



FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTENGI/RN, BRASIL

Fellipe Souza de Araujo, UFRN, fellipe.souza26@gmail.com
Caio Victor Macêdo Pereira, UFRN, caiomp2010@hotmail.com
Ivo Cavalcanti Neto, UFRN, ivocavalcantisjs@gmail.com
Matheus Natan Ferreira Alves de Sousa, UFRN, matheusnatancivil@gmail.com
Joyce Clara Vieira Ferreira, UFRN, joyceclaravfgeo@gmail.com
Paulo Eduardo Vieira Cunha, UFRN, pauloeduardovc@gmail.com
Carlos Wilmer Costa, UFRN, carloswilmercosta@gmail.com

Resumo

As atividades humanas relacionadas ao uso do solo desenvolvidas sem planejamento e emprego de critérios técnicos, afetam negativamente a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos. A fim de identificar fragilidades e potencialidades ambientais e levantar dados importantes para subsidiar o planejamento territorial, são necessários estudos ambientais em escala de bacia hidrográfica. O objetivo deste trabalho consiste em identificar a fragilidade ambiental à erosão da Bacia Hidrográfica do Rio Potengi/RN (BHRP), a partir de análise multicritério, considerando as variáveis naturais e antrópicas presentes na bacia, segundo a metodologia de Ross (1994, 2012) e outros estudos. Foram definidas cinco classes de fragilidade ambiental: “Muito Forte”, “Forte”, “Média”, “Fraca” e “Muito Fraca”. As áreas com grau “Muito Forte” e “Forte” somaram juntas 18,3% da BHRP, influenciadas diretamente pelas áreas descobertas, áreas de pastagem, culturas temporárias e fatores naturais como o tipo de solo, a geologia e o relevo.

Palavras-chave: erosão, vulnerabilidade, zoneamento ambiental, Rio Potengi.

1. Introdução

O desenvolvimento científico, tecnológico e econômico das sociedades humanas apresenta, ao longo da história, uma relação proporcional com o avanço da exploração dos recursos naturais (TRICART, 1977; ROSS, 1994). Desse modo, há uma preocupação na sociedade que leva ao conseqüente processo de evolução nos estudos e pesquisas para quantificar e qualificar os impactos da ocupação territorial e influência antrópica no ambiente, principalmente, no contexto da bacia hidrográfica (GONÇALVES *et al.*, 2011).

As bacias hidrográficas são unidades que podem ser utilizadas para o planejamento ambiental e que apresentam vulnerabilidade natural proveniente de características particulares da mesma, como relevo, geologia e tipo de solo (ANDRADE *et al.*, 2018). Sendo assim, entender a importância da bacia hidrográfica no contexto ambiental e a sua relação com o meio social passa pela análise da degradação ambiental e requer conhecimentos específicos dessa unidade, visando desenvolver técnicas e alternativas de preservação e conservação dos recursos naturais (SANTOS *et al.*, 2007).

Na análise de fragilidade ambiental, componentes que dão suporte à vida, tais como, solo, relevo, geologia, água, clima e vegetação, devem ser avaliados de forma sistêmica e



integrada, considerando as ações antrópicas que modificam os ambientes naturais (DONHA *et al.*, 2006). Isso permite avaliar as potencialidades e fragilidades dos recursos naturais e a suscetibilidade dos elementos das diversas paisagens inseridas na bacia hidrográfica (SANTOS e MARCHIORO, 2020).

Neste contexto, o sensoriamento remoto é um importante instrumento para análises ambientais de grandes áreas. Esta técnica auxilia no estudo da paisagem, permitindo explorar os diversos fenômenos ambientais, desde a escala global até a escala local (SILVA e FARIAS, 2019). Associado ao sensoriamento remoto, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e outras técnicas de geoprocessamento, são fundamentais para obter todos os elementos necessários para análise de fragilidade ambiental (MELO, 2020) e contribuem para os estudos inter-relacionados entre as ciências da terra e ambientais (FLORENZANO, 2005).

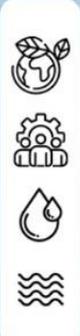
O fator erosão entra como um importante fenômeno para degradação do solo e recursos hídricos. Os problemas erosivos são relevantes em escala de bacia hidrográfica, estes podem contribuir para o aporte de sedimento nos mananciais, chegando até o estuário do rio principal (SANTOS e SCUDELARI, 2011). Isto posto, é notório que os estudos de fragilidade ambiental permitem a identificação das ações necessárias a serem implantadas, servindo de base para zoneamento ambiental e contribuindo para a gestão ambiental da área de estudo (SPÖRL e ROSS, 2004).

A Bacia Hidrográfica do Rio Potengi (BHRP) abrange cerca de 25 municípios e é uma das bacias mais importantes do estado do Rio Grande do Norte, agregando diversas relevâncias territoriais (SEMARH, 1998). Em vista disso, o presente artigo é produto da pesquisa apoiada pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) sobre ações de recuperação de nascentes e áreas degradadas da BHRP, visando a melhoria da disponibilidade hídrica. O objetivo deste trabalho é classificar a fragilidade ambiental à erosão da BHRP, a partir de análise multicritério, considerando as variáveis naturais e antrópicas presentes na bacia.

2. Fundamentação teórica

Diversos autores, como Paiva *et al.* (2022), Santos e Marchioro (2020) e Spörl (2001), desenvolveram trabalhos de fragilidade ambiental à erosão baseados na metodologia proposta por Ross (1994). Segundo Spörl e Ross (2004), o termo fragilidade ambiental pode ser compreendido como susceptibilidade do sistema ambiental de sofrer modificações ou ser modificado. Os autores supracitados indicam que processos naturais ou antrópicos são fatores que podem quebrar o equilíbrio dinâmico do meio, gerando uma possível situação de risco e colapso para o sistema.

