

## ÍNDICE DE RESILIÊNCIA NATURAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: O CASO DO BAIXO CURSO DO RIO POTI

**Livânia Norberta de Oliveira**  
Universidade Federal do Piauí – Teresina  
[livaniageo@gmail.com](mailto:livaniageo@gmail.com)

**Lúcio José Sobral Cunha**  
Universidade de Coimbra – Coimbra (PT)  
[luciogeo@fl.uc.pt](mailto:luciogeo@fl.uc.pt)

**Maria Lúcia Brito Cruz**  
Universidade Estadual do Ceará – Fortaleza  
[mlbcruz@gmail.com](mailto:mlbcruz@gmail.com)

**Eugênia C. Pereira**  
Universidade Federal de Pernambuco – Recife  
[verticillaris@gmail.com](mailto:verticillaris@gmail.com)

### RESUMO

O processo de apropriação dos recursos naturais tem ocorrido desrespeitando suas características físico-naturais e capacidade de resiliência. Neste sentido, a determinação de um Índice de Resiliência Natural (IRN) constitui importante ferramenta para a conservação e gestão ambiental. Objetivou-se neste estudo desenvolver um índice para identificar a capacidade de resiliência natural do baixo curso do rio Poti (BCRP) com base nas suas características de declividade, temperatura e tipos do solo, vegetação e recursos hídricos, associando-os às atividades desenvolvidas pela população, consideradas indicadores de pressão para o aumento ou diminuição da resiliência. Utilizou-se do Sistema de Informações Geográficas (SIG) para a interpretação da área e elaboração do IRN através da técnica *fuzzy* do *ArcMap 10.3*. A análise temporal do IRN do BCRP demonstrou ser uma eficaz ferramenta para gestão ambiental, por permitir um diagnóstico da bacia para subsidiar ações que favoreçam a resiliência do ambiente. Na área urbana, o IRN demonstrou-se regressivo, com classificação de baixa a muito baixa. Em contrapartida, na área rural o índice resultou de moderado a alto, perante as formas de uso e ocupação do solo. Constatou-se que a utilização de técnicas sustentáveis de manejo do solo e da vegetação pode favorecer a resiliência do ambiente de curto a médio prazo.

**Palavras-chave:** Recuperação ambiental. Gestão ambiental. Recursos Naturais.

### INDEX OF NATURAL RESILIENCE IN WATERSHEDS. THE CASE OF THE POTI RIVER LOW COURSE

#### ABSTRACT

The process of appropriation of natural resources has occurred without respecting their physical-natural characteristics and resilience. In this regard, the determination of a Natural Resilience Index (NRI) constitutes a relevant tool for environmental conservation and management. This study aimed to develop an index to identify the natural resilience capacity of the Poti river low stream (PRLS) based in aspects of declivity, temperature, soil types, vegetation and hydric resources, associating them to the activities developed by the population, which are considered pressure indicators for the resilience increase or low. To achieve this, the Geographic Information System (GIS) was used to the interpretation of the area and elaboration of the NRI through the fuzzy technique of the *ArcMap 10.3*. The time analysis of the NRI of PRLS has been an effective tool for environmental management, to give a diagnose of the basin in order to assist the actions that promote the environmental resilience. In the urban area, the NRI demonstrated itself regressivo, from low to very low ratings, however, in the urban area the results were from moderate to high in front of the usage instructions and soil occupation. It was noted that the use of sustainable techniques of soil management and the vegetation can promote the restoration of the environment in the short to medium term.

**Keywords:** Environmental recovery. Environmental management. Natural resources.

## INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas de qualquer ordem vêm passando por fortes pressões em face das demandas dos usos dos seus recursos naturais para o desenvolvimento socioeconômico, que muitas vezes vão além da capacidade de resiliência dos seus ecossistemas (Ioris et al., 2008; Almeida e Carvalho, 2010; Asefa et al., 2014; Oliveira e Silva, 2014; Tony et al., 2015; Godoy e Cruz, 2016). Diante disso, as bacias hidrográficas têm sido cada vez mais utilizadas como unidades de gestão na área de planejamento ambiental, na perspectiva da conservação dos recursos naturais. Isto favorece uma abrangência nos estudos que, além dos seus aspectos hidrológicos, envolva também o conhecimento da estrutura biofísica e das mudanças no padrão de uso da terra e suas implicações ambientais (BURBY et al., 2000; NUCCI, 2001; GODOY e CRUZ, 2016).

Dada a importância deste recorte geográfico não só para o estudo das paisagens como também para a gestão do território, optou-se por estudar a capacidade de resiliência de uma bacia hidrográfica, utilizando como área de estudo o baixo curso da bacia do rio Poti (Piauí), a qual possui drenagem do tipo semi-intermitente, assumindo um caráter permanente somente no baixo curso, localizado na porção centro-norte do Estado do Piauí, Nordeste-Brasil.

Conforme Cutter et al. (2008), a resiliência de uma comunidade está intimamente ligada à condição do ambiente e ao tratamento de seus recursos. Tony et al. (2015) ao estudarem a resiliência socioecológica de uma bacia hidrográfica urbana, definiram resiliência como a capacidade de um sistema se adaptar a distúrbios e mudanças, mantendo sua estrutura, funções e processos centrais.

Campos et al. (2013) avaliaram a resiliência dos ecossistemas a partir da capacidade destes em absorver distúrbios, analisando as condições de aridez ocasionadas pelas condições climáticas no início do século XXI, associando-as à disponibilidade anual de água no final do século XX. Constataram uma intrínseca sensibilidade das comunidades vegetais à disponibilidade de água e uma capacidade compartilhada em tolerar a baixa precipitação anual, como também para responder à elevada precipitação anual.

Destaca-se que a comunidade científica tem dado muita atenção ao conceito de resiliência e ao seu método de interpretação, em decorrência dos problemas ambientais, direcionando para o contexto das interações sociedade-natureza. Assim, a resiliência é definida como a capacidade de um sistema absorver perturbações e se reorganizar em pleno funcionamento. Isto inclui não só a capacidade de um sistema em retornar ao estado existente antes das perturbações, mas também de se adaptar e recuperar das pressões sofridas (KLEIN et al., 2003; ADGER et al., 2005; FOLKE, 2006; CUTTER et al., 2008; MUGUME et al., 2015).

Diante do exposto, objetiva-se nesta pesquisa identificar a capacidade de resiliência natural do baixo curso do rio Poti (BCRP) para o período de 1985 e 2015, através dos indicadores de declividade, temperatura e tipos do solo, vegetação e recursos hídricos, associando-os às atividades desenvolvidas pela população, considerada como fator de pressão para o aumento ou diminuição da resiliência natural, e dessa forma analisar o grau de comprometimento do ambiente.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O conceito de bacia hidrográfica é analisado com base no modelo sistêmico dos componentes ambientais, usando como referência os trabalhos desenvolvidos por Bertrand (1972), Ross e Del Prette (1998), Ferreira; Ferreira (2003) e Hoque et al. (2012).

Para definir a resiliência do ambiente utilizaram-se como parâmetros as pesquisas desenvolvidas no contexto histórico desta temática, tendo como referência os estudos de Holling (1973), Hashimoto et al. (1982), Christofolletti (1999), Almeida (2010), Müller et al. (2010 ab), Burkhard et al. (2011), Ponce-Campos et al. (2013) e Mugume et al. (2015).

Nesta pesquisa, a análise integrada visa compreender a dinâmica do conjunto, desde as características do ambiente em estudo, associando as relações mútuas entre os componentes ambientais, utilizando os critérios de Tricart (1977) e de Vicente e Perez Filho (2003). Para tanto, nesta pesquisa procedeu-se a uma análise temporal para o período de 1985 a 2015, com o propósito de averiguar a capacidade de recuperação dos recursos naturais no decorrer do tempo, somada aos aspectos antrópicos no baixo curso do rio Poti. Identificaram-se os componentes constituintes do

ambiente, relevantes na estratégia de recuperação, correlacionando as causas e consequências da transformação e sua capacidade de resiliência.

