



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL  
SUSTENTÁVEL – PRODER**

**JOÃO VICTOR MARIANO DA SILVA**

**ANÁLISE AMBIENTAL DAS NASCENTES DA CIDADE DE CRATO - CEARÁ:  
SUBSÍDIOS PARA O DESENVOLVIMENTO REGIONAL SUSTENTÁVEL**

**CRATO/CEARÁ  
ABRIL – 2022**

JOÃO VICTOR MARIANO DA SILVA

**ANÁLISE AMBIENTAL DAS NASCENTES DA CIDADE DE CRATO - CEARÁ:  
SUBSÍDIOS PARA O DESENVOLVIMENTO REGIONAL SUSTENTÁVEL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável, da Universidade Federal do Cariri – UFCA, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

**Linha de Pesquisa:** Saúde, Estado e Sociedade.

**Sublinha de pesquisa:** Geodiversidade, Patrimônio e Sustentabilidade.

**Orientador:** Prof. Dr. Marcelo Martins de Moura Fé

**Co-orientadora:** Profa. Dra. Celme Torres Ferreira da Costa

CRATO/CE  
ABRIL – 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Cariri  
Sistema de Bibliotecas

---

- S586a Silva, João Victor Mariano da.  
Análise ambiental das nascentes da cidade de Crato – Ceará : subsídios para o desenvolvimento regional sustentável / João Victor Mariano da Silva. – 2022.  
98 f.: il. color.30 cm
- Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Cariri, Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), Crato, 2022.
- Orientação: Prof. Dr. Marcelo Martins de Moura Fé  
Coorientação: Profa. Dra. Celme Torres Ferreira da Costa.
1. Análise geoambiental. 2. Hidrogeologia. 3. Hidrogeomorfologia. 4. Bacia Sedimentar do Araripe. 5. Sustentabilidade. I. Título.

CDD 551.49

---

Bibliotecária: Glacínésia Leal Mendonça  
CRB 3/ 925

JOÃO VICTOR MARIANO DA SILVA

**ANÁLISE AMBIENTAL DAS NASCENTES DA CIDADE DE CRATO - CEARÁ:  
SUBSÍDIOS PARA O DESENVOLVIMENTO REGIONAL SUSTENTÁVEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável da Universidade Federal do Cariri (PRODER/UFCA), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

**Linha de Pesquisa:** Saúde, Estado e Sociedade

**Sublinha de pesquisa:** Geodiversidade, Patrimônio e Sustentabilidade.

Aprovado em: 27 / 04 / 2022.

BANCA EXAMINADORA



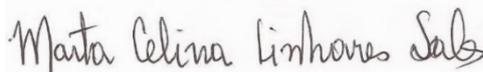
Prof. Dr. **Marcelo Martins de Moura Fé**  
Orientador. Presidente da banca examinadora.  
Universidade Regional do Cariri (URCA)  
Universidade Federal do Cariri (PRODER/UFCA)



Profa. Dra. **Celme Torres Ferreira da Costa**  
Co-orientadora. Membro interno.  
Universidade Federal do Cariri (UFCA)



Profa. Dra. **Iracilde Maria de Moura Fé Lima**  
Membro externo à instituição. Universidade Federal do Piauí (UFPI)



Profa. Dra. **Marta Celina Linhares Sales**  
Membro externo à instituição. Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Dr. **Miguel Fernandes Felipe**  
Membro externo à instituição. Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

Aos meus pais, Francisco Silvano da Silva e Maria das Dores Mariano da Silva, por todo incentivo e força não só nesta jornada, mas sempre.

## AGRADECIMENTOS

A Deus e a vida, por toda força e coragem que me fez trilhar esse caminho e chegar onde estou hoje.

Aos meus pais Francisco Silvano da Silva e Maria Das Dores Mariano da Silva, por sempre acreditar em mim, por nunca ter desistido de investir na minha educação e por abdicar de tudo para fazer com que meus sonhos fossem possíveis. Vocês são os maiores!

Ao meu orientador e amigo, Marcelo M. de Moura Fé, por desde a graduação acreditar no meu potencial, assim como, por sempre me orientar e me ensinar com muito zelo e paciência em todos os trabalhos feitos até hoje. Obrigado também por me apresentar esse tema tão incrível que são as nascentes. Você é uma inspiração!

A minha Co-orientadora Celme Torres F. da Costa por todas as contribuições e sugestões nesta pesquisa de mestrado e na minha carreira acadêmica.

A Universidade Federal do Cariri (UFCA) e ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), pelo acolhimento e por ter sido esse divisor de águas de grande importância na minha jornada.

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) por todo incentivo financeiro para realização da pesquisa, concebido da bolsa de mestrado de fevereiro de 2021 a março de 2022.

A Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa e Inovação (PRPI/UFCA) pelo fornecimento da Bolsa emergencial de pós-graduação de setembro a dezembro de 2020.

A Vinicius Luna por, mesmo nos períodos mais “solitários” desses dois anos, ter sido um amigo sempre presente. Valeu pelos conselhos, pelos dias fazendo mapas, pela ajuda nos campos e por todas as contribuições na academia e na vida.

Também agradeço aos meus amigos David Leonardo e Raquel Landim por toda amizade, contribuições e suporte que vocês me dão desde a graduação. Bem como agradeço a Petrus David, por toda ajuda no português, no inglês e na vida. Muito obrigado, gente!

Aos colegas de mestrado do PRODER da turma 2020.1, pelas partilhas, tardes remotas e todas as parcerias. Agradeço sobretudo as amigas que construí, especialmente: Rubens O. da Cunha Jr., Renata Macêdo Leite e Luciana Medeiros.

Aos meus professores do PRODER pelo compromisso e por todo conhecimento compartilhado, principalmente: Carlos Wagner, Adriana Alencar, Zuleide Queiroz e Estelita Lima.

Aos meus amigos do vôlei: Maria Alice, Zaqueu Medeiros, Matheus Henrilly, Edson Barbosa, Pedro Brito, Wesley Henrique, Lukinhas, Synara, João V. Brandão, Raimundo

L., Maria Beatriz. Obrigado, gente, por durante esses dois anos me ajudar a tornar os dias normais e os dias tensos melhores.

Aos meus amigos Luciano Amorim, Rayssa Leite, Raine Martins, Karoline Teixeira e meu afilhado Pedro Ruan pela ajuda e apoio dado de forma indireta.

Aos professores Dr. Antônio P. Faria; Me. Sinara Gomes de Souza e Dr. Miguel Felipe Felipe, por contribuir na partilha de materiais bibliográficos e sugestões de textos muito úteis nesta pesquisa e na minha formação.

Ao meu grupo de pesquisa, o Núcleo de Estudos Integrados em Geomorfologia, Geodiversidade e Patrimônio (NIGEP) por todo apoio e suporte.

A Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH) Gerência da Bacia do Rio Salgado de Crato – Ceará, pela contribuição no fornecimento de dados das nascentes.

A Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbanístico do município de Crato – Ceará, pelo compartilhamento do Plano Diretor da cidade de Crato.

Aos funcionários públicos da UFCA por toda recepção e ajuda, sobretudo aqueles que trabalham na Secretaria do PRODER.

As pessoas que residem em Crato e que durante os campos me ajudaram na identificação das nascentes.

Por fim, mas não menos importante aos membros da banca de qualificação e defesa de dissertação, Dr. Miguel Felipe, Dra. Iracilde Moura Fé, Dr. Marcos Nascimento e Dra. Marta Celina por todas as contribuições, sugestões e cuidado na avaliação do trabalho.

A todos(as) que me ajudaram, meu muito obrigado!

## RESUMO

As nascentes são importantes subsistemas hídricos naturais, pertencentes às bacias hidrográficas, sendo responsáveis pela exfiltração das águas para a superfície e por manter a dinâmica hidrológica regional. Contudo, dada a importância do uso da água nas atividades realizadas pelos seres humanos, esses elementos naturais aquáticos vêm apresentando sérios problemas ambientais, tais como: a ocupação de suas áreas de recarga, a supressão vegetal do seu entorno e a correlata perda de vazão, dentre outros. O Crato, Região Metropolitana do Cariri - RMCariri/CE, dadas as condições geoambientais regionais da bacia sedimentar do Araripe e da chapada do Araripe, apresenta uma relevante ocorrência de nascentes na encosta dessa chapada. Estas, dado o contexto de urbanização que se expande no município, vêm se tornando alvo da degradação ambiental, causada pela ocupação inadequada das áreas de encosta e nos seus entornos. Nesta perspectiva, esta pesquisa teve como objetivo realizar uma análise ambiental das nascentes de Crato/CE, baseada em suas condições hidrogeomorfológicas, históricas e geoambientais. Para isto, a pesquisa foi compartimentada em dois artigos: no primeiro, adotou-se como metodologia um levantamento bibliográfico e documental acerca das temáticas e possíveis aplicações da análise ambiental das nascentes; no segundo, buscou-se identificar os elementos físico-naturais relacionados a estas, assim, além do levantamento bibliográfico em gabinete, houve mapeamento em laboratório e atividades de campo nas áreas de encosta da chapada do Araripe. Como resultados, a pesquisa pode identificar que nos dias atuais a análise ambiental integrada pode ser aplicada em diversas escalas de análise e que, no caso das nascentes, estas podem ser estudadas mediante a aplicação de zoneamentos ambientais apoiados em diagnósticos geoambientais. No âmbito das nascentes urbanas e periurbanas de Crato/CE, identificou-se que, mesmo se tratando de importantes respostas referentes ao contexto hidrogeomorfológico local e regional, elas, a partir da expansão das cidades, vêm sofrendo alterações negativas quanto a sua dinâmica natural. Das 93 nascentes identificadas, 45 situam-se na zona urbana e periurbana e, destas, 10 vêm sofrendo com esses impactos. Mesmo não sendo um processo que aflige todas as nascentes, é algo que aponta o impacto da urbanização sobre as áreas onde estas estão situadas. Dessa forma, conclui-se que, além dos diagnósticos subsidiarem estudos em escalas que abranjam os sistemas ambientais das nascentes, estes podem ser a base para o seu uso sustentável tanto a nível local quanto regional.

**Palavras-Chave:** Análise geoambiental. Hidrogeologia. Hidrogeomorfologia. Bacia Sedimentar do Araripe. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

The springs are important natural water subsystems that belong to the watersheds, being responsible for the water exfiltration to the surface and for maintaining the regional hydrological dynamics. However, given the importance of the usage of water in the activities performed by human beings, these natural aquatic elements have been presenting serious environmental problems, such as: the occupation of its refilling areas, the suppression of the vegetation of its surroundings and related flow loss, among others. Crato, in the Metropolitan Region of Cariri (*RMCariri*, in portuguese), given the regional geoenvironmental conditions of the Araripe sedimentary basin and the Araripe plateau, presents a relevant occurrence of springs at the plateau hillside. They given the context of urbanization that expands in the municipality, have become the target of environmental degradation, caused by the inadequate occupation of the hillside areas and their surroundings. In this perspective, this research aims to carry out an environmental analysis of the springs of the city of Crato/CE, based on their hydrogeomorphological, historical and geoenvironmental conditions. For this, the research was compartmentalized into two articles: in the first one, a bibliographic and documentary survey about the themes and possible applications of environmental analysis of the springs was adopted as a methodology; in the second one, it was sought to identify the physical-natural elements related to them, thus, beyond the bibliographic survey in office, there was laboratory mapping and field activities on the hillside areas of Araripe plateau. As results, the research could identify that nowadays the integrated environmental analysis can be applied at different scales of analysis and that, in the case of springs, they can be studied through the application of environmental zoning, supported by geoenvironmental diagnoses. Within the scope of urban and peri-urban Crato/CE springs, it was identified that, even when dealing with important answers referring to the local and regional hydrogeomorphological context, they, from the cities expansions, have been undergoing negative changes in terms of their natural dynamics. Of the 93 identified springs, 45 are situated in the urban and peri-urban area, and of that, 10 have been suffering these impacts. Even though it is not a process that afflicts all springs, it is something that points out the urbanization impact upon the areas where they are located. In this way, it is concluded that, in addition to the diagnoses that support studies in scales that cover the environmental systems of the springs, these can be the basis for their sustainable use both locally and regionally.

**Keywords:** Geoenvironmental analysis. Hydrogeology. Hydrogeomorphology. Araripe Sedimentary Basin. Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

### 1 INTRODUÇÃO

<b>Figura 1</b> – O município de Crato ao sopé da chapada do Araripe – Ceará .....	17
--	----

### 2 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO MUNICÍPIO DE CRATO

<b>Figura 1</b> - O Crato, ao sopé da chapada do Araripe.....	21
<b>Figura 2</b> - Mapa geomorfológico simplificado de Crato – Ceará.....	25
<b>Figura 3</b> - Formação de Facetas na escarpa da chapada do Araripe – Crato/CE.....	26
<b>Figura 4</b> - Principais drenagens do município de Crato – CE.....	27
<b>Figura 5</b> - Leito do Rio Batateiras (A) e do Rio Granjeiro (B) em Crato – CE.....	28
<b>Figura 6</b> – Mapa pedológico de Crato – Ceará.....	29

### ARTIGO 1

<b>Figura 1</b> – Localização da área de estudo.....	34
<b>Figura 2</b> - Exemplo síntese dos elementos de uma bacia hidrográfica.....	43
<b>Figura 3</b> - Distinção entre (I) aquíferos freáticos e (II) aquíferos artesianos .....	44
<b>Figura 4</b> - Crescimento urbano no município de Crato .....	47

### ARTIGO 2

<b>Figura 1</b> – Mapa de localização da área de estudo .....	64
<b>Figura 2</b> – Ciclo hidrológico e hidrogeológico na bacia sedimentar do Araripe.....	70
<b>Figura 3</b> – Características geológicas e hidrogeológicas de Crato/CE.....	71
<b>Figura 4</b> – Balneário Nascente ao sopé da chapada do Araripe em Crato – Ceará .....	75
<b>Figura 5</b> – Localização das nascentes urbanas e periurbanas de Crato .....	77
<b>Figura 6</b> – Mapa de uso e ocupação do solo da cidade de Crato.....	78
<b>Figura 7</b> – Tipologia do uso e ocupação ao entorno de nascentes na cidade de Crato (porção Noroeste – Norte) .....	80
<b>Figura 8</b> – Tipologia do uso e ocupação ao entorno de nascentes na cidade de Crato (Porção Oeste – Sudoeste) .....	81
<b>Figura 9</b> – Tipologia do uso e ocupação ao entorno de nascentes na cidade de Crato (porção Sudeste Sudoeste - Sul) .....	81

## APÊNDICE

<b>Figura 1</b> – Áreas com nascentes identificadas no bairro Granjeiro – Crato/CE.....	96
<b>Figura 2</b> – Formas de uso e captação d'água nas nascentes do Granjeiro.....	96
<b>Figura 3</b> – Áreas com nascentes identificadas no bairro Lameiro – Crato/CE .....	97
<b>Figura 4</b> – Formas de uso e captação d'água nas nascentes do Granjeiro.....	97
<b>Figura 5</b> – Formas de uso e ocupação do solo próximo as áreas de nascentes – Crato/CE ...	98

## **LISTA DE TABELAS**

### **1 INTRODUÇÃO**

<b>Tabela 1</b> - Número de nascentes na bacia do Araripe no estado do Ceará.....	18
<b>Tabela 2</b> – Quantidade de nascentes por município – Cariri/CE.....	18

### **2 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO MUNICÍPIO DE CRATO**

<b>Tabela 1</b> – Dados anuais de chuva do município de Crato – CE (2011 – 2020).....	23
---	----

## LISTA DE QUADROS

### ARTIGO 1

<b>Quadro 1</b> - Síntese das características da Análise Ambiental Integrada embasada na abordagem sistêmica .....	39
<b>Quadro 2</b> - Características litológicas das águas subterrâneas.....	45

### ARTIGO 2

<b>Quadro 1</b> – Bases de dados utilizadas na organização do mapeamento da pesquisa .....	65
<b>Quadro 2</b> – Síntese da cronoestratigrafia e disposição dos aquíferos da bacia sedimentar do Araripe.....	67

## **LISTA DE GRÁFICOS**

### **2 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO MUNICÍPIO DE CRATO**

<b>Gráfico 1</b> – Distribuição da precipitação no município de Crato – CE.....	23
---	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO MUNICÍPIO DE CRATO</b> .....	21
2.1 Aspectos climáticos .....	21
2.2 Contexto geológico-geomorfológico .....	23
2.3 Características pedológicas .....	28
<b>ARTIGO 1 - ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA DAS NASCENTES DE CRATO - CE: FUNDAMENTOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL</b> .....	33
1 INTRODUÇÃO .....	33
2 MATERIAIS E MÉTODOS .....	36
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	37
3.1 Pressupostos teóricos conceituais sobre a análise ambiental integrada .....	37
3.2 Nascentes: gênese e dinâmicas sistêmicas .....	41
3.3 Aplicabilidade para a sustentabilidade: os zoneamentos ambientais das nascentes .....	46
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	52
AGRADECIMENTOS .....	53
REFERÊNCIAS .....	54
<b>ARTIGO 2 - DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL DAS NASCENTES DA CIDADE DE CRATO, REGIÃO METROPOLITANA DO CARIRI, CEARÁ</b> .....	61
1 INTRODUÇÃO .....	61
2 MATERIAIS E MÉTODOS .....	63
2.1 Área de Estudo .....	63
2.2 Procedimentos metodológicos .....	64
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	66
3.1 Aspectos hidrogeológicos e ambientais .....	66
3.2 Da Missão do Miranda à Região Metropolitana do Cariri: as águas das nascentes na formação territorial da cidade do Crato .....	71
3.3 Características geoambientais das áreas de nascentes urbanas e periurbanas .....	76
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	82
AGRADECIMENTOS .....	84
REFERÊNCIAS .....	84
<b>3 CONCLUSÕES</b> .....	89
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	92
<b>APÊNDICES</b> .....	95

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história da humanidade, as nascentes d'água se destacaram como uma das formas de exfiltração das águas subterrâneas para a superfície, determinando a origem de sistemas fluviais, como a formação dos rios e bacias hidrográficas, que, além de atrair os olhares e interesses dos seres humanos, possibilitavam a formação dos primeiros agrupamentos em suas proximidades (FEITOSA, 2017).

As nascentes, mesmo enquanto elemento natural, estiveram presentes nas relações culturais e simbólicas da humanidade. Como exemplo, cita-se a Grécia Clássica, onde cada elemento natural do planeta era representado por um Deus e/ou uma figura mítica. No caso das nascentes (fontes d'água, como eram chamadas), haviam as náiades, ninfas que viviam nas águas próximas às fontes detendo o poder de cura (FEITOSA, 2017).

No contexto de integração geoambiental, as nascentes são elementos hidrológicos e hidrogeomorfológicos, cuja origem no espaço depende não somente das águas que infiltram e saem do/no solo, mas de toda uma heterogeneidade de elementos físicos, bióticos e abióticos que fazem com que elas venham a possuir características físicas específicas e próprias do seu entorno, proporcionando também a formação de canais de drenagem à jusante (FELIPPE, 2009; FELIPPE; MAGALHÃES JR., 2013).

Independentemente do volume d'água exfiltrado por uma nascente, estas podem ser utilizadas para diversas finalidades, como uso doméstico, industrial, econômico na agricultura, dentre outros. Em contrapartida, para o seu bom aproveitamento, há a necessidade de uma distribuição regular de suas águas, para que seja garantida boa disponibilidade hídrica, não somente para uso nos sistemas socioeconômicos, mas na manutenção do regime hídrico e do ciclo hidrológico (BRAGA, 2020).

Dessa forma, associado a outros elementos hídricos, as nascentes se tratam de mananciais aquáticos de grande importância nas relações sociais. O uso das águas nas diversas atividades humanas só é possível de ser realizado a partir da existência das nascentes no meio natural, sobretudo de forma preservada (ou conservada), para que se mantenha uma boa disponibilidade d'água durante todo o ano.

Por outro lado, mesmo detendo esses aspectos, ainda se percebe uma ausência de estudos mais específicos e verticalizados sobre as nascentes d'água. O uso popular do termo, a falta de respostas sobre o comportamento sazonal destas e a falta de proteção ambiental, (FELIPPE, 2009; SOARES, 2016), as fazem ser tratadas como “coadjuvantes” no âmbito das pesquisas científicas. Além disto, no contexto conservacionista, quando se fala de problemas

ambientais direcionados aos recursos hídricos, no Brasil, as nascentes também são aquelas que estão no alvo direto no que se refere à degradação e à destruição ambiental (FELIPPE, 2009).

Em Crato, município situado no extremo sul do estado do Ceará, recorte espacial desta pesquisa, a existência de nascentes em seu território é um dos principais elementos que, ao longo do tempo, veio a condicionar suas características geoambientais e o seu processo histórico de formação e ocupação territorial. Este município, embora localizado no Nordeste brasileiro, situa-se em um contexto de exceção climática, onde segundo Bastos, Cordeiro e Silva (2017) apontam características fitogeográficas distintas daquelas típicas do chamado “sertão semiárido”, que se trata de um recorte espacial onde localiza-se o enclave úmido da chapada do Araripe (**Figura 1**). Esta, dadas as suas condições geológicas sedimentares de idades distintas, provenientes da bacia sedimentar do Araripe, associadas à sua geomorfologia de porte regional, proporcionam a formação de um grupo de aquíferos que dão origem a vários exutórios naturais nas encostas da chapada do Araripe.

**Figura 1** – O município de Crato ao sopé da chapada do Araripe - Ceará



**Fonte:** João Victor M. da Silva (Nov/2021).

A porosidade das suas rochas sedimentares predominantes na bacia, sobretudo das camadas superiores, permite um alto nível de infiltração da água que ali é precipitada. Com este processo, a água passa a percolar verticalmente desde a formação superior da bacia (a Formação Exú), que capeia a chapada, vindo a se armazenar nas camadas menos porosas, resguardando-a e originando estes aquíferos subterrâneos. Devida a suave inclinação da chapada na direção norte-nordeste causada por basculamentos estruturais de ordem tectônica, a sua escarpa no

estado do Ceará receba maior aporte subsuperficial d'água (SOUSA *et al.*, 2020), permitindo que aflorem como nascentes de contato nos municípios da região do Cariri cearense.

Em trabalhos e documentos sobre a hidrogeologia da bacia do Araripe, essas nascentes são apresentadas em grande quantidade, boa parte delas no estado do Ceará, o que realça o Cariri cearense, ao sopé da chapada do Araripe, como uma região de grande potencialidade hídrica em águas subterrâneas, assim como superficiais; além da excepcionalidade da região dentro do contexto seminário, no interior do Nordeste brasileiro (**Tabela 1**).

**Tabela 1** – Número de nascentes na bacia do Araripe no estado do Ceará

<b>Autores</b>	<b>Quantidade de nascentes</b>
Mont'Alverne <i>et al.</i> (1995)	307 Nascentes
DNPM (1996)	344 Nascentes
Bastos <i>et al.</i> (2016)	251 Nascentes
COGERH (2020)	325 Nascentes

**Elaboração:** Autor (2021). **Fontes:** citadas na tabela.

Segundo dados quantitativos da COGERH (2020), entre os municípios do Cariri, aqueles que apresentam as maiores quantidades de nascentes encontradas atualmente estão na Região Metropolitana do Cariri - RMCariri. Dentre eles, o Crato se destaca pelo maior número de afloramentos de água identificados até agora, possuindo um grande potencial hidrogeológico e hidrogeomorfológico (**Tabela 2**). Contudo, frisa-se (e estima-se), ainda, que esse número pode aumentar, ampliando o número de afloramentos tanto em Crato, quanto nos municípios adjacentes.

**Tabela 2** – Quantidade de nascentes por município – Cariri/CE

<b>MUNICÍPIO</b>	<b>NÚMERO DE NASCENTES</b>
Crato	93 nascentes
Missão Velha	55 nascentes
Barbalha	40 nascentes
Porteiras	39 nascentes
Jardim	36 nascentes
Santana do Cariri	33 nascentes
Nova Olinda	10 nascentes
Araripe	2 nascentes

**Elaboração:** Autor (2020). **Fonte:** COGERH (2020).

Em contrapartida, apesar de todo esse contexto hidrogeomorfológico, ao longo dos tempos, o processo de uso e a ocupação dos municípios da RMCariri têm repercutido em diversos problemas, ainda não suficientemente analisados. Um deles trata-se da desvalorização

e degradação ambiental das nascentes que pontuam as encostas da chapada do Araripe. Em Crato, a partir do crescimento da cidade, estas vêm sendo afetadas, descaracterizadas, inumadas (quando não extintas) da paisagem, colocando sob risco notório, um complexo quadro de excepcionalidade hídrica no semiárido brasileiro. Embora haja dados que apontam a quantidade de nascentes existentes, não há pesquisas que abordem esta problemática, relacionando os aspectos hidrogeológicos correlacionados aos impactos de uso e ocupação.

Estima-se que a expansão urbana nas proximidades do setor oriental da encosta da chapada do Araripe, localizada “em frente à cidade de Crato”, venha ocasionando problemas ambientais a partir da ocupação inadequada do solo em direção às áreas de nascentes; supressão vegetal das áreas ao seu entorno, além da canalização das águas para uso nas atividades humanas e/ou poluição. Considerando isso, a ausência de estudos que versem sobre as condições ambientais das nascentes contribui, senão pela omissão, para que o quadro de degradação ambiental que as aflige se estabeleça e, vale frisar, se amplie regionalmente, impossibilitando a aplicabilidade de estratégias de conservação e de um desenvolvimento sustentável efetivo em Crato e na região caririense.

Assim, estudar os elementos físicos e hidrogeomorfológicos das nascentes da cidade de Crato, a partir de uma análise ambiental, ou seja, em conjunto ao processo de uso e ocupação de suas áreas e o nível de conservação, é uma importante informação que pode contribuir na iniciativa de propostas conservacionista, podendo impulsionar a valorização dessas enquanto patrimônio natural e cultural do município e da região. Além disso, é possível dar subsídios para uma forma de manejo sustentável, a partir de políticas públicas e de atividades a nível social.

Nesta perspectiva, o objetivo geral desta pesquisa é analisar os aspectos ambientais das nascentes da cidade de Crato – Ceará, buscando identificar suas características físico-ambientais e diagnosticar os impactos causados pelas principais formas de uso e ocupação existentes ao seu entorno.

Para atingir este, delineou-se neste trabalho os seguintes objetivos específicos:

- I. Discutir a importância da análise ambiental integrada aplicada às nascentes como uma estratégia para conservação e desenvolvimento sustentável;
- II. Entender os principais aspectos ambientais associados às áreas onde se originam as nascentes d’água em Crato;
- III. Identificar e mapear o processo de uso e ocupação e o nível de conservação das nascentes e nas áreas de entorno.

