

SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO E VULNERABILIDADE DA CAATINGA AOS PROCESSOS EROSIVOS NA ESEC DE AIUABA - CE

GUSTAVO GUIMARÃES ÁVILA¹, PEDRO HENRIQUE AUGUSTO MEDEIROS²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)
Campus de Maracanaú

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)
Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental (PGTGA)
Campus de Maracanaú
<gustavo.555@gmail.com> <phamedeiros@gmail.com>

Resumo. Uma das principais dificuldades na manutenção da diversidade biológica em Unidades de Conservação (UC) é a recuperação natural, principalmente quando há um histórico de uso e ocupação inadequado, através de atividades que intensificam os processos erosivos. Esta pesquisa teve como objetivo identificar as áreas mais susceptíveis à erosão na Estação Ecológica (ESEC) de Aiuaba, através da aplicação da Equação Universal de Perda de Solos - EUPS, comparando os resultados com áreas em processo de erosão, identificadas in loco. De maneira geral, a ESEC de Aiuaba apresentou baixa susceptibilidade à erosão, com perdas de solo distribuídas nas seguintes classes: entre 0-10 t/ha.ano (baixa) em 79,6% da área; entre 10-50 t/ha.ano (moderada) em 17,4% da área; entre 50-200 t/ha.ano (alta) em 2,9% da área e perda maior que 200 t/ha.ano (muito alta) em apenas 0,1% da área total. No entanto, áreas identificadas como de baixa susceptibilidade à erosão, apresentam processos erosivos avançados, conforme constatado no campo, o que se deve ao uso do solo antes da implantação da ESEC. Esse fato demonstra a susceptibilidade da Caatinga aos processos erosivos, visto que mesmo estando há mais de 30 anos em pousio, a vegetação ainda não conseguiu se recuperar totalmente em algumas áreas.

Palavras-chaves: Susceptibilidade à erosão. Vulnerabilidade. Caatinga. Conservação. EUPS.

Abstract. One of the main difficulties in maintaining biological diversity in Conservation Units (CU) is the natural recovery, especially when there is a history of inappropriate land use and occupation, through activities that enhance the erosive processes. This research aimed to identify the areas most susceptible to erosion in the Ecological Station (ESEC) of Aiuaba, Brazil, by applying the Universal Soil Loss Equation - USLE, comparing the results with areas undergoing erosion processes identified in loco. In general, the ESEC of Aiuaba showed low susceptibility to erosion, with soil losses distributed in the following classes: 0-10 t/ha.year (low), 79.6% of the area; 10-50 t/ha.year (moderate) in 17.4% of the area; 50-200 t/ha.year (high) in 2.9% of the area and loss greater than 200 t/ha.year (very high) in only 0.1% of the total area. Nonetheless, areas with low susceptibility to erosion present intensive erosive processes, as observed in the field, which is due to land use before the implementation of the ESEC. This fact demonstrates the susceptibility of Caatinga to erosion processes, since the vegetation could not recover completely in some areas after more than 30 years of preservation.

Keywords: Susceptibility to erosion. Vulnerability. Caatinga vegetation. Conservation. USLE.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Lei 9.985 de 18 de julho de 2000, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC tem como objetivo principal contribuir para a manutenção da diversidade biológica e dos

recursos genéticos no território nacional e nas águas jurisdicionais. No Brasil, ao todo, são 310 Unidades de Conservação - UC federais, que se encontram divididas em dois grandes grupos: Proteção Integral e Uso Sustentável. O primeiro é formado por Unidades

de Conservação que tem como principal objetivo preservar a natureza, livrando-a da interferência humana, sendo permitido apenas o uso indireto dos recursos naturais, não havendo consumo, coleta, dano ou destruição. Compreende as seguintes categorias: Estação Ecológica (ESEC), Reserva Biológica (REBIO), Parque Nacional (PARNA), Monumento Natural (MN) e Refúgio de Vida Silvestre (REVIS). O segundo grupo tem como objetivo conciliar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela de seus recursos naturais. Constituem as seguintes categorias: Área de Proteção Ambiental (APA), Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), Floresta Nacional (FLONA), Reserva Extrativista (RESEX), Reserva de Fauna (REFAU), Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN).

A categoria Estação Ecológica (ESEC), na qual se enquadra a ESEC de Aiuaba, tem como principais objetivos a preservação da natureza e a realização de pesquisas científicas, que dependem de autorização e estão sujeitas a restrições. As únicas intervenções que podem ser feitas em uma ESEC correspondem a medidas para restauração de ecossistemas modificados, manejo de espécies para preservar a diversidade biológica e coleta de dados para fins científicos.

Como visto anteriormente, a Estação Ecológica (ESEC) de Aiuaba, por ser uma Unidade de Conservação de proteção integral, deve ser constantemente protegida e estudada de modo a identificar possíveis problemas em seu ambiente natural e manter seu objetivo de preservação. Embora essa área tenha sido protegida desde a década de 80, foram identificadas, através de imagens de satélite, áreas de clareira, nas quais a vegetação ainda não se regenerou por completo. Mesmo que o processo de regeneração natural de uma floresta nativa seja um dos métodos mais demorados de recuperação florestal, a persistência dessas áreas de clareiras não se apresenta normal, necessitando de um levantamento de outras possíveis causas.

