

Analysis of environmental fragility in areas surrounding artificial reservoirs: contributions to environmental legislation

Jadson Freire da Silva*, Yenê Medeiros Paz**, Pedro Paulo Lima Silva***, Elisabeth Regina Alves Cavalcanti Silva****, Ana Lúcia Bezerra Candeias*****

*Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPE), Instituto Federal do Maranhão, Brasil, jadsonfreiresilva@gmail.com

**Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPE), *Algonquin College*, Canadá, yenemedeiros@hotmail.com,

***Bacharel em Geografia (UFPE), Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, pedropaulo.geografia@gmail.com

****Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPE), Docente do Instituto Federal do Maranhão, Brasil, elisabeth.silva@ifma.edu.br

*****Doutora em Computação Aplicada (INPE), Docente da Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

Received 26 January 2024; accepted 05 February 2023

Abstract

The aim of the article is to analyze the different responses to environmental fragility in the areas surrounding reservoirs, thus contributing to the reflection of new legislation on the subject. The theoretical framework of Hierarchical Process Analysis (HPA) is considered for application in research; it consists of proposing a decision of multiple layer structures where various situations and scenarios are observed and executed. The information shows that the "Medium" (44.4%) and "Intermediate Low" (42.5%) classes are predominant; however, portions with a class intermediate to medium and high (12.7%) are expressive. Within the experimental area, the information follows the same percentages as the municipality, with percentages varying from low intermediate to medium and medium intermediate. This shows that even though the area does not have environments with high fragility, they tend to be vulnerable due to poor management or misuse of the land. The new discussions on sustainability (and sustainable development) and the concern for the future also raise the need to review environmental legislation, since being in a continuous and dynamic environment, it must be updated, considering new needs and commitments made afterwards.

Keywords: legislation, geoprocessing, remote sensing.

Análise da fragilidade ambiental nas áreas de entorno de reservatórios artificiais: contribuições para a legislação ambiental

Resumo

O objetivo do artigo é analisar as diferentes respostas sobre as fragilidades ambientais nas áreas de entorno dos reservatórios, contribuindo dessa forma para a reflexão de novas legislações sobre o tema. O esquema teórico da Análise Hierárquica de Processos (AHP) é considerado para aplicação em pesquisa; consistindo em propor uma decisão das estruturas de múltiplas camadas onde diversas situações e cenários são observados e executados. Diante as informações, nota-se a existência das classes "Médio" (44,4%) e "Intermédio Baixo" (42,5%) como predominantes; todavia, porções com uma classe intermediária ao médio e ao alto (12,7%) se mostram com expressividade. Dentro da área experimental, as informações acompanham os mesmos percentuais do município, estando com percentuais variando do intermediário baixo para médio e intermediário médio. Isso demonstra que a área mesmo não tendo ambientes com fragilidades altas, tendem a estar em vulnerabilidade mediante má gestão ou o mal uso do território. Diante disso, nota-se que as novas discussões sobre a sustentabilidade (e desenvolvimento sustentável) e a preocupação com o futuro levanta também a necessidade de rever as legislações ambientais, uma vez que estando em um ambiente contínuo e dinâmico, essas devem ser atualizadas, abarcando novas necessidades e compromissos firmados a posteriori.

Palavras-chave: legislação, geoprocessamento, sensoriamento remoto

1. Introdução

Dado o vasto território e suas dinâmicas regionais, o Brasil depende de um grande e capilar planejamento hídrico para amparar as demandas econômicas e sociais. Sendo assim, os reservatórios de

água vêm sendo utilizado amplamente para promoção do abastecimento hídrico como um todo, visando a perenidade do serviço (Rego Filho et al., 2015). Contudo, a atual existência de conflitos no múltiplos usos dos reservatórios, o desmatamento das regiões

ciliares, os problemas existentes no abastecimento e a crise hídrica fazem emergir a necessidade de proteção desses locais (Galvão; Bermann, 2015; Marengo; Alves, 2015).

Desta forma, adentra na discussão o Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno dos Reservatórios Artificiais PACUERA. Proposto pelas resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA Nº 302/2002 e Nº 303/02, o PACUERA tem como objetivo a elaboração de proposições para disciplinar a conservação, recuperação, uso e ocupação do reservatório e seu entorno, sendo procedimento fundamental para licenciamento de usinas hidrelétricas na sua respectiva licença de operação. O plano vem levando em consideração aspectos sociais e desenvolvimentistas, resultando em informações que elenquem os usos múltiplos da água, capacidades de mitigação, compensação e eliminação das interferências do empreendimento instalado sobre o meio ambiente, indicando assim, soluções ecossistêmicas.

Diante a importância desse documento para o planejamento hídrico, é de total relevância a apresentação de técnicas que atualizem, universalize e proporcione para as diferentes escalas governamentais e privadas, a capacidade plena de observação, análise e verificação desses ambientes lacustres nas esferas documentais, técnicas e in situ. A utilização de metodologias tradicionais em conjunto as modernas entregam a ciência credibilidade para o acompanhamento em setores que transcendem somente o meio ambiente, mas as suas relações com a economia, política, população e educação.

Em conjunto com as geotecnologias, observa-se essas informações aplicadas através de metodologias arrojadas na administração-gestão (Liu & Zhang, 2011; Abdolmaleki et al. 2017) e engenharias (Dorado et al., 2012; Promentilla et al., 2018; Akkaya et al., 2015). No meio ambiente e hidrologia as pesquisas de Swain et al. (2020) mapeando as áreas de inundação, Meraj et al. (2019) com um modelo hidrológico, Akter & Ahmed (2015) verificando as áreas potenciais a captação de chuva em ambientes de déficit hídrico são exemplos de como a metodologia consegue se modificar para atingir os resultados que as competem. As pesquisas são itens basilares para grandes discussões existentes sobre o tema no mundo, tal como a conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20), a conferência das Nações Unidas (ONU) sobre o Meio Ambiente Humano (CONCLIMA) e a ONU - A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) onde são através dessas grandes discussões e da ciência é que instituições se voltam para a defesa do meio ambiente.

Frente à relevância da legislação ambiental no âmbito hidrológico, a credibilidade dos métodos científicos e a necessidade de se obter novos produtos de ambientes de interesse, o objetivo desse artigo é analisar as diferentes respostas sobre as fragilidades ambientais nas áreas de entorno dos reservatórios, contribuindo dessa forma para a reflexão de novas legislações sobre o tema.

2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo experimental está inclusa na região de Serra Talhada, localizado na microrregião do Pajeú pernambucano. A região é inserida na Depressão Sertaneja, uma relevante unidade geoambiental nordestina, com predominância das inserções de relevo suave-ondulado (Figura 1).

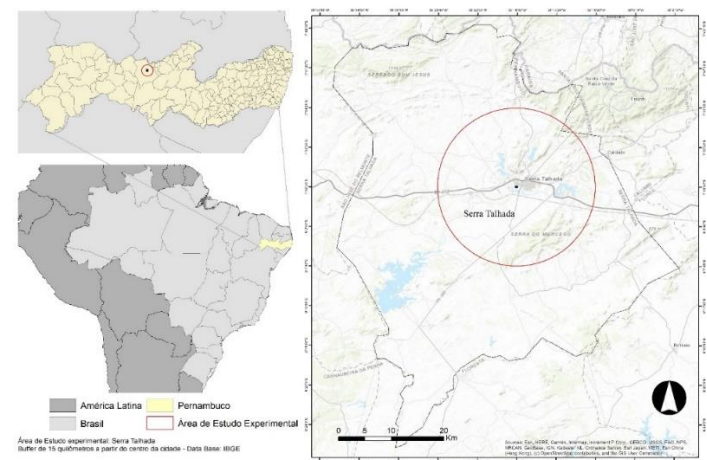


Figura 1 – Município de Serra Talhada/Pernambuco

A Figura 2 demonstra uma área experimental partindo do centro da cidade de Serra Talhada em um raio de 15 quilômetros (706,08 quilômetros quadrados); através dessa distância estabelecida foi possível abarcar os 3 reservatórios da região (córrego Luanda, o Açude Borborema e Açude do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA). O córrego Luanda e o açude Borborema têm múltiplos usos, sendo o principal o abastecimento humano. O açude do PA mantém usos voltados à pesquisa, a pesca, o cultivo e o beneficiamento.

