuerte), dejando en claro la importancia de la planificación del uso de la tierra con el fin de la conservación del suelo y la sostenibilidad del medio ambiente.

**Palabras clave:** erosionabilidad, erosividad, relieve, la conservación de suelos

## INTRODUÇÃO

A erosão dos solos é um problema mundial, causando grandes impactos ambientais e econômicos, tendo origem tanto em causas naturais quanto em ações antrópicas. A questão da degradação da terra por erosão do solo no semiárido cearense brasileiro tem impulsionado pesquisas de diversos autores (GUIMARÃES, 2013; AQUINO et al., 2016; CABRAL et al., 2014; CARVALHO et al., 1993; MOTA; VALLADARES, 2011). Nessa região, os processos erosivos são mais preocupantes, uma vez que a erosão dos solos aumenta a vulnerabilidade ambiental, pois, atribuindo às pressões antrópicas, existe a própria fragilidade do material pedológico: solos rasos, cascalhentos e arenoargilosos (COSTA, 2009).

Guerra (1978), guiando-se por uma perspectiva na qual o processo erosivo é encarado como um processo de remoção acelerada da camada superficial do solo relata que a erosão pode ser considerada como a destruição das saliências ou reentrâncias do relevo tendendo a um nivelamento.

Contudo, Bertoni e Lombardi Neto (2008) conceituam erosão de uma forma mais objetiva, definindo o processo erosivo como o processo de desagregação, transporte e deposição de partículas componentes do solo causados pela ação da água ou pelo vento, que tem início na remoção da cobertura vegetal pelo homem para cultivar o solo. A erosão quando acontece de forma natural é considerada como gradual e lenta, tendendo o solo a uma condição relativamente mais estável. Entretanto, quando o homem atua como agente acelerador do processo erosivo, devido a não adoção de técnicas apropriadas de diagnóstico e conservação do solo, os danos ambientais podem ser severos.

A suscetibilidade à erosão é uma análise do desgaste que a superfície do solo pode sofrer, quando submetida a qualquer uso, sem medidas conservacionistas. Ela está na dependência das condições climáticas, das condições do solo, das condições do relevo e da cobertura vegetal (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995).

Diante de tantas problemáticas levantadas a aplicação de técnicas de geoprocessamento, avaliação e planejamento do meio físico são cada vez mais trabalhadas. São inúmeros os estudos com técnicas de geotecnologias e sensoriamento remoto em ambientes SIGs, aplicados às áreas de degradação do solo (VALLADARES; MOTA, 2011), erosividade das chuvas (CABRAL et al., 2014), susceptibilidade à erosão e risco de erosão (DIAS et al., 2003).

Valério Filho e Araújo Junior (1995) relatam que as técnicas de geoprocessamento, as quais contemplam segmento do sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas, são ferramentas que possibilitam a aquisição, manipulação e a integração de dados temáticos oferecendo subsídios relevantes para a caracterização espacial/temporal de áreas submetidas aos processos de erosão, ao nível de bacias hidrográficas.

Para França et al (2005), a maioria dos modelos desenvolvidos para o estudo da erosão dos solos não são capazes de aferir com precisão o potencial de erosão em grandes áreas heterogêneas. Uma das causas principais está na incerteza associada à quantificação dos parâmetros dos modelos (características climáticas, propriedades do solo, topografia e práticas do uso do solo). No entanto, a maioria desses modelos possui limitações, tais como: (1) necessidade de um grande volume de dados, alguns deles de difícil obtenção; (2) geralmente são desenvolvidos para regiões diferentes daquelas nas quais são aplicados; (3) na maioria das vezes criadas para escalas nas quais diferentes interações e processos podem ser importantes.

