

Mapeamento da vulnerabilidade natural aos processos erosivos na microrregião do Cariri Oriental Paraibano

A vulnerabilidade natural de um determinado ambiente mostra a pré-disposição do ambiente frente a fatores naturais (Clima, geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação) e sua estabilidade em relação à morfogênese e à pedogênese dos ambientes. O objetivo principal deste trabalho foi analisar e mapear a vulnerabilidade natural aos processos erosivos da microrregião do Cariri Oriental, região semiárida da Paraíba, bem como determinar a sua vulnerabilidade natural aos processos erosivos. Para tal, foram utilizados mapas de geologia, pedologia, declividade, cartas topográficas e imagens de satélite Landsat TM para verificação da vegetação, além de dados climatológicos de estações localizados no interior e exterior da área de estudo. Os principais resultados adquiridos indicam que a área apresenta características de intermediariedade o que é um fator a ser levado em consideração, pois esses ambientes estão mais propensos às mudanças o que faz crer que existe tendência a estes ambientes aumentarem suas vulnerabilidades devido ao fato de ser uma área que apresenta historicamente um predatismo antrópico dos recursos naturais fato este que deve ser estudado mais a fundo para melhores resultados da atual situação ambiental da área de estudo além de sugerir ações de gestão de recursos para uma melhor convivência entre seres humanos e meio ambiente.

Palavras-chave: Vulnerabilidade; Erosão; Geoprocessamento.

Mapping natural vulnerability to erosive processes in the microregion of Eastern Cariri Paraibano.

The natural vulnerability of a given environment shows the predisposition of the environment to natural factors (climate, geology, geomorphology, pedology and vegetation) and its stability in relation to the morphogenesis and pedogenesis of the environments. The main objective of this work was to analyze and map the natural vulnerability to erosive processes in the micro-region of Cariri Oriental, semi-arid region of Paraíba, as well as to determine its natural vulnerability to erosive processes. For this purpose, maps of geology, pedology, slope, topographic maps and Landsat TM satellite images were used to verify the vegetation, in addition to climatological data from stations located inside and outside the study area. The main results obtained indicate that the area presents intermediary characteristics, which is a factor to be taken into account, as these environments are more prone to changes, which makes us believe that there is a tendency for these environments to increase their vulnerabilities due to the fact that they are an area that has historically presented an anthropic predatism of natural resources, a fact that should be further studied for better results of the current environmental situation of the study area, in addition to suggesting resource management actions for a better coexistence between human beings and the environment.

Keywords: Vulnerability; Erosion; Geoprocessing.

Topic: **Uso de Recursos Naturais**

Received: **25/08/2021**

Approved: **26/09/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Jadson dos Santos Maciel

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8254984227238222>
prof.jadmaciel@gmail.com

Madson Tavares Silva 

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8829792848536805>
<http://orcid.org/0000-0003-1823-2742>
madson.geotech@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.009.0045

Referencing this:

MACIEL, J. S.; SILVA, M. T.. Mapeamento da vulnerabilidade natural aos processos erosivos na microrregião do Cariri Oriental Paraibano. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.9, p.582-596, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.009.0045>

INTRODUÇÃO

Os solos possuem limitações naturais quanto a sua produção e capacidade de suprir as necessidades dos seres (vegetais) que nele se desenvolvem, a ausência de informação quanto às limitações naturais do solo de uma determinada região, resulta no seu uso de forma indiscriminada, favorecendo, assim, sua degradação.

A erosão é um processo que ocorre, na desagregação das partículas e agregados do solo, no transporte destes agregados e como final do processo tem-se a deposição destes agregados. Ele inicia-se quando as forças que removem e transportam materiais são mais fortes do que a força que o solo tem de conseguir manter estes agregados juntos (GUERRA, 1998), a erosão também pode ser entendida como a interação de diversos agentes naturais tais como a água, gelo, neve, vento, plantas, animais e as ações antrópicas, na natureza esta interação ocorre de diferentes maneiras ocorrendo diferentes combinações destes elementos raramente ocorrendo erosão com a ação de apenas um destes elementos (BORGES, 2009).

Os processos erosivos são fenômenos que ocorrem naturalmente na superfície terrestre. Os diversos elementos naturais interagem entre si a fim de intensificar ou amenizar significativamente a intensidade e a propagação da ocorrência da erosão dos solos (MACIEL et al., 2016). Por esse, entre outros motivos, o estudo individual de cada fator natural responsável pela erosão é altamente necessário. Assim como, a vulnerabilidade que o sistema ambiental possui de sofrer desse processo.

Contudo, a vulnerabilidade não é determinada apenas pela exposição aos fatores de risco, ela também aparece na resiliência do sistema que sofre o distúrbio (BERKES, 2007; TURNER et al., 2003). A resiliência é uma característica que aumenta a capacidade dos sistemas sociais e naturais de enfrentarem e se adaptarem aos estresses sociais, políticos e/ou ambientais e, assim, reduzirem a sua situação de vulnerabilidade (CINNER et al, 2009).

Em uma noção acerca da vulnerabilidade natural proporciona uma base de conhecimento da situação atual do meio e que posteriormente pode ser utilizado como base para se atingir o desenvolvimento sustentável em uma área ou região, Conceituando-se vulnerabilidade natural como "incapacidade do meio-ambiente de resistir ou recuperar-se de impactos negativos antrópicos", ou seja, a vulnerabilidade natural mostra a pré-disposição do ambiente frente a fatores naturais como: geomorfologia, geologia, solos e a sua estabilidade em relação à morfogênese e à pedogênese.

O conceito de vulnerabilidade natural está intrinsecamente ligado aos conceitos de resiliência e resistência natural, amplamente utilizado pela ecologia e na física, que se refere à capacidade de um sistema de retornar à condição inicial após uma modificação e a capacidade de um sistema suportar as variações quando submetido a uma alteração ambiental respectivamente, pressupõe-se uma situação atual que deve persistir ou se recuperar, ressaltando que a vulnerabilidade natural é referente à situação atual do local.