Uma das causas levantadas é a intensificação dos processos erosivos na área em estudo, devido à ocupação da área antes do decreto de criação da ESEC. Para compreender melhor esse processo, convém distinguir dois tipos de erosão: a erosão natural ou geológica e a erosão acelerada ou induzida. A primeira ocorre exclusivamente pela ação dos agentes naturais como vento, água, gelo e outros, sem perturbações provocadas pelo homem. Nela, o meio natural dispõe de tempo suficiente para sua autorecuperação. A erosão acelerada, muito mais rápida que a natural, tem como principal fator de influência as atividades antrópicas sobre o meio natural, como desmatamentos e mau uso do

solo. A ação do homem facilita o desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo através dos agentes físicos, constituindo-se a principal causa de degradação das terras (BRAGA et al., 2005; SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007).

De acordo com Silva, Schulz e Camargo (2007), a erosão não é um processo simples, sendo influenciado pelo local de ocorrência e por diversos fatores como o solo, o embasamento geológico, o clima, a topografia e a cobertura e manejo do solo. Dentre esses fatores, o solo constitui-se o mais importante, pois através da interação de suas propriedades inerentes - textura, estrutura, estado de agregação, porosidade, permeabilidade, presença de matéria orgânica e profundidade - com fatores como clima, topografia e cobertura do solo, este pode tornar-se mais ou menos susceptível aos processos erosivos. O clima pode agir sob várias formas e agentes como o vento, a chuva e a neve, mas, dentre estes, o mais impactante é a água da chuva. A erosão hídrica pluvial é causada tanto pelo impacto das gotas de chuva no solo como pelo escoamento superficial da água. Pode ser expressa em função de dois fatores: um fator ativo (erosividade da chuva) e um fator passivo (erodibilidade do solo). A erosividade constitui o potencial da chuva em causar erosão e a erodibilidade do solo diz respeito à fragilidade do solo à erosão (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007). A topografia atua nos processos erosivos principalmente no fator velocidade de escoamento, fator esse diretamente ligado ao grau de declive e à distância em que o escoamento ocorre (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007). A cobertura do solo, representada pelas copas das árvores, vegetação de sub-bosque e serapilheira, tem importante papel na proteção contra os processos erosivos, diminuindo a velocidade das gotas de chuva, amortecendo o impacto das mesmas no solo e formando um micro relevo, o qual diminui a velocidade de escoamento da água e favorece sua infiltração (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007).

A erosão também está bastante relacionada ao uso e ocupação de uma determinada área, e essa relação é abordada por Salomao (2012) e Silva, Schulz e Camargo (2007) através da identificação das principais causas e consequências dos processos erosivos no meio urbano e rural. Nas áreas urbanas, os processos mais usuais são causados pela concentração de fluxo gerado pela alta impermeabilização do solo, pela eliminação da rugosidade de rampas e consequente redução dos tempos de concentração, destruição da cobertura natural e aumento do escoamento superficial. Embora nas áreas rurais não ocorra um processo de impermeabilização tão intenso como nas áreas urbanas, a cobertura vegetal é fortemente alterada devido às práticas

agropecuárias, deixando o solo exposto à força erosiva das gotas de chuva. A utilização excessiva de fertilizantes e o uso de máquinas pesadas compacta o solo, impermeabilizando-o e favorecendo o aumento do escoamento superficial. Além disso, as práticas de cultivo intensivo e sucessivo de monoculturas modificam as propriedades físico-químicas do solo, destruindo os agregados e aumentando a susceptibilidade do solo à erosão, consequências que podem perdurar por décadas (BERTONI; NETO, 1990). É nesse ponto que se inserem as práticas conservacionista, com o objetivo de garantir a máxima infiltração e menor escoamento superficial das águas pluviais (SALOMAO, 2012).

Sabe-se também que os processos erosivos, quando muito acelerados, carreiam a camada superficial do solo, levando nutrientes importantes para a regeneração natural da mata nativa. Intensificando-se essas ações, pode-se chegar a um processo de desertificação da área, o qual é bastante difícil de reverter. Lopes et al. (2011), afirmam que a aceleração dos processos erosivos é um dos mais sérios problemas ambientais, causando impactos em vários recursos ambientais como solos e rios. Aragao et al. (2011) reforçam a importância do conhecimento e controle da erosão afirmando que a erosão laminar é um dos processos que mais contribui para o empobrecimento precoce de terras produtivas.

Vários pesquisadores têm se dedicado a estudar e encontrar soluções para os problemas referentes à erosão, surgindo assim várias metodologias. Vieira (1988), por exemplo, classificou os solos quanto à susceptibilidade à erosão considerando a declividade e as propriedades físico-químicas dos solos; mais tarde Ross (1994) avaliou a fragilidade de algumas classes de solo presentes no Brasil considerando, além da declividade e do tipo de solo, outros fatores como clima, cobertura do solo e uso da terra. Mais recentemente, através do avanço da tecnologia, modelos matemáticos têm sido largamente utilizados para avaliar dinamicamente os processos erosivos.