A etapa do geoprocessamento partiu da organização em bases digitais com a sobreposição e complementação de dados por meio da interpretação das imagens e dos resultados das expedições de campo. Dessa forma, para se chegar a um Índice de Resiliência Natural (IRN) foi feita a análise de aspectos naturais como a declividade, temperatura e tipos do solo como indicador de fertilidade, índice de vegetação e drenagem dos recursos hídricos do baixo curso da bacia do rio Poti. Fez-se a análise de cada indicador, por reagir diferentemente em face dos impactos produzidos pela ocupação antrópica, possuindo capacidade adaptativa singular, diante das intervenções sofridas no período estudado.

Para a geração dos dados cartográficos, foram realizados diversos procedimentos operacionais a partir do *software* ArcMap 10.3, em sua versão gratuita de 60 dias. Os planos de informações foram processados em projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM, com Datum geodésico horizontal SIRGAS 2000, Zona 23 Sul. A escala de representação dos mapeamentos foi na grandeza de 1:500.000.

Os dados de declividade foram obtidos de quatro cenas da imagem de radar do ALOS PALSAR com resolução espacial de 12,5 m. As cenas foram baixadas gratuitamente no site da NASA *Alaska Satellite Facility* (ASF) e foram utilizados os intervalos adotados pela Embrapa (1979).

Para a interpretação pedológica utilizou-se a classificação da EMBRAPA (2011). A temperatura a nível do solo foi extraída a partir das imagens de satélite Landsat 5 e Landsat 8 para o período de 1985 e 2015 com a data do mês de agosto por ser aquele que apresentava melhor qualidade e por corresponder aos objetivos propostos, obtidas gratuitamente no site do INPE. Neste caso foram utilizadas as bandas termais de cada satélite, que passaram por correções atmosféricas e de emissividade para a temperatura estimada do solo.

Para analisar a cobertura vegetal a partir de uma imagem orbital, foi utilizada a base de informação em modo raster dos satélites Landsat 5 e 8 para os anos de 1985 e 2015, da órbita 219, ponto 64, com resolução espacial de 30 metros, obtida em agosto de 2017, com o tratamento na imagem no sistema *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), editando as imagens nos *softwares* *Spring* e ArcMap 10.3.

O NDVI foi estabelecido a partir do cálculo da radiância monocromática aparente, do cálculo da reflectância aparente e, por último, foi feita a correção atmosférica. Após a conversão dos níveis digitais em reflectância bidirecional foram calculados os índices de vegetação (NDVI), segundo a fórmula proposta por Rouse *et al.* (1973), de acordo com a formulação de Huete (1988), a partir das bandas 3, faixa do vermelho (VER), e 4, faixa do infravermelho (NIR) (Equação 1).

$$NDVI = \frac{NIR - VER}{NIR + VER} \quad (1)$$

Para analisar a variabilidade de precipitação do rio Poti em seu baixo curso e melhor avaliar a disponibilidade hídrica, analisou-se a série histórica entre 1980 e 2015, caracterizando a base deste comportamento para a sustentabilidade dos sistemas aquáticos e a resiliência do ambiente. Para alcançar esse propósito, utilizaram-se dados anuais de precipitação, obtidos junto da ANA através do sistema Hidroweb, bem como junto da CPRM e do INMET, instituições que realizam o monitoramento das estações pluviométricas localizadas na área de estudo que possuem dados para o período em análise (Quadro 1).

Quadro 1 - Localização das estações pluviométricas no baixo curso do rio Poti.

Estação	Código	Nome da Estação	Município	Empresa	Latitude	Longitude
01	542008	Prata do Piauí	Prata do Piauí	CPRM	-05:51:30"	-042:26:07"
02	A312	Teresina	Teresina	INMET	-05°05'00"	-042°49'00"

Fonte: CPRM, 2016.

Para análise da capacidade de resiliência natural do BCRP optou-se por utilizar a lógica *fuzzy* por reduzir a propagação de erros nos modelos lógicos, proporcionando resultados mais confiáveis, quando comparados com os da utilização da classificação booleana (Bressan et al., 2006; Paula e Souza, 2007; Meirelles et al., 2007; Souza et al., 2009, Pinheiro, 2017). Conforme Meirelles et al. (2007), matematicamente o conjunto *fuzzy* é definido pela Equação 2:

$$A = \{ (x, \mu A (x) ) \}, x \in X \quad (2)$$

Onde:

$X = (x)$  referente ao universo de atributos;

$\mu A (x)$  = função de pertinência;

Esse processo diferencia a lógica *fuzzy* das outras técnicas, tendo em vista que o valor pode apresentar-se num intervalo de 0 a 1, e admitir a possibilidade de pertinência parcial, bem como a lógica clássica segue valores fixos.

Para a ponderação e definição dos valores da função de pertinência fuzzy, foi utilizado o método AHP que consiste na lógica de comparação pareada desenvolvida por Saaty (1991) apud Santos; Cunha; Cunha (2014). O valor de julgamento expressa a importância relativa entre os elementos que sintetizam o valor de membro funcional em uma escala de razões (Meirelles et al., 2007; Corseuil e Campos, 2007; Ramos, Cunha e Cunha, 2014; Pinheiro, 2017).

Com base nesta escala, é elaborada uma matriz de pesos para cada variável e calculada a Razão de Consistência (RC), que é a relação entre o índice de coerência (IC) e um índice de coerência aleatório (CA), e que indica se a razão estimada pela matriz é consistente ou aleatória (Tabela 1). Saaty (1991) apud Ramos, Cunha e Cunha (2014) sugere que uma medida de boa consistência deve ser igual ou menor que 0,10 para ser considerada aceitável.

Tabela 1 - Valor CA com função da ordem Matriz.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Fonte: Saaty (1991) apud Ramos; Cunha; Cunha (2014).

Regista-se que cada plano de informação apresenta valores de pertinência diferenciados dentro do modelo. Assim, as Tabelas 2 a 5 demonstram a importância relativa conferida a cada uma das variáveis usadas para o IRN. Para a ponderação das classes utilizaram-se valores empíricos já consolidados na literatura onde próximos de “0” significam classes menos frágeis e mais resilientes, já os próximos a “1” mais frágeis ambientalmente, ou seja, menos resilientes.

Tabela 2 - Importância relativa das classes de declividade através do método AHP de Saaty.

Classe	Importância relativa (AHP)
0-3 %	0,02
3-8 %	0,05
8-20 %	0,11
20-45 %	0,18
45-75 %	0,24
>75 %	0,40

RC: 0,062

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1997).

Tabela 3 - Importância relativa às classes de temperatura do solo através do método AHP de Saaty.

Temperatura do solo (°C)	Importância relativa (AHP)
6-20	0,03
20,1-25	0,04
25,1-30	0,07
30,1-35	0,14
35,1-40	0,26
40,1-45	0,46

RC: 0,061

Fonte: Autores, 2018.

Tabela 4 - Importância relativa às classes do NDVI através do método AHP de Saaty.

NDVI	Importância relativa (AHP)
Corpo Hídrico	0,06
Vegetação densa	0,07
Vegetação Intermediária	0,10
Vegetação Aberta	0,27
Solo Exposto	0,57

RC: 0,078

Fonte: Autores, 2018.

Tabela 5 - Importância relativa às classes do solo através do método AHP de Saaty.

