

ÍNDICE DE RESILIÊNCIA NATURAL COMO RECURSO PARA PLANEJAMENTO E GESTÃO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GURGUÉIA – PIAUÍ

NATURAL RESILIENCE INDEX AS A RESOURCE FOR PLANNING AND MANAGEMENT IN THE GURGUÉIA RIVER SUB-BASIN – PIAUÍ

ÍNDICE DE RESILIENCIA NATURAL COMO RECURSO PARA LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN EN LA SUBCUENCA DEL RÍO GURGUÉIA – PIAUÍ

Liviana Norberta de Oliveira

Pós-doutora em Geografia pela Universidade Federal do Piauí – UFPI. Doutora em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Docente da Universidade Federal do Pará – UFPA/Campus Altamira.

livianiageo@gmail.com / <http://orcid.org/0000-0003-2558-2855>

Cláudia Maria Sabóia de Aquino

Doutora em Geografia pela Universidade Federal de Sergipe – UFS. Professora Associada da Universidade Federal do Piauí – UFPI.

cmsaboia@gmail.com / <http://orcid.org/0000-0002-3350-7452>

Recebido: 22/09/2021; Aceito: 11/11/2021; Publicado: 31/12/2022.

RESUMO

Este artigo aborda o uso do índice de resiliência natural (IRN) como proposta de gestão dos recursos naturais para a sub-bacia hidrográfica do rio Gurguéia, Piauí. A metodologia foi desenvolvida a partir do emprego do IRN desenvolvido com base nos aspectos da declividade média do relevo, a erodibilidade dos solos, o índice de aridez e o índice de vegetação por diferença normalizada numa análise temporal para os anos de 1987 e 2017, utilizando o Qgis para o mapeamento da área. Constatou-se que o IRN em 1987 e 2017 apresentou-se de moderado a baixo, principalmente nas áreas Leste e Sudoeste da bacia. O IRN demonstrou que a capacidade de recuperação natural da bacia a partir dos recursos e do período analisado é progressiva, ao se analisar as classes alta e muito alta 1987 (7,4%), 2017 (20,3%), sendo, portanto, necessário um planejamento e gestão adequada de manejo e exploração destes recursos, como fim de manter a sustentabilidade a médio e longo prazo.

Palavras-chave: Índice; Resiliência; Recursos Naturais.

ABSTRACT

This article addresses the use of the natural resilience index (NRI) as a proposal for the management of natural resources for the Gurguéia river sub-basin, Piauí, Brazil. The methodology was developed from the use of the IRN developed based on the aspects of the average slope of the relief, the soil erodibility, the aridity index and the normalized difference vegetation index in a temporal analysis for the years 1987 and 2017, using Qgis for mapping the area. It was found that the IRN in 1987 and 2017 was moderate to low, mainly in the East and Southwest areas of the basin. The IRN demonstrated that the basin's natural recovery capacity from the resources and the period analyzed is progressive, when analyzing the high and very high classes 1987 (7.4%), 2017

(20.3%), being therefore, proper planning and management of management and exploitation of these resources is necessary, in order to maintain sustainability in the medium and long term.

Keywords: Index; Resilience; Natural Resources.

RESUMEN

Este artículo aborda el uso del índice de resiliencia natural (NRI) como propuesta para el manejo de los recursos naturales para la subcuenca del río Gurguéia. La metodología se desarrolló a partir del uso del IRN desarrollado con base en los aspectos de pendiente promedio del relieve, la erosionabilidad del suelo, el índice de aridez y el índice de vegetación de diferencia normalizada en un análisis temporal para los años 1987 y 2017, utilizando Qgis para mapeo del área. Se encontró que el IRN en 1987 y 2017 fue de moderado a bajo, principalmente en las áreas Este y Suroeste de la cuenca. El IRN demostró que la capacidad de recuperación natural de la cuenca a partir de los recursos y el período analizado es progresiva, al analizar las clases alta y muy alta 1987 (7,4%), 2017 (20,3%), siendo, por tanto, una adecuada planificación y gestión de la gestión y explotación de estos recursos es necesaria, con el fin de mantener la sostenibilidad en el mediano y largo plazo.

Palabras clave: Índice; Resiliencia; Recursos Naturales.

INTRODUÇÃO

A problemática dos impactos negativos desenvolvidos em bacias hidrográficas, fruto das intervenções humanas, tem sido discutido nas últimas décadas, tendo como foco a proposição de planejamento sustentável adequado para minimização dos seus efeitos a médio e longo prazo. Neste contexto, a avaliação de impactos ambientais a partir da elaboração de índices tem sido um elemento-chave muito utilizado no mundo, como subsídio à gestão de riscos naturais em diferentes escalas (PARSON et al., 2016; TREVISAN; MOSCHINI, 2016; OLIVEIRA et al., 2020).

As bacias hidrográficas são reconhecidas como unidade territorial de análise e planejamento ambiental, através de uma abordagem sistêmica (CHRISTOFOLETTI, 1999; OLIVEIRA; SANTOS, 2015). Tendo em vista, que em função de suas características ambientais, as alterações realizadas neste recorte geográfico interferem na sua qualidade ambiental como um todo. Nesse aspecto, Christofolletti (1999) considera a bacia hidrográfica um sistema aberto, com *input* e *output* de energia e de matéria, resultante dos processos naturais e humanos.

Rodriguez e Silva (2013) definem planejamento ambiental como um processo intelectual no qual são projetados os instrumentos de controle fundamentados em uma base técnico-científica, instrumental e participativa. Constitui-se, segundo estes autores, num processo organizado de coleta de informação, de análise e reflexão sobre as potencialidades e limitações dos sistemas ambientais num dado território.

Neste cenário, ressalta-se que a resiliência avança rumo ao paradigma de gerenciamento de riscos para incluir modelos mais holísticos de complexidade,

interdependência e incerteza na caracterização dos sistemas e suas respostas aos estressores externos (LINKOV et al., 2014; CUTTER, 2016).

