

Análise ambiental integrada das nascentes de Crato – CE: fundamentos para o desenvolvimento sustentável

João Victor Mariano da SILVA¹, Marcelo Martins de MOURA-FÉ² & Celme Torres Ferreira da COSTA³

¹ Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável, Universidade Federal do Cariri (PRODER/UFCA), Rua Ícaro Moreira de Sousa, 00126, CEP 63.130-025 Bairro Muriti, Crato – CE, Brasil (joaovictormarianods@gmail.com)

² Departamento de Geociências, Universidade Regional do Cariri (DEGEO/URCA), Rua Cel. Antônio Luís, 1161, CEP 63.105-000, Bairro Pimenta, Crato – CE, Brasil (marcelo.mourafe@urba.br)

³ Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável, Universidade Federal do Cariri (PRODER/UFCA), Rua Ícaro Moreira de Sousa, 00126, CEP 63.130-025 Bairro Muriti, Crato – CE, Brasil (celme.torres@ufca.edu.br)

Resumo. As nascentes d'água são entendidas como subsistemas hidrogeomorfológicos e hidrogeológicos. No município de Crato/CE, sul do estado do Ceará, estas destacam parte da condição de exceção hidroclimática regional ao contexto semiárido nordestino, mas que, devido à ausência de estudos que façam diagnósticos de sua dinâmica de forma integrada, elas vêm se tornando alvo da degradação causada pelo crescimento urbano da cidade-sede do município. Dessa forma, o objetivo desse manuscrito baseia-se em discutir a aplicação da análise ambiental integrada nas nascentes localizadas em Crato/CE, a partir dos zoneamentos ambientais, visando sua conservação. Metodologicamente, o trabalho foi elaborado mediante levantamento bibliográfico e documental, mapeamento com imagens de satélite e análise, comparação e discussão dos dados apurados. Como repostas observou-se que, embora as nascentes sejam elementos importantes no contexto geoambiental municipal, políticas públicas que abordem estudos detalhados para estas ainda são escassas, no entanto, os zoneamentos geoambientais se sobressaem como um instrumento que pode realizar diagnósticos de maneira integrada, subsidiando melhorias de planos diretores municipais, como é o caso do que se apresenta nas nascentes de Crato.

Palavras-chave: Hidrogeomorfologia, Sistemas Ambientais, Zoneamentos ambientais, Crato, Semiárido.

Abstract. INTEGRATED ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF CRATO - CE SPRINGS: FOUNDATIONS FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT. The spring waters are understood as hydrogeomorphological and hydrogeological sub-systems. In Crato/CE county, south of the state of Ceará, they highlight part of the hydroclimatic exception condition regional to the northeastern semi-arid context, but due to the lack of studies that perform an integrated diagnostics of its dynamics, they have become target of degradation caused by the seat urban growth city of the municipality. In this sense, the objective of this paper is based in discussing the application of integrated environmental analysis in springs located at Crato/CE, according to environmental zonings aiming its conservation. Metodologically, this work was carried out by bibliographic and documentary survey, mapping with satellite images and analysis, comparison and discussion of the data collected. With the answers, it was observed that despite the springs are important elements in the geoenvironmental context, legal public policies and diplomas that include detailed studies for them are still scarce, however, the zonings stand out as a tool that can perform diagnostics in an integrated way, subsidizing improvements to master plans, such as the case shown in Crato springs.

Keywords: Hydrogeomorphology, Environmental Systems, Environmental Zonings, Crato, Semi-arid.

1 Introdução

O município de Crato situa-se no extremo sul do estado do Ceará, possui área territorial específica de 1.138,150 km² (IBGE, 2020) e ao mesmo tempo compõe um dos 09 (nove) municípios da Região Metropolitana do Cariri (RMCariri) (IBGE, 2020). Em aspectos

físicos o mesmo localiza-se entre duas formas geomorfológicas, na direção sudeste, parte de seu território situa-se no fundo da depressão periférica do Cariri (ou vale do Cariri) encontrando-se entre 400 e 600 m de altitude, enquanto a oeste-noroeste seu território se localiza sobre o relevo da chapada do Araripe (Fig. 1) (Peulvast; Bétard; Magalhães, 2011).

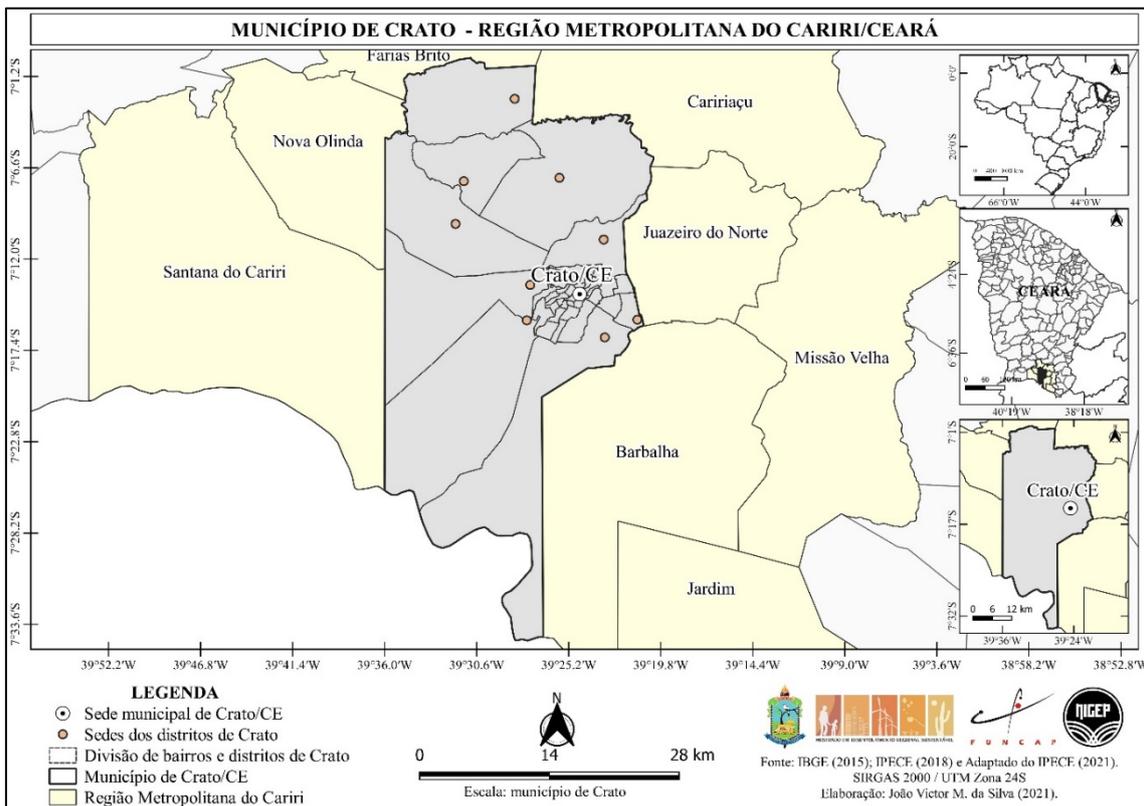


Figura 1. Localização da área de estudo. (Base de dados do IBGE (2015); IPECE (2018) & modificado do IPECE (2021)).

Figure 1. Location of the study area. (IBGE database (2015); IPECE (2018) and modified IPECE (2021)).

Compondo parte do semiárido nordestino brasileiro, o Crato se apresenta como uma exceção edafoclimática à regra regional. Essa excepcionalidade se dá em outras áreas da região Nordeste do país, denominadas de enclaves úmidos, serras úmidas ou brejos de altitudes, compostas de ambientes que apresentam condições fitogeográficas distintas do entorno sertanejo. No Ceará, são exemplos destas áreas as serras de Uruburetama, Aratanha, Maranguape e Pacatuba, Meruoca, o planalto da Ibiapaba e a chapada do Araripe (Sousa & Oliveira, 2006; Bastos et al., 2017; Moura-Fé, 2018).

A chapada do Araripe, unidade morfoestrutural que engloba parte considerável do município do Crato, detém aspectos climáticos de altitude que condicionam características geoambientais distintas, como o ritmo pluviométrico e espacial das chuvas; por ser oriunda de uma estratificação sedimentar, detém ainda a origem e a recarga de aquíferos que desenvolvem uma maior capacidade hidrogeológica na região influenciando a origem e proliferação de nascentes em suas escarpas (Sousa & Oliveira, 2006).

No contexto hidrogeomorfológico de exceção as nascentes d'água tornam-se importantes subsistemas ambientais, pelo fato de muitas delas se manterem perenes durante todo o ano, notadamente em épocas de estiagem, dando origem a diversos cursos de água (Soares, 2016). Nesses ambientes de exceção, essas verdadeiras ilhas de umidade, oriundas dos solos férteis e das condições hidrogeológicas, fizeram e fazem diferença no desenvolvimento físico, ecológico e econômico da vida das populações residentes nas cidades no semiárido (Ab'Saber, 1999; 2003; Sousa & Oliveira, 2006).

Dados da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos apontam que em Crato situam-se aproximadamente 93 nascentes d'água, pontualmente localizadas nas encostas da chapada do Araripe (CEARÁ, 2020). Estas, segundo os decretos do Código Florestal Brasileiro, são Áreas de Preservação Permanentes (APPs) e devem ter seu entorno protegido num raio mínimo de 50 m, em qualquer nível topográfico (BRASIL, 2012).

No entanto, de maneira geral, problemas e impactos causados pelo aumento da população e um correlato crescimento desordenado de várias cidades, vem fazendo com que essas nascentes sejam afetadas pela poluição e contaminação da água, pela supressão vegetal de seu entorno e perda de vazão que afetam diretamente o ciclo hidrológico. Além disso, devido a uma busca cada vez maior de água de boa qualidade, a redução da quantidade de água dos aquíferos também constitui outro fator alarmante (Pereira, 2012; França Jr. & Villa, 2013; Soares, 2016) para a manutenção desses importantes e pontuais corpos hídricos.

Nesse viés, as nascentes englobam nos ambientes aquáticos uma conexão entre dois subsistemas: o ambiente subterrâneo e as drenagens superficiais. As águas que estão armazenadas sob a superfície estão mais protegidas das ações sociais, mantendo uma qualidade superior àquelas situadas nos rios, lagos ou outros reservatórios. No entanto, a exploração das nascentes em grande volume pode implicar em sérias reduções que, além dos demais mananciais hídricos, afetará diretamente a distribuição e disponibilidade para as populações (Pereira, 2012).