Classificação	Importância relativa (AHP)
Plintossolo Pétrico Concrecionário	0,03
Plintossolo Argilúvico Distrófico	0,06
Latossolo Amarelo Distrófico	0,13
Neossolo Fluvico Eutrófico	0,26
Neossolo Litólico Distrófico	0,51

RC: 0,061

Fonte: Adaptado de Ross (1994); EMBRAPA (2014).

Com todos os planos de informações tratados, foi possível fazer a integração das variáveis no modelo. A integração ocorreu através da utilização do operador de Soma Algébrica *Fuzzy* do ArcMap 10.3.

Para a aplicação do Índice de Resiliência Natural (IRN), foram considerados os atributos da declividade média, da pedologia, da temperatura do solo e do índice de vegetação -NDVI (Equação 3), proporcionando identificar a resiliência natural do BCRP em 1985 e em 2015. Essa etapa é de fundamental importância para compreender a dinâmica natural do ambiente através dos atributos articulados.

$$\text{IRN} = (\text{Dm} \cdot \text{id} + \text{Ped} \cdot \text{ip} + \text{TempS} \cdot \text{it} + \text{NDVI} \cdot \text{in}) \quad (3)$$

Onde:

IRN = Índice de Resiliência Natural;

ix= Importância relativa AHP de cada variável

Dm = Declividade Média;

Ped= Pedologia;

TempS = Temperatura do solo;

NDVI = Índice de Vegetação Ajustado ao Solo.

Os pesos das variáveis foram obtidos considerando a importância relativa para a definição da resiliência natural com o auxílio da técnica AHP (Tabela 6) que consiste, na lógica de comparação pareada (Meirelles et al., 2007; Pinheiro, 2017). Para tal, baseou-se no conhecimento empírico já

existente desenvolvido por Spörl; Ross (2004), Ross (1994), Bispo et al. (2011) e Massa; Ross (2012), a respeito das fragilidades ambientais.

Tabela 6 - Importância relativa (AHP) das variáveis ambientais utilizadas para avaliar a resiliência natural no BCRP.

Variável ambiental	Importância relativa (AHP)	
Temperatura do solo	0,05	
Declividade	0,11	
Pedologia	0,24	
NDVI	0,60	RC:0,036

Fonte: Adaptado de Saaty (1991) *apud* Ramos, Cunha e Cunha (2014).

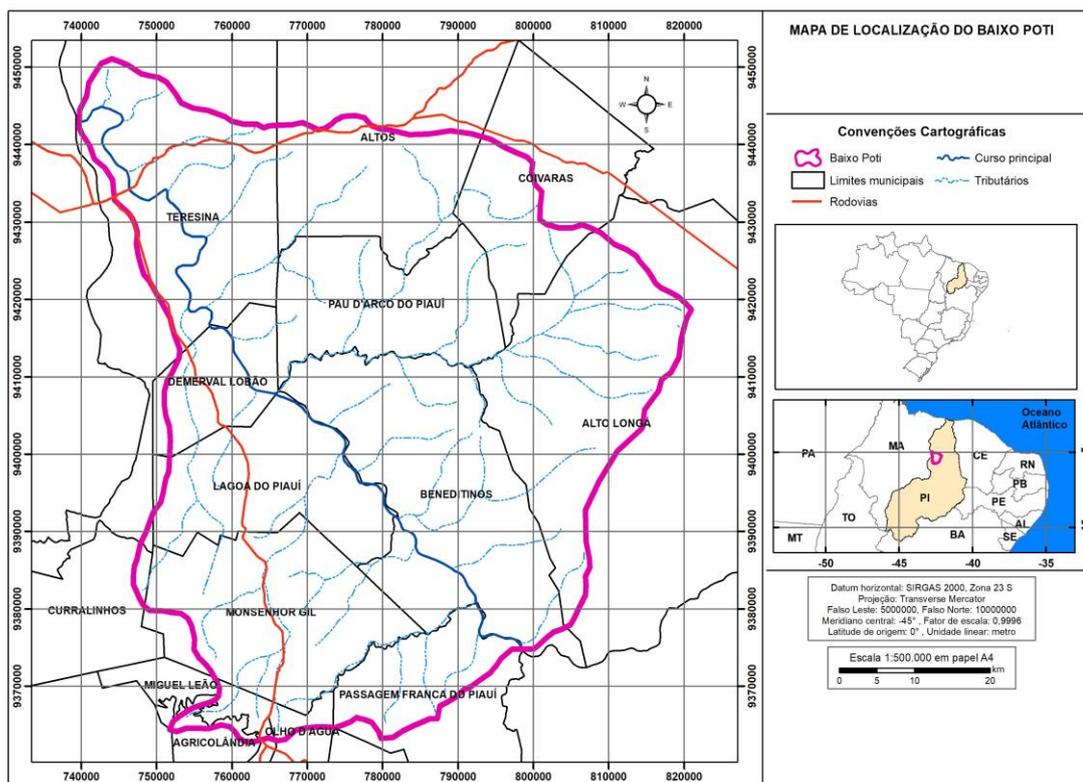
Após os cruzamentos dos dados foi gerada uma imagem monocromática em formato *Tagged Image File Format*, que posteriormente foi classificada utilizando cinco classes para avaliar a capacidade de resiliência natural do ambiente, diante das formas de uso e alterações ambientais nos anos de 1985 e 2015.

A partir daí realizou-se uma álgebra de mapas para comparação dos anos de 1985 e 2015, correlacionando os valores de cada camada, resultando no Índice de Resiliência Natural da bacia e na identificação das áreas que evoluíram de forma negativa e positiva.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O baixo curso do rio Poti (BCRP), localiza-se na porção Centro-Norte do Estado do Piauí (Figura 1). Para delimitação da área de estudo levou-se em consideração principalmente a drenagem do rio Poti a partir do trecho em que este se torna perene, a qual possui aproximadamente 4.600 km<sup>2</sup>, correspondendo a cerca de 11,30% do total da bacia hidrográfica (Figura 1).

Figura 1 - Localização e drenagem do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Poti, Piauí (Brasil).



Fonte: Autores, 2018.

O relevo do BCRP caracteriza-se por ser do tipo ondulado a suave ondulado, apresentando predomínio da declividade entre 3 e 20%. Quanto à estrutura geomorfológica é caracterizada por ser do tipo aplainado degradada, com predomínio de superfícies aplainadas conservadas, com altimetria entre 100 e 200 metros. As formas modeladas se apresentam com encostas retilíneas e topos horizontais, ocorrendo ora agrupadas, ora isoladas (OLIVEIRA, 2018).

Quanto à pedologia no BCRP, conforme a EMBRAPA (2010), verifica-se o predomínio de solos do tipo Plintossolo Argilúvio distrófico (38%), com maior presença no setor SE-N, entre os Municípios de Beneditinos e Altos. Seguido do tipo Plintossolos Pétricos concrecionários (25%) presente de SO-NO entre os Municípios de Miguel Leão à Teresina. Já o solo do tipo Neossolos Litólicos representa 20% da área, é predominante entre os Municípios de Lagoa do Piauí e Passagem Franca do Piauí, com presença também nos municípios de Beneditinos, Alto Longá, Pau D'arco do Piauí e Demerval Lobão, sendo utilizado como substrato para pastagem natural e cultivos de subsistência em áreas planas, por ter alta fertilidade natural, quando derivados de rochas básicas e/ou de calcários (EMBRAPA, 2014). Na área de estudo, o Latossolo amarelo corresponde a 15% da área, é predominante no município de Teresina. Está associado aos relevos planos, favorável à mecanização agrícola, entretanto, o de nível distrófico apresenta baixa fertilidade, e quando em estado de baixa umidade ou seco é muito duro ou extremamente duro, além de ser muito profundo e uniforme nos aspectos de cor, textura e profundidade (EMBRAPA, 2014).