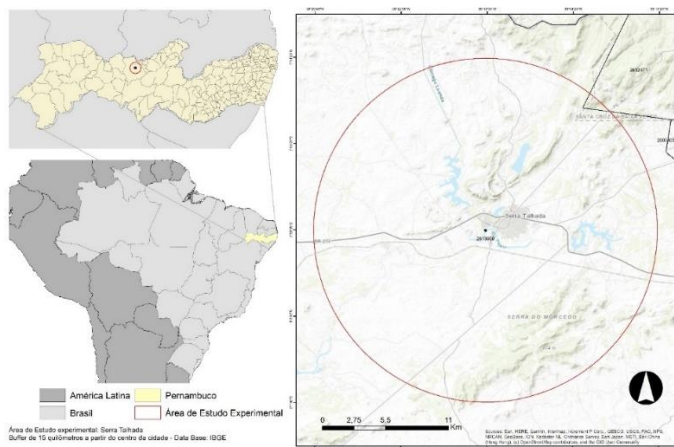


Figura 2 – Área de Estudo Experimental de Serra Talhada.

A área em questão mantém solos rasos e drenados, com os Luvisolos estando em maior domínio e vegetação composta pela Caatinga Hiperxerófila junto a situações de floresta caducifolia. As características climatológicas compreendem a temperatura média anual de 25,7° Celsius, precipitação anual de 696 mm e está definida pela classificação de Köppen no clima Tropical Semiárido (CPRM, 2005).

2.2 Procedimentos metodológicos

2.2.1 Informações obtidas – base de dados

Para execução e alcance dos produtos, coletou-se as informações obtidas para desenvolvimento da pesquisa tiveram base em diversos planos de dados em diferentes sites especializados. A Tabela 1 apresenta essas informações junto as suas grandes classes, variáveis extraídas, ambiente de coleta e generalizações relevantes.

Tabela 1 – Classes, variáveis, base de dados e informações obtidas

Classe	Variáveis	Dataset	Informações adicionais
Climática	Temperatura	APAC / ANA / INMET	Série Histórica 1961-2016
	Precipitação		Série Histórica 1980-2016
Geomorfológico	Altimetria	USGS	Série Histórica 1980-2016
	Declividade*		30 metros de resolução
Solos	Características dos Solos	EMBRAPA/INPE	Nomenclatura derivada do Sistema Brasileiro de Classificação dos solos (5ª Edição) 2018
Antrópico/Natural	Uso do solo e Cobertura da terra	MAPBIOMAS	Ano referência (2019)

Socioeconômicos	Renda Per Capita	DATASUS / IBGE	Informações do Censo (2010)
-----------------	------------------	----------------	-----------------------------

*Variável extraída a partir de variável (eis) da mesma classe pertencente.

De acordo Tabela 1, a classe climática é representada pelos atributos/variáveis de temperatura, precipitação, evapotranspiração e índice de aridez, para qual, a evapotranspiração e o índice de aridez derivaram de cálculos sobre os pontos de temperatura e precipitação. A coleta dos dados climáticos teve como base a Agência Nacional de Águas - ANA (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>), Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (<https://portal.inmet.gov.br/servicos/bdmep-dados-hist%C3%B3ricos>) e a Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC (<http://www.sirh.srh.pe.gov.br/apac/meteorologia/>) e suas séries históricas. A variável geomorfológica teve sua coleta através do Serviço Geológico Norte Americano – USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) via projeto SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* (Arc 1 – 30 metros) sendo apresentada através dos atributos de altimetria e declividade, este último derivando da altimetria.

As características do solo foram coletadas no AMBIDATA-INPE (Grupo de Modelagem para Estudos da Biodiversidade) (http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php) sendo classificada enquanto nomenclatura através do Sistema Brasileiro de Classificação dos solos (EMBRAPA, 2018). As informações socioeconômicas sobre renda per capita foram extraídas do Ministério da Saúde do Brasil – DATASUS (<https://datasus.saude.gov.br/trabalho-e-renda-censos-1991-2000-e-2010>) este derivando do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (<https://www.ibge.gov.br/>).

Utilizou-se do MAPBiomas (<https://mapbiomas.org/>) acoplado ao *Google Earth Engine* para download dos atributos de Uso do solo e Cobertura da terra de Pernambuco (ano referência 2019). O projeto MAPBiomas foi concebido pelo Observatório do Clima em conjunto com universidades brasileiras e internacionais, tendo os dados revisados e com metodologia definida e publicada (MAPBIOMAS, 2021). As classes foram condensadas segundo a Tabela 2.

Tabela 2 – Reclassificação dos Usos a partir das informações do MAPBiomas

Informações	Código
Vazios e <i>no-data</i>	0
Floresta (Formação Florestal, Mangue, Floresta Plantada) e Formações Naturais (Apicum, áreas alagadas, afloramentos)	1
Formação Savânica - Caatinga	2
Atividades Agropecuárias generalizadas (Agricultura e/ou Pecuária)	3
Área não vegetada (expostas) e Infraestrutura Urbana	4
Ambientes Hídricos - Água	5

Observa-se na Tabela 2 as informações classificadas enquanto Uso de solo e Cobertura da terra, onde foi datado em grupos os ambientes sem dados definidos (*no-data* e vazios (*voids*)), Floresta e Formações Naturais, bioma Caatinga – Formação Savânica, atividades agropecuárias generalizadas, ambientes hídricos, área não vegetada e infraestrutura urbana. O ano referência 2019 foi escolhido devido este ser o mais atual no plano de informações até o momento.

2.2.2 Considerações sobre a Análise Hierárquica de Processos (AHP)

O esquema teórico da Análise Hierárquica de Processos (AHP) foi desenvolvido por Saaty (1987) e auxilia a tomada de decisão das estruturas de múltiplas camadas onde diversas situações e cenários são observados e considerados. Shin *et al.* (2020) apresentam a AHP como um método requisitado quando existe um entendimento misto sobre uma situação, sendo base de diferentes pesquisas e em temas diversos nas grandes áreas científicas.

A AHP inicia-se via reflexão comparativa através de expressões linguísticas que ao mesmo tempo representa uma escala numérica, o que facilita pensamentos complexos e os integra dentro de uma lógica matemática pré-determinada. Özkan *et al.* (2020) comentam que a partir dessa discussão, onde leva-se em consideração opiniões externas como por exemplo a literatura existente e órgãos institucionais importantes, montam-se uma estrutura capaz de entregar um produto de relevância frente as apresentações. Denomina-se esse processo inicial de escalas nominais e numéricas de Comparação em Pares – Comparação de Critérios em Pares com base em termos preditores (Saaty, 1987, Saaty, 2008, Song & Lee, 2013) (Tabela 3).

Tabela 3 - Escala nominal e numérica para a comparação de critérios em pares (Saaty, 2008).

Escala Numérica	Significado nominal de cada Escala Numérica
-----------------	---

9	O critério <i>i</i> é extremamente mais importante do que o critério <i>j</i>
7	O critério <i>i</i> é fortemente mais importante do que o critério <i>j</i>
5	O critério <i>i</i> é mais importante que o critério <i>j</i>
3	O critério <i>i</i> é um pouco mais importante que o critério <i>j</i>
1	O critério <i>i</i> é igualmente importante como o critério <i>j</i>
1/3	O critério <i>i</i> é ligeiramente menos importante que o critério <i>j</i>
1/5	O critério <i>i</i> é menos importante que o critério <i>j</i>
1/7	O critério <i>i</i> é fortemente menos importante que o critério <i>j</i>
1/9	O critério <i>i</i> é extremamente menos importante que o critério <i>j</i>
2 ~ 1/2, 4 ~ 1/4, 6 ~ 1/6, 8 ~ 1/8	Critérios medianos de comparações baseados nos julgamentos acima

Observa-se na Tabela 3 que as escalas numéricas variam de 1 a 9 com intervalos de dois pontos. A Escala Numérica 9 revela que o critério *x* (*i*) é extremamente importante que o critério *y* (*j*); o 5 apresenta que o *x* (*i*) é mais importante e o *y* (*j*) e o 1 mostra-se equivalência entre o *x* (*i*) e *y* (*j*). Os valores inversos demonstram critérios de menores importâncias. Os critérios medianos de importância e de não importância manifesta-se através dos valores em pares.