Dentre as várias metodologias e equações existentes para quantificar os processos erosivos, uma das mais utilizadas, por superar algumas restrições de ordem climática e geográfica, além de ter uma aplicação mais generalizada, é a Equação Universal de Perda de Solos - EUPS (Universal Soil Loss Equation - USLE) (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

De acordo com Silva, Schulz e Camargo (2007), a EUPS foi criada nos Estados Unidos da América, nos anos de 1950, através de uma grande base de dados desenvolvida por vários pesquisadores de diferentes instituições americanas, abordando os principais fatores responsáveis pela erosão: clima, solo, topografia e uso

e manejo dos solos. O objetivo inicial do projeto era fornecer subsídios para auxiliar técnicos do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos no planejamento de uso do solo nas áreas rurais, além de avaliar áreas cultivadas quanto à perda de solo. Com o passar do tempo, pesquisas foram feitas quanto à aplicação da EUPS em outras áreas como pastagens e áreas florestais degradadas (BERTONI; NETO, 1990; RENARD, 1991). Atualmente, a EUPS vem sendo utilizada em vários tipos de uso e ocupação como construção urbana, de estradas e outros.

A gestão ambiental de grandes áreas pode se tornar um serviço bastante caro, dependendo das ferramentas utilizadas nesse processo. Nas últimas décadas, as geotecnologias - Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) - têm sido largamente utilizadas em análises ambientais de grandes áreas, permitindo maior agilidade de processos antes demorados, atenuando os custos dos mesmos (DINIZ; MOREIRA; CORRADINI, 2008; FREITAS et al., 2007).

A presente pesquisa teve como objetivo identificar as áreas mais susceptíveis à erosão na área que compreende a ESEC de Aiuaba, através da aplicação da Equação Universal de Perda de Solos - EUPS utilizando técnicas de geoprocessamento, comparar os resultados com as clareiras identificadas através de incursões em campo e analisar possíveis causas das clareiras identificadas, enfocando a vulnerabilidade do bioma Caatinga.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O presente estudo foi realizado na Estação Ecológica (ESEC) de Aiuaba, localizada no município de Aiuaba, na região sudoeste do Estado do Ceará, denominada Inhamuns. Considerando o sistema de coordenadas UTM (Sirgas 2000 datum, Zona 24S), a ESEC de Aiuaba está entre as coordenadas 9.275.000 m - 9.250.000 m N e 350.000 m - 380.000 m L, ocupando uma área total de 11.747 ha (Figura 1).

A ESEC de Aiuaba é uma Unidade de Conservação (UC) de proteção integral, atualmente sob administração do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Sua história de criação começou com o Decreto nº 81.218, de 16 de janeiro de 1978, o qual declarou de utilidade pública para fins de desapropriação uma área de terra no município de Aiuaba - CE, pela extinta Secretaria Especial de Meio Ambiente - SEMA. Com a extinção da mesma pela Lei 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, a área passou a ser administrada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, órgão criado pela referida

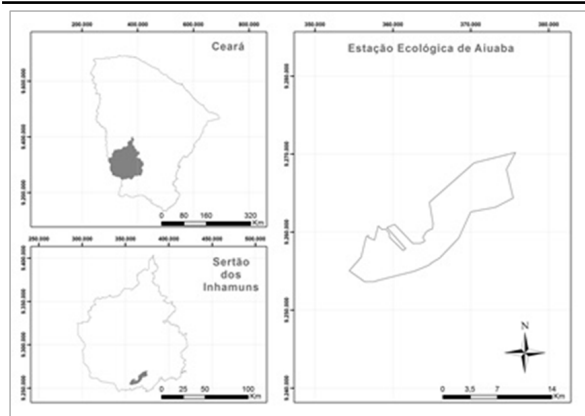


Figura 1: Localização da Estação Ecológica de Aiuaba.

lei. Apenas anos depois, com o Decreto s/n de 06 de fevereiro de 2001, foi criada oficialmente a Estação Ecológica de Aiuaba, tendo como objetivo principal proteger e preservar o ecossistema Caatinga. Por ser de proteção integral, as únicas atividades que podem ser desenvolvidas na ESEC são a realização de pesquisas científicas e desenvolvimento de programas de educação ambiental. Atualmente, a administração é feita pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBIO, autarquia vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, criada pela Lei 11.516 de 28 de agosto de 2007.

O clima na região, apesar de ser influenciado diretamente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) do Atlântico Norte, apresenta uma pequena mudança no seu quadrimestre chuvoso devido à influência das frentes frias originadas do Atlântico Sul: enquanto na maior parte do Ceará o índice pluviométrico é maior entre os meses de fevereiro e maio, na região sul do Estado esse período fica entre os meses de janeiro e abril (XAVIER, 2001).