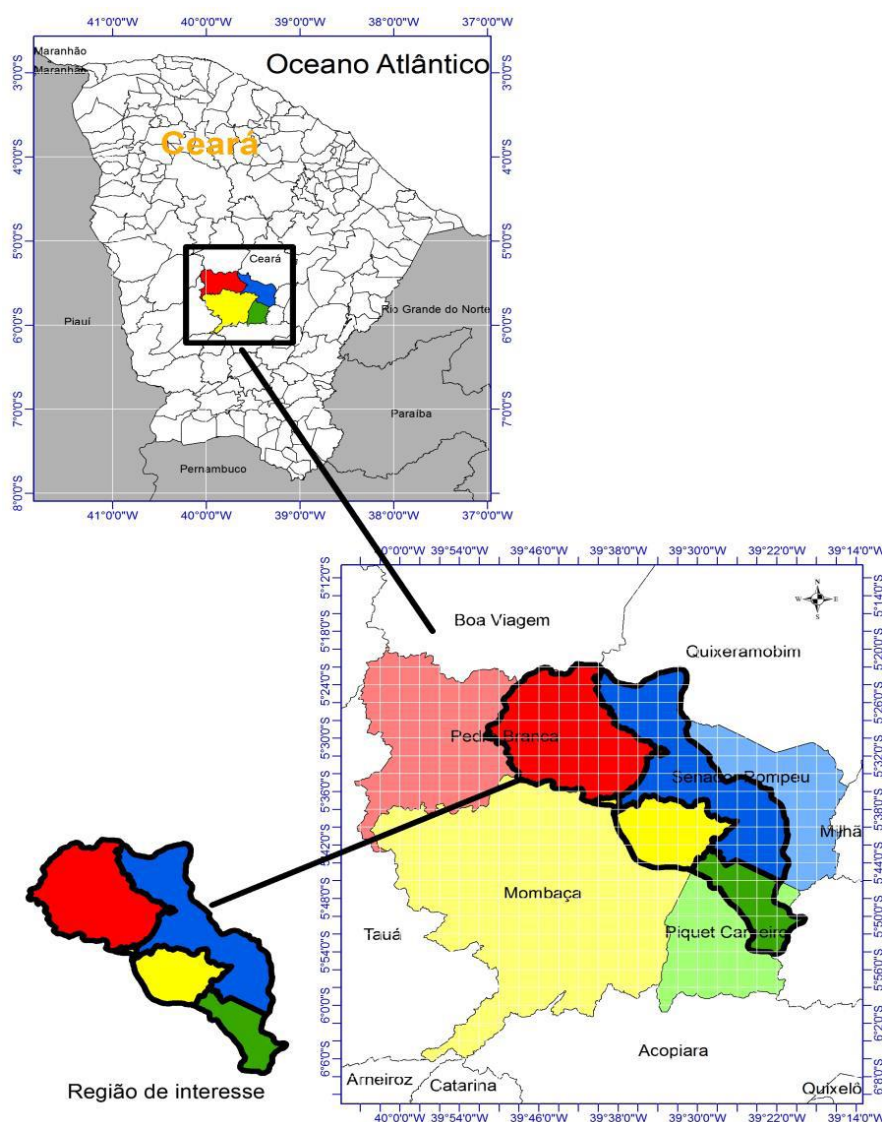
Ao trabalhar com dados incertos, uma informação deixa de ser representada por um número e passa a ser representada por um conjunto. Assim, o uso da teoria clássica dos conjuntos torna-se inviável devido a

sua ineficiência no tratamento de informações imprecisas. Entretanto, essas incertezas podem ser estudadas e modeladas de forma mais robusta, utilizando a teoria dos conjuntos nebulosos, também conhecida como teoria dos conjuntos fuzzy (MEIRELLES et al., 2007). Os resultados entre os diversos autores (ALVES et al., 2002; LOBÃO et al., 2006; SIQUEIRA, 2012; ALVES et al., 2005) sugerem que a utilização da lógica fuzzy pode reduzir drasticamente a propagação de erros através de modelos lógicos, fornecendo informações mais confiáveis.

O trabalho teve como objetivo avaliar a susceptibilidade à erosão das terras de parte do alto curso do rio Banabuiú, localizado no sertão central do Ceará, utilizando técnicas de geoprocessamento, com base em estudos pedológicos, geomorfológicos e erosividade das chuvas, equacionados por lógica nebulosa.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está situada no Sertão Central Cearense, microrregião do Sertão de Senador Pompeu, inserida na bacia hidrográfica do rio Banabuiú, localizada entre as coordenadas geográficas 5° 21' e 5° 53' de latitude sul e 39° 18' e 39° 51' de longitude oeste. Abrangendo os municípios de Pedra Branca com 542 km<sup>2</sup>, Senador Pompeu com 539 km<sup>2</sup>, Mombaça com 232 km<sup>2</sup> e Piquet Carneiro com 180 km<sup>2</sup> perfazendo um total de aproximadamente 1490 km<sup>2</sup>, conforme a Figura 1.



**Figura 1** – Localização da área de estudo no Estado do Ceará, Brasil.  
Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012).