Em regiões com climas semiáridos o desenvolvimento do processo erosivo devido ao uso indevido, aliada as condições climáticas pode contribuir com aumento do risco de processos de degradação

ambiental dentre os quais, a desertificação. Não há dúvidas que os processos erosivos se desenvolvem em áreas onde o total precipitado durante o ano são maiores, no entanto, em regiões semiáridas a grande variabilidade interanual das chuvas faz com que em um período de tempo muito curto ocorra chuvas torrenciais enquanto que no restante do ano sejam comumente encontrados valores nulos de precipitação, logo, os processos erosivos ocorrem não pela quantidade anual, mas pela sua intensidade.

Os estudos dos processos erosivos se fazem necessários de modo a ponderar e identificar esses processos em diferentes áreas, principalmente com a finalidade do ordenamento territorial e na gestão e preservação do meio ambiente. Tendo em vista que nas áreas semiáridas os sistemas historicamente implantados possuem características altamente predatórias e degradantes ao meio ambiente.

Pelo exposto, os questionamentos motrizes que se tomou para a elaboração deste artigo são: a) A Microrregião do Cariri Oriental apresenta vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos? b) Quais as áreas em que ela ocorre com menor ou maior intensidade?

Para responder a estas questões, a pesquisa teve como objetivo principal: Analisar e mapear a vulnerabilidade natural aos processos erosivos da microrregião do Cariri Oriental, região semiárida da Paraíba.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo compreende a microrregião geográfica Cariri Oriental com 4.249,78 km² de área, localizada na porção centro-sul do estado Paraíba, entre as coordenadas geográficas: 7º 00' a 8º 30' de latitude sul e 36º 00' a 37º 00' de longitude oeste.

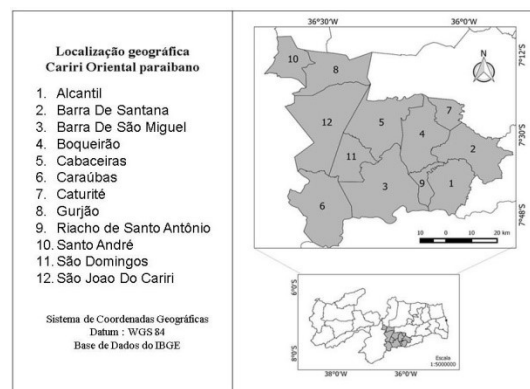


Figura 1: Localização geográfica do Cariri Oriental Paraibano.

A área de estudo está inserida na mesorregião da Borborema paraibana, possui tipo climático BSh (semiárido quente) segundo a classificação de Koppen, com altitude para níveis de 400 a 600 metros, em direção ao entalhamento do rio Paraíba, que forma uma rasa depressão intermontana, situada em cotas altimétricas de 300 metros, em vale encaixado e estreito (BRASIL, 2010).

No sentido leste/oeste se estende, desde a retaguarda da frente oriental escarpada até o limite das suas encostas ocidentais, com o Pediplano Sertanejo. Interrompe-se ao norte, no vale tectônico do Curimataú, e ao sul, prolonga-se até a fronteira com Pernambuco, onde encontra os alinhamentos de

cristas que se elevam a mais de 800m, como as serras das Umburanas, Serra de Acaí, Serra do Jabitacá. Pela sua localização, no espaço central do Estado situado mais ao sul, na divisa com Pernambuco, uma área significativa do território sofre muita influência de cidades pernambucanas, sobretudo daquelas que estão na zona de influência de Santa Cruz, situadas na porção ao norte do Território sofre influência econômica do município de Campina Grande (BRASIL, 2010).

De acordo com o censo demográfico de 2010, os municípios que compõem Território do Cariri Oriental - PB apresentava em 2010, uma população total de 63.704 habitantes, sendo que 29.483 habitantes residiam nas áreas urbanas e 34.221 nas áreas rurais. Sua densidade demográfica estava em torno de 14,99 habitantes por quilômetro quadrado.

Segundo a classificação do PNUD em 2010, 50% dos municípios que compõem o Cariri Oriental paraibano encontravam um estágio de “médio desenvolvimento humano” (aqueles cujo IDH-M situa-se entre 0,500 e 0,800).

Dados geológico-geomorfológicos e pedológicos

Para o trabalho será utilizada a base de dados do projeto Radam Brasil, carta SB- 24 E SB-25 na escala 1:250.000, disponível no site oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE), além de base de dados da Empresa brasileira de agropecuária (EMBRAPA) e do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Dados climáticos

Para a caracterização pluvial da microrregião foram utilizados dados médios mensais de estações pluviométricas distribuídas espacialmente na mesorregião da borborema paraibana. Para uma melhor caracterização da mesma, serão utilizados dados que possuam uma série ininterrupta de no mínimo 20 anos e foram conseguidos através do site oficial do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande (DCA-UFCG).

Tabela 1: Médias dos totais acumulados mensais de precipitação em localidade do estado da Paraíba no período de (1960-1990).

Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Aroeiras	36,8	47,9	89,6	109,7	73,2	74	88,7	41,6	22,5	10,6	9,9	26,3
Barra de S. Miguel	27,9	66	93,4	95,8	41,6	44	32,8	14,8	9,7	7,3	2,4	14,5
Barra de Santana	15,8	37,2	79,8	78,6	52,8	54,4	47,8	19	7,5	5,7	5,5	10,3
Boa Vista	26	35,3	82,3	69,4	58,7	53	46	19,3	5,5	6,6	4,4	9,5
Boqueirão	31,1	55,4	82,3	106,9	54,1	59,9	55,7	21,5	13,2	6	6,6	16
Cabaceiras	15,4	36,6	49,3	63	38,9	37,4	35,4	12,2	3,4	3	3,1	6,9
Camalaú	53,1	86,6	136,9	138,6	65,7	36	35,5	16,7	10,3	6,7	14,3	24,2
Campina Grande	38,3	55,2	97	110,9	108,8	110,2	106,7	58,5	28,2	11,5	13,4	20,2
Caraúbas	21	52,8	107,4	86,5	39,9	26	18,2	4,4	1,4	5	7,6	14,7
Congo	31,9	74,1	142,9	125,1	78,6	37,3	19,7	1,4	0,8	1,6	4,5	25,1
Fagundes	38,3	60	126,5	145,7	130	135,8	162,7	73,5	47,1	17,4	15,2	32,3
Gurjão	23,1	72,7	101,9	129,9	41,9	31,9	35,5	9,8	3,1	5,3	4,8	10,5
Juazeirinho	33,8	78	115,6	131,4	37,5	19,6	39,3	8,6	2,7	6,6	3,8	20,7
Olivedos	27,8	55,2	94,1	102,2	57,5	49,7	37,1	15,8	7,1	5	5,6	12,1
Pocinhos	20	35,2	64,3	68,9	51,5	51,4	48,7	18,7	9,8	5,2	3,5	8,1
R. de St. Antônio	29,1	55,8	79,8	106,6	35,7	39,8	36	16,1	7,1	3,1	4,5	17,7
S. João do Tigre	34,4	67,6	123,6	114	43,3	34,7	23,3	7,9	4,9	5,6	14,4	21,4
Salgadinho	35,3	68,2	115,8	110	48,7	22,7	18,4	7,7	2,1	1,9	6,6	13
Santo André	38,1	88,9	109,6	131,6	40,7	30	32,6	11,3	2,4	13	3,2	27,2

São J. dos Cord.	23,1	80,4	151,8	152,9	38,8	31,3	33,5	10,8	2,9	1,7	3,8	14
São João do Cariri	25,9	54,1	90,4	81,3	48,1	31	22,9	6,3	1,8	5,3	6,3	12,1
Serra Branca	32,4	80,8	118,2	136	39,9	29,5	24,4	10,1	5,3	4,9	5,8	30,6
Soledade	23,1	54,6	99,7	88	38,3	32,9	28,5	8,4	2,8	5,4	3,3	10,8
Sumé	43,8	77,5	132,9	130,3	58,7	42,4	23,5	9,3	5,1	6,4	11,9	18,2
Taperoá	34,1	83,1	134,9	109,7	50,5	28,2	20,1	7,5	2,4	4,7	10,6	26,1
Umbuzeiro	36,7	45,4	64,4	98,8	116,5	128,3	119,8	67,7	34,6	11,9	13,9	23,8

Os dados mensais serão agrupados cronologicamente e a partir de medidas de tendência central e de dispersão (desvio-padrão) serão elaborados histogramas para a definição da estação chuvosa e do período mais “seco” do Cariri Oriental.

Mapeamentos da declividade

Para realização do diagnóstico das declividades da área de estudo, serão utilizados dados do radar SRTM - (Shuttle Radar Topography Mission) obtidos através de acesso ao site da EMBRAPA (<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br/>). Através das ferramentas de elaboração de MDE do Qgis 16.1 calcular os diferentes intervalos de declividade sendo utilizada a classe proposta pela EMBRAPA dada em classes de declividade e suas respectivas porcentagens.

Mapeamento da vegetação

Para mapear a vegetação será utilizado o índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN), os valores de IVDN serão calculados com base em imagens Landsat Surface Reflectance (SR) com resolução espacial de 30 m, além de correções radiométrica e atmosférica (USGS, 2017). O IVDN foi proposto por Rouse em 1973, e tem como proposta reduzir os efeitos multiplicativos da assinatura espectral nas duas faixas espectrais reduzindo também o efeito topográfico (PONZONI, 2001) e é definido pela equação 1.

$$IVDN = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (1)$$

Em que: NIR - valor da refletância na faixa do infravermelho próximo, RED - valor da refletância na faixa do vermelho.

Por apresentar uma grande sensibilidade no que diz respeito à captação da matéria verde, o IVDN é amplamente utilizado em trabalhos científicos para caracterização dos aspectos vegetacionais de diversas áreas do globo terrestre, este índice varia de -1 a 1 sendo que os corpos hídricos e as nuvens apresentam comumente valores negativos, o solo exposto apresenta valores aproximados de 0 e a vegetação verde saudável com valores próximos a 1 (GONÇALVES et al., 2013).

O cálculo do IVDN e o processamento das imagens Landsat foram realizados na plataforma Google Earth Engine (GEE), para tanto, O script utilizado para obtenção das informações foi adaptado da própria plataforma tendo em vista que a mesma apresenta diversos exemplos de scripts para manipulação de dados no GEE, sendo possível a edição desses para obtenção de informações de uma área específica.

Mapeamento da vulnerabilidade

Após a confecção dos mapeamentos, foi realizado o processamento destes no software Qgis 16,1, onde os dados em formato Shapefile serão transformados para o formato Raster (Solos, Geologia, geomorfologia e intensidade das chuvas). Após a conversão serão atribuídos pesos de vulnerabilidade à erosão através das tabelas propostas por Crepani et al. (2001) com pesos variando de 1,0 a 3,0, sendo 1 para atributos considerados estáveis, onde predomina a pedogênese, 2 para os intermediários e 3 para os instáveis, onde predomina a morfogênese.