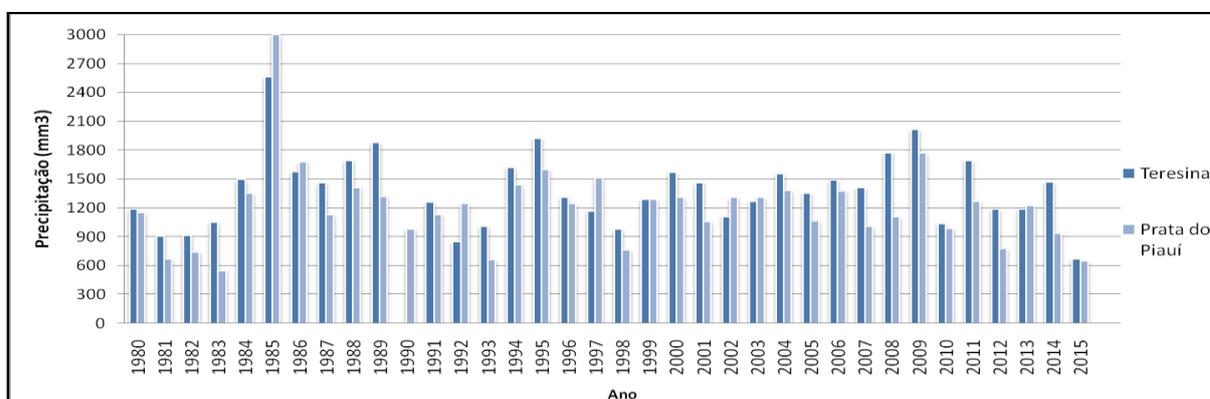
A cobertura vegetal do BCRP reflete as condições climáticas e pedológicas da área, apresentando transições vegetais entre caatinga, cerrado e floresta de babaçu. Destaca-se que a vegetação do tipo cerrado é predominante, a qual está associada à floresta subcaducifólia, com forte ocorrência de babaçu (*Attalea speciosa Mart.*). Há também uma extensa área antropizada, com vegetação secundária e áreas de desmatamento, bem como pastagens ou tratos agrícolas de ciclo curto ou longo, muito comuns nos municípios da área em pesquisa (MMA, 2006).

Quanto ao aspecto climático do baixo curso do rio Poti, encontra-se na faixa de transição entre o clima úmido amazônico, a oeste, e o semiárido, a leste. As temperaturas máximas anuais são na faixa de 34 a 36°C e as mínimas anuais entre 20 e 22°C (LIMA e AUGUSTIN, 2014).

Dentre os determinantes de chuva na região Nordeste e na área em questão, é marcante a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), pelo que a estação chuvosa concentra-se de janeiro a maio com máximos de precipitação durante março e abril, meses nos quais a ZCIT atua de forma mais sistemática (Ferreira e Mello, 2005).

A partir dos dados pluviométricos disponibilizados pela CPRM, verificou-se que no BCRP a precipitação média anual é da ordem de 1.250 mm (Figura 2). No ano de 1985 houve o maior volume de chuva com um registro de 2.750 mm, em contraste com o ano de 2015 que apresentou o menor volume de precipitação com um valor de 650 mm. Essa instabilidade do volume pluviométrico reflete-se diretamente na drenagem e nos aspectos da vegetação da área.

Figura 2 - Precipitação anual do BCRP - Piauí entre os anos de 1980 e 2015.



Fonte: ANA, 2016.

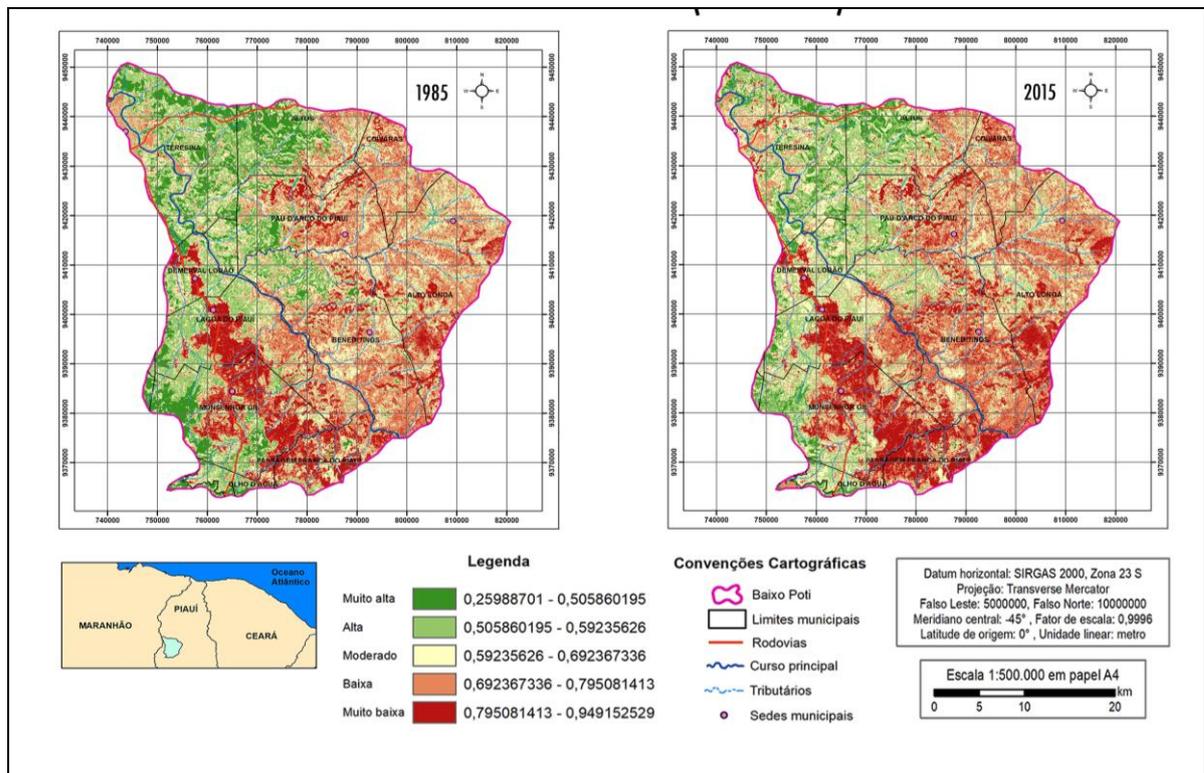
Quanto à sazonalidade das chuvas do BCRP, o trimestre fevereiro-março-abril apresenta-se como mais chuvoso, com aproximadamente 56% do total anual, destacando-se o mês de março, com cerca

de 23% do total anualmente precipitado. O trimestre mais seco é o de julho-agosto-setembro, em que chove apenas cerca de 3% do total anual.

Observou-se também nas visitas de campo que a perenidade do rio Poti em seu baixo curso é condicionada principalmente pelas nascentes existentes na área, tornando-se assim necessário seu manejo adequado, sob pena de comprometer a sustentabilidade e resiliência desse ecossistema e do ambiente como todo.

Desta forma, para elaborar o Índice de Resiliência Natural (IRN) do baixo curso do rio Poti, fez-se o cruzamento dos aspectos da declividade média, da pedologia, da temperatura do solo e do índice de vegetação - NDVI, o que possibilitou identificar a resiliência natural a partir das alterações ocorridas na área nos anos de 1985 e 2015 (Figura 3), para melhor compreender a dinâmica natural do ambiente através dos atributos articulados.

Figura 3 - Índice de Resiliência Natural do baixo curso do rio Poti em 1985 e 2015.



Fonte: Autores, 2018.