Os estudos de Ross (1994, 2012) tiveram como fundamento o conceito de Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977), o qual subsidiou o desenvolvimento metodológico pautado na elaboração de produtos cartográficos temáticos que consideram análise de relevo, solos, litologia clima e uso da terra/cobertura vegetal. Esses mapas temáticos quando tratados de forma integrada possibilitam o diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais.



IV SUSTENTARE & VII WIPIS

WORKSHOP INTERNACIONAL

Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO
GRATUITO
TOTALMENTE
ONLINE

Realização:




Apoio:

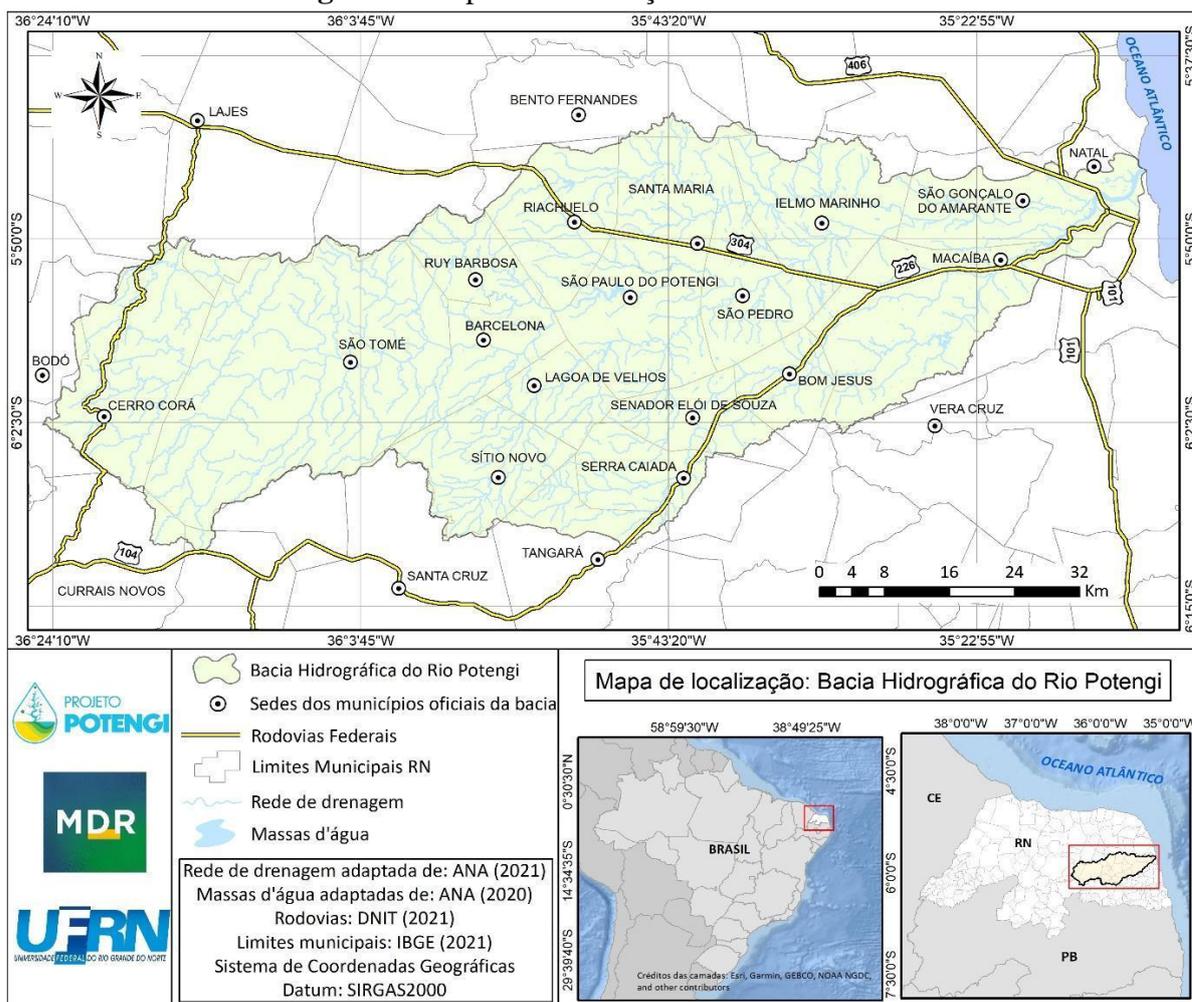



Tricart (1977), classifica as Unidades Ecodinâmicas como “Estáveis”, “meios *Intergrades*” e “Instáveis”. As Unidades Ecodinâmicas Estáveis são caracterizadas por áreas em equilíbrio dinâmico natural preservadas das ações antrópicas, ou seja, sua morfodinâmica atua em estado natural. Os meios *Intergrades* são compreendidos como meios de transição entre as unidades Estáveis e Instáveis. As Unidades Ecodinâmicas Instáveis são aquelas onde as ações antrópicas alteram o equilíbrio dinâmico por diversos fatores, como a retirada da vegetação e substituição da cobertura vegetal natural por pastagens, plantações, etc.

3. Metodologia

3.1 Caracterização da BHRP

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Autores (2022).

A BHRP está localizada a leste do estado do Rio Grande do Norte, possui uma área de 4.093 km², 7,7% do território do estado, e abrange 25 municípios situados nas mesorregiões Central, Agreste e Leste potiguar (SEMARH, 1998).