Segundo a SUDENE (1976 apud Medeiros, 2004), os dados das estações pluviométricas da sede da ESEC e da localidade de Serra Bonita mostram que os totais anuais de precipitação ficam entre 590 e 684 mm, com os maiores índices entre os meses de dezembro e junho, apresentando máximas no mês de março. A temperatura apresenta valores médios entre 25,3 e 25,9°C, sendo dezembro o mês mais quente e junho o mês mais frio. O índice efetivo de umidade varia entre 61,5% e 51,9%.

Os aspectos geomorfológicos foram identificados por SUDENE (1976 apud Medeiros, 2004) em quatro categorias: formas estruturais, formas erosivas, formas dissecadas e formas de acumulação. As formas estru-

turais localizam-se no setor sudoeste da estação, caracterizadas por escarpas erosivas, inumado por coberturas detríticas ou de alteração. As formas erosivas situam-se nas superfícies tabulares erosivas das serras, caracterizadas por processos de desnudação, com topos degradados por pediplanação. As formas dissecadas distribuem-se na maior parte da estação, constituídas pelo embasamento cristalino - Pré-Cambriano Inferior Médio e Pré-Cambriano Superior. Por fim, as formas de acumulação são identificadas nas faixas aluvionares ao longo dos rios e áreas inundáveis da estação, recobertas por sedimentos arenosos e areno-argilosos, sujeitas a inundações periódicas. O relevo na ESEC de Aiuaba é bastante diversificado, apresentando desde formas planas até pequenos pontos de relevo montanhoso.

De acordo com o projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1981), as principais classes de solo encontradas na ESEC de Aiuaba são: Luvisolos Crômicos Órticos, localizada nos setores leste, oeste e centro-sul da estação; Latossolos Vermelho-Amarelos Alumínicos no setor sudoeste; Argissolos Vermelho-Amarelo Eutrófico no setor noroeste; e a classe dos Neossolos Litólicos Eutróficos no setor centro-leste.

A vegetação da ESEC de Aiuaba é representada pelo bioma Caatinga e algumas espécies do bioma Cerrado, os quais apresentam três estratos: arbóreo (8 a 12 metros), arbustivo (2 a 5 metros) e herbáceo (abaixo de 2 metros) (SILVA, 2008). Alguns exemplos das espécies da região são: arbóreas - Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e Imbuzeiro (*Spondias tuberosa*); arbustivas - Maria-Preta (*Cordia leucocephala*) e Cansação (*Cnidoscolus urens*); ervas - Macela (*Egletes viscosa*) e Macambira (*Encholirium spectabile*); e lianas Alho-brabo (*Mansoa hirsuta*) e Cipó-verdadeiro (*Melloa quadrivalvis*) (LEMOS; MEGURO, 2009).

3 Análise de susceptibilidade à erosão e vulnerabilidade da Caatinga

Para estimativa da taxa anual de perda de solos utilizou-se a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), um modelo matemático empírico capaz de estimar a taxa anual de perda de solos combinando os principais fatores intervenientes nos processos erosivos (Equação 1).

$$E_{ano} = (R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P). \quad (1)$$

em que: E_{ano} é a taxa anual de erosão ($t.ha^{-1}$ por ano); R é o fator de erosividade da chuva ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$ por ano); K é o fator de erodibilidade do solo ($t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$); L é o fator de comprimento de rampa (-); S é o fator de declividade (-); C

é o fator de vegetação e uso do solo (-); e P é o fator de práticas conservacionistas (-).

O fator R , que expressa a capacidade da chuva esmerada causar erosão em uma área sem proteção, foi estimado conforme a Equação 2, proposta por Silva Filho (2003) apud Medeiros et al. (2008) para o Estado do Ceará:

$$R = \sum_{m=1}^{12} 13,951 \left(\frac{H_m^2}{H_a} \right)^{0,915} \quad (2)$$

em que: H_m é a precipitação mensal (mm), H_a é a precipitação média anual (mm) e R é a erosividade da chuva ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$). O fator K expressa a relação entre a erosão por unidade do índice de erosividade para um solo específico, o qual é mantido sem cobertura. Nesta pesquisa, os valores do fator K foram obtidos a partir do estudo de Medeiros (2008), o qual realizou a identificação das classes de solos da Bacia do Benguê (onde está inserida a ESEC de Aiuaba) e o cálculo do fator K .

O fator comprimento de rampa (L) indica a relação de perda de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 22 m, tendo sido calculado neste estudo de acordo com Desmet e Govers (1996) apud MEDEIROS et al. (2008) (Equação 3).

$$L = \frac{(U + D^2) - U^{m+1}}{D^{m+2} \cdot x^m \cdot (22,13)^m} \quad (3)$$

em que: U é a área de contribuição de fluxo para a célula (m^2); D é o tamanho da célula (m); x é um fator de correção; m é função da declividade média do *pixel* (MEDEIROS, 2008).

