

Fragilidade ambiental aplicada em área de manancial no nordeste brasileiro

Environmental fragility applied in a spring area in northeastern brazil

Arthur Miranda Lobo de Paiva¹; Venerando Eustáquio Amaro²; José Augusto Di Lollo³; Carlos Wilmer Costa⁴

- ¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal/RN, Brasil. Email: arthurmlpaiva@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3983-8305>
- ² Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal/RN, Brasil. Email: venerando.amaro@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7357-2200>
- ³ Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira/SP, Brasil. Email: jose.lollo@unesp.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6703-5377>
- ⁴ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal/RN, Brasil. Email: carloswilmercosta@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3148-0030>

Resumo: O nordeste brasileiro é muito afetado pela escassez hídrica proporcionada principalmente pelas características climáticas desfavoráveis. Devido a recente crise, entre 2010 e 2017, dezenas de cidades do semiárido enfrentaram sérios problemas que expôs a fragilidade dos atuais sistemas de abastecimento. Os estudos ambientais em mananciais de abastecimento são necessários para o planejamento territorial e a identificação das vulnerabilidades a processos de degradação, visando adequar às necessidades humanas à viabilidade ambiental. O objetivo deste trabalho consiste em mapear a Fragilidade Ambiental à erosão da Bacia Hidrográfica do Sistema Lacustre Bonfim (BHSLB), um conjunto de lagoas responsável pelo fornecimento de água à região Agreste do Rio Grande do Norte (RN). Foi utilizada a Fragilidade Ambiental em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) com emprego da Análise Multicritério e Lógica Fuzzy, para integrar os atributos geoambientais a fim de verificar as relações entre processos erosivos de morfogênese e pedogênese associados ao assoreamento da região lacustre do manancial. 44,15 km² (61,15% da área) apresentou grau de Fragilidade Ambiental Médio, Forte e Muito Forte, indicando a necessidade de atenção com relação principalmente à regulamentos do uso do solo, dada a existência de atividades com alto poder de degradação em consonância com zonas com graus de fragilidade considerável.

Palavras-chave: Recursos hídricos; Erosão; SIG.

Abstract: Northeast Brazil is greatly affected by water scarcity, mainly due to unfavorable climatic characteristics. Due to the recent crisis, between 2010 and 2017, dozens of cities in the semi-arid region faced serious problems that exposed the fragility of current supply systems. Environmental studies on supply sources are necessary for territorial planning and the identification of vulnerabilities to degradation processes, aiming to adapt human needs to environmental viability. The objective of this work is to map the Environmental Fragility to the erosion of the Bonfim Lake Hydrologic System Basin (BLHSB), a set of lakes responsible for the supply of water to the Agreste region of Rio Grande do Norte (RN). Environmental Fragility in Geographic Information Systems (GIS) was used with the use of Multicriteria Analysis and Fuzzy Logic, to integrate the geoenvironmental attributes in order to verify the relationships between erosive processes of morphogenesis and pedogenesis associated with the silting up of the lake region of the source. 44.15 km² (61.15% of the area) had a Medium, High and Very High degree of Environmental Fragility, indicating the need for attention in relation mainly to land use regulations, given the existence of activities with high degradation power in in line with areas with considerable degrees of fragility.

Keywords: Water resources; Erosion; GIS.

1. Introdução

A busca por recursos para atender as necessidades das sociedades humanas ao longo da história foi aumentando à medida que os desenvolvimentos científico, tecnológico e econômico demandavam por mais insumos (TRICART 1977, ROSS, 1994). Sabendo que o ambiente natural é o principal fornecedor desses recursos, as relações entre exploradores e fornecedores foram se tornando cada vez mais íntimas, principalmente devido às particularidades de cada região do planeta e a forma com que cada sociedade humana se desenvolvia e entendia essas relações, muitas vezes provocando alterações significativas nas paisagens, levando a degradação ambiental e ao esgotamento de recursos (PASCUAL *et al.*, 2017; ROCKSTRÖM *et al.*, 2009).

As diferenças no regime hidrológico entre as regiões do Brasil fizeram com que soluções de engenharia como barragens, poços, canais de transposição e adutoras fossem necessárias para atender as necessidades da população com relação ao acesso à água. Em média 47% dos municípios brasileiros são abastecidos por águas de fontes superficiais, 39% por mananciais subterrâneos e 14% utilizam o sistema misto, com águas tanto superficiais quanto subterrâneas (BRASIL, 2010).

No Brasil a demanda hídrica varia, tanto no quesito finalidade quanto regionalmente, onde os maiores consumidores são as atividades de irrigação (66,1% do consumo total), o abastecimento urbano e rural (11,6%), o consumo animal (11,6%) e a indústria (9,5%). O restante (1,2%), representa outros tipos de consumo. Já do ponto de vista regional, o sudeste tem o maior consumo hídrico, mas em relação à demanda e disponibilidade juntas, a região nordeste apresenta maior dificuldade, visto que o clima semiárido presente em boa parte do seu território é caracterizado por temperaturas elevadas, baixas precipitações e grandes taxas de evaporação, fatos que tornam os mananciais algo fundamental para sobrevivência na região, viabilizando o surgimento e desenvolvimento de cidades e mitigando os efeitos da seca, uma vez que contribuem para garantir o armazenamento de água em períodos chuvosos e o fornecimento em períodos de estiagem (BRASIL, 2019).

Diante do histórico recente de crise hídrica no semiárido, principalmente entre os anos de 2010 e 2017, a realidade atual mostrou-se bastante frágil, muitos sistemas de abastecimento de municípios colapsaram diante da seca prolongada, ocorrendo esgotamento dos mananciais e necessidade de racionamento do uso e rodízio, que afetou cerca de 512 mil pessoas (ANA, 2017; GODIM *et al.*, 2017). Com o Rio Grande do Norte (RN) essa realidade não foi diferente. De 2012 a 2017 vários municípios enfrentaram problemas de redução nos volumes dos reservatórios, quedas de vazão, interrupções nos sistemas de adução e nas redes de distribuição, o que confirmou a necessidade de um maior aprofundamento a respeito da vulnerabilidade de cada município do estado perante o déficit hídrico. Portanto, novas formas de planejamento territorial e hídrico, assistência, infraestrutura e integração são necessárias (TROLEIS; SILVA, 2018).

Como forma de enfrentamento aos problemas de escassez hídrica interiorana, no RN destaca-se o Sistema de Adutoras Monsenhor Expedito ou Sistema Agreste/Trairi/Potengi, o maior sistema de adução potiguar, com cerca de 315 km de extensão, operado pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). Tal Sistema capta água tanto da Lagoa do Bonfim quanto de sete poços tubulares a montante do Sistema Lacustre Bonfim, com vazão estimada em 452L/s, a fim de distribuir à 30 municípios e comunidades rurais do Agreste Potiguar, beneficiando uma população estimada de 266.879 habitantes (CARLOS, 2004; PEREIRA *et al.*, 2000; PEREIRA *et al.*, 2002; CASTRO *et al.*, 2014).

Diante da notória importância desse manancial para o estado, são necessários estudos sobre a vulnerabilidade ambiental do sistema frente à crise hídrica. Para Oliveira *et al.* (2020) um dos modos de avaliar a vulnerabilidade à perda de recursos é utilizar metodologias que podem e são adotadas no planejamento territorial que levam em consideração as potencialidades e as fragilidades do ambiente. Entre os métodos que podem subsidiar o zoneamento da vulnerabilidade ambiental, Souza *et al.* (2019) destacam a equação universal de perda de solo (USLE) e o índice de fragilidade ambiental.

O conceito de potencialidade ambiental envolve tudo aquilo que é necessário à vida, seja por meio de recursos ou serviços ambientais, envolvendo componentes do solo, relevo, rochas, minerais, águas, clima, flora e fauna. Já a fragilidade ambiental pode ser representada pela suscetibilidade das características intrínsecas ao funcionamento do ambiente sofrerem alterações negativas, devendo ser avaliada de forma integrada, ou seja, todos os fatores físicos, bióticos e antrópicos que compõem o sistema devem ser levados em consideração. O estudo da fragilidade ambiental proposto por Ross (1994) é fundamental para o entendimento das particularidades inerentes a cada local, visto que expõe as relações entre as componentes ambientais e torna possível encontrar locais com maior facilidade de sofrer perda de qualidade (ROSS, 1994; SPRÖL; ROSS, 2004; KAWAKUBO *et al.*, 2005).

É importante ressaltar que a qualidade e quantidade da água dos mananciais são influenciadas por diversas variáveis, podendo sofrer alterações de forma natural com variações no regime hidrológico, escoamento superficial, temperatura e cobertura vegetal ou apresentar variações provenientes das atividades humanas por meio do lançamento de efluentes,

disposição irregular de resíduos sólidos, exploração da água e uso e ocupação do solo sem ser considerados aspectos técnicos do território (BRASIL, 2019).

As mudanças provocadas pelo uso e ocupação do solo tem potencial de causar assoreamento de cursos d'água e corpos hídricos devido a processos erosivos provenientes da remoção da vegetação nativa, preparo do solo para agricultura, pecuária intensiva e extensiva, urbanização, dentre outros, quebrando a dinâmica natural do ambiente, influenciando diretamente o ciclo hidrológico e alterando o escoamento superficial, com prejuízos sobre a água disponível para consumo (LAMBIN *et al.*, 2003; ZHAO *et al.*, 2013; CRUZ *et al.*, 2017; ZORZAL-ALMEIDA *et al.*, 2018; CARVALHO *et al.*, 2019; ANJINHO *et al.*, 2021).