Os debates epistemológicos sobre a resiliência a desastres estão associados a temas de vulnerabilidade, risco, governança, sustentabilidade e adaptação (ADUNCE et al. 2011; FORDHAM et al., 2013; WEICHSELGARTNER; KELMAN, 2015; PARSON et al., 2016). Estes estudos foram desenvolvidos em função das diversas interpretações a respeito da resiliência e da complexidade inerente ao gerenciamento de riscos naturais que envolvem múltiplos valores e altos riscos (OLIVEIRA; AQUINO, 2020).

Na perspectiva das ciências naturais, a resiliência é uma teoria usada para compreender a dinâmica desequilibrada dos sistemas socioecológicos, reforçando a capacidade adaptativa do ambiente e dos atores sociais envolvidos em relação à dinâmica do sistema, da qual os riscos naturais fazem parte (PARSON et al., 2016).

Nesse sentido, Klein et al. (2011) destacam que a resiliência é amplamente vista como uma propriedade desejável do sistema na gestão ambiental. Apesar dos diferentes discursos acadêmicos, a resiliência é cada vez mais utilizada como instrumento de políticas e aplicada em programas de gestão de riscos e desastres naturais, embora haja pouco consenso sobre como operacionalizar a resiliência na prática (CUTTER, 2016).

Nesse contexto, cabe destacar o estudo de Cutter (2016) que elaborou 27 abordagens para a avaliação de resiliência a desastres e avaliou como elas diferiam em relação à orientação espacial, a metodologia e as características das capacidades. A autora relata, ainda, que não há uma abordagem dominante entre os parâmetros utilizados.

Outras pesquisas de Susan Cutter mudaram o foco da avaliação da vulnerabilidade para a resiliência (PARSON et al., 2016). O modelo de resiliência a desastres do local (CUTTER et al., 2008) descreve as condições antecedentes para a resiliência a desastres, as quais foram avaliadas usando indicadores de resiliência social, resiliência econômica, resiliência institucional, resiliência de infraestrutura e capital comunitário, disponíveis pelas instituições governamentais. Os indicadores são combinados para produzir uma resiliência geral da comunidade e dispostos espacialmente para mostrar a vulnerabilidade de um local em relação a outro.

Neste contexto, destaca-se que a avaliação do índice de resiliência pode ser aplicada em diferentes escalas espaciais de análise (PARSON et al., 2016). Cada avaliação tem um objetivo, seja para melhorar a resiliência a desastres ou avaliação comparativa de diferentes locais usando dados padronizados. Essas diferentes abordagens são proporcionais aos cenários que se pretende avaliar a resiliência.

Conforme acentuam Cutter e Finch (2008), as dimensões para a avaliação da resiliência são dinâmicas ao longo do tempo, sendo, portanto, importante para realizar análise numa escala temporal para garantir que as interpretações não sejam tomadas fora de seus limites temporais.

Outro processo relevante na elaboração de um índice de resiliência é o processo de seleção dos indicadores, que deve estar acoplado ao objetivo, estrutura, desenvolvimento e interpretação do índice. O uso de critérios de seleção de indicadores minimiza possíveis fontes de incerteza na interpretação da resiliência a riscos naturais incluídos no cálculo (PARSON et al., 2016).

Assim, os indicadores de resiliência podem ajudar a caracterizar os elementos básicos de um sistema ou unidade de análise (PRIOR; HAGMANN, 2014), também, podem ajudar na avaliação e priorização de necessidades e, ainda, ser úteis no estabelecimento de linhas de base para monitorar as alterações realizadas e num dado recorte geográfico e/ou comunidade em um determinado período. Reitera-se que os indicadores de resiliência, também, podem ajudar a entender os custos e os benefícios do aprimoramento da resiliência em todas as escalas (CUTTER, 2016).

Destaca-se que um índice pode ter abordagem tanto qualitativa como quantitativa, partindo-se de dados secundários ou coletados em campo, sejam eles mensurados em uma resolução local ou nacional (TATE, 2012). Dessa forma, na elaboração de um índice é preciso considerar a estrutura conceitual, a escala de análise, os indicadores de componentes e o cálculo de índices (TATE, 2012). Todavia, destaca-se que não existe um método padrão para construção de um índice de resiliência natural (PARSON et al., 2016).