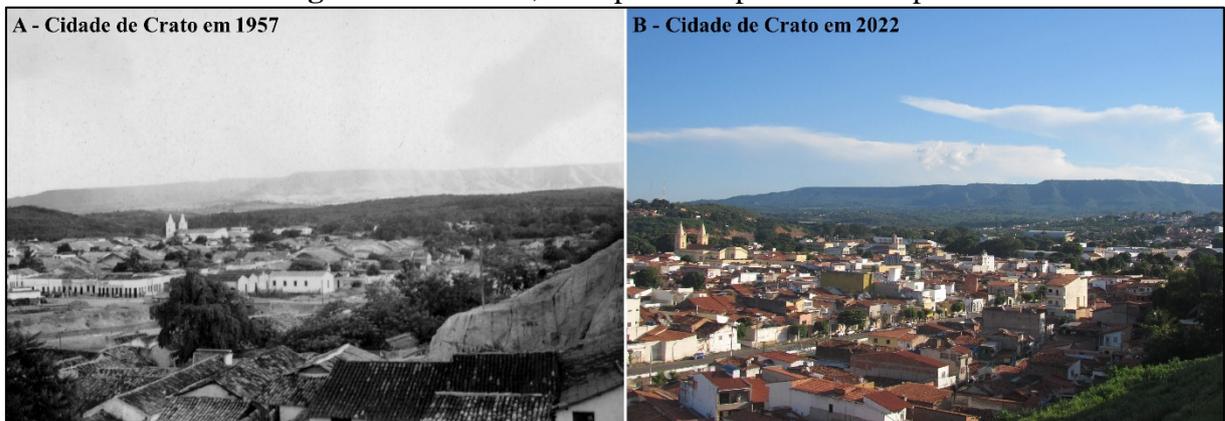
Cada objetivo específico desse trabalho foi discutido e respondido em discussões feitas sob a forma de artigos científicos. Antes da exposição dos artigos, a dissertação conta com um capítulo específico que aponta uma síntese das características físico-territoriais de Crato, com informações importantes para uma melhor compreensão da discussão feita nos artigos elaborados. O primeiro manuscrito está alicerçado a partir de uma discussão teórico-documental, onde se busca abranger questões conceituais sobre a importância e a possibilidade da análise ambiental integrada das nascentes do município de Crato. Para atingir tais metas, foi discutido no artigo 1, o primeiro objetivo específico, com seus resultados compartimentados em 3 (três) subtópicos que apontam conceitos, ideias e leis federais, estaduais e locais que fomentam o debate.

No segundo manuscrito, a discussão se baseia em abranger os aspectos geoambientais e geohistóricos relacionados às nascentes que afloram na cidade de Crato, detalhando os condicionantes físico-naturais que influenciam o surgimento destas, assim como aspectos históricos e culturais relacionados. Em adição, foi realizado um estudo apresentando as formas de uso e de ocupação atuais na cidade de Crato, com foco nas áreas de afloramentos d'água, associando aos impactos ambientais relacionados. Dessa forma, se aprofunda neste o debate e a resposta aos objetivos específicos II e III.

## 2 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO MUNICÍPIO DE CRATO

O Crato está localizado no extremo sul do estado do Ceará, na região Nordeste do Brasil. É um município que apresenta uma estimativa populacional de cerca de 133.913 habitantes (IBGE, 2021). Seu território se insere atualmente na macrorregião do Cariri cearense, e em níveis metropolitanos na Região Metropolitana do Cariri (RMCariri). Historicamente, o Crato é considerado um município que possibilitou o surgimento e a expansão do Cariri cearense, por ter sido um dos primeiros aldeamentos da região, sendo um município que teve seu crescimento socioeconômico atrelado à proximidade e à influência cultural e socioeconômica com Juazeiro do Norte e Barbalha (QUEIROZ, 2013) (**Figura 1**).

**Figura 1** – O Crato, ao sopé da chapada do Araripe



**Fonte:** A – Base de dados do IBGE (1957); B – João Victor M. da Silva (Jan/2022).

Por ter suas raízes históricas pertencentes à ocupação territorial do Cariri cearense, o território de Crato teve suas primeiras ocupações pelos índios Cariús a partir de meados do século XVIII. Segundo as ideias dos intelectuais Feijó e Gardner os principais atributos que atraíam o interesse pela ocupação de tal localidade se deu a partir dos atributos naturais existentes em Crato e nos demais espaços adjacentes (QUEIROZ, 2013).

### 2.1 Aspectos climáticos

Dado o contexto regional do Nordeste brasileiro, 48% do seu território se insere nas condições climáticas do tipo “quase-seco”, ou seja, semiárida (LIMA, 2015). Contudo, em Crato, a chapada do Araripe, relevo que predomina em mais de 50% do território do município, se destaca regionalmente por ser um dos enclaves úmidos do estado do Ceará, também chamados de “serras úmidas” ou “brejos de altitude”. Nesses ambientes, além de haver condições naturais específicas relacionadas ao tipo de relevo, também há o condicionamento

da formação de mesoclima de altitude, que modifica o índice pluviométrico da região (SOUZA; OLIVEIRA, 2006), o que vem a ocorrer no Cariri cearense, sobretudo nos municípios localizados ao sopé da chapada.

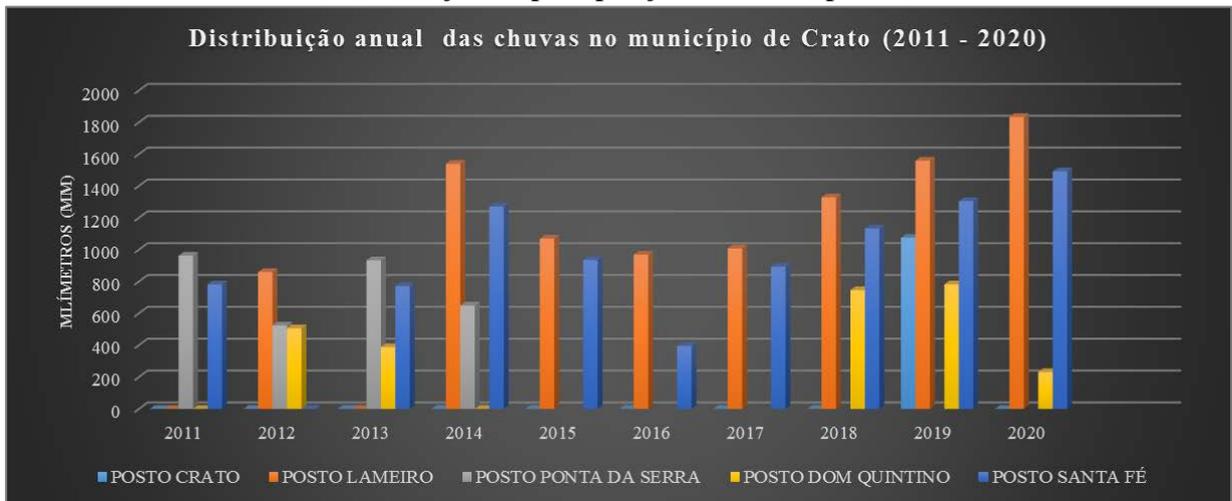
Mesmo considerando o déficit hídrico que predomina na maior parte do território nordestino, nos ambientes úmidos como a chapada do Araripe, o balanço hídrico apresenta condições de exceção, sobretudo durante os meses de janeiro a abril, período considerado como a quadra chuvosa (SOUZA; OLIVEIRA, 2006). Para Ribeiro (2017), essas chuvas que ocorrem nas localidades situadas ao sopé da chapada do Araripe, onde geograficamente situa-se a região do Cariri, são eventos pluviométricos ocasionados, sobretudo, pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), além dos Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS), bem como das ações das Frentes Frias e as Frentes de Leste

Essa atuação da ZCIT vem a ser um dos fatores de maior importância na determinação da abundância ou deficiência das chuvas no Nordeste. Ela é definida como uma banda de nuvens que circula na zona equatorial do globo, sendo constituída pela convergência dos ventos alísios do hemisfério norte e do sul, por baixas pressões e altas temperaturas. Normalmente, ela segue migrando sazonalmente do norte do NE, em cerca de 14°N, entre os meses de agosto-outubro, em direção ao sul; aproximadamente 2 a 4°S, entre os meses de fevereiro e abril (FERREIRA; MELO, 2006), justamente o período que tende a acontecer a quadra chuvosa no Cariri cearense.

Lima (2008) afirma que o Crato apresenta um destaque de exceção quanto às condições climáticas, sobretudo em sua porção meridional.

Esta diferenciação, que constitui um microclima com características úmidas e subúmidas, é decorrente de uma parte de sua área (setor meridional) está sob o domínio da chapada que, com uma altimetria de 960m provoca alterações no regime pluviométrico e na temperatura. Temos, portanto, uma precipitação superior à do restante do município, bem como uma temperatura amena acompanhada de umidade e sensação térmica distintas (...) (LIMA, 2008, p. 60 – 61).

A orografia existente em Crato se apresenta como um importante condicionador da quadra chuvosa no município. As afirmações apontadas acima por Lima (2008) são confirmadas quando se observa os dados de chuvas dos postos pluviométricos de Crato, onde, percebe-se que em altitudes elevadas, as condições de umidade e precipitação são mais intensas, como o Crato e o Posto Lameiro, do que nos postos situados em distritos mais afastados da chapada do Araripe (Posto Dom Quintino e posto Ponta da Serra). **Gráfico 1.**

**Gráfico 1 – Distribuição da precipitação no município de Crato – CE**

**Fonte:** Postos Pluviométricos da FUNCEME (2022). **Organização:** João Victor M. da Silva (2022).

Esse contexto hidroclimático de exceção também é visível quando se observa os dados pluviométricos da FUNCEME, entre os anos de 2011 a 2020, quando apenas o ano de 2012, com precipitação abaixo dos 700.1 milímetros (mm.), é considerado um ano com uma quadra chuvosa escassa. Com exceção deste, tem-se os anos de 2011; 2014; 2015; 2019 e 2020 com índices pluviométricos acima dos 900 mm anuais (**Tabela 1**).

**Tabela 1 – Dados anuais de chuva do município de Crato – CE (2011 – 2020)**

2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1361.3	650.1	889.8	1084.7	989.7	856.1	850.6	850.6	1164.2	1065.2

**Fonte:** FUNCEME (2022). **Organização:** João Victor M. da Silva (2022).

## 2.2 Contexto geológico-geomorfológico

Na região do Cariri, onde localiza-se o município de Crato, apesar de haver a presença de feições geomorfológicas de depressões sertanejas intermontanas (BASTOS; CORDEIRO; SILVA, 2017), o que marca o contexto geológico e geomorfológico regional é a chapada do Araripe. Essa se originou e evoluiu a partir do soerguimento epirogênico, datado do Terciário (CLAUDINO-SALES, 2018), de uma das mais importantes e complexas bacias sedimentares fanerozóicas do Brasil, a bacia sedimentar do Araripe, dotada de uma superfície aflorante de 9.000 km<sup>2</sup>, a maior bacia interior do Nordeste brasileiro (CHAGAS, 2006; ASSINE, 2007).

A bacia do Araripe situa-se entre as fronteiras dos estados de Piauí, Pernambuco e Ceará, delimitada especificamente pelas coordenadas 07°00` e 08°00` de latitude sul, e 38°30` e 41°00` de longitude oeste, estando ainda “entre as bacias do Parnaíba, Potiguar e do Tucano-

Jatobá, e sendo a mais importante das bacias fanerozóicas interiores do Nordeste do Brasil” (CHAGAS, 2006, p. 3).

A disposição estratigráfica das camadas sedimentares que compõe a bacia do Araripe, estruturam-se em sequências deposicionais discordantes sobre o embasamento pré-cambriano. Do ponto de vista litoestratigráfico, a camada de base da bacia do Araripe é a formação Cariri (sequência paleozoica, correlacionada com a formação Serra Grande da bacia do Parnaíba); sobreposta pelas formações Juro-Neocominanas do grupo Vale do Cariri: Brejo Santo, Missão Velha (estágio pré-rifte da bacia) e Abaiara (início do estágio rifte, ou seja, de abertura da bacia); por sua vez, sobrepostas pelos Grupos Santana (formações Barbalha, Crato, Ipubi e Romualdo) e Araripe (Araripina e Exu), supersequências pós-rifte I e II (ASSINE, 2007; ASSINE, *et al.*, 2014; PÍNEO *et al.*, 2020

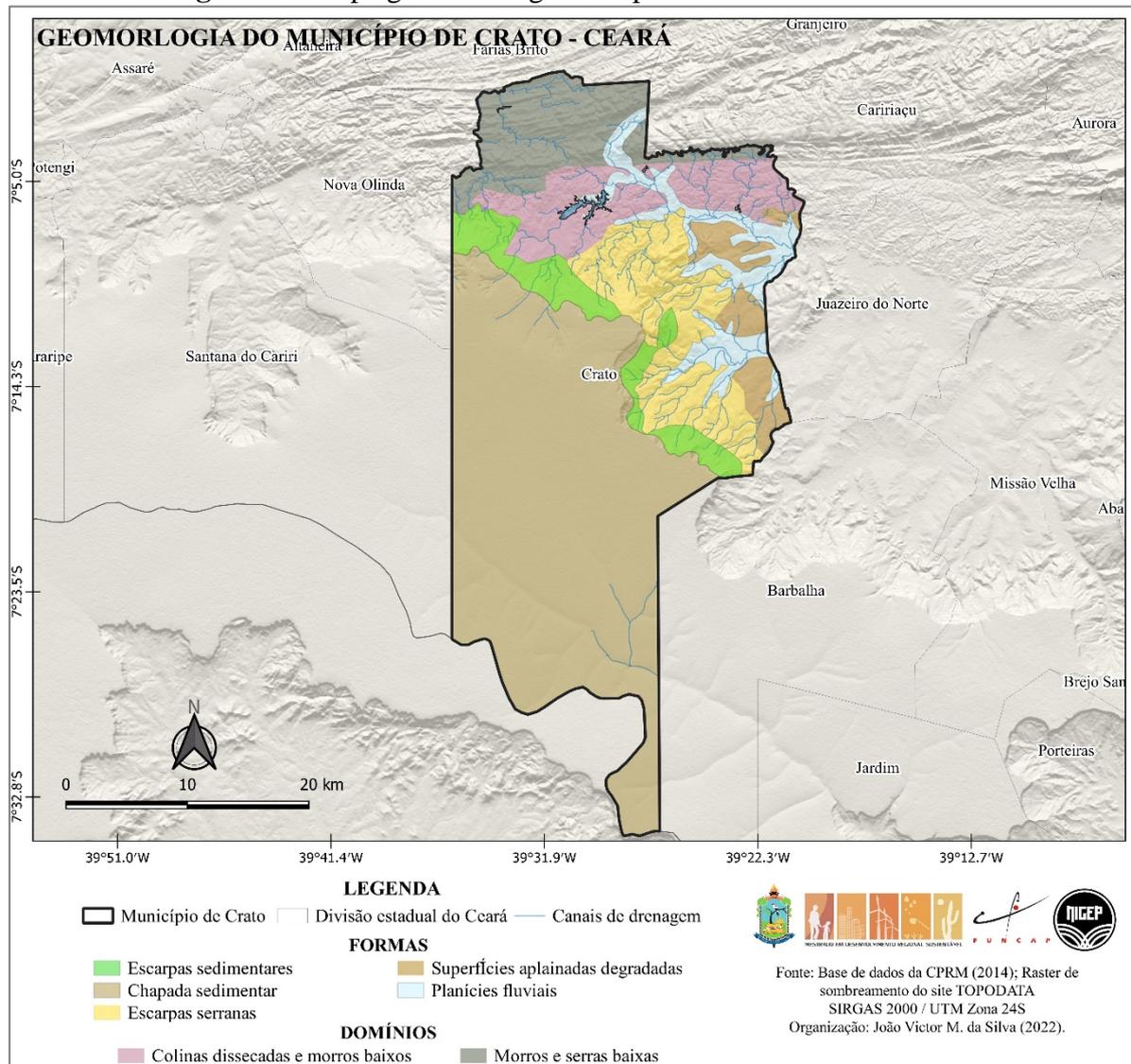
O contexto geológico predominante no município de Crato, deriva diretamente das condições litológicas da bacia do Araripe. Esse, além de possibilitar a existência de uma complexa diversidade geológica, é um dos fatores que permite que neste território também venham a surgir a chapada do Araripe e o vale do Cariri, também chamado de depressão periférica (ou Sertaneja) (**Figura 2**).

A chapada do Araripe e o vale do Cariri, vem a ser, em linhas gerais, dois compartimentos geomorfológicos de escala regional que se originaram sobre a bacia sedimentar do Araripe (CHAGAS, 2006). A primeira, também denominada de planalto do Araripe, se constitui como uma grande estrutura geomorfológica caracterizada pela presença de um platô sedimentar com topo conservado, que vem a atingir extensões acima de 900m no sentido leste-oeste, com aproximadamente 180km, 50 km no sentido norte-sul, possuindo ainda rebordos de entorno que formam escarpas abruptas (RIBEIRO; LIMA; MARÇAL, 2015).

A Chapada do Araripe apresenta suas maiores altitudes chegando a 1004m, com dissecação praticamente nula no topo e rebordos erosivos festonados, formando amplos *hollows* (anfiteatros), com drenagens oriundas das linhas de exudação do lençol freático, que talham as rochas do Grupo Araripe em vales estreitos e pouco profundos que alargam nos patamares mais baixos, formando amplas planícies quando ocorrem no pediplano (RIBEIRO; LIMA; MARÇAL, 2015, p. 94).

Conforme Píneo *et al.*, (2020), as camadas sedimentares que embasam a formação da chapada baseiam-se nas litologias da Formação (Fm.) Exu, esta situando-se no platô de cimeira, com rochas conglomeráticas, arenitos médios a grossos de cor avermelhada; sotopostas a estes, tem-se as rochas do Grupo Santana, constituídas em geral por gipsitas, folhelhos betuminosos, conglomerados e arenitos finos a médios e argilosos (PÍNEO *et al.*, 2020).

**Figura 2 – Mapa geomorfológico simplificado de Crato - Ceará<sup>1</sup>**



**Fonte:** Adaptado da base de dados da CPRM (2014). **Organização:** João Victor M. da Silva (2022).

Ao sopé da chapada do Araripe, situa-se o vale do Cariri com altitudes que variam entre 400 a 500m e tendo sua base litológica formada pelas rochas das Fm. Barbalha, Brejo Santo e Cariri/Mauriti. Sua área superficial é onde encontram-se pediplanos dissecados, com algumas colinas constituídas de coberturas coluviais, além das planícies aluviais formadas a partir dos rios que drenam e erodem a área (LIMA, 2015).

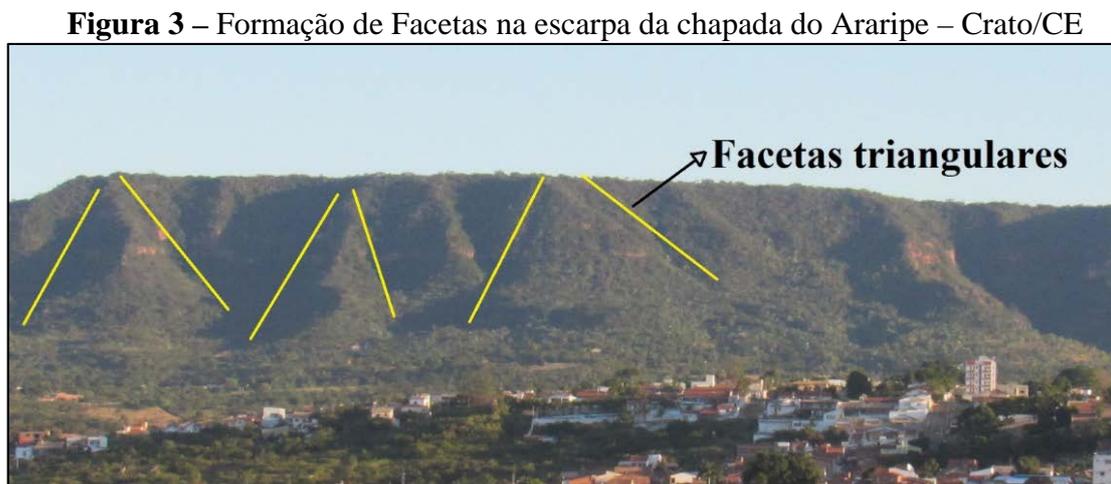
Em Crato, sua cidade vem a se localizar na área de depressão, uma unidade geomorfológica que vai desde os patamares de entorno da chapada do Araripe, ou seja, das escarpas sedimentares, até a área de pediplanação (LIMA, 2008). Além das formas e estruturas sedimentares da chapada do Araripe, no setor geomorfológico da Depressão Sertaneja (no mapa

<sup>1</sup> Mapa organizado e elaborado no *software* gratuito QGIS, versão 3.4.3 com uso das bases de dados da COGERH (2019).

vide figura 2, denominada de escarpas serranas), também se encontram maciços residuais com altitudes que variam entre 600m a 700m, dissecados em forma de colinas, com vertentes íngremes e cristas desenvolvidas em rochas resistentes a processos denudacionais (RIBEIRO; LIMA; MARÇAL, 2015).

Nas áreas de maciços residuais, a ação dos processos fluviais é fraca, o que implica na pequena formação de interflúvios e fundos de vales. O poder de drenagem e erosão fluvial tende a ser maior na área de encosta (LIMA, 2008), onde, devido à capacidade de permeabilidade e infiltração das rochas do topo da chapada, se formam em subsuperfície aquíferos, que, em linhas gerais, originam nascentes que alimentam as drenagens do município, fomentando a formação de interflúvios e vales úmidos.

É válido destacar que nas áreas de encosta em direção ao vale do Cariri, observa-se ainda a formação de feições bastante singulares, estruturadas, sobretudo a partir da ação dos canais de drenagem que se originam da linha das nascentes que afloram na chapada, as facetas triangulares (**Figura 3**), delimitadas pelas linhas preferenciais de erosão

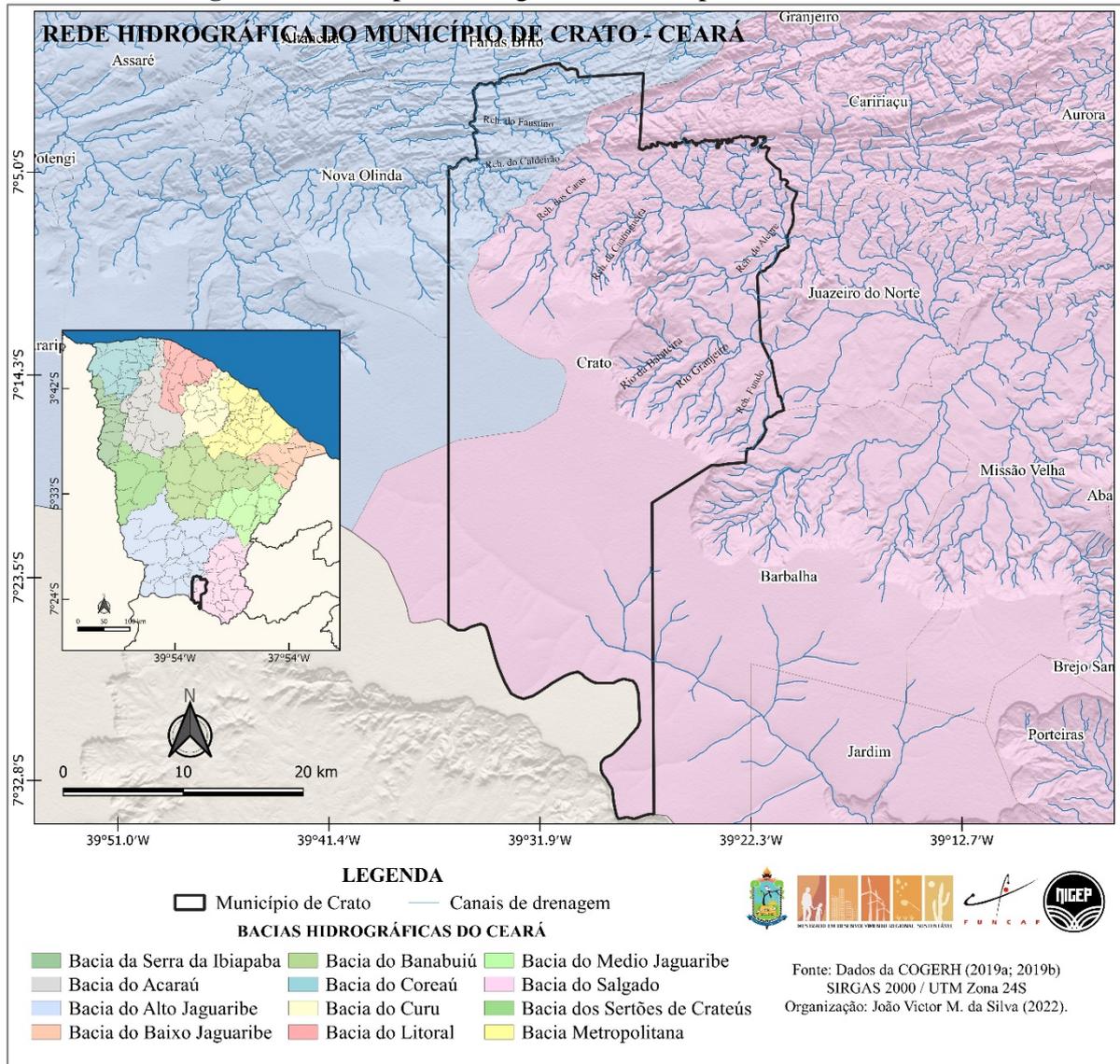


Fonte: João Victor M. da Silva (2022).

Tem-se ainda os patamares de entorno, que se constituem em rebordos que sofrem com ações erosivas diretas, tratando-se, em outras palavras, das escarpas sedimentares. Estas são situadas em altitudes inferiores a área de platô da chapada do Araripe, estando entre 400 e 800 metros, marcados pelas ações dos processos de pediplanação e/ou *etchplanação*. A atuação desses processos, em conjunto aos canais d'água que são drenados em direção à Depressão Periférica, são os fatores que, por vezes, influenciam na formação de anfiteatros na chapada (GUERRA, 2020), visíveis em Crato, Barbalha e Missão Velha.

É válido, ainda, destacar que a junção entre os elementos geológicos e geomorfológicos tanto em nível regional, mas sobretudo em escala local, proporcionam a formação de uma rede de drenagem fluvial, que, dada sua dinâmica e complexidade faz com que o Crato se localize no eixo central de duas das maiores bacias hidrográficas do estado: a Bacia Hidrográfica do Rio Salgado e a Bacia Hidrográfica do Alto Jaguaribe (**Figura 4**).

**Figura 4 – Principais drenagens do município de Crato – CE<sup>2</sup>**



**Fonte COGERH (2019a; 2019b). Organização: João Victor M. da Silva (2022).**

As águas que alimentam essa complexa rede hidrográfica nascem a partir da diversidade litoestatigráfica das rochas que embasam a formação da chapada do Araripe no território de Crato, proporcionando, atrelada às condições climáticas, a formação de três

<sup>2</sup> Mapa organizado e elaborado no *software* gratuito QGIS, versão 3.4.3 com uso das bases de dados da COGERH (2019).

aquíferos e dois aquíferos de escalas regionais, situados em subsuperfície nos espaços porosos das formações sedimentares, que vem a se localizar em descontinuidades verticais e laterais (VIANA, 2006; MENDONÇA, 2011) da bacia sedimentar do Araripe.

