

## VULNERABILIDADE DOS SISTEMAS AMBIENTAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO NICOLAU- SEMIÁRIDO PIAUIENSE

---

Cristiane Maria Cordeiro **SANTIAGO**

Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Docente do curso de Graduação da  
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA. Departamento de História e Geografia

E-mail: cristianesantiago21@gmail.com

Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-2614-7073>

Edson Vicente Da **SILVA**

Doutor em Geografia. Docente dos Programas de Graduação e Pós-Graduação da  
Universidade Federal do Ceará-UFC

Departamento de Geografia

E-mail: cacaueara@gmail.com

Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-5688-750X>

Leonardo Silva **SOARES**

Pós-doutor em Planejamento Ambiental e Geoecologia da Paisagem. Docente dos cursos de  
Graduação e Pós-Graduação da Universidade Federal do Maranhão- UFMA  
Departamento de Oceanografia e Limnologia.

E-mail: leonardoufma@yahoo.com.br

Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-0373-2971>

Recebido

Maio de 2023

Aceito

Maio de 2023

Publicado

Março de 2024

---

**Resumo:** O seguinte trabalho é parte da tese de doutorado e tem como unidade de análise a Bacia hidrográfica do rio São Nicolau – BHSN, região do semiárido piauiense. O estudo em questão tem como objetivo geral analisar a vulnerabilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio São Nicolau baseada na apreciação dos sistemas ambientais físicos e aspectos socioeconômicos. A área foi analisada em escala de 1: 400.000. Para tanto, realizou-se levantamento bibliográfico e de materiais geocartográficos, além de trabalhos de campo. Tendo o aporte das características geoambientais, a bacia foi compartimentada em seis grandes sistemas ambientais e verificado o grau de vulnerabilidade de cada um deles. Pode-se compreender que a área da bacia detém níveis de vulnerabilidade que variaram de Muito Baixo

(5,02%) a Muito Alto (3,3%) sendo que este último nível, embora sua extensão não tenha sido representativa na bacia em comparação com os demais níveis, ainda assim é preocupante, pois trouxe à luz uma ideia diferente da região, vista, a priori, como área bem conservada em toda sua extensão. As áreas que apresentaram vulnerabilidade muito alta indicaram como fator provocador não somente a maior densidade demográfica, mas também a presença de características físicas naturais mais suscetíveis às alterações antrópicas. Portanto, embora a análise da vulnerabilidade, de modo geral, tenha mostrado que a bacia não aparenta sofrer danos irreversíveis na natureza e no meio social, espera-se que os dados obtidos na pesquisa possam contribuir para um planejamento e gestão compatíveis com as características desta importante Bacia Hidrográfica.

**Palavras-chave:** Sistemas Ambientais. Bacia hidrográfica. Vulnerabilidade. Semiárido.

### **VULNERABILITY OF THE ENVIRONMENTAL SYSTEMS OF THE SÃO NICOLAU RIVER HYDROGRAPHIC BASIN (SNHB) – SEMIARID PIAUIENSE**

**Abstract:** The following work is part of the doctoral thesis and has as its unit of analysis the São Nicolau River Hydrographic Basin - SNHB, in the semiarid region of Piauí. The study in question has the general objective of analyzing the environmental vulnerability of the São Nicolau River Basin based on the appreciation of physical environmental systems and socioeconomic aspects. The area was analyzed on a scale of 1: 400,000. To this end, a bibliographic survey and geocartographic materials were carried out, in addition to field works. With the contribution of geoenvironmental characteristics, the basin was compartmentalized into six major environmental systems and the degree of vulnerability of each one of them was verified. It can be understood that the basin area has levels of vulnerability that ranged from Very Low (5,02%) to Very High (3,3%), and the latter level, although its extension was not representative in the basin compared to the other levels, is still worrying, as brought to light a different idea of the region, seen a priori as a well-preserved area in all its extension. The areas that showed very high vulnerability indicated as a provoking factors not only the higher population density, but also the presence of natural physical characteristics more susceptible to anthropic alterations. Therefore, although the vulnerability analysis, in general, has shown that the basin does not appear to suffer irreversible damage to nature and the social environment, it is expected that the data obtained in the research can contribute to planning and management compatible with the characteristics of this Hydrographic Basin.

**Keywords:** Environmental Systems. Hydrographic Basin. Vulnerability. Semiarid

### **VULNERABILIDAD DE LOS SISTEMAS AMBIENTALES DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO SÃO NICOLAU (CHSN) - SEMIARIDO PIAUIENSE**

**Resumen:** El siguiente trabajo es parte de la tesis de doctorado y tiene como unidad de análisis la cuenca del río São Nicolau - CHSN, en la región semiárida de Piauí. El estudio en cuestión tiene como objetivo general analizar la vulnerabilidad ambiental de la Cuenca del Río São Nicolau desde la apreciación de los sistemas ambientales físicos y aspectos socioeconómicos. El área fue analizada en una escala de 1:400.000. Para ello, se realizó un levantamiento bibliográfico y de materiales geocartográficos, allá del trabajo del campo. Con el aporte de las características geoambientales, se compartimentó la cuenca en seis grandes sistemas ambientales y se verificó el grado de vulnerabilidad de cada uno de ellos. Se puede entender que el área de la cuenca presenta niveles de vulnerabilidad que oscilaron entre Muy Bajo (5,02%) y Muy Alto (3,3%), y este último nivel, si bien su extensión no fue representativa en la cuenca en comparación con los demás niveles, no deja de ser preocupante, tal como lo puso

de manifesto una idea diferente de la comarca, vista a priori como una zona bien conservada en toda su extensión. Las áreas que mostraron una vulnerabilidad muy alta señalaron como factor desencadenante no solo la mayor densidad de población, sino también la presencia de características físicas naturales más susceptibles a las alteraciones antrópicas. Por lo tanto, aunque el análisis de vulnerabilidad, en general, ha mostrado que la cuenca no parece sufrir daños irreversibles a la naturaleza y al entorno social, se espera que los datos obtenidos en la investigación puedan contribuir a una planificación y manejo compatible con las características de esta importante cuenca.

**Palabras clave:** Sistemas Ambientales. Cuenca Hidrográfica. Vulnerabilidad. Semiarido.

## INTRODUÇÃO

A vulnerabilidade está sempre conexas à maior ou menor fragilidade de um determinado ambiente. Vulnerabilidade ambiental pode ser compreendida, segundo Costa *et al.* (2007), como o risco de degradação do ambiente natural, relacionada a erosão, perda de biodiversidade, assoreamento, contaminação do solo e da água etc. Wisner *et al.* (2004) afirmam que a vulnerabilidade está condicionada a existência de causas básicas que implicam em pressões dinâmicas ao sistema e que acabam provocando condições inseguras a sociedade.

O termo vulnerabilidade remete ao limite em que uma sociedade ou um sistema ambiental é afetado. Evidentemente, a falta de políticas ambientais que levem em consideração a capacidade de suporte do ambiente contribui para o desequilíbrio nos sistemas ambientais. Especialmente em regiões onde há uma população vulnerável socioeconomicamente e/ou em ambientes naturalmente frágeis e que dependem de decisões políticas cujo planejamento, na maioria das vezes, não condiz com a realidade. A capacidade de suporte está relacionada à resistência de um determinado ambiente em manter-se em equilíbrio. Com isso, verifica-se a interrelação com a vulnerabilidade visto que, quanto mais vulnerável é o ambiente menor é sua capacidade de suporte.

O seguinte trabalho é parte da tese de doutorado, e a unidade de análise deste estudo, em particular, é a bacia hidrográfica do rio São Nicolau – BHSN, região do semiárido piauiense. Este domínio faz parte do grupo dos biomas brasileiros mais ameaçados, segundo dados do IBAMA (2011), devido ao uso inadequado de muito de seus recursos. Com características peculiares, estudos precisam ser realizados e atualizados constantemente, de modo a mapear os riscos e a vulnerabilidade ambiental e social do bioma e assim favorecer a construção de um processo de planejamento e gestão, em escala cartográfica adequada e que considere as especificidades físicas, bióticas e socioculturais deste ambiente.