A proteção dessas nascentes deve ser pautada na recuperação e preservação dos corpos hídricos, uma vez que as ações humanas que interferem nos ciclos naturais e na disponibilidade de água de boa qualidade têm comprometido à sustentabilidade dos recursos hídricos. As nascentes têm sido objeto de estudo de vários pesquisadores no Brasil e em âmbito internacional desde o início do século XXI, como se observa em Soares et al. (2010), Ferreira et al. (2011) e Bruins et al. (2012). Assim, é necessário analisar, diagnosticar e desenvolver propostas de melhorias, resguardo e/ou conservação para esses ambientes. Nesse contexto, a proposta teórico-metodológica da análise ambiental integrada pode contribuir no entendimento da dinâmica do meio natural, suas características integradas entre os elementos superficiais e subterrâneos, bem como das relações com as atividades sociais e econômicas. Além disso, a sua aplicação pode fornecer uma gama de dados e informações que darão subsídios para o planejamento e gestão ambientais (Ross, 2006).

Apoiado nestas questões, o objetivo desse manuscrito é discutir a importância da análise ambiental integrada e suas possibilidades teórico-metodológicas de aplicação às nascentes d'água do município de Crato – CE.

2 Materiais e métodos

Este trabalho se caracteriza como uma pesquisa de caráter qualitativo e exploratória, onde, segundo Gil (2002), baseia-se na ideia de buscar entender um problema estimulando-o a construir hipóteses. Assim o delineamento técnico-metodológico teve como base o viés bibliográfico e documental. O primeiro (bibliográfico) trata-se de um procedimento desenvolvido com base em materiais elaborados que já receberam um tratamento científico, como livros e/ou artigos científicos; enquanto o segundo (documental) abrange documentos que ainda não receberam esta análise (Gil, 2002). Com isso, esta pesquisa fundamentou-se estruturalmente em etapas de gabinete e de laboratório.

Na etapa de gabinete realizou-se o levantamento bibliográfico e documental em sites de pesquisa, como o *Google Scholar*, Portal de Periódicos da CAPES, *ResearchGate* e os repositórios de teses e dissertações de instituições de ensino superior brasileiras, bem como em livros e outros materiais bibliográficos que abordassem as temáticas da pesquisa. Para o levantamento documental, se fez uma apuração e análise das principais leis de uso e ocupação do solo urbano e proteção dos recursos hídricos. Assim, se estudou: o Decreto nº 25.643 de 1934 que institui o Código de Águas; a Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001 que se refere ao Estatuto da Cidade; o Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002; a resolução do CONAMA de nº 303/2002; a Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012 que Institui o Código Florestal Brasileiro; o Decreto nº 6.288, de 06 de dezembro de 2007 e, a nível municipal, a Lei nº 2.279/2005 que dispõe do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) do municipal de Crato, concedido com o apoio da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbanístico.

Na etapa de laboratório foi elaborado o mapeamento da área de estudo que embasa o debate deste trabalho. Assim, com o software QGIS versão 3.4.3 foram elaborados: I – mapa de localização da área onde afloram as nascentes com dados de CEARÁ (2020) e imagem de satélite SRTM (2014) de elevação; II – Mapa de crescimento urbano da cidade de Crato (2000/2021) com imagens do satélite Landsat 7 (2020) e Landsat 8 (2022), disponíveis no web site *EarthExplorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Na sequência, houve análise dos dados identificados, escrita e discussão dos temas, buscando apresentar as possibilidades de aplicabilidade da análise ambiental integrada nas nascentes de Crato (RMCariri), Ceará.

3 Resultados e discussões

3.1 Pressupostos teóricos conceituais sobre a análise ambiental integrada

A análise ambiental integrada fundamenta-se teórica e metodologicamente como o estudo do meio natural de maneira

integralizada entre os seus elementos físicos e biológicos, e suas correlações com as ações sociais. Embasada na teoria dos geossistemas, trata-se de um conceito (e/ou uma metodologia) oriunda da aplicação da “Teoria Geral dos Sistemas” (TGS), a qual teve suas primeiras aplicações na Biologia e na Termodinâmica, tomando impulso nos anos 1950, a partir das revoluções do pensamento nas ciências no geral (Amorim, 2012; Moura-Fé, 2014; Mendonça, 2020).

A origem da TGS data de 1937, quando foi explanada e apresentada pela primeira vez no seminário filosófico pelo biólogo Ludwig von Bertalanffy, em Chicago (EUA) (Marques Neto, 2008). No âmbito das ciências, o seu desenvolvimento fundamentou dois importantes acontecimentos: a subdivisão de várias disciplinas (cada uma com uma dada especialização) e o diálogo entre elas. Dessa forma, suas aplicações possibilitaram a comunicação de cientistas de diversas áreas (Física, Biologia, Geografia, Ciências Sociais) na busca de analisar problemas amplos de forma integralizada (Vale, 2012).

Juntamente com a modelização e a quantificação, a TGS marcou ainda um importante avanço na produção científica, com a valorização de estudos e investigações de fenômenos e processos específicos, conexões e inter-relações, o que, ao mesmo tempo, além de ampliar o diálogo entre as ciências, serviu como base para outras ramificações de áreas do conhecimento (Mendonça, 2020). Dentro da Geografia, essa sistematização dos estudos, sobretudo dos elementos naturais, suas conexões e relações com as ações antrópicas também vieram a se tornar algo cada vez mais importante (Troppmair & Galina, 2006).

É nessa perspectiva integrada da TGS que surgem os Geossistemas, com a introdução do termo na literatura soviética por Sotchava em 1962. Com a ideia de aplicar uma tipologia aos fenômenos geográficos, integrando seus elementos em uma determinada dinâmica espacial (Christofoletti, 1999), os Geossistemas foram considerados como formações naturais que têm suas conexões internas influenciadas pelas ações antropogênicas e sociais (Sotchava, 1978).

Para Bertrand (1972) os geossistemas compreendem/consistem em uma dada área espacial, delimitada, sendo o resultado de interações e combinações dinâmicas, instáveis, de elementos físicos, biológicos e sociais, que agem e se ajustam uns sobre os outros, construindo um conjunto singular e interligado no espaço. Ainda em termos conceituais, os Geossistemas são caracterizados como sistemas naturais, integrados e complexos, onde há intrínsecas relações de troca de energia e matéria, havendo ainda explorações de seus subsistemas realizadas pelas ações humanas. Estas, por sua vez, afetam suas características intensificando ou reduzindo as suas relações, podendo ser perceptíveis em micro-escalas (Troppmair & Galina, 2006).

Bertrand (1972) considera ainda que as ações antrópicas integram os componentes dos geossistemas. Ele aponta que em nível de escala espacial, eles possuem 06 (seis) níveis denominados de “temporo-espaciais”: as unidades superiores: zona, na 1ª ordem de grandeza; domínio, caracterizado pela combinação de relevos e climas; e região natural, entre a 3ª e 4ª escala. Além destes, as unidades inferiores: os geossistemas, unidades de alguns quilômetros quadrados; os geofácies, estes sendo um setor fisionômico e homogêneo; e os geótopos, as menores unidades homogêneas de uma área, a última escala de grandeza (Bertrand, 1972).

Em suma, é possível observar que a interação geossistêmica se faz em níveis hierárquicos, variando seu detalhamento (Diaz & Perez Filho, 2017), e que a ideia de classificação taxonômica objetiva, sobretudo, alinhar e estabelecer uma interatividade dos fenômenos e processos nas diversas escalas espaciais é o que define os sistemas ambientais (Christofoletti, 1999).

De forma ampla e conceitual um sistema se caracteriza por ser um conjunto de elementos ou unidades que mantém relações diretas entre seus integrantes a partir da entrada (*input*) e saída (*output*) de energia e matéria, tendo assim uma estrutura, organização e funcionalidade complexa. Dessa forma, os geossistemas podem ser intitulados como sistemas físicos ambientais, que possuem como referência uma estrutura

dinâmica em uma determinada escala de grandeza, mantendo ao longo do tempo uma integridade funcional que se reajusta constantemente (Christofoletti, 1979; 1999; Nascimento & Sampaio, 2005; Amorim, 2012).

Em níveis escalares os geossistemas estão estruturados por diversos subsistemas (Marques-Neto, 2008) que podem ser analisados sobre diversas óticas. Nesse contexto, a matéria se trata de todo material que será mobilizado através do sistema. No âmbito dos sistemas hidrográficos, as matérias são definidas como as águas e os sedimentos transportados pelo fluxo fluvial. A energia são as forças que operam no sistema, desde o início (potencial), até a realização dos seus processos (cinética). E a estrutura se trata da composição de seus elementos e relações (Christofoletti, 1979).

Neste viés, a partir do estudo das integrações dos elementos é que surge a análise ambiental integrada. Para Moura-Fé (2014), apoiada nas características geossistêmicas, se trata de uma proposição metodológica fundamental dos estudos ambientais. Oliveira (2018) complementa que a análise sistêmica é uma das melhores formas de representar e observar as relações existentes entre os agentes antrópicos e os elementos naturais. Ela busca o entendimento das dimensões do espaço real por meio das inter-relações complexas, distintas e em escalas diferentes dos sistemas e subsistemas (Diaz & Perez Filho, 2017).

No âmbito dos estudos dos sistemas e subsistemas geográficos, a análise ambiental integrada funciona como uma base metodológica para se investigar aspectos espaciais referentes ao comportamento, estruturas, funcionalidades e fronteiras do meio físico; bem como servir no entendimento hierárquico, na entrada e saída de energia e no equilíbrio dinâmico. No contexto socioambiental possibilita ainda a compreensão dos estímulos e influências externas e nas relações de causa e efeito (Nascimento & Sampaio, 2005).

Com isso, a análise ambiental integrada surge no âmbito da ciência geográfica como uma alternativa teórica e metodológica para identificar problemas no meio natural ou social. A análise não dispensa correlações e

influências, se destacando por ser uma metodologia de investigação integralizada, capaz de fornecer resultados mais detalhados do espaço delimitado.

Vale ressaltar que a análise ambiental integrada, enquanto uma proposta metodológica apresenta-se denominada de diversas formas, embora, no geral, expressando a mesma finalidade. Assim, ela pode ser intitulada como: análise ambiental

(Oliveira, 2018); análise sistêmica; análise integrada do ambiente (Amorim, 2012); análise geossistêmica (Magalhães et al., 2010); análise geográfica dos geossistemas; análise geoambiental e/ou análise ambiental geográfica, cujas aplicabilidades podem ser efetivadas em diversos campos do conhecimento, considerando suas características (Quadro 1).