Estes valores de vulnerabilidade serão atribuídos para cada atributo dos temas Geologia, Vegetação, Pedologia, Clima e Declividade por meio da utilização da ferramenta disponível no software. O mapa de vulnerabilidade à erosão foi obtido após a álgebra de mapas das grades de vulnerabilidade à erosão para os temas citados anteriormente e esta álgebra consistiu na média simples dos cinco mapas citados, conforme apresenta a equação 2.

$$V = G + D + S + Vg + C / 5 \quad (2)$$

Onde: V = Vulnerabilidade, G = vulnerabilidade para o tema Geologia, D = vulnerabilidade para o tema Declividade, S = vulnerabilidade para o tema Solo, Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação e C = vulnerabilidade para o tema Clima.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Geologia

A geologia da microrregião do cariri oriental é formada basicamente por um embasamento cristalino, compostas em sua maioria por rochas metamórficas, como os ortognaisses, migmatitos, paragnaisses. As rochas magmáticas vêm logo em seguida apresentando percentual considerável, sendo mais comuns as plutônicas (granitos) e uma pequena ocorrência de rochas vulcânicas (basaltos), as rochas sedimentares são pouco expressivas na geologia da microrregião, ficando restrita ao nordeste da área com a ocorrência de arenitos. Conforme nos mostra a figura 2.

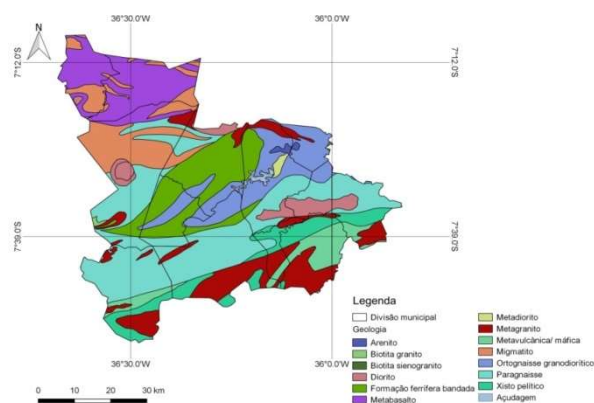


Figura 2: Mapa geológico da microrregião do Cariri Oriental.

Devido a estas características e levando em consideração os critérios de Crepani et. al. (2001), admite-se que a área possui uma vulnerabilidade geológica baixa, pois as rochas que a compõem apresentam alta resistência aos processos de intemperismo (figura 3).

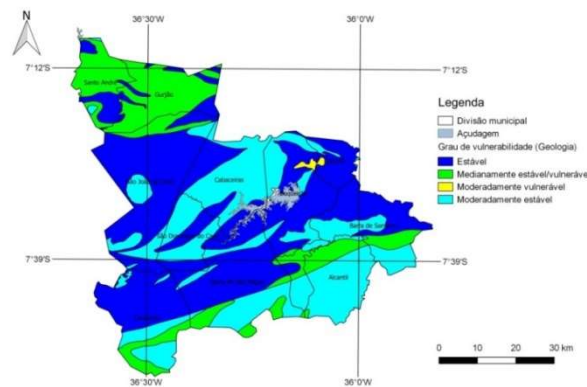


Figura 3: Grau de vulnerabilidade geológica para microrregião do cariri oriental.

A maioria das áreas apresenta características de estabilidade seguida da classe moderadamente estável com 48,2 e 32,8 % respectivamente, de acordo com Tricart (1977), os meios estáveis tendem a possuírem uma característica de pedogênese muito devido a esta estabilidade encontrada, no entanto, devido aos baixos valores de precipitação e, sobretudo a característica encontrada no semiárido brasileiro de possuir um regime pluvial bastante concentrado com cerca de 3 meses, com chuvas torrenciais, conforme nos mostra Xavier et al. (2016) para uma área muito próxima ao Cariri Oriental.

Tabela 3: Grau de vulnerabilidade geológica da microrregião do Cariri Oriental.

Grau de vulnerabilidade (Geologia)	Área	% da área
Estável	2061,9	48,2
Moderadamente estável	1404,4	32,8
Medianamente estável/vulnerável	801,3	18,7
Moderadamente vulnerável	12,1	0,3
Total	4279,7	100

Esta peculiaridade climática desta região faz com que, mesmo com a estabilidade encontrada, a morfogênese seja, a priori, mais notoriamente encontrada, do que a pedogênese não sendo incomum serem encontradas estruturas geomorfológicas desnudas (afloramento rochosos), mostrando que os baixos valores precipitados não conseguem causar um efetivo intemperismo na rocha e os solos que eventualmente são formados são carregados através das eventuais chuvas que ocorrem anualmente.

Clima

O clima predominante na região do Cariri é do tipo Bsh, com chuvas de verão e outono, temperatura média anual de 24^o C, precipitação média anual entre 350 e 700 mm.

A chuva é um elemento climático principal para a determinação climática de uma região (TUBELIS et al., 1980), com isso, o cariri oriental paraibano tem um regime pluvial bastante característico principalmente pela sua má distribuição temporal e espacial, esta característica lhe é dada por conta de estar dependente de sistemas atmosféricos bastante variáveis nestas duas escalas, na qual um ano

considerado “seco” e um muito chuvoso são diferenciáveis apenas pela forma e intensidade de ação dos indutores de chuva que agem sobre o semiárido brasileiro (NIMER, 1979).

Ainda segundo Nimer (op.cit.), “em nenhuma outra região do Brasil o regime anual de chuva é tão concentrado quanto na região semiárida do Nordeste”, esta afirmação evidencia a má distribuição temporal das chuvas nesta região, é comum áreas onde em um período de 2-3 meses chover percentuais maiores de 70% do esperado para o ano enquanto nos outros meses do ano podem ser encontrados valores nulos de precipitação.

Reafirmando esta característica, Duarte (2017) relata que as chuvas no semiárido possuem distribuição espacial bastante irregular, enquanto que em algumas áreas são registradas chuvas com grandes intensidades em áreas circunvizinhas não são registrados nenhuma chuva. Conforme pode ser observado na figura 4, o cariri oriental possui um regime anual de chuva bastante irregular quanto a sua distribuição, percebe-se uma estação chuvoso de três meses (fevereiro, março e abril) que compreende quase 60% do total precipitado do ano.