A BHRP apresenta três tipos climáticos de acordo com o sistema de classificação de Köppen (1928), sendo estes: BSw^h, que apresenta-se muito quente e semiárido, contemplando a região extremo-oeste da bacia; BSh^s, de característica climática quente e semiárida, abrangendo a porção centro-oeste da bacia; e As^s, caracterizado como tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa localizado na porção leste da bacia (ÁLVARES *et al.*, 2014; KÖPPEN e GEIGER, 1928).

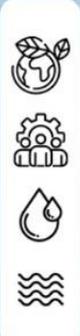
O regime pluvial da BHRP apresenta características dinâmicas, com períodos chuvosos e de estiagem que acompanham as estações do ano (período de chuvas e de estiagem). Entre os anos de 2001 a 2021, por meio de dados fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), verificou-se a menor precipitação anual registrada no município de Senador Elói de Souza, com valor médio de 293,51 mm, em contrapartida, Natal apresentou a maior precipitação média registrada, 1762,4 mm.

A pedologia da área de estudo é caracterizada pela presença de 9 tipos de solos, previamente identificados pelo projeto RADAMBRASIL (1981) (Figura 2-b), sendo estes: Argissolo Amarelo Distrófico (PAd), Argissolo Vermelho Eutrófico (PVe), Gleissolo Tiomórfico Órtico (GJo), Latossolo Amarelo Distrófico (LAd), Luvisolo Crômico Órtico (TCo), Neossolo Litólico Eutrófico (RLe), Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), Neossolo Flúvico Ta Eutrófico (RYve) e Planossolo Háplico Eutrófico (SXe).

A geomorfologia da BHRP é produto das interpretações taxonômicas do estado do Rio Grande do Norte conduzidas por Diniz *et al.* (2017), concluindo-se que a bacia apresenta três unidades morfoestruturais, três unidades morfoesculturais e nove subunidades morfoesculturais, sendo as três principais unidades: Tabuleiros costeiros, Depressão Sertaneja e Planalto da Borborema (Figura 2-a).

De modo geral, a geologia da BHRP (Figura 2-e) é composta por variações de rochas escudo cristalino (metamórficas e ígneas), rochas de natureza sedimentar e depósitos sedimentares.

A cobertura e uso da terra na bacia foi gerada a partir de técnicas de sensoriamento remoto que associadas ao Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013) e mapa de vegetação do BDIA (2018), permitiu classificar em Áreas Urbanas, Áreas Descobertas, Áreas de Mineração, Áreas de Pastagem, Áreas de Vegetação Natural (Savana-Estépica Florestada, Savana-Estépica Arborizada, Savana-Estépica Parque e Formação Pioneira com influência Fluvio-marinha), Áreas de Culturas Temporárias e Massas d'água.



IV SUSTENTARE & VII WIPIS

WORKSHOP INTERNACIONAL

Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO
TOTALMENTE ONLINE

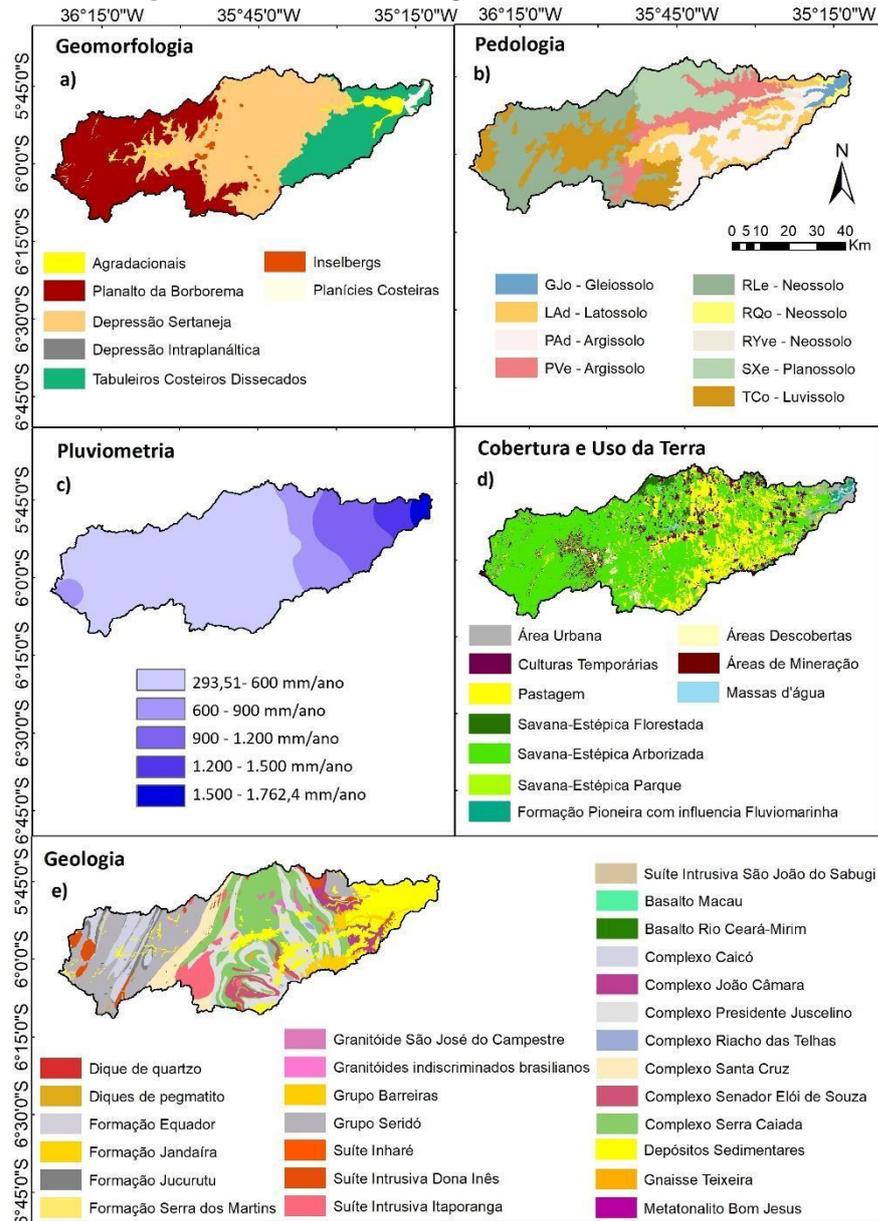
Realização:




Apoio:




Figura 2: Características geoambientais da BHRP.