Sobre a chapada do Araripe, os estratos permeáveis da Fm. Exu, associados à sobreposição das rochas do Grupo Santana, à infiltração e ao armazenamento das águas, geram um controle freático que aflora nas escarpas da chapada. Estas fontes e/ou nascentes, além de causar a evolução e o recuo erosivo das encostas, formam cabeceiras de drenagens (SANTOS, NEUMMAN; CORRÊA, 2008) que abastecem a rede de drenagem dentrítica de Crato (*vide* **Figura 4**). Dentro desta, os rios Batateiras, Grangeiro e Saco-Lobo (**Figura 5**).

**Figura 5** – Leito do Rio Batateiras (A) e do Rio Grangeiro (B) em Crato – CE.



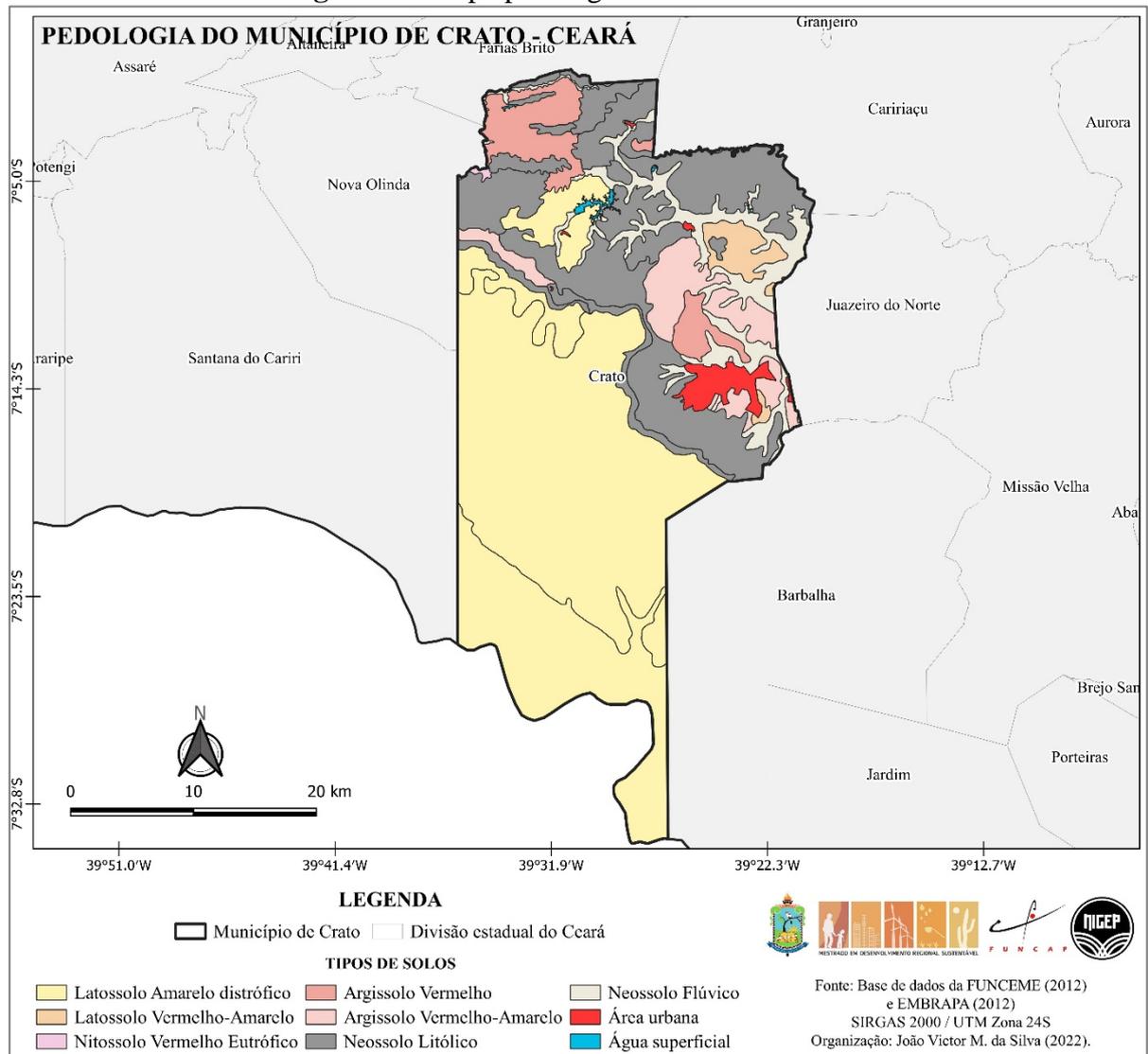
Fonte: João Victor M. da Silva (Jan/2022).

No contexto morfológico, é nas áreas onde estes rios fluem, que se situam em Crato as planícies fluviais. Estas, configuradas como áreas compostas por depósitos aluvionares, são formadas por sedimentos soltos e inconsolidados, especificamente de seixos, areias de granulometria fina a grossa com níveis de cascalhos e argilas (PÍNEO *et al.*, 2020).

### 2.3 Características pedológicas

Em Crato, dadas as condições físico-ambientais descritas, é possível afirmar que a diversidade pedológica que há em seu território também surge a partir da associação entre a diversidade geológica, geomorfológica, as condições climáticas úmidas/sub-úmidas e semiáridas (LIMA, 2008). O mapeamento, realizado a partir da organização da base de dados da Fundação Cearense de Meteorologia (FUCEME, 2012), mostra que no município é possível encontrar latossolos amarelos; latossolo vermelho-amarelo; argissolo vermelho; argissolo vermelho-amarelo; nitossolo; neossolo litólico e neossolo flúvico (**Figura 6**).

**Figura 6 – Mapa pedológico de Crato - Ceará<sup>3</sup>**



**Fonte:** FUNCEME (2012) **Organização:** João Victor M. da Silva (2022).

Os **Latossolos** encontrados no município de Crato, predominam especificamente no platô da chapada do Araripe. O desenvolvimento dos latossolos se dá em períodos de tempos prolongados, com condições trópicas quentes e úmidas (LEPSCH, 2011). Sua origem está relacionada a condições de intensa umidade e calor, associadas à ausência de processos erosivos em grande escala, que proporcionam as ações do microclima regional/local (Cariri/Crato) sobre a rocha, originando o intemperismo químico e o empobrecimento do solo pela lixiviação (LIMA, 2008).

Assim, em Crato, encontram-se as seguintes classificações: Latossolo amarelo distrófico (Lad) típico e úmbrico, com perfil A moderado e proeminente, com textura argilosa,

<sup>3</sup> Mapa organizado e elaborado no *software* gratuito QGIS, versão 3.4.3 com uso das bases de dados da FUNCEME (2012). Para elaboração deste, usou-se apenas os dados e informações do recorte espacial de estudo: Crato.

localizado no topo plano da chapada, sobretudo onde há a presença de vegetação subcaducifólia e cerrado tropical/caducifólia; Latossolo Amarelo distrófico típico e úmbrico, com perfil A moderado e proeminente com textura média e argilosa, situado em relevo plano e suave ondulado; e o Latossolo vermelho-amarelo (LVad) distrófico típico, com textura média, encontrado em relevo suave ondulado (FUNCEME, 2012; EMBRAPA, 2013).

Quanto aos **Argissolos**, estes vêm a surgir predominantemente no contexto entre os patamares de entorno da chapada do Araripe e a depressão periférica (*vide* Figura 2). Segundo Lima, Cestaro e Araújo (2010), os Argissolos são localizados em dois setores da encosta da chapada do Araripe: na encosta oriental e na encosta ocidental norte, próximo ao alinhamento de cristas do patamar sertanejo.

Os argissolos também são solos bastante intemperizados, contudo, diferente dos Latossolos, possuem grande acúmulo de argila, que se dá sobretudo em seu horizonte B. Eles são solos bastantes heterogêneos que tem sua pedogênese associada ao extenso perfil de argila situado em profundidade, em ambientes úmidos e quentes, sendo ainda, um tipo de solo marcado pela diferença entre suas texturas (LEPSCH, 2011).

Em Crato, segundo a base de dados da FUNCEME (2012) e do IBGE (2015), algumas das classes desse tipo de solo que podem ser encontradas são: Argissolo vermelho-amarelo distrófico (PVad) típico com textura média/média; Argissolo vermelho-amarelo (PVa2) eutrófico (PVAe), A moderado e fraco com textura arenosa média; Argissolo vermelho-amarelo (PVa3) distrófico típico, A moderado, com textura média/argilosa + Neossolo litólico (RL) com textura arenosa; Argissolo vermelho eutrófico (PVe) e argissolo vermelho amarelo eutrófico (PAe);; Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico abrupto (PVAa) e típico; e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico léptico (PVAe).

Os **Nitossolos**, por sua vez, são solos não hidromórficos (LIMA, 2008), que tendem a ser relativamente profundos, com uma textura que varia entre argilosa ou muito argilosa, sem aumento de argila em maiores profundidades. Eles apresentam uma coloração avermelhada, e, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos, eles podem ser classificados em três categorias (Vermelhos, Brunos e Hápticos), podendo se desenvolver em climas tropicais úmidos, subtropicais e em áreas intermediárias entre esses climas (LEPSCH, 2011). No Crato, esse tipo de solo está situado em dois locais específicos: no setor oeste do município, na divisa com Nova Olinda e dentro da classe de Luvisolo crômico de textura argilosa (LIMA, 2008). Além disto, o mesmo também está situado sobre relevo do tipo ondulado, classificado como Nitossolo Vermelho eutrófico típico (NVe).

As classes de Neossolos encontradas no município de Crato se subdividem em duas categorias: Neossolos Litólicos (RL) e Neossolos Flúvicos (RY). Segundo Lepech (ANO), esse tipo de solo se destaca por apresentar pouca ou nenhuma evidência em horizontes subsuperficiais, sendo identificado em cerca de 20cm de espessura. Ainda segundo o autor, estes são muito resistentes ao intemperismo, tendo pouca quantidade de argila em seu horizonte.

Em Crato, os **Neossolos Litólicos** localizam-se predominantemente nas áreas de depressão e relevos relativamente aplainados. Eles podem ser encontrados nas seguintes classes: Neossolo Litólico eutrófico típico (RLe); Neossolo Litólico distrófico típico (RLd), ambos com textura média, argilosa e pedregosa, localizado sobre relevo ondulado e montanhoso; bem como Neossolo Litólico eutrófico, típico em relevo ondulado com substrato de calcário (FUNCEME, 2012; IBGE, 2015).

Os **Neossolos Flúvicos**, segundo Lima (2008), estão localizados e distribuídos ao longo das áreas de planícies dos rios que são drenados desde a escarpa sedimentar da chapada, até as áreas de maciços e depressões, apresentando espacialmente em poucas espessuras. Estes podem ser encontrados na classe dos Neossolos Flúvicos eutróficos solódicos (RYve) e Neossolos Flúvicos típico (FUNCEME, 2012; IBGE, 2015).

## **ARTIGO 1**

## **ARTIGO 1 - ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA DAS NASCENTES DE CRATO - CE: FUNDAMENTOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

### **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 caso do que se apresenta nas nascentes de Crato.

**Palavras-Chave:** Hidrogeomorfologia. Sistemas Ambientais. Zoneamentos ambientais. Crato. Semiárido.

## **INTEGRATED ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF CRATO-CE SPRINGS: FOUNDATIONS FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

### **ABSTRACT**

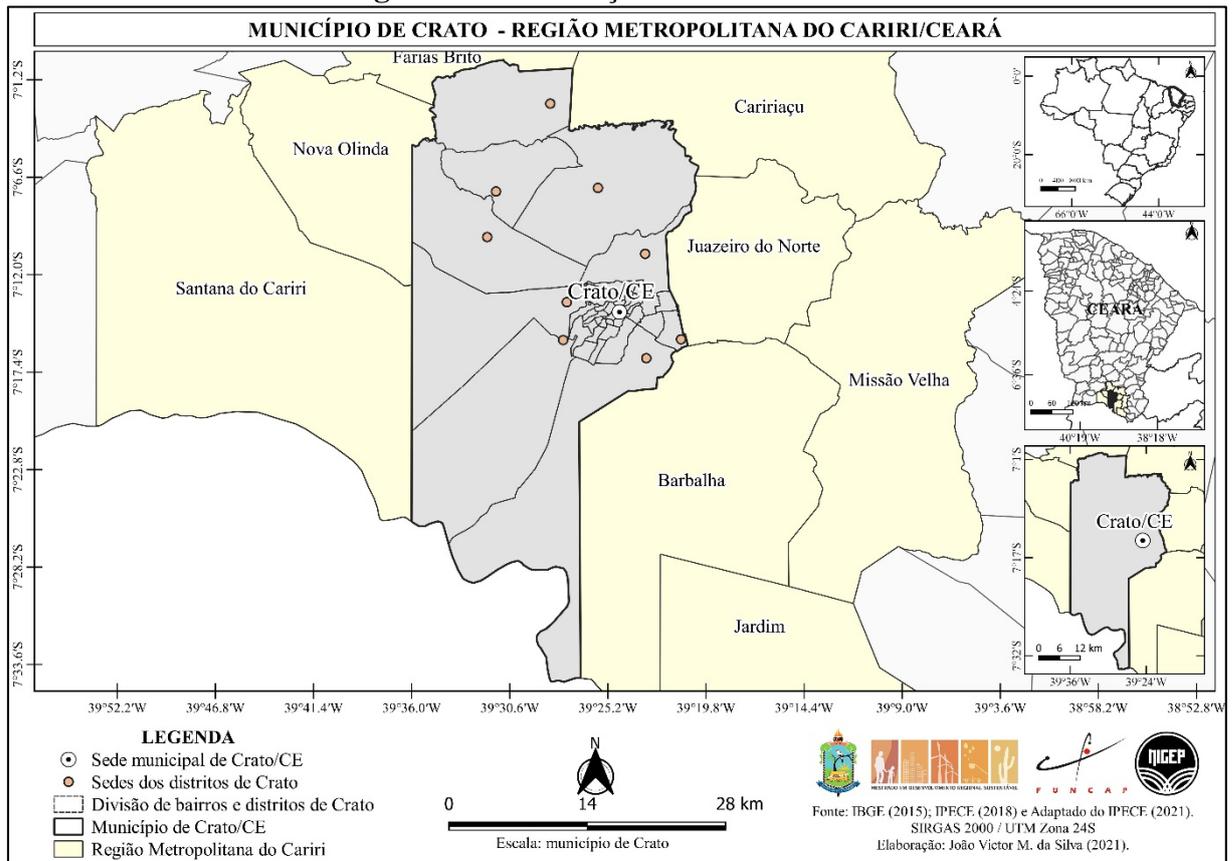
The springs are understood as hydrogeomorphological and hydrogeological sub-systems. In the municipality of Crato/CE, south of Ceará, they highlight part of the regional hydroclimatic exception condition to the northeastern semi-arid context, but due to the lack of studies that perform an integrated diagnostics of its dynamics, they have become target of degradation caused by the urban growth 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 collected data. As answers, it was observed that despite the springs are important elements in the geoenvironmental context, public policies that include detailed studies for them are still scarce, however, the geoenvironmental 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 está situado no extremo sul do estado do Ceará, compondo um dos 9 (nove) municípios da Região Metropolitana do Cariri (RMCariri), tendo uma área territorial específica de 1.138,150 km<sup>2</sup> (IBGE, 2020). Localizando-se no fundo da depressão periférica do Cariri (ou vale do Cariri), encontra-se entre 400 e 600m de altitude, tendo ainda, parte de seu território situada sobre o relevo da chapada do Araripe (**Figura 1**) (PELVAST; BÉTARD; MAGALHÃES, 2011).

**Figura 1 – Localização da área de estudo**



**Elaboração:** João Victor M. da Silva (2022).

**Fonte:** IBGE (2015); IPECE (2018) e Adaptado do 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, Aratânia, Maranguape e Pacatuba, Meruoca, o planalto da Ibiapaba e a chapada do Araripe (SOUSA; OLIVEIRA, 2006; BASTOS; CORDEIRO; SILVA, 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 e, por conseguinte, sendo palco de uma proliferação de nascentes em suas escarpas (SOUSA; OLIVEIRA, 2006). Estas drenam a sub-bacia do rio Salgado, alimentando e perenizando a bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, (CEARÁ, 2009) maior rio do estado do Ceará.

O contexto hidrogeomorfológico desse ambiente de exceção torna as nascentes d'água 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 (COGERH, 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 metros, 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 vêm fazendo com que essas nascentes sejam, cada vez mais, afetadas pela poluição e contaminação da água; supressão vegetal; perda de vazão que afetam diretamente o ciclo hidrológico. Além disso, devida a busca cada vez maior de água de boa qualidade, a redução da quantidade de água dos aquíferos também vêm a ser 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 a disponibilidade para as populações (PEREIRA, 2012).

A proteção dessas fontes deve ser pautada na recuperação e na preservação dos corpos hídricos, em especial das nascentes, uma vez que as ações humanas que interferem nos ciclos naturais e na disponibilidade de água de boa qualidade têm comprometido a 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 por ser uma pesquisa de caráter qualitativo e exploratório, sendo este, segundo Gil (2002), aquele onde se busca entender um problema estimulando-o a construir hipóteses; cujo 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. Nesta, buscou-se em sites de pesquisa, como o *Google Scholar*, Portal de Periódicos da CAPES, *Research Gate* 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; a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001; 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; 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 município de Crato, concebido com o apoio da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbanístico.

Na etapa de laboratório, realizou-se o mapeamento do contexto urbano da cidade de Crato, elaborado no *software* QGIS versão 3.4.3, a partir do tratamento das bandas espectrais multicoloridas *Red, Green e Blue* (RGB), das imagens de satélite *Landsat 7 e Landsat 8* dos anos 2000 e 2020, disponíveis no *web site EarthExplorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Feito isso, houve análise dos dados identificados, escrita e discussão dos temas, buscando

apresentar as possibilidades de aplicabilidade da análise ambiental integrada a partir dos zoneamentos ambientais das 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 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 (TROPPEMAIR; GALINA, 2006).

É nessa perspectiva integrada da TGS que surgem os Geossistemas, através da 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 se tratam de uma dada área espacial, delimitada, sendo o resultado de interações e combinações dinâmicas, instáveis, de elementos

físicos, biológicos, antrópicos 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 realizados pelas ações humanas. Estas, por sua vez, afetam suas características intensificando ou reduzindo as suas relações, podendo ser perceptíveis em micro-escalas (TROPMAIR; GALINA, 2006).

Bertrand (1972) considera ainda que as ações antrópicas integram os componentes dos Geossistemas. Ele aponta que a nível de escala espacial, eles possuem 6 (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, que 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 mantêm 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 por meio do sistema. No âmbito dos sistemas hidrográficos, as matérias são definidas como as águas e os sedimentos transportados por fluxo fluvial. A energia é a força que opera 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), ela, 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, não dispensando suas correlações e influências, se destacando por ser uma metodologia de investigação integralizada, capaz de fornecer resultados mais detalhados do espaço delimitado e estudado.

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; SILVA; ZANELLA, 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

<b>AUTOR(ES)</b>	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS E APLICABILIDADES</b>
<b>Chroley (1962)</b>	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.
<b>Haigh (1985)</b>	A partir da abordagem sistêmica pode-se obter informações sobre as inter-relações dos elementos espaciais e seus diferentes componentes.
<b>Christofolletti (1990)</b>	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.

<b>Ross (1995)</b>	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. Além disso, pode originar produtos sínteses do espaço: mapas, gráficos, tabelas numéricas e informações de campo.
<b>Christofolletti (1999)</b>	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 econômico e social, buscando formas de organizar os sistemas, servindo como uma base para o planejamento e desenvolvimento sustentável.
<b>Nascimento e Sampaio (2005)</b>	Esta análise pode servir para compreensão do comportamento e das 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).
<b>Ross (2006)</b>	Metodologia útil no entendimento das premissas e potencialidades dos recursos naturais e humanos, aliado à 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.
<b>Dal’Asta (2009)</b>	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 de ocupação do solo.
<b>Silva (2009)</b>	Possibilidade de aplicação nos zoneamentos ambientais, visando um melhor planejamento ambiental e a identificação de áreas destinadas a fins de turismo sustentável.
<b>Magalhães; Silva e Zanella (2010)</b>	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 a ocupação do solo.
<b>Amorim (2012)</b>	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.
<b>Ivanov; Yermolaev e Usmanov (2016)</b>	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 por meio de indicadores ambientais.
<b>Oliveira (2018)</b>	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.
<b>Oliveira (2019)</b>	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.

<b>Santos; Oliveira Júnior e Borges (2021)</b>	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 à conservação e ao uso sustentável.
--	---

**Fonte:** indicadas na coluna da esquerda do quadro. **Elaboração:** autores (2021).

A abordagem integrada do ambiente funciona assim como uma forma de diagnosticar e buscar otimizações para os territórios estudados (IVANOV; YERMOLAEV; USMANOV, 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, em um 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; SILVA; ZANELLA, 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 do meio (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 considerável diversidade e divergência teóricas (FELIPPE; MAGALHÃES-JÚNIOR, 2013). Questões como multidisciplinaridade, uso coloquial e popular do termo, além da preconcepção de que as nascentes são ambientes conhecidos pelo meio acadêmico, são alguns aspectos que implicam tanto na idealização errônea do conceito quanto na necessidade de construção de uma base teórica científica consolidada (FELIPPE, 2009; 2013).

No tocante 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; MAGALHÃOES-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 referente 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 no 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.

Devida a 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).

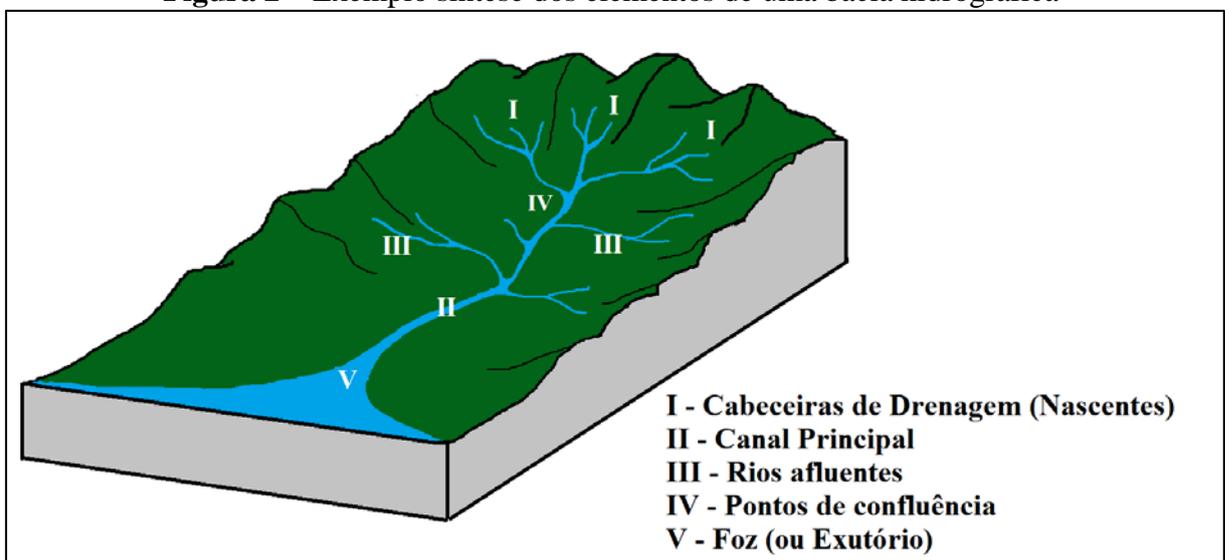
Nesta concepção as nascentes podem ser conceituadas como:

(...) 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). Felipe (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 nos 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



**Elaboração:** autores (2021). **Fonte:** Adaptado de Nascimento *et al.* (2015).

Dentro do ciclo hidrológico, entendido como o sistema que detém a 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

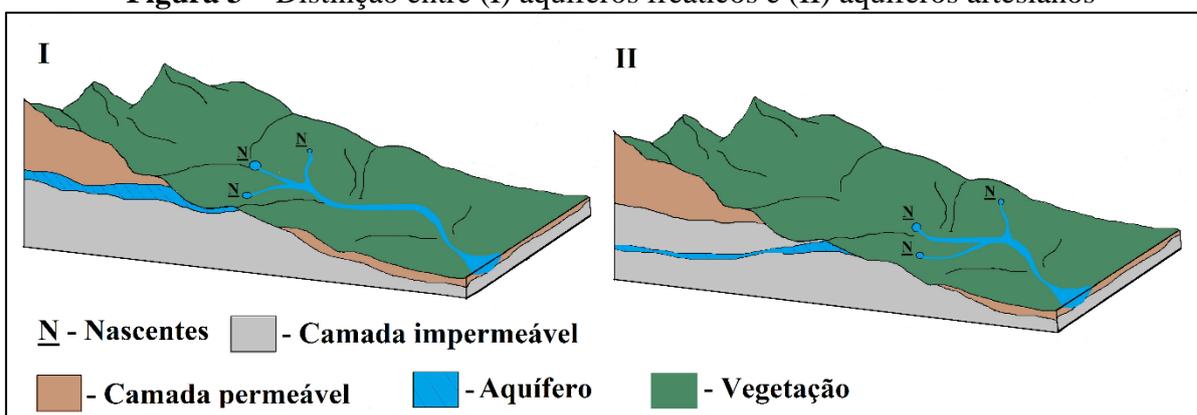
(FELIPPE, 2009; 2013), que, em linhas gerais, tratam-se do “como” e “onde” estas águas estão armazenadas e a maneira como podem vir a aflorar na superfície (PEREIRA, 2012).

Antes de atingir os lençóis subterrâneos, a água chega à superfície a partir da precipitação. Esta é formada a partir do aquecimento de moléculas de água, que evaporam da superfície ou do interior das plantas, se transportando para a atmosfera até atingir a saturação ou um nível de condensação. Esse vapor transportado origina a formação de pequenas gotículas, que 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).

Parte da água precipitada vai ao encontro da vegetação existente no local, enquanto a vegetação intercepta essa parcela d’água, 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



Elaboração: Autores (2021). Fonte: Adaptado de Valente e Gomes (2005).

Valente e Gomes (2005) afirmam que o termo freático é atribuído a esse tipo de lençol devida a 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 nada 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**).

**Quadro 2** – Características litológicas das águas subterrâneas

<b>I - POROSIDADE DOS AQUÍFEROS</b>
<b>Porosidade Primária, Intersticiais ou Intergranular</b> – Formadas nas rochas sedimentares, situam-se nos espaços vazios entre um grão e outro, chamados 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.
<b>Secundária ou Fissural</b> - Se formam durante o processo de diagênese e solidificação do magma ou das pressões internas da litosfera que dão origem às rochas. O impacto dos movimentos tectônicos na cristalização do material rochoso ocasiona em rachaduras, fissuras, falhas ou fraturas, onde estas, constituem-se como a porosidade fissural.
<b>Porosidade Cárstica</b> – 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.
<b>II - TIPOS DE ARMAZENAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</b>
<b>Meteórica</b> - São as águas que dão umidade do solo e estão armazenadas no substrato rochoso menos impermeáveis. 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.
<b>Cognatas</b> - 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.
<b>Juvenil</b> – Comparado às meteóricas, estas apresentam-se numa quantidade praticamente negligenciável, estimando aproximadamente 0,3 km <sup>3</sup> 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 causado pelas células de convecção, sendo as águas que ascendem para a superfície.