O sertão central do Ceará está incluído na região semiárida brasileira, caracterizada por um regime de precipitação pluviométrica baixa e irregular, concentrada em apenas alguns meses do ano de forma intensa e

de curta duração, o que ocasiona um elevado risco de perda dos solos, intensificada pela inexpressiva proteção oferecida pela cobertura vegetal, esta de caráter caducifólio (NYSSSEN et al., 2005; SANCHEZ-MORENO et al., 2014; VRIELING et al., 2014; RENARD, 1994).

As análises do índice pluviométrico do banco de dados da rede hidroclimatológica do Nordeste fornecido pela SUDENE, nos oferecem dados que levam a compreender que os meses de maiores ocorrências de precipitação vão de fevereiro a maio, e os meses de estiagem vão de julho a dezembro, com variações que chegam de 686 mm a 840 mm/ano, com predominância de chuvas mal distribuídas na região, características do clima semiárido.

Para Araújo (2014), a área de estudo está inserida na província da Borborema, no domínio Central, apresenta como unidade litoestratigráfica predominante, o Complexo Cruzeta constituído de paragneisses e ortogneisses tonalíticos/granodioríticos bandados, formado pelas unidades Troia e Mombaça. A unidade Mombaça, constitui um terreno do tipo cortogneisses acinzentados. A unidade Troia, é formada por rochas metavulcânicas básicas, metagabros, rochas metaultramáficas. Incluem, ainda, formações do período arqueano/proterozóico, Complexo Acopiara, Granito Banabuiú, Complexo Granítico rio Quixeramobim (neoproterozóico) e areias quartzosas e feldspáticas (cenozoico).

Segundo Guimarães (2013) o relevo da região é outro agravante, já que muitos municípios apresentam relevo ondulado a montanhoso, que de acordo com Ramalho Filho e Beek (1995), não são áreas adequadas para práticas de agricultura. No entanto, as necessidades humanas precisam ser supridas e inadequadamente essas terras têm sido usadas. Desta forma, o uso intensivo do solo, sem interrupção e sem técnicas de conservação, especialmente nessas regiões mais declivosas, tem provocado erosão e comprometido à produtividade do solo.

A área é caracterizada pelo domínio da caatinga, caracterizada por apresentar formações xerófitas lenhosas, geralmente espinhosa, decíduas de folhas pequenas, adaptados a escassez e irregularidade da pluviosidade (AQUINO et al., 2016); (RADAMBRASIL, 1981), onde ocorrem constantes queimadas e desmatamento para o uso de atividades agrícolas, prejudicando a qualidade de vida dos animais e da própria população, além do desequilíbrio da fauna, solo e da água, comprometendo o sistema produtivo.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia se iniciou com o levantamento de documentos cartográficos, bibliográficos e de imagens de satélites disponíveis sobre a área de estudo.

A geração do mapa de susceptibilidade à erosão deste trabalho propõe metodologia com análises feitas a partir dos mapas temáticos de solos, geomorfologia, declividade e erosividade das chuvas.

Os pesos e notas foram atribuídos individualmente aos temas, com base na experiência e por consenso de equipe multidisciplinar especializada em meio físico e na interpretação de mapas de riscos ambientais. Os resultados quantitativos foram transformados em classes qualitativas como, por exemplo, baixo, moderado, alto, muito alto, etc. Metodologia semelhante foi empregada nos trabalhos de Crepani et al. (1996), Valladares et al. (2002), Valladares e Faria (2004), Meirelles et al. (2007).

Para o tema geomorfologia as notas foram baseadas nas morfologias e nos processos envolvidos, indicando notas menores para ambientes mais estáveis e maiores para mais instáveis (Tabela 1).

**Tabela 1.** Notas de susceptibilidade à erosão atribuída às unidades geomorfológicas

GEOMORFOLOGIA	NOTA (0 a 1)
Interflúvios estruturais	1,0
Cristas residuais	0,8
Superfície colinosa	0,6
Encosta estrutural dissecada	1,0
Pediaplano Dissecado	0,4
Vale do Banabuiú	0,5
Inselbergues	1,0

Para o mapa temático de declividade, as notas atribuídas são apresentadas na tabela 2, conforme o grau de limitação apresentado na área de estudo. O grau de declividade segue os padrões estudados por

Ramalho Filho e Beek (1995). Áreas mais declivosas receberam notas mais elevadas e menos declivosas notas baixas.