Fonte: Autores (2022).

3.2 Procedimentos metodológicos

A proposta metodológica utilizada para análise da fragilidade ambiental foi descrita por Ross (1994, 2012), que é resultante do estudo e conceito das Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977). Tal proposta faz relação dos componentes físicos, bióticos e abióticos da paisagem de



cada ambiente com o equilíbrio dinâmico das paisagens, além de classificar o equilíbrio de áreas que sofreram modificações por intervenções antrópicas como Unidades Ecodinâmicas Instáveis e áreas que não sofreram com a ação humana e estão em equilíbrio dinâmico como Unidade Ecodinâmicas Estáveis (TRICART, 1977; ROSS, 1994; ROSS, 2012).

A caracterização da BHRP foi realizada a partir de dados secundários por meio de referências bibliográficas disponibilizadas em páginas eletrônicas oficiais do Governo do Estado e Federal. A confecção dos mapas temáticos foi efetivada nos *softwares* ArcGis 10.8 e QGIS 3.22.11 utilizando-se de dados secundários, conforme apresentado na Tabela 1. Os dados levantados foram georreferenciados, adotando referencial geodésico SIRGAS 2000 e sistema de projeção Geográfica.

Tabela 1: Banco de dados dos produtos cartográficos temáticos da BHRP.

Produtos cartográficos temáticos	Descrição	Fonte	Resolução Espacial/Escala
Clima	Interpolação de dados coletados das estações pluviométricas (Série histórica 2001-2021).	EMPARN(2022)	
Geologia	Folhas geológicas de: João Câmara, Lajes, Natal, Santa Cruz, São José do Mipibu, São José do Campestre.	CPRM (2012, 2013a, 2013b, 2016, 2018a, 2018b)	1:100.000
Geomorfologia	Adaptada de: DINIZ et al. (2017) e Folhas Geológicas (CPRM).	DINIZ <i>et al.</i> (2017)	1:250.000
Pedologia	Mapa de Classes de Solos realizado a partir da folha SB.24 e folha SB.25, mapeamento realizado pelo RADAMBRASIL e suas respectivas atualizações.	BRASIL (1981), adaptado pelo IBGE (2017)	1:250.000 ¹
Cobertura e Uso da Terra	Análise detalhada de imagens de satélite atualizadas (abril/2022) associadas ao mapa de vegetação do BDIA IBGE (2016) e Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013), atribuindo classe no mapa até o nível 2 (subclasse).	BDiA IBGE (2018); IBGE(2013)	
	Satélite: PlanetScope (PSL); Sensor PS2: SD; Bandas: 1,2 e 3.	Planet Labs PBC (2022)	5m

Fonte: Autores (2022).

A análise multicritério iniciou-se com a classificação individual dos graus de fragilidade a processos erosivos, com números entre 1 e 5, de acordo com as características geoambientais dos atributos, classificando-os da seguinte maneira: Muito Fraca = 1, Fraca = 2, Médio = 3, Forte = 4 e Muito Forte = 5 (Tabela 2). A classificação dos pesos de cada elemento foi

¹Embora impresso em escala 1:500.000, tal mapeamento foi realizado utilizando uma base planimétrica em escala 1:250.000.

estabelecida de acordo com Ross (1994, 2012) e com base no conhecimento da equipe interdisciplinar formada por Engenheiro Civil e Geógrafos.

Tabela 2: Classes de Fragilidade Ambiental

Classes de Fragilidade	Geologia
Muito Fraca (1)	Suíte Intrusiva Dona Inês, Granitóides Indiscriminados brasileiros, Formação Jucurutu (ferrífera bandada e quartzito), Complexo Senador Elói de Souza (granulito félsico), Complexo Serra Caiada (ferrífera bandada), Suíte Intrusiva Itaporanga, Granitóide São José do Campestre, Dique de Quartzo, Basalto Rio Ceará-Mirim, Diques de Pegmatito
Fraca (2)	Formação Jucurutu (biotita gnaisse), Formação Equador, Complexo Caicó (ortognaisse granítico e gnaisse), Suíte Intrusiva São João do Sabugi, Basalto Macau, Grupo Seridó (xisto aluminoso), Complexo Santa Cruz (ortognaisse, ortognaisse granítico e Augen gnaisse), Complexo Presidente Juscelino, Gnaisse Teixeira, Metatonalito Bom Jesus, Complexo Riachos das Telhas, Complexo Serra Caiada (biotita gnaisse), Complexo João Câmara
Média (3)	Formação Jucurutu (rocha calcissilicática), Complexo Caicó (anfíbolito, hornblenda e Gabro), Complexo Serra Caiada (Anfíbolito e Gabro), Complexo Senador Elói de Souza (anfíbolito), Complexo Riacho das Telhas (Piroxenito), Suíte Inharé e Grupo Seridó (rocha calcissilicática)
Forte (4)	Formação Serra dos Martins (arenito), Formação Jucurutu (Mármore) e Grupo Barreiras (Arenito conglomerático)
Muito Forte (5)	Depósitos Sedimentares e Formação Jandaíra
	Solos
Fraca (2)	Latossolo Amarelo Distrófico.
Média (3)	Argissolo Vermelho Eutrófico, Luvissole Crômico Órtico, Gleissolo Tiomórfico Órtico
Forte (4)	Planossolo Háptico Eutrófico e Argissolo Amarelo Distrófico.
Muito Forte (5)	Neossolo Litólico Eutrófico, Neossolo Quartzarênico Órtico (Dunas) e Neossolo Flúvico Eutrófico
	Pluviosidade
Média (3)²	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com períodos secos no verão (setembro a janeiro/fevereiro) e inverno chuvoso (fevereiro/março a agosto), com volume de 900 a 1.800 mm/ano
Muito Forte (5)³	Comportamentos pluviométricos irregulares ao longo do ano, com episódios de chuvas de alta intensidade e volumes anuais baixos, geralmente abaixo de 900mm/ano (semi-árido)
	Classes de Cobertura e Uso da Terra⁴