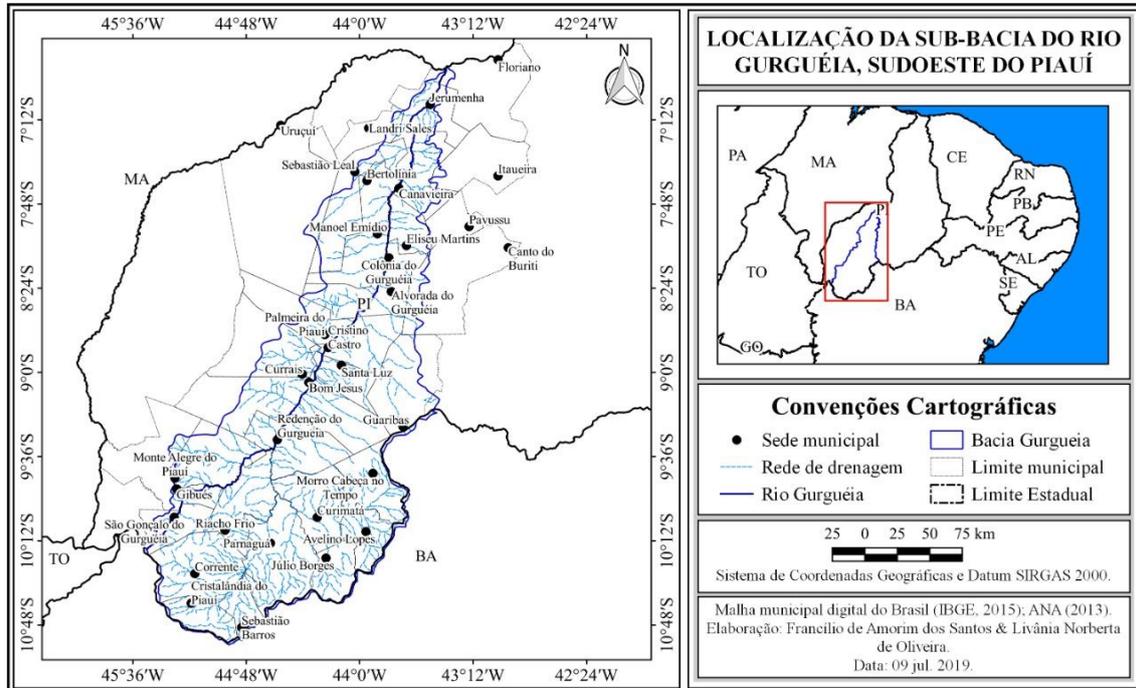
Desse modo, para avaliação da resiliência natural de uma bacia hidrográfica é necessário empregar análise sistêmica dos recursos naturais, com propósito voltado ao planejamento ambiental. Neste estudo, utilizou-se como recorte espacial a bacia hidrográfica do rio Gurguéia (BHRG), que faz parte da atual fronteira agrícola no estado do Piauí com a produção de grãos, principalmente da soja. Desta forma, optou-se por avaliar a capacidade de resiliência desta bacia, a partir da elaboração de um índice de resiliência natural, para subsidiar ações sustentáveis no manejo dos recursos naturais, assim como para o planejamento e gestão ambiental da mesma.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O rio Gurguéia é o maior afluente do rio Parnaíba pela sua margem direita. Sua nascente está localizada no sopé da chapada das Mangabeiras, a uma altitude média de 500

metros. A BHRG está localizada na porção sul do estado do Piauí (Figura 1), cuja área drenada abrange trinta e três municípios, que somam 48.826 km², o que corresponde a 19% da área total do estado do Piauí, sendo a segunda maior bacia desse estado (BRASIL, 2006).

Figura 1 – Localização da sub-bacia Hidrográfica do rio Gurguéia - Piauí - Brasil



Fonte: IBGE (2015); ANA (2013). Elaboração das autoras, 2020.

Na BHRG em sua porção centro-norte constata-se a ocorrência de rochas correspondentes às formações Poti, Piauí, Longá, além de depósitos aluvionares, constituintes da bacia sedimentar do Parnaíba. Já na porção sul ocorrem os arenitos, siltitos e conglomerados associados às formações Urucuia e Areado, unidades litoestratigráficas pertencentes à porção setentrional da Bacia Sedimentar do São Francisco (MORAIS, 2018).

Quanto à declividade, a BHRG apresenta predominância de relevo do tipo suave ondulado, com declividade de 3-8% em aproximadamente 39% da bacia, assim como apresenta declividade acima de 8% em 24% da área, possuindo também áreas de relevo ondulado acima de 20% de declividade (AQUINO; RATKE, 2014).

Quanto aos solos presentes na BHRG, o Latossolo Amarelo ou Vermelho-Amarelo, de textura média a argilosa e de boa drenagem, predomina sobre os chapadões na margem esquerda do Gurguéia. O mesmo tipo ocorre no talvegue e na margem direita, de menor altitude, porém, nesses locais estão associados a Aluviões, Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Litólicos (BRASIL, 2006).

No vale do Gurguéia, encontra-se, também, Neossolos Quartzarênicos, que tem como características: textura arenosa com finíssimos grãos de quartzo, pouca argila em seu

complexo granulométrico, baixa capacidade para retenção de umidade e acentuada drenagem. Os Neossolos Litólicos, Latossolos e Argissolos podem estar associados a esses solos (BRASIL, 2006).

O clima na BHRG varia do tipo semiárido a subúmido seco, com pequeno período chuvoso. A pluviometria média anual é de 1.000 mm, sendo o trimestre mais chuvoso entre janeiro e março, já o mais seco ocorre entre julho e setembro (PIAUI, s/d).

Destaca-se, ainda, que o vale do rio Gurguéia apresenta grande potencial em águas subterrâneas, inclusive com poços jorrantes que drenam os aquíferos Serra Grande e/ou Cabeças. Todavia, há um grande desperdício de água proveniente de poços artesianos presentes na BHRG, resultante da perfuração inadequada e sem finalidade aparente nessa região por redes de hotéis, bares e restaurantes.

Até o ano de 2010 existiam aproximadamente 400 poços que jorravam água ininterruptamente, sem destinação econômica ou social adequada que viabilizassem seus aproveitamentos, com reflexos negativos sobre o meio ambiente e com redução significativa ao longo do tempo (SEMAR, 2010). Na atualidade, não foi possível conseguir dados da quantidade de poços e disponibilidade hídrica para a área em estudo.

A vegetação predominante no topo das chapadas e na margem do rio Gurguéia é do tipo Cerrado, especificamente dos campos cerrados. As árvores são distribuídas com pequena densidade, distanciadas entre si por espaços abertos, onde a superfície do terreno é completamente recoberta por um estrato arbustivo e herbáceo, de moitas e gramíneas. Existem, também, extensas áreas de Caatinga, principalmente na porção do Alto Gurguéia entre os municípios de Gilbués e Corrente, bem como existem pequenas áreas de contato Caatinga-Cerrado (PIAUI, 2016).

METODOLOGIA

Inicialmente, destaca-se que um índice é usado para ilustrar a natureza multidimensional da construção, mas, em última análise, condensa a complexidade em um único valor numérico (CUTTER, 2016). Assim, a capacidade de comparar unidades de análise usando dados padronizados torna o índice de resiliência mais acessível para examinar a variabilidade espacial, alocar recursos e/ou monitorar o progresso em diferentes escalas.