Diante das diversas variáveis envolvidas, e para a ocupação e uso racional do território, é necessário levar em consideração aspectos socioeconômicos e ambientais, seja em escala federal, estadual, regional e municipal (ROSS, 1994) ou usando a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento territorial e gerenciamento da água (BRASIL, 1997; SILVEIRA, 2001; TUCCI, 2001; MORAIS; LORANDI, 2016).

O planejamento ambiental da bacia hidrográfica como unidade territorial para estudo, deve levar em conta as potencialidades e fragilidades presentes em toda área, devendo colocar as sociedades humanas como parte integrante do ambiente, uma vez que compõe e direcionam o uso e ocupação do território. O planejamento deve tomar como base análises geomorfológicas, geológicas, pedológicas, climatológicas, de uso e cobertura do solo e da vegetação para produção de relatórios técnicos e confecção de materiais cartográficos temáticos elaborados em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Neste caso, mapas de fragilidade ambiental auxiliam à tomada de decisão e são relevantes frente aos problemas ambientais encontrados (ROSS, 1994; KAWAKUBO *et al.*, 2005; COSTA *et al.*, 2015).

Os SIG consistem em um conjunto de técnicas e métodos para coleta de informações geográficas, processamento, análise e elaboração de documentos cartográficos, usando para isso ferramentas computacionais (ROSA, 2005). A principal relevância dos SIGs é a versatilidade, que permite visualizar imagens de Sensoriamento Remoto (SR), plotar gráficos e criar comparações e correlações entre os dados obtidos, corroborando com a análise integrada que é necessária para o estudo de fragilidade em unidades delimitadas (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002).

O SIG permite trabalhar em escalas espaciais e temporais para uma determinada área, por isso sua aplicação vem ganhando cada vez mais espaço, principalmente na análise quantitativa e qualitativa de corpos hídricos como lagos, rios, lagoas, reservatórios e no estudo das respectivas bacias hidrográficas (SANTOS, 2013; MORAIS; LORANDI, 2016).

Este estudo teve como objetivo verificar o grau de fragilidade ambiental à erosão do Sistema Lacustre Bonfim aplicando SIG, a fim de gerar os produtos cartográficos que subsidiem o planejamento territorial e ambiental do manancial.

2. Caracterização geoambiental da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Sistema Lacustre Bonfim (BHSLB) está localizada no litoral oriental do Rio Grande do Norte, a 25 km ao sul da capital Natal, com área de 72,19 km² e coordenadas UTM-Zona 25 Sul extremas 9.326 a 9.338 km N e 248 a 268 km E, abrange parte dos municípios de Nísia Floresta e São José de Mipibú (Figura 1).

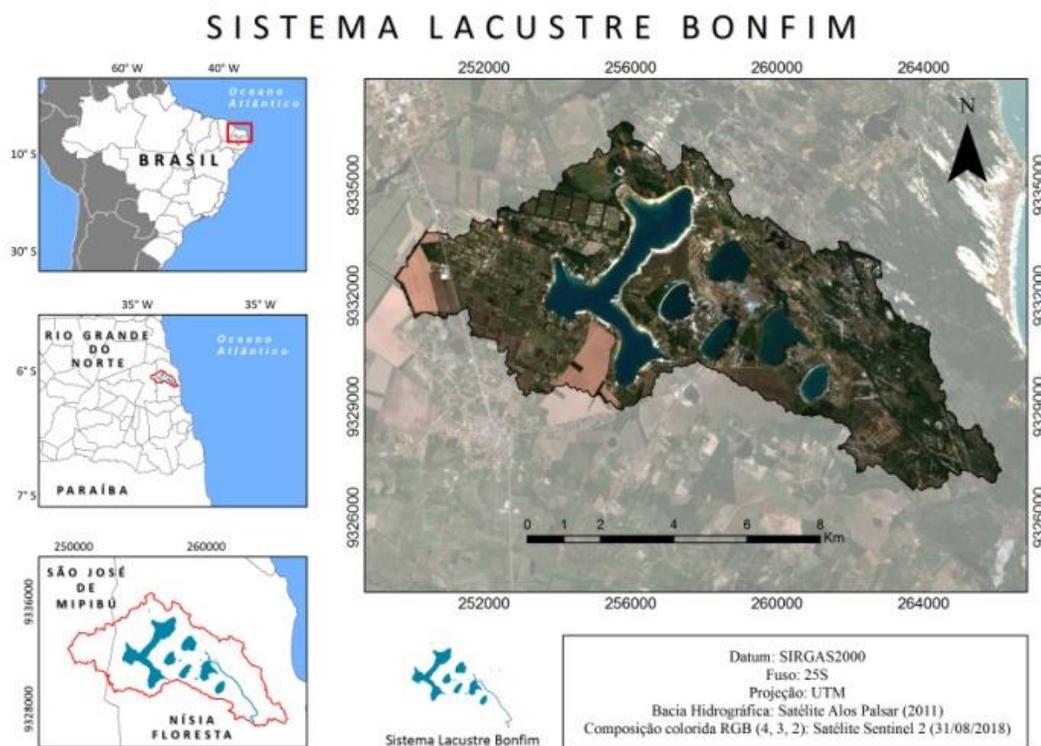


Figura 1 – Mapa de localização.

Fonte: Autor (2020).

O Sistema Lacustre Bonfim foi definido pela Lei Complementar N°003/2007 em seu Art. 2° como parte do patrimônio natural do município de Nísia Floresta e pelo Art. 40 como Zona de Proteção Ambiental (ZPA) do município, fazendo parte também pelo Decreto Estadual N° 14.369 de 22 de março de 1999 da Área de Proteção Ambiental do RN (APA Bonfim-Guaraira). A APA Bonfim-Guaraira foi criada visando ordenar o uso, proteger e preservar os ecossistemas dunares, Mata Atlântica, manguezal, lagoas, rios, cursos d'água e espécies vegetais e animais em toda sua extensão, que abrange os municípios de Nísia Floresta, São José de Mipibú, Goianinha, Senador Georgino Avelino, Tibau do Sul e Arês (RIO GRANDE DO NORTE, 1999; NÍSIA FLORESTA, 2007; SEMARH; IDEMA, 2008).

A hidrologia da BHSLB é constituída por seis lagoas naturais conectadas, em subsuperfície, pelo Aquífero Dunas-Barreiras: as lagoas do Bonfim, Redonda, Urubu, Boa Água, Ferreira Grande e Carcará, que juntas ocupam 9,87 km² (13,67%) da área total da bacia (Tabela 1). A principal delas, a Lagoa do Bonfim possui 84,27 milhões de m³ de capacidade máxima, sendo considerada a maior lagoa do RN e o maior reservatório utilizado para abastecimento localizado na região litorânea do estado (MELO *et al.*, 2000; PEREIRA *et al.*, 2002; CUNHA *et al.*, 2014).

Tabela 1 – Características das lagoas.

Lagoas da BHSLB			
Lagoa	Volume máximo (m³)	Profundidade máx (m)	Área (km²)
Bofim	84.268.211	31	6,12
Ferreira Grande	2.812.724	8	1,10
Redonda	3.720.090	8	0,64
Urubu	2.736.115	9	0,96
Boa Água	1.469.132	4	0,56
Carcará	1.570.979	4	0,49

Fonte: Costa (1997); Lucena (1999) apud SEMARH; IDEMA (2008). Adaptado pelo autor (2020).

A junção de todos os corpos hídricos existentes na bacia forma um espelho d'água de 10,10 km² (14%) da área total da bacia.

Na Figura 2 são apresentados os atributos geoambientais utilizados como: Geologia, Pedologia, compartimentos geomorfológicos, formas do terreno, hipsometria e declividade, os quais serão caracterizados adiante.