**Tabela 2:** Notas de susceptibilidade à erosão atribuída às classes de declividade

GRAU DE DECLIVE	NOTA (0 a 1)
0 a 3%	0,1
3 a 8%	0,3
8 a 13%	0,5
13 a 20%	0,7
20 a 45%	0,9
>45%	1,0

Para o mapa pedológico foram coletados 89 perfis de solos, descritos e caracterizados, formando as unidades de mapeamento, considerando as condições do solo, através de análises químicas, físicas e mineralógicas. Para cada unidade de mapeamento dos solos foram atribuídos pesos e notas variando de 0 a 1, em que os maiores valores indicam maior susceptibilidade à erosão. (Tabela 3).

**Tabela 3:** Notas de susceptibilidade à erosão atribuída às unidades de mapeamento de solos.

UNIDADES DE MAPEAMENTO DOS SOLOS	Notas
Associação de Neossolo flúvico.	0,2
Associação de Argissolo vermelho, Neossolo, Vertissolo háplico e Luvisolo crômico.	0,3
Associação de Chernossolo argilúvico e háplico, Argissolo vermelhos, Argissolo vermelho-amarelo e vermelho eutrófico típico.	0,4
Associação de Chernossolo argilúvico Órtico, Chernossolo háplico, Argissolo amarelo, Argissolo vermelho eutrófico, Argissolo vermelho distrófico e eutrófico, Neossolo litólico eutrófico, Neossolo regolítico distrófico, Cambissolo háplico e Argissolo vermelho-amarelo.	0,5
Complexo de Argissolo vermelho eutrófico, Planossolo háplico eutrófico e distrófico, Planossolo nátrico órtico, Neossolo litólico eutrófico e distrófico.	0,6
Associação de Cambissolo Háplico, Planossolo háplico eutrófico típico, Luvisolo crômico, Argissolo vermelho-amarelo eutrófico, Neossolo litólico e Neossolo flúvico Ta Eutrófico.	0,7
Complexo de Neossolo litólico eutrófico e distrófico, Neossolo regolítico distrófico e Cambissolo háplico.	0,8
Complexo de Neossolo litólico chernossólico, Cambissolo háplico ta eutrófico e Argissolo vermelho eutrófico.	0,9
Grupamento indiscriminado de Neossolos litólicos indiscriminados, Chernossolo ebânico, Cambissolo flúvico.	1,0

Para a realização do mapa de erosividade das chuvas foram necessários os dados de precipitação (mm) de uma média de 30 anos, dos meses de janeiro a dezembro, da área de estudo e seu entorno, correspondendo a 12 postos pluviométricos, extraídos do site da SUDENE. A partir dos dados coletados uma tabela foi elaborada, com as médias mensais e anuais de precipitação e aplicado o modelo do Índice de Fournier, equação 1 adaptada por Silva (2004). Tabela 4.

$$R_x = 42.307 * \left( \frac{M_x^2}{P} \right) + 69.763 \quad (1)$$

Onde  $R_x$  é o fator erosividade ( $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) por mês  $x$ ,  $M_x$  é a precipitação média mensal (mm), e  $P$  é a precipitação média anual (mm).

**Tabela 4.** Coeficiente de chuva mensal dos municípios da área de estudo em (MJ mm ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>).

LOCAL	EROSIVIDADE DAS CHUVAS MENSAL												
	JA N	FE V	MA R	ABR	MA I	JU N	JU L	AG O	SE T	OU T	NO V	DE Z	ANUA L
MOMBAÇA	358	599	2254	1725	667	227	113	76	84	70	75	80	5561
PIQUET CARNEIRO	367	753	2594	1999	699	274	126	82	82	71	74	121	5999
PEDRA BRANCA	338	686	2352	2113	899	395	281	122	87	72	75	126	6740
QUIXADÁ- PB	360	801	2324	2158	799	302	121	70	70	70	72	95	6114
SEN POMPEU	311	359	1791	1351	665	170	112	84	75	71	74	81	4940
BOA VIAGEM	272	422	1509	1618	508	227	118	72	74	70	71	98	5763
QUIXERAMOBIM	333	828	2234	2086	939	325	153	75	70	71	73	93	5926
INDEPENDÊNCIA	387	792	1937	1281	214	96	70	70	70	70	70	79	5586
ACOPIARA	393	821	1783	1692	543	163	155	73	75	78	71	205	5937
MILHÃ	337	611	1959	1410	899	218	132	74	85	72	74	128	5595
TAUÃ	301	494	1239	1099	281	104	78	71	72	73	72	99	4283
DEP IRAPUAN	181	572	1708	1460	749	162	102	70	70	70	70	82	5349

Com os resultados das equações obtidos foram criados os mapas de erosividade das chuvas, por meio de interpolação dos dados no Arcgis, usando o método do inverso do quadrado das distâncias.