No período analisado, o IRN de baixo a muito baixo aumentou aproximadamente 21 mil hectares, o que corresponde a 5,6% da área de S-NE, está associada às áreas urbanas, como em Teresina que se expandiu neste período, e de solo exposto devido o tipo da vegetação de menor porte na área rural onde há o desenvolvimento da agricultura e pastagem. Em contraste, o IRN reduziu-se em cerca de 33 mil hectares (8,7% da área), para a classe de alta a muito alta, que está associada à área de maior cobertura vegetal, no município de Monsenhor Gil à Altos, na parte SO e N da bacia. Destaca-se que a classe moderada aumentou também o correspondente a 8 mil hectares, estando associada à retirada da vegetação primária, com tendência a diminuir a resiliência natural, caso não haja ações preventivas e de recuperação da área afetada, tendo em vista os aspectos do solo e vegetação existentes.

Destaca-se que o solo do tipo Plintossolo, predominante na bacia na margem direita do rio entre Beditinos e Altos com IRN de baixo a muito baixo, apresenta baixa fertilidade natural, pedregosidade e camadas de impedimento, com baixa disponibilidade de água quando concrecionário, possuindo dessa forma, potencial de médio a baixo para agricultura. Entretanto,

observa-se na área em estudo, que a população utiliza esse tipo de solo para culturas agrícola temporárias, deixando-o mais vulnerável e reduzindo sua capacidade de resiliência no decorrer do tempo (EMBRAPA, 2014).

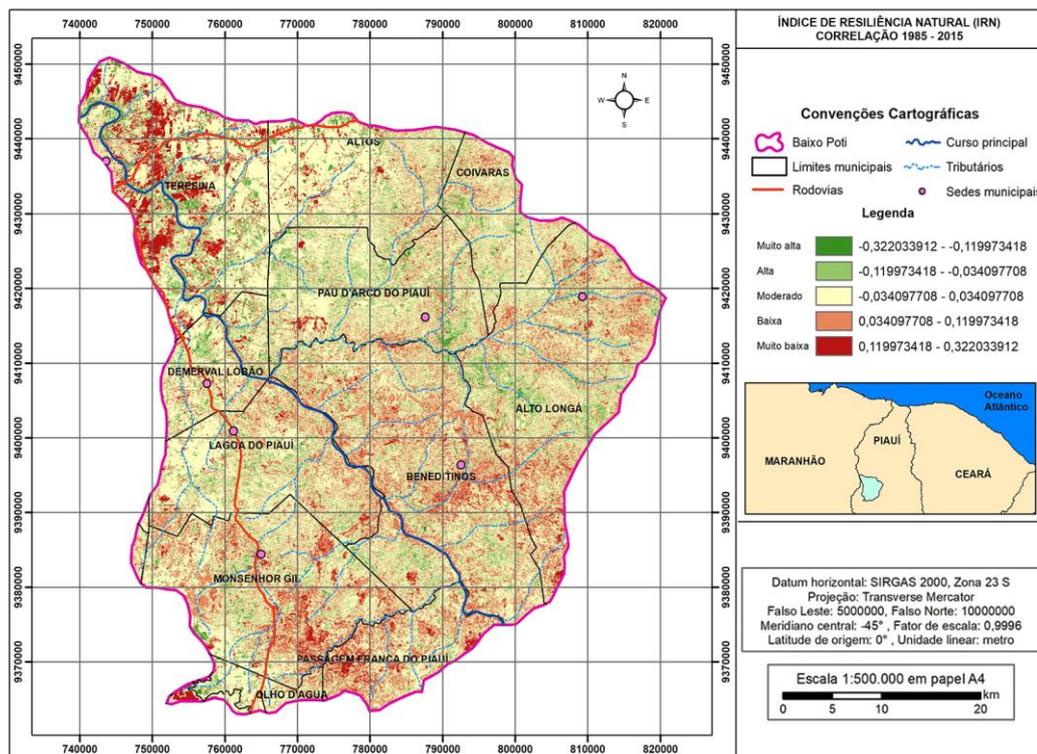
A resiliência do solo está relacionada com a sua qualidade e seu grau de recuperação das funções apesar de sofrer perturbações (Pimm, 1984; Herrick e Wander 1998; Seybold et al., 1999). Dessa forma, a redução na capacidade de função define o grau de resistência do solo.

Seybold et al. (1999) salientaram que, se o solo for frágil ou sofrer perturbação muito drástica, pode sofrer uma degradação irreversível na sua capacidade de função que não vai se recuperar dentro de qualquer prazo razoável (por exemplo, tempo de vida humana). Em tais casos, excede-se a capacidade de resiliência do solo, resultando em danos permanentes ou na necessidade de restauração onerosa.

Destaca-se que na área de estudo a vegetação do tipo cerrado é predominante, a qual está associada à floresta subcaducifólia, com forte ocorrência de babaçu. Há também uma extensa área antropizada, com vegetação secundária e áreas de desmatamento, bem como pastagens ou tratos agrícolas de ciclo curto ou longo (MMA, 2006).

Diante disso, para melhor interpretar o IRN do BCRP, fez-se a comparação dos efeitos para os anos de 1985 e 2015, subtraindo os valores dos dois mapas a fim de observar as áreas na bacia que reagiram de forma positiva e negativa neste período (Figura 4).

Figura 4 - RN entre 1985-2015 do baixo curso do rio Poti-Piauí.



Fonte: Autores, 2018.

Verifica-se na Figura 4 que no BCRP o IRN apresenta-se predominantemente moderado (56%), seguido da classificação baixo (25%) e muito baixo (6%), principalmente na área correspondente à cidade de Teresina. Ou seja, na capital o IRN apresenta-se semelhante na área semiurbana e rural e com diminuição forte da resiliência no seu núcleo. Dessa forma, no ambiente urbano, a capacidade

de resiliência natural diante das formas de uso da terra foi diagnosticada como regressiva, por sofrer maior pressão pelo desordenamento territorial, através do uso e ocupação irregular do solo e exploração dos recursos naturais.

Observa-se em muitas áreas de Teresina que o traçado dos loteamentos e de conjuntos habitacionais foi estabelecido sem levar conta as formas de relevo, ocasionando o desmatamento de grandes áreas e traçando ruas sem obedecer às curvas de nível, descendo vertentes e cortando fundos de vales indiscriminadamente, sem um plano que inclua obras de contenção pluvial e áreas de proteção, o que provoca o desencadeamento de processos erosivos e alguma instabilidade nas construções, além da degradação da paisagem e altos custos financeiros e sociais, tornando-se regressiva a capacidade de resiliência natural do ambiente perante essas condições.

A atividade extrativa mineral, realizada na margem do rio Poti, com maior intensidade nas proximidades da cidade de Teresina, somada a outras intervenções antrópicas na área, tem provocado desmatamentos, comprometendo a biota existente e a resiliência natural.

Machado et al. (2010) ao analisarem o índice de cobertura vegetal/habitante em Teresina, calculado em m<sup>2</sup>/habitante, observaram que houve uma redução aproximada de 13 km<sup>2</sup> de cobertura vegetal na zona urbana da cidade, em consequência do aumento populacional e do crescimento da capital, que possui uma baixa cobertura do sistema público de esgotamento sanitário, que apenas atende cerca de 17% da população urbana (Oliveira; Silva, 2014). Tal circunstância induz os habitantes ao uso de alternativas para o esgotamento sanitário de seus domicílios, como a adoção das fossas sépticas e o lançamento de esgotos *in natura*, a céu aberto nas vias públicas, conectadas às galerias de drenagem urbana, para posterior lançamento destes efluentes nos cursos d'água, tidos como receptores.