Desta forma, a construção do índice de resiliência natural (IRN) da sub-bacia hidrográfica do rio Gurguéia considerou uma análise temporal entre os anos de 1987 e

2017. Tendo em vista a expansão da fronteira agrícola a partir da década de 1990 na região, assim como a exploração intensiva dos recursos naturais nas últimas décadas.

Ressalta-se que foram empregados quatro componentes ambientais considerados relevantes na avaliação do IRN, sendo eles: a declividade média do relevo (Dm), a erodibilidade dos solos (K), o índice de aridez (Ia) e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), integrados por meio da Equação 1. Para a definição dos pesos de cada variável, foi utilizado o método AHP que consiste na lógica de comparação pareada desenvolvida por Saaty. O valor de julgamento expressa a importância relativa entre os elementos que sintetizam o valor de membro funcional em uma escala de razões (RAMOS; CUNHA; CUNHA, 2014).

$$IRN = (Dm * 0,05) + (k * 0,11) + (Ia * 0,22) + (NDVI * 0,61)(1)$$

Onde:

IRN = Índice de resiliência natural;

Dm = Declividade média do relevo;

K = Erodibilidade dos solos (k);

Ia = Índice de aridez (Ia);

NDVI = Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).

Considera-se que estes componentes são integrados e mantêm relações mútuas entre si e que são submetidos aos fluxos contínuos de matéria e de energia, onde cada sistema representa uma unidade de organização do ambiente natural, sendo passível de delimitação.

Utilizou-se do Sistema de Informação Geográfica (SIG) *QGIS*, versão 2.14, para integração dos componentes ambientais, supracitados, por meio da função calculadora *raster*. Destaca-se, que foi empregada a ferramenta *Spatial Analyst Tools* e função *Reclassify* pertencente ao SIG *ArcGIS*, versão 10.2 para a finalização do mapeamento, cuja licença foi adquirida pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Os intervalos para os anos de 1987 e 2017, classes atribuídas e notas para o IRN estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Intervalos, classes atribuídas e notas para o índice de resiliência natural (IRN), considerando os anos de 1987 e 2017.

Intervalos de IRN		Classes atribuídas	Notas
1987	2017		
1,10 a 1,85	1,11 a 1,64	Muito alta	1
1,85 a 2,60	1,64 a 2,18	Alta	2
2,60 a 3,35	2,18 a 2,72	Média	3
3,35 a 4,10	2,72 a 3,26	Baixa	4
4,10 a 4,85	3,26 a 3,81	Muito baixa	5

Fonte: Autoras, 2020.

A seguir serão mais bem detalhados os procedimentos utilizados para manuseio dos dados – alfanuméricos, vetoriais e matriciais – ligados aos componentes ambientais elencados.

Declividade média do relevo (Dm)

Para conhecimento das classes de declividade média do relevo (Dm) da Bacia Hidrográfica do rio Gurguéia (BHRG) foi necessária a aquisição de arquivos matriciais, os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) da Missão Topográfica Radar *Shuttle* (SRTM) (USGS, 2017a). Ressalta-se que os intervalos das classes de declividade tomaram como base o proposto no Manual Técnico de Geomorfologia (EMBRAPA, 2009), conforme está representado na Tabela 2.

Tabela 2 – Intervalos, classes atribuídas e notas de declividade média do relevo (Dm).

Intervalos de Dm (%)	Classes atribuídas	Notas
0 a 3	Plano	1
3 a 8	Suave Ondulado	2
8 a 20	Ondulado	3
20 a 45	Forte Ondulado	4
45 a 75	Montanhoso	5

Fonte: Autoras, 2020.

Índice de aridez (Ia)

De início, efetivou-se aquisição de dados de precipitação de oito postos pluviométricos para o ano de 2017, junto ao Sistema de Informações Hidrológicas (Hidro WEB) da Agência Nacional de Águas (ANA, 2019). Os procedimentos para refinamento desses dados foram realizados no pacote de programas USUAIS, conforme sugerem Oliveira e Sales (2016), considerando as seguintes etapas:

- FALHAS: correção das falhas nos dados pluviométricos associada à técnica de ponderação regional proposto em Tucci (1993);
- CRIATEMP: criação de arquivo individual para cada posto pluviométrico;
- CRIACHUV: inserção e gravação dos dados de precipitação média mensal;
- BHVMED: geração do valor médio para o índice de aridez (Ia).

Ressalta-se que o índice de aridez (Ia) foi uma proposta, inicialmente, desenvolvida por Thornthwaite (1941) e, posteriormente, aperfeiçoada por Penman (1953). O Ia é elaborado a partir do quociente entre a pluviometria anual média e a evapotranspiração potencial anual média, conforme se observa na Equação 2.

$$Ia = \frac{P}{Etp} (2)$$

Onde:

Ia = Índice de aridez;

P = Pluviometria anual média;

Etp = Evapotranspiração potencial anual média.

O processo de fatiamento das classes do Ia, para delimitação dos níveis de aridez na BHRG levou em conta as áreas de risco para os variados climas do planeta, conforme proposto pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, 1991), como está exposto na Tabela 3.

Tabela 3 – Intervalos, classes atribuídas e notas ao índice de aridez (Ia).

Intervalo do Ia	Tipo climático	Notas
0,21 a 0,50	Semiárido	2
0,51 a 0,65	Subúmido seco	1

Fonte: Autoras, 2020.

Erodibilidade dos solos (K)

Para conhecimento do nível de erodibilidade dos solos (K) demandou-se obtenção de arquivo vetorial da Folha SB.24 - Jaguaribe (INDE, 2019). A esses dados foi aplicada a metodologia sugerida por Crepani et al. (2001) para estimativa das classes do fator K (Tabela 4), que considera o grau de desenvolvimento ou maturidade dos solos.

Tabela 4 – Grandes grupos de solos com respectivas classes atribuídas e notas para a erodibilidade dos solos (K).

Associações de solos	Classe atribuída	Notas
Latossolo Amarelo Distrófico	Baixa	2
Luvissolo Crômico Pálido	Média	3
Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	Muito Alta	5
Neossolo Flúvico Tb Distrófico, Neossolo Litólico Distrófico, Neossolo Quartzarênico Órtico		

Fonte: Autoras, 2020.

Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

Para realização do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi necessária a obtenção de cenas dos imageadores *Thematic Mapper (TM)* e *Operational Land Imager (OLI)*, respectivamente, do satélite *Landsat 5* e *Landsat 8*, junto ao banco de dados do

Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS 2019b). As cenas em questão possuem as seguintes características:

Quadro 1 – Características das imagens *Landsat* utilizadas no estudo.

Landsat 5 <i>TM</i>			Landsat 8 <i>OLI</i>		
Ponto	Órbita	Data	Ponto	Órbita	Data
219	065, 066, 067	10/07/1987	220	065, 066, 067	17/07/2017

Fonte: Autoras, 2020.

Destaca-se que todas as imagens passaram por correções geométricas, enquanto as cenas do satélite *Landsat* 8 passaram por conversão radiométrica (16 para 8 bits). O produto foi utilizado para emprego da Equação 3 do NDVI, descrita abaixo (JENSEN, 1996 apud MELO; SALES; OLIVEIRA, 2011). Posteriormente, o processo de reclassificação do NDVI foi efetuado por meio da extensão *Spatial Analyst Tool* e ferramenta *Reclassify* do *ArcGIS*, resultando nos intervalos e classes expostos na Tabela 5.

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (3)$$

Onde:

NDVI = índice de vegetação por diferença normalizada;

NIR = refletância no comprimento de onda correspondente ao Infravermelho Próximo (0,76 a 0,90 μm para o *Landsat* 5 e 0,85 a 0,88 μm para o *Landsat* 8);

R = refletância no comprimento de onda correspondente ao Vermelho (0,63 a 0,69 μm para o *Landsat* 5 e 0,64 a 0,67 μm para o *Landsat* 8).

Tabela 5 – Intervalos, classes atribuídas e notas ao índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).

Intervalos do SAVI	Classes atribuídas	Notas
0,6 a 0,8	Vegetação com alta atividade fotossintética	1
0,4 a 0,6	Vegetação com média atividade fotossintética	2
0,2 a 0,4	Vegetação com baixa atividade fotossintética	3
0,1 a 0,2	Vegetação com muito baixa atividade fotossintética	4
0 a 0,1	Solo exposto	5
< 0,1	Corpo hídrico	-

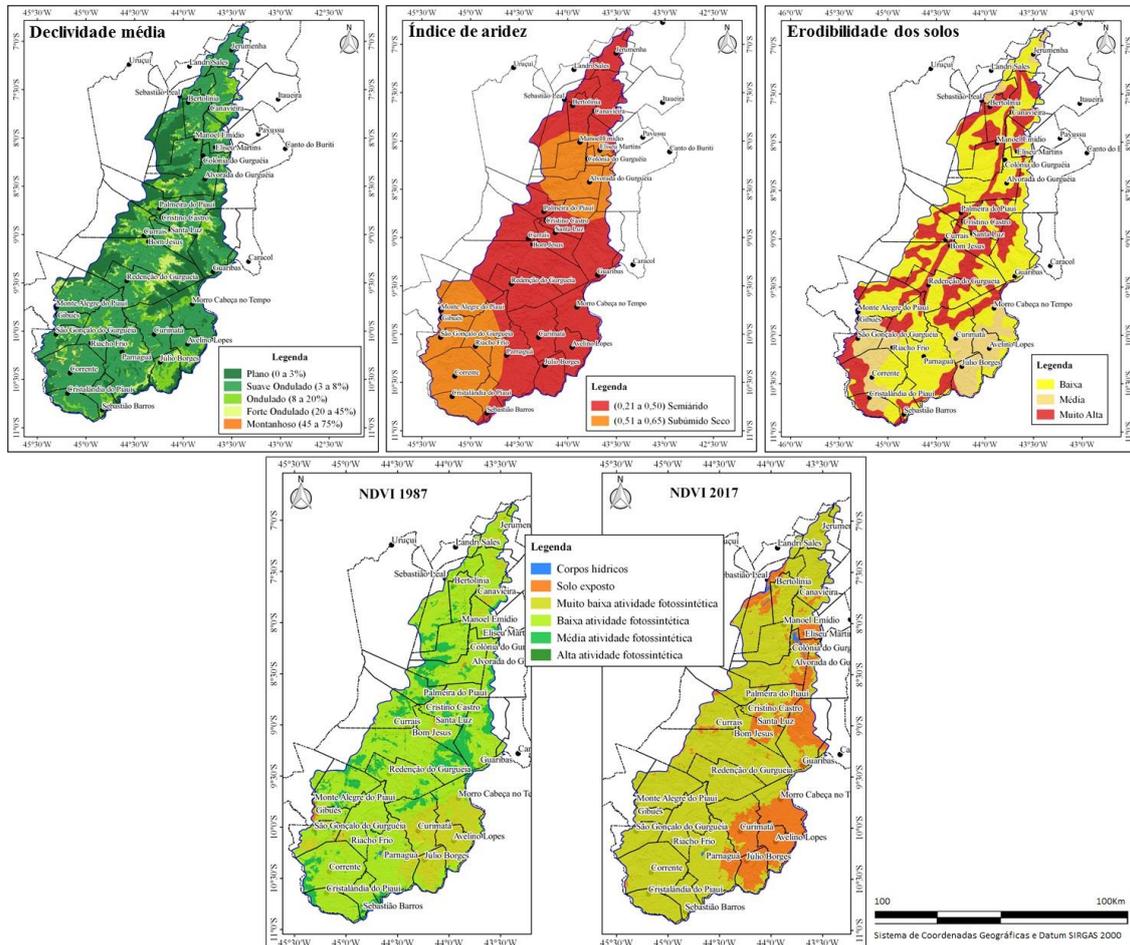
Fonte: Autoras, 2020.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizou-se como parâmetro para o desenvolvimento do IRN os aspectos de declividade, erodibilidade do solo, índice de aridez, e NDVI para os anos de 1987 e 2017

(Figura 2), considerados nesta pesquisa, relevantes para a avaliação da capacidade de resiliência natural desta bacia.