O fator de declividade (S), que expressa a relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para a mesma situação, foi calculado de acordo com Williams e Arnold (1997) com base na declividade média do *pixel* (s) em $m.m^{-1}$ (Equação 4):

$$S = (65,41s^2 + 4,56s + 0,065). \quad (4)$$

Os fatores de uso e manejo dos solos (C) e de práticas conservacionistas (P) foram estimados observando-se a cobertura vegetal da ESEC de Aiuaba e adotando-se valores de referência estimados em outros estudos conduzidos sob condições semelhantes.

Através da pesquisa bibliográfica buscaram-se informações e dados necessários como imagens de satélite, dados pluviométricos, pedológicos, cartas topográficas, assim como métodos de análise de susceptibilidade à erosão já difundidos no meio científico.

O mapa de susceptibilidade à erosão foi obtido por geoprocessamento (técnica de álgebra de mapas),

multiplicando-se os mapas gerados com os fatores da USLE. Utilizou-se o Sistema de Informações Geográficas (SIG) da empresa ESRI, denominado ArcMAP®, para aplicação da EUPS e posterior geração do mapa de susceptibilidade à erosão.

Posteriormente foi realizada visita a campo para identificação de pontos com processos erosivos avançados e conduzidas entrevistas a moradores da região, buscando-se informações de uso e ocupação da área antes de a mesma se tornar uma área de proteção integral.

Em seguida procedeu-se uma comparação entre a localização das áreas que atualmente sofrem processos erosivos com o mapa de susceptibilidade à erosão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os valores de erosividade (R), calculados para cinco estações pluviométricas situadas nas proximidades da ESEC de Aiuaba e de responsabilidade da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCME (Aiuaba, Barra, Bom Nome, Cedro, Fazenda Nova), obteve-se um valor médio anual de 4.128 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹, com precipitação média anual de 524 mm. Analisando dados pluviográficos em intervalos de 5 min registrados na Bacia Experimental de Aiuaba (inserida na ESEC de Aiuaba), Medeiros et al. (2012) obtiveram um valor médio anual de 4.599 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹, com uma média anual de precipitação de 549 mm em um período de oito anos (2004 a 2011).

Neste estudo, observou-se uma pequena variação de 4.020 a 4.285 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹ entre os postos pluviométricos estudados. Segundo Lopes et al. (2011), essa pequena diferença é explicada através da área considerada, ou seja, quanto maior a área de estudo, maior tende a ser a variação total entre os valores de R . Outra explicação é a diferença de períodos na análise dos postos considerados. A Tabela 1 mostra as cinco estações consideradas, suas localizações e respectivos valores de R .

Tabela 1: Estações pluviométricas e respectivos valores de R na ESEC de Aiuaba.

Estação	Período de dados	Localização	Valor de R (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹)
Aiuaba	1978 – 2012	6°34' S – 40°07' O	4.154
Barra	1999 – 2009	6°36' S – 40°19' O	4.030
Bom Nome	2000 – 2012	6°39' S – 40°31' O	4.150
Cedro	2001 – 2008	6°45' S – 40°16' O	4.285
Fazenda Nova	2000 – 2012	6°30' S – 40°22' O	4.020

Na análise dos valores médios mensais de erosividade, percebe-se uma concentração dos índices no pri-

meio semestre do ano, chegando a 91% de todo o ano.

Principalmente entre os meses de janeiro e abril, os índices de erosividade são bem maiores, chegando ao valor de $1.140 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ em janeiro e $1.026 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ em março. Já entre os meses de junho a novembro, coincidente com o período de escassez de chuva na região, os índices são praticamente nulos.

Considerando-se os limites da ESEC de Aiuaba, percebe-se maior influência da erosividade no setor sudoeste, decrescendo no sentido sudoeste-nordeste. Com relação à erodibilidade (K), as classes de solos encontradas na ESEC de Aiuaba foram baseadas no Projeto RADAMBRASIL (1981) e os valores do fator K para cada classe, assim como a relação com outras características estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Classes de solos presentes na ESEC de Aiuaba com seus respectivos valores do fator K e relação com outras características (Fonte: Medeiros (2009). N-Nulo; L-Ligeiro; M-Moderado; F-Forte; MF-Muito Forte; P-Plano; S.O - Suavemente Ondulado; O-Ondulado; F.O-Fortemente Ondulado. *Três referências a esta classe de solo devido a diferenças nas propriedades físicas, químicas e de relevo.

Classe de solo	Grau de susceptib.	Localização (ESEC)	Relevo	K ($\text{t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$)
Luvissolos Crômicos Órticos*	M/F/MF	Extremo Leste	S.O - O	0,026
Luvissolos Crômicos Órticos*	M/F/MF	Centro Sul	S.O	0,027
Luvissolos Crômicos Órticos*	M/F/MF	Extremo Oeste	O - F.O	0,033
Latosolos Verm.-Amar. Alum.	N/L	Sudoeste	P - S.O	0,018
Argissolos Verm.-Amar. Eutróf.	N/L/M	Noroeste	P - S.O.	0,015
Neossolos Litólicos Eutróficos	M/F/MF	Centro Leste	F.O	0,031

Legenda: N-Nulo; L-Ligeiro; M-Moderado; F-Forte; MF-Muito Forte; P-Plano; S.O - Suavemente Ondulado; O-Ondulado; F.O-Fortemente Ondulado.