Estes pressupostos indicam dois tipos de riscos graves para o ecossistema aquático. O primeiro é que o deficiente sistema de esgotamento sanitário, leva ao uso intenso de fossas sépticas que polui o sistema aquífero (oliveira; Silva, 2014); o segundo é que os poluentes da drenagem urbana despejada no rio Poti, que possui na maior parte do ano uma baixa frequência de vazão em decorrência das condições climáticas da bacia, favorece a eutrofização do rio no período de estiagem. Com isso, a capacidade de resiliência mostrou-se regressiva no decorrer do tempo e assim continuará caso não seja aplicado um plano de gestão sustentável desse ecossistema.

Observa-se ainda na Figura 4, que a margem esquerda do rio Poti apresenta predomínio da resiliência semelhante entre os dois anos considerados, com áreas de IRN alto, principalmente onde a vegetação se apresenta menos antropizada, entre o município de Lagoa do Piauí e Demerval Lobão. Entretanto, o IRN piorou bastante nas áreas de solo exposto, nos municípios de Passagem Franca e Monsenhor Gil, que apresentam, também, resiliência ambiental regressiva. Neste trecho as áreas são predominantemente rurais, com baixa densidade demográfica, com a atividade agrícola familiar sendo a principal fonte de renda da população, que muitas vezes utiliza das margens do rio para cultivo.

Destaca-se também, que nesta área há predomínio do solo do tipo Neossolos Litólicos, caracterizados por serem solos jovens e pouco desenvolvidos. Todavia, algumas áreas apresentam limitações ao uso agrícola devido a baixa profundidade e pequena capacidade de armazenamento de água, associada à pedregosidade generalizada com alta suscetibilidade à erosão (Melo, 2008; Santos e Aquino, 2009). Dessa forma, a sua indicação principal é para preservação ambiental.

Em Demerval Lobão a sedimentação fluvial é intensa e abrange o leito regular do rio Poti, onde forma grandes bancos de areia, como pequenas ilhas ocupadas de vegetação natural. Isso ocorre principalmente devido ao desmatamento das margens do rio para a prática da cultura de vazante de milho, melancia e arroz, dentre outras (Figura 5). Tal atividade ocorre em decorrência destas áreas apresentarem solos propícios para desenvolvimento da agricultura de ciclo curto. Contudo, o manejo inadequado dos recursos naturais, na margem do rio, oferece riscos e implica na capacidade negativa de resiliência do ambiente.

Figura 5 - Cultura de vazante no município de Demerval Lobão-Piauí em julho de 2015.



Fonte: Autores, 2018

Observa-se também, que na margem direita do rio Poti, na área correspondente ao município de Beneditinos e no Sul de Alto Longá o IRN piorou ligeiramente em comparação com as áreas de Pau D'arco a Altos que mostra uma ligeira melhoria (progressivo), tendo em vista a existência de áreas preservadas, embora se observe uma redução do índice de vegetação. Todavia, a área NE da bacia entre Alto Longá e Coivaras constata-se maior índice de vegetação com IRN a piorar. Destaca-se que esta área também é predominantemente rural, que predomina a prática rudimentar utilizada no manejo do solo para a agricultura familiar.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise temporal comparativa do IRN do baixo curso do rio Poti, demonstrou ser uma eficaz ferramenta para gestão ambiental, por permitir um diagnóstico da bacia para subsidiar ações que favoreçam a resiliência do ambiente, que também pode ser aplicado em outros recortes geográficos para ações de planejamento e gestão ambiental.

Verifica-se que a resiliência ambiental da área do baixo curso do rio Poti está associada principalmente à exploração antrópica, tanto na área rural, quanto na área urbana. Na área urbana o índice de resiliência natural demonstrou ser regressivo, o mesmo acontecendo em grande parte da área rural, por haver maior pressão sobre os recursos naturais existentes, diminuindo sua capacidade de recuperação diante das formas de uso e ocupação do solo.

Constatou-se também que o baixo curso do rio Poti apresenta-se predominantemente rural, com uma variação do IRN classificada de no sentido do aumento ligeiro, nas áreas de menor densidade demográfica e maior índice de vegetação, bem como, por apresentar menor pressão sobre os recursos naturais, havendo ainda áreas preservadas, embora se registre alguma retirada da vegetação para a prática da agricultura pelos pequenos produtores, principalmente nas margens do rio e seus tributários. Destaca-se que nas áreas rurais com predomínio de solo exposto o IRN resultou regressivo diminuindo também ligeiramente de moderado a baixo.

A utilização de técnicas sustentáveis de manejo do solo e da vegetação pode favorecer a recuperação do ambiente de curto a médio prazo, sendo, contudo, necessário o acompanhamento de profissionais para que se alcance a recuperação adequada dos recursos naturais e a resiliência do ambiente, sendo o solo, a vegetação e os recursos hídricos importantes componentes na resiliência do ambiente numa bacia hidrográfica.

Outra ação necessária para alcançar a resiliência natural do ambiente é buscar controlar a erosão, com práticas que reponham os elementos nutritivos, controlem a combustão de matéria orgânica, diminuam a lixiviação, controlando, as causas de depauperamento do solo.

A maneira sustentável de manejo do solo com o propósito de manter sua capacidade de resiliência deve ocorrer de forma que a demanda de insumos não exceda a sua capacidade natural de

regeneração, mesmo com o uso de técnicas rudimentares. Por isso, torna-se um dos grandes desafios da atualidade, que é aumentar a produção da terra sem provocar sua exaustão.

Verificou-se também, que a supressão da vegetação ribeirinha ocasiona grandes impactos como a erosão nas margens, provocando a perda de grandes volumes de solo em taludes do rio, o que traz prejuízos socioeconômicos para os pescadores, devido à diminuição e/ou desaparecimento do peixe, bem como prejuízos ambientais como assoreamento do rio, com a redução da macro e microbiota que se instala dentro e fora do rio, comprometendo os benefícios ambientais promovidos pelo rio Poti, que garante a sua necessária resiliência e equilíbrio dinâmico.

Diante das formas de uso e manejo dos recursos naturais na área do baixo curso do rio Poti, verifica-se ser possível aumentar ou, pelo menos, limitar fortemente a perda de resiliência natural do ambiente, desde que haja um plano de gestão que trate do controle preventivo dos seus recursos naturais, devendo estar associadas ao manejo adequado do solo, da água superficial e subterrânea e da vegetação.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio da CAPES através do Programa de doutorado Sanduíche no Exterior e da FACEPE pela bolsa de Pós-graduação na modalidade doutorado na UFPE. Um dos autores agradece ao CNPq pela bolsa de Produtividade em Pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ASEFA, T.; CLAYTON, J.; ADAMS, A.; ANDERSON, D. Performance evaluation of a water resources system under varying climatic conditions: Reliability, Resilience, Vulnerability and beyond. **Journal of Hydrology**. N. 508. p. 53–65. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169413007725>>. Acesso em: 26 jan. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.10.043>
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente (MMA). Secretaria de Recursos Hídricos. **Caderno da Região Hidrográfica do Parnaíba**. Brasília, 2006. 184 p.
- BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global**. Esboço Metodológico. Caderno de Ciências da Terra. N.13. São Paulo: Instituto de Geografia. USP, 1971.
- BRESSAN, G. M.; KOENIGKAN, L. V.; OLIVEIRA, V. A.; CRUVINEL, P. E.; KARAM, D. Sistema de classificação fuzzy para o risco de infestação por plantas daninhas considerando a sua variabilidade espacial. **Planta daninha**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 359-364, June 2006. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-83582006000200004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582006000200004&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 27 Oct. 2017. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582006000200004>
- BISPO, P.da C.; ALMEIDA, C.M. de; VALERIANO, M de M.; MEDEIROS, J.S. de; CREPANI, E. Análise da suscetibilidade aos movimentos de massa em São Sebastião (SP) com o uso de métodos de inferência espacial. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 30, n. 3, p. 467-478, 2011. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/7188>>. Acesso em: 27 Oct. 2017.
- BURBY, By R. J.; DEYLE, R. E.; GODSCHALK, D.R.; OLSHANSKY, R.B. Creating hazard resilient communities through land-use planning. **Nature Hazards Review**. v.1. p.99-106. 2000. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/248880375\\_Creating\\_Hazard\\_Resilient\\_Communities\\_through\\_Land-Use\\_Planning](https://www.researchgate.net/publication/248880375_Creating_Hazard_Resilient_Communities_through_Land-Use_Planning)>. Acesso em: 17 de Nov. 2014, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2000\)1:2\(99\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2000)1:2(99))
- BURKHARD, B.; FATH, B. D.; MÜLLER, F. Adapting the adaptive cycle: hypotheses on the development of ecosystem properties and services. **Ecological Modelling**, 222, p. 2878–2890, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380011002961>>. Acesso em: 17 de Nov. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.05.016>
- CAMPOS, G. E.P.; MORAN, M. S.; HUETE, A.; ZHANG, Y.; BRESLOFF, C.; HUXMAN, T. E.; EAMUS, D.; BOSCH, D. D.; BUDA, A. R.; GUNTER, S. A.; SCALLEY, T. H.; KITCHEN, S. G.;