A construção e o desenvolvimento matemático da matriz de relevância representam-se pela Equação 5. Para sintetização dos pensamentos em grupos organizados pela matriz, utilizou-se da média geométrica (Equação 1 e 2).

$$A = \begin{pmatrix} 1 & C_{12} & C_{1i} & C_{1j} & C_{1n} \\ C_{21} & 1 & C_{2i} & C_{2j} & C_{2n} \\ C_{i1} & C_{i2} & 1 & C_{ij} & C_{in} \\ C_{j1} & C_{j2} & C_{ji} & 1 & C_{jn} \\ C_{n1} & C_{n2} & C_{ni} & C_{nj} & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & C_{12} & C_{1i} & C_{1j} & C_{1n} \\ 1/C_{12} & 1 & C_{2i} & C_{2j} & C_{2n} \\ 1/C_{1i} & 1/C_{2i} & 1 & C_{ij} & C_{in} \\ 1/C_{1j} & 1/C_{2j} & 1/C_{ij} & 1 & C_{jn} \\ 1/C_{1n} & 1/C_{2n} & 1/C_{in} & 1/C_{jn} & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$C_{ij} = \left(\prod_{k=1}^m a_{ijk} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (2)$$

Onde:

C_{ij} : é o nível importante do critério *i* quando comparada ao critério *j*
 a_{ijk} : é o nível importante do critério *i* quando comparada ao critério *j* de acordo com *k*-ésimo especialista k^{th}
m é referente ao número de especialistas envolvidos

Levando em consideração a pesquisa de Lee *et al.* (2012), normaliza-se a matriz (B) (Equação 3 e 4) a partir da matriz base (A). O cálculo da normalização é representado pela Equação 8.

$$B = \begin{pmatrix} \bar{c}_{11} & \bar{c}_{12} & \bar{c}_{1i} & \bar{c}_{1j} & \bar{c}_{1n} \\ \bar{c}_{21} & \bar{c}_{22} & \bar{c}_{2i} & \bar{c}_{2j} & \bar{c}_{2n} \\ \bar{c}_{i1} & \bar{c}_{i2} & \bar{c}_{ii} & \bar{c}_{ij} & \bar{c}_{in} \\ \bar{c}_{j1} & \bar{c}_{j2} & \bar{c}_{ji} & \bar{c}_{jj} & \bar{c}_{jn} \\ \bar{c}_{n1} & \bar{c}_{n2} & \bar{c}_{ni} & \bar{c}_{nj} & \bar{c}_{nn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\bar{c}_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^n C_{ij}} \quad (4)$$

Onde:

$\bar{c}_{ij}$ são os valores normalizados de C_{ij}

$\sum_{i=1}^n C_{ij}$ é a soma de C_{ij} pela coluna j da matriz base A

n são os números de critérios comparados

A partir do resultado da matriz B, é possível desenvolver junto a Equação 5 os pesos de critérios (Equação 6). Os pesos de critérios fornecerão subsídios para cálculos posteriores sob condições de classificações.

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{c}_{ij}}{n} \quad (5)$$

$$W = \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_i \\ w_j \\ w_n \end{pmatrix} \quad (6)$$

Onde:

w_i são os pesos dos critérios i

$\sum_{i=1}^n \bar{c}_{ij}$ É a soma de C_{ij} pela linha j da matriz B

W são os resultados dos pesos de critérios

Ao apresentar a base metodológica derivativa do AHP, os julgamentos firmados em teoria e apresentados de forma matricial devem ser validados enquanto sua consistência. Para tal, o computo da consistência da matriz AHP podem ser calculados mediante os escritos de Saaty (1987) e Mu and Perevra-Rojas (2017). A equação da Razão de Consistência (Equação 7) permite que haja a validação das respostas, respeitando princípios de compatibilidade e racionalidade comparativa.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

Onde:

CR é a Razão de Consistência

RI é um índice randômico tabulado para o AHP e desenvolvido por Saaty (1987) para composição da equação da Razão de Consistência baseado no número de critérios matriciais.

CI é o Índice de Consistência (Equação 8) que para ser obtido deve se extrair as informações através da Equação 9:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (8)$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum \frac{\sum_{j=1}^n w_i * C_{ij}}{w_i}}{n} \quad (9)$$

Onde:

CI é o Índice de Consistência

λ_{max} é o autovalor máximo correspondente

n corresponde ao número base da construção matricial.

w_i são os pesos dos critérios i

C_{ij} é o nível (valores) importante do critério i quando comparada ao critério j

Saaty (1987) aponta que o limite de 10% é o mais aceitável, representando que uma matriz de julgamento de com CR de 0,1 poderá ser utilizada para análises posteriores. Se porventura o CR foi acima de 10% (ou 0,1), recomenda-se que o analista-pesquisador retome a etapa de busca informações sobre o tema e as decisões para a situação de interesse devido a inconsistência da mesma. A Tabela 5 simplifica os limites dos Índices de Consistência de acordo com a estrutura matricial.

Tabela 5 – Valores máximos de Índices de Consistências de acordo com a estrutura da Matriz

N	3	4	5+
CR max	5%	8%	10%

Saaty (1987)

Percebe-se mediante a observação da Tabela 6 a apresentação de graus diferenciados de aceitação do CR mediante a quantidade inicial da estrutura da matriz, estando uma matriz de 3x3 com um ICmax de 5%, 4x4, 8% e igual ou superior a 5x5, 10%.

2.2.3 Seleção de critérios, pesos e estabelecimento da estrutura hierárquica e metodológica para a análise da fragilidade ambiental

As pesquisas concomitam e assemelham-se quando comentam acerca do conceito de Fragilidade Ambiental suas estruturas e reverberações. Observa-se a Fragilidade Ambiental emergindo quando se tem a pretensão de usar o ambiente de interesse para planejamento territorial – planejamento integrado (Crepani *et al.*, 2001; Bojórquez-Tapia *et al.*, 2013; Martín-Duque *et al.*, 2012; Alves *et al.*, 2018) onde Ross

(1990) apresenta como alternativa o cruzamento de informações ambientais, uma vez que não é possível propor informações apenas com análises de dados estáticos. Alves (2016) junto a Ross (1994) discorrem sobre os fatores trazidos pelo método, nos quais a declividade, solos e clima entram no escopo físico e o uso do solo cobertura da terra no escopo antropogênico. Utilizou-se como um dos pontos antropogênicos além do uso da terra, o quantitativo de renda média mensal (Equação 10).

$$\bar{x} = \frac{\sum \frac{(x_1 * \%) \dots (x_{10} * \%)}{n}}{10} \quad (10)$$

Onde:

x_1 é o valor médio (em reais) recebido de um grupo populacional
% é o valor representativo (representação) do grupo em relação ao todo

n é o valor representativo máximo (%) obtido pelo somatório de x_{10}

Segundo o IBGE (2010) a renda média urbana da população economicamente ativa que trabalha em Serra Talhada compreende a 1.7 salários, correspondendo a 14,9% do contingente populacional da região. A população que sobrevive com um rendimento mensal de até 1/2 salário no município alcança 45,7%. A população aposentada aproxima-se de 8%. Levando em consideração que os aposentados recebem um salário-mínimo, as informações coletadas distribuídas em relação a população e os percentuais representativos, a renda média mensal obtida é de 745 reais.

Desmembrando os estudos de Ross (1994), Alves *et al.* (2018), Valle *et al.* (2016), nota-se que além da renda média mensal, atributos como relevo, solos, uso e ocupação e precipitação são utilizados. Para a classificação de solos mais susceptíveis a erosão, aplicou-se as considerações de Lima (2016). A Tabela 6 demonstra as Classes e atributos ambientais referentes a análise da Fragilidade Ambiental.

Tabela 6 – Classes e atributos ambientais referentes a análise fragilidade ambiental

Grau de Fragilidade Ambiental	Notas	Classes e atributos ambientais					
		Geomorfológico		Pedológico	Uso da terra	Climatológico	Econômico
		Declividade (°)	Relevo	Solos susceptíveis	Classes de Uso	Precipitação	Renda Média Mensal
Muito Baixa	1	Acima de 45	Montanhoso	Latossolos, Planossolos	Florestas Densas	Abaixo de 600 mm/ano	Acima de 1100 reais/mês
Baixa	3	20 a 45	Fortemente ondulado	Gleissolos, Vertissolos	Florestas e Formações Naturais	601 a 800 mm/ano	Até 1100 reais/mês
Média	5	8 a 20	Moderadamente ondulado a ondulado	Plintossolos, Organossolos, Luvisolos, Argissolos, Cambissolos, Nitossolos, Chernossolos, Espodossolos	Cerrado – Savana – Caatinga espaçadas	800 a 1000 mm/ano	Até 500 reais/mês
Alta	7	3 a 8	Suave ondulado		Área Urbana	1000 a 1300 mm/ano	Até 300 reais/mês
Muito Alta	9	< 3	Plano	Neossolos	Atividades Agrícolas	Acima de 1300 mm/ano	Abaixo de 100 reais/mês

A Tabela 7 apresenta a derivação de pesos referentes a análise da Fragilidade Ambiental. Nota-se que os critérios de julgamentos estão com uma Razão de Consistência dentro do recomendado por Saaty (1987). Consideram-se pontos já executados em outras pesquisas, tal como as de Donha *et al.* (2006).