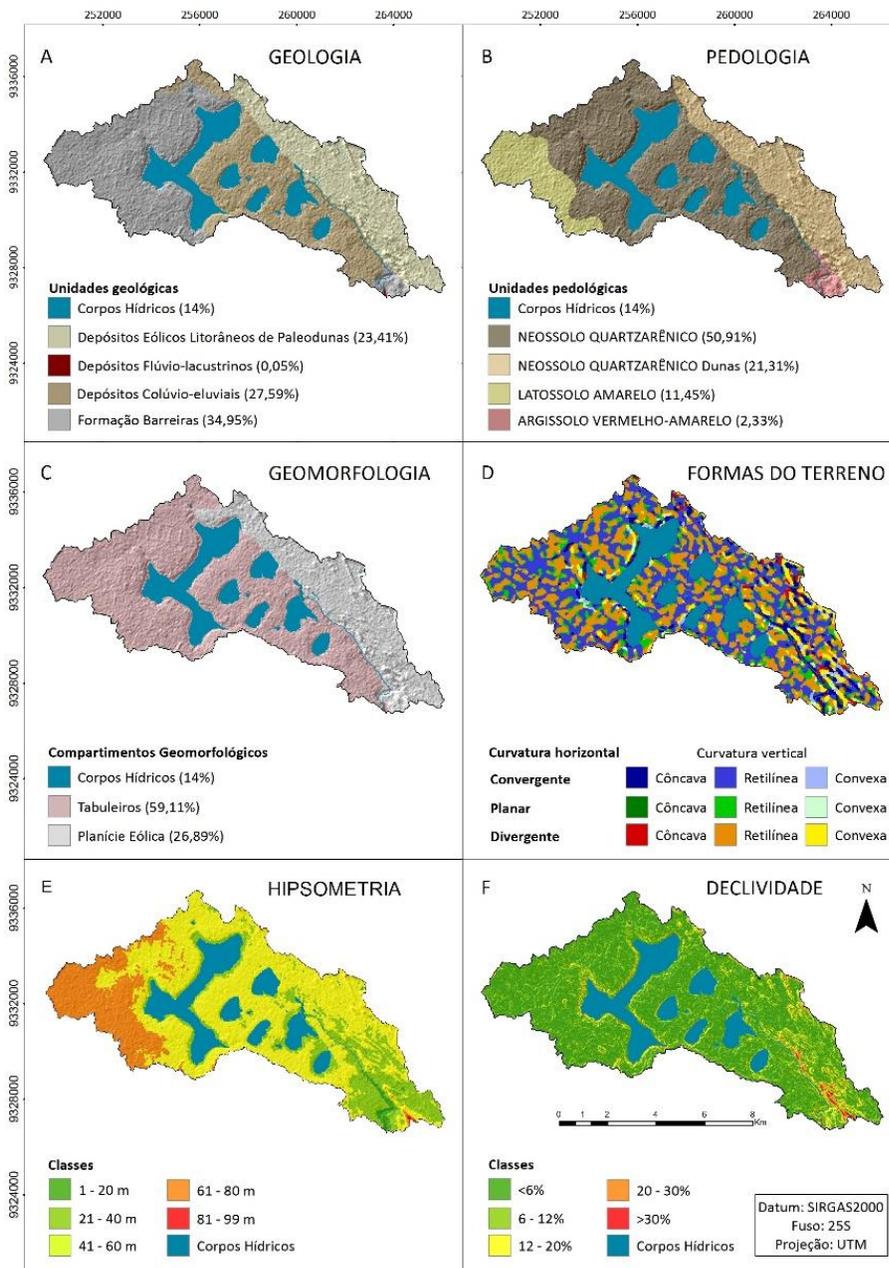


Figura 2 – Geodados na forma de planos de informação.

Fonte: Autor(2020).

A geologia de superfície está condicionada predominantemente a rochas sedimentares dos períodos Paleógeno-Neógeno recobrendo rochas cristalinas pré-cambrianas constituídas de gnaisses e migmatitos (MELO *et al.*, 2000; PEREIRA *et al.*, 2000; BARRETO *et al.*, 2004; OLIVEIRA, 2011).

A Formação Barreiras (25,23 km²) abrange as regiões oeste e sudeste. Os sedimentos dessa formação têm origem continental, típicas de um sistema fluvial entrelaçado, transicional para leques aluviais e planícies litorâneas (RADAMBRASIL, 1981; MELO *et al.*, 2000; PEREIRA *et al.*, 2000; BARRETO *et al.*, 2004; OLIVEIRA, 2011).

A parte central é ocupada por uma superfície de peneplanização, formando os Depósitos Colúvio-Eluviais (19,92 km²), compostos por uma sequência clástica grosseira com capeamento de solo arenoso inconsolidado, proveniente principalmente de erosão, intemperismo e lixiviação de rochas pré-cambrianas e sedimentos da Formação Barreiras (RADAMBRASIL, 1981; MELO *et al.*, 2000; PEREIRA *et al.*, 2000; BARRETO *et al.*, 2004; OLIVEIRA, 2011).

Ao sul da bacia, há uma pequena parcela do Depósito Flúvio-lacustrino (0,04 km²) provenientes da região lagunar-estuarina de Nísia Floresta-Papeba-Guaráiras. Esse depósito é resultado do regime meandrante de cursos d'água na região e caracterizado pelo aporte de material sílico-argiloso, onde é possível encontrar diatomita e argilas brancas (RADAMBRASIL, 1981; MELO *et al.*, 2000; PEREIRA *et al.*, 2000; BARRETO *et al.*, 2004; OLIVEIRA, 2011).

Os Depósitos Eólicos Litorâneos de Paleodunas (16,90 km²) que abrangem o extremo Leste na bacia são compostos por areias quartzosas de grãos arredondados, finos e médios, com cor esbranquiçada (RADAMBRASIL, 1981; MELO *et al.*, 2000; PEREIRA *et al.*, 2000; BARRETO *et al.*, 2004; OLIVEIRA, 2011) (Tabela 2).

Tabela 2 – Características geológicas.

Geologia		
Unidades Geológicas	Sedimento	Período
Depósitos Eólicos Litorâneos de Paleodunas	Arenoso	Neógeno Paleógeno
Depósitos Flúvio-lacustrino	Areias finas, silte e argila	
Depósitos Colúvio-eluviais	Areno-argiloso, areno inconsolidado e conglomerático	
Formação Barreiras	Arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados	

Fonte: Barreto *et al.*, (2004); CPRM (2006); Melo *et al.*, (2000); Pereira *et al.*, (2000); Oliveira, 2011; Adaptado pelo autor (2020).

A BHSLB está localizada dentro do Sistema Hidrogeológico do Aquífero Dunas-Barreiras, composto por rochas quartzareníticas cimentadas, que se estendem na costa oriental do RN, indo do município de Touros até o estado da Paraíba, dentro da bacia sedimentar Potiguar (MELO *et al.*, 2000; PEREIRA *et al.*, 2000; MANOEL FILHO; CASTRO, 2002).

O sistema lagunar é interligado pelo aquífero com fluxo subterrâneo convergindo da Lagoa do Bonfim, com cota de 40 metros, para o Riacho Boa Cica com cota de 3,6 metros, sendo esse o trecho de exutório da bacia (LUCENA, 1999; PEREIRA *et al.*, 2000).

O tipo de solo que predomina é o Neossolo Quartzarênico (36,75 km²), formados por Areias Quartzosas Distróficas, originadas de sedimentos da Formação Barreiras. Fisicamente, é caracterizado por ser profundo ou muito profundo, com horizonte A pouco desenvolvido, não hidromórfico, excessivamente drenado, com textura arenosa (argila <15%) e de baixa umidade (Tabela 3) (DNPEA/SUDENE, 1971; RADAMBRASIL, 1981; EMBRAPA, 2006; OLIVEIRA, 2011; NÍSIA FLORESTA, 2018).

Tabela 3 – Solos que compõe a BHSLB.

Pedologia			
Solo	Textura	Permeabilidade	Argila
Neossolo Quartzarênico	Arenosa	Muito permeável	<15%
Neossolo Quarzarênico (Dunas)			Entre 15% e 35%
Latossolo Amarelo	Areno-argilosa	Lenta	>35%
Argissolo Vermelho-Amarelo			

Fonte: RADAMBRASIL (1981); Oliveira (2011); DNPEA/SUDENE (1971); Adaptado pelo autor (2020).

As Areias Quartzosas Marinhas Distróficas (Dunas) ocupam 15,38 km², ocorrendo na região leste da bacia, sendo caracterizada por apresentar solos não consolidados variando de profundos a muito profundos, não hidromófico, com textura arenosa, excessivamente drenada e com baixos teores de argila (DNPEA/SUDENE, 1971; RADAMBRASIL, 1981; EMBRAPA, 2006; OLIVEIRA, 2011).

O oeste é ocupado pelo Latossolo Amarelo Distrófico (8,27 km²) originário das formações geológicas adjacentes Barreiras e Depósitos Colúvio-eluviais, podendo ser identificado pela presença de minerais resistentes como o quartzo no solo, sendo fortemente intemperizado e com baixo teor de argila/silte. São solos muito profundos, não hidromórficos, variando de bem a moderadamente drenados, com alta permeabilidade, bastante porosos, de textura média (com teor de argila no horizonte B entre 15% e 35%) e baixa atividade de argila (DNPEA/SUDENE, 1971; RADAMBRASIL, 1981; EMBRAPA, 2006; OLIVEIRA, 2011).

A menor parcela corresponde ao Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (1,69 km²). Está localizado a sudeste da bacia, em relevo um pouco mais ondulado, sendo caracterizado por ser um solo predominantemente caulinitico, profundo, moderadamente drenado, com textura arenosa/média no horizonte A (teor de argila entre 15 e 35%) e média/argilosa no horizonte Bt (teor de argila >35%) com baixa atividade de argila (DNPEA/SUDENE, 1971; RADAMBRASIL, 1981; EMBRAPA, 2006; OLIVEIRA, 2011).

Na BHSLB existem dois domínios morfológicos, os platôs e as dunas. As regiões parabólicas de dunas no litoral (19,42 km²) compõem uma superfície plana/suavemente ondulada de baixa altitude, onde processos de sedimentação superam os de erosão, sendo chamada de Planície Eólica (RADAMBRASIL, 1981; LUCENA, 1999; PEREIRA *et al.*, 2003; IBGE, 2009).

Ao oeste são identificados os platôs de superfície dos Tabuleiros (42,67 km²), que apresentam relevo de topo plano elaborado em rochas sedimentares. Esses platôs acompanham todo o litoral do estado do RN, que recobrem o embasamento cristalino para oeste e formam falésias marinhas ativas para leste (RADAMBRASIL, 1981; LUCENA, 1999; PEREIRA *et al.*, 2003; IBGE, 2009).