MCCLARAN, M. P.; MCNAB, W. H.; MONTOYA, D. S.; MORGAN, J. A.; PETERS, D. P. C.; SADLER, E. J.; SEYFRIED, M. S.; & STARKS, P. J. Ecosystem resilience despite large-scale altered hydroclimatic conditions. **Nature**. Nº.350.Vo I. 494. February, 2013. Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/journal/v494/n7437/full/nature11836.html>>. Acesso em Nov. 2014, <https://doi.org/10.1038/nature11836>

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979. 106 p.

\_\_\_\_\_. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher. 236p., 1999

CORSEUIL, C. W. CAMPOS, S. Análise de adequação do uso das terras por meio de técnicas de geoprocessamento e de análise de multicritérios. ANAIS XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Florianópolis, 2007, INPE, p. 2471 – 2478.

CUTTER, S. L.; BARNES, L.; BERRY, M.; BURTON, C.; EVANS, E.; TATE, E.; WEBB, J. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. **Global Environmental Change**. Nº.18. 2008. p. 598–606. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378008000666>>. Acesso em: 15 de Nov.2016. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

\_\_\_\_\_. **Solos do Nordeste**. Recife, 2014.

\_\_\_\_\_. Embrapa Semiárido. **Sistemas de Produção**, 6ª Versão Eletrônica. 2010. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melancia/SistemaProducaoMelancia/solos.htm>>. Acesso em: 15 de abr. 2015.

FARRALL, M. H. O conceito de Resiliência no contexto dos sistemas socio-ecológicos. **Ecologi@**. n.6, p.50-62, 2012. Disponível em: <[https://www.speco.pt/images/Artigos\\_Revista\\_Ecologia/revistaecologia\\_6\\_art\\_3\\_2.pdf](https://www.speco.pt/images/Artigos_Revista_Ecologia/revistaecologia_6_art_3_2.pdf)>. Acesso em: 15 de Nov. 2016

FERREIRA, J.; FERREIRA, M. A. H. **Bacias Hidrográficas e Gestão Ambiental**. Bagé: URCAMP, 97 p., 2003.

FERREIRA, A. G. F.; MELLO, N. G. da S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, V. 1, Nº 1. Ceará, 2005. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25215/16909>>. Acesso em: 15 de Nov. 2016, <https://doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25215>

FOLKE, C.; CARPENTER, S.; ELMQVIST, T.; GUNDERSON, L.; HOLLING, C. S.; WALKER. Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformation. **Ambio**. v.31, n.5, p.437–440, 2002. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.629.3759&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 15 de Nov. 2016. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.5.437>

FOLKE, C. Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. **Global Environmental Change**. n.16, vol.3, P. 253–267. 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378006000379>>. Acesso em: 15 de Nov. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>

GODOY, V.N de, CRUZ, R.C. self-management of water resources - case study of river basin Santa Maria- RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria v.38 n.2, 2016, Mai.- Ago. p. 980 –997. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/21911>>. Acesso em: 13 de mai.2017, <https://doi.org/10.5902/2179460X21911>

HASHIMOTO, Tsuyoshi. Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria For Water Resource System Performance Evaluation. **Water Resources Research**, V. 18, Nº. 1, P. 14-20, FEBRUARY, 1982. Disponível em:< <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/WR018i001p00014>>. Acesso em: 13 de mai.2017. <https://doi.org/10.1029/WR018i001p00014>

HERRICK, J.E. & WANDER, M.M. Relationships between soil organic carbon and soil quality in cropped and rangeland soils: The importance of distribution, composition and soil biological activity. In:

LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R.F. & STEWART, B.A., eds. Soil processes and carbon cycle: **Advances in soil science**. Boca Raton, CRC Press, 1998. p.405-426.  
<https://doi.org/10.1201/9780203739273-28>

HOLLING, C.S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.4., p 1–23, 1973. Disponível em: <  
[http://www.zoology.ubc.ca/bdg/pdfs\\_bdg/2013/Holling%201973.pdf](http://www.zoology.ubc.ca/bdg/pdfs_bdg/2013/Holling%201973.pdf)>. Acesso em: 13 de mai.2017.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>

HOLLING, C.S. Engineering resilience versus ecological resilience. **Eng. Within Ecol. Constraints**. p.31-43, 1996. Disponível em: < <https://www.nap.edu/catalog/4919/>

engineering-within-ecological-constraints >. Acesso em: 13 de Mar. 2017.

HOQUE, Y.M.; TRIPATHI, S.; HANTUSH, M.M.; GOVINDARAJU, R.S. Watershed reliability, resilience and vulnerability analysis under uncertainty using water quality data. **Journal of Environmental Management**. Nº109, p.101–112. 2012. Disponível em: <  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22699028> >. Acesso em: 13 de Mar. 2017.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.05.010>

IORIS, A.A.R.; HUNTER, C.; WALKER, S. The development and application of water management sustainability indicators in Brazil and Scotland. **Journal of Environmental Management**, v. 88, p. 1190-1201, 2008. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17681672> >. Acesso em: 13 de Mar. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.06.007>

KLEIN, R.J.T.; NICHOLLS, R.J.; THOMALLA, F. Resilience to natural hazards: how useful is this concept? **Environmental Hazards**. Vol. 5.P. 35–45. 2003. Disponível em: <  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1464286704000105>>. Acesso em: 13 de Mar. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.hazards.2004.02.001>

MACHADO, R.R.B.; PEREIRA, E.C.G.; ANDRADE, L.H.C. Evolução temporal (2000-2006) da cobertura vegetal na zona urbana do município de Teresina – Piauí – Brasil. **REVSBAU**, Piracicaba – SP, vol.5, no .3, p.97-112, 2010. Disponível em: <  
[https://www.researchgate.net/publication/267920881\\_EVOLUCAO\\_TEMPORAL\\_2000-2006\\_DA\\_COBERTURA\\_VEGETAL\\_NA\\_ZONA\\_URBANA\\_DO\\_MUNICIPIO\\_DE\\_TERESINA\\_-\\_PIAUI\\_-\\_BRASIL](https://www.researchgate.net/publication/267920881_EVOLUCAO_TEMPORAL_2000-2006_DA_COBERTURA_VEGETAL_NA_ZONA_URBANA_DO_MUNICIPIO_DE_TERESINA_-_PIAUI_-_BRASIL) >. Acesso em: 13 de Mar. 2017.