**Fonte:** Rebouças (2013). **Organização:** autores (2021).

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

Tem-se ainda as nascentes difusas ou de depressão, que surgem quando a “superfície freática ou um aquífero artesiano 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).

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; distinto 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, seja na interação entre solos, rochas ou 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 um outro aspecto: a importância da conservação ambiental das nascentes.

### **3.3 Aplicabilidade para a sustentabilidade: os zoneamentos ambientais das nascentes**

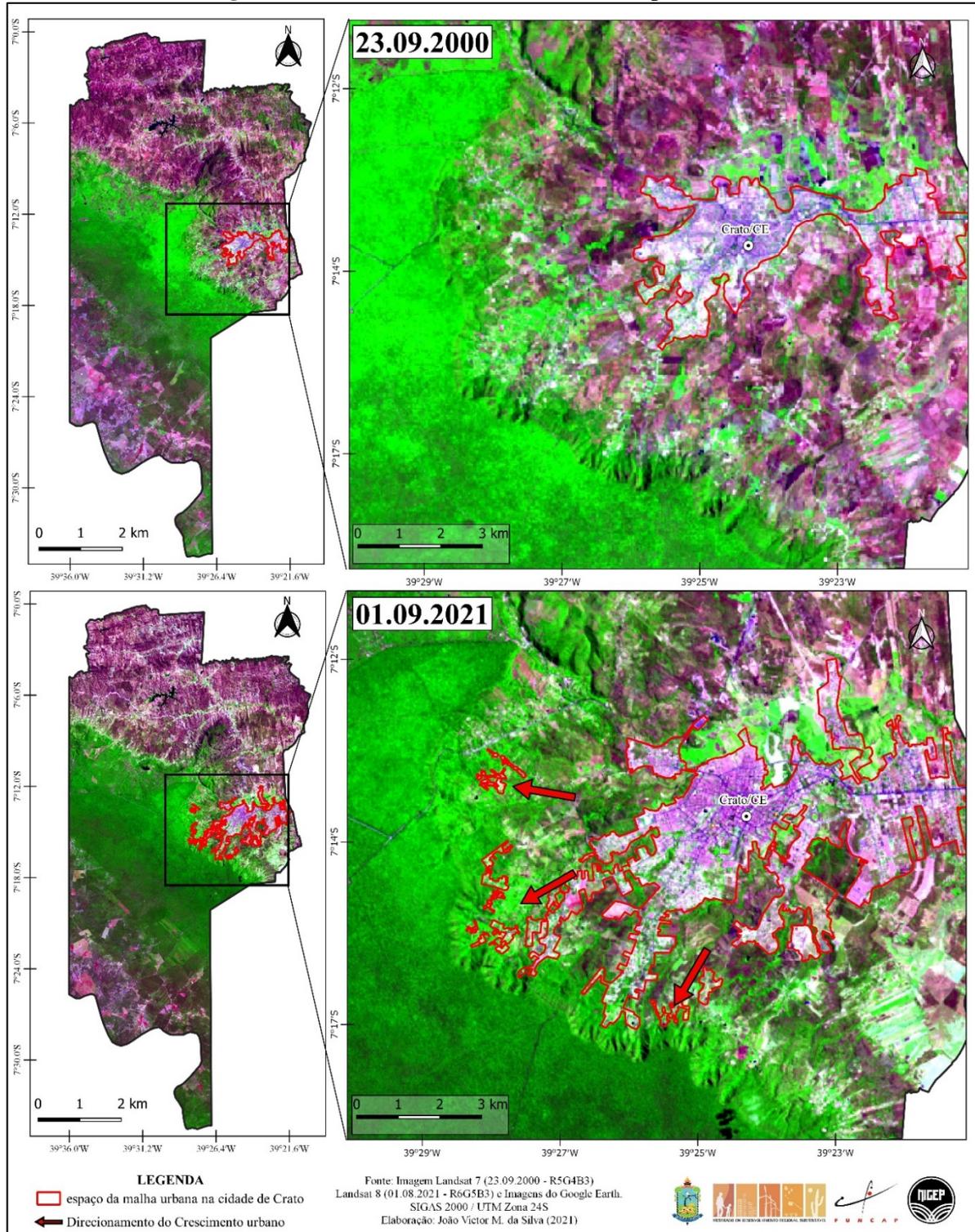
O município de Crato, devida a sua inserção na RMCariri, se enquadra num contexto de problemáticas ambientais que se agravam em decorrência do crescimento econômico e urbanístico da cidade, sobretudo a partir das suas centralidades urbanas, que põem em risco diversos patrimônios naturais, impedindo um 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; ALVES; PINHEIRO, 2014), como se observa na **Figura 4**.

Há 17 anos, ao fazer uma análise das vazões dessas nascentes, Sabiá e Frischkorn (2004) já apontavam para um decréscimo da quantidade de águas dessas fontes, sobretudo da fonte do Rio Batateiras, em Crato. Mesmo considerando os efeitos hidroclimáticos, as causas para este fenômeno ainda são ignoradas, mas ao mesmo tempo, alegavam o crescimento da

supressão vegetal da chapada do Araripe (SABIÁ; FRISCHKORN, 2004), o que poderia ser um possível agente desse processo negativo sobre as nascentes.

**Figura 4 – Crescimento urbano no município de Crato**



**Elaboração:** João V. Mariano da Silva (2021).

**Fonte:** Imagens de Satélite *Landsat 7* (2000); *Landsat 8* (2021) e Imagens do *Google Earth*.

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 de 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 a 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-Occidental e encosta Oriental (LIMA; CESTARO; ARAÚJO, 2010). Vale frisar que o alto nível de absorção da água no solo, juntamente com o contexto de declividade dessas encostas, favorece a alimentação dos aquíferos dessa região e o afloramento das fontes d'água (LIMA, 2015). A cobertura vegetal é outro fator imprescindível para que ocorra a necessária recarga dos aquíferos e o afloramento das águas nas nascentes.

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 1º e 2º 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 metros (BRASIL, 2002), semelhante ao que se apresenta no atual Código Florestal brasileiro (BRASIL, 2012).

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, observa-se que, embora exista uma ênfase quanto ao uso e à ocupação dos solos nos espaços naturais, não há uma delimitação desses ambientes em relação à sua tipologia. As nascentes d'água, 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 se destaca o ato de proteger a qualidade dos sistemas ambientais por parte de políticas públicas em conjunto à 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 para 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 à 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, são citados outros instrumentos de planejamento ambiental: 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-chefes” do planejamento urbano. Estes, associados ao termo “ambiental”, representam não somente a junção de conceitos e estudos de diversas disciplinas, como têm 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 possíveis de serem criadas pelo poder público e/ou privado, com a função de estabelecerem 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 para a 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 por meio dos zoneamentos pode fomentar o direcionamento de políticas públicas voltadas para o ordenamento e para a 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, estabelece-se, para fins de reconhecimento do território local e elaboração de produtos sínteses de informações espaciais, permite que o ZEE sejam realizados

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. 6-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'águas de Crato, o zoneamento geoambiental, aqui chamado de zoneamento ambiental, seria a ferramenta ideal para esses elementos hídricos, uma vez que segundo Silva e Santos (2004), é neste onde 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 fora deste documento (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 socioeconomia 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 às 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 definidas pelo uso da terra; VI – dados demográficos, dentre outros (BRASIL, 2002, art. 13).

Dessa forma aplicar a análise ambiental às nascentes, com a ajuda dos zoneamentos de suas áreas, significa compreender também as relações sociais de 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 contêm 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 o armazenamento d'água (e obviamente influenciando o tipo de aquífero); o local de exfiltração, este, condicionado pelo relevo e pelas 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 prejuízos que as atividades estavam causando uma à outra. Se há 167 anos já se refletia sobre o uso e ocupação das terras, o que impede a cidade de se repensar e de colocar as nascentes no centro desse debate?

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

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 se tratam de 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.

É possível entender que o estudo integrado das nascentes fomenta a obtenção de dados de suas condições atuais, de seu nível de conservação ou preservação, associadas à sua dinâmica natural, bem como fornece análises de possíveis estágios de alerta mediante a sua proteção, estabelecendo assim prognósticos. A aplicação da metodologia da análise ambiental integrada, além de interdisciplinar, pode ser realizada em diversas áreas do conhecimento, apontando variáveis importantes para se compreender as dinâmicas hídricas das nascentes.

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 seus entornos. 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 melhor 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 à 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. Um novo olhar na Geografia para os conceitos e aplicações de Geossistemas, sistemas antrópicos e sistemas ambientais. Uberlândia: **Caminhos de Geografia**, v. 13, n. 41, p. 80-101, 2021.
- A`B SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza do Brasil**: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003, p. 81-98.
- A`B SÁBER, A. N. Dossiê Nordeste seco. São Paulo: **Estudos Avançados (online)**, v. 13, n. 36, 1999.
- BASTOS, F. H.; CORDEIRO, A. M. N.; SILVA, E. V.; Aspectos geoambientais e contribuições para estratégias e planejamento ambiental da serra de Baturité/CE. **Revista da Anpege**, v. 13, n. 21, p. 163-198, 2017.
- BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico. São Paulo: **Caderno de Ciências da Terra**, Universidade de São Paulo, n. 13, 1972.
- BRASIL. República Federativa. **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, 1981.
- BRASIL, República federativa. **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-normaatualizada-pe.html>>. Acesso em: 29 set. 2020.
- BRASIL, República Federativa. **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. **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, 2008.
- BRASIL, República Federativa. **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](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4297.htm)>. Acesso em: 23 out. 2021.
- BRASIL, República Federativa. **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](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Decreto/D6288.htm#art2)>. Acesso em: 23 out. 2021.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 303/2002**. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Brasília: Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, 2002.

CALHEIROS, R. O. *et al.* **Caderno da mata ciliar** – preservação e recuperação de água e vida. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Departamento de Proteção da Biodiversidade, 2 Ed., n. 1, 2009. Disponível em:  
<[http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/municípioverdeazul/2013/05/Cadernos-de-Mata-Ciliar-1\\_Preserva%C3%A7%C3%A3o-e-recupera%C3%A7%C3%A3o-de-nascentes\\_2004.pdf](http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/municípioverdeazul/2013/05/Cadernos-de-Mata-Ciliar-1_Preserva%C3%A7%C3%A3o-e-recupera%C3%A7%C3%A3o-de-nascentes_2004.pdf)>. Acesso em 04 out. 2020.

CASTRO, M. S.; OLIVEIRA, A. A.; PEREIRA, W. E. N. Panorama e dinâmica recente da economia da Região Metropolitana do Cariri – RMC. **Revista de Economia Regional, Urbana e do Trabalho**, v.2, n. 1, p. 47-58, 2013.

CEARÁ, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Planilha de informações gerais e específicas das fontes da Bacia do Araripe**, 2020.

CEARÁ, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Ceará em mapas interativos – Distritos**. Fortaleza/CE, 2018. Disponível em:  
<<https://www.ipece.ce.gov.br/ceara-em-mapas-interativos/>>. Acesso em: 01 nov. 2021.

CEARÁ, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Ceará em mapas interativos – Divisão municipal**. Fortaleza/CE, 2021. Disponível em:  
<<https://www.ipece.ce.gov.br/ceara-em-mapas-interativos/>>. Acesso em: 01 nov. 2021.

COELHO NETTO, A. N. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand. 14 ed. 2018, p. 93 – 149.

CHORLEY, R. J. **Geomorphology and general systems theory**. Washington: USGS, 1962.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Blucher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicação da abordagem em sistemas na Geografia física. Rio de Janeiro: **Revista Brasileira de Geografia**, v. 52, n. 2, p. 21-35, 1990.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, Ed. da Universidade de São Paulo, 1979.

CRATO, Governo Municipal. **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, 2005.

DAL’ASTA, A. P. **Elaboração de um zoneamento geoambiental para o perímetro urbano de Santa Maria – RS** (Dissertação de mestrado). Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2009, p. 16 – 41.

- DIAS, R. L.; PEREZ-FILHO, A. Novas considerações sobre geossistemas e organizações espaciais em geografia. Universidade Federal de Uberlândia: **Sociedade & Natureza**, v. 29, n. 3, p. 1-15, 2017.
- FEITOSA, L. C. M. **Adequação metodológica para avaliação do potencial de conservação de nascentes rurais** (tese). Recife: Universidade Federal de Pernambuco. Disponível: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/29478>>. Acesso em: 04 out. 2020.
- FELIPPE, M. F. **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, 2009.
- FELIPPE, M. F. **Gênese e dinâmica de nascentes**: contribuição da investigação hidrogeomorfológica em região tropical (tese). Belo Horizonte: UFMG, 2013.
- FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JR., A. P. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d'água e propostas de especialistas. Belo Horizonte: **Geografias**, v. 9, n. 1, p. 70-81, 2013.
- FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JR. O estudo hidrogeomorfológico de nascentes. In: MAGALHÃES JR, A. P.; BARROS, L. F. P. (Org.). **Hidrogeomorfologia**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 103-120, 2020.
- FERREIRA, R. A.; AGUIAR NETTO, A. de O., SANTOS, T. I. S., SANTOS, B. L.; MATOS, E. L. de. Nascentes da sub-bacia hidrográfica do rio Poxim, estado de Sergipe: da degradação à restauração. Viçosa/MG. **Revista Árvore**, v. 35, n.2, p.265-277, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622011000200011>.
- FRANÇA JÚNIOR, P.; VILLA M. E. C. D. Análise macroscópica nas cabeceiras de drenagem de Umuarama, região noroeste – Paraná/Brasil. Santa Maria: **Geografia Ensino e Pesquisa**, v. 17, n. 1 p. 107-117, 2013.
- GIL, A. C. **Como elaborar um projeto de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 4 Ed., 2002.
- GUERRA, A. T.; GUERRA, J. A. T. **Novo dicionário Geológico-Geomorfológico**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 6 Ed., 2008.
- HAIGH, M. J. **Geography and General System Theory, philosophical homologies and current practice**. Geoforum, v. 1.6 n. 2, p. 191-203, 1985.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística /Cidades. **Estimativa População**. Rio de Janeiro. IBGE, 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>> Acesso em 28 jun. 2021.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística /Cidades. **Geociências – Estrutura territorial (2015)**. Rio de Janeiro. IBGE, 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. 28 jun. 2021.
- IVANOV, M. A.; YERMOLAEV, O. P.; USMANOV, B. M. Integrated approach to environmental impact assessment on geosystems. Kazan Federal University: **International**

**Journal of Pharmacy & Technology**, 2016. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/315896535\\_Integrated\\_approach\\_to\\_environmental\\_impact\\_assessment\\_on\\_geosystems](https://www.researchgate.net/publication/315896535_Integrated_approach_to_environmental_impact_assessment_on_geosystems). Acesso em: 22 set. 2021.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacia hidrográficas**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Ed. 2, 2008, p. 46 – 62. <Disponível em: <http://files.engflorestal.webnode.com.br/200000001-e7c75e8c14/Apostila--hidrologia-NOVA-2008.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2021.

LIMA, F. J. **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, 2015, p. 17 – 45.

LIMA, F. J.; CESTARO, L. A.; ARAUJO, P. C. Sistemas geoambientais do município de Crato/CE. Fortaleza: **Mercator**, V. 9, n. 19, p. 129-142, 2010.

MAGALHÃES, G. B.; SILVA, E. V.; ZANELLA, M. E. Análise geossistêmica: 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. Disponível em: <<http://geopuc.geo.puc-rio.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=43&sid=15>>. Acesso em 20 set. 2021.

MARQUES NETO, R. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. Londrina: **Geografia**, v. 17, n. 2, p. 67-87, 2008.

MENDONÇA, F. **Geografia Física: ciência humana?** São Paulo: Contexto, 8. Ed., 2020.

MOURA-FÉ, M. M. As Serras Úmidas na Ocupação do Território Cearense. Sobral/CE: **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 20, n. 2, p. 19-29, 2018.

MOURA-FÉ, M. M. *et al.* Região Metropolitana do Cariri (RMC), Ceará: Meio ambiente e sustentabilidade. Sobral/CE: **Revista Casa da Geografia de Sobral**, v. 21, n. 2, Dossiê: Estudos da Geografia Física do Nordeste brasileiro, p. 1198-1216, 2019.

MOURA-FÉ, M. M. *et al.* A análise ambiental integrada e sua construção teórica na Geografia Física. João Pessoa – PB: Okara: **Geografia em Debate**, v. 2, n. 2, p. 294 – 307, 2014.

NASCIMENTO, F. R.; SAMPAIO, J. L. Geografia Física, geossistemas e estudos integrados da paisagem. Sobral – CE: **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 6/7, n. 1, 2005, p. 167 – 179.

NASCIMENTO, A. F. *et al.* **Caracterização geoambiental em áreas de barragens subterrâneas no Semiárido brasileiro**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos; Recife, PE: Embrapa Solos; UEP Recife, 2015, p. 22. ISSN 1517-2627.

NUNES, E. M.; CASTILHO, C. J. M. Perspectivas de governança ambiental em áreas de nascentes no Estado da Paraíba-Brasil: rumo à sustentabilidade? Pernambuco: **Revista**

**Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, 2017, p. 428 – 440. Disponível em:  
<<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234090>>. Acesso em: 04 set. 2020.

OLIVEIRA, G. Geoecologia e geodiversidade: uma aplicação da análise integrada da paisagem como subsídio à gestão de áreas protegidas. Uberlândia: **Caminhos de Geografia**, v. 20, n. 72, 2019 p. 402–421. Disponível em:  
<<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/>>. Acesso em: 19 set. 2021.

OLIVEIRA, M. X. **Análise geoambiental**: discussões sobre conceitos e metodologias aplicadas (Tese de doutorado). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018, p. 35 – 104.

PEULVAST, G. P.; BÉTARD, F.; MAGALHÃES, A. O. **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*, n. 1, p. 33-52, 2011.

PEREIRA, L. C. **Uso e conservação de nascentes em assentamentos rurais** (dissertação). Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2012. Disponível em:  
<<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/10645/1/dissertacao-leidiane-candido.pdf>>. Acesso em 04 set. 2020.

PINHEIRO, I. **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, 2010. 570 p

QUEIROZ, M. L. **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). Brasília: Universidade de Brasília, 2013. Disponível em:  
<<https://repositorio.unb.br/handle/10482/20429>>. Acesso em: 29 set. 2020.

ROCHA, G. A. Águas subterrâneas. In: TELLES, D. D. (org.). **Ciclo ambiental da água**. São Paulo: Blucher, p. 120 - 142, 2013.

BRUINS, H. J. *et al.* Degradation of Headwaters in the Arava Valley: anthropogenic and Climatic factors. **Land Degradation & Development**. v. 23. p.365–383, 2012.

REBOUÇAS, A. C. Águas Subterrâneas. GAIMPÁ, C. E. Q.; GONÇALES, V. G. In: **Águas subterrâneas e poços tubulares**. São Paulo: Oficina de Textos, 2 ed., p. 17-56, 2013.

SANTOS, N. A.; OLIVEIRA-JÚNIOR, I.; BORGES, E. F. Análise integrada da paisagem: subsídio para o zoneamento ambiental em Canudos – BA. Presidente Prudente: **Caderno Prudentino de Geografia**, n. 43, v. 3, p. 178-200, 2021.

SABIÁ, R. J.; FRICKORN, H. **Gestão das fontes da chapada do Araripe**: descaso ou incompetência. Florianópolis: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduo e Desenvolvimento Sustentável, 2004, p. 1306-1314.

SILVA, J. S. V.; SANTOS, R. F. Zoneamento para o planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. Brasília: **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 21, n. 2, p. 221-263, 2004.

SILVA, C. A. **Análise sistêmica, planejamento ambiental e zoneamento ambiental, reflexões e aplicabilidade no turismo**. Viçosa: UFV-CCHLA-Dep.Geografia-Lab de Geografia Física Aplicada, 2009, p. 1 – 19. Disponível em: <[http://www.geomorfologia.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos\\_completos/eixo10/002.pdf](http://www.geomorfologia.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo10/002.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2021.

SOARES, G. C. S. S. **Cadeia casual de degradação de nascentes na bacia hidrográfica do rio Gramame – Paraíba** (Dissertação). João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, p. 2-42, 2016.

SOARES, J. C. de O.; SOUZA, C. A. de; PIERANGELI, M. A. Nascentes da sub-bacia hidrográfica do córrego Caeté/MT: estudo do uso, topografia e solo como subsídio para gestão. Taubaté/SP: **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. v. 6, n. 1, p. 22-51, jan-abr/2010.

SOUZA, M. J. N.; OLIVEIRA, V. P. V. N. Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do nordeste brasileiro. **Mercator**, v. 5, n. 9, p. 85-102, 2006.

SOTCHAVA, V. B. **Por uma teoria de classificação dos geossistemas de vida terrestre**. Biogeografia. São Paulo, n. 14, 24p., 1978.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para o planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

ROSS, J. L. S. **Análise e sínteses da abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental**. São Paulo: **Revista do Departamento de Geografia**, v. 9, p. 65 – 75, 2011. DOI <https://doi.org/10.7154/RDG.1995.0009.0006>

VALE, C. O. Teoria Geral do Sistema: histórico e correlações com a Geografia e com o estudo da paisagem. Dourados – MS: **Entre-Lugar**, ano 3, n. 6, p. 85-108, 2012.

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de nascentes - hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras**. Viçosa – MG: Aprenda Fácil, 2005.

TROPMAIR, H.; GALINA, M. H. Geossistemas (Geosystems). **Mercator**, v. 5, n. 10, p. 79-90, nov. 2006. Disponível em: <<http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/69>>. Acesso em: 21 set. 2021.

## **ARTIGO 2**

## ARTIGO 2 - DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL DAS NASCENTES DA CIDADE DE CRATO, REGIÃO METROPOLITANA DO CARIRI, CEARÁ

### RESUMO

No município do Crato, dado o contexto hidrogeológico da bacia do Araripe e a geomorfologia da chapada do Araripe, afloram 93 nascentes d'água. Estima-se, na atualidade, que parte destas venha sendo impactada pelo contexto de crescimento da malha urbana da sede municipal em direção às encostas da chapada. No entanto, ainda não se tem estudos geoambientais específicos sobre esta problemática ambiental. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é realizar um diagnóstico geoambiental das nascentes da cidade de Crato – CE. Para isso, o delineamento metodológico do trabalho se fez em: I - gabinete, com levantamento bibliográfico e cartográfico de base e dados vetoriais e *rasters*; II – laboratório, com mapeamento no *software* QGIS dos aspectos geoambientais da cidade de Crato e zoneamento no raio de 50 metros nas áreas protegidas das nascentes; e III – atividades de campo nas encostas da chapada do Araripe. Como resultados, se identificou que o município de Crato, além de estar situado no centro de uma grande rede de drenagem, oriunda das águas que brotam nas nascentes das encostas da chapada, teve seu crescimento enquanto cidade devido a existência dessas em seu território. Observou-se também que na atualidade 45 das 93 nascentes estão localizadas na zona urbana e periurbanas da cidade, sofrendo alterações em seu contexto físico e natural. Conclui-se que os diagnósticos geoambientais das nascentes, além de importantes ferramentas fundamentais para identificação de aspectos físico-sociais relacionados a estas, podem também subsidiar ações de conservação hidrogeomorfológica desses corpos hídricos, imprescindíveis para a sustentabilidade ambiental regional.

**Palavras-chave:** Hidrogeologia. Bacia sedimentar do Araripe. Fontes D'água. Conservação Hídrica. Expansão urbana.

## GEOENVIRONMENTAL DIAGNOSIS OF RIVER SOURCES IN CRATO CITY, METROPOLITAN REGION OF CARIRI, CEARÁ

### ABSTRACT

In Crato/CE, given the hydrogeological context of the Araripe Basin together with the Araripe plateau geomorphology, 93 springs emerge. It is estimated, nowadays, that part of these springs has been impacted by the context of growth of the urban urban mesh of the municipality towards the plateau hillside. However, there are still no geoenvironmental studies specific about this environmental problem. That way, the objective of this work is based on carrying out a geoenvironmental diagnosis of the springs of Crato - CE. For this, the methodological design of the work was carried out in: I - office, with bibliographic and cartographic base survey and vector and raster data; II – laboratory, with mapping in the QGIS software of the geoenvironmental aspects of the city of Crato and zoning within a radius of 50 meters in the protected areas of the springs; and III – field activities on the hillsides of the Araripe plateau. As results, it was identified that the municipality of Crato, in addition to being located in the center of a large drainage network originated from the waters that sprout from the springs of the hillside of the plateau, it had its growth as a city due to the existence of these springs in its territory. It was also observed that nowadays, 45 of the 93 springs are located in the urban and periurban area of the city, experiencing changes in their physical and natural context. It is concluded that the geoenvironmental diagnoses of the springs, in addition to being important fundamental tools for identifying physical-social aspects related to them, can also support actions for the hydrogeomorphological conservation of these water bodies, essential for regional environmental sustainability.

**Keywords:** Hydrogeology. Araripe Sedimentary Basin. Springs. Water conservation. Urban expansion.

## 1 INTRODUÇÃO

Estudos relacionados às nascentes d'água são cada vez mais importantes no contexto acadêmico, por estas se apresentarem como ambientes hídricos ainda muito desconhecidos, com uma grande ausência de dados físicos-naturais referentes a estas, como

aponta Felipe (2013). Elas possuem uma alta vulnerabilidade ambiental, sendo um dos elementos mais ameaçados pelo impacto do crescimento urbano das cidades (ALBUQUERQUER; PINHEIRO, 2019), como é o caso de Crato, município que possui uma grande relevância de nascentes oriundas nas relações hidrogeológicas da bacia sedimentar do Araripe, ainda pouco estudadas do ponto de vista natural.

Essa bacia sedimentar do Araripe, situada na província Borborema, se trata da maior bacia interior do Nordeste brasileiro, com uma área aflorante que abrange partes dos estados do Ceará (em seu segmento meridional), Pernambuco e Piauí. Composta de uma litoestratigrafia diversificada, marca uma área de ocorrência geológica que estrutura um dos enclaves úmidos mais peculiares no semiárido brasileiro, a chapada do Araripe, se estendendo ainda pelo Vale do Cariri cearense (SOUZA; OLIVEIRA, 2006).

A chapada do Araripe é uma feição geomorfológica de âmbito regional, um ambiente de exceção às condições climáticas do sertão semiárido cearense, com aspectos hidroclimáticos e geoambientais relacionados a um ritmo pluviométrico mais intenso, e à sua capacidade hidrogeológica (SOUZA; OLIVEIRA, 2006; BASTOS; CORDEIRO; SILVA, 2017; BETARD *et al.* 2017). O alto índice da capacidade de absorção d'água pluvial no seu topo, em adição à sua baixa declividade, reflete na ausência de redes de drenagem no topo da chapada, além da alimentação de três grandes aquíferos subterrâneos, cujas águas afloram em suas encostas sedimentares como nascentes d'água (SABIÁ, 2000; LIMA; 2015).