Tabela 7 Derivação de pesos referentes a análise da Fragilidade Ambiental

AHP	Uso	Solos	Econômico	Precipitação	Declividade	Pesos
Uso	1,0	3,0	0,3	3,0	3,0	0,23

Solos	0,3	1,0	0,2	3,0	0,2	0,09
Econômico	3,0	5,0	1,0	7,0	3,0	0,45
Precipitação	0,3	0,3	0,1	1,0	0,3	0,05
Declividade	0,3	5,0	0,3	3,0	1,0	0,18
Infos	CR	0,08	λ_{max}	5,37	RI	1,12

Através da Tabela 7 é possível perceber quais critérios sobressaem-se para com outros, todavia, todos mantêm sua relevância na construção da Fragilidade Ambiental como um todo. A perspectiva econômica resumida na renda média mensal é o ponto com mais peso, visto que se observa que o fator econômico fará que a população utilize os meios ambientais para

obtenção de receitas para manutenção financeira e sua respectiva sobrevivência (Ross, 2006; Porto, 2007; Thoutet, 2007; Santos, 2015). Pesquisas já apontam que a população de baixa renda utiliza e ataca as florestas para produção e venda de carvão, bem como o uso de outras funções de baixa ou alta complexidade no mesmo ambiente provocando o aceleramento do desmatamento e solo no geral (Lopes; Canto, 2013; Chaves, 2016; Gioda, 2019; Travassos; Souza, 2014; Wilcox-Moore *et al.*, 2011).

O segundo atributo em relação ao peso relaciona-se ao uso do solo e cobertura da terra; uma vez que a utilização pré-estabelecida de regiões poderão dar grau elevado de fragilidade. A declividade reflete relevância visto que em ambientes de alto declive os solos e a precipitação em conjunto farão que o local tenha elementos frágeis enquanto sua estrutura (Crepani *et al.*, 2001; Donha *et al.*, 2006; Alves *et al.*, 2018).

2.2.4 Processamento de dados, Limitações e Observações.

Para a confecção dos mapas apontados nos tópicos acima, além da obtenção das classes e notas em conjunto aos pesos para cada atributo, utiliza-se a Equação 11 (*Weighted Overlay*) como base para composição do produto (ESRI, 2008).

$$Mapas = \frac{\sum(x_{1n} * p) \dots (x_{xn} * p)}{N} \quad (11)$$

Onde:

X_{1n} é a nota do atributo acerca do território

P é o peso generalizado do atributo

N é a quantidade de atributos calculados.

Para correção de falhas e *voids* no Modelo Digital de Elevação, utilizou-se da Equação 12, recomendada pela literatura para manipulação de *rasters* nessa situação (ESRI, 2021)

`Con(IsNull("raster"), FocalStatistics("raster", NbrRectangle(5,5, "CELL"), "M (12)`

Os *softwares* ArcGis, Qgis, SPRING, ERDAS e a plataforma Google Engine foram utilizados para uso de ferramentas de download em série, processamento, recorte, renderizações, buffer, interpolações e álgebra. Todos os dados adquiridos foram transformados para formato raster, uma vez que esse permite uma melhor facilidade em manipulação matricial dos planos de informações. Respeitando as Figuras 1 e 2, os recortes das imagens terão como grande área o município de Serra Talhada e como área experimental o buffer de 15

km de raio partindo da zona urbana do município supracitado.

Um dos pontos a se enfatizar no Brasil e no mundo é a disponibilidade de dados e informações sensíveis, isto é, documentos públicos que consigam dar ao pesquisador a capacidade de criar elementos capazes de formar tomadas de decisões mais eficazes e eficientes (Paula *et al.*, 2019).

Por mais que haja informações sobre os solos no Brasil, o mapeamento de suas camadas ou da capacidade de pedotransferência para largas escalas é ainda um grande desafio já discutido na pesquisa de Boschi *et al.* (2018) quando executaram um amplo estudo das funções de pedotransferência no Brasil. Outros problemas podem ser comentados acerca da resolução espacial e temporal das imagens de satélite para microanálises e disponibilidade de dados socioeconômicos para os bairros brasileiros. Diante dessas lacunas, utiliza-se as informações disponíveis e mais próximas a realidade em conjunto com os escritos de literatura existentes

3. Resultados e discussão

A seguir serão apresentados os resultados referentes as informações edafoclimáticas-socioeconômicos do município de Serra Talhada e a Área Experimental da pesquisa. Precipitação, Temperatura, Índice de Aridez, Uso do solo e Ocupação da Terra, Classificação dos solos, Declividade e Renda per capita entram neste escopo geral (Figuras 3 e 4) (Tabelas 8 e 9).

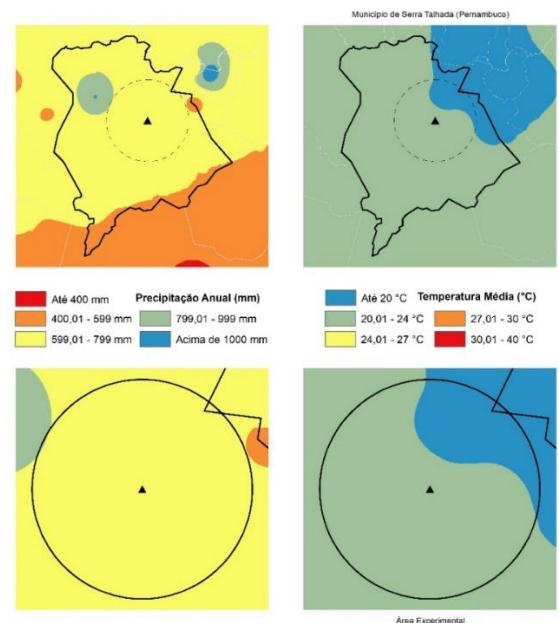


Figura 3 - Informações sobre Precipitação (mm) e Temperatura (°C)

Tabela 8 – Percentual e distribuição de precipitação anual para os ambientes pesquisados

Região	Serra Talhada	Área Experimental
Área (Km²)	2922,99	706,08
Até 400 (mm)	0 %	0 %
400,01 - 599 (mm)	7,1 %	0 %
599,01 - 799 (mm)	87,2 %	99,9 %
799,01 - 999 (mm)	5,6 %	0,1 %
Acima de 1000 (mm)	0,1 %	0 %

Tabela 9 – Percentual e distribuição da temperatura média anual para os ambientes pesquisados

Região	Serra Talhada	Área Experimental
Área (Km²)	2922,99	706,08
Até 20 (° Celsius)	10,9 %	20,9 %
20,01 - 24 (° Celsius)	89,1 %	79,1 %
24,01 - 27 (° Celsius)	0 %	0 %
27,01 - 30 (° Celsius)	0 %	0 %
Acima de 30 (° Celsius)	0 %	0 %

Observando a Figura 3 e as Tabelas 8 e 9 percebe-se que as características climatológicas locais têm algumas predominâncias. Para a precipitação, verifica-se que grande maioria do município se mantém no intervalo de 599 – 799 mm/ano (87,2%) seguidos do intervalo de 400-599 mm (7,1%) e 799-999 mm (5,6%), respectivamente. Semelhante às informações de precipitação, a temperatura no intervalo de 20 – 24 graus é predominante na região de Serra Talhada (89,1%) seguida temperaturas de até 20 graus (10,9%). As informações acerca do perímetro experimental acompanharam as grandes áreas, visto que sobre a precipitação, a predominância foi do intervalo de 599,01 – 799 (99,9%) enquanto na temperatura, mesmo havendo uma menor amplitude da predominância, o intervalo de 20,01 – 24 (79,01%) manteve-se em destaque sobre o de Até 20 graus (20,9%).

As informações sobre aspectos edafológicos são apresentadas através da Figura 4 e Tabelas 10, 11 e 12.