²A proposta original para avaliação da fragilidade não considerava o domínio morfoclimático de verões normalmente secos e invernos chuvosos que dominam grande parte do litoral do Nordeste.

³Metodologia para classificação adaptada de Spörl (2001).

⁴Tendo em vista que a fragilidade está condicionada à relação morfogênese x pedogênese, a metodologia de Ross (1994, 2012) não indica nível de fragilidade para a área urbana, portanto, devido tais processos, a análise para áreas urbanas se torna inviável para áreas urbanas (COSTA *et al.*, 2015).

Muito Fraca (1)	Áreas de vegetação natural: Formação pioneira com influência fluviomarinha (mangue) e Savana-estépica florestada
Fraca (2)	Área de vegetação natural: Savana-estépica arborizada
Média (3)	Áreas antrópicas agrícolas de Culturas permanentes e Áreas de vegetação natural: Savana-estépica Parque
Forte (4)	Áreas antrópicas agrícolas: Culturas temporárias e pastagem
Muito Forte (5)	Áreas descobertas (solo exposto)

Fonte: Autores (2022).

A princípio, foi realizada a delimitação da BHRP por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE), extraído do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), sensor PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) de micro-ondas que opera na Banda L. A partir disso, foram elaborados os mapas de Classes de Fragilidade de Dissecção do Relevo, Fragilidade dos Solos, Fragilidade do Uso e Cobertura do solo, Fragilidade por Variável Pluviométrica, Fragilidade da Geologia e Fragilidade Ambiental à Erosão.

As Classes de Fragilidade de Dissecção do Relevo (Carta Geomorfológica) seguem a proposta de Ross (1994) que considera a utilização do Índice de Dissecção do Relevo (IDR) para escalas médias e pequenas (1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000), índice referente ao grau de entalhamento do vale e a dimensão interfluvial para análise geomorfológica (ROSS, 1992; ROSS, 1994). A matriz de índices de dissecção do relevo foi gerada a partir da proposta de Guimarães *et al.* (2017).

Por fim, a rede de drenagem da BHRP foi produzida com base no mapa disponibilidade hídrica da Agência Nacional das Águas (ANA) do ano de 2021, informações das folhas topográficas do BDGEx e através da interpretação visual das imagens de satélite da MAXAR tecnologias, disponibilizadas pelo *software Google Earth*, com resolução espacial de 10 m.

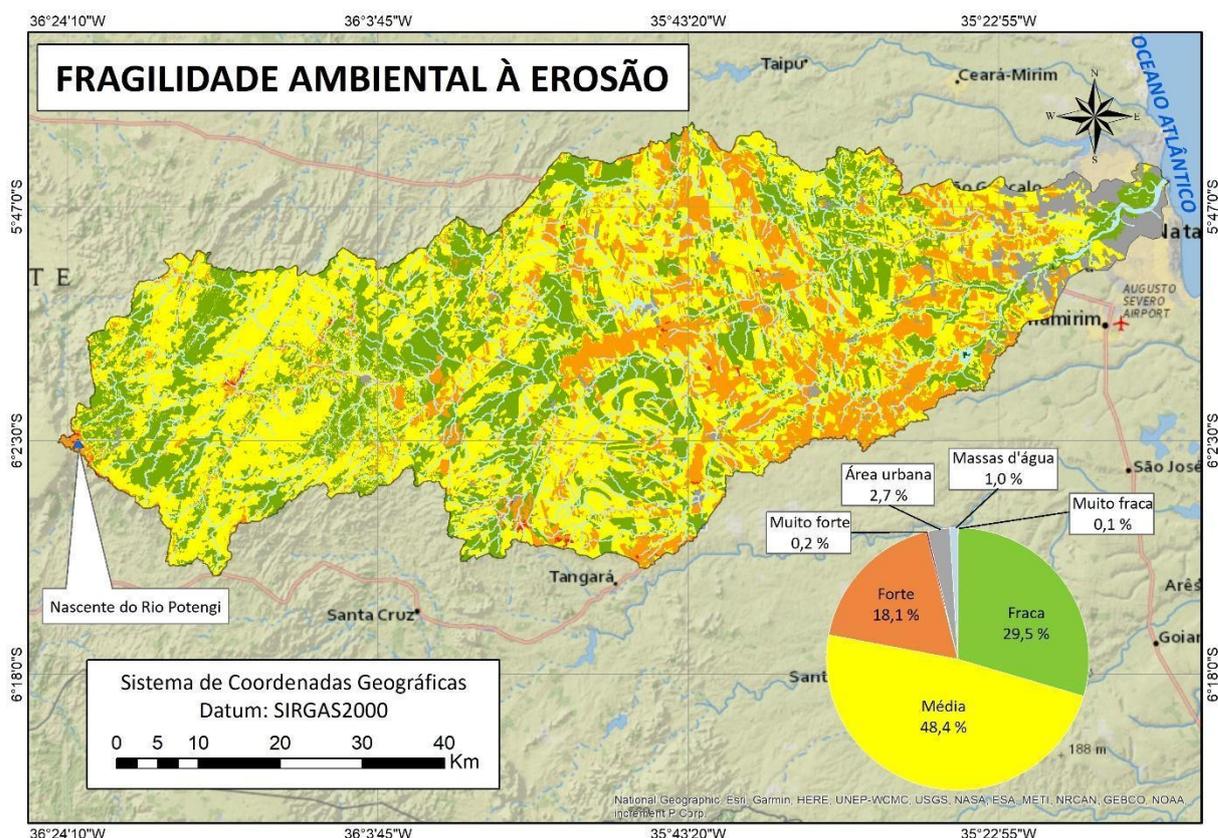
Após o levantamento de dados e confecção dos produtos cartográficos foi realizada a ponderação hierarquizada para cada classe de fragilidade e a equalização do tamanho das células (26 x 26 m). Foi gerado o mapa de fragilidade por meio da álgebra de mapas em ambiente SIG utilizando a ferramenta de soma ponderada (*Weighted sum – Spatial Analyst tools*).