As cotas altimétricas variam de 1 a 99 metros, decrescendo à medida que se aproximam do oceano. Com relação à declividade, áreas com inclinação de 0 a 6% são dominantes. De acordo com Pereira *et al.* (2003) tais características do relevo (levemente ondulado com capeamento arenoso) promovem altas taxas de infiltração e pouco escoamento superficial, conduzindo a uma baixa densidade de drenagem.

Com relação ao clima, a área está localizada no domínio **As** pela classificação de Köppen, onde as condições quentes e úmidas foram identificadas e o clima foi denominado Tropical, com o verão caracterizado por ser seco (setembro a janeiro/fevereiro) e o outono-inverno chuvoso (fevereiro/março a agosto) (LUCENA, 1999; PEREIRA *et al.*, 2000; ALVARES *et al.* 2013). A pluviosidade varia entre 1.200 e 1.500 mm/ano segundo a Empresa de Pesquisa Agropecuária do RN (EMPARN), com ventos provenientes do Sudeste, vindos do mar. A temperatura média anual é 27,1 °C (SEMARH; IDEMA, 2008).

Devido ao regime de chuvas, é possível uma recarga aquífera significativa que alimenta o sistema subterrâneo de águas e contribui para o potencial hídrico da região, tanto com as lagoas, quanto perenizando rios. A região é conhecida como sendo parte dos Vales Úmidos do RN (MANOEL FILHO; CASTRO, 2002).

A vegetação poder ser classificada em Floresta Estacional Semidecidual (Mata Atlântica), Formações Pioneiras, sendo identificadas também áreas de contato entre Savana/Savana-Estépica/Floresta Estacional e contato entre Savana(Cerrado)/Savana-Estépica(Caatinga) (RADAMBRASIL, 1981).

3. Metodologia

Para a montagem do banco de dados geográfico digital e georreferenciado foram utilizados dados matriciais primários, como imagens de satélites orbitais e dados vetoriais secundários, como mapas de geologia, geomorfologia, pedologia, entre outros (Tabela 4). Os planos de informação foram georreferenciados no Fuso 25S, foi adotado o referencial geodésico SIRGAS2000 e sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM). Os dados foram manipulados e integrados no *software* ArcGis 10.5 (ESRI, 2017).

A delimitação da bacia hidrográfica foi realizada a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido das imagens do satélite *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS), sensor PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) de micro-ondas que opera na Banda L, sendo utilizados os algoritmos da ferramenta *Hydrology* do *Spatial Analyst tools*. Este MDE também foi utilizado para o mapa de hipsometria e declividade, aplicando a ferramenta *Slope* do *Raster Surface*.

A imagem do satélite ALOS também foi usada para elaboração do relevo sombreado o qual foi utilizado para atribuir um aspecto 3D aos mapas.

O mapa de cobertura e uso do solo foi elaborado a partir das imagens do satélite Sentinel-2A, sensor MSI (*Multispectral Instrument*). A partir das composições coloridas RGB (4,3,2) e falsa cor (8,4,3), foi realizada a interpretação visual dos objetos na superfície terrestre considerando aspectos como cor, tonalidade, tamanho, contexto, forma, textura, padrão e localização (FLORENZANO, 2011). Desta forma, foi realizada a classificação e vetorização manual em tela (*heads-up*) (JENSEN 2009; LONGLEY *et al.*, 2013) dos principais tipos de uso e cobertura.

A metodologia para análise empírica da fragilidade ambiental se deu com base em Ross (1994 e 2012), oriunda dos conceitos de Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977) adaptados da Teoria de Sistemas, a qual defende que existe uma relação de equilíbrio dinâmico, de troca de matéria e energia entre as componentes de um sistema ambiental. O conceito de Unidades Ecodinâmicas classifica o equilíbrio como Estável (ou de Instabilidade Potencial), referindo-se a áreas naturais que não sofreram atuação das ações humanas, mas que podem vir a sofrer, ou Unidade Ecodinâmica Instável (ou de Instabilidade Emergente), referindo-se a ambientes cujas intervenções antrópicas já provocaram modificações (TRICART, 1977; ROSS, 1994; ROSS, 2012).

Tabela 4 – Banco de dados geográfico.

Plano de Informações geográficas			
	Descrição	Fonte	Resolução Espacial/ Escala
Elementos hidrográficos	BHSLB	Satélite Sentinel-2A (2018)	10m
Uso e cobertura do solo	Classes de uso		
MDE	Altimetria/ Declividade	JAXA/METI (2011)	12,5m
Geomorfologia	Formas do terreno	TOPODATA (2011)	30m
	Compartimentos do relevo	RADAMBRASIL (1981); IBGE (2017)	1:250.000 ¹
Pedologia	Tipos de solo		
Geologia	Formações geológicas	CPRM (2006)	1:100.000 ²
Clima	Pluviosidade	RADAMBRASIL (1981); LUCENA (1999); SEMARH, IDEMA (2008); PEREIRA (2000); ALVARES <i>et al.</i> (2013)	

Fonte: Autor (2020).

¹Tomando como base os mapeamentos realizados no projeto RADAMBRASIL, tais mapeamentos são compatíveis com o nível de detalhamento 1:250.000, embora impresso em escala 1:500.000.

²Embora impresso em escala 1:500.000, tal mapeamento foi realizado utilizando uma base planimétrica em escala 1:100.000.

Assim, áreas com menores graus de fragilidades indicam menor instabilidade, maior potencial para uso/exploração e menor vulnerabilidade a danos; enquanto que os maiores níveis de fragilidades significam maior instabilidade, baixo potencial para uso/exploração e maior sensibilidade ecológica (ROSS, 1994; ROSS, 2012).

Os atributos dos meios físico, biótico e antrópico e suas propriedades utilizados nesta investigação foram: geologia (litologia), pedologia (textura, coesão das partículas e espessura), geomorfologia (dissecação e agradação), hipsometria (disponibilidade de energia potencial para ser convertida em energia cinética por meio do escoamento e consequente aumento do potencial de promover erosão), declividade (grau de inclinação dos terrenos), pluviosidade e uso e cobertura do solo (interferências humanas em função dos diferentes tipos de usos).

A análise multicritério iniciou-se com a avaliação das características geoambientais dos atributos, os quais foram classificados individualmente com números entre 1 e 5 de acordo com os graus de fragilidade à processos erosivos, sendo Muito Fraca = 1, Fraca = 2, Médio = 3, Forte = 4 e Muito Forte = 5 (Tabela 5).

Tabela 5 – Pesos e classes avaliadas.

Fragilidade	Unidade Geológica
Fraca (2)	Formação Barreiras
Média (3)	Depósitos Flúvio-lacustrinos
Forte (4)	Depósitos Colúvio-eluviais
Muito Forte (5)	Dep. Eólicos Litorâneos de Paleodunas
	Tipos de Solos
Fraca (2)	Latossolo Amarelo
Média (3)	Argissolo Vermelho-Amarelo
Forte (4)	Neossolo Quartzarênico
Muito Forte (5)	Neossolo Quartzarênico (Dunas)
	Domínios morfológicos
Muito Fraca (1)	Tabuleiros Costeiros
Forte (4)	Planícies eólicas
	Classes hipsométricas
Muito Fraca (1)	1m a 20m
Fraca (2)	20m a 40m
Média (3)	40m a 60m
Forte (4)	60m a 80m
Muito Forte (5)	80m a 99m
	Classes de declividade
Muito Fraca (1)	<6%
Fraca (2)	6-12%
Média (3)	12-20%
Forte (4)	20-30%
Muito Forte (5)	>30%
	Classes das formas do terreno
Muito Fraca(1)	Convergente/Côncava
Fraca (2)	Planar/Côncava; Divergente/Convexa
Média (3)	Planar/Retilínea; Convergente/Retilínea
Forte (4)	Convergente/Convexa; Planar/Convexa
Muito Forte (5)	Divergente/Convexa
	Pluviosidade*
Média (3)	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 1.200 a 1.500 mm/anos
	Classes de uso do solo**
Muito Baixa (1)	Mata Atlântica Esparsa de tabuleiro litorâneo, Mata Ciliar (1)
Baixa (2)	Lote com vegetação herbácea (2)
Média (3)	Pequenas propriedades rurais, Pastagem, Coqueiral (3)
Forte (4)	Cana-de-açúcar (4)
Muito Forte (5)	Solo Exposto natural e em preparo, estradas de terra (5)

Fonte: Ross (1994, 2012). Adaptado pelo autor (2020).

*A proposta original para avaliação da fragilidade não considerava o domínio morfoclimático que domina grande parte do litoral do NE no qual os verões são secos e os invernos chuvosos.

**A metodologia de Ross (1994, 2012) não indica grau de fragilidade para a área urbana, tendo em vista que a fragilidade está condicionada à relação morfogênese x pedogênese. Essa análise é inviável em áreas urbanas dadas as dificuldades em identificar tais processos (COSTA *et al.*, 2015).

Após a ponderação hierarquizada e equalização do tamanho das células (12,5 x 12,5 metros), utilizando como referência o MDE, foi realizada a álgebra de mapas em ambiente SIG por meio do algoritmo de soma ponderada (*Weighted sum – Spatial Analyst tools*). A classificação dos pesos foi estabelecida de acordo com Ross (1994, 2012) e Crepani *et al.* (2001) bem como são oriundos do conhecimento entre a equipe interdisciplinar formada por Engenheiro Ambiental, Geógrafo e Geólogos.