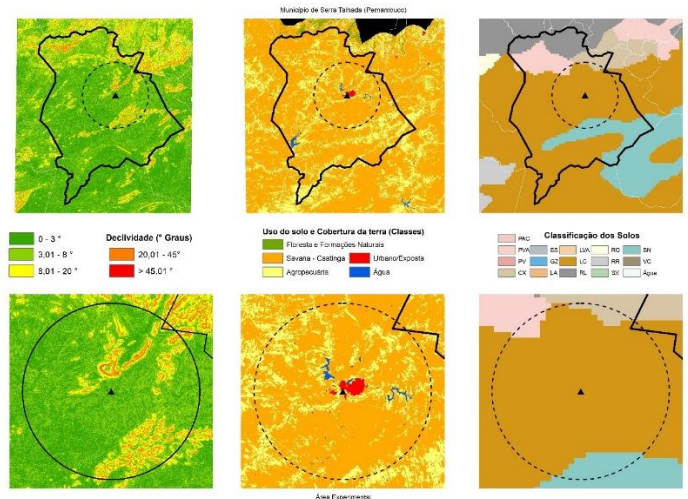


Figura 4 - Informações sobre Declividade (°), Uso do solo e Cobertura da terra e solos

Tabela 10 – Percentual e distribuição da declividade para os ambientes pesquisados

Região	Serra Talhada	Área Experimental
Área (Km²)	2922,99	706,08
Até 3° de declividade	45,2 %	43,4 %
3 a 8 ° de declividade	39,7 %	40,4 %
8 a 20 ° de declividade	11,6 %	11,9 %
20 a 45 ° de declividade	3,5 %	4,2 %
Acima de 45 ° de declividade	0 %	0,1 %

Tabela 11 – Percentual e distribuição dos Usos e Cobertura da terra para os ambientes pesquisados

Região	Serra Talhada	Área Experimental
Área (Km²)	2922,99	706,08
Floresta e Formações Naturais	0,1 %	0 %
Formação Savânica – Caatinga	75,1 %	78,3 %
Atividades Agropecuárias generalizadas	23,9 %	19,5 %
Área não vegetada e Infraestrutura Urbana	0,3 %	1,4 %
Ambientes Hídricos - Água	0,6 %	0,9 %

Tabela 12 – Percentual e distribuição dos solos para os ambientes pesquisados

Região	Serra Talhada	Área Experimental
Área (Km²)	2922,99	706,08
Planossolos	13,6 %	5,7 %
Neossolos	9,6 %	0 %
Luvissolos	64,9 %	89,4 %
Cambissolos	3,3 %	2,9 %
Argissolos	8,6 %	1,9 %

A partir das informações da Tabela 10 (Figura 4) é possível constatar que a predominância do município e da área experimental sobre a declividade está amparada pelos relevos planos (45,2%; 43,4%) e suave ondulados (39,7%; 40,4%). Não há regiões denominadas "montanhosas" (acima de 45° de declividade), contudo, ambientes de ondulados e fortemente ondulados são observados entre as áreas (Ondulado: 11,6% e 11,9%; fortemente ondulado: 3,5%; 4,2%, respectivamente). Considerando os usos do solo e coberturas da Tabela 18, os de maiores percentuais

são o de Formação Savânica – Caatinga (75,1%; 78,3%) e atividades agropecuárias (23,9%; 19,5%).

Mesmo com uma maior distribuição percentual quando comparada a outros atributos descritos na pesquisa, os atributos dos solos presentes na região têm os Luvisolos com alta predominância (64,9%; 89,4) seguido de classes como os Planossolos, Neossolos, Argissolos e Cambissolos, porém sem expressividade quando comparada aos Luvisolos (Tabela 12). A Fragilidade Ambiental representada pela Figura 5 e Tabela 13 auxilia a descoberta de mais evidências para área de estudo.

Figura 5 – Análise de Fragilidade Ambiental para o município de Serra Talhada (Pernambuco)

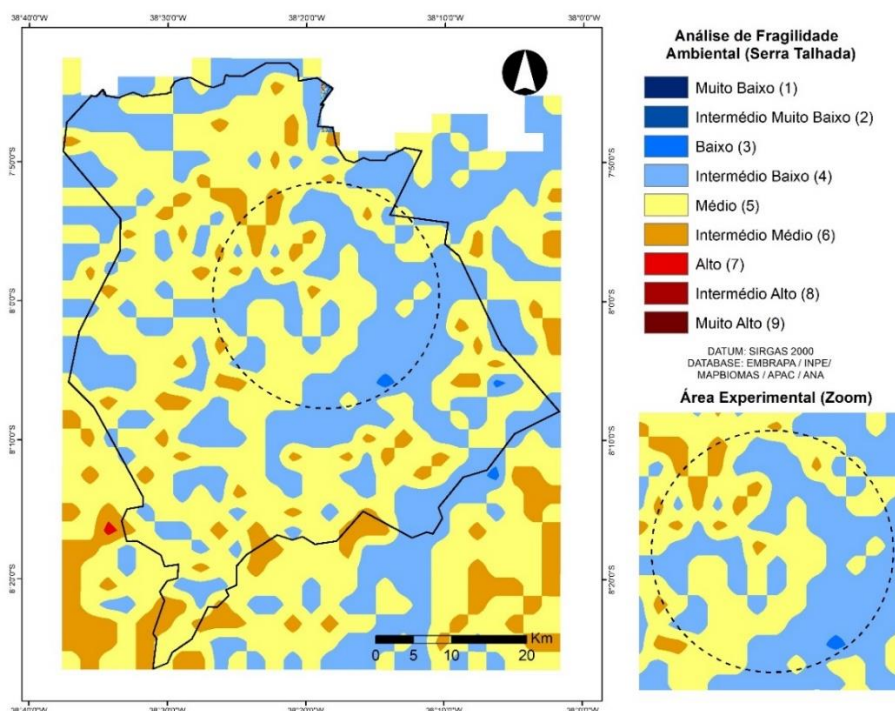


Tabela 13 - Distribuição percentual das classes relacionadas a Fragilidade Ambiental

Região	Serra	Experimental
Área (Km²)	2922,99	706,08
Baixo (3)	0,4 %	0,8 %
Intermédio Baixo (4)	42,5 %	51,7 %
Médio (5)	44,4 %	38,1 %
Intermédio Médio (6)	12,7 %	9,3 %

O mapeamento da Fragilidade Ambiental de Serra Talhada aponta que a região mantém ambientes diversificados de interesse e não interesse (Figura 5). De boa distribuição percentual, percebe-se através da Tabela 13 a existência das classes “Médio” (44,4%) e

“Intermédio Baixo” (42,5%) como predominantes; todavia, porções com uma classe intermediária ao médio e ao alto (12,7%) se mostram com expressividade. A área experimental acompanha os percentuais proporcionais da região como um todo, estando presentes as classes “Intermédio Baixo” (51,7%) e “Médio” (38,1%) como predominantes, seguida da classe “Intermédio Médio” em baixa percentagem (9,3%) comparativa, mas bem apresentada territorialmente.

A evolução do pensamento em prol da análise espacial de dados trouxe para a ciência contribuições significativas. Através dos métodos estatísticos é

possível representar os ambientes onde a coleta de dados humana contínua é de difícil acesso ou de custo elevado; contudo, parafraseando os escritos de Burrough e McDonnell (1998), “Quando se tem dados em abundância, as representações estatísticas do espaço são semelhante” isso demonstra a importância de não só ter informações bem distribuídas ao longo das regiões de interesse, mas também que estas transmitam em longo prazo esses dados sendo eles livres de erros e interferências.

Na análise espacial, a Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW) e a *Krigeagem* são exemplos dos métodos de interpolação muito utilizados em pesquisas relacionadas ao Meio Ambiente no geral (Brito *et al.*, 2013), nos quais, observa-se sua utilização em produtos altimétricos no pantanal e na Amazônia (Valeriano *et al.*, 2006; Valeriano *et al.*, 2007) ou em pesquisas envolvendo solos, climatologia e hidrologia (BARROS *et al.*, 2020; Buttafuoco *et al.*, 2017; Castrignanò *et al.*, 2018). A distribuição considerável dos pontos de coletas climatológicas possibilitou a apresentação do regime anual de precipitação e temperatura média (Figura 3) na área de interesse, destacando as suas relações com o entorno, uma vez que se nota a presença além dos limites municipais, locais com elevada precipitação e altimetria (conhecidos como *Brejos de Altitude*), que desenvolvem por suas características divergentes as zonas semiáridas ou transicionais ao semiárido composições edafoclimáticas distintas (Ferraz *et al.*, 1998; Lima, 2016).