4. Resultados e discussões

Para melhor compreensão das classes de fragilidade atribuída aos ambientes, os resultados e discussão do presente estudo foram organizados por tópicos. Em cada tópico, foi discutido o quanto as peculiaridades dos atributos ambientais foram determinantes para a classificação da fragilidade. Desse modo, foram feitas análises em termos de cobertura e uso da terra, fragilidade e outras variáveis ao longo de todo o território da BHRP.



Figura 3: Mapa da fragilidade à erosão da BHRP.



Fonte: Autores (2022).

4.1 Fragilidade Muito Fraca e Fraca

No mapeamento realizado, observou-se poucas áreas de fragilidade “Muito Fraca”, ao passo que as áreas de fragilidade ambiental “Fraca” se encontraram distribuídas por toda bacia. Na região do estuário do Rio Potengi, notou-se áreas com predomínio da vegetação nativa, principalmente, vegetação de mangue, as quais foram determinantes para o resultado apresentado. É possível perceber que tal classificação, também, foi consequência da fragilidade baixa da análise geomorfológica concebida pelo IDR.

As regiões do médio e transição para o alto curso da bacia, apresentaram fragilidade “Fraca” sendo, em sua maioria, áreas recobertas por vegetação natural. As áreas estão inseridas sobre rochas cristalinas e solos com texturas argilosa, argilosa/média ou arenosa/média.

Na área do alto curso, a fragilidade “Fraca” foi consequência, principalmente, das unidades metamórficas e dos solos de textura arenosa/argilosa e média. Encontra-se também nessas áreas, o desenvolvimento da vegetação natural típica da caatinga.

4.2 Fragilidade Média



Constatou-se que as áreas de fragilidade “Média” estão distribuídas por toda a BHRP, sendo considerada como a classe de fragilidade mais expressiva. As áreas presentes na região centro-oeste e oeste da bacia apresentaram rochas do embasamento cristalino e alto índice de dissecação do relevo. Algumas porções da região apresentaram vegetação natural da caatinga, desenvolvida em solos com textura arenosa/argilosa e arenosa/média.

4.3 Fragilidade Forte

Esta classe de fragilidade é mais representativa nos médio e baixo cursos da bacia, influenciada, principalmente, pelas culturas temporárias e áreas de pastagem extensiva. No baixo curso, a fragilidade “Forte” está intimamente ligada à presença de depósitos sedimentares e alta pluviosidade. Por outro lado, o médio curso apresenta fragilidade “Forte” em áreas de sedimentos colúvio-eluviais, associados à pluviosidade menor que 900 mm/ano.

Em porções menores, também foram identificadas regiões de fragilidade “Forte” no alto curso. O resultado obtido nas localidades próximas da nascente do Rio Potengi foi condicionado pela Formação Serra dos Martins (arenito, arenito conglomerático, arenito siltico-argiloso e laterita), pela baixa pluviosidade e presença de culturas temporárias.

Na região centro-oeste da bacia os fatores principais para fragilidade “Forte” foram os depósitos aluvionares (areia, areia arcoseana e silte), a intervenção da pecuária extensiva (pastagem) e culturas temporárias.

4.4 Fragilidade Muito Forte

Foram identificadas poucas áreas de fragilidade “Muito Forte” cuja distribuição ocorreu, principalmente, nas regiões do médio e alto cursos da bacia, nas zonas central-sul, central-norte e oeste. Essas regiões apresentaram áreas descobertas, áreas de pastagem e culturas temporárias.

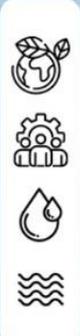
Na zona central da BHRP, a área identificada se deve aos Depósitos colúvio-eluviais (Areia, Argila e Cascalho) e áreas descobertas.

Na região centro-oeste da bacia encontra-se, entre uma área de transição do Planalto da Borborema e a Depressão Sertaneja, depósitos aluvionares associados às áreas antrópicas agrícolas de culturas temporárias e de pastagem, as quais conduziram para o resultado obtido.