Silva *et al.* (2010) afirmam que os fortes processos de desertificação e perda gradual da fertilidade biológica do solo são algumas das consequências do uso inadequado da terra no

domínio morfoclimático da caatinga. A exploração cada vez mais intensa dos seus recursos naturais, e o surgimento de novas formas de uso da terra, como por exemplo, o agronegócio, que recentemente percebeu na região semiárida uma possibilidade de sucesso no ramo, o que pode vir a contribuir para a degradação do semiárido no território piauiense, na falta de um planejamento adequado.

Com a delimitação do semiárido nordestino atualizada em 2017 pela SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste), o Estado do Piauí possui cerca de 200.610 km<sup>2</sup> de extensão territorial inserida nesse domínio, com um total de 185 municípios. Essa delimitação considera as condições climáticas e de desenvolvimento socioeconômico da população residente na região. Atualmente a SUDENE realiza uma nova atualização, em que consta em um resultado preliminar divulgado em 2021, o acréscimo de mais 31 municípios ao domínio semiárido, de acordo com as condições climáticas apresentadas nos últimos anos.

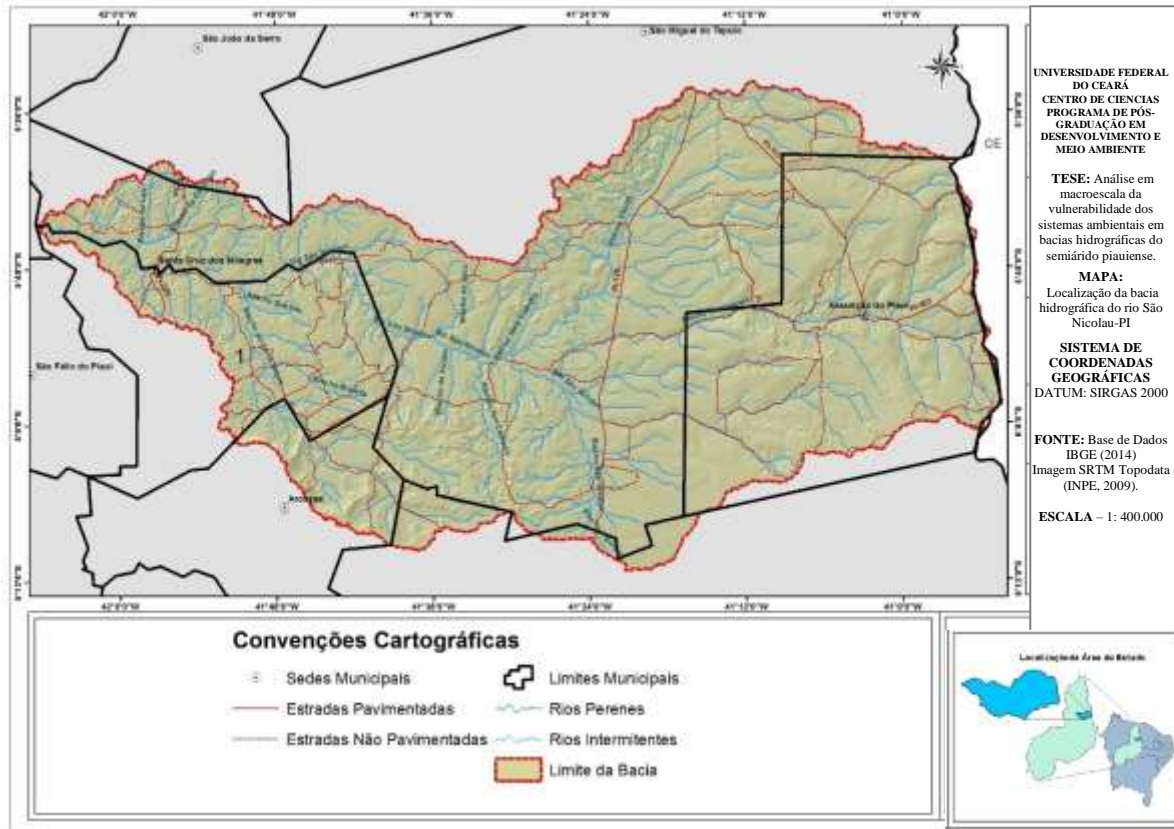
Embora o semiárido piauiense contenha características de geologia sedimentar que permite baixo escoamento superficial, maior capacidade de infiltração e maior armazenamento de água no subsolo, isso não exime a população de sofrer com grandes problemas provenientes das condições climáticas adversas que caracterizam o ambiente semiárido, devido à falta de gestão e de planejamento adequados para uso e ocupação de suas terras. Sendo assim, são necessários estudos voltados para análises e diagnósticos ambientais frente à interferência antrópica na região. Diante disso, questionamentos foram feitos no desenvolvimento desta pesquisa que, em síntese, busca entender qual o grau de vulnerabilidade dos sistemas ambientais que compõem a região da bacia do rio São Nicolau?

Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo geral, analisar a vulnerabilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio São Nicolau baseada na apreciação dos sistemas ambientais físicos e aspectos socioeconômicos. E, como objetivos específicos, classificar os sistemas ambientais da bacia hidrográfica do rio São Nicolau considerando a capacidade de suporte para elaboração do Índice do Estado Ambiental (IEA); avaliar o contexto socioeconômico e o processo dinâmico das formas de uso e ocupação das terras para elaborar o Índice do Ambiente Socioeconômico da bacia (IASB); verificar, com base nos índices, a vulnerabilidade ambiental da bacia e o grau existente em cada um dos sistemas ambientais.

A BHSN está localizada na região Centro-Norte do Estado do Piauí no que corresponde ao domínio semiárido. Perfaz uma área aproximada de 5.389,8 km<sup>2</sup> e abrange parte dos municípios de Assunção do Piauí, São Miguel do Tapuio, Pimenteiras, Aroazes, Santa Cruz dos Milagres e São João da Serra. O rio São Nicolau nasce próximo ao limite dos Estados do Piauí

e Ceará, cruza o território piauiense no sentido E-W e deságua no rio Sambito, afluente do rio Poti, próximo à cidade de Prata do Piauí-PI (Figura 1).

Figura 1 - Mapa da Localização Geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio São Nicolau - PI



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

O levantamento de informações torna-se de grande relevância para a construção de um planejamento eficaz e condizente com a realidade da área da BHSN, tendo em vista a priorização de um crescimento socioeconômico, que tenha como base formas de uso e ocupação das terras em conformidade com as limitações naturais que o ambiente oferece.

## METODOLOGIA

A área foi analisada sob uma perspectiva dimensional descrita abaixo, em escala de 1: 400.000, devido à sua grande extensão.

- **Levantamentos Bibliográfico e Cartográfico**

A pesquisa foi desenvolvida tendo a análise ambiental sistêmica como base metodológica e autores como Bertrand (1971), Tricart (1977), Sothava (1977), Christofolletti

(1999, 2004), Crepani *et al.* (2001), Rodriguez e Silva (2002), entre outros, que proporcionaram discussões em torno dos conceitos de sistemas ambientais, qualidade e vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas.

Foram coletados também materiais geocartográficos (mapas, imagens de satélite) que permitiram o desenvolvimento da proposta em instituições, como: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Ministério do Meio Ambiente (MMA), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMAR-PI), Centro de Pesquisas Sociais e Econômicas do Piauí (CEPRO); Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e prefeituras. Foi cogente a utilização de dados secundários como os do censo realizado pelo IBGE no ano de 2010 e o censo agropecuário 2007, consultou-se também a pesquisa de saneamento básico dos municípios além de artigos, dissertações, trabalhos técnicos dentre outros.

- **Técnicas de Geoprocessamento**

Utilizou-se de imagens Shuttle Radar Topography Mission - SRTM (2009) as quais foram trabalhadas no programa Arcgis 10.1. Também foram obtidos dados de imagens do Satélite ALOS (sensor Avnir-2) de 2014 com 10m de resolução espacial; foram utilizadas também imagens do Google Earth.