As técnicas de geoprocessamento junto ao Sensoriamento Remoto aliam-se não somente no tratamento, refinamento e exposição de plano de informações, mas também na presença de novos produtos, estes oriundos de junções de dados derivados de visitas *in loco*, geoestatística ou imageamentos (Figura 4). Ademais, as sobreposições de dados que concebem produtos como os de análise de **3.1 Como o planejamento integrado podem auxiliar a legislação ambiental: reflexões**

Os avanços existentes presentes no Sensoriamento Remoto, geoprocessamento e outros métodos analíticos de observação e aferição do espaço trouxeram melhorias para pesquisa e observação territorial no campo ambiental. Novos satélites, formulações refinadas, novos levantamentos de campos que complementam e reforçam os antigos, códigos e processamento em nuvens são grandes exemplos a se citar. Junto a esses avanços, a legislação ambiental se desenvolveu no Brasil amparando as demandas existentes e a fazendo uma das mais completas e

desertificação, fragilidades e/ou potencialidades ambientais entregam novas perspectivas analíticas e contribuem para pensamentos nos vieses políticos, econômicos, sociais e ambientais. As Fragilidades Ambientais são as áreas potenciais (ou susceptíveis) a receber mudanças significativas no que se refere a antropização, sendo resultado de um compilado de informações, sejam elas físicos-naturais e socioeconômicas.

Pesquisas acerca da Fragilidade Ambiental em ambientes semiáridos foram desenvolvidas em momentos anteriores por Oliveira e Chaves (2009), Farias *et al.* (2016) e França *et al.* (2017), nos quais, mesmo não considerando fatores econômicos (como renda per capita, por exemplo), os valores obtidos para as regiões em pesquisa tiveram como predominância as classes “média” e “baixa”, assemelhando com os resultados da Figura 5. Ressalta-se dentre as pesquisas supracitadas que mesmo os valores predominantes serem de classes medianas, isso não demonstra que as regiões não tenham territórios de elevado grau de fragilidade ativos ou locais passíveis de transformação.

A metodologia de Análise Hierárquica de Processos se inclui nesse escopo como ferramenta de detecção desses locais e prospecção de cenários futuros, uma vez que a tangibilidade de manipulação nos pesos dos atributos para elucidar objetivos específicos também é viável. Ademais, observa-se a capacidade de extração de informações em diferentes resoluções, possibilitando a verificação do entorno de reservatórios de médio e pequeno porte (a área experimental da pesquisa). Essas informações quantificadas não substituiriam a visita em campo, contudo, somariam com as catalogações e amparariam com significância a tomada de decisão gerencial bem como a submissão e aceitação documental em instituições competentes para cumprimento da legislação ambiental.

complexas legislações ambientais do mundo (MMA, 2019; Rocha, 2020).

Publicadas em março de 2002, as resoluções CONAMA de números 302 e 303 se dispuseram acerca das “definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno” e suas complementações (CONAMA, 2002AB), sendo discussão emergida após a revogação das respectivas em setembro de 2020 e a suspensão da revogação em novembro do mesmo ano (EBC, 2020; OAB, 2020; SBPC, 2020; SENADO, 2020). Além de discutir as áreas de preservação permanente o CONAMA 302 recomenda a produção do Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatórios Artificiais (PACUERA) para

reservatórios artificiais com finalidade a geração de energia e abastecimento público (CONAMA, 2002A), contudo, a resolução não se aprofunda enquanto as exigências para documentação, deixando a cargo de outros órgãos ambientais, o que acarreta uma não padronização de informações e como consequência, a abertura de documentos superficiais quando comparados a outros documentos no mesmo tema. Ademais, mesmo a resolução comentando em artigo anterior sobre a necessidade de haver áreas de preservação permanente para ambientes hídricos destinados a abastecimento público abaixo de 5 hectares (Artigo 3 §6, CONAMA, 2002A), ela não comenta explicitamente de a necessidade desses locais haver ou não estudos de impacto tal como o PACUERA.

A apresentação legislativa de recomendações para criação de documentos que amparem a área de entorno de reservatórios artificiais é um avanço no Brasil visto que muitos reservatórios foram criados no Estado sem esses documentos – e ainda diversos não os mantêm. Essa premissa faz reforçar ainda mais uma resolução que não somente apresente recomendações, mas também diretrizes claras de como, onde, porque, meios, aceitação e confirmação desses resultados para que haja uma orientação hierárquica, sensibilidade na padronização e elevação da proteção destes locais. Ressalta-se que situações excepcionais, como a criação de reservatórios de grande porte e os pequenos reservatórios também deveriam ter uma atenção maior, visto que pelas suas características uma padronização pré-definida poderia o deixar superficial ou complexo frente ao objetivo e escala.

Mesmo havendo algumas dissonâncias na apresentação de grandes tópicos, comumente os PACUERAS mantêm relevantes assuntos em comuns, tais como levantamentos físicos-naturais, socioeconômicos, zoneamentos generalizados de áreas de reservatório (área de segurança, área de emergência, por exemplo) e recomendações para mitigação. Os expostos são louváveis e enriquecem ainda mais não só a pesquisa, mas também a melhoria na gestão da área impactada pelo documento, reforçando a necessidade da existência desses no amparo da legislação hídrica-ambiental. Contudo, aspectos analíticos específicos, como potencialidade a erosão, desertificação, zonas arqueológicas, fragilidades ambientais e potencialidades a agricultura não estão inclusos em comum acordo documental, existindo a exposição em planos mais complexos e/ou que haja um profissional com essas habilidades.

O que o Meio Ambiente perde, sobretudo as áreas frágeis, como é o semiárido brasileiro, com um plano ambiental que além de levantar a fauna e flora e zonear

basicamente o entorno, volta-se a conseguir expor e extrair informações sobre sua fragilidade sociofísica, potencialidade a desertificação/erosão e/ou potenciais agropecuários? Uma proposta de padronização mínima baseada no planejamento integrado, Sensoriamento Remoto e as Geotecnologias como um todo podem ser as grandes aliadas dessa investida de melhoria ambiental, uma vez que se notam essas ferramentas sendo utilizadas ao redor do mundo para diferentes funcionalidades e com satisfatoriedade; os ditos novos meios juntariam com os métodos tradicionais de verificação territorial de conhecimento das populações, fauna e flora tal como a resolução CONAMA 302 solicita em seu artigo 2 (§4, acerca das faixas territoriais permanentes, não diretamente sobre o PACUERA).

Atualmente, os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) reforçam a necessidade de aprimoramento de políticas públicas, resoluções e legislações ambientais corretivas e que desenvolvam ainda mais a proteção do meio ambiente no Brasil, frente ao notório ataque que essas áreas existentes estão recebendo. Os ODS são compromissos firmados por 193 Estados Membros através da Assembleia Geral da ONU (Resolução 70/1) sendo especificados via objetivos (17) e metas (169) para alcance até 2030, respeitando não somente os espectros ambientais, econômicos e sociais de forma integrada, mas também o firmamento com os direitos humanos e o direito internacional. Esses objetivos e metas mesmo não sendo uma legislação, podem influenciar – e influenciam os novos documentos em diversas esferas, visto que houve um firmamento em concluir as metas expostas (ODS, 2021a).

Os objetivos de número 6 (Água Potável e Saneamento) e 7 (Energia Limpa e Acessível) são os que melhor conferem aos reservatórios artificiais e poderiam também ser incluídas em novas resoluções e legislações sobre o tema de forma mais clarificada. Proporcionar a população ao acesso a água, saneamento e práticas de higiene, boa qualidade ambiental dos corpos hídricos doces, melhoria da eficiência no uso da água, gestão integrada – cooperação hídrica e fortalecimento das comunidades do entorno a ambientes hídricos são metas do objetivo 6 ODS que se unem aos do 7, no que tange ao acesso a eletricidade oriundas de tecnologias limpas (ODS, 2021bc).

Sobre o entorno do reservatório e suas considerações, o objetivo 15 (Vida na Terra) que diz respeito a “*Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade*” mantém pontos relevantes para se incorporar em possíveis discussões sobre planos

ambientais e hídricos de forma integrada, visto que pensamentos relacionados a implementação da gestão sustentável, do combate à desertificação e proteção de espécies ameaçadas são levantados e estão presentes em planos como o PACUERA.