Para a análise ambiental são necessárias técnicas que representam de maneira mais complexa os fenômenos naturais, visto que estes não possuem limites estáticos (COSTA *et al.*, 2015). De acordo com Cereda Junior (2011), a Lógica Fuzzy é apropriada para representar a natural e gradual transição entre os eventos geoespaciais por meio de decisões numéricas aplicadas à superfície. A utilização da Lógica Fuzzy contribui para abordar as imprecisões dos atributos categorizados, podendo reduzir a propagação de erros através de modelos lógicos (CALIJURI *et al.*, 2007).

Neste estudo, a Lógica Fuzzy de tipo linear [$y=f(x)$] (*Fuzzy Membership*) assume valores de 0 a 1, sendo incorporada à Análise Multicritério a fim de reescalonar os dados, como exemplificado em Eastman (2006). Neste caso, a Lógica Fuzzy foi aplicada a cada critério na análise de sobreposição do conjunto *raster*.

4. Resultados e discussão

A análise dos atributos geoambientais em conjunto com o uso e cobertura do solo (Figura 5) permitiu um diagnóstico das alterações na paisagem no manancial, principalmente, considerando que as atividades humanas são eficientes em potencializar os processos erosivos e o assoreamento, que altera as condições naturais de disponibilidade hídrica.

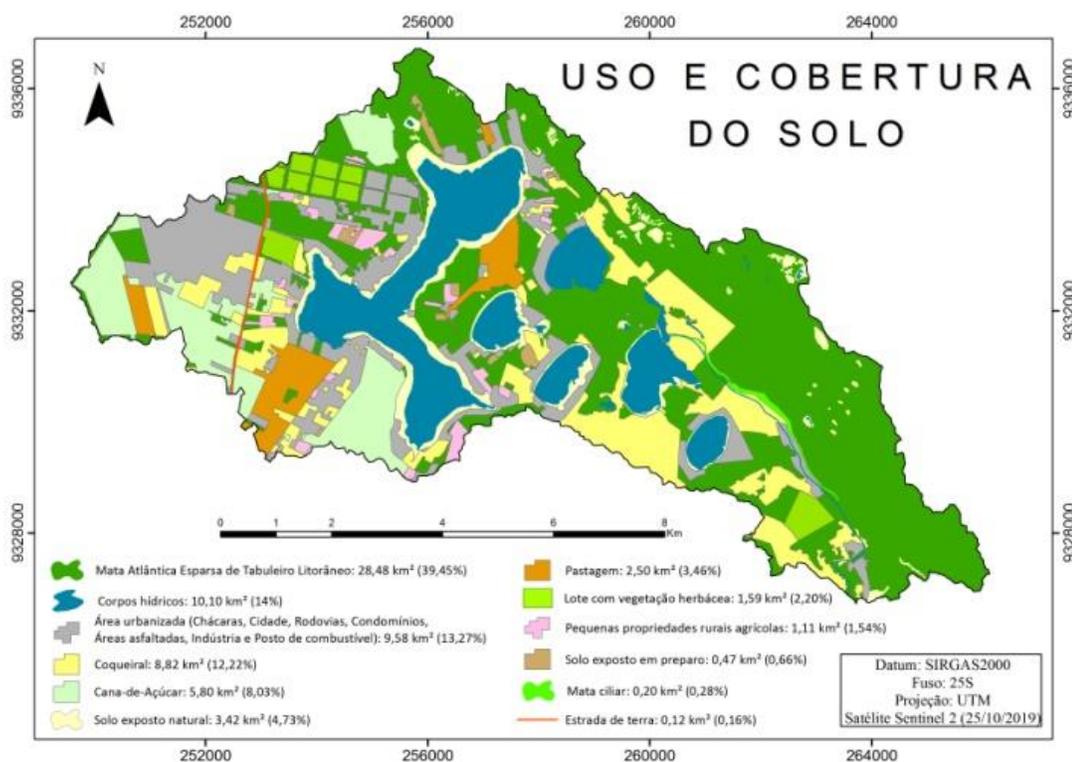


Figura 5 – Uso e cobertura do solo.

Fonte: Autor (2020).

Os graus de maior fragilidade (Forte e Muito Forte) somaram juntos 7,94 km² (11%) e estão localizados ao leste, onde existem influências provenientes dos Depósitos Eólicos Litorâneos de Paleodunas, dos Neossolos Quartzarênicos (Dunas) e do relevo, com a maior variação de declividade e maior presença de formas de terreno divergentes/convexas

(considerando o perfil a horizontal/vertical), as quais atuam como áreas fontes de sedimentos não favorecendo a retenção/deposição das partículas (Figura 6).

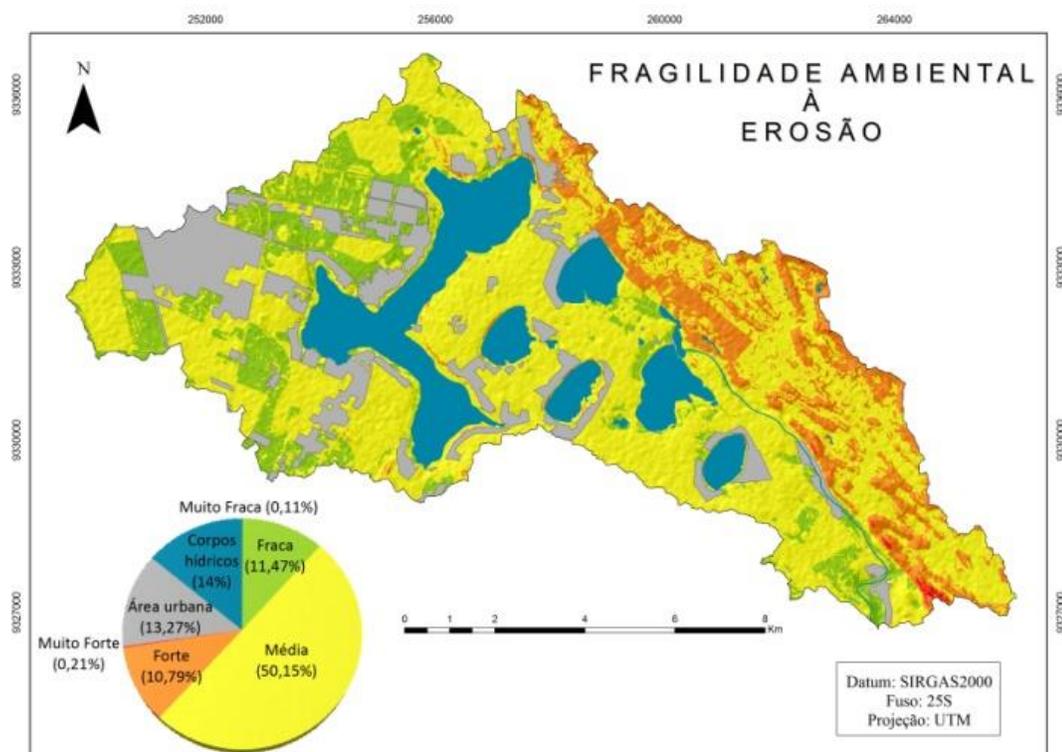


Figura 6 – Fragilidade ambiental à erosão.

Fonte: Autor (2020).

Nas regiões onde há presença de Mata Atlântica Esparsa de Tabuleiro Litorâneo verifica-se a fixação do material inconsolidado, composto predominantemente por areias eólicas bem selecionadas, no entanto, em áreas onde o solo encontra-se exposto, inclusive de maneira natural, o processo de mobilização de material é favorecido.

O grau “Médio” de fragilidade foi espacialmente predominante, com distribuição em toda extensão da bacia, correspondendo a 36,21 km² (50,15%). Na região central, onde estão às lagoas, essa predominância se torna mais evidente devido à baixa declividade (<6%) associada a formas de terreno divergentes e convergentes/retilíneas (horizontal/vertical) contidas nos Tabuleiros que apresentam graus de fragilidade menores. Em contrapartida existe à composição dos solos arenosa (coberturas colúvio-elúvionares na forma de Neossolos Quartzarênicos) que apresenta maior grau.

Nas classes de fragilidade que merecem maior atenção (Média, Forte e Muito Forte), existem áreas de cultivo permanente e intensivo de frutífera (cocoicultura) com espaçamento mínimo de 7 a 10 metros que deixam o solo arenoso e friável exposto nas entrelinhas, tornando-o mais vulnerável à erosão (Figura 7 A) (CAVALCANTE, 2018).

Segundo Fontes *et al.* (2002), o manejo do solo nas entrelinhas dessas culturas perenes é um pré-requisito importante para promover o arejamento da camada explorada pelas raízes, facilitando a absorção de água e nutrientes. Normalmente é utilizado o disco de arado para cortar o solo a determinada profundidade e fazer a inversão da área cortada, com isso, acredita-se estar proporcionando melhores condições físicas para o desenvolvimento da cultura. A vantagem desse sistema é bastante discutível, principalmente nos Tabuleiros Costeiros. Em muitos solos desse ecossistema, a “camada arável” se reduz a poucos centímetros, fazendo com que essa prática acelere a degradação da matéria orgânica e deixe o solo mais vulnerável à erosão.



Figura 7 – Cacaueira (A), solo exposto em fase de preparo para o cultivo de cana-de-açúcar (B), restos da vegetação arbórea sobre solo exposto em preparo para cultivo de cana (C), estrada de terra sobre o Neossolo Quarzarênico (D), vista parcial da Lagoa do Bonfim (E), processo erosivo acelerado (F).