O município de Crato se destaca como um dos municípios onde os afloramentos das nascentes d'água nas encostas da chapada do Araripe influenciaram e influenciam as relações geoambientais locais peculiares. Dados quantitativos da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH, 2020) apontam que, no Crato, situa-se a maior quantidade de afloramentos d'água encontrados até então na região, apresentando cerca de 93 nascentes.

As nascentes são respostas das interações e relações hidrogeológicas e hidrogeomorfológicas, são os locais onde se originam os canais de drenagem das bacias hidrográficas (FELIPPE; MAGALHÃES JR., 2020). São delas que saem as águas utilizadas em diversos usos, como agricultura, indústria, comércio, uso doméstico, atividades recreativas etc, além de manter as interações sistêmicas da hidrosfera.

No Cariri, onde está inserido o Crato, as florestas úmidas, a potencialidade hídrica subterrânea e suas nascentes associadas foram os elementos que justificaram a ocupação dessa região (SILVA, 2015). As nascentes marcam a história da região devida sua importância natural, socioambiental e ecológica, sobretudo nas cidades de maior ocorrência, como o Crato. Contudo, a ocupação inadequada das áreas de encostas da chapada do Araripe, onde situam-se

esses afloramentos, vem ao longo do tempo as degradando, alterando sua dinâmica natural e, por conseguinte, o ciclo hidrológico regional.

A conservação dos mananciais hídricos, em linhas gerais, é uma ação que depende do manejo dos ecossistemas de forma integrada. As alterações nos ambientes naturais causadas pela agricultura, pelo desmatamento, pela ocupação e pela urbanização do solo, são processos que alteram os ciclos naturais das águas (VILAR *et al.*, 2009), sejam elas na superfície ou em subsuperfície, o que pode tornar essas e outras atividades prejudiciais à dinâmica hidrogeomorfológica das nascentes e, portanto, insustentáveis ambientalmente.

Dado esse contexto, este trabalho tem como objetivo diagnosticar os aspectos ambientais das nascentes d'água da cidade de Crato, no setor oriental da encosta da chapada do Araripe, considerando seus elementos físico-ambientais, históricos e os impactos associados às nascentes em meio urbano e periurbano.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

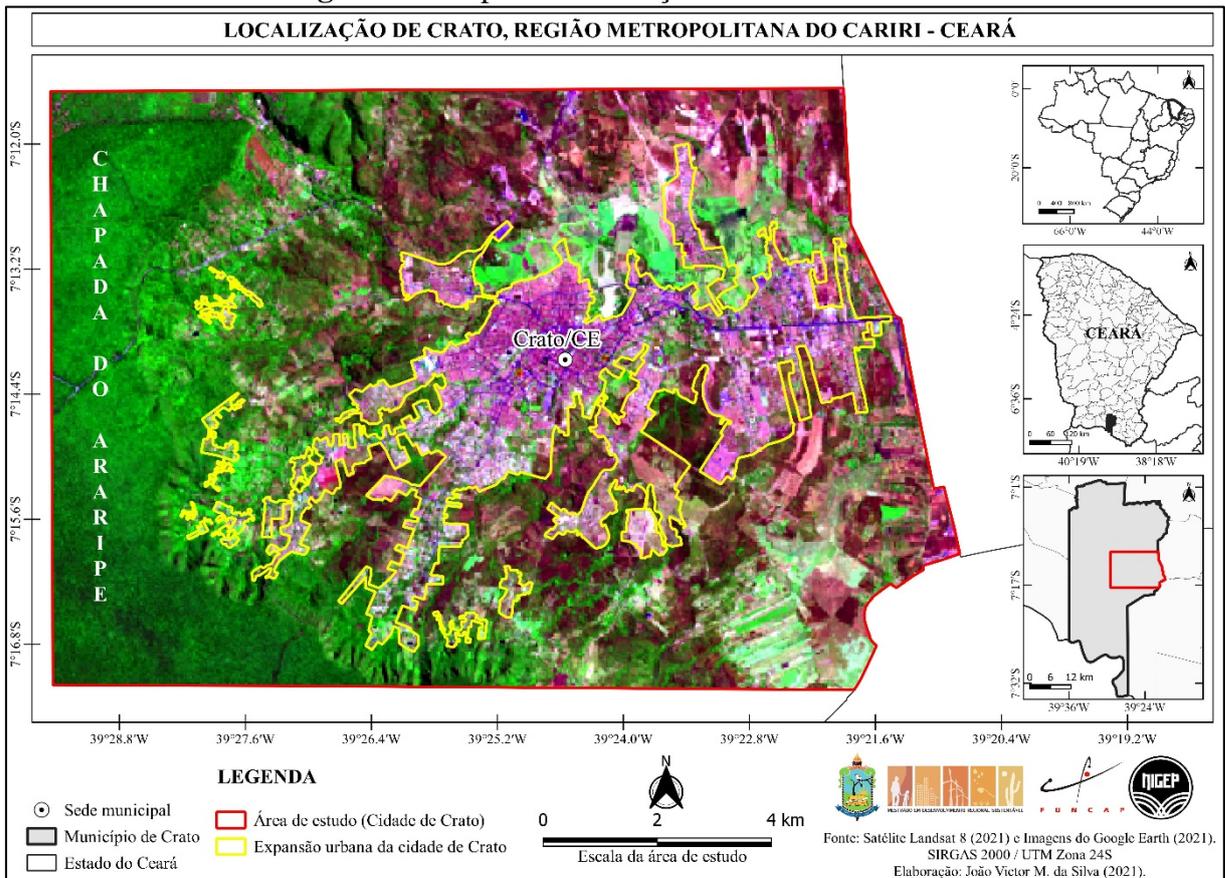
### **2.1 Área de Estudo**

O Crato está situado no extremo sul do estado do Ceará, compondo a Região Metropolitana do Cariri (RMCariri), com uma área territorial de 1.138,150 km<sup>2</sup> (IBGE, 2020). Localiza-se na depressão periférica do Cariri, também intitulada de Vale do Cariri. O mesmo se encontra entre 400 e 600 metros de altitude, e a maior parte do município está sobre o relevo da chapada do Araripe (PELVAST; BÉTARD; MAGALHÃES, 2011).

Devidas as condições hidrogeológicas da bacia do Araripe, juntamente com influências da chapada do Araripe, no município de Crato, foram encontradas até atualmente, o afloramento de 93 nascentes d'água que alimentam os canais de drenagem da sub-bacia hidrográfica do rio Salgado, sendo esta a rede fluvial onde se enquadra a maior parcela do território municipal (COGERH, 2009; 2020). Dessas nascentes, boa parte está situada nas proximidades do contexto urbano da cidade de Crato, (LIMA; CESTARO; ARAUJO, 2010), área de estudo desse manuscrito (**Figura 1**).

A escolha dessa área dentro do município de Crato se deu a partir de dois critérios principais: o primeiro baseia-se no fato de que é nessa área onde, além de situar-se parte da encosta da chapada do Araripe localiza-se em sua proximidade a cidade de Crato e a sua malha urbana, o que direciona ao segundo motivo. O fato de haver essa relação de proximidade entre a cidade e sua posição nas encostas da chapada, pode estar, a partir do seu processo de crescimento e urbanização, ocupando as áreas de nascentes, sobretudo aquelas situadas entre a zona urbana e a periurbana.

**Figura 1** – Mapa de localização da área de estudo



**Elaboração:** João V. M. da Silva (2021). **Fonte:** Satélite *Landsat* (2021) e *Google Earth* (2021).

## 2.2 Procedimentos metodológicos

O delineamento metodológico da pesquisa seguiu as diretrizes de uma pesquisa de cunho qualitativo exploratório, onde, para Gil (2002), se trata de uma forma de buscar entender um problema estimulando-o a construir hipóteses (GIL, 2002). Assim, para esta pesquisa, utilizou-se de fundamentos teóricos na análise geoambiental, cujo contingente técnico associado foi compartimentado em três etapas: I – Gabinete, II – Laboratório, e III – Campo.

Em gabinete, realizou-se o levantamento bibliográfico sobre as temáticas da pesquisa em livros e *web sites* como o Portal de Periódicos da CAPES, *Google Scholar*, *Research Gate* e os repositórios de teses e dissertações de instituições de ensino superior. Para este, utilizou-se como descritores centrais de busca os termos: *medium aquifer of the Araripe basin*; *Araripe sedimentary basin*; *Cariri hydrogeology*; *Chapada do Araripe and water springs*. O levantamento cartográfico se deu com buscas de dados de geoprocessamento para o mapeamento dos elementos físicos e sociais da área de estudo. Para este, foi feita uma busca nos sites do Serviço Geológico do Brasil; Araripe da Agência Nacional das Águas e Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, além de imagens *raster* de altitude e localização

da área de estudo no site *EarthExplorer*. Feita esta, encontrou-se as seguintes bases que subsidiaram a elaboração dos mapas da área de estudo (**Quadro 1**).

**Quadro 1** – Bases de dados utilizadas na organização do mapeamento da pesquisa

<b>MAPAS DO MUNICÍPIO DE CRATO - CE</b>	
<b>MAPA</b>	<b>BASE DE DADOS</b>
Mapa geológico de Crato	Serviço Geológico do Brasil (PINÉO <i>et al.</i> , 2020).
Mapa hidrogeológico de Crato	Dados dos sistemas aquíferos da Bacia do Araripe da Agência Nacional das Águas (ANA, 2013) e base de drenagem do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE, 2015).
Mapa de localização da área de estudo	Imagem do satélite <i>Landsat 8</i> (24.08.2021), disponível no site <i>EarthExplorer</i> ( <a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a> ), e tratada nas bandas multiespectrais <i>Red</i> , <i>Green</i> e <i>Blue</i> (RGB).
Mapa de uso e ocupação do solo da cidade de Crato	Imagem do satélite <i>Landsat 8</i> (24.08.2021), disponível no site <i>EarthExplorer</i> ( <a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a> ). Para classificação do uso do solo, teve-se como base as chaves de interpretação de feições e objetos de Florenzano (2011), através do <i>plugin Automatic Classification Plugin</i> (SPC) do QGIS.
Mapa de localização das nascentes urbanas e periurbanas	Folha <i>raster</i> de elevação do satélite SRTM (2014), disponível no site <i>EarthExplorer</i> , e coordenadas das nascentes disponibilizadas pela COGERH (2020). Para delineamento dos canais de drenagem, foi adaptada à base de drenagem de PINÉO <i>et al.</i> (2020), com auxílio do <i>Google Earth</i> .

**Elaboração:** Autores (2022).

Em laboratório, foram feitos o tratamento dos dados e a organização dos mapas, enfatizando, sobretudo, os elementos geoambientais de Crato. Toda a elaboração desses produtos foi organizada a partir do *software* QGIS, versão 3.4.3, conjunto a imagens de satélite do ano de (2021) do *Google Earth*.

Ainda em laboratório, foi elaborado o mapa com os tipos de ocupação visíveis no entorno das nascentes da/na área de estudo. Este mapeamento foi realizado com imagens de satélite do *Google Earth* (2021), no *software* QGIS, com a vetorização do raio de 50 metros, estabelecidos na Lei nº 12.651 (BRASIL, 2012), em 45 nascentes localizadas na zona urbana e periurbana da cidade de Crato.

Para localizar as nascentes, foram utilizadas as coordenadas disponibilizadas pela COGERH das nascentes encontradas em Crato até o ano de 2020. Algumas nascentes identificadas no recorte espacial da pesquisa foram excluídas desse estudo por apresentarem divergência quanto às coordenadas disponibilizadas pela COGERH e sua posição em campo. As nascentes selecionadas foram identificadas pela sigla “N”, referindo-se ao termo “nascente”, mais um número correspondente a uma ordem crescente (Ex.: N2).

Após a organização do mapeamento, foram feitas as atividades de campo. Estas foram realizadas no setor da encosta oriental da chapada, nos bairros Coqueiro, Granjeiro,

Lameiro e Belmonte, e contou com o apoio do mapa de localização das nascentes, de câmera fotográfica e de GPS. Seu objetivo se baseou em analisar e registrar *in loco* das nascentes (urbanas e periurbanas) as formas de uso e ocupação e os impactos ambientais associados em macroescala visíveis tanto no setor da encosta quanto no entorno das nascentes encontradas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Aspectos hidrogeológicos e ambientais

O contexto hidrogeológico do território de Crato só pode ser entendido mediante a compreensão, mesmo que breve, da litologia da bacia sedimentar do Araripe. A bacia do Araripe possui uma extensão de aproximadamente 9000 km<sup>2</sup>, situando-se nos terrenos Piancó-Alto Brígida, no domínio da Zona Transversal da Paraíba, tendo seus limites nos lineamentos de Patos e Pernambuco, ao norte e ao sul. Small (1913), pioneiramente, fez uma compartimentação de suas litologias em quatro unidades: conglomerado basal; arenito inferior; calcário Santana e arenito (ASSINE, 1992; SILVESTRE; FAMBIRNI; COSTA, 2020).

Eventos tectônicos relacionados ao rifteamento do supercontinente Gondwana e à abertura do Atlântico Sul foram determinantes no condicionamento, localização e arquitetura da bacia sedimentar do Araripe, com uma complexa histórica natural associada a quatro sequências deposicionais limitadas por discordâncias regionais, que representam o resultado dos fragmentos do embasamento cristalino oriundos desses eventos geológicos (ASSINE, 2007; ASSINE *et al.*, 2014).

Assim, a bacia do Araripe se caracteriza por ter uma gênese e estrutura poligenética, onde sua arquitetura deposicional é pertencente a diferentes contextos paleogeográficos (ASSINE, 2007; ASSINE *et al.*, 2014). A organização da sua litoestratigrafia se dá com uma sequência de deposições discordantes de origem fluvial, lacruste, marinha e fluvial novamente, soerguidas a partir de impulsos tectônicos de escala regional (GUERRA, 2020).

A cronoestratigrafia da bacia do Araripe é derivada de eventos pré-rifte, rifte e pós-rifte, os quais deram origem a cinco sequências litológicas (ASSINE *et al.*, 2014) (**Quadro 2**).

De maneira geral, os relevos formados por litologias pertencentes às bacias sedimentares tendem a possuir duas características: (1) em escala média ou pequena, eles podem revelar uma grande diversificação de formas que se organizam influenciadas pelo arcabouço litológico das camadas, coisa que não pode ser vista em grandes escalas; (2) influenciam condições climáticas e processos hidrogeológicos locais/regionais (GUERRA, 2020).

Quadro 2 – Síntese da cronoestatigrafia e disposição dos aquíferos da bacia sedimentar do Araripe

SEQUÊNCIA PÓS-RIFTE II			
GRUPO ARARIPE	Formação Exu	Recobre a chapada do Araripe, formado por arenitos fluviais. Ao oeste da bacia, sua estratigrafia é grandocrescente ascendente com arenitos conglomeráticos na base, sobrepostos por arenitos médios a grossos de cor vermelha; mal selecionados com estratificação cruzada planar e acanalada.	Aquífero Superior
	SEQUÊNCIA PÓS-RIFTE I		
GRUPO SANTANA	Formação Romualdo	Última unidade deste grupo, constitui-se a partir de arenitos finos a grossos, conglomerados, calcários laminados e folhelhos escuros, esverdeados e, por vezes, pretos, além da presença de concreções fossilíferas. Seu ciclo deposicional se deu através de ingressão marinha.	Aquitarde
	Formação Ipubi	Formação composta de gipsita e folhelhos betuminosos, situa-se sobreposta à formação Crato. Possui uma espessura de até 30m, concentrando-se situada na porção oeste da bacia do Araripe. Seu processo de deposição sedimentar se deu por meio da mais antiga ingressão marinha que ocorreu na região.	
	Formação Crato	Formação sedimentar que repousa sobre os pelitos da formação Barbalha, sua composição é derivada de rochas carbonáticas. É uma litologia caracterizada por seus folhelhos betuminosos e calcíferos, além da presença de um registro fossilífero significativo.	
	Formação Barbalha	Essa sequência ocorre no sopé da chapada do Araripe, no Vale do Cariri e na Serra da Mãozinha; formada com predominância de arenitos finos a médios, folhelhos avermelhados e do tipo betuminosos de coloração preta. Seu ciclo deposicional é marcado por processos fluviais e lacruste.	Aquífero Médio
SEQUÊNCIA CLIMAX DE RIFTE			
GRUPO VALE	Formação Abaiara	Formação datada do início do estágio de rifeamento (Neocomiano). Possui espessura ainda indefinida, contudo nos cortes da Ferrovia Transnordestina, possui uma ordem de 400m. É composta por intercalações de arenitos e folhelhos, arenitos médios a finos e conglomeráticos, tendo ainda em sua base siltitos e siltitos vermelhos. Dados de paleocorrentes indicam um processo de deposição de origem fluvial.	Aquífero Médio
	Formação Missão Velha	Arenitos grossos a finos, muitas vezes conglomeráticos e lenhos fósseis de madeira silicificada.	
GRUPO CARIRI	SEQUÊNCIA PRÉ-RIFTE		
	Formação Missão Velha	Possui uma espessura de 200m. Caracteriza-se pela presença de arenitos quartzosos, feldspáticos, caloníticos e conglomerados, além da presença de troncos fósseis e madeira silitificada que indica a paleopresença de uma floresta de coníferas da espécie <i>Dadoxylon Banderi</i> . Possui ainda uma estratificação cruzada.	Aquitarde
	Formação Brejo Santo	Formação com espessura de 450m que possui dada terminologia, devida sua maior área de afloramento, localizada na cidade de Brejo Santo – CE. É formada por argilitos, folhelhos argilosos calcíferos, siltitos cinzas e alguns arenitos finos e muito argilosos. Devida a ausência de sedimentos de origem marinha, indica-se um processo de deposição de origem lacruste.	
SEQUÊNCIA PALEOZOICA			
Formação Cariri / Mauriti	Aflora ao leste da bacia, contornando o Vale do Cariri, podendo ser observada na cachoeira de Missão Velha (Missão Velha/CE). Possui espessura de até uma centena de metros e se trata da formação basal da bacia. É formada de arenitos imaturos de granulação média a muito grossa, com níveis descontínuos de siltitos de coloração branca.	Aquífero Inferior	
EMBASAMENTO PRÉ-CAMBRIANO			

Elaboração: Autores (2021). Adaptado de: ASSINE (2007); ASSINE *et al.* (2014); CAMACHO (2016); FAMBRINI *et al.* (2020) PÍNEO *et al.* (2020).

No Cariri cearense, modelada sobre a bacia sedimentar do Araripe, está a chapada do Araripe, uma feição geomorfológica que se alonga por 190 km<sup>2</sup> na direção leste-oeste, com média altimétrica entre 900m e 1002m de altitude em suas porções orientais. Seu topo possui um formato plano, mergulhado de forma suave para a direção oeste, composta por litologias das camadas sedimentares derivadas do estágio pós-rifte (ASSINE, 2007; PEULVAST; BÉTARD, 2015).

Além da chapada, devido ao controle estrutural da região, estruturado em *horts* e grábens, e a um conjunto de falhas, no entorno da chapada, em uma área de depressão, situa-se o Vale do Cariri (LIMA, 2015), relevo com altimetria de aproximadamente 400m, formado por rochas das formações Missão Velha e Brejo Santo, sendo delimitada nas áreas mais elevadas pelo embasamento pré-cambriano (SANTOS; NEUMMAN; CORRÊA, 2008).

Esse contexto geológico-geomorfológico faz com que na zona subsuperficial da bacia do Araripe se tenham as melhores reservas hídricas subterrâneas do estado do Ceará, responsáveis por abastecer os municípios do entorno da chapada do Araripe, como Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha e Missão Velha. A base geológica da bacia do Araripe origina três domínios hidrogeológicos compostos por rochas sedimentares, cristalinas e depósitos aluvionares (VIANA, 2007), responsáveis pela formação aquífera de escala regional.

Em terrenos geológicos, ao local onde há o armazenamento de águas subterrâneas, dá-se o nome de “aquíferos”, os quais resguardam águas no interior das rochas, sendo capazes de fornecê-las para a superfície através das nascentes. Em ambientes sedimentares, há os aquíferos freáticos, livres, também chamados de granulares (ROCHA, 2013). Na chapada do Araripe, estes vêm a se formar a partir da arquitetura litológica, tendo origem devida a condutividade hidráulica dos arenitos da Fm. Exu e dos seus solos, que implicam na ausência do acúmulo de água superficial, ao passo que as mesmas infiltram e percolam nas camadas litológicas; além da estrutura de planalto sedimentar, que causa a exfiltração hídrica em direção à planície adjacente (MENDONÇA, 2001).

A alternância dos aquíferos e aquitardes que existem na bacia do Araripe se dá em discordância vertical e lateral (COGERH, 2009), organizada segundo a divisão estratigráfica (CAMACHO, 2016), a saber: **Aquífero superior** (Fm. Exu; Araripina); **Aquitarde do Grupo Santana** (Fm. do Grupo Santana); **Aquífero médio** (Fm. Barbalha, Abaiara e Missão Velha); **Aquitarde** (Fm. Brejo Santo); **Aquífero inferior** (Fm. Mauriti).

O Aquífero Superior apresenta características hidrodinâmicas de porosidade primária e alto índice de permeabilidade, que implica numa capacidade maior de infiltração no

segmento superior (Fm. Exu), com uma base formada por litologias mais argilosas, menos porosas, funcionando como um aquífero (Fm. Araripina) (BRASIL, 1996; COGERH, 2009).

Apesar dessa diferenciação, não ocorre uma separação distinta e espacialmente contínua entre essas duas unidades estratigráficas, e a maior evidência disso é que um grupo de exutórios naturais (fontes) ocorre na base da Formação Exu, enquanto outro grupo ocorre dentro da Formação Arajara, ou no seu contato com a Formação Santana com cotas variando entre 650 m e 750m. Por outro lado, não existem poços profundos no topo da chapada (BRASIL, 1996, p. 41).

Contudo, frisa-se a partir da classificação geológica de Píneo *et al.* (2020), que este aquífero seja composto apenas pela Fm. Exu, estimando-se que nesta haja uma variação faciológica, não sendo assim duas Fm. sedimentares, mas somente uma (*vide* Quadro 2).

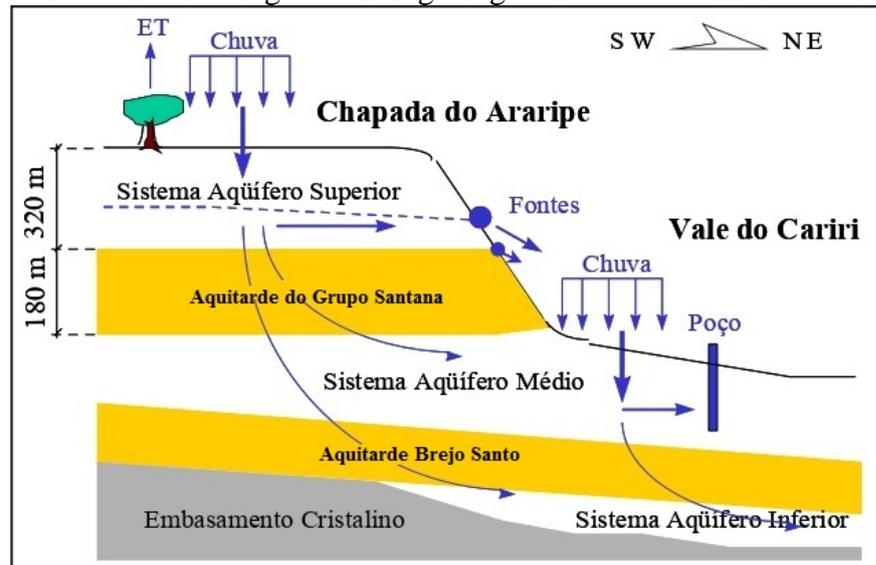
A recarga desse aquífero superior se dá de forma direta, através da precipitação no topo da chapada do Araripe, onde grande parcela da água que cai sobre a chapada é interceptada pela vegetação que, em outro momento, é alvo da evapotranspiração. A outra parte das águas infiltra e percola sobre os espaços porosos da Fm. Exu, até ser impermeabilizada pelas rochas mais argilosas das litologias subjacentes, situando-se ali em estado de saturação (MENDONÇA, 2001).

O aquífero médio, por sua vez, é o que apresenta a maior potencialidade hídrica e permeabilidade elevada ( $10^{-8}$  a  $10^{-6}$  cm<sup>2</sup>). Ele ocorre na área central da bacia, em aproximadamente 536km<sup>2</sup>, condicionando o afloramento das nascentes situadas nos sedimentos aluvionares (VIANA, 2007). É o aquífero mais complexo dos três, devida à variedade litológica e suas fraturas tectônicas, que o faz apresentar uma dupla porosidade. Sua recarga se dá através das águas pluviais e dos rios influentes (BRASIL, 1996; MALATI *et al.*, 2019).

Já o aquífero inferior aparece na condição livre (freático) na sua parte superior, devido estar situado na Fm. Cariri. Contudo, à medida que se aproxima do contexto com o embasamento cristalino, o mesmo vem a apresentar aspectos de aquífero confinado. Apesar de ser o aquífero mais extenso, destaca-se por uma pequena área de afloramento, tendo sua recarga de forma direta pelas águas da chuva nas áreas onde aflora a Fm. Cariri. Por estar situado sobre o embasamento cristalino, também recebe parte das águas que são armazenadas em suas fraturas e fendas cristalinas (BRASIL, 1996; VIANA, 2007; MALATI *et al.*, 2019).

Observa-se assim, que a precipitação condicionada pela geologia da/na região são aspectos que possibilitam a alimentação desses aquíferos. Essas características marcam uma importante etapa do ciclo hidrológico regional, que resulta na origem das nascentes (**Figura 2**), além da alimentação dos canais de drenagem, tornando boa parte do território da chapada do Araripe e do Vale do Cariri um ambiente mais úmido do que seu entorno regional semiárido.

**Figura 2** – Ciclo hidrológico e hidrogeológico na bacia sedimentar do Araripe



Fonte: Adaptado de Mendonça (2001).

Além dos aquíferos, também há a presença de dois aquíptardes. Enquanto características, o aquíptarde formado pelas rochas do grupo Santana se constitui como a separação entre os aquíferos superior e médio. Entretanto, devidas as suas zonas de fraturas, o mesmo possibilita a transferência das águas entre estas camadas. Da mesma forma ocorre com o aquíptarde Brejo Santo, situado sobre a formação basal da bacia (MALATI *et al.*, 2019). Rocha (2013) ainda complementa que é muito comum que aquíptardes não apresentem índice de água tão denso quanto os aquíferos, sendo ainda quase incapazes de fornecê-las para uso social.