Vale ressaltar a conclamação da ciência no objetivo 14 (Vida na água), que confere metas para ambientes costeiros e marinhos; onde na meta de número 14.3 se diz “*Minimizar e enfrentar os impactos da acidificação dos oceanos, inclusive por meio do reforço da cooperação científica em todos os níveis*” (ODS, 2021d), fazendo perceber que a ciência e a produção científica em cooperação entre instituições mantêm extrema relevância na contribuição de um futuro sustentável. Mesmo havendo a necessidade de manejar o meio ambiente para extração de produtos e desenvolvimento populacional, a introdução das práticas científicas nas legislações contribuiria não somente na proteção ambiental propriamente dita, mas na adequada solução a se fazer no território de interesse, aproximando-se ainda mais do conceito de sustentabilidade, devendo, deste modo, ser contínuo e atuante.

Conclusões

Sobre os resultados obtidos, nota-se que estes acompanham (enquanto classificações e predominâncias) a literatura existente para a grande área – a região semiárida – em questão. A fragilidade ambiental foi o exemplo levantado e comprovado mediante dados geoespaciais, metodologia consolidada e boas práticas/recomendações internacionais e nacionais; contudo, é importante ressaltar que áreas de melhor captação de chuvas, armazenamento, potenciais a inundação, evapotranspirações de ambientes semiáridos, zonas de lazer, cenários de expansão populacional, dentre outros pontos podem ser extraídos e incluído nos respectivos documentos de regiões hídricas e entorno a partir de processos metodológico semelhante e informações disponíveis.

A existência das classes “Médio” (44,4%) e “Intermédio Baixo” (42,5%) como predominantes; todavia, porções com uma classe intermediária ao médio e ao alto (12,7%) se mostram com expressividade. Dentro da área experimental, as informações acompanham os mesmos percentuais do município, estando com percentuais variando do intermediário baixo para médio e intermediário médio. Isso demonstra que a área mesmo não tendo ambientes com fragilidades altas, tendem a estar em vulnerabilidade mediante má gestão ou o mal uso do território.

As novas discussões sobre a sustentabilidade (e desenvolvimento sustentável) e a preocupação com o futuro levanta também a necessidade de rever as legislações ambientais, uma vez que estando em um ambiente contínuo e dinâmico, essas devem ser atualizadas, abarcando novas necessidades e compromissos firmados a posteriori. Visando a defesa dos ambientes de interesse ao entorno de reservatórios e seus acordos e legislações pré-existentes, recomenda-se a inclusão nas diretrizes da resolução análises mais específicas através do planejamento integrado e geotecnologias, capazes de extrair pontos sensíveis e não somente levantar informações edafoclimáticas via inventário. Essas recomendações explanadas a partir de resoluções nas instâncias federais poderiam não somente clarificar as motivações (como, onde, porque, meios, aceitação e confirmações finais), mas servir de diretrizes bem como uma padronização para as demais instâncias reguladoras, estaduais e municipais. Tal como essa pesquisa, aconselha-se novos estudos e outros questionamentos acerca do tema.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal de Pernambuco pela estrutura fornecida para a pesquisa e à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE).

Referências

- Abdolmaleki, H.; Mirzazadeh, Z.; Alidoust Ghahfarokhi, E. Prioritization of Factors Affecting Consumer Behavior of Sporting Goods Using AHP. *Journal of Sport Management*, 9(3), 471-488, 2017.
- Akkaya, Gökay.; Turanoğlu, Betül.; Öztaş, Sinan. An Integrated Fuzzy AHP And Fuzzy Moora Approach to The Problem of Industrial Engineering Sector Choosing. *Expert Systems with Applications*, S0957417415005217–, 2015.
- Akter, Aysha.; Ahmed, Shoukat. Potentiality of rainwater harvesting for an urban community in Bangladesh. *Journal of Hydrology*, 528(), 84–93, 2015.
- Alves, Vicente Eudes Lemos; Aquino, Joacir Rufino; Silva Filho, Raimundo Inácio da. A modernização da fruticultura irrigada e seus impactos socioeconômicos e ambientais no Vale do Açu/RN. In: DANTAS, Aldo; Arroyo, Mônica; Cataia, Márcio (Org.). *O meio geográfico atual do Rio Grande do Norte: novas materialidades, novas dinâmicas*. Natal: Sebo Vermelho, 2018. p. 263-312. 386p.
- Alves, W. S.; SCOPel, I.; Martins, A. P. Análise da fragilidade ambiental da bacia do ribeirão das

- Abóboras, em Rio Verde, Sudoeste de Goiás. *GeoFocus*, v. 18, n. 19, p. 81-108, 2017.
- Alves, W.S.; Martins, A.P.; SCOPEL, I. Fragilidade Ambiental: Subsídio Ao Planejamento E À Gestão Da Bacia Do Ribeirão Da Laje (GO), Brasil. *Geografia, Ensino & Pesquisa*, 22, e34, 01-17, 2018.
- BarroS, T.; Bender, F.; SILVA, F.; JOSÉ, J.; COSTA, J.; COELHO, R. Geoestatística como ferramenta para estudos da variabilidade da precipitação pluviométrica no estado de Pernambuco, Brasil. *Agrarian*, 13(50), 513-520, 2020.
- Bojórquez-Tapia, L.A.; CRUZ-BELLO, G.M.; Luna-González, L. Connotative land degradation mapping: a knowledge-based approach to land degradation assessment. *Environmental Modelling & Software*, 40: 51-64, 2013.
- Boschi, R. S.; Bocca, F. F.; Lopes-Assad, M. L. R. C.; ASSAD, E. D. How accurate are pedotransfer functions for bulk density for Brazilian soils? *Scientia Agricola*, 75(1), 70-78, 2018.
- Brito, C.; Cardoso, C.; Santos, A.; Santos, G.; Medeiros, N. Geoestatística aplicada na geração de Modelos Numéricos de Elevação. *Geografia Ensino & Pesquisa*, 17(3), 143-152, 2014.
- Burrough, P.A.; Mcdonnell, R.A. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, Oxford, 1998.
- Buttafuoco, G.; Castrignanò, A.; Cucci, G.; Lacolla, G.; Lucà, F. Geostatistical modelling of within-field soil and yield variability for management zones delineation: a case study in a durum wheat field. *Precision Agriculture*, 18, 37-58, 1 fev. 2017.
- Castrignanò, A.; Buttafuoco, G.; Quarto, R.; Parisi, D.; Viscarra Rossel, R.A.; Terribile, F.; Langella, G.; Venezia, A. A geostatistical sensor data fusion approach for delineating homogeneous management zones in Precision Agriculture. *Catena*, v. 167, p. 293-304, 1 ago. 2018.
- Chaves, A. G. C. Diagnóstico da exploração de lenha em planos de manejo sustentável na caatinga do Rio Grande do Norte. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 302/2002 - Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Data da legislação: 20/03/2002 - Publicação DOU nº 090, de 13/05/2002, págs. 67-68. 2002A. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=299
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 303/2002 - Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. - Data da legislação: 20/03/2002 - Publicação DOU nº 090, de 13/05/2002, pág. 068. 2002B. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=298
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2005. Diagnóstico do Município de Serra Talhada – PE. Ministério de Minas e Energia: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Recife – PE, 22 p. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/pernambuco/relatorios/SETA148.pdf>. Acesso em: 24/07/2021
- Crepani, E.; Medeiros, J. S.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V.; Barbosa, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/laf/sap/artigos/CrepaneEtAl.pdf>. Acesso em: 15 out. 2017.
- Donha, A.G.; Souza, L.C.; Sugamoto, M. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 10, 175-181, 2006.
- Dorado, R.; Gómez-Moreno, A.; TORRES-Jiménez, E.; López-Alba, E. An AHP application to select software for engineering education. *Process Safety and Environmental Protection*, Volume 92, Issue 5, September 2014, Pages 467-475, 2012.
- EBC - AGÊNCIA BRASIL. Conama revoga normas que delimitam áreas de proteção permanente. 2020. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2020-09/conama-revoga-normas-que-delimitam-areas-de-protecao-permanente>
- EMBRAPA. Sistema Brasileira de Classificação dos Solos. Humberto Gonçalves dos Santos et al. 5 edição., Brasília, DF: EMBRAPA, 2018.
- ESRI. How To: Remove and replace no data values within a raster using statistical information from the surrounding data values. 2021. <https://support.esri.com/en/technical-article/000004792>
- ESRI. Weighted Overlay. 2008. http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=weighted_overlay
- Farias, T.S.; Oliveira, H.C.; Romano, M.P.C.G.; Souza, J.O.P. Análise Da Fragilidade Ambiental Da Bacia Do Riacho Do Saco, Pernambuco – Brasil. *Anais IN: XI SINAGEO - XI SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia UGB - União da Geomorfologia Brasileira*, 2016.