Quadro 1. Síntese das características da Análise Ambiental Integrada embasada na abordagem sistêmica (Elaborado por: autores, 2021; com fonte dos dados indicadas na coluna da esquerda do quadro).

Chart 1. Summary of the characteristics of the Integrated Environmental Analysis based on the systemic approach (Prepared by: authors, 2021; with data source indicated in the left column of the table).

AUTOR(ES)	FUNDAMENTOS TEÓRICOS E APLICABILIDADES
Chroley (1962)	Aplicação da Teoria Geral dos Sistemas no estudo detalhado da dinâmica física do relevo, a partir das perspectivas de equilíbrio dos sistemas fechados e abertos.
Haigh (1985)	A partir da abordagem sistêmica podem-se obter informações sobre as inter-relações dos elementos espaciais e seus diferentes componentes.
Christofolletti (1990)	A análise geográfica dos Geossistemas envolve a compreensão da morfologia, o estudo dos padrões espaciais dos sistemas; das relações dinâmicas, ou seja, do fluxo de energia e matéria; e dos níveis de equilíbrio e evolução.
Ross (1995)	Uma forma de análise do espaço fundamental para realização de diagnósticos e prognósticos a partir da compreensão holística do todo. Útil no entendimento das dinâmicas entre sociedade e natureza, em contextos passados até o presente, sendo fundamental para a compreensão de cenários futuros, é uma excelente metodologia para o suporte técnico de zoneamentos ambientais e socioeconômicos, fomento de planejamentos estratégicos e gestão do território, e construção de políticas públicas em diferentes escalas espaciais. Bem como, pode originar produtos sínteses do espaço: mapas, gráficos; tabelas numéricas e informações de campo.
Christofolletti (1999)	É uma forma de estudar não somente as proposições e relações dos sistemas naturais (ou ambientais), mas de trabalhar as interações destes com os sistemas econômicos e sociais, buscando formas de organizar os sistemas, servindo como uma base para o planejamento e desenvolvimento sustentável.
Nascimento e Sampaio (2005)	Esta análise pode servir para compreensão do comportamento e propriedades dos sistemas, bem como ser útil como base metodológica de análise das unidades, estruturas, fronteiras dos sistemas. É ainda, útil na “síntese dos espaços geográficos, permitindo diagnósticos, Estudos de Impactos Ambientais (EIA) e Relatórios de Impactos Ambientais (RIMA); na determinação de zonas de uso indiscriminado, conservação e preservação e ecozoneamentos” (p. 177).
Ross (2006)	Metodologia útil no entendimento das premissas e potencialidades dos recursos naturais e humanos, aliado a compreensão das fragilidades dos espaços naturais. Serve de base para a organização de informações de um dado espaço, sendo ainda um subsídio para a gestão ambiental, planejamento e desenvolvimento sustentável.

Dal'Asta (2009)	A abordagem sistêmica favorece o entendimento da complexidade da organização socioespacial; contribui no aporte teórico-metodológico integrado do ambiente natural através da paisagem e das relações geossistêmicas. A partir da perspectiva integrada, também pode ser aplicada no zoneamento geoambiental, embasado na cartografia geoambiental propondo normas de uso e ocupação do solo.
Silva (2009)	Possibilidade de aplicação nos zoneamentos ambientais, visando um melhor planejamento ambiental e a identificação de áreas destinadas a fins de turismo sustentável.
Magalhães; Silva e Zanella (2010)	Metodologia derivada da TGS, difundida em estudos interdisciplinares, de síntese e em múltiplas escalas. Hoje, aplicável em trabalhos ambientais fornecendo dados sobre os elementos naturais de maneira hierarquizada seguindo a perspectiva geossistêmica, tendo como base as interrelações ecológicas, exploração biológica e o uso e ocupação do solo.
Amorim (2012)	O estudo dos sistemas ambientais e de seus subsistemas a partir da análise integrada do ambiente, fomenta subsidiar a compreensão das estruturas, funcionalidades e dinâmica organizacional. É, ainda, uma metodologia que impulsiona estudos de planejamento ambiental.
Ivanov; Yermolaev e Usmanov (2016)	A abordagem integrada pode ser útil na investigação das propriedades dos geossistemas, ou seja, dos seus subsistemas; em avaliações qualitativas e quantitativas dos ambientes; na gestão ambiental do território através de indicadores ambientais.
Oliveira (2018)	Estudo aplicável na identificação das relações dinâmicas e em diferentes escalas dos sistemas ambientais naturais e sociais; útil na proposição de estratégias de preservação e reconhecimento da vulnerabilidade e potencial natural; na identificação sistêmica dos elementos naturais bióticos e abióticos; na elaboração de Zoneamentos Ambientais e Ecológicos-Econômicos e nos mapeamentos geoambientais.
Oliveira (2019)	No planejamento ambiental com base na análise integrada da paisagem pode ser aplicado na gestão de áreas protegidas, unidades de conservação (UC), jardins botânicos, áreas de proteção especial, territórios indígenas e áreas de preservação permanente. Pode ser útil também, na classificação de unidades geoecológicas em áreas protegidas.
Santos; Oliveira Júnior e Borges (2021)	A aplicação da análise ambiental integrada pode favorecer a obtenção de dados úteis nos zoneamentos ambientais. Estes, por sua vez, serão úteis no planejamento espacial, associado a conservação e ao uso sustentável.

A abordagem integrada do ambiente funciona assim como uma forma de diagnosticar e buscar otimizações para os territórios estudados (Ivanov et al., 2016). Nessa concepção, esse tipo de estudo também busca compreender os tipos de produção humana no meio natural e suas formas de ocupação nesses ambientes, obviamente compreendendo num primeiro momento as características dos elementos naturais (Ross, 1995), sendo estes, subsistemas dos sistemas naturais.

Os conjuntos de elementos geoambientais, tais como a geologia, o relevo, hidrologia, hidrografia, climatologia, pedologia e fito-ecologia, são algumas das

bases para a compreensão de toda a estrutura e funcionalidade dos sistemas naturais. A partir destes, realiza-se uma análise do meio que pode fornecer subsídios para o entendimento das diversas relações existentes dentro de um determinado espaço (Magalhães et al., 2010).

Observa-se, ainda, que dentre as suas aplicações, a análise ambiental integrada vem se constituindo como uma das principais etapas para as pesquisas que visam os zoneamentos ambientais. Nascimento e Sampaio (2005) citam que, além dos diagnósticos geoambientais, trabalhos de sensoriamento remoto, estudo do potencial do meio natural e os zoneamentos ambientais

são atividades também realizadas com base no estudo integrado (Nascimento & Sampaio, 2005).

Desta forma, a análise ambiental integrada a partir de suas aplicabilidades nos zoneamentos ambientais, pode ser uma importante ferramenta que subsidie a compreensão sistêmica dos ambientes de um dado território. Nesse contexto, nesse manuscrito são apontadas algumas discussões nos estudos dos subsistemas ambientais das nascentes d'água.

3.2 Nascentes: gênese e dinâmicas sistêmicas

Várias áreas das ciências têm as nascentes como objeto de suas pesquisas, o que gera uma considerável diversidade e divergência teóricas (Felippe et al., 2013). Questões como: multidisciplinaridade, uso coloquial e popular do termo, além da preconceção de que as nascentes são ambientes conhecidos pelo meio acadêmico, são alguns aspectos que implicam tanto na idealização errônea do conceito, como na necessidade de construção de uma base teórica científica consolidada (Felippe, 2009; 2013).

Quanto às divergências conceituais e terminológicas, em espaços rurais, por exemplo, as pessoas que vivem e trabalham nessas áreas compreendem as mesmas como “minas”, “olhos-d'água” e “bicas”, o que aponta para denominações referentes às nascentes, que variam de acordo com a região e suas culturas, mas que, muitas vezes, há semelhanças com as concepções acadêmicas (Felippe & Magalhães-Júnior, 2020).

No Brasil, as nascentes tiveram sua primeira conceituação em 1934, no decreto nº 25.643, capítulo V, intitulado “Nascentes”, art. 89, sendo também o documento que instituiu o Código de Águas (BRASIL, 1934, Art. 89; Queiroz, 2013). Já no atual Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651/2012, inciso XVII, elas são conceituadas como afloramentos naturais de água do lençol freático com uma vazão perene, enquanto as de vazão intermitente (temporária) são olhos d'água (BRASIL, 2012). Embora essa diferenciação tenha o objetivo de apontar as restrições e as distinções referentes às políticas de proteção para

ambas, ela acaba limitando conceitualmente esses ambientes hídricos (Felippe, 2009; Queiroz, 2013).

Queiroz (2013) conceitua as nascentes como locais onde há a descarga de águas subterrâneas para a superfície, situando-se em áreas de cabeceira e apresentando um regime de vazão mínima durante todo o ano, tanto em locais com dois períodos climáticos, seco e chuvoso (denominado bimodal), ou com uma boa distribuição anual (intitulado monomodal). Para Nunes e Castilho (2020), as nascentes são aflorações de água dos lençóis freáticos de uma determinada área que podem ter uma vazão perene, temporária e efêmera. Elas ainda podem se distinguir quanto ao processo de afloração, nascendo nas encostas ou com várias saídas de água do subsolo para a superfície. Calheiros et al. (2009) as entendem como afloramentos das águas de um determinado lençol freático ou artesiano, em altitudes elevadas, distribuindo água por gravidade que podem, ao longo do tempo, gerar um acúmulo (como os brejos ou mangues) na superfície ou dar origem a drenagens de cursos d'água.

As nascentes englobam assim, aspectos intrinsecamente relacionados ao ambiente na qual surgem, seja o substrato rochoso, seja a sazonalidade da vazão e a sua forma. Estes, dentre outros aspectos, apontam para uma diversificação conceitual e características específicas relacionadas a esses ambientes.

Devido sua complexidade ambiental, as nascentes devem ser consideradas também como ambientes singulares heterogêneos, que variam de acordo com as relações geoambientais do local onde se originam, sobretudo, as correlações com contexto geomorfológico, hidrológico, hidrográfico ecológico e social (Felippe, 2013; Felippe & Magalhães Jr., 2013).