Para a elaboração final do mapa de susceptibilidade à erosão da área de estudo utilizou-se a lógica fuzzy (MEIRELLES et al, 2007). A modelagem por lógica fuzzy foi empregada definindo-se a função de pertinência e o par ordenado (x,  $\mu(x)$ ), conhecido como conjunto fuzzy. O operador fuzzy empregado para essa situação ambiental foi o gamma, que é um produto entre a soma algébrica fuzzy e o produto algébrico fuzzy (Eq.2):

$$\mu = (\text{soma algébrica fuzzy})^y * (\text{produto algébrico fuzzy})^{1-y} \quad (2)$$

Sendo:

$\mu$  = valor de pertinência fuzzy

y = parâmetro escolhido no valor de 0,8

Com os resultados obtidos pela lógica fuzzy, foi possível identificar o grau de limitação por suscetibilidade à erosão, variando de nulo a extremamente forte (tabela 5).

**Tabela 5:** Grau de limitação por suscetibilidade à erosão

FUZZY	GRAU DE LIMITAÇÃO
< 0,40	Nulo
0,40 – 0,48	Ligeiro
0,48 – 0,60	Moderado
0,60 – 0,69	Forte
0,69 – 0,90	Muito forte
0,90 – 1	Extremamente forte
> 1	Fora de análise (água, cidades, etc.).