- Ferraz, E. et al. Composição florística em trechos de vegetação de caatinga e brejo de altitude na região do Vale do Pajeú, Pernambuco. *Brazilian Journal of Botany* [online], v. 21, n. 1 [Acessado 10 Setembro 2021], pp. 7-15, 1998.
- França, L.; PiuzanA, D. ROSS, J. S. Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente em núcleo de desertificação no semiárido brasileiro (Gilbués, Piauí). *Revista Espacios*. Vol. 38 (Nº 31) Año 2017. Pág. 21.
- Galvão, J.; Bermann, C. Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas. *Estudos Avançados* [online]. 2015, v. 29, n. 84, pp. 43-68.
- Gioda, A. Características e procedência da lenha usada na cocção no Brasil. *Estudos Avançados* 33 (95), 2019
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. População no último censo e Índice de Desenvolvimento Humano - IDH: IBGE, Censo Demográfico 2010. 2010. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/serra-talhada/panorama> >. Acesso em: 04/02/2019.
- Lee, J.; Gere, G.; Beauvais, J. Global value chains and agrifood standards: challenges and possibilities for smallholders in developing countries. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2012, 109, 12326–12331, 2012.
- Lima, M. Principais Classes De Solos Do Brasil. Apostila. Universidade Federal do Paraná, 2016.
- Lopes, E. A.; Canto, J. L. Exploração de lenha em Plano de Manejo Florestal Sustentável no Rio Grande do Norte. In: IV Congresso Nordeste de Engenharia Florestal, 2013, Vitória da Conquista, 2013. p. 687-692. *Anais do IV CONEFLO e III SEEFLO*. Vitória da Conquista, 2013.
- MAPBIOMAS. Relatório Anual do Desmatamento do Brasil - 2020. 2020. <https://alerta.mapbiomas.org/relatorio>
- Marengo, J. A.; ALVES, L. M. Crise Hídrica em São Paulo em 2014: Seca e Desmatamento. *GEOUSP Espaço e Tempo* (Online), [S. l.], v. 19, n. 3, p. 485-494, 2015.
- Martín-duque, J.F.; García, J.C.; Urquí, L.C. Geoheritage information for geoconservation and geotourism through the categorization of landforms in a Karstic Landscape: a case study from Covalagua and Las Tuerces (Palencia, Spain). *Geoheritage*, 4(1-2): 93-108, 2012.
- Meraj, G.; KHAN, T.; Romshoo, S.A.; Farooq, M.; Rohitashw, K.; Sheikh, B.A. An Integrated Geoinformatics and Hydrological Modelling-Based Approach for Effective Flood Management in the Jhelum Basin, NW Himalaya. *Proceedings*, 7, 8, 2019.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. MMA lança painel sobre legislação ambiental. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/mma-lanca-painel-sobre-legislacao-ambiental>. Acesso em 19/09/2021.
- MU, E.; PEREYRA-ROJAS, M. *Practical Decision Making Using Super Decisions V3. An Introduction to the Analytic Hierarchy Process*. Springer: Cham, Germany, 2017; ISBN 9783319683683
- OAB - Ordem dos Advogados do Brasil. Nota pública da comissão de direito ambiental da oab/sc sobre a revogação das resoluções CONAMA 284, 302 E 303. 2020. <https://www.oab-sc.org.br/noticias/nota-publica-comissao-direito-ambiental-oabsc-sobre-revogacao-das-resolucoes-conama-284-302-e-303/18359>
- ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 2021A. <https://odsbrasil.gov.br/>
- ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Objetivo 14 - Vida na Água. 2021d. <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=14>
- ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Objetivo 6 - Água Potável e Saneamento. 2021b. <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=6>
- ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Objetivo 7 - Energia Limpa e Acessível. 2021c. <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=7>
- Oliveira, J.H.; Chaves, J.M. Fragilidade Ambiental de um setor do raso da catarina (BA) e entorno utilizando geoprocessamento (álgebra simples de mapas-sobreposição ponderada). *Anais ... XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, 2009.
- Özkan, B.; Dengiz, O.; Turan, İD. Site suitability analysis for potential agricultural land with spatial fuzzy multi-criteria decision analysis in regional scale under semi-arid terrestrial ecosystem. *Sci Rep*, 16;10(1):22074, 2020.
- Paula, M.; Moraes, M.; Borges, J. O processo de produção científica e as dificuldades para utilização de resultados de pesquisas pelos profissionais de saúde. *Interface - Comunicação, Saúde, Educação* [online], 23, 2019.
- Porto, M. *Uma Ecologia Política dos Riscos: princípios para integramos o local e o global na promoção da saúde e da justiça ambiental*. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2007. 248p.
- Promentilla, M.; Aviso, K.; Lucas, R.; Razon, Luis F.; Tan, Raymond R. *Teaching Analytic Hierarchy Process (AHP) in undergraduate chemical*

- engineering courses. *Education for Chemical Engineers*, 23(0), 34–41, 2018.
- Rego Filho, L.; Vieira, A.; Barros, J.; IDE, C.; Maldonado, J.; Graça, J.; Celestino, R.; Ramos, D.; Pimenta, F. A deficiência hídrica no Brasil: Reflexo da falta de planejamento. *Informação Tecnológica*, n.55, 2015.
- ROCHA, V.C.S. A Legislação Ambiental no Brasil é avançada, mas e daí?. *Ecodebate*, 2020.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. In: *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, 74, 1994.
- Ross, J. L. S. *Geomorfologia, ambiente e planejamento*. São Paulo: Contexto, 1990. 88p.
- Ross, Jurandyr L. S. *Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 208p.
- Saaty, R.W. The analytic hierarchy process—What it is and how it is used. *Math. Model*, 9, 161–176, 1987.
- Saaty, T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Serv. Sci.* 1, 83–98, 2008.
- Santos, J. O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. *Mercator*, 14, 75-90, 2015
- SBPC - Sociedade Brasileira PARA O ProgressO DA Ciência. SBPC e REBISEC se manifestam contra revogação de resoluções do Conama. 2020. <http://portal.sbpnet.org.br/noticias/sbpc-e-rebisec-se-manifestam-contra-revogacao-de-resolucoes-do-conama/>
- SENADO - AGÊNCIA. STF suspende resolução do Conama que revogava normas de proteção ambiental. 2020. <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2020/10/29/stf-suspende-resolucao-do-conama-que-revogava-normas-de-protecao-ambiental>
- Shin, Y.; Kim, S.; Sang-Woo, L.; Kyungkin, A. Identifying the Planning Priorities for Green Infrastructure within Urban Environments Using Analytic Hierarchy Process. *Sustainability*, 12, 5468, 2020.
- Huru, Liu.; Bing, Zhang. "Research on the evaluation and analysis of the real estate investment environment base on AHP (analytic hierarchy process)," 2011 International Conference on Multimedia Technology, pp. 4059-4062, 2011.
- Song, K.-W.; Lee, Y. Re-scaling for Improving the Consistency of the AHP Method. *Soc. Sci. Res. Rev.*, 29, 271–288, 2013.
- Swain, K.C.; Singha, C.; Nayak, L. Flood Susceptibility Mapping through the GIS-AHP Technique Using the Cloud. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2020, 9, 720.
- Thouret, Jean-Claude. Os riscos nos países em desenvolvimento. In: VEYRET, Yvette (org.) *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. Tradução Dílson Ferreira da Cruz. São Paulo: Contexto, 2007. 83-85.
- Travassos, I. S.; Souza, B. I. Os negócios da lenha: indústria, desmatamento e desertificação no Cariri paraibano. *GEOUSP – Espaço e Tempo (Online)*, São Paulo, 18, 329-40, 2014.
- Valeriano, M. de M.; ABDON, M. de M. Aplicação de dados srtm a estudos do Pantanal. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 59/01, Abril, 2007.
- Valeriano, M. M.; Kuplich, T. M.; STORINO, M.; Amaral, B. D.; Mendes Júnior., J. N.; Lima, D. Modeling small watersheds in Brazilian Amazônia with SRTM-90m data. *Computers & Geosciences*, 32, 1169-1181, 2006.
- Valle, I.; Francelino, M.; Pinheiro, HelenA. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. *Floresta e Ambiente*, 23, 295-308, 2016.
- Wilcox-moore, K. et al. The Influence of Socioeconomic Status and Fuelwood Access on Domestic Fuelwood Use in the Brazilian Atlantic Forest. *Journal of Latin American Geography*, 10, 195-216, 2011.