Figura 2 – Mosaico esquemático com as variáveis utilizadas no IRN da BHRG.

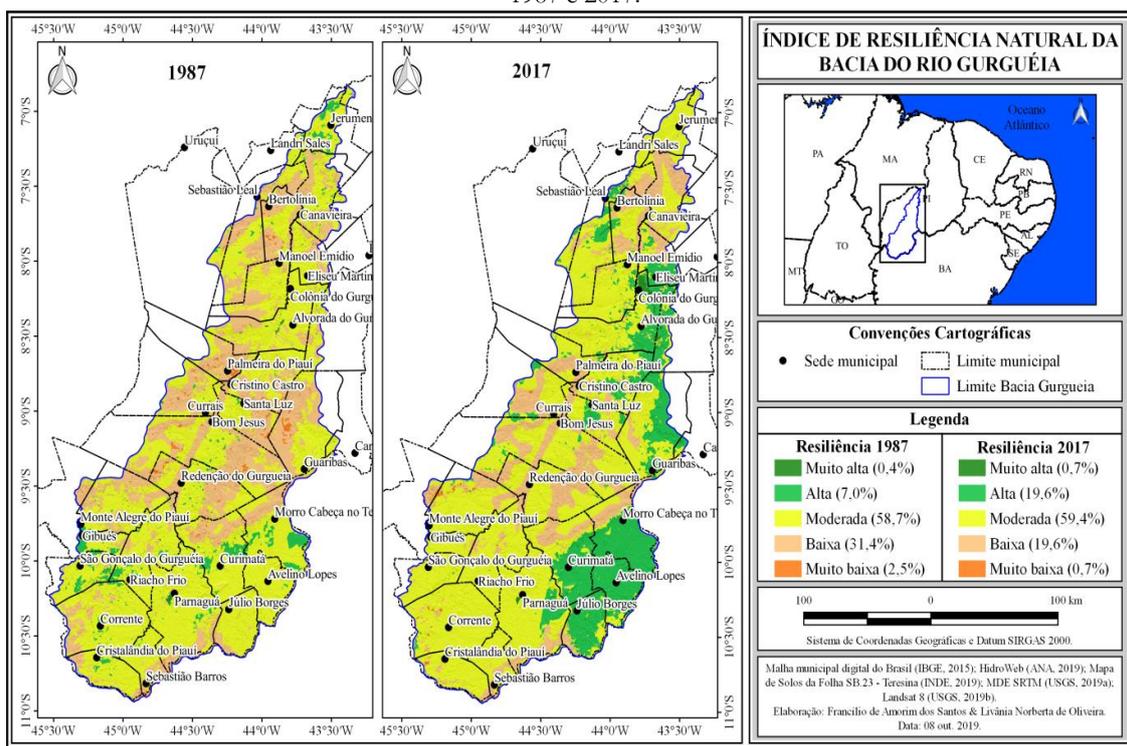


Fonte: Autoras, 2020.

Destaca-se que a declividade média da BHRG apresenta-se de suave ondulado (42,5%) a plano (27,8%). A erodibilidade dos solos resultou de baixa (51%) a muito alta (41%), principalmente nas áreas com predomínio de solos do tipo Neossolos. O Índice de aridez apresentou-se do tipo semiárido (64,4%) e subúmido seco (35,6%). O NDVI para o ano de 1987 classificou-se de médio (35,8%) a muito baixo (31,6%), já para o ano de 2017 foi classificado 73,4% como muito baixo, apresentando 24,4% de solo exposto, em função principalmente da retirada da vegetação devido à expansão da fronteira agrícola na bacia.

Na Figura 3 é possível observar que o IRN ficou classificado em 1987 de moderado (58,7%) a baixo (31,4%), assim como para o ano de 2017, o IRN também resultou de moderado (59,4%) a baixo (19,6%). Entretanto apresentou, também, 19,6% de IRN classificado como alto, a qual está associada às áreas leste e sudoeste da Bacia, que possuem baixa a média erodibilidade, associada aos solos do tipo Latossolo, Luvisolo e Argissolo.

Figura 3 – Índice de resiliência natural da Bacia Hidrográfica do rio Gurguéia, comparação entre os anos de 1987 e 2017.



Fonte: Autoras, 2020.

A porção da Bacia em que o IRN está classificado de baixo a muito baixo, ou seja, com tendência regressiva de recuperação a partir das variáveis analisadas para o ano de 2017, encontram-se nas margens do rio Gurguéia, particularmente nos municípios de Palmeiras, Currais, Bom Jesus, Redenção do Gurguéia e a porção norte dos municípios de Curimatá, Morro Cabeça do Tempo e Monte Alegre do Piauí, onde também ocorre a expansão do agronegócio de grãos na bacia. Desse modo, as formas de exploração dos recursos naturais ao longo do tempo têm comprometido a manutenção das funções do ambiente, sendo importante a gestão adequada destes recursos como forma de manter a sustentabilidade do ambiente para as atividades futuras.

De acordo com o levantamento sistemático da produção agrícola do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2019), as principais culturas temporárias desenvolvidas na microrregião do Alto-Médio Gurguéia em 1987 eram: arroz, feijão, milho, mandioca e cana-de-açúcar. Já no ano de 2017, as principais culturas desenvolvidas nesta mesma área eram: feijão, milho e soja.

A Tabela 6 demonstra a produção total dessas culturas entre os anos de 1987 e 2017 nos municípios que envolvem a BHRG, conforme o IBGE (2019), representando um aumento expressivo da produção de grãos na BHRG.

Tabela 6 – Produção agrícola em toneladas na BHRG nos anos de 1987 e 2017

Cultura/ano	1987 (toneladas)	2017 (toneladas)
Milho	1.756	56.729
Feijão	1.583	20.188
Soja	0	397.926

Fonte: Autoras, 2020.