Para o uso e cobertura da terra foi tomado como base o Manual de uso da terra do IBGE (2006) o qual apresenta três níveis hierárquicos que podem se desdobrar para níveis de detalhamento menores conforme seja a escala de trabalho.

Todas as informações cartográficas foram preparadas e executadas as etapas de extração de dados das imagens e materiais coletados em ambiente de geoprocessamento, com geração de um banco de dados digital por meio do software Arcgis versão 10.1 na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fusos 23 e 24S e modelos da Terra em Datum SIRGAS 2000 no qual também foram definidos os demais parâmetros cartográficos. As técnicas de sensoriamento remoto foram primordiais na elaboração dos mapas temáticos tais como: mapa de solo, cobertura vegetal, hidrografia, dos aspectos climáticos, formas de uso e cobertura da terra.

- **Trabalhos de campo**

Os trabalhos de campo foram necessários para fins de constatação e acréscimo de informações. Assim sendo, eles se basearam em observações dos aspectos físicoambientais. Os trabalhos de campo ocorreram no período de setembro e novembro de 2016, período caracterizado pela seca na região. E, em seguida, realizou-se no período chuvoso no mês de

março do ano de 2017. Também foram realizados registros fotográficos e os dados cartográficos e de sensoriamento remoto foram verificados.

- **Etapa de Análise dos Sistemas e Vulnerabilidade**

Para fins de análise integrada da bacia, propôs-se uma metodologia que envolvesse inúmeras interfaces conceituais e variáveis de análise, se referindo aos aspectos físicos naturais (geologia, geomorfologia, solos, vegetação, hidrografia, declividade e erosividade da chuva), e aos socioeconômicos (população, renda, agricultura e outras atividades). Essa etapa, em específico, teve como base a metodologia desenvolvida por Carvalho (2011).

Os sistemas ambientais físicos foram compartimentados a partir das características geomorfológicas da área de estudo. Sendo assim, a bacia foi dividida em seis grandes sistemas ambientais e, em seguida, foram formulados os indicadores necessários para a criação dos índices.

- **Construção dos Indicadores do ambiente físico para formulação do Índice de Estado do Ambiente – IEA**

- **Capacidade de Suporte**

Tendo o aporte das características físicoambientais da bacia foi verificado a capacidade de suporte de cada sistema ambiental fundamentando-se nos princípios da ecodinâmica e no método quantitativo de Crepani *et al.* (2001) o qual faz definição de valores e o cruzamento deles para gerar atributos por meio de técnicas de geoprocessamento.

A Capacidade de Suporte é diretamente proporcional a sua capacidade de resiliência e resistência frente às interferências antrópicas. Com isso, convencionou denominar que os meios instáveis são os detentores de capacidade de suporte baixa ao uso e ocupação das terras, por acreditar que esse tipo de ambiente possui uma dinâmica ambiental muito intensa e sensível ao desmatamento. Por sua vez, os ambientes de transição são detentores de capacidade de suporte média a baixa. E os meios estáveis possuem capacidade de suporte alta onde a ação antrópica pode desenvolver níveis de exploração de forma sustentável (Carvalho, 2011).

Para análise integrada dos elementos a metodologia de Crepani *et al.* (2001) define um modelo onde se buscou a avaliação empírica do estágio de evolução morfodinâmica das Unidades Territoriais Básicas (UTBs), em que valores de estabilidade foram atribuídos às categorias morfodinâmicas. A partir disso, formulou-se uma grande variedade de categorias

morfodinâmicas constituindo uma escala de Vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas (UTBs) de 21 classes (Quadro 1) distribuídas entre as situações em que há o predomínio dos processos de pedogênese (valores próximos de 1,0), situações intermediárias (valores ao redor de 2,0) e situações de predomínio dos processos de morfogênese (valores próximos de 3,0).

Quadro 1 - Escala de Vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas.

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA			GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO				
					VERM.	VERDE	AZUL	CORES	
U1	↑	3,0		VULNERÁVEL	255	0	0		
U2		2,9			255	51	0		
U3		2,8			255	102	0		
U4		V			2,7	255	153		0
U5	U	2,6		MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0		
U6	L	2,5			E	255	255		0
U7	N	2,4			S	204	255		0
U8	E	2,3			T	153	255		0
U9	R	2,2	A		MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	A	2,1	B			51	255	0	
U11	B	2,0	I			0	255	0	
U12	I	1,9	L			0	255	51	
U13	L	1,8	I		MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
U14	I	1,7	D			0	255	153	
U15	D	1,6	A			0	255	204	
U16	A	1,5	D			0	255	255	
U17	D	1,4	E		ESTÁVEL	0	204	255	
U18	E	1,3				0	153	255	
U19		1,2	↓			0	102	255	
U20		1,1				0	51	255	
U21		1,0		0	0	255			

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

Cada unidade territorial básica, segundo Crepani *et al.* (2001), é composta pelos elementos geoambientais como Geologia, Geomorfologia, Vegetação, Clima e Solos. Recebe um valor final resultante da média aritmética dos valores individuais. Com isso, obteve-se a capacidade de suporte em cada sistema ambiental da bacia conferindo as classes como mostra o Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação da capacidade de suporte conforme Crepani *et al.* (2001).

Grau de Vulnerabilidade Crepani <i>et al.</i> (2001)	Intervalo de Classe	CAPACIDADE DE SUPORTE	
		Classificação	
Vulnerável	2,7-3,0	Muito Baixa	Instável
Moderadamente Vulnerável	2,3-2,6	Baixa	Instável
Medianamente Estável / vulnerabilidade	1,8-2,2	Média	Transição
Moderadamente Estável	1,4-1,7	Alta	Estável

Fonte: Santiago (2019).



## **- Percentuais de Desmatamento**

O desmatamento é detentor de forte influência no desequilíbrio e perda da qualidade ambiental. Com isso, o segundo indicador a ser instituído na construção do índice ambiental da bacia foram os níveis de cobertura vegetal da BHSN. percentuais de desmatamento da BHSN foram calculados com base nas imagens de satélite do *landsat 8* que permitiram visualizar o grau de cobertura vegetal da bacia e contabilizar as áreas desmatadas. Essas áreas, em seguida, foram convertidas em percentuais de desmatamento em cada sistema ambiental.

Estabelecendo um paralelo para formulação do índice de Estado do Ambiente (IEA), fez-se uma correlação entre os indicadores: Capacidade de Suporte dos sistemas ambientais e os percentuais de desmatamento.

### **• Construção dos Indicadores Socioeconômicos para formulação do Índice do Ambiente Socioeconômico da Bacia - IASB**

Os indicadores foram escolhidos em função do potencial de degradação/conservação e situação socioeconômica da região tendo auxílio nas pesquisas do censo 2010 do IBGE e por meio do Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (PNUD BRASIL, 2014). As informações, no que se referem ao desenvolvimento socioeconômico, população, dentre outros, foram obtidas por setor censitário existente na bacia. Os parâmetros selecionados tem como aspecto a conjuntura social e econômica da região.

Na região da BHSN há predominância de terras destinadas a produção agropecuária, sítios etc., caracterizando-se como uma bacia rural. Por conta disso, optou-se por realizar o levantamento das informações de cada variável por setor censitário, que constitui a menor unidade de análise territorial composta de dados censitários, respeitando os limites da bacia, ficando assim definidas as variáveis/parâmetros que compõem o IASB: Parâmetros Sociais (Densidade demográfica e Pessoas Residentes) e, Parâmetros Econômicos (Habitação/ Domicílios Particulares e Coletivos e Rendimento Mensal Domiciliar de até R\$70 *per Capita*).

### **• Formulação do Índice do Ambiente Socioeconômico da Bacia (IASB)**

Após a coleta de dados de cada variável por meio do censo IBGE (2010), para ajuste dos dados estes foram sistematizados utilizando-se a técnica da distância proporcional

(Magalhães JR., 2007 *apud* Carvalho, 2011). Na técnica da distância proporcional, o maior valor de cada variável analisada passa a representar o valor máximo para o conjunto, sendo considerado como 100%. Os demais valores são obtidos por meio da regra de três simples podendo variar de 0 a 100% em cada setor. Com isso, os dados analisados têm sua análise comparativa somente dentro do universo estudado (Carvalho, 2011). Para formulação de um único índice qualiquantitativo, foi realizada uma média aritmética resultando no Índice do Ambiente Socioeconômico da Bacia (IASB).