Do mesmo modo, o cariri oriental apresenta 4 meses de estiagem sendo 3 deles (setembro, outubro, novembro) com estiagem bastante evidenciada reafirmando a alta variabilidade temporal das precipitações nessa área.

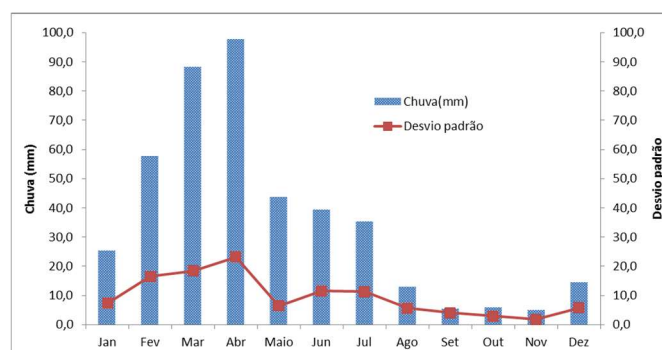


Figura 4: Regime pluviométrico médio para o Cariri Oriental.

Outro aspecto interessante são os altos valores dos desvios padrões encontrados mostrando que mesmo em um período chuvoso pode haver anos a qual o total precipitado seja abaixo do esperado.

A partir do mapa com os valores médios interpolados, elaborado com o auxílio de estações circunvizinhas, mostrada na Figura 5, percebe-se ainda que há uma maior amplitude nos valores precipitados no interior da microrregião, enquanto que na parte central do cariri oriental os totais anuais estão em torno dos 350 mm, o extremo norte correspondente ao município de Santo André e a porção leste correspondente aos municípios de Caturité, Boqueirão e Barra de Santana os totais anuais podem chegar aos 550 mm/ano. Mostrando uma amplitude anual total de 200 mm.

Segundo Araújo et al. (2008) essa característica de variabilidade espacial e temporal se deve aos sistemas de circulação atmosféricos que se alterna formando ora áreas/épocas com precipitações elevadas ora áreas/épocas com estiagem, pois os próprios mecanismos formadores de chuvas em toda a área são irregulares, tanto na sua participação espacial quanto em uma escala temporal, o que gera esta variabilidade característica não só no cariri paraibano, mas em todo nordeste Brasileiro.

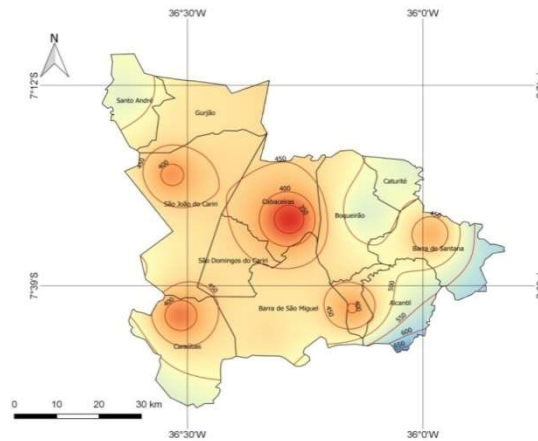


Figura 5: Variabilidade espacial dos totais anuais médios das chuvas.

Pedologia

Segundo BRASIL (2010), os solos do cariri oriental em geral, são rasos e pedregosos, sendo fácil encontrar solo descoberto resultado da prolongada estiagem que afeta a microrregião, bem como do sobrepastoreio que contribui para deixá-lo mais exposto ao processo de carregamento do material pelas águas das chuvas.

Embora o clima semiárido predomine no cariri oriental, a aridez é algumas vezes, acentuada por situações topográficas localizadas. Estes solos apresentam os maiores níveis de degradação. Quando ficam descobertos por causa da diminuição e do rebaixamento da cobertura vegetal, apresentam fortes sinais de erosão. No que se refere à pedologia, percebe-se uma maior presença de Luvisolos, Neossolos e planossolos, respectivamente; o que confere uma clara resposta as características climáticas e a forma de intemperismo na área.

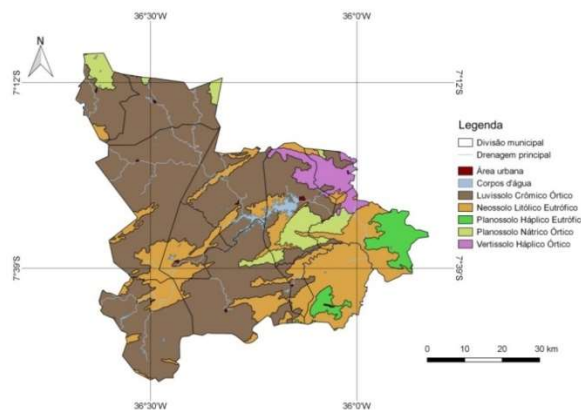


Figura 6: Pedologia da área de estudo.

O fato de estes solos terem como uma de suas características principais a pouca profundidade demonstra a fraca presença da chuva como agente pedogenético além de que, como foi demonstrado na figura 4, a chuva se concentra em curto espaço de tempo com característica de torrencialidade fazendo com que a morfogênese se sobressaia a pedogênese fazendo com que a pedologia da área tenha as características demonstradas.

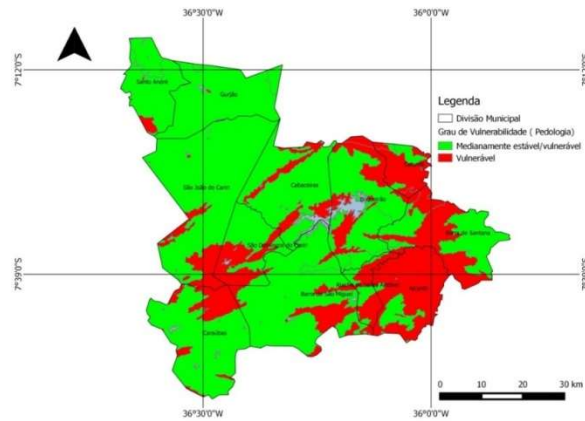


Figura 7: Vulnerabilidade pedológica no Cariri oriental.