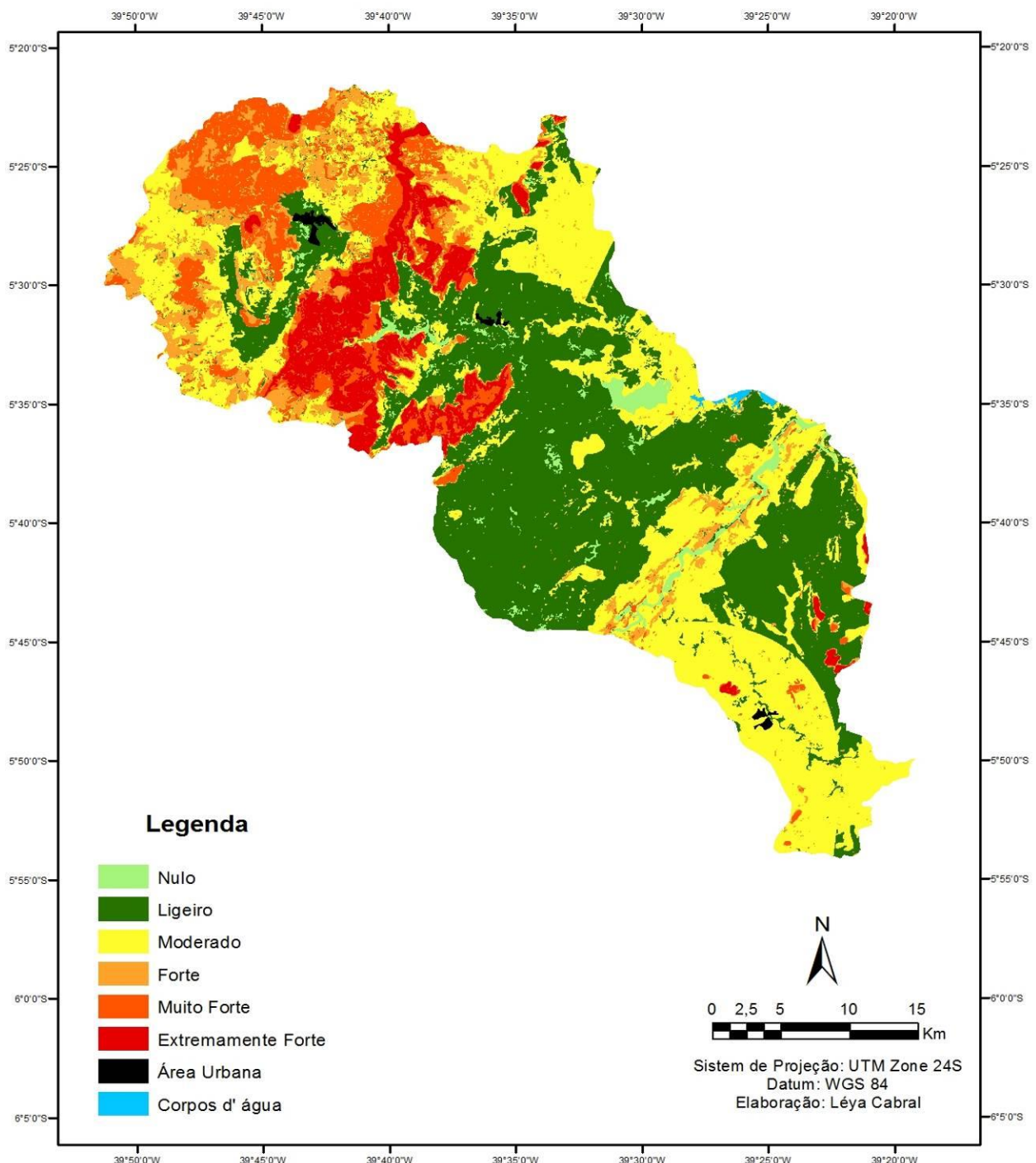
## RESULTADO E DISCUSSÕES

Através do mapa de susceptibilidade à erosão é possível identificar onde se concentram as áreas de maior e menor susceptibilidade, sendo 3183 hectares (2,16%) considerados com risco nulo, 55290 hectares (37,5%) se classificam como risco ligeiro, 49610 hectares (33,64%) o risco é moderado, 12300 hectares (8,3%) risco forte, 15390 hectares (10,4%) são considerados risco muito forte, e 10900 hectares (8%) extremamente forte, conforme a figura 2.



As áreas classificadas com susceptibilidade forte a extremamente forte localizam-se na porção noroeste. Essa área combina condições físico-ambientais favoráveis à ocorrência de processos erosivos, com presença de declividade ondulado a forte ondulado, as unidades geomorfológicas presentes nessa área são as encostas estruturais dissecadas, interflúvios estruturais, cristas residuais e superfície colinosa, além das unidades de mapeamento mais susceptíveis a erosão como no caso dos Neossolos litólicos e Cambissolos. Essas associações de fatores condicionantes indicam que este é um terreno com elevado grau de susceptibilidade.

As áreas de risco com susceptibilidade moderada encontram-se presente de forma distribuída na região, assim como a ligeira, sendo esta mais localizada na parte central da área de estudo, com declividade suave ondulado, os compartimentos geomorfológicos do tipo pediplano dissecado e as unidades de mapeamento menos susceptíveis a erosão como os argissolos. O grau nulo do risco de susceptibilidade de erosão da área de estudo é quase imperceptível.



**Figura 2:** Mapa de suscetibilidade à erosão

Ramalho Filho e Beek (1995) caracterizam esse grau de limitação por suscetibilidade à erosão em:

- Nulo – Terras não susceptíveis à erosão. Geralmente ocorrem em relevo plano ou quase plano (0 a 3% de declive), com boa permeabilidade. Quando cultivadas por 10 ou 20 anos podem apresentar erosão ligeira, que podem ser controladas com práticas simples de manejo.
- Ligeiro – Terras que apresentam pouca suscetibilidade à erosão. Normalmente possuem boas propriedades físicas, variando com declives de 3 a 8%. Quando utilizadas com lavouras por um período de 10 a 20 anos mostram, normalmente, uma perda de 25% ou mais de horizonte superficial. Práticas conservacionistas simples podem prevenir contra esse tipo de erosão.
- Moderado – Terras que apresentam moderada suscetibilidade à erosão. Seu relevo é normalmente ondulado com declive de 8 a 13%. Esses níveis de declividade podem variar pra mais 13%, quando as condições físicas forem muito favoráveis, ou para menos de 8%, quando muito desfavoráveis, como é o caso de solos com horizonte B, com mudança textural abrupta. Se utilizadas fora dos princípios conservacionistas, essas terras podem apresentar sulcos e voçorocas, requerendo práticas intensivas de controle à erosão, desde o início de sua utilização agrícola.
- Forte – Terras que apresentam suscetibilidade à erosão. Ocorrem em relevo fortemente ondulado, com declividade de 13 a 20%, os quais podem ser maiores ou menores, dependendo de suas condições físicas. Na maioria dos casos a prevenção à erosão depende de suas condições físicas.
- Muito Forte – Terras com suscetibilidade maior que a do grau forte, tendo o seu uso agrícola restrito. Ocorrem em relevo forte ondulado, com declives entre 20 e 45%. Na maioria dos casos o controle à erosão é dispendioso, podendo ser antieconômico.
- Extremamente Forte – Terras que apresentam severa suscetibilidade à erosão. Não são recomendáveis para o uso agrícola, sob pena de serem totalmente erodidas em poucos anos. Trata-se de terras ou paisagens com declives superiores a 45%, nas quais deve ser estabelecida uma cobertura vegetal de prevenção ambiental. Apresentam uma dinâmica própria que evidencia condições de instabilidade/fragilidade.