Os índices (IEA e IASB) formulados nesta pesquisa foram agregados e atribuídos valores aos componentes. E, com auxílio do SIG e operadores de Álgebra de Mapas no software Arcgis 10.1, foi possível obter o valor médio de vulnerabilidade e identificar as áreas mais propensas de cada sistema a fim de espacializar a vulnerabilidade Ambiental da BHSN.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

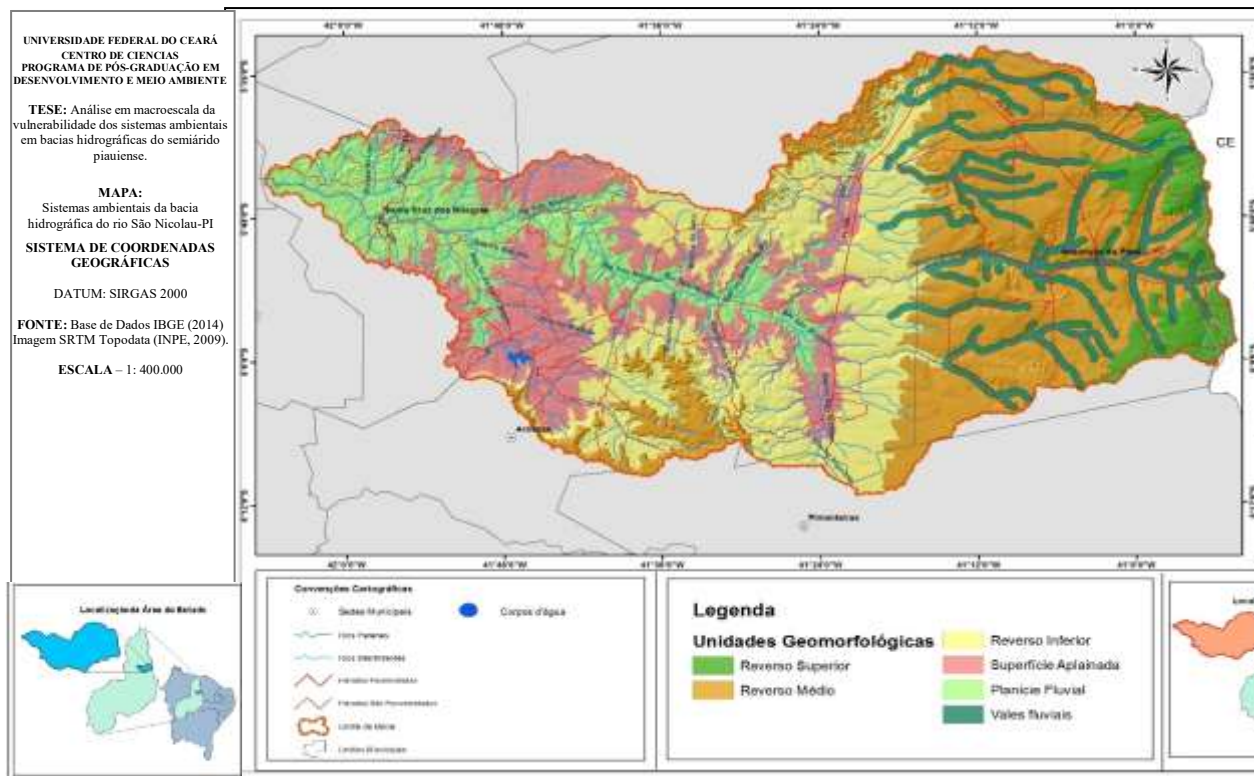
### **Aspectos geoambientais e compartimentação da Bacia Hidrográfica do Rio São Nicolau-PI em sistemas ambientais**

O processo de compartimentação da bacia torna-se importante à medida que se busca compreender a interrelação entre os componentes de determinado ambiente e cuja dinâmica demonstra certa semelhança entre eles compondo um sistema. Nisso, constitui-se então os inúmeros sistemas que, ao interagirem entre si, formam o arranjo espacial da bacia.

A bacia foi dividida em seis grandes sistemas ambientais. No alto curso, a extremo leste, há o que se denominou de Reverso Superior, sequenciado pelo Reverso Médio, que abriga quase que a totalidade do setor circundado por extensas áreas do Reverso inferior. Nessas feições encontram-se os Vales fluviais encaixados com vertentes retilíneas e íngremes, resultantes da dissecação fluvial recente.

Apresenta deposição de planícies aluviais restritas em vales fechados. A incisão dos rios isola os divisores internos povoados de inselbergs, pedimentos e alvéolos pedimentares em toda a sua extensão. Essa feição se estende até o médio curso, tendo em seu entorno os últimos sistemas ambientais: Superfície Aplainada e a Planície Fluvial, que se expandem pelo baixo curso da bacia como se observa na Figura 2.

Figura 2- Mapa da espacialização dos sistemas ambientais da Bacia Hidrográfica do Rio São Nicolau



Fonte: IBGE (2014); INPE (2009). Santiago (2019).

Tendo em vista o diagnóstico geoambiental da área, a síntese das características por cada um dos sistemas ambientais identificados na bacia está apresentada no Quadro 3, com informações inerentes à geologia, geomorfologia, hidrografia, clima, pedologia e vegetação acrescidos das formas de uso e cobertura da terra para cada um deles cuja delimitação dos mesmos se deu com base nos sistemas ambientais da bacia.

Quadro 3 - Caracterização dos Sistemas Ambientais da BHSN.

SISTEMAS AMBIENTAIS	EXTENSÃO	GEOLOGIA/ GEOMORFOLOGIA/ SOLO	CLIMA / VEGETAÇÃO / DRENAGEM	USO E OCUPAÇÃO/ PROBLEMAS E IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS
<b>REVERSO SUPERIOR</b>	266 Km <sup>2</sup>	Grupo Formação Serra Grande, compreende um conjunto de platôs e planaltos mais rebaixados com características residuais, originando Neossolo Litólico e Neossolo Quartzarênico.	Semiárido com presença de Carrasco. Possui rios com escoamento retilíneo e de regime predominantemente intermitentes	Atividade agropecuária: criação de bovinos, ovinos e caprinos; cultivos temporários / Erosão laminar, queimadas, solo exposto.
<b>REVERSO MÉDIO</b>	1501 Km <sup>2</sup>	Depósitos Colúvio Eluviais; Formação Longá, Cabeças e Pimenteiras dá base a Superfícies tabulares estruturais, dissecado em cristas com controle	Semiárido com presença da vegetação de caatinga arbórea. Possui rios com escoamento retilíneo e de regime	Atividade agropecuária: criação de caprinos, bovinos; cultivos temporários/ Erosão, extração de água subterrânea, solo exposto.