Nesta concepção as nascentes podem ser conceituadas como:

(...) um sistema ambiental em que o afloramento da água subterrânea ocorre naturalmente, de modo temporário ou perene, e cujos fluxos hidrológicos na fase superficial são integrados à rede de drenagem. Uma nascente abrange, portanto, os mais diversos processos hidrológicos, hidrogeológicos e

geomorfológicos que culminam na exfiltração da água e na formação de um curso d'água (Felippe & Magalhães Jr., 2013, p. 80).

Para os autores, este conceito é amplo o suficiente para abordar a complexidade sistêmica (Felippe & Magalhães Jr., 2013). Felippe (2009) complementa que a abordagem das nascentes como sistemas ambientais no espaço as classifica como parte de um Geossistema, ou seja, como subsistemas categorizados e classificados como sistemas abertos. As nascentes também se distinguem do que se entende por fonte. Estas tratam de qualquer tipo de saída de água

do subterrâneo para a superfície, enquanto uma nascente se caracteriza por dar origem a um curso d'água fluvial, a partir de um ponto de exfiltração (Felippe & Magalhães Jr., 2020). Assim, em uma bacia hidrográfica, as nascentes situam-se nas cabeceiras de drenagem, nas partes mais altas do rio (Guerra & Guerra, 2009), sendo responsáveis pelas descargas de água subterrânea e alimentação do fluxo de base e vazão dos rios (Rocha, 2013), seguindo pelos canais fluviais até chegar aos exutórios, que são os locais de encontro de todas as águas de uma bacia (Figura 2) (Lima, 2008).

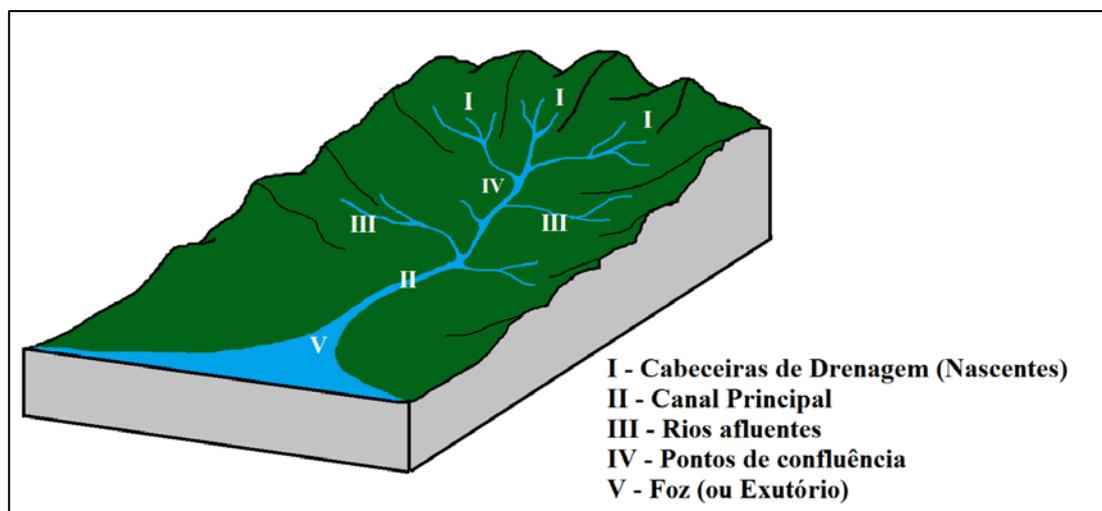


Figura 2. Exemplo síntese dos elementos de uma bacia hidrográfica (Elaborado por autores 2021; modificado de Nascimento et al., 2015).

Figure 2. Example synthesis of the elements of a watershed (Elaborated by authors 2021; modified from Nascimento et al., 2015).

Dentro do ciclo hidrológico, entendido como o sistema que detém à movimentação da água na hidrosfera, passando pelos estados sólido, líquido e gasoso (Rocha, 2013), as nascentes d'água são ambientes que mediam uma relação complexa existente na hidrosfera, ao interligar dois subsistemas importantes: as águas superficiais e as águas subterrâneas (Felippe, 2009; 2013); que em linhas gerais, trata-se do "como" e "onde" estas águas estão armazenadas e a maneira como podem vir a aflorar na superfície (Pereira, 2012).

Antes de compor os lençóis subterrâneos, a água chega à superfície pela precipitação que, a partir do aquecimento de

moléculas de água, evaporadas da superfície (ou do interior das plantas), são transportadas para atmosfera até atingir o nível de condensação. Quando condensada em pequenas gotículas, estas se mantêm em suspensão até atingir determinada densidade para então voltar à superfície em forma de chuva, neve ou granizo, dependendo da umidade local e regional (Valente & Gomes, 2005; Pereira, 2012; Coelho Netto, 2018).

Antes de chegar diretamente à superfície, parte da água é interceptada pela vegetação, impedindo o contato direto com o solo. A vegetação ajuda ainda na alimentação das águas que exfiltram das nascentes, bem como no contexto do contato água-solo,

funcionando como um filtro, permitindo uma boa qualidade hídrica. A água que não escoar, infiltra, entra e se estoca no solo; a outra parcela constitui a umidade no interior do terreno desenvolvendo a biomassa; o que resta, percola verticalmente sob a superfície, passando pela zona não saturada (preenchida parcialmente pelas moléculas de água), até chegar à zona saturada, ficando assim entre esta e o substrato rochoso, que vem a compor os aquíferos (Rebouças, 2013; Coelho Netto, 2018; Braga, 2020).

As águas que brotam na superfície das nascentes estão armazenadas em aquíferos, formações geológicas que armazenam e fornecem água para a superfície, os quais podem ter dois tipos de origem: I – os aquíferos/lençóis freáticos, também chamados de livres, onde as águas ficam situadas sobre camadas impermeáveis; e II – os artesianos (ou confinados), onde a reserva d'água está intercalada por materiais impermeáveis (Figura 3) (Valente & Comes, 2005; Rocha, 2013).

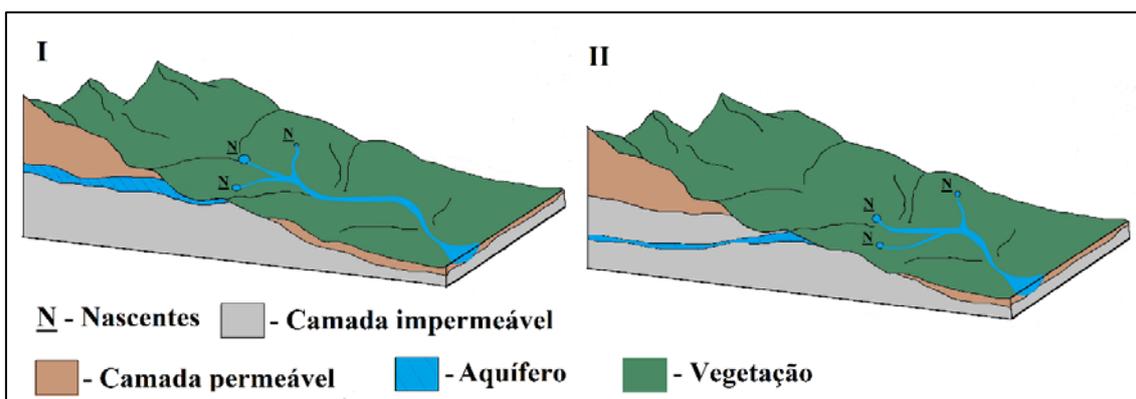


Figura 3. Distinção entre (I) aquíferos freáticos e (II) aquíferos artesianos (Elaborado por autores, 2021; modificado de Valente & Gomes, 2005).

Figure 3. Distinction between (I) phreatic aquifers and (II) artesian aquifers (Elaborated by authors, 2021; modified from Valente & Gomes, 2005).

Valente & Gomes (2005) afirmam que o termo freático é atribuído a esse tipo de lençol devido sua característica interior e a sua localização no perfil do solo. O mesmo situa-se acima da primeira camada impermeável, tendo seus poros inteiramente preenchidos de água sem espaço para o armazenamento de ar, tendo assim a superfície em contato direto com a região areada do perfil, daí a classificação como “freático”.

Levando em consideração ainda os ambientes litológicos das águas subterrâneas, é necessário frisar algumas características: a porosidade das formações geológicas, que podem ser de três formas distintas, variando conforme o tipo da rocha e tipo de armazenamento onde elas podem estar localizadas (Quadro 2).

As nascentes também surgem conjuntas ao tipo de relevo. Há, assim, as pontuais, de encosta ou também chamadas de

nascentes de contato, que são aquelas onde as águas subterrâneas afloram em terrenos declivosos quando há uma inclinação da camada impermeável, possibilitando a origem de um “ponto” de passagem de água na encosta. Elas também podem ser oriundas de lençóis artesianos, de falhas geológicas ou de rochas cársticas, que surgem em canais ou galerias em rochas carbonatadas alimentadas por dolinas (Valente; Gomes, 2005; Pereira, 2012; Nunes; Castilho, 2020).

Têm-se ainda as nascentes difusas ou de depressão, que surgem quando a “superfície freática ou um aquífero artesianos intercepta a superfície do terreno e o escoamento for espreado numa área, o afloramento tenderá a ser difuso, formando um grande número de pequenas nascentes por todo o terreno, originando zona encharcada” (Pereira, 2012, p. 48).

Quadro 2. Características litológicas das águas subterrâneas (modificado de Rebouças, 2013).
 Chart 2. Lithological characteristics of groundwater (modified from Rebouças, 2013).