Conforme Cabral et al. (2014), os tratos culturais empreendidos na área de estudo pautam-se em práticas rudimentares e inadequadas de uso da terra (desmatamento, queimadas, exploração de madeira, para uso próprio e para comercialização, etc) conforme se constata na figura 3.





**Figura 3** - Processos erosivos decorrentes do uso inadequado dos solos  
Fonte: Renê Pedro de Aquino (2012)

Segundo Guimarães (2013), nota-se que, mesmo com dificuldade, algumas áreas de relevo mais declivosos já estão sendo ocupadas com práticas de pastagem e agricultura (FIGURA 4), podendo ser uma questão de tempo para que a porcentagem de uso inadequado cresça com maiores riscos de erosão e perda de solo, como já podem ser observados alguns pontos da área. No entanto, esses riscos de erosão podem ser diminuídos, principalmente nas áreas mais declivosas, se os produtores utilizassem práticas conservacionistas, como um sistema de pastagem, com rotações de pastos, plantio em nível e construção de terraços.



**Figura 4** – Prática de pastagem em região declivosa na área de estudo no Estado do Ceará.  
Fonte: Renê Pedro de Aquino (2012).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do estudo é possível concluir que a área estudada, possui em sua maior parte áreas com risco de erosão de moderada a extremamente forte. Considerando o grau de limitação ligeiro, o que mais se estende, é possível perceber que mesmo com a utilização da terra de forma moderada haverá futuros processos de erosões dos quais só pode ser evitados com práticas conservacionistas.

Somente o planejamento do uso da terra, bem como a utilização de ferramentas de precisão, associadas aos conhecimentos técnico-científicos dos recursos naturais, propiciarão elementos que indicarão de maneira correta a utilização do solo da área de estudo, principalmente os ligados ao manejo, conservação, combate à erosão, assoreamento de rios e, principalmente, na condução de uma agricultura conservacionista,

que favoreça não só o solo e o meio ambiente, como também as populações que dependem diretamente deste recurso natural.

As geotecnologias auxiliam no planejamento e gestão da área de estudo, assim como o cruzamento dos dados de geomorfologia, pedologia, erosividade das chuvas e declividade mostraram êxito, permitindo identificar o grau de limitação de susceptibilidade à erosão. Com a modelagem fuzzy os limites ou transições entre temas foram mais contínuos possibilitando maior detalhamento da complexidade ambiental.

Ainda diante da área de estudo, é possível perceber o grau de desinformação da população residente, como os mesmos utilizam a área de forma predatória, reafirmando os tratos culturais rudimentares empregados. Dessa forma, uma maior atenção deve ser dada a esses pequenos agricultores, principalmente em áreas de relevos mais declivosos, por apresentarem maior risco de erosão, visando à conservação dos solos e a sustentabilidade agrícola e ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A., MARQUES, M., SOUZA, F.J. Análise do potencial erosivo dos solos em bacias hidrográficas: Aplicação da Lógica Nebulosa (Fuzzy) no diagnóstico ambiental. **Pesquisa Agropecuária e Desenvolvimento Sustentável**. v.1, n. 1, p.1-13, 2002.

ALVES, A.; SOUZA, F.J. de; MARQUES, M.. Avaliação do potencial à erosão dos solos: uma análise comparativa entre Lógica Fuzzy e o método USLE. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** p.2011-2018. Goiânia: 2005.

AQUINO, R.P. ; VALLADARES, G. S. ; COELHO, R.M. ; Gomes, J.F.V.L. ; Assis, A.C. ; CABRAL, L. J. R. S. . Levantamento Pedológico de Reconhecimento de Alta Intensidade em Área no Sertão Central do Ceará. In: Antonio Cardoso Façanha; Cláudia Maria Sabóia De Aquino; Josenete Assunção Cardoso; Silvana De Sousa Silva. (Org.). **Geografia: O Regional E O Geoambiental Em Debate**. 1ed.Teresina: EDUFPI, 2015, v. 1, p. 123-141.