*Três referências a esta classe de solo devido a diferenças nas propriedades físicas, químicas e de relevo.

De acordo com Lima, Oliveira e Aquino (2002), os solos podem ser enquadrados, quanto à susceptibilidade à erosão, em cinco graus: nulo, ligeiro, moderado, forte e muito forte. Esta classificação leva em conta, basicamente, duas situações: textura do solo e relevo onde este se encontra. O grau de susceptibilidade de cada classe de solo pode ser observado na Tabela 2.

A classe de solos Luvissolos Crômicos Órticos está distribuída na área da ESEC da seguinte maneira: a classe Luvissolos Crômicos Órticos (1) localiza-se no extremo leste, em uma área suavemente ondulada a ondulada; o Luvissolos Crômicos Órticos (2) localiza-se na região centro-sul em uma área suavemente ondulada; o Luvissolos Crômicos Órticos (3) localiza-se no extremo oeste em uma área ondulada a fortemente ondulada, além de apresentar uma fase pedregulhosa, o que explica o maior valor de K ($0,033 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$) nesta classe. A classe Latossolos Vermelho-Amarelos Alumínicos localiza-se no setor sudoeste, em uma área plana a suavemente ondulada, logo abaixo da classe Luvissolos Crômicos Órticos

(3). A classe Argissolos Vermelho-Amarelo Eutrófico localiza-se no setor noroeste, em uma área de relevo plano a suavemente ondulado, o que explica o valor de K ($0,015 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$) mais baixo dentre todas as classes de solo encontradas. A classe dos Neossolos Litólicos Eutróficos localiza-se no setor centro-leste, constituindo-se na área de maior declividade dentro da estação, o que contribui, juntamente com a textura, para que o valor de K ($0,031 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$) dessa classe seja o segundo maior dentre as classes encontradas.

Em relação à declividade, foram encontradas cinco classes, baseando-se na classificação de EMBRAPA (2006), as quais são apresentadas na Tabela 3, com suas respectivas áreas de abrangência. Observando a Tabela 3, percebe-se que maior parte da área (58,2%) apresenta relevo plano a suave ondulado (0 a 8%), principalmente nas bordas da ESEC. Na parte central, no sentido Leste-Oeste, observa-se um relevo mais acidentado, que varia de ondulado a fortemente ondulado (8 a 45%), com pequenos pontos montanhosos (maior que 45%).

O fator topográfico (LS) variou de 0 a 165, apresentando valores baixos nos interflúvios (regiões mais planas) - já que o comprimento de vertente e declividade são reduzidos - e valores mais altos onde se localizam as áreas de maiores declividades.

O fator de uso e manejo do solo foi obtido diretamente do estudo conduzido por Creutzfeldt (2006) na bacia do Benguê. Para esse fator, foi considerado o valor de 0,010 para a vegetação de Caatinga conservada, indicado pelo autor como valor médio para a área da ESEC de Aiuaba.

Tabela 3: Distribuição das classes de declividade na ESEC de Aiuaba.

Classe	Declividade (%)	Área (ha)	Área (%)
Plano	0 a 3	1790,1	16,0%
Suave Ondulado	3 a 8	4717,4	42,2%
Ondulado	8 a 20	3415,0	30,5%
Forte Ondulado	20 a 45	1252,3	11,2%
Montanhoso	Maior que 45	13,8	0,1%

Considerando que o estudo compreendeu uma Unidade de Conservação de Uso Integral, portanto não existindo medidas de controle da erosão, admitiu-se fator P igual a 1 (um).

Para a avaliação da susceptibilidade à erosão, fez-se uma adaptação das classes sugeridas por FAO (1967). Observando a Tabela 4 e o mapa de susceptibilidade

gerado (Figura 2), percebe-se que grande parte da área da ESEC de Aiuaba (79,6%) apresenta nenhuma ou ligeira susceptibilidade à erosão, variando de 0 a 10 t/ha.ano. Essas áreas apresentam-se distribuídas em praticamente toda a ESEC, nos locais de relevo plano a suavemente ondulado e presença de solo Argissolos Vermelho-Amarelo Eutrófico. Portanto, em um contexto global, a área é pouco susceptível aos processos erosivos.

O restante da área (20,4%) apresenta susceptibilidade de moderada a elevada (Tabela 4), e está localizada na porção central da ESEC de Aiuaba se estendendo no sentido leste-oeste. Essa região coincide com relevo mais acidentado (ondulado a fortemente ondulado).

Tabela 4: Relação dos percentuais de área segundo as classes de susceptibilidade à erosão por meio da EUPS para a ESEC de Aiuaba.