		estrutural, dissecado de mesas e superfícies. Predomina o Latossolo Amarelo, Argissolos e Neossolo Quartzarênico.	predominantemente intermitentes	
<b>REVERSO INFERIOR</b>	1288 Km <sup>2</sup>	Formação Piauí, Poti e Longá. Contem superfícies tabulares estruturais, dissecação em grupamento de mesas que originam o Latossolo e Neossolo Quartzarênico.	Clima Seco Subsumido, com predomínio da Caatinga e alguns traços de vegetação de cerrado. Drenagem dentrítica	Atividade agropecuária: Criação de caprinos, bovinos. Cultivos temporários./ Pisoteio excessivo, perda da qualidade do solo, erosão em sulcos.
<b>VALES FLUVIAIS</b>	578 Km <sup>2</sup>	Formação Serra Grande e Formação Pimenteiras, Vales encaixados com vertentes retilíneas e declivosas. Apresenta deposição de planícies aluviais restritas em vales. Predomínio de Latossolos, neossolos litólicos e neossolos Quartzarênico.	Clima Semiárido. Os fundos de vales são revestidos de matas ciliares, onde predomina a carnaúba. Os rios que drenam esta área correspondem a grande parte dos afluentes que formam o alto e médio curso do rio.	Pouco urbanizado, presença de grandes plantios temporários, predominância de atividades agropecuárias, em pequenas e médias propriedades/ Pontos com contaminação dos cursos fluviais por agrotóxicos, solo exposto em vertente íngreme, retirada da mata ciliar, erosão em sulcos.
<b>SUPERFÍCIE APLAINADA</b>	987 Km <sup>2</sup>	Formação cabeças, e depósitos colúvio-eluviais. Predomínio de relevo dissecado em ravinas e vales encaixados; Superfícies estruturais pediplanadas. Dando origem a Latossolo e neossolo litólico	Clima Seco Subsumido; Zona com características de área de transição, presença de vegetação típica de cerrado e da caatinga arbórea arbustiva. Escoamento Superficial com rios de padrões retilíneos	Produção de culturas de subsistência; extração de cera de carnaúba e de madeira para carvão, pecuária e Piscicultura/ Erosão em sulcos, evolução para voçorocas, uso intensivo da terra. Contaminação por agrotóxicos.
<b>PLANÍCIE FLUVIAL</b>	759 Km <sup>2</sup>	Sedimentos aluviais com areias mal selecionadas incluindo siltes, argilas e cascalhos. Áreas planas em faixas de aluviões recentes e inundáveis. Apresenta Neossolos Flúvicos e Argissolos	Clima Tropical; Matas ciliares e Escoamento superficial de padrão retilíneo, do tipo Intermitente, mas com predomínios de cursos perenes no baixo curso.	Extratativismo vegetal e mineral; Agricultura irrigada, Atividade turística; agropecuária; piscicultura/ Contaminação do rio por efluentes, retirada da mata ciliar, solo exposto causando erosão, transporte e sedimentação no rio. Poluições advindas da atividade turística.

Fonte: Organizador: Santiago (2019).

## Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica de São Nicolau-Pi

A obtenção dos índices IEA e IASB possibilitou a correlação entre os fatores de cunho ambiental e socioeconômico da bacia, e por meio dessa interrelação verificaram-se as condições de vulnerabilidade ambiental da bacia e o grau existente em cada um dos sistemas ambientais presentes na BHSN.

Pode-se compreender que a área da bacia detém níveis de vulnerabilidade que variaram de Muito Baixo (5,02%) a Muito Alto (3,3%), sendo que este último nível, embora sua extensão

não tenha sido representativa na bacia em comparação aos demais níveis, ainda assim é preocupante, pois trouxe à luz uma ideia diferente da região, vista a priori como área bem conservada em toda sua extensão. As áreas em que os níveis identificados como Alto e Muito alto, indicaram não somente a maior densidade demográfica, mas também a presença de características físicas naturais mais suscetíveis às alterações antrópicas.

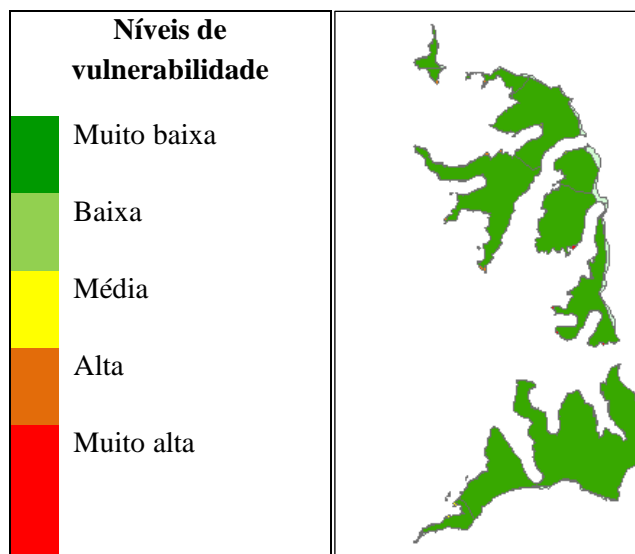
Fazendo análise da vulnerabilidade em cada um dos sistemas ambientais separadamente, observa-se a princípio, que os fatores mais determinantes para os níveis apresentados foram aqueles do ambiente físico, visto que a densidade demográfica da bacia, de modo geral, é muito baixa.

Porém, alguns pontos dessa extensa área, além de apresentar capacidade de suporte baixa, chegam a ser bastante explorados, fato identificado ao realizar o levantamento das formas de uso e cobertura da terra da bacia. Além das duas sedes municipais presentes no perímetro da bacia (Assunção do Piauí e Santa Cruz dos Milagres), as condições de acesso a determinadas localidades possibilitam ser exploradas com mais intensidade, além disso, a consolidação de povoados, comunidades e distritos, e a utilização de vastas extensões de terras para a agropecuária também formaram fatores determinantes para os valores de vulnerabilidade muito alta presentes em toda a bacia que, ao todo somaram 470, 95 km<sup>2</sup> de extensão territorial da BHSN.

O sistema ambiental Reverso Superior apresentou grau de vulnerabilidade muito baixa em quase a totalidade da área do mesmo. Embora esse sistema tenha mostrado capacidade de suporte mediana, os outros fatores como, baixa densidade demográfica, taxa de domicílios e renda, demonstram que este possui uma resiliência maior, ou seja, o sistema Reverso Superior ainda detém a capacidade de retornar ao seu estado de equilíbrio após sofrer um distúrbio qualquer, em 98,58% de sua área. 0,29% compreende a área com vulnerabilidade média. 0,79% correspondem à região cuja vulnerabilidade foi considerada alta. Apenas 0,34% desse sistema apresentou vulnerabilidade muito alta (Figura 3).

A interrelação dos elementos analisados reporta um sistema cujo risco é muito pequeno tanto natural, quanto socialmente. É possível observar também que o grau de vulnerabilidade muito baixa, predomina em toda a extensão desse sistema ambiental. E, sendo esta área pertencente à APA da Serra da Ibiapaba, também pode estar contribuindo para a conservação desse sistema que, em particular, foi o que apresentou resultados melhores em termos de conservação do sistema, mesmo que alguns aspectos ambientais tenham mostrado ser uma área sujeita a instabilidade natural devido à declividade do terreno.

Figura 3 - Vulnerabilidade ambiental do sistema Reverso Superior



Fonte: Santiago (2019).

A presença de Unidades de Conservação contribui direta e indiretamente para a valorização da região e, principalmente para a conservação e preservação da fauna e flora. A adoção de medidas que consigam minimizar os impactos negativos ocasionados pela ação antrópica, sem dúvida, traria para a população menos riscos ambientais e socioeconômicos. Pois, remete a compreensão de uma atenção maior para a manutenção da qualidade do ambiente.

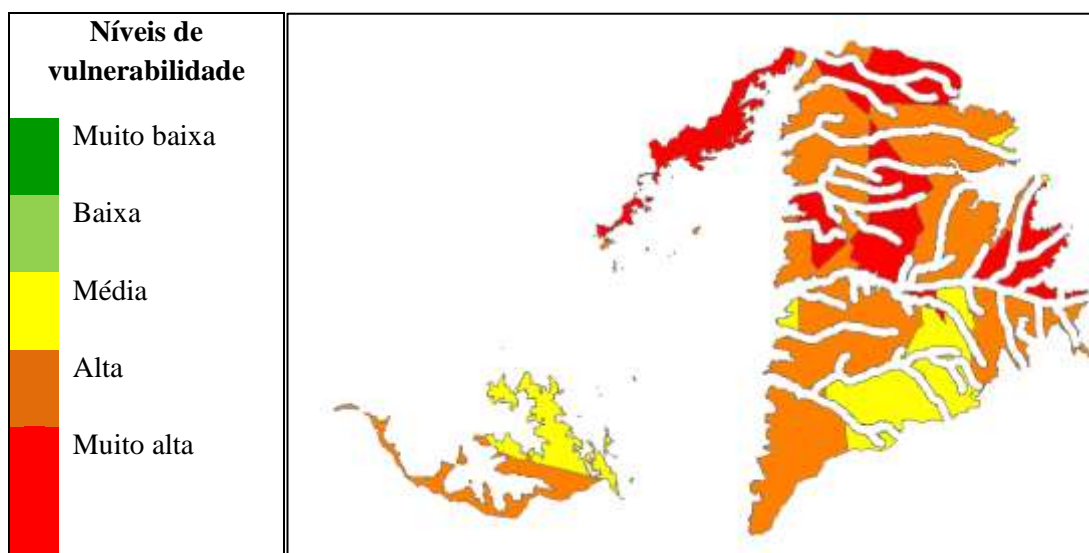
O nível de vulnerabilidade desse sistema foi muito satisfatório, especialmente em termos ambientais, uma vez que, nessa área está presente a nascente do rio São Nicolau e que, portanto, interferência antrópica de cunho negativo, como por exemplo, o desmatamento, poderia trazer consequências desastrosas para a manutenção do rio São Nicolau, que embora o seu alto curso se caracterize com regime fluvial de intermitência, mostra que tem elevado poder de resiliência ao estabelecer sua vazão no período chuvoso alimentando os ecossistemas da região. E, qualquer alteração poderia provocar desequilíbrio ambiental comprometendo sua qualidade.