Confirmando a característica apresentada anteriormente, a microrregião do cariri oriental apresenta solos medianamente estáveis/vulneráveis e vulneráveis, 72,5% e 27,5% respectivamente, esta característica se dá por conta dos solos pouco profundos e que podem ser facilmente transportados pelos agentes erosivos.

Tabela 4: Porcentagem dos graus de vulnerabilidade pedológica no Cariri oriental

Vulnerabilidade	Área (km ²)	%
Estável	0,00	0,0
Moderadamente estável	0,00	0,0
Medianamente estável/vulnerável	3.078,00	72,5
Moderadamente vulnerável	0,00	0,0
Vulnerável	1.168,45	27,5

Geomorfologia

Por se tratar de uma área bastante antiga, fazendo parte do planalto da Borborema que, segundo Corrêa et al. (2010), apresenta gênese epirogênica ligada ao desmantelamento do Gondwana e ao magmatismo intraplaca atuante ao longo do Cenozoico, a área apresenta, de modo geral, relevos bastante modestos (aplainados e suavemente ondulados) com topos elevados espalhados causados pelo intemperismo diferencial das rochas.

Neste sentido, Ross et al. (2008), relata que o planalto da Borborema e as áreas a qual ele pertence, apresentam altitudes chegando até os 1000 m, apesar da presença de topos mais retinizados, o modelado dominante apresenta formas convexas esculpidas em litologia do cristalino representadas por rochas intrusivas e metamórficas de diferentes idades, ao longo do pré-cambriano.

Ainda segundo o mesmo autor, esta unidade de relevo comporta-se como maciços antigos intensamente trabalhados por processos erosivos ao longo do terciário e ainda é possível encontrar que no reverso dessa unidade é possível encontrar extensas depressões que se interpõem entre os maciços antigos e as bacias do Parnaíba e do Maranhão.

Como pode ser observado na figura 8, às altitudes majoritariamente apresentam-se inferiores aos 700 m com poucos pontos com altitude superiores a isso, as áreas mais rebaixadas correspondem ao exutório do Açude público Epitácio Pessoa mais conhecido como Açude de boqueirão, localizado em

município de mesmo nome, esta barragem está localizada após a união do alto curso do rio Paraíba e o rio Taperoá.

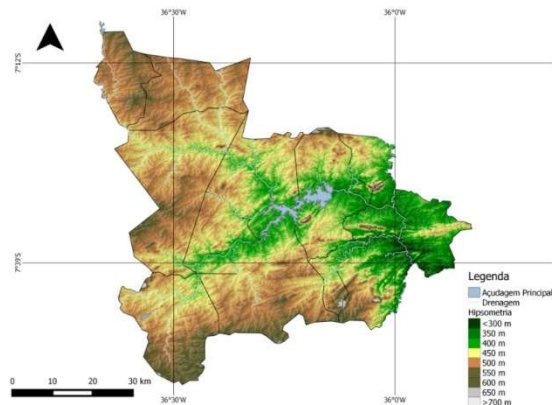


Figura 8: Mapa hipsométrico da microrregião do Cariri Oriental

De acordo com a declividade observada na figura 9, percebe-se que o relevo é em sua grande maioria suavemente ondulado (75,6% da área), caracterizando a ação dos agentes modeladores do relevo na área. Percebe-se a sudeste da microrregião áreas que apresentam declividades maiores (superiores a 20%) o que caracteriza uma ação fluvial descrita por Xavier et al. (2012) característica da bacia hidrográfica da qual o Cariri Oriental faz parte onde a área sofre com fortes erosões das encostas dos rios, isto causado pelo regime pluvial da área demonstrado na figura 4 onde em um curto período de tempo se concentram mais da metade do esperado no ano.

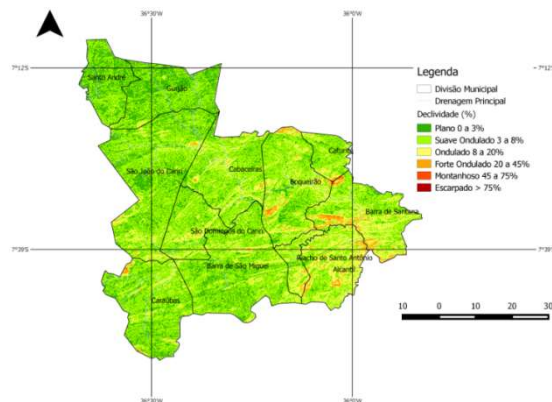


Figura 9: Declividade da microrregião do Cariri Oriental.

Devido a estas características, e levando em consideração os critérios de Crepani et al. (2001), admite-se que a área possui uma vulnerabilidade Geomorfológica baixa, com vulnerabilidade majoritariamente moderadamente estável. Esta característica é causada por suas baixas declividades (inferiores a 8%), amplitude altimétricas suaves e não abruptas e grau de dissecação do relevo baixo, o que se deve ao fato de serem áreas com terrenos mais aplainados e com baixas declividades.

Tabela 5: Grau de vulnerabilidade geomorfológica para microrregião do Cariri Oriental.

Vulnerabilidade	Área (km ²)	%
Estável	107,53	3,3
Moderadamente estável	2.481,71	75,6
Medianamente estável/vulnerável	608,51	18,5
Moderadamente vulnerável	81,5	2,5
Vulnerável	3,86	0,1

As áreas consideradas vulneráveis e moderadamente vulneráveis são inexpressivas na área de estudo estando concentradas em pontos isolados no centro-leste da área somente sendo encontradas em menos de 3 % da área.

Vegetação

A vegetação típica da região é a Caatinga, denominada pelos índios de “mata branca”, é o bioma de maior incidência na região semiárida com ecologia endêmica nordestina, que vem sendo fragmentada de forma predatória, desde o início da colonização do nordeste semiárido brasileiro, cedendo lugar a pastagens para criação de gado, sobretudo o bovino e o caprino e as lavouras.