Fonte: Autor (2020).

Já em culturas temporárias, como a cana-de-açúcar (Figura 7 B e C), operações mecanizadas em larga escala que compactam os solos são necessárias (SEVERIANO *et al.*, 2010), inclusive, o uso da vinhaça para fertirrigação leva à colmatagem dos poros do solo e conseqüente diminuição da permeabilidade (ALVES, 2007; COSTA *et al.*, 2015). Em ambos os casos, se realizado de forma inadequada, pode intensificar a erosão e promover compactação. Nos solos dos Tabuleiros com camadas coesas sub superficiais, esse efeito é muito grave, pois a combinação de horizonte coeso com camada compactada tende a acelerar o processo de degradação podendo criar situações insustentáveis para a preservação ambiental, como o incremento do escoamento superficial das águas da chuva (FONTES *et al.*, 2002). Como agravante, as precipitações pluviais são concentradas em cinco a seis meses contínuos (LUCENA, 1999; PEREIRA *et al.*, 2000; ALVARES *et al.* 2013).

As atividades de pecuária extensiva (pastagem) estão concentradas nas áreas com Médio grau de Fragilidade Ambiental. Segundo Trimble e Mendel (1995) o gado é um importante agente de mudança geomorfológica, pois devido ao pisoteio e conseqüente compactação do solo a infiltração é reduzida, o que favorece o escoamento superficial e desencadeamento de processos erosivos.

A parcela de fragilidade Muito Fraca e Fraca constitui 8,36 km² (11,58%) e está localizada predominantemente na região oeste do manancial, onde concentram-se as áreas urbanizadas. Os atributos geoambientais verificados na área foram os arenitos da Formação Barreiras, dispostos na forma de Tabuleiros em terrenos pouco declivosos.

Em cidades de grande porte na Europa e na América do Norte, Jaeger *et al.* (2010) verificaram nova tendência de urbanização, mais fragmentada e com maior consumo de terras e recursos naturais. Nesse caso, a ocupação se dá em áreas periurbanas, fundamentada na mobilidade proporcionada pelo automóvel e no desejo de viver em condomínios com áreas verdes envolventes, ocupando principalmente ambientes lacustres. Esse também é o cenário verificado na grande Natal, capital do RN. No entanto, nesse caso, muitas vezes o crescimento urbano ocorre de forma precária, sendo autoproduzidos

pelos próprios moradores, sem condições de infraestrutura como calçamento e saneamento. Na América do Sul, Rolnik (2009) menciona que essa forma de urbanização é resultado de um mercado que visa o lucro imediato, expandindo os limites da cidade de forma fragmentada, a partir de iniciativas de proprietários de terras e loteadores.

Dentre as atividades humanas, a urbanização é a que mais altera as condições naturais do ambiente, reduzindo a cobertura de vegetação natural, diminuindo a infiltração da água pluvial, aumentando o escoamento superficial e incremento da poluição difusa e concentrada (COSTA *et al.*, 2015). Schueler *et al.* (2009) chegaram ao limiar de 10% a 15% de superfície impermeabilizada na forma de áreas urbanizadas dentro de um manancial para que seja mantida a saúde dos corpos hídricos que a drenam.

Segundo Pereira *et al.* (2003) a região oeste da BHSLB é responsável por grande parte da recarga do aquífero Dunas-Barreiras que irá alimentar subsuperficialmente as lagoas. Portanto, na região oeste da BHSLB, por estarem posicionadas em áreas topograficamente mais elevadas, sobre terrenos porosos e pouco íngremes, as alterações impostas pela urbanização na forma de superfícies impermeabilizadas podem prejudicar o processo natural de infiltração das águas das chuvas, retardando a recarga. Em subsuperfície geralmente as áreas urbanizadas desprovidas de saneamento básico são responsáveis por contaminação das águas subterrâneas causada por efluentes provenientes de fossas sépticas e vazamentos em tubulações de esgotamento sanitário, bem como o descarte de resíduos diversos diretamente no solo ou dentro dos corpos hídricos.

Quando a urbanização avança sobre os mananciais, existem maiores riscos para a contaminação pelo esgoto doméstico ou industrial e na rede pluvial, assim como o descarte inadequado de resíduos sólidos em terrenos baldios, juntamente com a consequente eutrofização, reduz a disponibilidade de água em qualidade e quantidade para o abastecimento, encarecendo o tratamento (TUCCI, 2001; TUNDISI *et al.*, 2006).

Em geral, a fragilidade ambiental do manancial só não é mais expressiva devido à baixa declividade típica de terrenos sedimentares oriundos da Formação Barreiras e a presença, mesma que de forma esparsa, da Mata Atlântica de Tabuleiro Costeiro, que oferece proteção na forma de cobertura vegetal. Nesse caso, embora os Neossolos Quartzarênicos favoreçam os processos erosivos, pois possuem baixa quantidade argilas, que atuam como ligação entre as partículas maiores, tal configuração dos meios físico/biótico tende a retardar este processo.

No entanto, grande parte dos sedimentos provenientes da erosão superficial deposita-se nas lagoas que são reservatórios naturais, entre elas, a Lagoa do Bonfim (Figura 7 E) que é utilizada como fonte de abastecimento humano para cidades interioranas (32 municípios e 164 comunidades rurais), prevendo o beneficiamento de 266.879 habitantes (CUNHA *et al.*, 2014). Segundo Bitar (1995) o assoreamento se constitui em um dos mais graves impactos da erosão no meio ambiente, desequilibrando as condições hidráulicas, promovendo a perda de capacidade de armazenamento de água, o incremento de poluentes químicos e consequentes alterações na vida aquática.

5. Considerações finais

A BHSLB apresentou 44,15 km² (61,15%) de áreas com grau considerável de Fragilidade Ambiental (Médio, Forte e Muito Forte) e apenas 8,36 km² (11,58%) de locais identificados com graus Muito Fraco e Fraco. Diante desse resultado é necessária atenção com relação ao uso e ocupação do solo, visto que as diversas condicionantes como: a expansão de áreas urbanizadas, plantio de cana-de-açúcar, áreas de pastagem, em consonância com as características do solo, relevo, vegetação e geológicas podem favorecer processos que implicarão negativamente na quantidade e qualidade da água do manancial.

A metodologia baseada na análise de fragilidade ambiental à erosão ajuda a compreender a vulnerabilidade à dissecação do relevo da BHSLB, permitindo identificar áreas exigem maior grau de conservação, contribuindo para melhorar a compreensão sobre o local ao mesmo tempo em que fortalece a base de dados da região, para que seja possível garantir a manutenção do sistema lacustre como parte da Unidade de Conservação do Estado e como Zona de Proteção Ambiental do município que está inserido.

O mapeamento da fragilidade ambiental da bacia junto ao mapa de Uso e Ocupação do Solo mostrou que de fato as áreas mais frágeis apresentam menores intervenções humanas, significando que existe fragilidade ambiental natural. Por outro lado, mostrou também que as áreas de menor grau de fragilidade apresentam diversas atividades antrópicas simultâneas, algumas com alto poder nocivo ao ambiente no que diz respeito a processos erosivos, como as áreas de pastagem, cana-de-açúcar, coqueiros e urbanização, que podem comprometer a bacia como um todo ao longo do tempo, devendo existir monitoramento dessas atividades junto a práticas conservacionistas.

Este trabalho pode servir de subsídio para o zoneamento dos municípios de Nísia Floresta e São José de Mipibú, para que políticas públicas de ordenamento territorial possam ser aplicadas adequadamente, sabendo da importância desse manancial para o estado do RN e principalmente para a região do Agreste Potiguar, evitando que processos erosivos de degradação ambiental venham a comprometer a disponibilidade hídrica e que o abastecimento da população possa ser contínuo até nos períodos de seca mais severa.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Esta pesquisa foi apoiada pelo Projeto Científico “Geotecnologias Aplicadas à Gestão de Recursos Hídricos do Sistema Lacustre do Bonfim/RN” (GEOTEC/BONFIM) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

- ANA. Agência Nacional de águas. Ministério do Meio Ambiente. *RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação*. Brasília: Agência Nacional de Águas (ANA), 2017. 88p.
- ANJINHO, P. da S.; BARBOSA, M. A. G. A.; COSTA, C. W.; MAUAD, F. F. Environmental fragility analysis in reservoir drainage basin land use planning: a brazilian basin case study. *Land Use Policy*, [S.L.], v. 100, p. 104946-11, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104946>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837718317915?via%3Dihub>. Acesso em: 18/11/2020.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=cr_ossref. Acesso em: 23/03/2020.
- ALVES, A. da C. *ESTUDO DA INTERAÇÃO DE VINHOTO COM UMA ARGILA DE BAIXA PLASTICIDADE DA REGIÃO DO MUNICÍPIO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ*. 2007. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2007. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2015/09/ALESSANDRO-DA-CUNHA-ALVES.pdf>. Acesso em: 18/11/2020.
- BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K.; BEZERRA, F. H. R.; TATUMI, S. H.; YEE, M.; GIANNINI, P. C. F. Geologia e geomorfologia do quaternário costeiro do estado do Rio Grande do Norte. *Geologia USP. Série Científica*, [s.l.], v. 4, n. 2, p. 1-12, 1 out. 2004. Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.5327/s1519-874x2004000200001>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/guspsc/article/view/27395/29167>. Acesso em: 08/04/2020.
- BITAR, O. Y. (Org). *Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Divisão de Geologia, 1995.
- BRASIL. Agência Nacional de águas. Ministério do Meio Ambiente. *Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água. vol 1*. Brasília, 2010. 72 p. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/downloads/atlas/Resumo%20Executivo/Atlas%20Brasil%20-%20Volume%201%20-%20Panorama%20Nacional.pdf>. Acesso em: 03/03/2020.
- BRASIL. Agência Nacional de águas. Ministério do Meio Ambiente. *Conjuntura de Recursos Hídricos Brasil: Informe anual*. Brasília: Ana, 2019. 110 p. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/porta/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_informe_anual_2019-versao_web-0212-1.pdf. Acesso em: 03/03/2020.