I - POROSIDADE DOS AQUÍFEROS
Porosidade Primária, intersticiais, ou intergranular – Formada nas rochas sedimentares, situa-se nos espaços vazios entre um grão e outro, chamado de poros, que são preenchidos por água durante a infiltração. Embora sejam espaços milimétricos podem dar origem aos maiores e mais importantes lençóis de uma área.
Secundária ou Fissural - Forma-se durante o processo de diagênese e solidificação do magma ou das pressões internas da litosfera que dão origem as rochas. O impacto dos movimentos tectônicos na cristalização do material rochoso produz rachaduras, fissuras, falhas ou fraturas, onde estas, constituem-se como a porosidade fissural.
Porosidade Cárstica – Esta acontece a partir da ação química da água na rocha, contribuindo na dissolução dos espaços vazios das rochas que vêm a ser preenchidas d’água. Diferente das anteriores, nestas, formam-se cavidades no seu interior litológico.
II - TIPOS DE ARMAZENAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
Meteórica - São as águas que dão umidade do solo e estão armazenadas no substrato rochoso menos impermeável. Constituem 97% do estoque de água doce que existe no subsolo e tem origem a partir da infiltração das águas precipitadas ou com o degelo da neve.
Cognatas - as águas que ficam retidas nos sedimentos desde o período de suas deposições, chamadas de “águas de formação” ou “águas fósseis”. Ficam estocadas em altas profundidades, apresentando alto teor de sal, característica de paleoambientes.
Juvenil – comparado as meteóricas, estas apresentam-se numa quantidade praticamente negligenciável, estimando aproximadamente 0,3 km ³ por ano. Tratam-se das águas que se formam pela ação da dinâmica geológica interna de circulação de massas e energias a partir movimento das placas tectônicas causados pelas células de convecção, sendo as águas que ascendem para a superfície,

Relacionando os aspectos geológicos e geomorfológicos, frisa-se que no Brasil, a maior parte das nascentes é proveniente de lençóis freáticos que originam nascentes pontuais e difusas; distintos deste, os lençóis artesianos apresentam-se como reservatórios que originam nascentes em relevos de regiões montanhosas, com declividades acentuadas, oriundas de falhas geológicas (Feitosa, 2017).

Essas características apontam que as nascentes, além de serem ambientes muito particulares, estão diretamente influenciadas pelas ações sistêmicas dos ambientes nos quais estão inseridas, ou seja, na interação entre solos, rochas e relevo. Ainda assim, quando se aborda suas relações integralizadas, também é necessário apontar os usos sociais que são capazes de intervir na sua dinâmica natural. Isso, por sua vez, aponta para outro aspecto: a importância da conservação ambiental das nascentes.

3.3 Aplicabilidades para a sustentabilidade: os zoneamentos ambientais das nascentes

O município de Crato, dada sua inserção na RMCariri, se enquadra num contexto de problemáticas ambientais que se agravam devido ao crescimento econômico e urbanístico da cidade, sobretudo a partir das suas centralidades urbanas, que põem em risco diversos patrimônios naturais, impedindo um contexto de sustentabilidade ambiental (Moura-Fé et al., 2018). O crescimento urbano da cidade do Crato vem se estendendo nos últimos anos nos bairros localizados ao sopé da chapada do Araripe, sobretudo os bairros do Granjeiro e Lameiro, com construções de residências, chácaras de alto padrão social e loteamentos. Além destes, a extensão da zona urbana também se dá nos trechos dos bairros Mirandão, Vila Alta, Muriti e Baixo Lameiro (Rodrigues et al., 2014), como se observa na Figura 4.

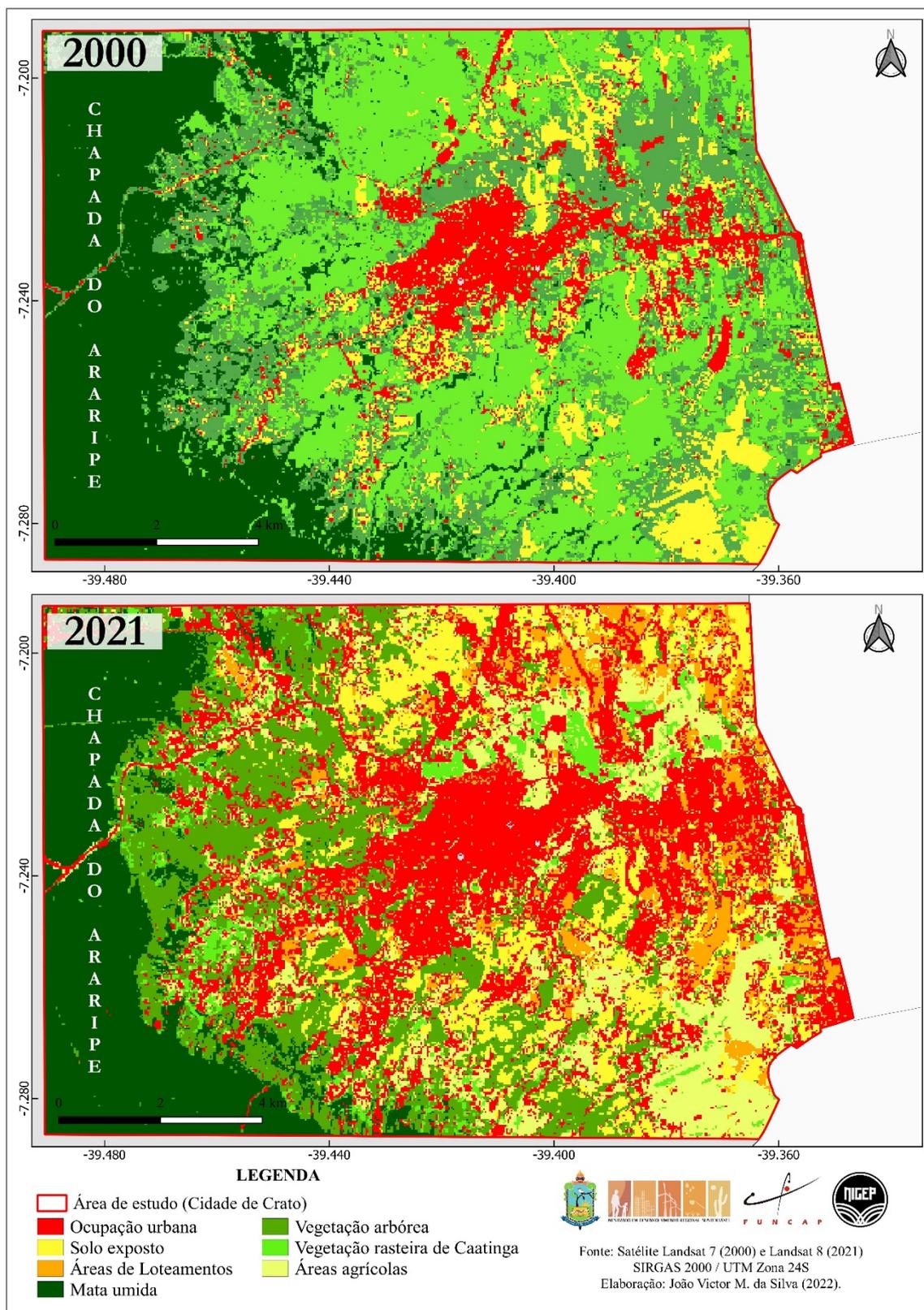


Figura 4. Mapa do Crescimento urbano no município de Crato (Elaborado por João V. Mariano da Silva, 2021; Fonte de dados das imagens de Satélite Landsat 7 (2000); Landsat 8 (2021)).

Figure 4 Map of urban growth in the municipality of Crato (Prepared by João V. Mariano da Silva, 2021; Data source from satellite images Landsat 7 (2000); Landsat 8 (2021))

O mapa da Figura 4 apresenta um contexto de expansão da malha urbana da cidade de Crato, onde se observa que nos últimos 20 anos esse processo urbano vem se direcionando a chapada do Araripe, afetando suas áreas de encosta, sua vegetação de mata úmida e conseqüentemente os recursos hídricos associados. Essa característica do crescimento de Crato, além da influência do contexto metropolitano, se não repensado, pode limitar chances de um desenvolvimento sustentável efetivo na região. Em complemento a isso, Moura-Fé et al. (2018) aponta que dado esse cenário de insustentabilidade, um primeiro passo pode ser dado levando em consideração os elementos naturais que são cada vez mais impactos, dentre eles estão as encostas da chapada do Araripe, os recursos hídricos superficiais e as nascentes d'água.

Levando em consideração essas questões de crescimento da cidade sobre a mata úmida das encostas da chapada do Araripe (vide Figura 4) e seu impacto nas nascentes, há 17 anos, ao fazer uma análise de suas vazões, Sabiá e Frischkorn (2004) já apontavam para um decréscimo da quantidade de água. Mesmo considerando os efeitos hidroclimáticos, para os autores as causas para este fenômeno ainda eram/são ignoradas, mas ao mesmo tempo, alegavam que o crescimento da supressão vegetal da chapada do Araripe (Sabiá & Frischkorn, 2004), poderia ser um possível agente desse processo negativo sobre as nascentes.

Em Crato, desde o século passado as nascentes já detinham valor de uso e valor econômico, devido ao intenso uso das águas que afluíam para a produção de cana-de-açúcar pelos proprietários de terra da época. Isto, além de destacar a forma de gestão dessas nascentes que se deu maneira peculiar em Crato, foi um dos fatores que impulsionou a promulgação da Lei nº 645 de 17 de janeiro de 1854 pelo presidente da câmara municipal, que regulamentou o uso e posse das águas, a

primeira normativa legal no município (Sabiá & Frischkorn, 2004).

As nascentes afloram nas encostas da chapada do Araripe, as quais se compartimentam em: encosta Norte-Ocidental e encosta Oriental como se observa na Figura 5 (Lima et al., 2010). As nascentes da chapada são formadas de forma estreitamente relacionadas à geologia da bacia sedimentar do Araripe, conjunto ao alto nível de absorção da água no solo, juntamente com o contexto de declividade dessas encostas (Lima, 2015) formando assim um sistema hidrogeológico e hidrogeomorfológico bastante complexo (Figura 5).

Esses aquíferos que originam essas nascentes se formam a partir do armazenamento d'água nos espaços porosos das rochas sedimentares. Desse modo, em meio as Formações (FM.) da bacia sedimentar do Araripe situam-se o **Aquífero superior** (Fm. Exu; Araripina); o **Aquitarde do Grupo Santana** (Fm. do Grupo Santana); o **Aquífero médio** (Fm. Barbalha, Abaiara e Missão Velha); o **Aquitarde** (Fm. Brejo Santo) e; o **Aquífero inferior** (Fm. Mauriti), cujas águas afloram nas encostas da chapada do Araripe como nascentes d'água (Sabiá, 2000; Lima, 2015; Camacho, 2016).

No âmbito da conservação e do uso sustentável, as políticas públicas de proteção hídrica, desde 1934, já destacavam formas de proteger as nascentes da degradação ambiental. Nos artigos 1ª e 2ª do Código de Águas (BRASIL, 1934) as nascentes eram reguladas como elementos hídricos de domínio público, juntamente com outros ambientes relacionados aos mananciais aquáticos. Décadas depois, a Resolução de nº 303/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, coloca as nascentes como Áreas de Preservação Permanente (APPs), as quais devem ter seu entorno protegido num raio mínimo de 50 m (BRASIL, 2002), semelhante ao que se apresenta no atual Código Florestal brasileiro (BRASIL, 2012).