E (t/ha.ano)	Área (ha)	Área (%)	Classes*
0 – 3	6343,38	54,0%	Nenhuma ou Ligeira
3 – 10	3012,14	25,6%	Nenhuma ou Ligeira
10 – 50	2043,45	17,4%	Moderada
50 – 200	335,75	2,9%	Alta
Acima de 200	12,27	0,1%	Muito Alta

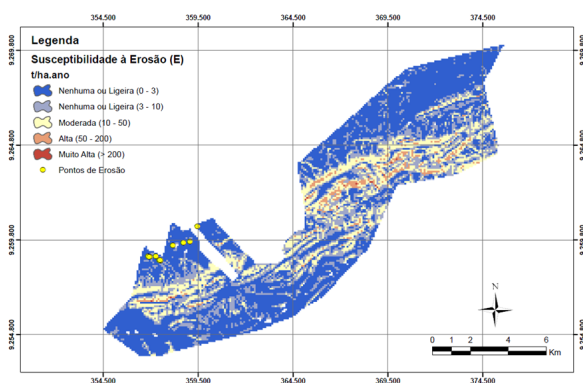


Figura 2: Mapa de Susceptibilidade à Erosão.

Observando o mapa de susceptibilidade e os pontos de erosão identificados in loco (Figura 3), percebe-se que os mesmos localizam-se em faixas de baixa susceptibilidade à erosão, o que parece contraditório com a estimativa da EUPS. No entanto, a área que hoje compreende a ESEC de Aiuaba era ocupada por latifúndios com atividades agropecuárias, segundo informações obtidas de um morador da região. Mais tarde essas terras foram parceladas em pequenos lotes, nos quais se praticava a agricultura de subsistência e a pecuária. Eram utilizadas práticas convencionais para tratamento da terra, como a aplicação de queimadas.

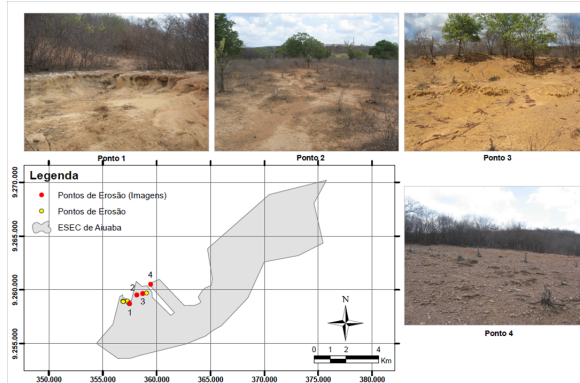


Figura 3: Carta Imagem indicando os pontos de maior susceptibilidade in loco.

É importante ressaltar que, para o cálculo de susceptibilidade à erosão, considerou-se que toda a área da ESEC de Aiuaba encontra-se coberta por vegetação de Caatinga. Esse fato não ocorria na época anterior à implantação da UC e, sendo a área mais susceptível, os processos erosivos poderiam ocorrer com maior frequência e intensidade, carreando nutrientes e deixando o solo cada vez mais pobre nessas áreas. Dessa forma, pode-se conjecturar que o uso e ocupação anteriores à implantação da ESEC tornaram a área mais vulnerável aos processos erosivos. Os resultados obtidos indicam a vulnerabilidade do Bioma Caatinga aos processos erosivos, tendo em vista a presença de áreas de clareira e com processos erosivos intensos mesmo após 34 anos de pousio (desde 1978).

5 CONCLUSÕES

A Estação Ecológica de Aiuaba apresenta baixa susceptibilidade à erosão em grande parte de seu território (79,6% do total), tendo também uma considerável área com moderada e alta susceptibilidade (17% e 2,9% respectivamente). As áreas com maiores índices de susceptibilidade à erosão estão diretamente relacionadas às maiores declividades, na região central da ESEC.

A comparação dos processos erosivos observados in loco, no setor oeste da estação, com o mapa de susceptibilidade elaborado a partir da EUPS, mostrou que alguns locais que atualmente apresentam processos erosivos situam-se em áreas de baixa susceptibilidade à erosão. Esse fato é decorrente do uso do solo em período anterior à instituição da área como Estação Ecológica, período em que eram praticadas atividades agrícola e pecuária sem a adoção de medidas conservacionistas. Após 34 anos de pousio, ainda que a vegetação tenha

se recuperado em grande parte da área, há regiões com processos erosivos intensos em que a vegetação ainda não foi capaz de se reestabelecer, indicando uma elevada susceptibilidade do bioma Caatinga aos processos erosivos.