BERTONI, José. NETO, Lombardi. **Conservação do solo**. 6ª.ed.São Paulo:Ícone, 2008

CABRAL, L. J. R. S.; VALLADARES, G. S.; AQUINO, C. M. S. Erosividade das chuvas em parte do alto curso do rio Banabuiu - sertão central do Ceará. **Revista Equador (UFPI)**, Vol.3, nº2, Julho/Dezembro, 2014. p.51-61.

CARVALHO, G.M.B.S.; VALÉRIO FILHO, Mário; MEDEIROS, José S. de Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na identificação da erosão dos solos na bacia do rio Aracoiaba-CE. Publicado nos **Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba-PR, 1993.

COSTA, A. S. **Levantamento da Capacidade de Uso da Terra na Fazenda Afluente do Quipauá, em Ouro Branco (RN)**. 2009. 41f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2009.

CREPANI, Édison et al. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos - SP Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.

DE ARAÚJO, C.E.G.; Naleto, J.L.C. **Folha SB.24-V-D-V Mombaça**. Fortaleza: CPRM, 2014. mapa, color., 70cm x 98cm. Mapa geológico. Escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil-PGB

DIAS, J. E.; GOMES, O. V. DE O.; GOES, M. H. DE B. Áreas de riscos de erosão do solo: uma aplicação por geoprocessamento. **Revista Floram**, Rio de Janeiro. vol. 8 / n. único jan/dez, 2001.

FRANÇA, A.; de SOUZA, F. J.; MARQUES, M. Avaliação Do Potencial À Erosão Dos Solos: Uma Análise por Lógica Fuzzy e Sistemas De Informações Geográficas. In: **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária E Ambiental**. Campo Grande, MS. 2005.

- GUERRA, Antonio Teixeira. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1987.
- GUIMARÃES, C. C. B. **Paisagens Sertanejas: uso e cobertura das terras e adequabilidade no sertão central do Ceará**. 2013.74f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Ecologia e Recursos Naturais - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- LOBÃO, J.S.B.; ROCHA, W.J.S.F.; SILVA, A.B. Utilização de lógica fuzzy na modelagem da vulnerabilidade à erosão no município de morro do chapéu-BA. In: III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, 2006. **Anais...** Aracaju, SE, 2006.
- MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. de. **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 2007.
- MOTA, L. H. S. O.; VALLADARES, G. S. Vulnerabilidade à degradação dos solos da Bacia do Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 39-50, jan./mar. 2011.
- NYSSENA, J.; VANDENREYKENA, H.; POESENSA, J. ; MOEYERSONSC, J.; DECKERSD, J.; HAILEB, M.; SALLES, C.; GOVERS G. Rainfall erosivity and variability in the Northern Ethiopian Highlands. **Journal of Hydrology**. v. 311, p.172–187, 2005.
- RADAMBRASIL. Brasil, Ministério das Minas e Energia. **Levantamento de Recursos Naturais**. Parte da Folha SB.24/25 – Jaguaribe-Natal, vol.23, 1981.
- RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1995.
- RENARD, K.G.; FREIMUND, J.R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. **Journal of Hydrology**. v.157, p.287-306, 1994.
- SANCHEZ-MORENO, J. F.; MANNAERTS, C. M.; JETTEN V. Rainfall erosivity mapping for Santiago Island, Cape Verde. **Geoderma**. v. 217–218, p. 74–82, 2014.
- SILVA, A.M. Rainfall erosivity map for Brazil, **Catena**, v.57, p. 251-259, 2004
- SIQUEIRA, G. M. de. **Modelo baseado na lógica Fuzzy para a avaliação do potencial de erosão dos solos no alto e médio curso da bacia do Rio Macaé, RJ**. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Computação – Geomática. Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, 2012.
- VALÉRIO FILHO, M & ARAÚJO JUNIOR, G. J. L. Técnicas de Geoprocessamento e Modelagem Aplicadas no Monitoramento de Áreas Submetidas aos Processos Erosão do Solo. In: 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. **Anais...** Bauru-SP, 1995, p. 279-82.
- VALLADARES, G. S. **Classificação dos solos e classes de terras para irrigação do oeste da Bahia**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2002, 35 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 19).
- VALLADARES, G.S. & FARIA, A.L.L. **SIG na análise do risco de salinização na bacia do Rio Coruripe, AL**. **Engevista**, 6:86-98, 2004.
- VRIELING, Anton; HOEDJES, J. C.B.; VELDE, M. van der. Towards large-scale monitoring of soil erosion in Africa: Accounting for the dynamics of rainfall erosivity. **Global and Planetary Change**. v.115, p.33–43, 2014.