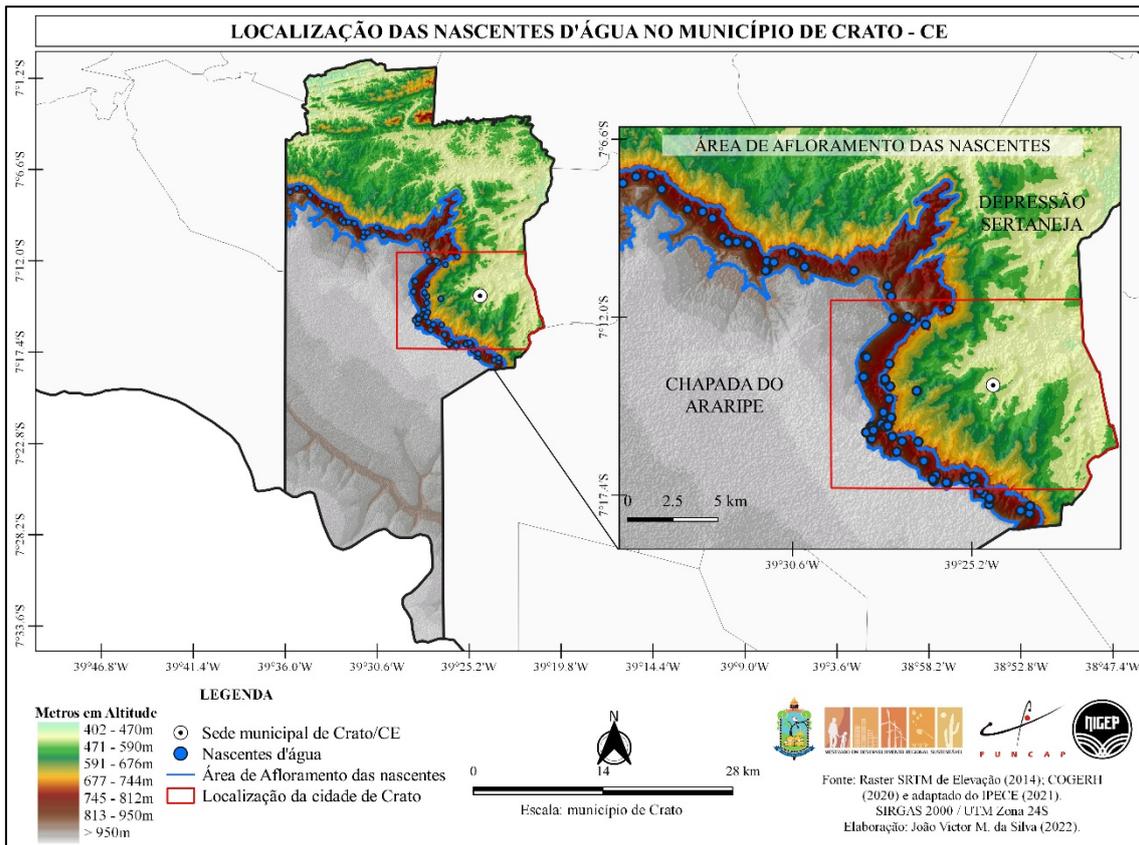


Figura 5. Mapa de localização das áreas de afloramento das nascentes do município de Crato (Elaborado por João V. Mariano da Silva, 2021; Fonte de dados das imagens de Satélite SRTM de elevação (2014); COGERH – CEARÁ (2020) e adaptado de IPECE (2021)).

Figure 5. Location map of the outcrop areas of the springs in the municipality of Crato (Prepared by João V. Mariano da Silva, 2021; Data source from Satellite SRTM elevation images (2014); COGERH – CEARÁ (2020) and adapted from IPECE (2021)).

Em adição, em escala local, ao se analisar a Lei nº 2.279/2005 (CRATO, 2005), que dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) do município de Crato, se observa que, embora exista uma ênfase quanto ao uso e ocupação do solo nos espaços naturais, não há uma delimitação específica para os diversos tipos de mananciais hídricos incluindo as nascentes d'água. Estas, assim como os rios, as encostas, e outras unidades de relevo não são enfatizadas como parte da preocupação do contexto de ocupação urbana. O PDDU, de Crato, se estabelece como um:

“instrumento básico da sua política de desenvolvimento e de expansão urbana, objetivando a partir da fixação de objetivos e diretrizes definidos no Plano Estratégico e no Plano de Estruturação Urbana, orientar o processo de transformação do município,

assegurando uma melhor qualidade de vida a seus habitantes (CRATO, 2005, art. 1º).”

Logo no capítulo I (Das disposições Gerais), art. 4º, identifica-se que apenas 2 (dois) objetivos fundamentais, entre os 11 apresentados na referida lei nº 2.279/2005, destacam a preocupação em resguardar os ambientes naturais, que são:

- IV – Disciplinar o uso e ocupação do solo, compatibilizando-os com o meio ambiente e a estrutura disponível;
- VI – Preservar, conservar e recuperar as áreas e edificações de valor histórico, paisagístico, artístico e natural (CRATO, 2005, art. 4º).

O mesmo contexto limitado na abordagem do patrimônio natural do município é identificado no capítulo II (Dos

Objetivos Estratégicos), onde apenas destaca-se o ato de proteger a qualidade dos sistemas ambientais por parte de políticas públicas em conjunto a sociedade civil (CRATO, art. 4º), como um dos objetivos estratégicos do PDDU. O mesmo seria suficiente para enfatizar a preocupação com os recursos naturais, contudo, não há uma especificação, bem como, dentre os 6 (seis) objetivos expostos no documento apenas 1 (um) traz essa questão como pauta.

Por um lado, o PDDU apresenta diversos artigos referentes ao contexto de ocupação urbana, por outro, verifica-se uma ampla (e preocupante) escassez de políticas que apontem a necessidade de conservação dos recursos hídricos na cidade e no município, podendo apenas ser observado de forma limitada e pontual a menção dos rios Batateiras, Grangeiro e Saco Lobo. As nascentes, embora importantes elementos hidrogeológicos e hidrogeomorfológicos de Crato, não são mencionadas e ficam à mercê no que se refere à preocupação com os impactos relacionados à expansão e ocupação urbanas.

De maneira geral, o Plano Diretor de um município é a principal ferramenta que apresenta as diretrizes da política urbana. Contudo, há neles a necessidade da realização prévia de análises ambientais de todo o território municipal, apoiadas, sobretudo, nos zoneamentos ambientais, feitos para subsidiar a identificação de áreas potenciais e áreas vulneráveis, por exemplo. No entanto, no Estatuto da Cidade não há a obrigatoriedade da realização dessas medidas estratégicas, implicando na ausência da integração de dados espaciais (Batistela, 2007). Além dos Planos Diretores, na Lei Federal nº 10.257 de julho de 2001, art. 4º, que estabelece diretrizes gerais da política urbana, cita-se outros instrumentos de planejamento ambiental que são: disciplina do parcelamento, uso e ocupação do solo e os zoneamentos ambientais (BRASIL, 2008, art. 4. Grifo nosso).

Os zoneamentos foram instituídos pela primeira vez na Europa e nos Estados Unidos como “carros-chefe” do planejamento urbano. Estes, associados ao termo “ambiental”, representam não somente a

junção de conceitos e estudos de diversas disciplinas, como tem a função de definir zonas territoriais específicas nas esferas urbanas, rurais, áreas protegidas, do ponto de vista ambiental artístico, cultural etc. (Batistela, 2007).

No contexto legal, os Zoneamentos Ambientais estão previstos no Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002, estabelecidos como “Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE)”, sendo instrumentos básicos da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA – BRASIL, 1981). Fundamentam-se como ferramentas de organização espacial possível de ser criadas pelo poder público e/ou privado, com a função de estabelecer medidas de proteção ambiental para as águas, os solos, a biodiversidade e os ecossistemas, garantido uma boa qualidade natural, o uso racional e promovendo o desenvolvimento sustentável e social (BRASIL, 2002, art. 2; art. 3).

Os zoneamentos também são formas de instituir o planejamento ambiental de um dado território, ao permitir a identificação de características específicas sobre os geossistemas, sistemas ambientais e suas relações com as dinâmicas socioeconômicas. Eles se fundamentam como base na implementação de propostas de planejamentos sustentáveis, uma vez que se apoiam nas relações integradas dos ambientes, estabelecendo diagnósticos e prognósticos (Silva, 2009). Essa análise integrada e sistêmica que pode vir a ser feita através dos zoneamentos pode fomentar o direcionamento de políticas públicas voltadas para o ordenamento e ocupação dos solos urbanos, enfatizando as potencialidades e vulnerabilidades ambientais e suas correlações com o crescimento das cidades. Isso é dito e apoiado no Decreto nº 4.297 de Brasil (2002, art. 6º), que enfatiza que estes instrumentos podem ser realizados mediante apuração e o levantamento de dados espaciais em todas as escalas de análise, podendo ser utilizado, sobretudo, na produção de produtos sínteses dos espaços – mapas.

Nesta perspectiva, a nível local, como por exemplo, uma proposta de zoneamento para as nascentes da cidade do Crato, a ser incluído no PDDU do município, esta poderia ser elaborada com base nas diretrizes do art.

2 do Decreto nº 4.297 e do novo Decreto nº 6.288, de 06 de dezembro de 2007, onde no inciso III, art. 2, se estabelece, para fins de reconhecimento do território local e elaboração de produtos sínteses de informações espaciais, permite que o ZEE seja realizado nas escalas locais de 1:100.000 e maiores, para indicativos operacionais de gestão e ordenamento territorial, tais como, planos diretores municipais, planos de gestão ambiental e territorial locais, usos de Áreas de Preservação Permanente, nos termos do art. 4º da Lei nº 4.771, de 1965 (BRASIL, 2007, art. 2-A, inciso III).

Considerando as diretrizes do Código Florestal (BRASIL, 2012) em que as nascentes são APPs, considerando a ausência de políticas no PDDU de Crato que enfatizem a importância da conservação das nascentes nos setores de ocorrência no município do Crato; o zoneamento ambiental das nascentes poderia ser uma medida estratégica de gestão pública e desenvolvimento sustentável a nível municipal e/ou regional, desde que houvesse, vale frisar, a elaboração de mapas de detalhes.