Segundo Araújo (2011) a vegetação do semiárido é escassa e esparsa, deixando o solo nu e propenso aos processos erosivos mecânicos, seja pelo vento ou pela água, que arrastam as partículas constituintes daquele, não permitindo sua evolução qualitativa.

O modelo predatório de utilização da vegetação da caatinga fez com que ao longo dos anos fosse notada uma diminuição constante e expressiva dessa vegetação, fazendo com que fosse notória a diminuição da caatinga em muitas áreas, ainda segundo Araújo (2011) a vegetação sofreu um processo de degradação pelo uso da lenha, por constantes queimadas e desmatamentos para uso do solo na agropecuária, possibilitando o desaparecimento de diversas espécies ou seu raleamento.

Com isso podemos observar a Figura 10 que demonstra o IVDN elaborado para a área de estudo como está configurado as características da vegetação da área de estudo, para a classificação da vegetação em classes, utilizou-se a metodologia proposta por Gonçalves et al. (2013) no semiárido paraibano a qual o mesmo dividiu a vegetação em 5 classes de acordo com as respectivas reflectâncias encontradas no IVDN com respectivos graus de vulnerabilidade.

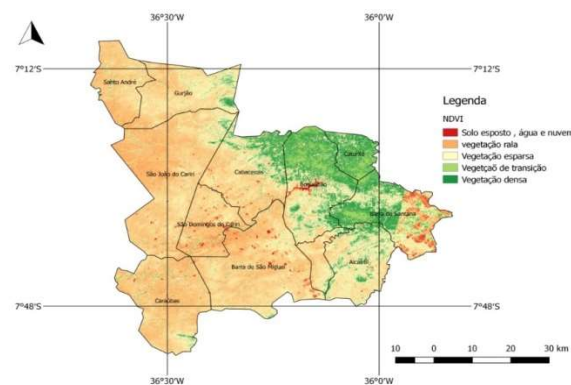


Figura 10: IVDN da área de estudo.

Conforme pode ser observado no IVDN a maior parte da área de estudo foi considerada como vegetação “rala”, este tipo de vegetação não consegue proteger o solo de forma efetiva fazendo com que ele seja mais facilmente erodido pelos agentes modeladores da paisagem, percebe-se que existe áreas onde a vegetação é esparsa e a este tipo de vegetação é dado um grau intermediário de vulnerabilidade, no setor mais ao centro leste da área de estudo pode ser encontrada vegetações consideradas uma vegetação mais adensada e portanto com uma capacidade de proteção do solo maior.

Após desconsiderar os valores encontrados de interferência atmosférica (nuvens) obteve-se que em 73,5% da área a vegetação apresenta vulnerabilidade considerada moderadamente vulnerável, logo seguida da categoria medianamente estável/vulnerável com 13,0% da área total, estes dados mostram que é necessária uma maior atenção as áreas de caatinga, pois se percebe um nível de degradação muito grande conforme pode ser observado na tabela 6.

Tabela 6: Grau de vulnerabilidade da vegetação para microrregião do cariri oriental.

Vulnerabilidade	Área (km ²)	%
Estável	207,91	4,7
Moderadamente estável	277,51	6,3
Medianamente estável/vulnerável	568,20	13,0
Moderadamente vulnerável	3.218,19	73,5
Vulnerável	105,89	2,4

Mapa de Vulnerabilidade natural

A vulnerabilidade natural apresentada no cariri oriental se deve principalmente pelo conjunto de características constituintes da paisagem e a forma com que todos estão intrinsecamente ligados.

A geologia cristalina lhe confere um valor de vulnerabilidade bem menor mostrando uma maior capacidade de resistir aos processos erosivos atuantes, esta característica aliada aos baixos valores anuais precipitados fazem com que os solos sejam rasos e pedregosos com primazia aos processos erosivos mecânicos ao invés dos químicos, além disso, o relevo majoritariamente aplainado a ondulado com relativas baixas declividades reafirma a baixa capacidade das chuvas em modelar o relevo e sobre tudo a vegetação de caatinga, que apresenta gênese em resposta as características climáticas apresentada, no espaço temporal pesquisado, não apresenta capacidade significativa de proteger de forma efetiva os solos.

Conforme pode ser observado no mapa da vulnerabilidade natural aos processos erosivos nota-se que em toda a microrregião a classe que mais é perceptível é a moderadamente estável/vulnerável, logo seguido da moderadamente estável, mostrando que a área apresenta uma posição intermediária no que diz respeito à vulnerabilidade.

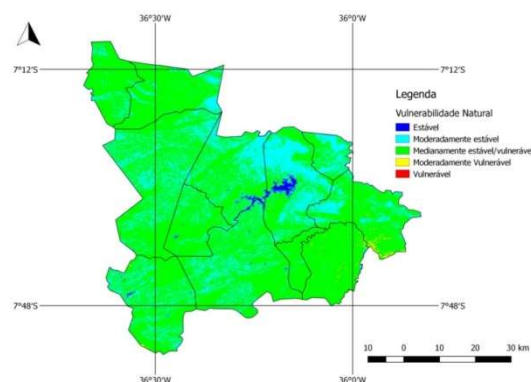


Figura 15: Vulnerabilidade natural aos processos erosivos para microrregião do cariri oriental.

Como pode ser observado na tabela 7 as classes moderadamente estável e medianamente estável/vulnerável apresentam maior representatividade na área de estudo com 44,2 e 54,6 respectivamente, as outras classes apresentam uma inexpressividade percentual, não sendo encontradas

áreas consideradas “vulneráveis”, ou seja, com alto valor potencial de vulnerabilidade aos processos erosivos na área de estudo.

Tabela 7: Grau de vulnerabilidade natural aos processos erosivos para microrregião do cariri oriental.