No sistema ambiental Reverso Médio, por sua vez, foram identificados diferentes graus de vulnerabilidade ambiental, que variaram nos níveis Médio, Alto e Muito Alto. É nesse sistema, onde são encontradas grandes áreas com predomínio da agricultura e pecuária, bem como extensas áreas com média e baixa capacidade de suporte. Também apresenta relevo acentuado e clima seco o que contribuiu para revelar os maiores níveis de vulnerabilidade nesse

sistema. Associada a isso, é também um dos sistemas ambientais que apresenta densidade demográfica maior comparando-o aos demais sistemas da bacia.

Predomina o nível de vulnerabilidade alta em grande parte do sistema Reverso Médio, cerca de 49,2% da área total do sistema. Esse dado pode estar relacionado à ausência de vegetação ocasionada pela expansão agrícola e também pela urbanização. Assim também está relacionada ao tipo de solo que, embora predomine o latossolo amarelo, o neossolo litólico também está presente na bacia, e cujo fator limitante deve-se ao mau desenvolvimento físico e baixa fertilidade natural do mesmo (figura 4).

Figura 4 - Vulnerabilidade ambiental do sistema reverso médio



Fonte: Santiago (2019).

A que se considerar também que o grau de vulnerabilidade muito alto também ocupou grandes extensões de terras nesse sistema, cerca de 31%, seguido do grau de vulnerabilidade média abrangendo 18,82% de extensão territorial, e apenas 0,53% e 0,45% com vulnerabilidade baixa e muito baixa, respectivamente.

Outros fatores físicos também podem explicar os níveis preocupantes de vulnerabilidade desse sistema ambiental. As características geomorfológicas e a declividade são representadas por grandes altitudes e níveis de dissecação. Pode-se notar que a área em vermelho, referente ao grau de vulnerabilidade muito alto, está situada na região que abrange a borda da cratera de São Miguel do Tapuio, local onde estudos científicos indicam que sua formação se deu a partir da queda de um meteoro naquela região há milhões de anos. A borda da cratera completa um dos divisores de água da BHSN nesse sistema.

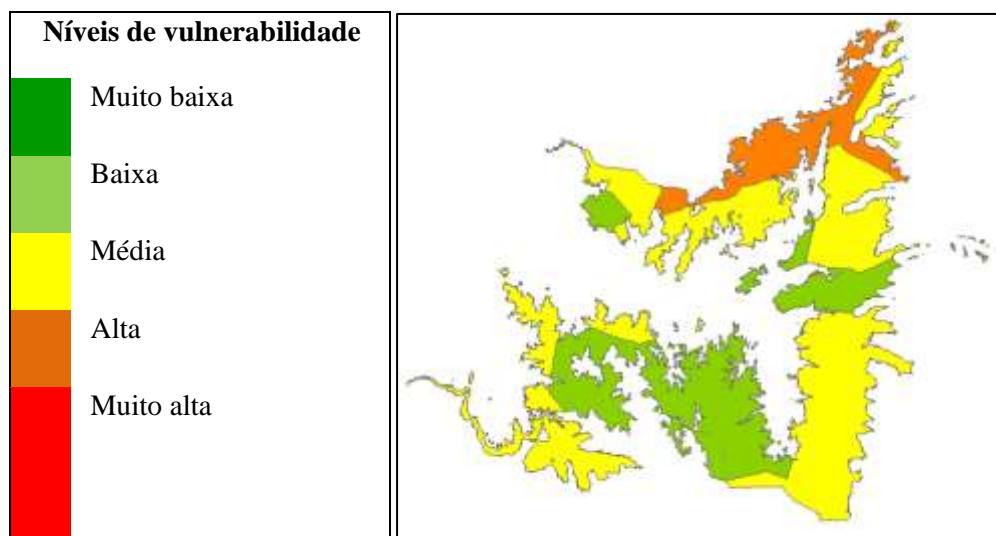
Já o sistema ambiental Reverso Inferior apresentou todos os níveis de vulnerabilidade.

Com 0,21% do território com grau muito alto de vulnerabilidade, o sistema aparece com predominância da vulnerabilidade média a qual abrange mais da metade da área do sistema, 54,39%. Este também é ocupado por 32,61% do seu terreno pelo grau de vulnerabilidade baixa, além de possuir 0,16% de vulnerabilidade muito baixa.

Esse sistema representa ainda ambiente com elevada estabilidade, resultado das características físicas da paisagem como, solo do tipo latossolo, poucas áreas com declividade acentuada, presença maior de vegetação natural, sendo esta mais densa, indicando uma área de transição em que o domínio do cerrado começa a se apresentar mais intensamente. Resulta também de fatores socioeconômicos favoráveis aos que habitam grande parte desse sistema, em especial.

Entretanto, é preciso atenção quanto às atividades desenvolvidas nesta região, devendo então priorizar a inserção de bases conservacionistas, tendo em vista que a região detém grande parte das nascentes de riachos contribuintes do rio principal, além da presença dos poços que são de grande importância para a atividade agrícola e para o abastecimento hídrico das comunidades que lá residem. Portanto, muitos fatores de relevante interesse na manutenção da qualidade ambiental desse sistema (Figura 5).

Figura 5- Vulnerabilidade ambiental do sistema reverso inferior



Fonte: Santiago (2019).

Esta área, em específico, ainda faz parte do trecho que compreende a borda da cratera de São Miguel tendo obtido níveis baixos de sustentabilidade, embora tenha apresentado a contraponto, níveis baixos de desmatamento.

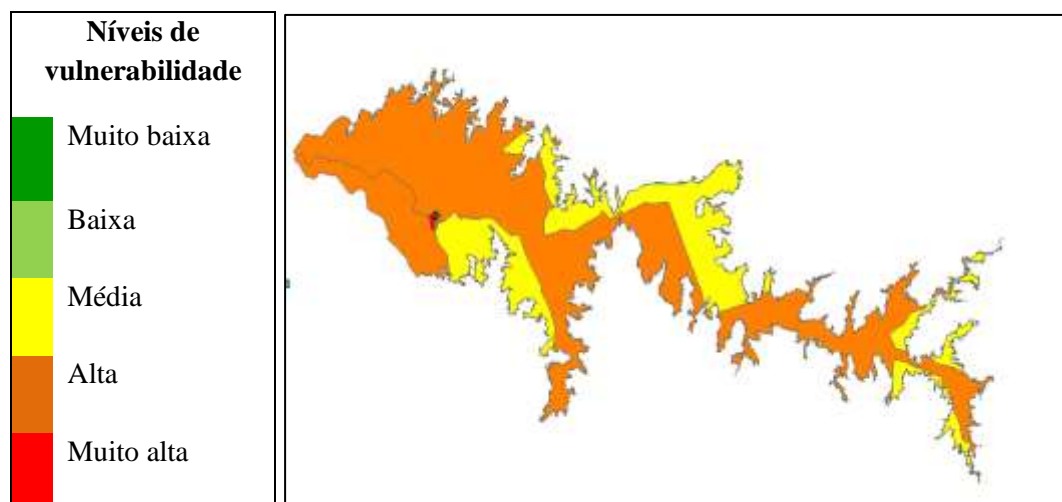


O sistema ambiental Planície Fluvial apresentou um quadro preocupante em relação aos níveis de vulnerabilidade ambiental. Com 71,1% de sua área com nível de vulnerabilidade alta, essa região mostrou a necessidade da manutenção na qualidade do ambiente dada a sua importante contribuição hídrica para a bacia, visto que é a partir desse sistema que o rio São Nicolau passa a se apresentar com regime de perenidade.