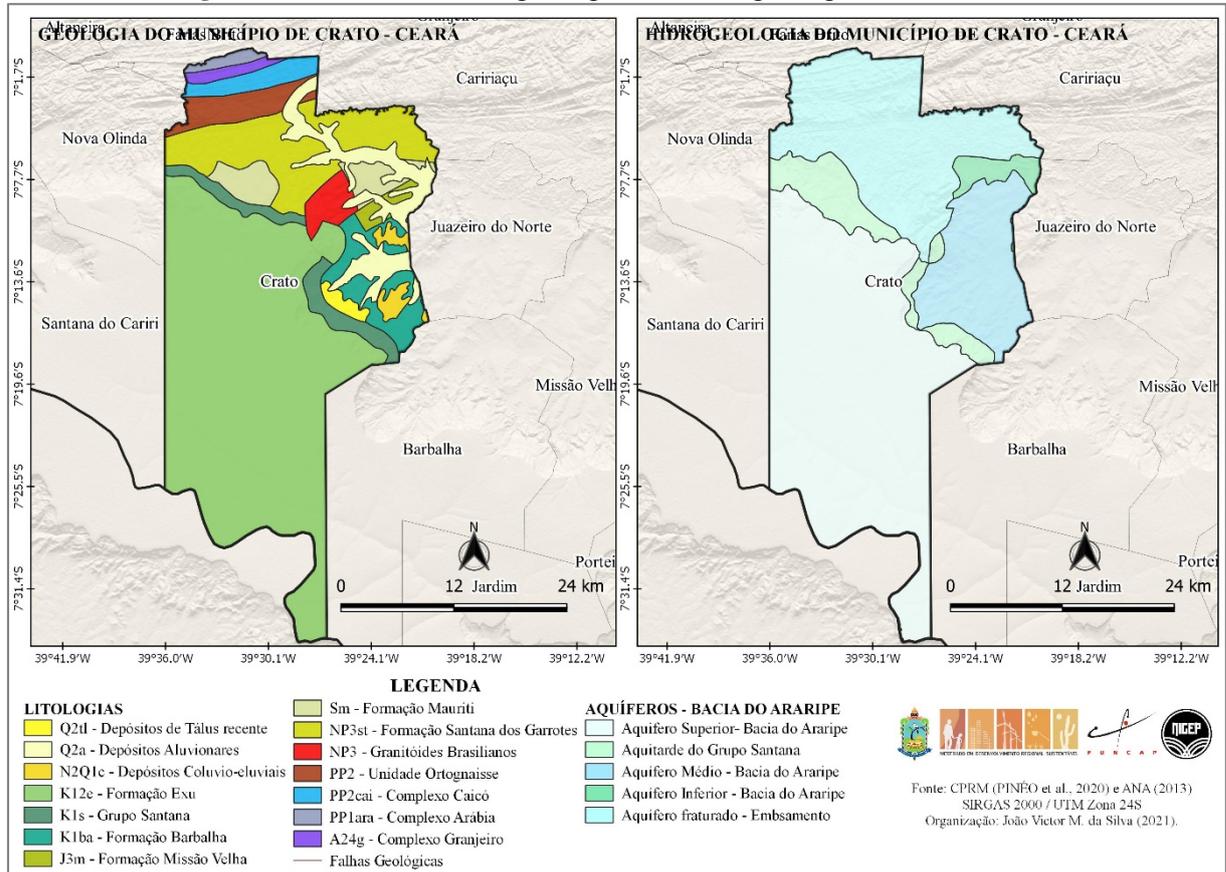
Dentre os municípios localizados no vale do Cariri, no Crato, a sua heterogeneidade geológica regional possibilita a formação de um complexo sistema aquífero. Em seu território, nas encostas da chapada do Araripe, afloram as rochas do Grupo Santana e nela situa-se o mais importante sistema aquífero, o aquífero médio, sobreposto pelo aquífero superior. Já nos terrenos onde há a presença de rochas do embasamento pré-cambriano (norte de Crato), as águas subterrâneas situam-se em suas falhas do aquífero fraturado (**Figura 3**).

Estes aspectos, além de mostrarem uma importante inter-relação hidrogeológica, confirmando a porosidade, permeabilidade e possibilidade de infiltração das rochas sedimentares da bacia, apontam elementos que, em linhas gerais, podem ser considerados como fatores que justificam a marcante existência de nascentes no território de Crato, nas encostas da chapada, caracterizando-se, em um primeiro momento, como nascentes de encosta.

Os contatos litológicos das formações da bacia do Araripe, impulsionados, sobretudo, pelo processo de infiltração iniciado nas formações superiores, condiciona um recuo erosivo que possibilita a existência de uma escarpa abrupta na chapada e uma linha de nascentes d'água. No setor onde localiza-se o vale do Cariri (e o Crato), esses afloramentos d'água

impulsionam a ação da rede de drenagem dentrítica (SANTOS; NEUMMAN; CORRÊA, 2008), que mantém suas de drenagem nos municípios ali situados.

**Figura 3 – Características geológicas e hidrogeológicas de Crato/CE**



**Elaboração:** João Victor M. da Silva (2021). **Fonte:** PÍNEO *et al.* (2020); ANA (2013).

Tais canais de drenagem que surgem devida à exfiltração direta das águas das nascentes e das áreas úmidas da chapada do Araripe, além de proporcionar a incisão no vale, mantém, mesmo com as percas d'água nos períodos de seca (na maior parte do ano), a umidade do solo e a presença desse elemento na maioria dos rios e riachos da região, além de estabelecer uma importante conexão sistêmica entre o ambiente subterrâneo e o superficial (LIMA, 2015). Entre eles, destacam-se o rio Batateiras, o rio Granjeiro e o Saco Lobo que, em conjunto com as águas subterrâneas, proporcionaram áreas úmidas no município, sendo importantes elementos no contexto geoambiental, histórico e cultural cratense.

### 3.2 Da Missão do Miranda à Região Metropolitana do Cariri: as águas das nascentes na formação territorial da cidade do Crato

A região do Cariri cearense, de maneira geral, apresenta características naturais que destacam a região como uma área de exceção à maior parte do sertão nordestino. Segundo

Pinheiro (1950), a população que nasce e se cria nessa região não costuma se julgar sertanejo e sim, caririense. Esse orgulho nativo se dá pelo fato de neste local haver terras férteis, úmidas, com muita água corrente, sendo uma faixa no terreno sertanejo com fontes que nunca secam, algo que não se presencia tão fortemente no sertão semiárido brasileiro (PINHEIRO, 1950).

Não fica satisfeito o caririense quando alguém o chama de sertanejo, o seu Cariri de sertão. Não toma a palavra sertão em seu sentido mais amplo na acepção de zona do interior, afastada da faixa litorânea. O Cariri, do Ceará é uma espécie de zona da mata pernambucana ou dos brejos da Paraíba. É o verdadeiro oásis cearense como muitos o denominam. É uma ilha verdejante cercada da zona sertaneja criadora (FIGUEIREDO FILHO, 1958, p. 51).

O processo de povoamento e ocupação dessa região se deu, sobretudo, pelos povos indígenas que tinham suas comunidades situadas ao longo da extensão do vale úmido do Cariri e nas áreas adjacentes. As terras férteis e o microclima úmido favoreciam o plantio. Foi a presença das nascentes perenes de água da serra do Araripe, um fator que impulsionou o fenômeno ocupacional (ABREU, 2017).

Segundo Queiroz (2013), o povoamento aconteceu pela presença dos indígenas Cariús, entretanto, a partir do século XVII, passou a despertar os olhos dos “colonizadores” e viajantes que por ali passavam. Os recursos naturais do Cariri atraíam o interesse destes e fez com que, em meados da década de 1740 houvesse o processo de ocupação e exploração desse território liderado pelas missões religiosas. Nesse contexto, o Cariri cearense começou a ser explorado a partir do aldeamento das tribos indígenas logo na primeira metade do século XVIII, organizado por frades capuchinhos que chegaram na região muito antes dos fazendeiros com seus rebanhos de gado. Nesse período, a área de assentamento desses foram os territórios onde hoje se encontram os municípios de Missão Velha e Crato (QUEIROZ, 2013).

A mandioca foi a cultura que impulsionou o plantio na região, mais tarde, substituída pelas plantações de cana-de-açúcar trazidas do litoral no período colonial, cujo cultivo subsidiou a economia regional (FIGUEIREDO FILHO, 1958), só sendo possível dadas as condições hidrográficas e hidrológicas. Segundo Figueiredo Filho (1958), as canas que mais tiveram êxito foram aquelas cultivadas nos solos de massapês, nas áreas de brejo onde situavam-se planícies fluviais dos rios Batateira e Granjeiro, em Crato, Salgadinho, no Juazeiro do Norte e Salamanca, em Barbalha.

O rio Batateiras, seus afluentes e suas nascentes, também foram fundamentais na economia do século XX para as culturas de cana-de-açúcar, cujo cultivo ainda crescia, assim como a produção da rapadura e da cachaça, o que implicou na migração de agricultores para as áreas próximas das cabeceiras de drenagem, onde havia mais água para uso. Isso causava um *deficit* hídrico nos sítios à jusante, gerando conflitos por esse recurso. Isso levou o Poder Público,

em 1854, a promulgar a lei da partilha das águas, dividindo terrenos e as “telhas d’água” próximos às nascentes para uso na agricultura, sendo a primeira normativa legal da gestão hídrica na região (SILVA; LIMA, 2019).

Além das águas para a irrigação, parte destas também eram destinadas para a produção nos engenhos. Segundo Pinheiro (1950), além da rapadura, da cana também se derivava a aguardente, com sua produção, num primeiro momento, se dando a partir dos engenhos de pau puxados pelos bois que, mais tarde, entre os anos de 1840 e 1850, foram substituídos pelos engenhos de ferro, e a partir de 1957 surgem os engenhos d’água no Crato, localizados nos sítios Lameiro, Francisco Gomes, Jacó, Bocaina e São Gonçalo.

Da nascente do Batateira lhe provem água que o move, a qual corre em levadas e, depois, à cerca de trinta metros da casa do engenho, em bicas de pau d’arco e canos de ferro. (...) Ao chegar ao engenho, a água cai de uma altura de dois palmos sobre uma grande roda dentada, de uns seis palmos de diâmetro, construída de pequizeiro, com raios de pau d’arco e eixo de braúna, fazendo-o girar em torno de si (PINHEIRO, 1950, p. 56).

As águas das nascentes da chapada do Araripe foram fundamentais para a ocupação célere e intensa ao longo dos séculos XVIII e XIX na região, além de impulsionar a economia, favorecendo, ao que parece, os municípios localizados nas encostas da chapada do Araripe, como Crato, Missão Velha e Barbalha.

O Crato é o centro urbano mais antigo da região do Cariri, com origem diretamente ligada às missões religiosas. Em seu território, a Missão do Miranda, também intitulada de “Cariris Novos”, destaca-se como o seu primeiro aldeamento (PETRONE, 1955). Seu “nome se refere a um chefe Cariri, que por sua valentia e por sua coragem contra os colonizadores, tornou-se uma figura importante, sendo homenageado com seu nome para o aldeamento” (GIRÃO, 1985 *apud* ABREU, 2017, p. 29). Desde o início da sua formação territorial, apresentava um grande potencial hídrico (REIS JÚNIOR, 2011). Segundo Petrone (1955), sua condição territorial localizada no vale, desde o seu primeiro aglomerado até a sua emancipação como cidade, possibilitou seu crescimento nas margens do rio Granjeiro, afluente do Batateiras, caracterizando o Crato como um território situado dentro de uma bacia de drenagem dentrítica.

Devida à zona da mata açucareira pernambucana ser o principal eixo de produção agrícola da cana e um dos locais onde havia a exportação do produto para a Europa, o território do Ceará ficava destinado a ser o “curral” da capitania, onde guardava-se o gado de Pernambuco. Com o início do “ciclo do couro” (séculos XVIII - XIX), perceberam que na região havia terras com grande potencial hídrico e solos férteis para agricultura, o que influenciou fortemente o crescimento de Crato à categoria de vila (QUEIROZ, 2013).

Após a extinção da missão do Miranda, nas terras onde havia o aldeamento, permaneceram e resistiram os indígenas, os mestiços e uma parte de sertanejos que vinha seguindo os caminhos naturais do rio São Francisco e seus afluentes, indo se situar nas margens do rio Granjeiro, povoando suas planícies. Mais tarde, este povoamento foi elevado à categoria de distrito de Icó e, em 1764, com o desmembramento de Icó, o povoado foi elevado à Vila Real do Crato pela carta Régia de 21 de junho de 1764 (ABREU; COSTA, 2010).

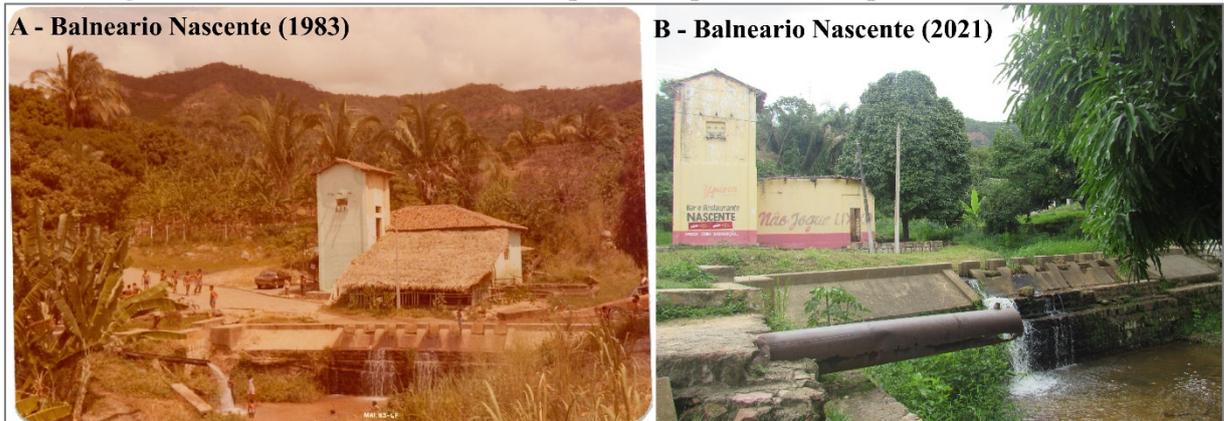
O Crato, evoluindo para a comunidade urbana da Vila Real do Crato, se torna um dos primeiros centros econômicos, culturais e históricos do Cariri, tendo seu núcleo composto por representantes portugueses e, sobretudo, dos grupos étnico-linguísticos dos indígenas Cariris. Com o seu desenvolvimento ao longo dos anos, o Crato projetava-se como um importante centro produtor da cana-de-açúcar e seus derivados, exercendo influências econômicas que ultrapassavam os limites do Ceará, passando por Pernambuco, Paraíba, Piauí e Rio Grande do Norte (ABREU; COSTA, 2010).

A capacidade hídrica regional “regou” a agroindústria da cana-de-açúcar, formando uma base econômica sólida, atraindo o interesse do povoamento ao longo dos anos. O algodão e algumas culturas de subsistência também tiveram suas influências neste processo, e além de Crato, Jardim foi outra vila localizada no Cariri que teve este destaque entre os séculos XVIII e XIX (OLIVEIRA, 2014).

Nos ditos populares da região, Pinheiro (1950) destaca que o Dr. Marcos Macedo (figura de grande relevância em Crato) costumava contar que era muito comum se ouvir os ruídos cavernosos da serra, estes oriundos das correntes d’água que saíam das nascentes. O som era chamado de “gemido da serra” e para ele, essas fontes jorravam água com tanta força que se mergulhassem o braço dentro de uma delas, o mesmo era imediatamente impelido devida à pressão hídrica (PINHEIRO, 1950).

Embora ainda pequena vila no interior do Ceará, o Crato detinha importância econômica e social, e no ano de 1853 torna-se uma cidade, conseguindo sua emancipação política (REIS JÚNIOR, 2011; QUEIROZ, 2013). Enquanto cidade, em dezembro de 1938, o Crato teve a criação da primeira hidrelétrica do Ceará, construída nas margens do rio Batateiras, no balneário Nascente, conhecida como Casa de Força da Nascente. Esta localizava-se no antigo sítio Lameiro e impulsionou o crescimento da cidade a partir da presença de energia elétrica produzida pela força hídrica local que modificou a dinâmica urbana uma vez que, além de beneficiar a população a partir das benesses da natureza, proporcionou prosperidade à região. Hoje, é um dos vestígios patrimoniais importantes na história do município (CAVALCANTE, 2019; SILVA, 2019) (**Figura 4**).

**Figura 4** – Balneário Nascente ao sopé da chapada do Araripe em Crato - Ceará



**Fonte:** **A** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1983) e **B** - João Victor M. da Silva (2021).

Assim, o Crato cresceu junto com seus vizinhos, Juazeiro do Norte e Barbalha, apresentando uma dinâmica urbana e econômica que fortificou as relações na região (QUEIROZ, 2013; ABREU, 2017). A proximidade histórica dos três municípios ao longo dos anos fez com que o Cariri sustentasse um ritmo expansivo, originando um processo comum entre algumas cidades, a conurbação, também chamada de “distância zero”, que significa a ausência de distância física e de relações urbanas, havendo assim, fluxos migratórios cotidianos e ofertas de serviços entre as sedes das cidades de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha (Crajobar) (CUNHA, 2012; RODRIGUES; ALVES; PINHEIRO, 2014).

Na atualidade, Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha compõem a RMCariri, com Caririaçu, Farias Brito, Jardim, Missão Velha, Nova Olinda e Santana do Cariri, criada a partir da lei complementar N° 78, de 29 de junho de 2009 (CEARÁ, 2009; ARAUJO *et al.*, 2021), pelo Governo do Estado, visando o desenvolvimento deste território, que, além de apresentar relevância histórica no estado (QUEIROZ, 2014), poderia contribuir na redução de desigualdades e possibilitar o desenvolvimento regional sustentável na região, sobretudo pela integração de seus elementos ambientais que reconfiguraram a história local.

O contexto metropolitano culminou em uma série de mudanças na região, implicando em uma série de investimentos públicos, sobretudo nos municípios centrais, dentre eles, o Crato (ABREU, 2017). A RMCariri está no centro das políticas públicas do Estado.

O processo urbano atual da cidade do Crato tem suas relações a partir de sua dinâmica na RMCariri, com eixos de expansão verificados na direção das encostas da chapada do Araripe, com o desenvolvimento dos bairros Lameiro e Granjeiro, sobretudo, onde hoje, não só se caracteriza pela oferta de moradia, mas de diversos serviços frutos da urbanização da cidade (ABREU, 2017) e de seus aspectos geoambientais.

A RMCariri não só apresenta influências na dinâmica e nas decisões do Estado, como também altera a realidade das cidades que a compõe. Este fato, na perspectiva de Moura-Fé *et al.* (2018), trouxe não só benefícios, mas uma série de problemas ambientais, colocando em risco a manutenção geoambiental e socioeconômica na região. Ainda segundo os autores, algumas medidas devem ser pensadas com a ideia de integralizar a região metropolitana em um viés sustentável, sobretudo voltado para a chapada do Araripe, os cursos d'água e as nascentes.

### **3.3 Características geoambientais das áreas de nascentes urbanas e periurbanas**

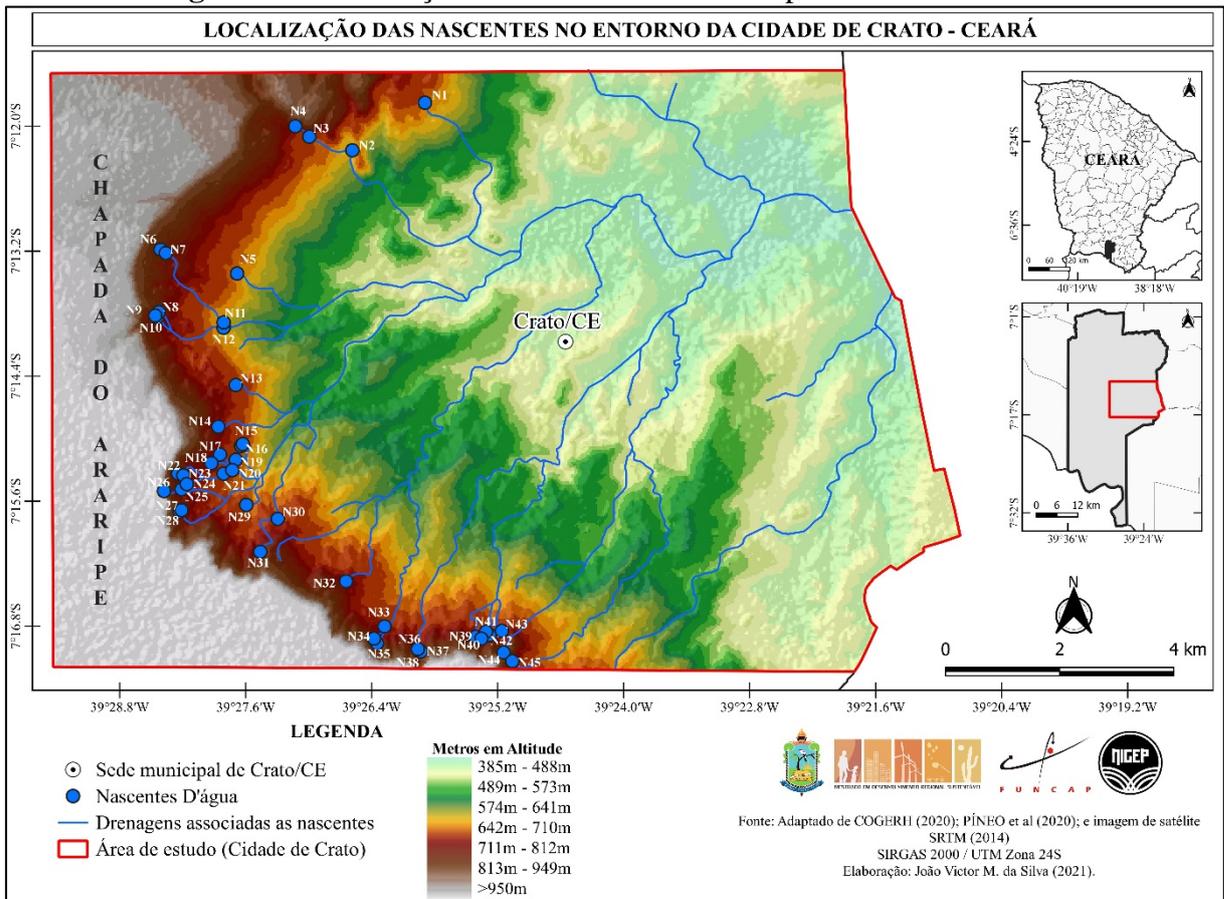
Em Crato, as nascentes se distribuem ao longo da escarpa da chapada do Araripe, em um total de 93 afloramentos d'água (COGERH, 2020), com 45 delas situadas na zona urbana e periurbana da cidade (**Figura 5**). Esse setor, intitulado “periurbano”, diz respeito às nascentes que afloram próximas à zona urbana, notadamente, às suas frentes de expansão, mas que ainda se mantêm em meio ao seu ambiente natural, não estando inseridas em áreas com ocupação humana. Enquanto as nascentes “urbanas” são aquelas onde a ocupação de suas áreas já está alterada pelas ações humanas provenientes do crescimento da cidade.

Em termos conceituais, a “cidade” e o “urbano”, são não só conceitos distintos, como abrangem espaços diferentes. A cidade tende a se localizar no centro do território municipal, sendo o local onde circundam as principais atividades econômicas, comerciais e de mercado, atividades sociais, onde o fluxo de relações é maior, onde se assentam a maior parte da população de um determinado município, sendo o centro da gestão do território. Diferente desta, o urbano surge a partir dos eixos de uma dada cidade, acelerando os processos e as relações e podendo expandir-se além das delimitações municipais, formando aglomerações urbanas (SOUZA, 2003).

Um município, a exemplo de Crato, está compartimentado em áreas urbanas onde situa-se a sua cidade e a sede municipal, áreas rurais, e seus distritos. Ainda segundo Souza (2003), entre o espaço da cidade e as zonas rurais, localizam-se as “faixas de transição”, para ele é nesta onde se observa a franja rural-urbana, sendo as áreas “periurbanas” (SOUZA, 2003). Assim, frisa-se que é nesse setor, que se situam as nascentes urbanas de Crato.

Nessa porção da encosta da chapada do Araripe, onde essas 45 nascentes estão localizadas, parte da escarpa sedimentar se apresenta como um recuo semicircular, um anfiteatro de 8 km de diâmetro (PELVAST; BÉTARD; MAGALHÃES, 2011), cuja formação está associada aos processos erosivos, sobretudo de origem fluvial das águas que exfiltram das nascentes, formando os canais de drenagem que banham a cidade de Crato à jusante.

**Figura 5** – Localização das nascentes urbanas e periurbanas de Crato.



**Elaboração:** João Victor M. da Silva (2021). **Fonte:** Adaptado da Base de dados da COGERH (2020); PÍNEO *et al.* (2020); e Imagem de satélite de elevação SRTM (2014).

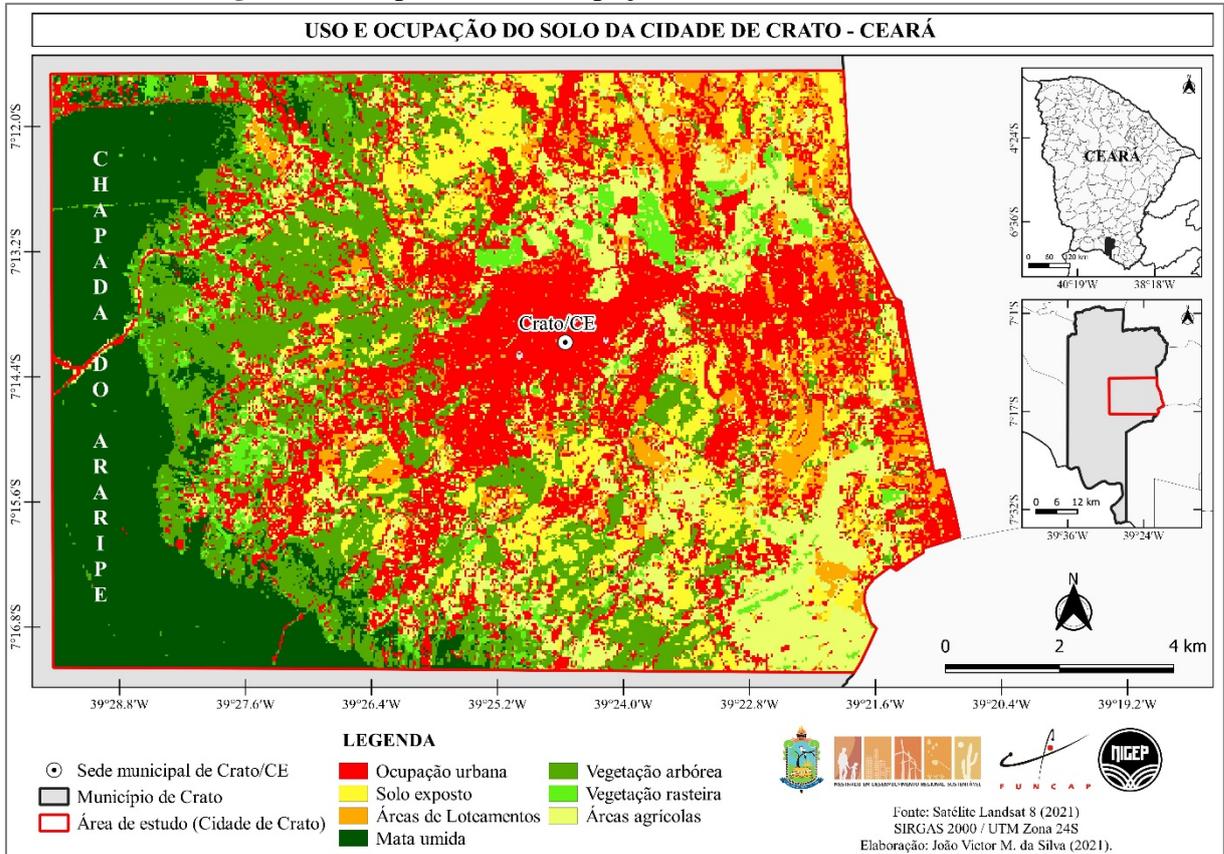
Essas nascentes apresentam uma variação altimétrica entre 600-900 metros de altitude, referente à disposição dos aquíferos entre as camadas sedimentares, permitindo com que a água exfiltre em locais diferenciados na encosta, com exceção dos setores do topo da chapada do Araripe (MENDONÇA, 2001), ou seja, são nascentes de encosta.