Vulnerabilidade	Área (km ²)	%
Estável	47,66	1,1
Moderadamente estável	1.902,37	44,2
Medianamente estável/vulnerável	2.347,31	54,6
Moderadamente vulnerável	2,95	0,1
Vulnerável	0,00	0,0

De acordo com Tricart (1977) nos meios intergrades existe um balanceamento entre a morfogênese e a pedogênese, no entanto embora aparente “tranquilidade”, o mesmo autor ressalta que “tais meios intergrades, como as zonas de transição biogeográficas, são particularmente cambiantes, particularmente sensíveis as influencias que modificam localmente, por vezes a alguns metros de distância somente” o que significa que esses meios apresentam uma susceptibilidade maior ao eventos naturais e ou antrópicos que possam ocorrer, pois, esta característica de intermediariedade é bastante tênue pois:

Os meios intergrades são delicados e suscetíveis a fenômenos de amplificação, transformando-se em meios instáveis cuja exploração fica comprometida. Desde que a instabilidade geodinâmica cresce, pode ser necessário recorrer às implantações de estruturas, como por exemplo, para estabilizar as torrentes cuja atividade faz crescer a instabilidade das vertentes. Mas na maior parte dos casos, restam apenas os controles biológicos, que são os mais eficazes. A preocupação principal deve ser a de facilitar a manutenção da vegetação (TRICART, 1977).

CONCLUSÕES

Inicialmente, pode-se concluir que as ferramentas de geoprocessamento, principalmente no que diz respeito à manipulação de dados digitais a fim do zoneamento de áreas é uma alternativa altamente viável e que apresenta bons resultados principalmente ao se tratar de identificações de feições físicas da paisagem além de se criar um novo modo de perceber o meio ambiente.

A metodologia utilizada na elaboração de cartas de vulnerabilidade natural apresentam resultados que podem ser utilizados para um melhor planejamento e ordenamento espacial e, sobretudo ambiental, é perceptível que as ações antrópicas vem paulatinamente substituindo e modificando o espaço natural por um espaço geográfico antropizado e que apresenta característica de regeneração e resiliência muito aquém do que é necessário para os ambientes naturais, nesse sentido, conhecer as áreas que já são naturalmente propicias aos fenômenos erosivos são de fundamental importância.

A análise da carta de vulnerabilidade natural na microrregião do cariri oriental paraibano permite verificar que área apresenta uma característica de intermediariedade o que, no entanto, não garantem plena segurança devido ao fato dos meios intergrades apresentarem grande susceptibilidade as mudanças. Com isso, este tipo de material pode e deve ser utilizado a fim de definição de áreas de uso e ocupação futuras ou ainda para um replanejamento da ocupação atual do solo para um uso mais consciente e principalmente a fim de preservação de áreas com potencial vulnerabilidade natural.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, L. E.; SOUSA, F. A. S.; RIBEIRO, M. A. F. M.; SANTOS, A. S.; MEDEIROS, P. C.. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.23, n.2, p.162-169, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S010277862008000200005>
- ARAÚJO, S. M. S.. A região semiárida do nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Rios electronica - Revista Científica da FASETE**, v.5, n.5, p.89-98 2011.
- BERKES, F.. Understanding uncertainty and reducing vulnerability: lessons from resilience thinking. **Nat Hazards**, v.41, n.1, p.283-295, 2007.
- BORGES, K. M. R.. **Avaliação da suscetibilidade erosiva da bacia do rio Carinhonha (MG/BA) por meio da EUPS-Equação universal de Perda de Solos**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- CARVALHO, L. M. T.; LOUZADA, J. N.. Zoneamento ecológico-econômico do estado de Minas Gerais: abordagem metodológica para caracterização da componente flora. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. **Anais**. Florianópolis: INPE, 2007.
- CINNER, J.; FUENTES, M. M. P. B.; RANDRIAMAHAZO, H.. Exploring Social Resilience in Madagascar's Marine Protected Areas. **Ecology And Society**, v.14, n.1, p.1-20, 2009.
- 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.
- CORREA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R.. Megageomorfologia e morfoestrutura do planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, v.31, n.1-2, p.35-52, 2010.
- DUARTE, J. V. N.. **Caracterização do Regime Pluvial do Semiárido Paraibano Utilizando Série de Fourier**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017.
- GONCALVES, J. L. G.; FRANCISCO, P. R. M.; MORAES NETO, J. M.. Identificação de áreas degradadas na região semiárida utilizando imagens multiespectral e NDVI. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 42. **Anais**. Fortaleza, 2013.
- GUERRA, A. J. T.. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B.. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, p.149-199.
- MACIEL, J. S.; XAVIER, R. A.. Spatial dynamics of rainfall erosivity in the Taperoá river basin, semiarid region of Paraíba. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, Recife. v.6, n.4, p.205-218, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5935/2237-2202.20160021>
- NIMER, E.. **Pluviometria e recursos hídricos dos estados de Pernambuco e Paraíba**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.
- BRASIL. **Plano territorial de desenvolvimento rural sustentável**: Território da Borborema. Brasília: SIT, 2010.
- ROSS, J. L. S.; SCARLATO F. C.; ANGELO S.; CONTI J. B.; OLIVEIRA, A. U.. **Geografia do Brasil**. São Paulo: EDUSP, 2008.
- TRICART, J.. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.
- TURNER, B. L.; KASPERSON, R. E.; CHRISTENSE, N. L.. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. **Proc natl acad sci**, Washington, v.1, n.1, p.8074-8079, 2003.
- TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L.. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1980.
- XAVIER, R. A.; DORNELLAS, P. C.; MACIEL, J. S.; BU, J. C.. Caracterização do regime fluvial da Bacia hidrográfica do rio Paraíba-PB. **Revista Tamoios**, São Gonçalo, v.1, n.2, 2012. DOI: <https://doi.org/10.12957/tamoios.2012.4745>

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.