O rio São Nicolau recebe maior número de tributários e também o clima apresenta-se diferenciado em relação às outras áreas da bacia. Isso porque os níveis pluviométricos são mais elevados refletindo uma vegetação de grande porte, representativa do domínio cerrado. Águas superficiais são mais propensas a sofrer com a degradação e poluição, conseqüentemente, diminuição da qualidade da mesma.

O sistema também apresentou 0,13% de área com vulnerabilidade muito alta, estando essa área situada no que compreende a cidade de Santa Cruz dos Milagres. O grau de vulnerabilidade média também foi considerável, cuja extensão territorial foi cerca de 27%. Em contrapartida, o percentual de vulnerabilidade baixa foi de apenas 1,77%, não havendo áreas que apresentasse grau de vulnerabilidade muito baixa, ou seja, sem riscos aparentes na planície fluvial (figura 6).

Figura 6- Vulnerabilidade ambiental do sistema planície fluvial



Fonte: Santiago (2019).

Esse é o sistema mais instável de toda a bacia, haja vista que a planície fluvial sofre constantemente com a dinamicidade do rio. Com essas características naturais predominantes, a atenção sobre as atividades desenvolvidas nessa região deve ser maior. Pois, se observam processos erosivos constantes, sobretudo nas áreas desprovidas de cobertura vegetal tendo em

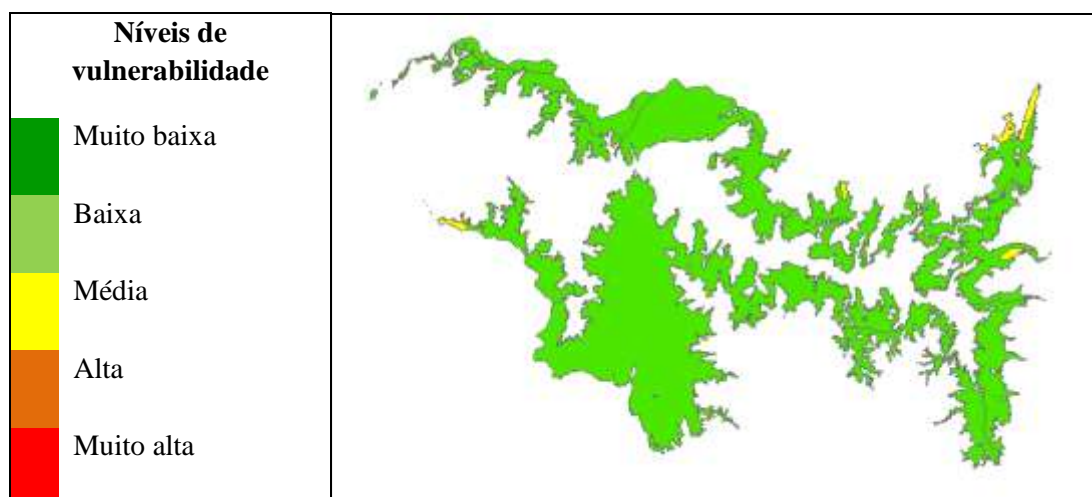
vista o abandono após exploração agrícola.

A presença de áreas com elevada instabilidade representa riscos não só ao meio ambiente, mas, também a população pertencente à área. Isso porque a planície fluvial detém uma dinâmica muito grande, podendo sofrer danos quando da inserção de atividades ou ocupações em áreas inadequadas que naturalmente não possuem capacidade de suporte para tais fins. A apropriação do espaço geralmente não respeita os limites do ambiente natural, e acabam por sofrer consequências posteriores como inundações, alagamentos, baixa qualidade da água, solo empobrecido, etc.

Nesse sistema a agropecuária também é predominante e, além dela, é muito evidente a atividade turística na cidade de Santa Cruz dos Milagres, o qual já vem contribuindo com alguns impactos negativos no ambiente físico. Foi nesse trecho onde o nível de vulnerabilidade muito alta foi identificado. A cidade de Santa Cruz dos Milagres, que detém o turismo religioso como principal impulsionador da economia local, possui em determinados períodos do ano um aumento significativo da população que, por sua vez, provoca uma pressão maior no ambiente.

Já o sistema ambiental Superfície Aplainada (figura 7), assim como o sistema ambiental Vales Fluviais apresentaram, em grande parte de suas extensões territoriais, níveis de vulnerabilidade baixa, isto é, remetendo elevada estabilidade. O primeiro deteve 94,59% de extensão territorial com vulnerabilidade baixa, seguida de 4,2% de áreas com grau de vulnerabilidade média e apenas 1, 21% do terreno com vulnerabilidade alta. São áreas com baixa densidade demográfica e onde o acesso se restringe a apenas algumas comunidades. As atividades desenvolvidas se limitam a produção agrícola de subsistência em grande parte desses sistemas.

Figura 7- Vulnerabilidade ambiental do sistema ambiental superfície aplainada

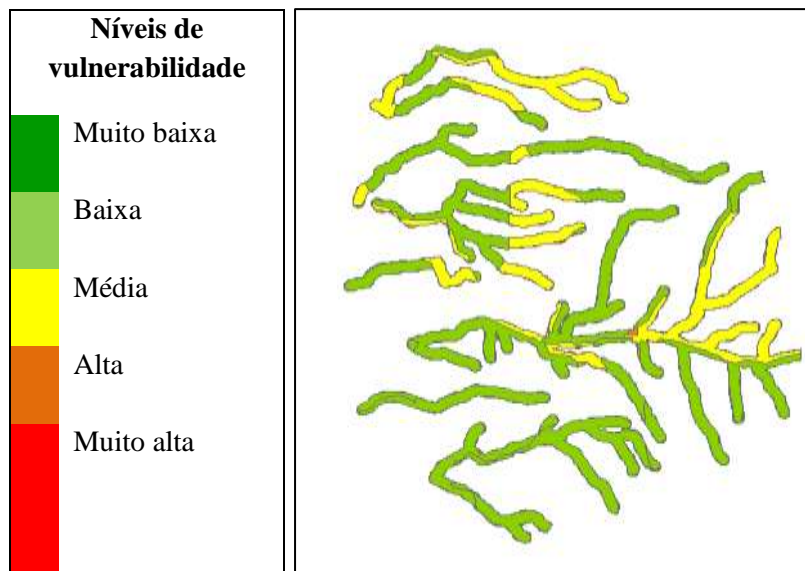


Fonte: Santiago (2019).

Os trechos com níveis de vulnerabilidade ambiental baixo e médio se destacam em termos de uso e ocupação da terra, no entanto, devem ser respeitados os limites naturais do ambiente não excluindo a adoção de práticas conservacionistas. Isso porque, no caso do sistema Vales Fluviais, o relevo passa a ser fator determinante visto que atividades como a agricultura, por exemplo, devem-se utilizar técnicas que possibilitem a adequação das plantações às peculiaridades do relevo desse sistema, que embora esteja em um nível satisfatório de vulnerabilidade, este detém naturalmente riscos maiores se for considerado somente os aspectos geomorfológicos e de declividade do mesmo. Porém, a conservação do local em termos de cobertura vegetal, bem como a baixa densidade demográfica minimizam os riscos.

Este sistema obteve 67,32% de extensão territorial com predomínio de vulnerabilidade baixa. Outros 29,03% correspondem ao grau de vulnerabilidade média (Figura 8).

Figura 8 - Vulnerabilidade ambiental do sistema ambiental Vales Fluviais.



Fonte: Santiago (2019).