Além da formação dos aquíferos, a infiltração e exfiltração das águas são responsáveis pela alimentação e formação da biomassa (COELHO NETO, 2021). Na chapada do Araripe, as nascentes podem ser consideradas como elementos importantes na formação das áreas úmidas da chapada, especificamente na formação da vegetação de mata úmida e vegetação arbórea, possível de se observar a partir dos tipos de ocupação do solo (**Figura 6**).

Ainda a partir do mapa da Figura 6, observa-se que a expansão urbana de Crato vem se dando no sentido do centro da cidade para as áreas periféricas, em direção às encostas da chapada do Araripe. A ocupação do solo nessas encostas indica a ampliação de áreas de loteamentos, arruamentos, construções de casas, alguns espaços onde pontualmente situam-se áreas destinadas à agricultura e áreas recreativas como clubes. Contudo, é necessário frisar que as áreas de encostas são espaços que devem ser protegidos, de acordo com o Código Florestal

Brasileiro (BRASIL, 2012), notadamente as encostas ou partes destas que apresentam declividade em torno ou acima de 45°.

**Figura 6** – Mapa de uso e ocupação do solo da cidade de Crato



**Elaboração:** João Victor M. da Silva (2021). **Fonte:** Imagem de satélite *Landsat 8* (2021).

O crescimento da cidade de Crato vem se desenvolvendo e expandindo a partir das influências que as águas das nascentes e cursos d'água exercem sobre a dinâmica urbana cratense. A partir do cruzamento dos dados identificados nas figuras 5 e 6, observa-se que o crescimento vem se dando justamente em direção às áreas onde essas nascentes estão situadas, em outras palavras, onde os rios nascem.

O crescimento da cidade na direção da encosta da chapada não se dá pelo fato de o município não possuir espaço para expansão da sua sede, mas por fatores geoambientais, micro e hidroclimáticas dessas áreas, que ampliam a condição de exceção nos bairros com topografias mais elevadas, próximos à chapada. Os bairros Pimenta, Sossego, Santa Luzia, Lameiro, Parque Granjeiro e Granjeiro são exemplos de localidades onde há, além da relativa/intensa presença do espaço urbanizado, casas e áreas de lazer construídas buscando topografias que possibilitam microclima ameno e áreas verdes (ABREU, 2017; ARAUJO *et al.*, 2021).

Do ponto de vista dos impactos ambientais aos mananciais d'água subterrânea, o que envolve diretamente as nascentes e áreas de cabeceiras em Crato, essa crescente ocupação do solo, em conjunto ao desmatamento causado nas suas encostas, a perfuração indiscriminada de poços, a falta de saneamento básico fruto da urbanização, industrialização e agropecuária, vem contribuindo para a degradação hídrica superficial e subterrânea e a redução das fontes naturais, a partir da diminuição de sua vazão (GOMES; COSTA; MESQUITA, 2007).

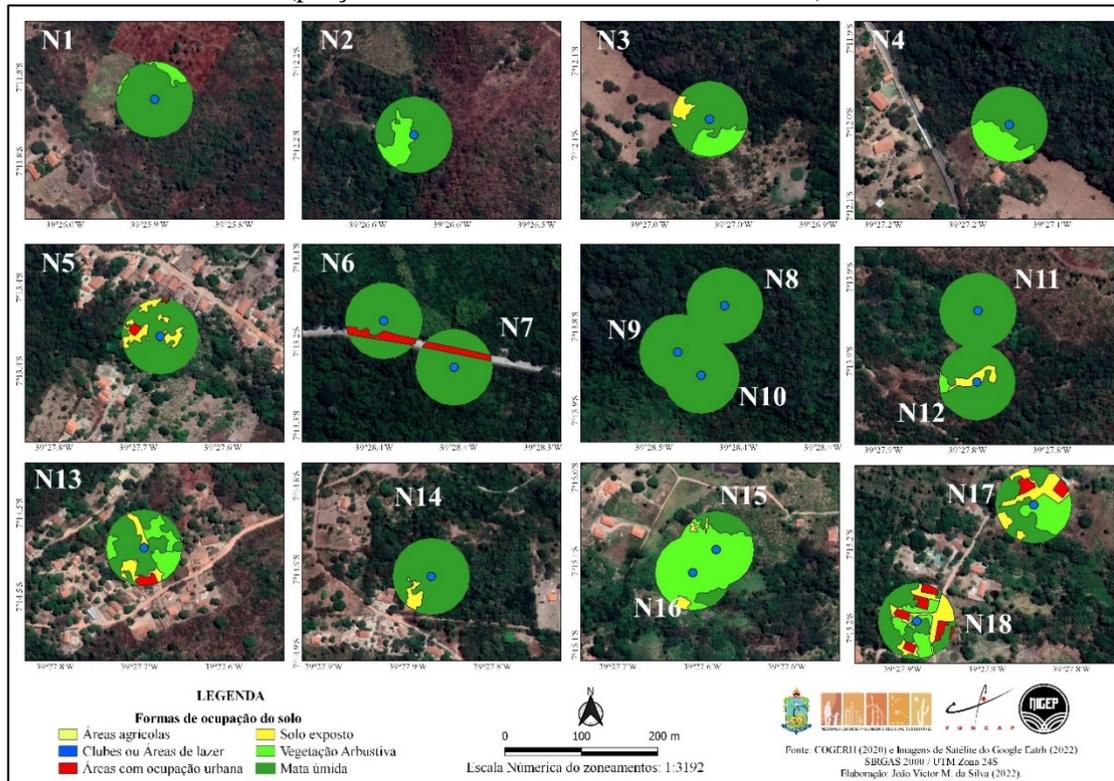
Aliás, as alterações no nível de vazão das nascentes são um dos principais impactos resultantes das intervenções urbanas nas áreas de nascentes, tanto em áreas de recarga como ao seu entorno. Em casos extremos, a redução da quantidade de águas pode fazê-las desaparecer ou se transformar em nascentes temporárias (FELIPPE; MAGALHÃES JR., 2012).

Quanto aos impactos ambientais nas áreas de nascentes, quando se trata da identificação do quanto a urbanização das cidades vem degradando-as, observa-se que, no Brasil, essas Áreas de Preservação Permanentes (APPs) são as mais vulneráveis e ameaçadas, sobretudo pela ocupação desregulada de suas áreas. Processos como arruamentos, loteamentos, supressão vegetal, poluição hídrica superficial e subterrânea são alguns dos resultados dessa falta de preservação ambiental (ALBUQUERQUE; PINHEIRO, 2019).

Em Crato, os problemas referentes ao uso, às formas de gestão e distribuição das águas dessas fontes vêm a ser um fator preocupante para com estes mananciais (ALBUQUERQUE; PINHEIRO, 2019). Nas nascentes urbanas e periurbanas, esses problemas ambientais tendem a se ampliar, dado o contexto no qual a expansão da malha urbana segue crescendo. Dessa forma, observando o mapeamento realizado nas 45 nascentes, identificou-se que além da ocupação humana nas encostas, este também vem a afetar diretamente o raio de 50 metros de proteção legal das nascentes (**Figura 7 e 8**).

Dentre as nascentes urbanas e periurbanas N1 à N35, observou-se que, no que se refere às suas características naturais, todas elas apresentam ao seu entorno a presença de uma vegetação de matas úmidas ou próximas a estas. Isto indica que estão situadas em altitudes elevadas com umidade do ar mais intensa, permitindo a origem dessa fitofisiologia mais densa. Nas nascentes N15, N16 e N31, nota-se a falta dessa mata úmida ao seu redor, indicando formas de uso diretamente na nascente. Além disso, é possível também visualizar que no entorno do raio de 50 metros das nascentes, se comparado ao centro da cidade, há poucas casas e construções humanas.

**Figura 7 –** Tipologia do uso e ocupação ao entorno de nascentes na cidade de Crato (porção Noroeste – Norte da encosta oriental)



**Elaboração:** João Victor M. da Silva (2022).

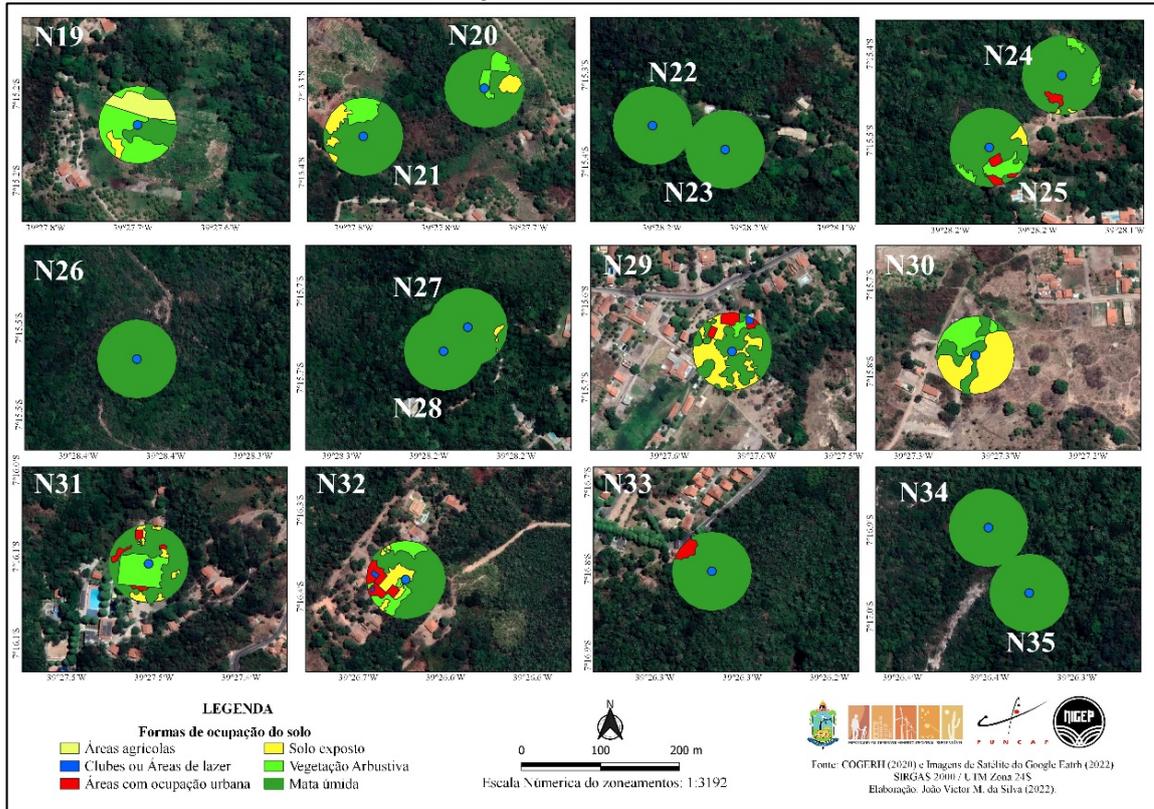
**Fonte:** Imagens de satélite do *Google Earth* (2022). Base de dados da COGERH (2020).

Por outro lado, esse fato aponta que, embora não estejam situadas nas proximidades da malha urbana, em vários casos, esta já se faz presente nos locais onde costuma-se encontrar as nascentes d'água de Crato. Essa informação pode subsidiar a ideia de que a expansão da cidade pode estar afetando a dinâmica geoambiental e hidrogeomorfológica das nascentes, onde já o seu raio de 50m está afetado por alterações humanas e sociais, como é o caso das nascentes: N5-N7, N13, N17, N18, N24, N25, N29-N33 (vide Figuras 7 e 8).

Nas nascentes situadas em áreas relativamente distantes aos centros urbanos, além de ser possível observar que seu raio protetivo de 50 metros se mantém predominantemente preservado pela vegetação nativa de mata úmida, também se identifica que essa característica se faz presente no entorno deste raio, apontando que estes afloramentos d'água ainda são nascentes sem alterações antrópicas ou sociais, como é o caso das nascentes N36 à N45 (**Figura 9**), posicionadas no segmento meridional da área de estudo.

Associando seu mapeamento com o seu setor de localização (*vide* figura 5), observa-se que estas se localizam entre os 700m e 800m de altitude. No próprio mapa acima, por imagem de satélite, são identificáveis algumas áreas de solo desnudo, como é o caso das nascentes N41 e N44. Estima-se que estas podem ser áreas da encosta com solo exposto.

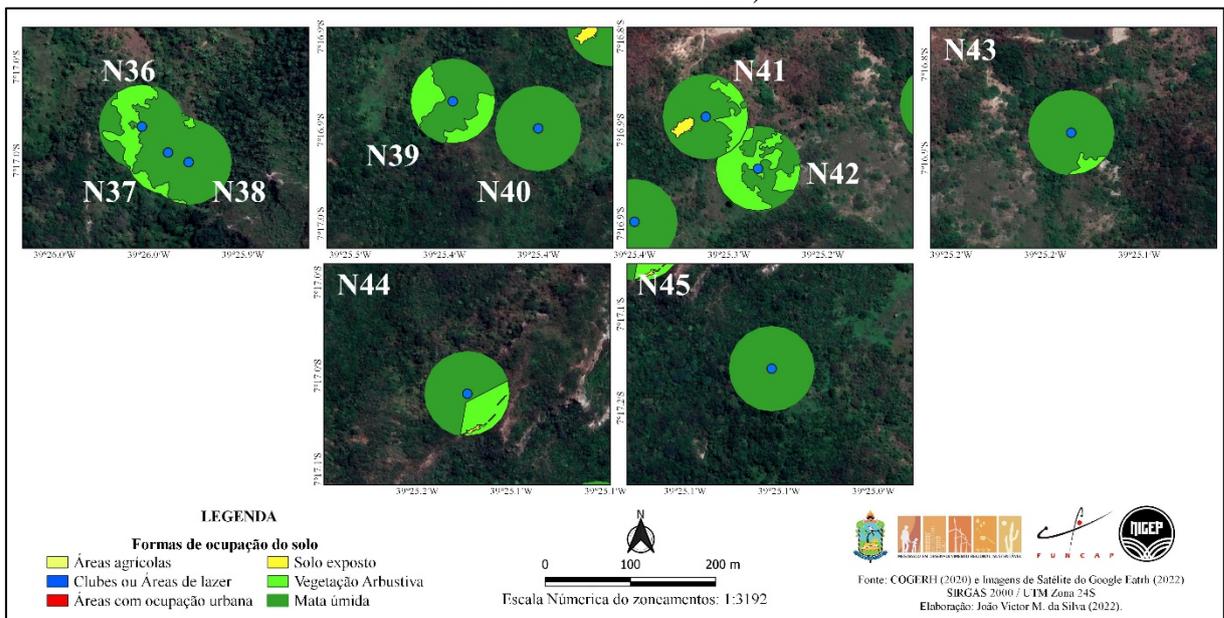
**Figura 8 – Tipologia do uso e ocupação ao entorno de nascentes na cidade de Crato (Porção Oeste – Sudoeste)**



**Elaboração:** João Victor M. da Silva (2021).

**Fonte:** Imagens de satélite do *Google Earth* (2022) Base de dados da COGERH (2020).

**Figura 9 – Tipologia do uso e ocupação ao entorno de nascentes na cidade de Crato (porção Sudeste Sudoeste - Sul)**



**Elaboração:** João Victor M. da Silva (2022).

**Fonte:** Imagens de satélite do *Google Earth* (2022) Base de dados da COGERH (2020).

Para Felipe (2013), esse contexto de altitude das nascentes em vários cenários do território brasileiro amplia a complexidade sistêmica desses ambientes. Estas, por surgirem em locais declivosos, com presença de afloramentos rochosos, vegetação úmida e densa, restringe o seu acesso em seu local de origem (FELIPPE, 2013). Contudo, em Crato, mesmo havendo as características supracitadas, é possível que algumas nascentes (exemplo: N36 à N45), por estarem localizadas em grandes altitudes, ainda não apresentem alterações quanto aos seus aspectos físicos, uma vez que sua localização e sua altimetria podem impedir a ocupação de seu entorno. Considerando isso, a altitude se torna um fator fundamental para a compreensão de sua dinâmica natural atual.

Com base ainda nesse conjunto de aspectos identificados, pode-se considerar que a integração dos aspectos hidrogeológicos e hidrogeomorfológicos das nascentes que surgem em Crato e demais municípios do Cariri, pode ser considerada como um dos principais elementos que faz com que esse território seja um ambiente de exceção dentro do semiárido cearense e nordestino, conjunto, obviamente às condições climáticas.

A partir da discussão realizada, também se obtém como resposta desse diagnóstico, que o município de Crato, além de estar situado no centro de uma grande rede hidrográfica, foi um município que cresceu e teve sua história marcada pela presença da água. Ainda nos dias atuais, é visível se observar que o contexto de ocupação e crescimento da cidade vem acontecendo apresentando as mesmas características de tempos pretéritos: ocupando áreas úmidas, com água nas proximidades que favoreçam o uso destas em atividades sociais. E mesmo as nascentes sendo importantes para a história cratense e suas relações geoambientais e hidrogeomorfológicas, elas ainda não possuem estudos aprofundados que abordem esses aspectos de maneira específica e detalhada.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A proposta deste trabalho baseou-se em fazer uma análise dos diversos elementos físico-naturais, sobretudo geológicos e hidrogeomorfológicos que proporcionam o surgimento das nascentes no território do Cariri e quais fatores sociais podiam estar vindo a causar alterações em suas áreas. A partir da junção e da análise dos dados bibliográficos que subsidiaram o diagnóstico geoambiental, conjunto ao mapeamento realizado, pode-se concluir que esse objetivo além de atingido, permitiu a construção de dados e informações primárias sobre as nascentes, vista a escassez de estudos sobre estas.

Os diagnósticos geoambientais são realizados a partir do entendimento integrado de elementos e processos do/no recorte espacial estudado. Como resultado, a aplicação dessa

metodologia às nascentes d'água de Crato (RMCariri – CE) possibilitou compreender a relação entre as águas, as litologias da bacia sedimentar do Araripe e a influência do relevo da chapada no surgimento destas. Além disso, identificou-se uma série de dados geohistóricos relacionados a estes mananciais hídricos e a história do Crato e de outros municípios da RMCariri (como Barbalha, Jardim e Missão Velha), que ainda não são enfatizados em trabalhos científicos. Em conjunto a isto, observou-se também que dadas as formas de ocupação do solo na cidade de Crato, de 90 nascentes, 45 estão na zona urbana e periurbana e, destas, 10 sofrem alterações desse processo que vem afetando as áreas de encosta da cidade de Crato.

Neste viés, por se tratarem de dados que até então são limitados na literatura científica referentes às nascentes cratenses, os resultados obtidos podem ser considerados como um estudo pioneiro sobre estes mananciais hídricos, apresentando informações que podem subsidiar o interesse pelo aprofundamento de estudos que destaquem tanto aspectos relacionados à história e à cultura da região do Cariri e à influência e às relações com as águas das nascentes, bem como estimular a conservação hidrogeomorfológica, algo que ainda não há de forma efetiva para com as nascentes de Crato – CE.

Mesmo o diagnóstico geoambiental, com base nos zoneamentos, sendo uma metodologia que pode ser aplicada em escalas de detalhes, como é o caso das informações supracitadas referentes às nascentes estudadas, observou-se que esta metodologia exige que se faça a junção de dados teóricos e cartográficos da área, conjunto às atividades de campo que possam favorecer a identificação de aspectos ainda não destacados no âmbito científico. Em Crato, o maior desafio deste diagnóstico baseou-se em encontrar dados científicos das nascentes. Contudo, a partir de sua aplicação, aponta-se ser possível de ser aplicado às nascentes, podendo (e devendo) ser adaptado, ampliado e ainda ser útil na aplicação em outros elementos do meio fluvial.

Em suma, conclui-se que o diagnóstico geoambiental, apoiado na análise ambiental integrada, é uma ferramenta útil na identificação das condições hidrogeomorfológicas das nascentes. A partir destes, pode-se analisar não somente a água como um elemento isolado, mas como um importante agente no contexto geohistórico e geoambiental local e regional, uma vez que, com a ajuda da pesquisa realizada, foi possível compreender melhor as relações históricas, socioeconômicas e físicas do município de Crato na região do Cariri cearense.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pela concessão da bolsa de mestrado de fevereiro de 2021 a março de 2022. À Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, Gerência da Bacia do Rio Salgado de Crato – Ceará, e a Vinícius F. Luna, da Universidade Federal do Pernambuco, por toda ajuda na realização dos campos.

## REFERÊNCIAS

ABREU, R. C. **A expansão urbana na cidade de Crato no contexto da Região Metropolitana do Cariri (RMCariri), no estado do Ceará** (Dissertação de mestrado) Universidade Estadual do Vale do Acaraú, 2017, p. 17 – 103.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Sistemas Aquíferos**. Portal do SNIRH - Catálogo de Metadados da ANA, 2013. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/3ec60e4f-85ea-4ba7-a90c-734b57594f90>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

ALBUQUERQUE, G. S.; PINHEIRO, M. V. A. Análise e mapeamento das áreas de preservação permanente das nascentes do município do Crato, Ceará. Fortaleza/CE: **Revista GeoUECE (Online)**, v. 08, n. 14, 2019, p. 266 - 275. ISSN 2317-028X.

ASSINE, M. L. Análise estratigráfica da bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, n. 03, 1992, p. 289-300.

ASSINE, M. L. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências da Petrobrás (Rio de Janeiro/RJ)**, v. 15, n. 2, p. 371-389, 2007.

ASSINE, M. L.; PERINOTTO, J. A. J.; CUSTÓDIO, M. A.; NEUMANN, V. H.; VAREJÃO, F. G.; MESCOLOTTI, P. C. Sequências Depositionais do Andar Alagoas da bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobrás (BGP)**, v. 22, n. 01, p. 03-28, 2014.

ARAUJO, R. S.; OLIVEIRA, C. W.; SOARES, B. F.; OLIVEIRA, J. C. A. Espaço urbano e impacto ambiental: reflexões a partir da análise do processo de expansão das cidades de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha – CE. **Caderno Prudentino de Geografia: Presidente Prudente**, n. 3, v. 1, 2021, p. 104 – 126.

BASTOS, F. H.; CORDEIRO, A. M. N.; SILVA, E. V.; Aspectos geoambientais e contribuições para estratégias e planejamento ambiental da serra de Baturité/CE. **Revista da Anpege**, v. 13. n. 21, p. 163-198, 2017.

BÉTARD, F.; PEULVAST, J. P.; MAGALHÃES, A. O.; CARVALHO NETA, M. L.; FREITAS, F. I. Araripe Basin: A major Geodiversity hotspot in Brazil. **Geoheritage**, DOI 10.1007/s12371-017-0232-5, 2017.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto avaliação hidrogeológica da bacia sedimentar do Araripe**. Recife: DNPM, 1996.

BRASIL, República Federativa. **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](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4297.htm)>. Acesso em: 23 out. 2021.

BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Balneário - Crato IBGE – Cidades História & Fotos**, 1983. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/crato/historico>>. Acesso em: 14 dez 2021.

CAMACHO, C. R. **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), 2016, p. 19 – 33.

CAVALCANTI, R. M. M. **Geossítio batateira – memórias em movimento: tramas territoriais e ambientais no cariri cearense (Tese)**. Niterói: Universidade Federal Fluminense. 2019, p. 84-105. Disponível em: <http://www.historia.uff.br/stricto/td/2177.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2021.

CEARÁ, Secretaria de Recursos Hídricos - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Planilha de informações gerais e específicas das fontes da Bacia do Araripe**, Ceará, 2020.

CEARÁ, Instituto de Pesquisa e Estratégias Econômicas do Ceará. **Ceará em Mapas Interativos – Hidrografia**, 2015. Disponível em: <[http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/interface/black\\_gm.phtml](http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/interface/black_gm.phtml)>. Acesso em: 09 dez. 2021.

CEARÁ, Assembleia Legislativa. **Caderno regional da sub-bacia do rio Salgado: conselho de altos estudos e assuntos estratégicos**. Fortaleza/CE: INESP, 2009. Disponível em: <<https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/09/Bacia-do-Salgado.pdf>>. Acesso em 20 abr. 2021.

CEARÁ. Casa Civil. **Lei Complementar nº 78, de 26 de junho de 2009**. Dispõe sobre a criação da Região Metropolitana do Cariri, cria o Conselho de desenvolvimento e Integração e o fundo de Desenvolvimento e integração da região Metropolitana do Cariri – FDMC, altera a composição de Microrregiões do Estado do Ceará e dá outras providências. Fortaleza: DOE publicado em 03 de julho de 2009. Série 3, Ano I, n. 121. Caderno ½.

CEARÁ, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Calendário de chuvas - chuva média anual por município, 2011 – 2020**. Disponível em: <<http://www.funceme.br/app-calendario/diario/municipios/maxima/2020/7>> . Acesso em 27 de jul 2021.

CEARÁ, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Ceará em Mapas Interativos – Hidrografia: Drenagens**. Ceará, 2015. Disponível em: <[http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/interface/black\\_gm.phtml](http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/interface/black_gm.phtml)>. Acesso em: 09 dez. 2021.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 15ª Ed., 2021, p. 93 – 145.

CUNHA, M. S. **Pontos de (re) visão e explorações historiográficas da abordagem regional**: exercício a partir do Cariri cearense (século XIX e XX). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2012, p. 12 – 93.

EARTHEXPLORER - U. S. GEOLOGICAL SURVEY. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 12 Nov. 2021 e 11 dez. 2021.

FAMBRINI, G. L.; SILVESTRE, D. S.; BARRETO-JUNIRO, A. M.; SILVA-FILHO, W. F. Estratigrafia da Bacia do Araripe: estado da arte, revisão crítica e resultados novos. São Paulo: **Revista do Instituto de Geociências – USP**, 2020, p. 169 – 212.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JR. O estudo hidrogeomorfológico de nascentes. In: MAGALHÃES JR, A. P.; BARROS, L. F. P. (Org.). **Hidrogeomorfologia**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 103-120, 2020.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JR. Impactos ambientais macroscópicos e qualidade das águas em nascentes de parques municipais em Belo Horizonte – MG. Belo Horizonte: **Geografias**, v. 8, n. 2, 2012, p. 08 – 23.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JR., A. P. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d’água e propostas de especialistas. Belo Horizonte: **Geografias**, v. 9, n. 1, p. 70-81, 2013.