Observa-se, ainda, que a maior parte da Bacia (59,4%) para o ano de 2017 encontra-se com IRN classificado como moderado, principalmente na porção sul, área que no ano de 1987 apresentava IRN com classificação de alta a muito alta. A mudança constatada pode está associada ao manejo inadequado dos recursos naturais ao longo dos anos, conforme se pode observar na Figura 4 os processos erosivos em solo exposto entre os municípios de Gilbués e Monte Alegre do Piauí, comprometendo a resiliência do ambiente ao longo do tempo, caso não sejam tomadas medidas mitigadoras.

Figura 4 – Processo erosivo no município de Gilbués-Piauí-Brasil em julho de 2019.



Fonte: Autoras, 2019.

Destaca-se, portanto, que na porção norte da Bacia entre os municípios de Alvorada do Gurguéia e Jerumenha, para o ano de 2017, o IRN apresenta-se como moderado a muito alto, porém no ano de 1987 exibe IRN muito baixo a moderado. De acordo com os dados constata-se que os recursos naturais analisados apresentaram capacidade de recuperação ao longo do período analisado em relação às pressões antrópicas sofridas, embora não haja políticas de conservação efetivas desenvolvidas na área.

A mesma observação pode ser feita na porção leste-sudeste da bacia, em que o IRN apresentou classificação de muito alto no ano de 2017, diferentemente do ano de 1987 em que se apresentou de moderado a alto, demonstrando que a bacia apresentava, nestas áreas, capacidade de resiliência a partir dos seus aspectos naturais, sendo, portanto, importante o manejo sustentável do ambiente.

É importante salientar que devem ocorrer intervenções nas áreas com IRN de moderado a baixo, sendo necessária a adoção de medidas mitigadoras dos impactos negativos oriundos das atividades socioeconômicas, tais como: o zoneamento ecológico-econômico, criação de corredores ecológicos e elaboração de planos de manejo (SILVA et al., 2011), visando aumentar o processo de regeneração e restauração das espécies e, dessa forma, evitar a perda da biodiversidade.

Diante desses fatos, que afetam a qualidade ambiental da BHRG como um todo, ações importantes têm sido tomadas, como a criação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Gurguéia, em 22 de março de 2014, com o propósito de desenvolvimento de gestão participativa, para que os atores sociais envolvidos possam garantir maior sustentabilidade da Bacia (MORAIS, 2018). Tendo em vistas que, o rio Gurguéia e seus afluentes estão inseridos em um ecossistema que vem sofrendo pressão negativa com atividades humanas, como o uso e manejo inadequado do solo, desmatamentos, queimadas, garimpagem, extrativismo vegetal e mineral (SOUSA et al., 2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, observa-se que a BHRG vem sofrendo forte influência de ações humanas, ao longo do tempo, principalmente em função da expansão da fronteira agrícola que se estrutura no Sul e Sudeste do Piauí. Nesse sentido, o emprego do índice de resiliência natural da Bacia demonstrou que é possível a recuperação do ambiente, diante das pressões que vem sofrendo durante o período analisado. Porém, é necessário que haja a gestão adequada do manejo dos recursos naturais como forma de manter a sustentabilidade do ambiente a médio e longo prazo.

Destaca-se que o IRN apresentou-se em 1987 de moderado (58,7%) a baixo (31,4%), assim como de moderado (59,4%) a baixo (19,6%) na maior parte da Bacia no ano de 2017, com ocorrência de IRN alto na porção leste e sudeste da área analisada. Contudo, o IRN mostrou classificação baixa nas margens do rio Gurguéia e na porção central da Bacia, devendo para tanto ser desenvolvido um planejamento para o manejo adequado dos recursos naturais a fim de manter a recuperação do ambiente e suas funcionalidades, a curto e médio prazo.

Reitera-se que o IRN, também, pode ser aplicado em outros recortes geográficos, sendo subsídio para o planejamento e gestão ambiental. Salienta-se que os procedimentos metodológicos e os parâmetros de análise podem ser ajustados às diferentes realidades de pressão que o ambiente sofre em função da exploração dos recursos naturais.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Programa Nacional de Pós-Graduação (PNPD/CAPES) pelo financiamento da pesquisa, e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Piauí pelo estágio de Pós-doutorado da primeira autora.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas. **Séries históricas**: ano 2017. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

ALDUNCE, P.; BEILIN, R.; HOWDEN, M.; HANDMER, J. Resilience for disaster risk management in a changing climate: practitioners' frames and practices. **Global Environmental Change**, v. 30, p. 1-11, 2015.

AQUINO, I. O.; RATKE, R. F. . Caracterização da fitofisionomia e de solos na Sub-bacia hidrográfica do Alto Médio Gurguéia por Sistemas de Informações Geográficas - SIG. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFPI, 23., 2014, Teresina. **Anais...** Teresina: UFPI, 2014.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente (MMA). Secretaria de Recursos Hídricos. **Caderno da Região Hidrográfica do Parnaíba**. Brasília: MMA, 2006. 184 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blüncher, 1999. 236 p.

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.

CUTTER, S. The landscape of disaster resilience indicators in the USA. **Natural Hazards**, n. 80, p. 741-758, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1993-2>

CUTTER, S. L.; BARNES, L.; BERRY, M. C.; BURTON, E.; EVANS, E.; TATE, J. Webb. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. **Glob. Environ. Change**, v. 18, p. 598-606, 2008.

CUTTER, S. L.; FINCH, C. Temporal and spatial change in social vulnerability to natural hazards. **PNAS**, n. 105, p. 2301-2306, 2008.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009.

FORDHAM, M.; LOVEKAMP, W. E.; THOMAS, D. S. K.; PHILLIPS, B. D. Understanding social vulnerability. In: THOMAS, S. K.; PHILLIPS, B. D.; LOVEKAMP, W. E.; FOTHERGILL, A. (Ed.). **Social Vulnerability to Disasters**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2013. p. 1-29.