MASSA, E. M.; ROSS, J. L. S. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. **Revista do Departamento de Geografia**. USP, V. 24, p. 57-79, 2012. Disponível em: < <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/52754/0> >. Acesso em: 13 de Mar. 2017. <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0024.0004>

MEIRELLES, M.S.P.; MOREIRA, F.R. & CAMARA, G. Técnicas de inferência espacial. In: MEIRELLES, M.S.P.; CAMARA, G. & ALMEIDA, C.M., Eds. **Geomática: Modelos e aplicações ambientais**. Brasília, Embrapa, Informação Tecnológica, 2007. 593p.

MELO, E.T. **Diagnóstico Físico Conservacionista da Microbacia do riacho dos Cavalos – Crateús – Ceará**. 2008. 123p. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente – Programa Regional de PósGraduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.

MUGUME, S.N.; GOMEZ, D. E.; FU, G.; FARMANI, R.; BUTLER, D. A global analysis approach for investigating structural resilience in urban drainage systems. *Water Research*. n.81, p.15-26, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135415300142>>. Acesso em jun,2016. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.05.030>

MÜLLER, F.; BERGMANN, M.; DANNOWSKI, R.; DIPPNER, J.W.; GNAUCK, A.; HAASE, P.; JOCHIMSEN, M.C.; KASPRZAK, P.; KRÖNCKE, I.; KÜMMERLIN, R.; KÜSTER, M.; LISCHIED, G.; MEESENBURG, H.; MERZ, C.; MILLAT, G.; MÜLLER, J.; PADISÁK, J.; SCHIMMING, C.G.; THEUERKAUF, M. Assessing resilience in long-term ecological data sets. **Ecological Indicators**. Vol. 65, Jun. 2016, P 10–43. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X15006305>>. Acesso em: jul. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.066>

MÜLLER, F.; BURKHARD, B.; KROLL, F. Resilience, integrity and ecosystem dynamics: bridging ecosystem theory and management. J.-C. Otto, R. Dikau (Eds.), *Landform – Structure, Evolution, Process Control. Lecture Notes in Earth Sciences Series*, vol. 115, **Springer**. 2010. p. 221–242. Disponível em: < [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-75761-0\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-75761-0_14)>. Acesso em: jul. 2016. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-75761-0\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-540-75761-0_14)

NUCCI, J. C. **Qualidade Ambiental e Adensamento Urbano – Um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP)**. São Paulo: Humanitas/FAPESP. 2001. 236p

OLIVEIRA, L. N; SILVA, C.E. qualidade da água do rio Poti e suas implicações para atividade de lazer em Teresina-PI. **Revista Equador**. Vol.3, nº1, p. 128 – 147. jan./jun.,2014. Disponível em: < <http://www.ojs.ufpi.br/index.php/equador/article/view/1848>>. Acesso em: jul. 2016. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017142354>

OLIVEIRA, L. N. **Análise da capacidade de resiliência do ambiente na área do baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Poti (Piauí)**. 2018.131f. Tese de doutorado em Geografia. Departamento de Geografia. Universidade Federal de Pernambuco.

PAULA, E. M. S, SOUZA, M. J. N. Lógica *Fuzzy* como técnica de apoio ao Zoneamento Ambiental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis: Instituto de Pesquisas Espaciais-INPE, p. 2979-2984.

PIMM, S.L. The complexity and stability of ecosystems. **Nature** v.307, p.321–26, 1984. Disponível em: < <https://www.nature.com/articles/307321a0>>. Acesso em: jul. 2016. <https://doi.org/10.1038/307321a0>

PINHEIRO, L. R. DO Ó. **Análise da fragilidade ambiental no município de Aracoiaba, Ceará – Brasil: subsídios ao planejamento territorial**. 2017, 165p. Dissertação de Mestrado em Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.

QUEIROZ DE ALMEIDA, L.; FIGUEIREDO DE CARVALHO, P. Representações, riscos e potencialidades de rios urbanos: análise de um (des)caso histórico. **Caminhos de Geografia**, [S.l.], v. 11, n. 34, ago. 2010. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15918>>. Acesso em: 26 jan. 2019.

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.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, n. 8, p. 63-74, São Paulo, USP, 1994. <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>

ROSS, J. L. S.; DEL PRETTE, M. E. Recursos Hídricos e as Bacias Hidrográficas: Âncoras do Planejamento Ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 12, p. 89 – 121, 1998. <https://doi.org/10.7154/RDG.1998.0012.0005>

RIGNEL, D. G. de S.; CHENC, G.P.; LUCAS, C.A. Uma introdução a Lógica Fuzzy. **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica**, v. 1, n. 1, p. 17-28, 2011. Disponível em: < [http://www.logicafuzzy.com.br/wp-content/uploads/2013/04/uma\\_introducao\\_a\\_logica\\_fuzzy.pdf](http://www.logicafuzzy.com.br/wp-content/uploads/2013/04/uma_introducao_a_logica_fuzzy.pdf)>. Acesso em: junho de 2016.

SANTOS, F. de A. dos; AQUINO C. M. S. de. Estimativa da erodibilidade dos solos em área suscetível à desertificação, no estado do Piauí: o caso dos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí. **Revista GeoPantanal**. v. 10, n. 19, 2015. Disponível em: < <http://seer.ufms.br/index.php/revgeo/article/view/1270>>. Acesso em: 12 de mar. 2017.

SEMAR. **Bacia do rio Poti**. Atlas de abastecimento de água do Estado do Piauí, 2004. CD-ROM 1.

\_\_\_\_\_. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Piauí**. Relatório síntese. Piauí. 2010.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Geodiversidade do estado do Piauí**. Recife, 2010. 260 p.

SEYBOLD, C. A.; HERRICK, J. E. & BREJDA, J. J. Soil resilience: A fundamental component of soil quality. **Soil Science**. n.164.p.224-234, 1999. Disponível em: <

[https://journals.lww.com/soilsci/Abstract/1999/04000/SOIL\\_RESILIENCE\\_\\_A\\_FUNDAMENTAL\\_COM\\_PONENT\\_OF\\_SOIL.2.aspx](https://journals.lww.com/soilsci/Abstract/1999/04000/SOIL_RESILIENCE__A_FUNDAMENTAL_COM_PONENT_OF_SOIL.2.aspx)>. Acesso em: 12 de mar. 2017. <https://doi.org/10.1097/00010694-199904000-00002>

SOUZA, G. S.de; LIMA, J. S. D.; SILVA, S. D.; XAVIER, A. C. Application of fuzzy logic and geostatistic in the analysis of the fertility of a soil under pasture. **Rev. Ciênc. Agron., Fortaleza**, v. 40, n. 3, p. 323-330, jul-set, 2009. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/290752342\\_Application\\_of\\_fuzzy\\_logic\\_and\\_geostatistic\\_in\\_the\\_analysis\\_of\\_the\\_fertility\\_of\\_a\\_soil\\_under\\_pasture](https://www.researchgate.net/publication/290752342_Application_of_fuzzy_logic_and_geostatistic_in_the_analysis_of_the_fertility_of_a_soil_under_pasture)>. Acesso em: 12 de mar. 2017.

SPÖRL, C. ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP: Espaço e Tempo**, n. 15, p. 39-49, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2004.123868>>. Acesso em: 12 de mar. 2017.

TONY, A. C. A.; GREEN, O. O.; DECARO, D.; CHASE, A.; EWA, Jennifer-Grace. **The Social-Ecological Resilience of an Eastern Urban-Suburban Watershed: The Anacostia River Basin**. 67 p., 2015. Disponível em: <[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2584968](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2584968)>. Acesso em: 23 de mar. 2017.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem sistêmica e geografia. **Geografia**. Rio Claro, v. 28, n. 3, p. 323-344, set./dez. 2003.

---

Recebido em: 22/10/2019

Aceito para publicação em: 09/04/2020