FIGUEIREDO FILHO, J.; PINHEIRO, I. **Cidade do Crato**. Rio de Janeiro: Ministério da Educação e Cultura – Serviço de documentação, 1955.

FIGUEIREDO FILHO, J. **Engenhos de rapadura do Cariri**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura – Serviço de Informação Agrícola, 1958.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de Textos. 3 Ed. Ampliada e atualizada, 2011.

GIL, A. C. **Como elaborar um projeto de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 4 Ed., 2002.

GIRÃO, R. **Evolução histórica cearense**. Fortaleza: BNB/ETENE, 1985.

GUERRA, M. D. F. **Veredas da chapada do Araripe**: contexto ecogeográfico de subespaços de exceção no Semiárido do estado do Ceará, Brasil (Tese de doutorado em Geografia) Universidade Estadual do Ceará, 2020, p. 46 – 101.

GOMES, C. C.; COSTA, C. T.; MESQUITA, F. J. F. **Atuação da COGERH na gestão das fontes naturais de água na chapada do Araripe – Região do Cariri – CE**. São Paulo: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (Anais), 2007. <Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=19&PUBLICACAO=SIMP OSIOS>>. Acesso em: 03 nov. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística /Cidades. **Estimativa População**. Rio de Janeiro. IBGE, 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>> Acesso em 10 nov. 2021.

LIMA, F. J. **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, 2015, p. 17 – 45.

LIMA, F. J.; CESTARO, L. A.; ARAUJO, P. C. **Sistemas geoambientais do município de Crato/CE**. Fortaleza: Mercator, V. 9, n. 19, 2010, p. 129 – 142.

MELATI, M. D.; FLEISHMANN, A. S.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D.; ATHAYDE, G. B. Estimates of groundwater depletion under extreme drought in the Brazilian semi-arid region using GRACE satellite data: application for a small-scale aquifer. **Hidrogeology Journal**. Germany, v. 27, p. 2789 – 2802, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10040-019-02065-1>

MENDONÇA, L. A. R. **Recursos Hídricos da Chapada do Araripe** (tese de doutorado). Universidade Federal do Ceará – Fortaleza/CE, 2001, p. 8 – 26.

PEULVAST, G. P.; BÉTARD, F.; MAGALHÃES, A. O. 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**, n. 1, 2011, p. 33 – 52.

PEULVAST, J-P.; BÉTARD, F. A History of basin inversion, scarp retreat and shallow denudation: the Araripe basin as a keystone for understanding long-term landscape evolution in NE Brazil. **Geomorphology**, n. 233, p. 20-40, 2015.

PETRONE, P. Crato, “capital” da região do Cariri. **Boletim Paulista de Geografia**: São Paulo, 1955, p. 31 – 55.

PINÉO, T. R. G. *et al.* **Mapa geológico e de recurso minerais do estado do Ceará**. Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Ceará – Brasil, 2020.

PINHEIRO, I. **O Cariri** – Seu descobrimento, povoamento, costumes. Fortaleza – Ceará, 1950, p. 8 – 63.

QUEIROZ, I. S. **A metrópole do Cariri**: institucionalização no âmbito estadual e a dinâmica urbano-regional na aglomeração do Crajubar (Tese de doutorado). Universidade Federal do Pernambuco. Pernambuco: Recife, 2013, p. 12 – 117.

QUEIROZ, I. S. Região Metropolitana do Cariri cearense, a metrópole fora do eixo. Fortaleza/CE: **Mercator**, v. 13, n. 3, 2014, p. 93 – 104.

ROCHA, G. A. Águas subterrâneas. In: TELLES, D. D. (org.). **Ciclo ambiental da água**. São Paulo: Blucher, p. 120 - 142, 2013.

RODRIGUES, A. S.; ALVES, C. L. B.; PINHEIRO, V. F. Reflexões sobre uma trama metropolitana no contexto da urbanização da região do Cariri. **Contestado: DRd – Desenvolvimento Regional em debate**, v. 4, n. 2, p. 204-231, 2014.

SANTOS, C. A.; NEUMANN, V. H.; CORRÊA, A. C. B. **Análise da Compartimentação geomorfológica da Sub-Bacia Leste do Araripe**. Belo Horizonte – MG. In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia SINAGEO e II Encontro Latino-americano de Geomorfologia (Anais), p. 1 – 12. 2008.

SILVA, J. F. A Formação histórico-econômico-territorial do Cariri no contexto ocupacional do semiárido. In: SEEMANN, J. *et al.* (Org.). **Geografias do Cariri Cearense**. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2015.

SILVESTRE, D. C.; FAMBRINI, G. L.; COSTA, I. C. Faciological Analysis, Depositional Systems and Sequence Stratigraphy of the Barbalha Formation (Upper Aptian), Araripe Basin: Core Wells Database. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 4, 2020, p. 34 – 47. DOI: <http://dx.doi.org/10.11137/2020>.

SILVA, D. P. **Análise geoambiental da sub – bacia hidrográfica do rio Batateiras no município de Crato – Ceará** (Dissertação de mestrado). Sobral: Universidade Estadual do Vale do Acaraú, 2019, p. 118 – 132. Disponível em: [http://www.uvanet.br/mag/documentos/dissertacao\\_cba30cbb5707332d83b1cab7ee0b7274.pdf](http://www.uvanet.br/mag/documentos/dissertacao_cba30cbb5707332d83b1cab7ee0b7274.pdf). Acesso em: 10 fev. 2021.

SILVA, D. P.; LIMA, E. C. Impactos ambientais no alto curso da sub-bacia hidrográfica do rio batateiras na região sul do estado do Ceará. Sobral/CE: **Casa da Geografia de Sobral**, V. 21, n. 2, p. 1091-1103, 2019.

SOUZA, M. J. N.; OLIVEIRA, V. P. V. N. Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do nordeste brasileiro. Fortaleza/CE: **Mercator**, v. 5, n. 9, p. 85-102, 2006.

SOUZA, M. J. L. **ABC do desenvolvimento urbano**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 23-47, 2003.

VIANA, N. O. **Vulnerabilidade e risco a poluição do sistema aquífero médio – entre Crato e Missão Velha, Bacia do Araripe, Ceará** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Ceará – Fortaleza/CE, 2007, p. 17 – 57.

VILAR, M. B. *et al.* **Caracterização de nascentes pertencentes à bacia hidrográfica do rio Turvo Limpo, MG**. Taubaté: Anais II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade, p. 181-188, 2009. Disponível em: <http://www.ipabhi.org/serhidro/anais/anais2009/doc/pdfs/p49.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

### 3 CONCLUSÕES

A análise ambiental integrada, uma metodologia criada nas geociências, e que, nos dias atuais, é muito utilizada também nas ciências ambientais, é uma ferramenta eficaz não só na compreensão e integração de informações referentes à complexidade existente entre “matéria, processos e funcionalidades” do meio natural, como também do âmbito socioeconômico.

No contexto da Hidrogeologia e Hidrogeomorfologia, sobretudo referente ao estudo direcionado às nascentes d’água, a análise ambiental integrada, além de contribuir para o suprimento de pesquisas sobre estes mananciais (algo ainda escasso na atualidade), fomenta o entendimento da dinâmica desses afloramentos e das alterações que estes podem estar sofrendo pelos sistemas socioeconômicos. Afirma-se isso mediante as discussões teóricas realizadas a partir do artigo 01, uma vez que se observou que existem adaptações dessa metodologia de pesquisa visando atingir diversas escalas de análises, desde grandes sistemas ambientais até subsistemas, neste caso envolvendo diretamente as nascentes.

Identificou-se ainda que as adaptações da análise ambiental são discutidas em leis, decretos federais e até mesmo sendo citada indiretamente no Plano Diretor da cidade de Crato. Ademais, quando se buscam as nascentes no âmbito dessas discussões, ainda se tem uma escassez de informações. Por outro lado, observa-se que a partir dos diagnósticos e zoneamentos geoambientais, essa aplicabilidade com foco nas nascentes pode ser possível.

Em Crato, o estudo das nascentes ainda é algo quase que inexistente, sobretudo quando se trata da observação dos impactos ambientais associados. Nesta perspectiva, a partir dos resultados e discussões do artigo 01, afirma-se que a proposta de aplicação da análise ambiental integrada de forma adaptada surge como algo pioneiro na hidrogeomorfologia local e regional, podendo contribuir no subsídio ao uso sustentável dessas fontes.

A partir do debate sobre as nascentes em Crato (RMCariri – CE), notou-se que o diagnóstico (geo)ambiental só pode ser construído a partir de um estudo teórico sólido sobre a área de estudo. Essa afirmação é alicerçada com base no que se pode identificar a partir da análise hidrogeológica, hidrogeomorfológica e geohistórica das nascentes de Crato. Este estudo foi embasado nas discussões de autores clássicos e atuais que abordavam a temática na região, e, sem suas considerações, não seria possível interpretar sua origem e seus processos, implicando no entendimento referente às formas de uso e ocupação do solo atuais.

A realização deste diagnóstico fomentou outra discussão importante acerca dessas nascentes, permitindo entender a complexidade sistêmica existentes entre os elementos e

processos bióticos e abióticos locais. A origem destas nas encostas da chapada do Araripe surge de uma interação geoambiental, o que torna as nascentes, em um primeiro momento, como respostas dessas relações e ao mesmo tempo um importante agente impulsionador dos seus subsistemas associados.

A partir dos dados geohistóricos sobre as nascentes, que foi uma etapa da pesquisa onde destacou-se informações sobre a influência das águas para a ocupação do Crato, notou-se que esse debate ainda se mantém na literatura científica de forma “solta”. Em outras palavras, significa dizer que o que se encontra sobre o assunto aponta somente as águas das nascentes como condicionante da economia local//regional por ter impulsionado o plantio da cana. Mesmo que isso seja algo que realça o contexto social do território, consideramos aqui que é necessário enfatizar que este recurso foi determinante na expansão não só econômica, mas de todo o contexto social da região, e que a história do Cariri não poderia existir da forma como existe sem a presença da água. Assim, pesquisas que destaquem essa relação físico-histórico-cultural devem ser mais aprofundadas.

Para se fazer uma associação com esse contexto histórico desse diagnóstico, os dados de geoprocessamento destacados no artigo 02 desta dissertação trouxeram informações cartográficas atuais que subsidiaram a discussão em torno da expansão urbana da cidade de Crato, em direção às áreas de encostas e suas nascentes. Os mapas de localização (onde se encontram grande parte das nascentes urbanas e periurbanas), bem como o mapeamento de uso e ocupação do solo, permitiram, junto ao escopo teórico do trabalho, compreender que os mesmos fatores que, em períodos pretéritos atuaram na ocupação das áreas de nascentes, continuam a ser os mesmos ainda nos dias atuais, sendo estes: os interesses por áreas úmidas com disponibilidade de água para as diversas atividades humanas.

Em contrapartida, ainda no debate do artigo 02, observou-se que esses interesses sociais na atualidade trazem alterações nos espaços onde as nascentes estão localizadas, tanto nas encostas da chapada, quanto em escalas mais locais (nos arredores das nascentes). Mesmo o Crato sendo o município que apresenta a maior quantidade de nascentes d’água do Cariri, 93 ao todo, 45 destas vêm a se situar nas proximidades ou dentro da malha urbana da cidade. Em atividades de campo, ainda se observou que destas, além do uso das águas pelas companhias de esgotos que atuam em Crato, algumas estão localizadas em áreas privadas, como clubes, chácaras ou residências de pessoas com aparente alto poder aquisitivo. Mesmo não sendo algo que afeta todas as nascentes, já sinaliza a partir dos dados deste manuscrito como os efeitos do crescimento da cidade (**APÊNDICE**).

Essas análises, conjuntamente ao mapeamento e às atividades de campo fomentaram a construção de um diagnóstico-base para ideias de outros estudos sobre as nascentes d'água de Crato, que podem e devem se expandir a municípios adjacentes a este. Contudo, agrupados a essas informações, muitos desafios surgem e alguns deles puderam ser evidenciados ao longo do desenvolvimento desta pesquisa. Um deles, destacado aqui como o que traçou os direcionamentos do trabalho, foi o contexto de pandemia da COVID-19, que se iniciou no Brasil especificamente em março de 2020, quando as ideias dessa pesquisa começaram a ser debatidas, (e que, ainda nos dias atuais de 2022, se faz presente). Este fator, implicou diretamente na busca por respostas quanto ao nível de conservação destas nascentes, uma vez que o contexto de quarentena limitou o fluxo e a acessibilidade em diversos locais, sendo necessário, assim, optar-se por novas formas de investigação de dados e informações sobre estas.

Outro desafio da pesquisa tratou-se do fato de parte das nascentes d'água serem elementos hídricos quase inacessíveis. Em Crato, dado a diferença altimétrica do seu território e considerando o local onde essas fontes afloram, chegar até algumas delas significa trilhar um percurso com declividade acentuada, mata muito úmida e fechada e a presença de muitos canais de drenagem, o que por um lado, sinaliza a preservação da nascente sendo bom para o seu ambiente *in situ*. Contudo, vale frisar que, em algumas delas, mesmo considerando tais aspectos, é visível a presença de formas de captação d'água; em outras, situadas na zona urbana ou periurbana, os problemas de acessibilidade se acentuam a partir das construções humanas, que as rodeiam em seu local de origem, cercando-as e transformando-as em território "privado".

Em suma, embora sejam considerados como desafios da pesquisa, são, por outro lado, fatores que podem estimular no desenvolvimento de novos estudos que subsidiem a sustentabilidade das nascentes. Entende-se que conservar estes mananciais hídricos é um passo imprescindível para o desenvolvimento regional sustentável, pois seus estudos permitem uma integração entre dados de diversas ciências. Assim, mesmo frisando que essa análise ambiental das nascentes de Crato/CE, baseada em suas condições hidrogeomorfológicas, históricas e geoambientais, foi realizada apenas em parte das nascentes cratenses, dado esse contexto, é ideal que seja investigada em todo território municipal, bem como se expanda para outros locais da região do Cariri.

## REFERÊNCIAS<sup>4</sup>

- ASSINE, M. L. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências da Petrobrás** (Rio de Janeiro/RJ), v. 15, n. 2, p. 371-389, 2007.
- ASSINE, M. L.; PERINOTTO, J. A. J.; CUSTÓDIO, M. A.; NEUMANN, V. H.; VAREJÃO, F. G.; MESCOLOTTI, P. C. Sequências Depositionais do Andar Alagoas da bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobrás (BGP)**, v. 22, n. 01, p. 03-28, 2014.
- BASTOS, F. H.; CORDEIRO, A. M. N.; SILVA, E. V.; Aspectos geoambientais e contribuições para estratégias e planejamento ambiental da serra de Baturité/CE. **Revista da Anpege**, v. 13, n. 21, 2017, p. 163 – 198.
- BASTOS, F. H.; CORDEIRO, A. M. N.; MACEDO, F. E.; AZVEDO, E. S. A Gestão ambiental nas paisagens da bacia do Araripe. **Revista franco-brasileira de Geografia**, n. 29, 1 -16, 2016
- BRAGA, R. A. P. As nascentes como fonte de abastecimento de Populações Difusas. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 4, n. 5, 2011, p. 974 – 985
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto avaliação hidrogeológica da bacia sedimentar do Araripe**. Recife: DNPM, 1996
- CEARÁ, Secretaria de Recursos Hídricos - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Planilha de informações gerais e específicas das fontes da Bacia do Araripe**, Ceará, 2020.
- CEARA, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Bacias hidrográficas do Ceará (Escala: 1.100.000)**. Fortaleza/CE: COGERH, 2019.
- CEARA, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Corpos d'água do Estado do Ceará (Escala: 1:100.000)**. Fortaleza/CE: COGERH, 2019. Disponível em: <[http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/ogc/index.php?corpos\\_d\\_agua](http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/ogc/index.php?corpos_d_agua)>. Acesso em: 20 dez. 2020.
- CHAGAS, D. B. **Litoestratigrafia da Bacia do Araripe: reavaliação e propostas para revisão** (dissertação). Rio Claro/SP: Universidade Estadual Paulista, 2006.
- CLAUDINO-SALES, V. C. Mega geomorfológica do nordeste setentrional brasileiro. **Recife: Revista de Geomorfologia**, v. 35, n. 4 (especial XII SINAGEO), p. 442-454, 2018.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geodiversidade do Estado do Ceará**. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/14692> Acesso em 18 mai. 2020. Fortaleza: CPRM, 2014.
- FEITOSA, L. C. M. **Adequação metodológica para avaliação do potencial de conservação de nascentes rurais** (tese). Recife: Universidade Federal de Pernambuco.

---

<sup>4</sup> Referências das obras utilizadas nos capítulos 1 – Apresentação e 2 – Caracterização geográfica do município de Crato.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JR., A. P. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d'água e propostas de especialistas. Belo Horizonte: **Geografias**, v. 9, n. 1, p. 70-81, 2013.

FELIPPE, M. F. **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, 2009.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da Mesorregião do Sul Cearense**. Fortaleza, 2012. 280p.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Postos pluviométricos**. Fortaleza/CE, 2022. Disponível em: <<http://www.funceme.br/>>. Acesso em: 03 jun. 2022.

GUERRA, M. D. F. **Veredas da chapada do Araripe**: contexto ecogeográfico de subespaços de exceção no Semiárido do estado do Ceará, Brasil (Tese de doutorado em Geografia) Universidade Estadual do Ceará, 2020, p. 46 – 101.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual Técnico de pedologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 3 ed., 2015.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades – Crato (História e fotos)**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/crato/panorama>>. Acesso em: 06 nov. 2021.

LEPESCH, I. F. **19 Lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

LIMA, F. J. **Proposta de zoneamento geoambiental do município de Crato/CE** (Dissertação de mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia (PPGEO – UFRN): Natal/RN, 2008.

LIMA, F. J.; CESTARO, L. A.; ARAUJO, P. C. Sistemas geoambientais do município de Crato/CE. Fortaleza: **Mercator**, V. 9, n. 19, 2010, p. 129 – 142.

MENDONÇA, L. A. R. **Recursos Hídricos da Chapada do Araripe** (tese de doutorado). Universidade Federal do Ceará – Fortaleza/CE, 2001, p. 8 – 26.

MONT'ALVERNE *et al.*, **Exutórios naturais do sistema Exu/Arajara na bacia do Araripe**. Recife: Departamento Nacional de Minas e Energia (DNPM), p. 520 – 528, 1995.

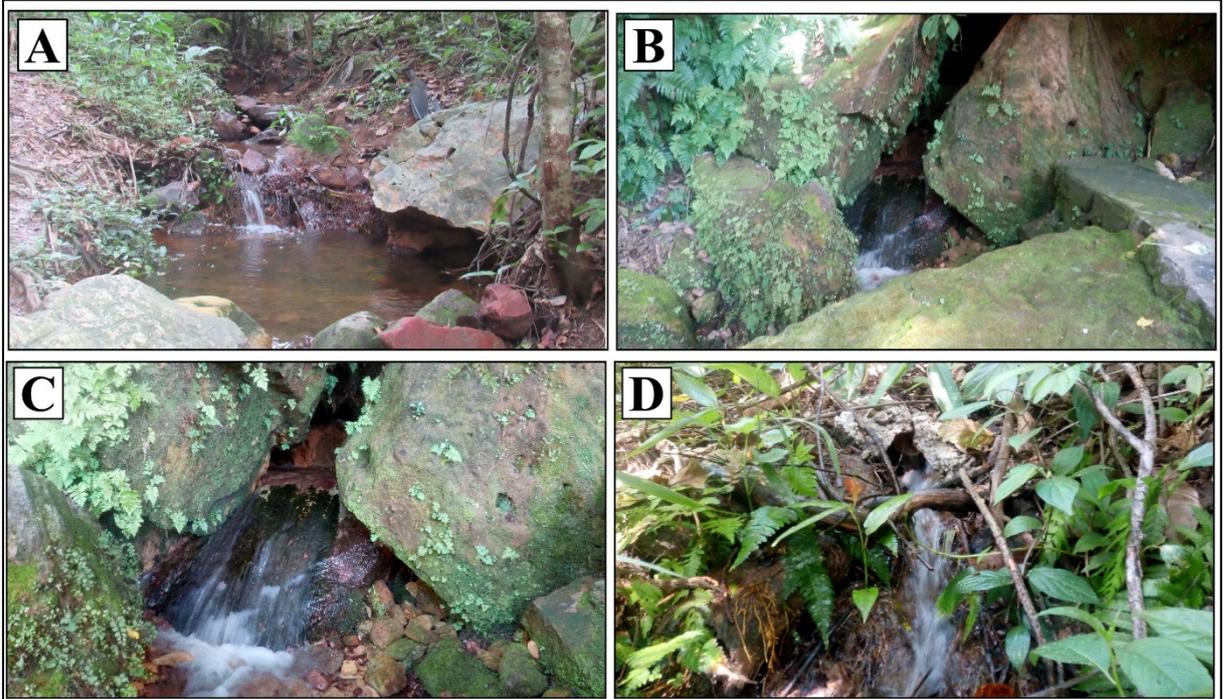
PINÉO, T. R. G. *et al.* **Mapa geológico e de recurso minerais do estado do Ceará**. Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Ceará – Brasil, 2020.

QUEIROZ, I. S. **A metrópole do Cariri**: institucionalização no âmbito estadual e a dinâmica urbano-regional na aglomeração do Crajubar (Tese de doutorado). Universidade Federal do Pernambuco. Pernambuco: Recife, 2013, p. 12 – 117.

- RIBEIRO, S. C.; LIMA, G. G.; MARÇARL, M. S. Relevo e dinâmica geomorfológica do Cariri Cearense. In: SEEMANN, J.; RIBEIRO, S. C.; SOARES, R. C. (Org.). **Geografias do Cariri Cearense**. 2015, p. 89 – 102.
- SANTOS, C. A.; NEUMANN, V. H.; CORRÊA, A. C. B. **Análise da Compartimentação geomorfológica da Sub-Bacia Leste do Araripe**. Belo Horizonte – MG. In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia SINAGEO e II Encontro Latino-americano de Geomorfologia (Anais), p. 1 – 12. 2008.
- SOARES, G. C. S. S. **Cadeia casual de degradação de nascentes na bacia hidrográfica do rio Gramame – Paraíba** (Dissertação). João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, p. 2-42, 2016
- SOUSA, B. I. *et al.*, Actividade de campo, paisagem e interdisciplinaridade, na Chapada do Araripe, semiárido brasileiro. In: JACINTO, R. (Org.) **As novas Geografias dos países de língua portuguesa: cooperação e desenvolvimento** Lisboa: Ancora Editora, v. 38, p. 51 – 75, 2020.
- SOUZA, M. J. N.; OLIVEIRA, V. P. V. N. Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do nordeste brasileiro. Fortaleza/CE: **Mercator**, v. 5, n. 9, p. 85-102, 2006.
- RIBEIRO, S. C. Caracterização geoambiental da sub-bacia do rio Salgado na mesorregião sul cearense – parte 1 – clima e arcabouço geológico. Rio Grande do Norte: **Geoconexões**, v. 1, 2017, p. 3 - 16
- VIANA, N. O. **Vulnerabilidade e risco a poluição do sistema aquífero médio** – entre Crato e Missão Velha, Bacia do Araripe, Ceará (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Ceará – Fortaleza/CE, 2007, p. 17 – 57.

## APÊNDICES

**Figura 1** – Áreas de nascentes identificadas no bairro Granjeiro – Crato/CE



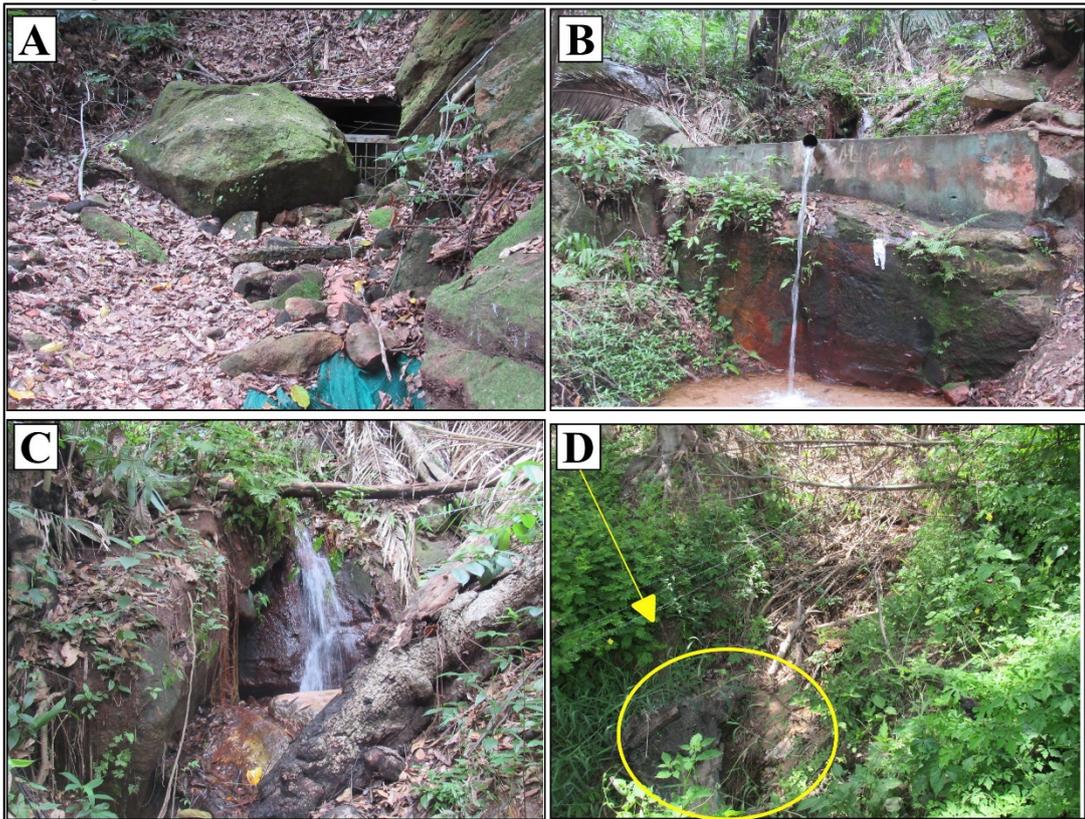
Fonte: João Victor M. da Silva (Nov/2021).

**Figura 2** – Formas de uso e captação d'água nas nascentes do Granjeiro



Fonte: João Victor M. da Silva (Mai/2021).

**Figura 3** – Áreas com nascentes identificadas no bairro Lameiro – Crato/CE



Fonte: João Victor M. da Silva (Nov/2021).

**Figura 4** – Formas de uso e captação d'água nas nascentes do Lameiro e Belmonte



Fonte: João Victor M. da Silva (Nov/2021).

**Figura 5** – Formas de uso e ocupação do solo próximo as áreas de nascentes – Crato/CE



Fonte: João Victor M. da Silva (Nov/2021).