- BRASIL. Constituição (1997). Lei nº 9433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Lei Nº 9.433, de 08 de Janeiro de 1997*. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 07/03/2020.
- BRASIL. Constituição (2012). Lei nº 12651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. *Lei Nº 12.651, de 25 de Maio de 2012*. Brasília, DF, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm. Acesso em: 17/04/2020.
- BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. *Lei Nº 11.428, de 22 de Dezembro de 2006*. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm. Acesso em: 11/04/2020.
- BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). *TOPODATA*, banco de dados geomorfológicos do Brasil. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso em: 11/05/2020.
- CALIJURI, M. L.; ALVES, J. E. M.; BAPTISTA, Alessandra Carreiro; SANTIAGO, Aníbal da Fonseca; LOURES, Samuel Santana Paes. Proposta metodológica para geração da carta de fragilidade ambiental, utilizando lógica fuzzy e combinação linear ponderada. . In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR). 2007. Florianópolis. *Anais*. p. 3311-3318.
- CARLOS, A. A. G. *AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS À POPULAÇÃO DE COMUNIDADES RURAIS ABASTECIDAS POR SISTEMA ADUTOR: um estudo de caso*. UM ESTUDO DE CASO. 2004. 110 f. Tese (Mestrado) - Curso de Vigilância em Saúde, Coordenação do Programa de Pós-graduação, Mestrado Profissional de Vigilância em Saúde, Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/4594/2/783.pdf>. Acesso em: 08/03/2020.
- CARVALHO, A. P. P.; GUERRERO, J. V. R.; SILVA, E. V. E.; PINTO, M. J. R.; VAZ, R. M. G. F. C.; PEREIRA, C. T.; LORANDI, R.; LOLLO, J. A.; MOSCHINI, L. E.. Environmental Fragility to Erosion in an Anthropogenic Watershed in the Northeast of the State of São Paulo, Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências - Ufrj*, [s.l.], v. 42, n. 3, p. 7-18, 30 set. 2019. Instituto de Geociências - UFRJ. http://dx.doi.org/10.11137/2019_3_07_18. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/31178>. Acesso em: 18/11/2020.
- CASTRO, Vera Lúcia Lopes de; CUNHA, Maria Cândida Barreto; MARTINS, Guttenberg; MEDEIROS, Rachel Araújo de. COMPORTAMENTO DO NITRATO EM POÇOS TUBULARES NO ENTORNO DA LAGOA DO BONFIM – NÍSIA FLORESTA/RN. *Águas Subterrâneas*, [s.l.], p.1-13, 2014. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28315/18423>. Acesso em: 08/03/2020.
- CAVALCANTE, Leandro Vieira. A modernização da produção brasileira de coco e a racionalidade do capital. *Ateliê Geográfico*, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 235-254, 30 maio 2018. Universidade Federal de Goiás. <https://doi.org/10.5216/ag.v11i3.41071>. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/ateliê/article/view/41071/25622>. Acesso em: 18/11/2020.
- CEREDA JUNIOR, A. *Análise de Fragilidade Ambiental com Métodos Multicritério - críticas e proposta metodológica*. 2011. 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.
- 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). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v20n4.p946-958>. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=156&SUMARIO=5120>. Acesso em 05/08/2020.

- COSTA, W. D. 1997. *Estudo da disponibilidade hídrica da Lagoa do Bonfim*. In: SRH-RN. Costa Consultoria e Serviços Técnicos Ambientais, Natal. 83p.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte*. Ministério de Minas e Energia – Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília, 2006. Escala 1:500.000.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; FILHO, P. H.; 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. 103 p. Disponível em: <http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf>. Acesso em: 22/04/2020.
- CRUZ, B. B.; MANFRÉ, L. A.; RICCI, D.s.; BRUNORO, D.; APPOLINARIO, L.; QUINTANILHA, J. A.. Environmental fragility framework for water supply systems: a case study in the paulista macro metropolis area (se brazil). *Environmental Earth Sciences*, [s.l.], v. 76, n. 12, p. 1-13, jun. 2017.
- CUNHA, M. C. B.; CASTRO, V. L. L.; MARTINS, G.; MEDEIROS, R. A. *Comportamento do Nitrato em Poços Tubulares no Entorno da Lagoa do Bonfim*: Nísia Floresta/RN. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2014, Belo Horizonte. ABAS -XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.
- DNPEA/SUDENE. Divisão de Pesquisa Pedológica. SUDENE. Superintendência para o desenvolvimento do Nordeste. *Levantamento Exploratório: reconhecimento de solos do estado do Rio Grande do Norte*. Recife: DNPEA/SUDENE, 1971. 536p.
- EASTMAN, J.R. Decision Support: Decision Strategy Analysis. In: CLARK UNIVERSITY (Ed.). IDRISI Andes Guide to GIS and Image Processing. Worcester: Clark Labs, 2006.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2. ed. Brasília, DF. 2006. 286 p. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>. Acesso em: 07/11/2020.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). ArcGIS for the desktop 10.5, 2017.
- FLORENZANO, T. G. *Iniciação em Sensoriamento Remoto*. 3. ed. ampl. e atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128 p.
- FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S.; SIQUEIRA, L. A. *Sistema de Produção para a Cultura do Coqueiro*. EMBRAPA Tabuleiros Costeiros. 1ª ed.: 2002.
- GONDIM, Joaquim; FIOREZE, Ana Paula; ALVES, Rodrigo Flecha Ferreira; SOUZA, Wesley Gabrieli de. A seca atual no Semiárido nordestino: Impactos sobre os recursos hídricos. *Parc. Estrat.*, Brasília-DF, v. 22, n. 44, p.277-300, jun. 2017. Disponível em: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/856/784. Acesso em: 03/03/2020.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual Técnico de Geomorfologia*. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 175p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>. Acesso em: 10/04/2020.
- JAEGER, J. A.G.; BERTILLER, R.; SCHWICK, C.; KIENAST, F. Suitability criteria for measures of urban sprawl. *Ecological Indicators*, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 397-406, mar. 2010. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.07.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X09001265?via%3Dihub>. Acesso em: 08/10/2020.
- JAXA/METI. *ALOS PALSAR*: MDE – Banda L. 2011. Disponível em: <https://asf.alaska.edu/>. Acesso em 05/11/2020.
- JENSEN, J. R. *Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres*. São José dos Campos, SP. 598p., 2009.

- KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, São Paulo. *Anais [...]*. Goiânia: 2005. p. 2203 - 2210. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/281068892_Caracterizacao_empirica_da_fragilidade_ambiental_utilizando_o_geoprocessamento. Acesso em: 28/03/2020.
- KÖPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la Tierra. México: *Fondo de Cultura Economica*, 1948, 478p.
- LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPELERS, E. DYNAMICS OF LAND-USE AND LAND-COVER CHANGE INTROPICALREGIONS. *Annual Review Of Environment And Resources*, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 205-241, nov. 2003. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>. Acesso em 23/03/2020.
- LONGLEY, PAUL A. ET AL. *Sistemas e ciência da informação geográfica*. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 540 p. ISBN: 9788565837699.
- LUCENA, L. R. F. de. *Implicações Tectônicas na Hidrologia do Aquífero Barreiras e Sistema Lacustre do Bonfim, Nísia Floresta-RN*. 1999. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geofísica, Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1999. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/18746/1/LeandsonRFL DISSERT.pdf>. Acesso em: 30/03/2020.
- MANOEL FILHO, J.; CASTRO, V. L. L. de. AVALIAÇÃO E EXPLOTAÇÃO DO AQUÍFERO DUNAS-BARREIRAS NA REGIÃO DO SUBSISTEMA LACUSTRE DO BONFIM – RN. *Águas Subterrâneas*, [s.l.], p.1-20, 2002. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22572/14822>. Acesso em: 08/03/2020.
- MELO, J. G. de; FEITOSA, E. C.; SILVA, E. R. da. HIDROGEOLOGIA DA REGIÃO DO COMPLEXO LAGUNAR DO BONFIM/RN. *Águas Subterrâneas*, [s.l.], p.1-18, 2000. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24336/16340>. Acesso em: 08/03/2020.
- MORAES, M. E. B. de; LORANDI, R. *Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas*. Ilhéus: UESC, 2016. 289 p. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/4wbr2/pdf/moraes-9788574554433.pdf>. Acesso em: 07/03/2020.
- NÍSIA FLORESTA (Município). Aldo Dantas (Coord.). Prefeitura Municipal de Nísia Floresta/RN FUNASA (Org.). *Plano Municipal de Saneamento Básico: Diagnóstico Técnico Participativo: Nísia Floresta-RN*. 2018. 202 p.
- NÍSIA FLORESTA (Município). Constituição (2007). Lei Complementar nº 003, de 26 de dezembro de 2007. Dispõe sobre a Política Municipal de Meio Ambiente e o Código do Meio Ambiente do Município de Nísia Floresta e cria o Sistema Municipal de Meio Ambiente. *Lei Complementar Nº 003/2007*. Nísia Floresta, RN, 26 dez. 2007. Disponível em: <http://nisiastroresta.rn.gov.br/wp-content/uploads/2019/07/LEI-DO-C%C3%93DIGO-DE-MEIO-AMBIENTE-PDF.pdf>. Acesso em: 17/04/2020.
- OLIVEIRA, F. F. G. de. *APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E NA DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL NO LITORAL SUL DO RIO GRANDE DO NORTE*. 2011. 250 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, 2011. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/102932/oliveira_ffg_dr_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 08/04/2020.
- OLIVEIRA, E. Z.; MORAES, M. C. P.; FAUSTINO, A. S.; VASCONCELOS, A. F.; COSTA, C. W.; MOSCHINI, L. E.; MELANDA, E. A.; JUSTINO, E. A.; LOLLO, J. A.; LORANDI, R. Multi-temporal analysis of land use land cover interference in Environmental Fragility in a Mesozoic basin, southeastern Brazil. *Groundwater for Sustainable Development*, v. 12, p. 100536, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100536>
- PASCUAL, U.; PALOMO, I.; ADAMS, W. M.; A CHAN, K. M; DAW, T. M; GARMENDIA, E.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; GROOT, R. de; MACE, G. M.; MARTÍN-LÓPEZ, B. Off-stage ecosystem service burdens: a blind spot for global sustainability. *Environmental Research Letters*, [S.L.], v. 12, n. 7, p. 075001-10, 20 jun. 2017.

- IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/aa7392>. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa7392>. Acesso em 12/04/2020.
- PEREIRA, R.; GUIMARÃES JUNIOR, J. A.; SILVA JUNIOR, G. C. da; MATTOS, A.. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA CAPTAÇÃO D'ÁGUA NA LAGOA DO BONFIM, RN - BRASIL. *Águas Subterrâneas*, [s.l.], v. 16, n. 1, p.75-84, 9 dez. 2002. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v16i1.1301>. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/1301>. Acesso em: 08/03/2020.
- PEREIRA, R.; GUIMARÃES JUNIOR, J. A.; SILVA JUNIOR, G. C. da. ESTADO DA ARTE DA BACIA HIDROGEOLOGICA DO SISTEMA LACUSTRE BONFIM-RN, NORDESTE DO BRASIL. *Águas Subterrâneas*, [s.l.], v. 17, n. 1, p.41-47, 9 dez. 2003. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v17i1.1311>. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/1311/1089>. Acesso em: 08/03/2020.
- PEREIRA, R.; SILVA JUNIOR, G. C. da; GUIMARÃES JUNIOR, J. A.; FONSECA, A. L. da. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DO SISTEMA LACUSTRE BONFIM, RIO GRANDE DO NORTE – BRASIL. *Águas Subterrâneas*, [s.l.], p.1-15, 2000. Disponível em: <https://docplayer.com.br/36222521-Caracterizacao-hidrogeoquimica-do-sistema-lacustre-bonfim-rio-grande-do-norte-brasil.html>. Acesso em: 08/03/2020.
- RADAMBRASIL. Secretaria Geral. Ministério das Minas e Energia. *Projeto RADAMBRASIL: Folhas SB.24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra (Levantamento de Recursos Naturais)*. Rio de Janeiro, 1981. 745 p. 23 v.
- ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, Å.; CHAPIN, F. S.; LAMBIN, E. F.; LENTON, T. M.; SCHEFFER, M.; FOLKE, C.; SCHELLNHUBER, H. J. A safe operating space for humanity. *Nature*, [S.L.], v. 461, n. 7263, p. 472-475, set. 2009.
- ROLNIK, R. La democracia en el filo de la navaja: límites y posibilidades para la implementación de una agenda de reforma urbana en brasil. *Eure (Santiago)*, [S.L.], v. 35, n. 104, p. 5-28, abr. 2009. SciELO Agencia Nacional de Investigacion y Desarrollo (ANID). <http://dx.doi.org/10.4067/s0250-71612009000100001>. Disponível em: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/eure/v35n104/art01.pdf>. Acesso em: 18/11/2020.
- ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada. *Geography Department, University Of São Paulo*, [s.l.], v. 16, p.81-90, 2005. Universidade de São Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP. <http://dx.doi.org/10.7154/rdg.2005.0016.0009>. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288/51024>. Acesso em: 12/03/2020
- 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: 28/03/2020.
- ROSS, J. L. S. LANDFORMS AND ENVIRONMENTAL PLANNING: potentialities and fragilities. : 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: 26/04/2020.
- RIO GRANDE DO NORTE (Estado). Constituição (1999). Decreto nº 14369, de 22 de março de 1999. Cria a Área de Proteção Ambiental (APA) Bonfim/Guaraira nos Municípios de Nísia Floresta, São José do Mipibu, Senador Georgino Avelino, Goianinha, Arês, Tibau do Sul, e dá outras providências. *Decreto Nº 14.369, de 22 de Março de 1999*.
- SEMARH, SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS (org.), IDEMA, INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE (org.). *PERFIL DO SEU MUNICÍPIO: NÍSIA FLORESTA*. Natal, 2008. 35 p. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC00000000013946.PDF>. Acesso em: 12/03/2020.

- SANTOS, W. A. A. dos. Uso do Sensoriamento Remoto multiespectral para determinação da variação de lâminas d'água das lagoas no município de Nísia Floresta, Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Natal, v. 6, n. 6, p.1635-1647, 25 maio 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232907/26889>. Acesso em: 12/03/2020.
- SEVERIANO, E. da C.; OLIVEIRA, G. C. de; DIAS JÚNIOR, M. de S.; CASTRO, M. B. de; OLIVEIRA, L. F. C. de; COSTA, K. A. de P. Compactação de solos cultivados com cana-de-açúcar: i -modelagem e quantificação da compactação adicional após as operações de colheita. *Engenharia Agrícola*, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 404-413, jun. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162010000300005>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162010000300005&lng=pt&tlng=pt. Acesso em 10/10/2020.
- SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). *Hidrologia, Ciência e Aplicação*. 2. Ed.; 2. Reimpr. Poto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, 2001. 35-51 p.
- SCHIAVETTI, Alexandre; CAMARGO, Antonio F. M. *Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações*. Ilhéus: Editus – Editora da UESC, 2002. 281 p.
- SCHUELER, T.; FRALEY-MCNEAL, L.; CAPIELLA, K. Review of Recent Research. *Journal of Hydrologic Engineering*. v. 14, n. 4. p.309-315, 2009.
- SOUZA, A. R.; DUPAS, F. A.; DRUMMOND, I. N.; COSTA, C. W. zoneamentos da vulnerabilidade ambiental e expectativa de perda de solo: é possível usar a USLE na determinação de vulnerabilidade ambiental? *Geociências*, v. 38, n. 4, p. 1105 - 1119, 2019. DOI: [10.5016/geociencias.v38i4.14083](https://doi.org/10.5016/geociencias.v38i4.14083). Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/13630>. Acesso em: 12/03/2021.
- SPRÖL, C.; ROSS, J. L. S. Comparative analysis of environmental fragility by applying three models. *GeoUSP: Espaço e Tempo* (Online), [s.l.], n. 15, p. 39-49, 17 jun. 2004. Universidade de São Paulo, Agencia USP de Gestão da Informacao Academica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2004.123868>. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/123868/120045>. Acesso em: 25/04/2020.
- TOPODATA. *Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil*. (2020). <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso em: 05/04/2020.
- TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: Superintendencia de Recursos Naturais (SUPREN), 1977. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20%20RJ/ecodinamica.pdf>. Acesso em: 28/03/2020.
- 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). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0169555X95000284?via%3Dihub>. Acesso em 04/10/2020.
- TROLEIS, Adriano Lima; SILVA, Bruno Lopes da. DO POLÍGONO DAS SECAS À VULNERABILIDADE AO COLAPSO HÍDRICO: UMA ANÁLISE DO TERRITÓRIO DO RIO GRANDE DO NORTE. *Geo Sertões: Unageo/CFP-UFCG*, Natal, v. 5, n. 5, p.24-40, jun. 2018.
- TUCCI, C. E. M (Org.). *Hidrologia, Ciência e Aplicação*. 2. ed.; 2. reimpr. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2001. 469 p.
- TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; GALLI, C. S. (ed.). *Eutrofização na América do Sul: causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle*. 1 ed. São Carlos: Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental, 2006.
- ZHAO, G.; MU, X.; WEN, Z.; WANG, F.; GAO, P.. SOIL EROSION, CONSERVATION, AND ECO-ENVIRONMENT CHANGES IN THE LOESS PLATEAU OF CHINA. *Land Degradation & Development*, [s.l.], v. 24, n. 5, p. 499-510, set. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2246>.

ZORZAL-ALMEIDA, S.; SALIM, A.; ANDRADE, M. R. M.; NASCIMENTO, M. de N.; BINI, L. M.; BICUDO, D. C. Effects of land use and spatial processes in water and surface sediment of tropical reservoirs at local and regional scales. *Science Of The Total Environment*, [S.L.], v. 644, p. 237-246, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.361>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718324379?via%3Dihub>. Acesso em 08/08/2020.