REFERÊNCIAS

- ARAGAO, R. d.; ALMEIDA, J. A. P. d.; FIGUEIREDO, E. E. d.; SRINIVASAN, V. S. Mapeamento do potencial de erosão laminar na bacia do rio Japarutuba, SE, via SIG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, p. 731 – 740, 07 2011. ISSN 1415-4366. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011000700012&nrm=iso>.
- BERTONI, J.; NETO, F. L. *Conservação do Solo*. São Paulo: Ed. Ícone, 1990.
- BRAGA, B. et al. *Introdução à Engenharia Ambiental*. 2. ed. São Paulo: Pearson / Prentice Hall, 2005.
- BRASIL. *Constituição (1978). Decreto nº 81218, de 16 de janeiro de 1978. Declara de utilidade pública para fins de desapropriação pelo Ministério do Interior - Secretaria Especial do Meio Ambiente - SEMA, área de terra no município de Aiuaba, Estado do Ceará*. Brasília: [s.n.], 1978.
- _____. *Projeto RADAMBRASIL: Recursos Naturais*. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral., 1981. 740 p.
- _____. *Constituição (1988). Lei nº 7735, de 22 de fevereiro de 1989. Dispõe sobre a extinção de órgão e de entidade autárquica, cria o instituto brasileiro do meio ambiente e dos recursos naturais renováveis e dá outras providências*. Brasília: [s.n.], 1989.
- _____. *Constituição (1988). Lei nº 9985, de 18 de julho de 2000*. Brasília: [s.n.], 2000.
- _____. *Decreto nº s/n, de 06 de janeiro de 2001. Cria a Estação Ecológica de Aiuaba, no município de Aiuaba, no Estado do Ceará e dá outras providências*. Brasília: [s.n.], 2001.
- _____. *Constituição (1988). Lei nº 11516, de 28 de agosto de 2007*. Brasília: [s.n.], 2007.
- CREUTZFELDT, B. N. A. *Remote sensing based characterisation of land cover and terrain properties for hydrological modelling in the semi-arid Northeast of Brazil*. Dissertação (Mestrado) — Institut für Geoökologie, Universität Potsdam, 2006. 104 p.
- DINIZ, S. F.; MOREIRA, C. A.; CORRADINI, F. A. Susceptibilidade erosiva do baixo curso do rio acaraú-ce. *Geociências*, v. 27, n. 3, p. 355 – 367, 2008.
- EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Ed. EMBRAPA-SPI, 2006. 286 p.
- FAO. *La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo*. Roma: Ed. F.A.O, 1967. 207 p.
- FREITAS, L. F. D. et al. Determinação do potencial de erosão a partir da utilização da eups na bacia do rio preto. *Espaço e Geografia*, v. 10, n. 2, p. 431 – 452, 2007.
- LE MOS, J. R.; MEGURO, M. Florística e fitogeografia da vegetação decidual da estação ecológica de aiuaba, ceará, nordeste do brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 8, n. 1, p. 34 – 43, 2009.
- LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S.; AQUINO, A. R. L. D. *Limitações do uso dos solos do Estado do Ceará por susceptibilidade à erosão*. Fortaleza: Ed. Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 19 p.
- LOPES, F. B.; TEIXEIRA, E. M. A. A. S.; CAITANO, R. F.; CHAVES, L. C. G. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. *Revista Agroambiente Online*, v. 5, n. 2, p. 88– 96, 2011.
- MEDEIROS, J. B. L. D. P. *Zoneamento fito-ecológico da estação ecológica de Aiuaba: Uma contribuição à educação ambiental e à pesquisa científica*. Dissertação (Dissertação) — Departamento do PRODEMA, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004. 141 p.
- MEDEIROS, P. H. A. Padrão espacial da produção de sedimentos em uma bacia semi-árida: Comparação dos modelos usle e wasa-sed. In: UTEP. *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos*. Campo Grande, 2008. (8), p. 1 – 12.
- MEDEIROS, P. H. A. *Processos Hidrossedimentológicos e Conectividade Em Bacia Semiárida: modelagem distribuída e validação em diferentes escalas*. Tese (Doutorado) — Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, UFC, 2009.
- MEDEIROS, P. H. A.; SANTIAGO, R. A. C.; ARAÚJO, J. C. D. Concentração temporal da precipitação no semiárido brasileiro e seu efeito sobre

a erosividade. In: UTPF. *Anais de Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos*. Foz do Iguaçu, 2012. (10), p. 1 – 14.

RENARD, K. G. Revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 1, n. 45, p. 30 – 33, 1991.

ROSS, J. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. *Revista do Departamento de Geografia, USP*, v. 8, p. 51 – 62,, 1994.

SALOMAO, F. X. D. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. D. (Ed.). *Erosão e conservação dos solos*. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2012. p. 229 – 265. Cap. 7.

SILVA, A. M. D.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. D. *Erosão e hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas*. 2. ed. Rio de Janeiro: Ed. Rima, 2007. 153 p.

SILVA, J. E. da. *Água Subterrânea na Bacia Experimental de Aiuaba*. Dissertação (mestrado) — Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, 2008. 178 f.

VIEIRA, L. S. *Manual da Ciência do Solo*. 1. ed. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1988. 464 p.

WILLIAMS, J. R.; ARNOLD, J. G. *A system of erosion: sediment yield models*. USA: Soil Technology, 1997. 43 - 55 p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington: Ed. USDA, 1978. 537 p.

XAVIER, T. M. B. S. *Tempo de chuva: estudos climáticos e de previsão para o Ceará e Nordeste setentrional*. Fortaleza: Ed. ABC, 2001. 478 p.