Para as nascentes d'água de Crato, o zoneamento geoambiental, aqui denominado de zoneamento ambiental, seria a ferramenta ideal para esses elementos hídricos, uma vez que segundo Silva e Santos (2004), é através dele que se realiza a integralização dos elementos geossistêmicos e subsistêmicos do ambiente. Aponta-se isso, pois dado o contexto de interdisciplinaridade, existem 9 (nove) tipos de zoneamentos estabelecidos na legislação brasileira e 7 (sete) identificados no contexto da literatura científica (Silva & Santos, 2004).

Ainda neste viés, o Decreto nº 4.297, art. 12, determina que esses zoneamentos devem ser realizados mediante: "I-diagnóstico dos recursos naturais, da sócio-economia e do marco jurídico-institucional; II-informações constantes do Sistema de Informações Geográficas; III-cenários tendenciais e alternativos; e IV-Diretrizes Gerais e Específicas" (BRASIL, 2002, art. 12. Grifo nosso). Associando essas informações com as discussões identificadas no quadro 1, é possível concluir que, para que seja feito esse zoneamento específico (e necessário) das nascentes, há a necessidade prévia da

aplicação de uma análise integrada do ambiente.

Os ZEEs, em si, já trazem uma visão sistêmica que permite a identificação de causas e efeitos nos espaços estudados, permitindo observar as relações de interdependência dos subsistemas físicos-ambientais e socioeconômicos, indicando como eles contribuem para a funcionalidade de um sistema maior. Aponta-se esse aspecto, pois, em seu conteúdo, há o diagnóstico da estrutura e dinâmica ambiental e econômica (Silva & Santos, 2004).

Isso também é enfatizado no Decreto federal nº 4.297, que cita a necessidade de realização desse diagnóstico ambiental que deve conter, no mínimo: I - os sistemas ambientais a partir da integração natural; II - potencialidades naturais e ecossistêmicas; III - fragilidades naturais; IV - presença ou ausência de corredores ecológicos; V - ocupação da área definida pelo uso da terra; VI - dados demográficos, dentre outros (BRASIL, 2002, art. 13).

Dessa forma aplicar a análise ambiental às nascentes, através dos zoneamentos de suas áreas, significa compreender também as relações sociais onde estão inseridas, entendendo assim o contexto de desenvolvimento socioeconômico. Para Chistofolletti (1999), conhecer essas inter-relações exige a compreensão dos estudos econômicos, sociais e culturais, uma vez que estes fornecerão informações mais holísticas.

No campo das nascentes de Crato esses zoneamentos, apoiados na análise ambiental integrada, se apresentam como uma importante forma de compreender o sistema hidrogeomorfológico associado às nascentes, apresentando as influências externas e internas em nível de detalhe local. Muitas vezes, os aspectos espaço-temporais, influenciados pelas condições climáticas, afetam a imprecisão natural da localização das nascentes (Felippe, 2009). Mas, além dessa característica, as nascentes d'água ainda contém uma gama de aspectos que podem ser identificados a partir da aplicação das análises integradas, dos zoneamentos e suas inclusões no PDDU municipal.

Nos sistemas hidrológicos, as nascentes são subsistemas naturais de escala inferior. No campo da geomorfologia são subsistemas dos sistemas hidrográficos, tendo uma das funções mais importantes: onde se iniciam os canais fluviais (Felippe, 2009). Dessa forma, o contexto de aplicação da análise ambiental integrada aos subsistemas das nascentes de Crato, permitiria o entendimento dos elementos considerados por Christofolletti (1979), do conjunto de matéria, energia, relações, elementos e das interrelações de forma conjunta e sintética.

Os diagnósticos, outro possível resultado da aplicação desses zoneamentos, favoreceria ainda entender as condições climáticas da região, em conjunto ao tipo de vegetação, ao contexto litológico onde haverá a infiltração e armazenamento d'água (e obviamente influenciando o tipo de aquífero); o local de exfiltração, este, condicionado pelo relevo e as diversas formas de uso e ocupação existentes, o que fundamentaria assim, um conjunto de dados para subsídios da conservação ambiental local e/ou regionalmente.

Por fim, o município do Crato já apresenta registros históricos antigos de zoneamentos feitos. Em janeiro de 1854, através da Resolução nº 650, art. 50, a Câmara do Crato estabeleceu “uma linha divisória entre os terrenos destinados à agricultura e à pecuária no município” (Pinheiro, 2010, p. 138). Essa delimitação estava apoiada em conflitos locais que se davam em função do acesso à água e de impactos ambientais que as atividades estavam causando uma a outra. Se há 167 anos já se refletia sobre o uso e ocupação da terra, o que impede a cidade de se repensar e colocar as nascentes no centro desse debate?

4 Conclusões

A importância da discussão da análise ambiental integrada das nascentes d'água não se dá somente por destacar características geológicas e geomorfológicas sobre estas, mas também por ressaltar o fato de que estas constituem sistemas ambientais (ou subsistemas) que agem de forma integrada no ambiente onde se situam, trocando

constantemente energia e matéria. Assim, é possível entender as nascentes que, ao mesmo tempo em que são afloramentos d'água responsáveis por desenvolver as cabeceiras de drenagem das bacias hidrográficas, também são respostas das interações sistêmicas que existem nos sistemas hidroclimáticos, hidrogeológicos e hidrogeomorfológicos de um dado espaço.

Observa-se ainda que o estudo integrado das nascentes proporciona a obtenção de dados de suas condições atuais, de seu nível de conservação ou preservação, associado à sua dinâmica natural, bem como fornece análises de possíveis estágios de alerta mediante a sua proteção, estabelecendo assim prognósticos. Dessa forma, mesmo afirmando que este trabalho não visa apresentar experiências práticas da aplicação da metodologia da análise ambiental integrada, identifica-se que está além de interdisciplinar, pode ser realizada em diversas áreas do conhecimento, apontando variáveis importantes para se compreender as dinâmicas hídricas das nascentes e de outros ambientes associados.

Mediante as discussões teóricas, dado o contexto de crescimento urbano da cidade do Crato (que merece ser detalhadamente mais estudado), observou-se que a análise ambiental ainda não foi realizada com foco diretamente nas nascentes, sendo assim um possível fator limitante na busca de dados sobre esses mananciais hídricos. Contudo, esta metodologia pode (e deve) ser adaptada, e com base nos zoneamentos ambientais ser aplicada às nascentes, possibilitando um mapeamento dos espaços preservados e da ocupação de seu entorno. Dessa forma, além da identificação de áreas potenciais e vulneráveis no contexto hidrogeomorfológico da chapada do Araripe, poderia também subsidiar melhorias para o PDDU do município de Crato.

Em suma, aponta-se que a análise ambiental integrada, adaptada e aplicada nos zoneamentos ambientais das nascentes precisa ser mais bem estudada e analisada no contexto de ocupação das áreas de nascentes, como uma forma de estabelecer diagnósticos, contribuir com a conservação ambiental, subsidiando a gestão hídrica local/regional e,

por fim, fomentando a melhoria no desenvolvimento sustentável de Crato e, por correlação, de cidades adjacentes da região.

Agradecimentos. À Universidade Federal do Cariri pela bolsa emergencial de pós-graduação (setembro a dezembro de 2020). À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pela concessão da bolsa de mestrado implementada em março de 2021. À Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, Gerência da Bacia do Rio Salgado de Crato – Ceará. À Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbanístico do município de Crato e aos professores Antônio Paulo Faria e Sinara Gomes de Souza pelo compartilhamento de materiais bibliográficos.

Referências

- Amorim, R.R. 2021. Um novo olhar na Geografia para os conceitos e aplicações de Geossistemas, sistemas antrópicos e sistemas ambientais. *Caminhos de Geografia*, 13(41): 80-101.
- A’B Sáber, A.N. 2003. *Os domínios de natureza do Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo: Ateliê Editorial, 81-98.
- A’b Sáber, A.N. 1999. *Dossiê Nordeste seco*. São Paulo: Estudos Avançados (online), (13)36.
- Bastos, F.H.; Cordeiro, A.M.N.; Silva, E.V. 2017. *Aspectos geoambientais e contribuições para estratégias e planejamento ambiental da serra de Baturité/CE*. Revista da Anpege, 13(21), 163-198.
- Bertrand, G. 2004. *Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico*. São Paulo: Caderno de Ciências da Terra, Universidade de São Paulo, 13.
- BRASIL. República Federativa. 1981. *Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981*. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências (PNMA – BRASIL), Brasília.
- BRASIL, República Federativa. 1934. *Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934*. Decreta o Código das Águas. Brasília/DF: Câmara dos Deputados. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-24643-10-julho-1934-498122-norma-actualizada-pe.html>>. Acesso em: 29 set. 2020.
- BRASIL, República Federativa. 2012. *Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Institui o novo Código Florestal Brasileiro. Brasília/DF: Diário Oficial da União, 28 de maio de 2012.
- BRASIL, República Federativa. 2008. *Estatuto da Cidade - Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001*. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília/DF: Senado Federal.
- BRASIL, República Federativa. 1981. *Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002*. Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências. Brasília/DF: Casa Civil, 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4297.htm>. Acesso em: 23 out. 2021.
- BRASIL, República Federativa. 2002. *Decreto nº 6.288, de 06 de dezembro de 2007*. Dá nova redação ao art. 6º e acresce os arts. 6-A, 6-B, 6-C, 13-A e 21-A ao Decreto no 4.297, de 10 de julho de 2002. Brasília/DF: Casa Civil, 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Decreto/D6288.htm#art2>. Acesso em: 23 out. 2021.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. 2002. *Resolução CONAMA nº 303/2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente*. Brasília: Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA.
- Bruins, H.J., Sherzer, Z., Ginat, H. & Batarseh S. 2012 Degradation of Headwaters in the Arava Valley: anthropogenic and Climatic factors. *Land Degradation & Development*, 23(4): 365-383.
- Camacho, C.R. 2016. *A influência da estruturação geológica sobre o fluxo das águas subterrâneas no Vale do Cariri –*