À montante da bacia, próximo das áreas de nascente do Rio Potengi, a classe de fragilidade foi fortemente influenciada pela Formação Serra dos Martins (arenito, arenito conglomerático, arenito siltico-argiloso, laterita), grau muito forte de dissecação do relevo, por áreas de pastagem e pequenas áreas com solo exposto.

4.5 Considerações sobre a fragilidade ambiental da BHRP

Verificou-se que as atividades de pecuária extensiva estão concentradas nas áreas com “Forte” e “Muito Forte” grau de Fragilidade Ambiental. Segundo Trimble e Mendel (1995), o gado é um agente importante de mudança geomorfológica, potencializando os processos erosivos. Isso acontece devido a compactação do solo em consequência do pisoteio, o que favorece o escoamento superficial e provoca a redução das taxas de infiltração da água. Em



IV SUSTENTARE & VII WIPIS

WORKSHOP INTERNACIONAL

Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO
GRATUITO
TOTALMENTE
ONLINE

Realização:



SUSTENTARE
PUC-CAMPINAS



WIPES
IBC-UFPA

Apoio:



Agência das Rocias PCJ



COMITÊS PCJ

estudos realizados por Costa *et al.* (2018), em área de manancial periurbano, foi verificado que as áreas destinadas à pastagem extensiva são responsáveis por 81,2% das ravinas e 94,7% das voçorocas.

Durante visita *in loco* nas áreas de nascente do Rio Potengi, foram constatadas zonas de pisoteio do gado (Figura 4-a e 4-b), áreas de solo exposto (Figura 4-d) e a instalação de alguns processos erosivos (sulcos de erosão e ravinamentos) (figura 4-e), corroborando com o mapeamento da cobertura e uso do solo, o qual influenciou nos resultados de fragilidade ambiental obtidos para esta área.

Áreas antrópicas agrícolas de culturas temporárias também influenciaram zonas de fragilidade “Muito Forte” e “Forte”. As áreas em terras urbanizadas e áreas de culturas perenes são caracterizadas pela redução da permeabilidade do solo, o que pode comprometer a contribuição para o escoamento subterrâneo, considerado como um fator importante na disponibilidade de água nos períodos de estiagem (VANZELA *et al.*, 2009; GOMES *et al.*, 2007). Segundo Farias *et al.* (2021), qualquer atividade de uso da terra, por mais mínima que seja a extensão, tem potencial para interferir no ciclo hidrológico.

Figura 4: Pisoteio do gado próximo à nascente do Rio Potengi (a) e (b); Nascente do Rio Potengi (c); Área de solo exposto próximo da nascente do Rio Potengi (d); Pináculos que evidenciam erosão da camada superficial do solo.



Fonte: Autores (2022).



5. Conclusões

A BHRP apresentou 48,4% de áreas de fragilidade “Média”, 18,1% com fragilidade “Forte”, apenas 0,2% com fragilidade “Muito Forte” e as fragilidades “Fraca” e “Muito fraca” somaram 29,6%. Fatores naturais como a geologia sedimentar e o alto grau de dissecação do relevo associados a cobertura exposta do solo, culturas temporárias e pastagem, foram os principais condicionantes para classificar as classes de fragilidade “Muito Forte” e “Forte”.

Desse modo, entende-se que o objetivo do trabalho foi atingido, pois considerando que a BHRP é importante para diversas atividades econômicas e sociais no estado do Rio Grande do Norte, o mapeamento realizado poderá subsidiar o planejamento territorial, futuros zoneamentos ambientais e ações de recuperação de áreas degradadas. Assim, recomenda-se a validação de outras áreas mapeadas, tal qual o aperfeiçoamento da metodologia utilizada.

6. Agradecimentos

Os agradecimentos são dedicados à Universidade Federal do Rio Grande do Norte, ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, ao Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) e à Fundação Norte-Rio-Grandense de Pesquisa e Cultura (FUNPEC) pelo incentivo financeiro.

Referências bibliográficas

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; ALVES, J. L. de M. G.; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, [S.I.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. Disponível em: http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf. Acesso em: 10 out. 2020.

ANDRADE, M. M.; KLEIN, D. R.; KREFTA, S. M.; VIEIRA, A. G.. Determinação da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica pertencente ao município de Presidente Prudente, SP. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 17, n. 2, p. 278-285, 19 jul. 2018. Universidade do Estado de Santa Catarina. <http://dx.doi.org/10.5965/223811711722018278>. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/8884>. Acesso em: 5 set. 2022.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. 1981. **Projeto RADAMBRASIL**: Folhas SB. 24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra, (Levantamento de Recursos Naturais, 23), 744p.

COSTA, C. W., PIGA, F. G., MORAES, M. C. P., DORICI, M., SANGUINETO, E. C., LOLLO, J. A., MOSCHINI, L.E., LORANDI, R., OLIVEIRA, L. J. Fragilidade ambiental e escassez hídrica em bacias hidrográficas: Manancial do Rio das Araras, Araras, SP. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 946-958, 2015. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em:



<https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=156&SUMARIO=5120>.
Acesso em: 10 set. 2022.

COSTA, C. W.; LORANDI, R.; LOLLO, J. A. de; IMANI, M.; DUPAS, F. A.. Surface runoff and accelerated erosion in a peri-urban wellhead area in southeastern Brazil. *Environmental Earth Sciences*, [S.L.], v. 77, n. 5, 23 fev. 2018. **Springer Science and Business Media LLC**. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-018-7366-x>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-018-7366-x#citeas>. Acesso em: 15 out. 2022.