GOVERNO DO PIAUÍ. **Caracterização bacia do Rio Gurguéia**. 2016. Disponível em: <<http://www.ccom.pi.gov.br/download/GURG.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2016.

INFRAESTRUTURA NACIONAL DE DADOS ESPECIAIS. **Mapa de Solos da Folha SB.24 - Jaguaribe**. Disponível em: <<http://www.visualizador.inde.gov.br/>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Malha municipal digital do Brasil**: situação em 2015. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas_digitais/>. Acesso em: 23 jul. 2019.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos cavalos, Crateús-CE. **Revista RA'E GA**, Curitiba, v. 23, p. 520-533, 2011.

MORAIS, R. C. de S. Contribuição metodológica para a elaboração do diagnóstico físico-conservacionista (dfc) em bacias hidrográficas: aplicação na bacia do alto Gurguéia, Piauí (Brasil). 2018. 151 f. **Tese** (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

KLEIN, R. J. T.; NICHOLLS, R. J.; THOMALLA, F. Resilience to natural hazards: how useful is this concept?. **Global Environmental Change**, Part B: Environmental Hazards, v. 1, n. 5, p. 35-45, 2003.

LINKOV, I.; BRIDGES, T.; CREUTZIG, F.; DECKER, J.; FOX-LENT, C.; KRÖGER, W.; LAMBERT, J. H.; LEVERMANN, A.; MONTREUIL, B.; NATHWANI, J. NYER, R.; RENN, O.; SCHARTE, B.; SCHEFFLER, A.; SCHREURS, M.; THIEL-CLEMEN, T. Changing the resilience paradigm. **Nature Climate Change**, n. 4, p. 407-409, 2014.

OLIVEIRA, L. N.; SANTOS, C. L. dos. Planejamento e gestão de riscos em bacias hidrográficas: uma proposta metodológica para prevenção de desastres. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 16., 2015, Teresina. **Anais...** Teresina: UFPI, 2015.

OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. Usuais: programas para uso em análise ambiental. **Revista Equador (UFPI)**, Teresina, v. 5, n. 2, p. 36-60, jan./jun. 2016.

OLIVEIRA, L. N.; AQUINO, C. M. S. de. Definições e aplicações da resiliência na ciência geográfica. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 39, p. 1-13, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.159581>>. Acesso em: 23 jul. 2021.

PARSON, M.; GLAVAC, S.; HASTINGS, P.; MARSHALL, G.; MCGREGOR, J.; MCNEILL, J.; MORLEY, P.; REEVE, I.; STAYNER, R. Top-down assessment of disaster resilience: A conceptual framework using coping and adaptive capacities. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 19, p. 1-11, 2016.

PENMAN, H. L. The Physical Bases of Irrigation Control. In: **Report 13th Int. Hort. Congr.**, 2, 1953. London: Royal Horticultural Society, 1953. 11 pages.

PRIOR, T.; HAGMANN, J. Measuring resilience: methodological and political challenges of a trend security concept. **Journal of Risk Research**, v. 3, n. 17, p. 281-298, 2014.

RAMOS, A.; CUNHA, L.; CUNHA, P. P. Application de la Méthode de l'Analyse Multicritère Hiérarchique à l'étude des glissements de terrain dans la région littorale du centre du Portugal: Figueira da Foz – Nazaré. **Geo-Eco-Trop.**, n. 38, p. 33-44, 2014.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da. **Planejamento e gestão ambiental: subsídios da geocologia das paisagens e da teoria geossistêmica**. Fortaleza: Edições UFC, 2013.

SEMAR. Secretaria do meio ambiente e Recursos hídricos do Piauí. **Plano estadual de recursos hídricos do Estado do Piauí**. Relatório síntese. Teresina: Governo do Estado do Piauí, 2010.

SILVA, E. V. da; RODRIGUEZ, J. M. M.; MEIRELES, A. J. de A. **Planejamento ambiental em bacias hidrográficas: planejamento e gestão de bacias hidrográficas**. Fortaleza: Edições UFC, 2011. (Coleção de estudos, n. 7, tomo 1).

TATE, E. Social vulnerability indices: a comparative assessment using uncertainty and sensitivity analysis. **Nat. Hazards.**, n. 63, p. 325-347, 2012.

THORNTHWAITE, C. W. **Atlas of Climatic Types in the United States**. U.S.: Miscell Publ.; Department of Agriculture; Forest Service, 1941. n. 421.

TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E. Determinação da Fragilidade Ambiental do município de São Carlos, São Paulo, Brasil. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 20, p. 159-167, 2016.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Eds. da UFRGS e da USP, 1993.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Status of desertification and implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification**. Nairóbi: UNEP, 1991.

UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE (Serviço Geológico dos Estados Unidos). **Digital elevation: SRTM 1 Arc-Second Global**. 2019. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 23 jul. 2019a.

_____. **Collection: landsat archive**. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 23 jul. 2019b.

WEICHSELGARTNER, J.; KELMAN, I. Geographies of resilience: challenges and opportunities. **Prog. Hum. Geogr.**, n. 39, p. 249-267, 2015.

Como citar:

ABNT

OLIVEIRA, L. N.; AQUINO, C. M. S. Índice de Resiliência Natural como recurso para planejamento e gestão na sub-bacia hidrográfica do Rio Gurguéia – Piauí. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 8, e202222, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e202222>>. Acesso em: 31 dez. 2022.

APA

Oliveira, L. N., & Aquino, C. M. S. Índice de Resiliência Natural como recurso para planejamento e gestão na sub-bacia hidrográfica do Rio Gurguéia – Piauí. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 8, e202222, 2022. Recuperado em 31 dezembro, 2022, de <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e202222>



This is an open access article under the CC BY Creative Commons 4.0 license.

Copyright © 2022, Universidade Federal do Maranhão.