- Bacia Sedimentar do Araripe - Ceará – Brasil*. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará (Dissertação de mestrado), 19 – 33.
- Calheiros, R.O., Tabai, F.C.V., Bosquilia, S.V. & Calamari, M. 2009. *Cadernos da mata ciliar – preservação e recuperação de água e vida*. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Departamento de Proteção da Biodiversidade, 2(1), 2009. Disponível em:
- Castro, M.S., Oliveira, A.A. & Pereira, W.E.N. 2013. Panorama e dinâmica recente da economia da Região Metropolitana do Cariri – RMC. *Revista de Economia Regional, Urbana e do Trabalho*, 2(1): 47-58.
- CEARÁ, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. 2020. *Planilha de informações gerais e específicas das fontes da Bacia do Araripe*. Crato, Ceará.
- Chorley, R.J. 1962. *Geomorphology and general system theory*. Washington: USGS.
- Christofoletti, A. 1979. *Análise de sistemas em Geografia*. São Paulo: Hucitec, Ed. da Universidade de São Paulo.
- Christofoletti, A. 1990. Aplicação da abordagem em sistemas na Geografia física. *Revista Brasileira de Geografia*, 52(2): 21-35.
- Christofoletti, A. 1999. *Modelagem de sistemas ambientais*. São Paulo: Blucher.
- Coelho Neto, A.N. 2018. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: Guerra, A.J.T. & Cunha, S.B. (Eds.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand. 14, p. 93-149.
- CRATO, Governo Municipal. 2005. *Lei nº 2.279/2005*. Que dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, PDDU, do município do Crato e dá outras providências. Prefeitura Municipal de Crato: Gabinete do Prefeito.
- Dal’asta, A.P. 2009. *Elaboração de um zoneamento geoambiental para o perímetro urbano de Santa Maria – RS* (Dissertação de mestrado). Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, p. 16-41.
- Dias, R.L. & Perez-Filho, A. 2017. Novas considerações sobre geossistemas e organizações espaciais em geografia. *Sociedade & Natureza*, 29(3): 1-15.
- Feitosa, L.C.M. 2017. *Adequação metodológica para avaliação do potencial de conservação de nascentes rurais* (tese). Recife: Universidade Federal de Pernambuco.
- Felippe, M.F. 2009. *Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte - MG com base nas variáveis geológicas, hidrológicas e ambientais* (dissertação). Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais.
- Felippe, M.F. 2013. *Gênese e dinâmica de nascentes: contribuição da investigação hidrogeomorfológica em região tropical* (tese). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.
- Felippe, M.F. & Magalhães Jr., A.P. 2013. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d’água e propostas de especialistas. *Geografias*, 9(1): 70-81.
- Felippe, M.F. & Magalhães Jr, A.P. 2020. O estudo hidrogeomorfológico de nascentes. In: Magalhães Jr., A.P. & Barros, L.F.P. (Org.). *Hidrogeomorfologia*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 103-120.
- Ferreira, R.A.; Aguiar Netto, A.O.; Santos, T.I.S., Santos, B.L. & Matos, E.L. de. 2011. Nascentes da sub-bacia hidrográfica do rio Poxim, estado de Sergipe: da degradação à restauração. *Revista Árvore*, 35(2): 265-277.
- França Júnior, P. & Vila, M.E.C.D. 2013. Análise macroscópica nas cabeceiras de drenagem de Umuarama, região noroeste – Paraná/Brasil. *Geografia Ensino e Pesquisa*, 17(1): 107-117.
- Gil, A.C. 2002. *Como elaborar um projeto de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 4 Ed.
- Guerra, A.T. & Guerra, J.A.T. 2008. *Novo dicionário Geológico-Geomorfológico*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 6 Ed.
- Haigh, M.J. 1985. Geography and General System Theory, philosophical homologies and current practice. *Geoforum*, 16(2): 191-203.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/Cidades. 2020. *Estimativa População*. Rio de Janeiro. IBGE.

- Ivanov, M.A.; Yrmolaev, O.P. & Usmanov, B.M. 2016. Integrated approach to environmental impact assessment on geosystems. *International Journal of Pharmacy & Technology*, 8(4): 24135-24160.
- Lima, W.P. 2008 *Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacia hidrográficas*. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2ed., p. 46-62.
- Lima, F.J. 2015. *Evolução geomorfológica e reconstrução paleoambiental do setor subúmido do Planalto Sedimentar do Araripe: um estudo a partir dos depósitos coluviais localizados nos municípios de Crato e Barbalha – Ceará*. (Tese de doutorado em Geografia) Universidade Federal de Pernambuco, p. 17-45.
- Lima, F.J.; Cestaro, L. A. & Araujo, P. C. 2010. Sistemas geoambientais do município de Crato/CE. *Mercator*, 9(19): 129-142.
- Magalhães, G.B.; Silva, E.V. & Zanella, M.E. *Análise geossintêmica: um caminho para o entendimento holístico*. Rio de Janeiro: Revista da Pós-Graduação em Geografia da PUC-Rio, v. 3, n. 5, p. 1-17, 2010.
- Marques Neto, R. 2008. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. *Geografia*, 17(2): 67-87.
- Mendonça, F. 2020. *Geografia Física: ciência humana?* São Paulo: Contexto, Ed. 8.
- Moura-Fé, M.M. 2018. As Serras Úmidas na Ocupação do Território Cearense. *Revista da Casa da Geografia de Sobral*, 20(2): 19-29.
- Moura-Fé, M.M. 2014. A análise ambiental integrada e sua construção teórica na Geografia Física. *Okara: Geografia em Debate*, 2(2): 294-307.
- Moura-Fé, M.M., Silva, M.J.A., Dias, V.P., Monteiro, D.A., Moura Silva, J.H. & Rodrigues, R.M. 2019. Região Metropolitana do Cariri (RMC), Ceará: Meio ambiente e sustentabilidade. *Revista Casa da Geografia de Sobral*, 21(2): 1198-1216.
- Nascimento, F.R. & Sampaio, J.L. 2005. *Geografia Física, geossistemas e estudos integrados da paisagem*. *Revista da Casa da Geografia de Sobral*, 6/7(1): 167-179.
- Nascimento, A.F., Silva, M.S.L., Marques, F.A., Oliveira Neto, M.B., Parahyba, R.B.V. & Amaral, A.J. 2015. *Caracterização geoambiental em áreas de barragens subterrâneas no Semiárido brasileiro*. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos; Recife, PE: Embrapa Solos; UEP Recife, 22p.
- Nunes, E.M. & Castilho, C.J.M. 2017. Perspectivas de governança ambiental em áreas de nascentes no Estado da Paraíba-Brasil: rumo à sustentabilidade? *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(2): 428-440.
- Oliveira, G. 2019. Geocologia e geodiversidade: uma aplicação da análise integrada da paisagem como subsídio à gestão de áreas protegidas. *Caminhos de Geografia*, 20(72): 402-421.
- Oliveira, M.X. 2018. *Análise geoambiental: discussões sobre conceitos e metodologias aplicadas* (Tese de doutorado). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 35-104.
- Peulvast, G.P., Bétard, F. & Magalhães, A.O. 2011. Morphologie des escarpements et identification de grands mouvements de masse dans les plateaux tropicaux: la partie orientale du bassin Araripe (Ceará, Brésil). *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 1: 33-52.
- Pereira, L.C. 2012. *Uso e conservação de nascentes em assentamentos rurais* (dissertação). Recife: Universidade Federal de Pernambuco.
- Pinheiro, I. 2010. *Efemérides do Cariri*. Série Memória (Coedição Secult/Edições Urca). Fac-símile da edição de 1963, publicada pela Imprensa Universitária do Ceará (Fortaleza-Ceará). Fortaleza: Edições UFC, 570 p.
- Queiroz, M.L. 2013 *Nascentes, veredas e áreas úmidas - revisão conceitual e metodologia de caracterização e determinação: estudo de caso na estação ecológica de águas emendadas - Distrito Federal*. (dissertação). Universidade de Brasília.
- Rocha, G.A. 2013. Águas subterrâneas. In: Telles, D.D. (org.). *Ciclo ambiental da água*. São Paulo: Blucher, p. 120-142.

- Rebouças, A.C. 2013. Águas Subterrâneas. In: Gaimpá, C.E.Q. & Gonçalves, V.G. (Eds.). *Águas subterrâneas e poços tubulares*. São Paulo: Oficina de Textos, 2ed., p. 17-56.
- Santos, N.A., Oliveira-Júnior, I. & Borges, E.F. 2021. Análise integrada da paisagem: subsídio para o zoneamento ambiental em Canudos – BA. *Caderno Prudentino de Geografia*, 2(43): 178-200.
- Sabiá, R.J. & Frickorn, H. 2004. *Gestão das fontes da chapada do Araripe: descaso ou incompetência*. Florianópolis: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduo e Desenvolvimento Sustentável, p. 1306-1314.
- Silva, J.S.V. & Santos. 2004. R.F. Zoneamento para o planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 21(2): 221-263.
- Silva, C.A. 2009. *Análise sistêmica, planejamento ambiental e zoneamento ambiental, reflexões e aplicabilidade no turismo*. Viçosa: UFV-CCHLA-Dep. Geografia-Lab de Geografia Física Aplicada, p. 1-19.
- Soares, G.C.S.S. 2016. *Cadeia casual de degradação de nascentes na bacia hidrográfica do rio Gramame – Paraíba* (Dissertação). João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, p. 2-42.
- Soares, J.C.O.; Souza, C.A. & Pierangeli, M.A. 2010. Nascentes da sub-bacia hidrográfica do córrego Caeté/MT: estudo do uso, topografia e solo como subsídio para gestão. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 6(1): 22-51.
- Souza, M.J.N. & Oliveira, V.P.V. N. 2006. Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do nordeste brasileiro. *Mercator*, 5(9): 85-102.
- Sotchava, V.B. 1978. *Por uma teoria de classificação dos geossistemas de vida terrestre*. Biogeografia. São Paulo, n. 14, 24 p.
- Ross, J.L.S. 2006. *Ecogeografia do Brasil: subsídios para o planejamento ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Ross, J.L.S. 2011. Análise e sínteses da abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. *Revista do Departamento de Geografia*, 9: 65-75.
- Vale, C.O. 2012. Teoria Geral do Sistema: histórico e correlações com a Geografia e com o estudo da paisagem. *Entre-Lugar*, 3(6): 85-108.
- Valente, O.F. & Gomes, M.A. 2005. *Conservação de nascentes - hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras*. Viçosa – MG: Aprenda Fácil.
- Troppmair, H. & Galina, M.H. 2006. Geossistemas (Geosystems). *Mercator*, 5(10): 79-90.