DINIZ, M. T. M.; OLIVEIRA, G. P. de; MAIA, R. P.; FERREIRA, B.. MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, [S.L.], v. 18, n. 4, p. 689-701, 1 out. 2017. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i4.1255>. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1255>. Acesso em: 20 out. 2022.

DONHA, A. G.; SOUZA, Luiz C. de P.; SUGAMOSTO, Maria L.. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 175-181, out. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662006000100026>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/RGGxMhT3T9LpKq7J9zxyZVz/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 29 ago. 2022.

FARIAS, E. da S.; SILVA, J. B. L. da; PIRES, L. C.; BRITO, J. M. S. de; QUINELATO, R. V.. Influência do uso e ocupação do solo na disponibilidade hídrica das bacias dos rios Peruípe, Itanhém e Jucuruçu, Bahia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 1175, 14 abr. 2021. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p1175-1193>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf/article/view/248958>. Acesso em: 15 out. 2022.

FLORENZANO, T. G.. Geotecnologias na Geografia aplicada: difusão e acesso. *Geography Department, University Of Sao Paulo*, [S.L.], p. 24-29, 2005. Universidade de Sao Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.7154/rdg.2005.0017.0002>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47272>. Acesso em: 20 out. 2022.

GOMES, N. M.; FARIA, M. A.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 427-435, ago. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662007000400013>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/m6L4FQJwcNm3zRdF538BPFw/?lang=pt>. Acesso em: 15 out. 2022.



GONÇALVES, G. G. G.; DANIEL, O.; COMUNELLO, É.; VITORINO, A. C. T.; ARAI, F. K. DETERMINAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 4, p. 797-808, 19 dez. 2011. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v41n4.25344>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/25344/16982>. Acesso em: 18 out. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) - Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA): **Cobertura Vegetal**, 2018. Disponível em: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/vegetacao>>. Acesso em: 10 ago. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manuais técnicos em geociências: Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed., 2013. 171 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2022.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (1928). **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm.

MELO, E. Z. **GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À ANÁLISE E DELIMITAÇÃO DE ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP) DE CURSOS D'ÁGUA**. 2020. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós- Graduação em Qualidade Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia,, Uberlândia, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/29056/1/GeotecnologiasAplicadasAnalise.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

PAIVA, A. M. L.; AMARO, V. E.; LOLLO, J. A.; COSTA, C. W. Fragilidade Ambiental aplicada em área de manancial no Nordeste brasileiro. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 128-147, 14 abr. 2022. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. <http://dx.doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n1id24368>. Disponível em: https://redib.org/Record/oai_articulo3777718-fragilidade-ambiental-aplicada-em-%C3%A1rea-de-manancial-nordeste-brasileiro. Acesso em: 10 set. 2022.

ROSS, J. L. S. **ANÁLISE EMPÍRICA DA FRAGILIDADE DOS AMBIENTES NATURAIS ANTROPIZADOS**. Geography Department, University Of São Paulo, [s.l.], p.63-74, 1994. Universidade de São Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP. <http://dx.doi.org/10.7154/rdg.1994.0008.0006>. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327>. Acesso em: 25 ago. 2022.

ROSS, J. L. S. **LANDFORMS AND ENVIRONMENTAL PLANNING: POTENTIALITIES AND FRAGILITIES**. Geography Department, University Of Sao Paulo, [s.l.], p. 38-51, 2012. Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.7154/rdg.2012.0112.0003>. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/53841/57804>. Acesso em: 08 out. 2022.

SANTOS, G. V.; DIAS, H. C. T.; SILVA, A. P. S.; MACEDO, M. N. C. Análise hidrológica e socioambiental da bacia hidrográfica do córrego Romão dos Reis, Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 931-940, out. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622007000500017>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/bLvMRyKk9kh7Q739WdStPxS/?lang=pt>. Acesso em: 29 ago. 2022.

SANTOS, J. R. U.; MARCHIORO, Eberval. Análise empírica da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, Espírito Santo, Brasil. **Geography Department University Of Sao Paulo**, [S.L.], v. 39, p. 72-87, 26 jun. 2020. Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/rdg.v39i0.160946>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/160946>. Acesso em: 24 set. 2022.

SANTOS, R. O.; SCUDELARI, Ada Cristina. AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À EROÇÃO HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTENGI, RN. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011, Maceió. **Anais [...]**.

SEMARH, Secretaria de Estado de Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. 1998.

SILVA, M. R. S.; FARIAS, Juliana Felipe. O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO NOS ESTUDOS DE GEOECOLOGIA DAS PAISAGENS: um estudo de caso sobre o Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Potengi – RN (ACBHRP-RN). **Revista Equador (Ufpi)**, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 276-289, ago. 2019. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/9235/5409>. Acesso em: 20 out. 2022.

SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. 2001. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo, 2001. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-18012002-225147/pt-br.php>. Acesso em: 15 out. 2022.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise Comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 39-49, 2004. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geosp.2004.123868. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/123868>. Acesso em: 20 out. 2022.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/ecodinamica.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2022.

IV SUSTENTARE & VII WIPIS
WORKSHOP INTERNACIONAL
Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos
 de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização:
 SUSTENTARE FUD-CAMPINAS
 WIPES

Apoio:
 Agência das Bacias PCJ
 COMITÊS PCJ

TRIMBLE, S. W.; MENDEL, A. C. The cow as a geomorphic agent — A critical review. **Geomorphology**, [S.L.], v. 13, n. 1-4, p. 233-253, set. 1995. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0169-555x\(95\)00028-4](http://dx.doi.org/10.1016/0169-555x(95)00028-4).

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 55-64, jan. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662010000100008>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/wYWM8Ws6jCnzYQrVvJx3fzJ/?lang=pt>. Acesso em: 15 out. 2022.