É importante destacar que um pequeno trecho do sistema Vales Fluviais obteve níveis de vulnerabilidade muito alta e alta, cerca de 3,3% e 0,35%, respectivamente. Esse trecho refere-se à parte integrante da sede municipal de Assunção do Piauí em que os níveis de vulnerabilidade foram mais elevados refletindo em seu entorno e nas proximidades da cidade dada a elevada densidade demográfica dessa região, entre outros fatores.

De modo geral, é possível observar quanto à vulnerabilidade da bacia, que parte da área compõe-se de níveis de vulnerabilidade alta, sobretudo, a região que compreende o alto curso

da mesma e a planície fluvial, no baixo curso, totalizando uma área de 1.475,47 km<sup>2</sup> de extensão da bacia com nível de vulnerabilidade alta.

E, os fatores que mais contribuíram para esses níveis se reportam as características geomorfológicas e climáticas e as condições de uso e ocupação da terra. Sendo que, em geral, as regiões que integram áreas mais densamente habitadas apresentaram maiores níveis de vulnerabilidade em comparação às demais zonas da bacia.

Vislumbra-se ainda o grau de suscetibilidade de cada sistema ambiental e as situações de risco de impactos socioambientais em respostas às intervenções antrópicas cujo uso do espaço, muitas vezes, não se dá em consonância com as condições naturais da BHSN.

Entretanto, a BHSN ainda apresenta grande parte de sua área com níveis de vulnerabilidade toleráveis, uma vez que a maior extensão da bacia ocupa níveis de vulnerabilidade considerados baixo, cerca de 1.757,88 km<sup>2</sup>. E estes níveis estão situados, sobretudo em áreas cuja densidade demográfica ainda é menor, reportando certa conservação do espaço conforme indicaram os fatores ambientais analisados.

Contudo, é importante salientar que, embora não haja alta densidade demográfica, essas áreas detêm atividades agropecuárias atuantes e, portanto, precisam-se manter políticas de conservação do ambiente. Até porque no entorno dessas áreas existem aquelas cujo nível de vulnerabilidade apresentou-se mediano e este já ocupa 1402,91 km<sup>2</sup> da área da bacia. Apenas 271,05km<sup>2</sup> de terra mostraram grau de vulnerabilidade muito baixo.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A construção dos índices IEA e IASB por meio dos parâmetros físicoambientais e socioeconômicos manifestaram os níveis de vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio São Nicolau-PI e possibilitou reverberar por todos os elementos que compõem sua paisagem.

Conclui-se que os níveis de vulnerabilidade da bacia variaram de Muito Baixo a Muito Alto, sendo que este último nível, embora sua extensão não tenha sido representativa na bacia em comparação aos demais níveis, ainda assim é preocupante, pois trouxe à luz uma ideia diferente da região, vista a priori como área bem conservada em toda sua extensão.

A BHSN possui metade de sua área total com nível vulnerabilidade considerado baixo, apesar deste nível está distribuído, sobretudo, em áreas cuja densidade demográfica ainda é menor, o que reporta certa conservação do espaço. Contudo, embora não remeta uma densidade demográfica muito alta, estas mesmas áreas detêm atividades agropecuárias atuantes e,

portanto, precisam nutrir políticas de conservação do ambiente.

Apenas um pequeno trecho da bacia mostrou grau de vulnerabilidade Muito Baixo, estando essa totalmente inserida na APA da serra da Ibiapaba, região protegida por lei ambiental que prima pela conservação e preservação dos recursos naturais.

Todavia, a exploração descontrolada dos recursos disponíveis, sem práticas de conservação poderão acelerar o surgimento de impactos negativos maiores do que aqueles já observados na região, por enquanto em locais isolados.

A depreciação das atividades predominantes, como a agropecuária e extrativismo vegetal, não seria a solução. O investimento em infraestrutura viária, o planejamento e gestão atuantes na área, em prol de uma exploração dos recursos tendo como base a realidade da unidade em termos geoambientais, socioeconômicos, bem como, considerando os níveis e a vulnerabilidade ambiental da bacia, certamente conseguirão construir um modelo de desenvolvimento pautado no uso sustentável dos recursos.

Embora a análise da vulnerabilidade ambiental da bacia tenha mostrado que essa área não aparenta sofrer danos irreversíveis na natureza e no meio social, espera-se que os dados obtidos na pesquisa possam contribuir para trazer a região do semiárido piauiense uma situação futura que reflita o crescimento positivo, em termos de qualidade ambiental, desenvolvimento econômico e social. Mas, para isso, adotar práticas sustentáveis será crucial. Tendo em vista que, o sistema econômico, muitas vezes prioriza apenas o lucro imediato, deixando de lado as consequências que isso pode trazer aos envolvidos, refletindo situações de vulnerabilidade, muitas vezes.

Para tanto, áreas naturais recuperadas, reflorestadas, atividade econômicas com bases conservacionistas, inserção de atividades que visem à educação ambiental da população, aumento de áreas protegidas por leis, de modo a garantir a fauna e flora, são ações possíveis de serem planejadas e executadas e que ajudariam a diminuir os níveis de vulnerabilidade, seja do ambiente, seja da sociedade.

Tornar o ambiente cada vez mais degradado, posteriormente cria espaços sem perspectivas de desenvolvimento social e econômico, pois, infelizmente o que predomina em toda a sociedade é a cultura do remediar ao invés de buscar prevenir. A análise da vulnerabilidade ambiental da BHSN vem, nesse sentido, fornecer subsídios para a elaboração de um adequado planejamento voltado para o desenvolvimento sustentável dessa região do semiárido piauiense.

## REFERÊNCIAS

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, [s.l.], n. 13, p. 1-27, 1971.

BRASIL. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – CODEVASF/PLANAP: síntese executiva. **Território Vale do Sambito**. Brasília, DF: CODEVASF; PLANAP, 2006.

CARVALHO, R. G. de. **Análise de sistemas ambientais aplicada ao planejamento**: estudo em macro e mesoescala na região da bacia hidrográfica do rio Apodi - Mossoró, RN/Brasil. 2011. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H. **Modelagem em Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H. Sistemas Dinâmicos: as abordagens da teoria do caos e da geometria fractal em Geografia. *In*: VITTI, A. C.; GUERRA, J. T. (org.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

COSTA, T. C. e C. da *et al.* Vulnerabilidade ambiental em sub-bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro por meio de integração temática da perda de solo (USLE), variáveis morfométricas e o uso/cobertura da terra. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis, 2007. **Anais [...]**. Florianópolis: INPE, 2007. p. 2493-2500.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: SAE; INPE, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo Demográfico 2010 – Contagem da População. **IBGE**, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em: 02 abr. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Síntese de indicadores sociais**: Uma análise das condições de vida da população brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite**. Acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA: monitoramento do bioma caatinga 2008-2009. Brasília, DF: IBAMA; MMA, 2011.

PEREIRA JÚNIOR, J. de S. **Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro**. Brasília, DF: Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados; Consultoria legislativa, 2007.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – BRASIL - PNUD BRASIL; INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA; FUNDAÇÃO

JOÃO PINHEIRO - FJP. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil – 2013**. Belo Horizonte: PNUD Brasil; IPEA; FJP, 2014

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da. A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. **Mercator**, Fortaleza, ano 1, n. 1, 2002.

SANTIAGO, C. M. C. **Análise da Vulnerabilidade dos Sistemas Ambientais da Bacia Hidrográfica do Rio São Nicolau – Semiárido Piauiense**. 2019. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

SILVA, C. de M. de S. *et al.* (org.). **Semiárido Piauiense: Educação e Contexto INSA**. Campina Grande: Triunfal Gráfica e Editora, 2010.

SOTCHAVA, V. B. **O Estudo de Geossistemas**. São Paulo: USP; Instituto de Geografia, 1977 (Métodos em Questão; v. 16).

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE – SUDENE. **Delimitação do Semiárido – 2021: Relatório Final (versão preliminar)**. Recife: SUDENE, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/br/centrais-de-conteudo/02semiariadorelatorionv.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2023.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE; Diretoria Técnica; SUPRENN, 1977.

WISNER, B. *et al.* **At risk: natural people's vulnerability and disasters**. Londres: Routledge, 2004.