

Impactos geológicos da exploração de recursos hídricos subterrâneos no carste de Lapão, Bahia, Brasil

Heula Cariele Souza Bernardo¹, Anderson de Souza Batista¹, Taiana Guimarães Araujo^{2*}

¹Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Xique-Xique, Bahia, Brasil.

²Universidade Estadual Santa Cruz (UESC), Ilhéus, Bahia, Brasil.

*Autora correspondente: Taiana Guimarães Araujo.

E-mail: tgaraujo@uesc.br



Revista Sertão Sustentável 2023.
Open access sob licença Creative Commons BY-NC-ND 4.0 International.

Recebido: 31/01/2024

Aceito: 30/03/2024

Resumo

A sobreexploração de aquíferos torna-os sujeitos a impactos negativos, que são ainda mais expressivos em ambientes com geologia do tipo cárstica, como o município de Lapão, na Bahia, Brasil, que em 2008 sofreu eventos geológicos caracterizados pelo surgimento de fissuras, subsidências e colapsos de solo. O objetivo desse trabalho foi compreender os mecanismos indutores das alterações geológicas associadas à exploração de recursos hídricos subterrâneos no carste de Lapão. Realizou-se uma revisão bibliográfica que possibilitou confrontar as teorias existentes e elucidar o tema proposto. Os estudos analisados apontaram para duas teorias principais, uma corroborada por diferentes autores e outra com divergências quanto às atividades antrópicas prioritariamente relacionadas aos eventos geológicos ocorridos no município. Constatou-se que a ocorrência desses eventos está, em realidade, associada a um conjunto de ações resultantes do crescente uso e ocupação desordenada do solo no município. A carência de estudos mais aprofundados sobre o tema foi também identificada.

Palavras-chave: Uso e ocupação do solo. Aquíferos cársticos. Ações antrópicas. Eventos geológicos.

Abstract

Overexploitation of aquifers subject them to negative impacts, especially in karst-type geology environments, such as in the municipality of Lapão, in Bahia, Brazil. In 2008, geological events occurred in this municipality, characterized by fissures, subsidence and soil collapses. This work's objective was to understand the inducing mechanisms of geological alterations linked to groundwater exploitation in the karst of Lapão. A bibliographical review was carried out, making it possible to confront the existing theories and to elucidate the proposed theme. The analyzed studies pointed to two main theories, one corroborated by different authors and another presenting divergences regarding the main anthropic activities related to the geological events occurred. In conclusion, the occurrence of these events is, in fact, related to a set of anthropic actions resulting from increasing use and from the disordered occupation of land in the municipality. The lack of more in-depth studies on the topic was also identified.

Keywords: Land use and occupation. Karst aquifers. Anthropic actions. Geological events.

Introdução

A água subterrânea é um bem natural essencial ao desenvolvimento de diversas atividades econômicas, além de ser fundamental para a existência e manutenção das funções de ambientes aquáticos, como rios, lagos, mangues e pântanos (Hirata *et al.*, 2021).

A utilização da água subterrânea é uma prática antiga e crucial para a humanidade. Contudo, esse recurso, que antes era relativamente protegido por sua posição no terreno, passa à condição de superexplorado com a evolução da sociedade a partir da era industrial, que trouxe acoplada a si a modernização dos equipamentos de captação de água, a expansão e a intensificação do uso e ocupação do solo e o aumento acentuado das intervenções antrópicas sobre os sistemas naturais (Boldrin; Cutrim, 2014).

A exploração desordenada dos recursos hídricos subterrâneos ao longo dos anos tem comprometido a qualidade desses recursos e as características dos seus aquíferos, tornando-os suscetíveis a alterações em suas estruturas geológicas, a exemplo de fissuras, subsidências e colapsos no

terreno, rebaixamento da camada superficial do solo, entre outros. Este cenário é ainda acentuado pelo desconhecimento sobre o funcionamento dos aquíferos e das ações necessárias para a sua proteção, o que os torna vulneráveis ao mau uso, ao risco de contaminação e/ou à superexploração (Hirata *et al.*, 2021).

A caracterização da vulnerabilidade dos aquíferos deve ser adaptada ao uso pretendido de suas águas e às condições locais. Para tanto, é necessário considerar diferentes tipos de impactos, atuais e potenciais, sobre esses reservatórios, identificando tanto as atividades existentes que são potencialmente poluidoras quanto as atividades extrativas de água, para que haja um melhor planejamento e uma gestão adequada e eficiente dessa água subterrânea (Manoel Filho, 2011). De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA, 2019), um aquífero é considerado sobreexplorado quando um efeito negativo persistente é percebido, como o rebaixamento contínuo dos níveis de água, deterioração progressiva da qualidade de suas águas, aumento no custo da extração e/ou danos ecológicos.

Os aquíferos do tipo cárstico são formados através de um processo natural de dissolução de rochas carbonáticas pelas águas pluviais que apresentam, naturalmente, uma acidez mais elevada, o que resulta na formação de cavernas subterrâneas (Sallun Filho *et al.*, 2009). Intervenções antrópicas nesses ambientes podem acelerar os processos de dissolução dessas rochas carbonáticas e causar um aumento da heterogeneidade no carste, diminuindo, assim, o poder de sustentação da geologia local e tornando o solo propício ao rebaixamento da sua superfície (Cabral *et al.*, 2006). Nesse sentido, esses tipos de aquíferos apresentam uma maior sensibilidade às intervenções antrópicas.

O município de Lapão, no centro-norte do estado da Bahia, é um exemplo evidente de alteração geológica em aquífero do tipo cárstico. Em 2008, o município sofreu um evento geológico caracterizado pela abertura de fissuras e subsidências no solo, o qual vem, desde então, sendo prioritariamente associado à exploração das águas subterrâneas na região. Esse evento desencadeou instabilidade no solo, comprometimento de infraestruturas urbanas, desvalorização imobiliária, pânico na população, entre outros impactos ambientais e socioeconômicos negativos (Maia *et al.*, 2010).

Nesse contexto, este trabalho buscou compreender quais ações antrópicas atuaram de forma mais direta na desestabilização da geologia cárstica do município de Lapão, Bahia, Brasil. Para tanto, definiram-se os seguintes objetivos específicos: i) Diagnosticar as atividades antrópicas vinculadas à exploração de recursos hídricos subterrâneos no carste de Lapão; ii) Relacionar essas atividades às alterações geológicas verificadas na região, com foco no surgimento de fissuras e subsidências em solos constituídos por rochas carbonáticas; iii) Analisar os impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes desses eventos geológicos; e iv) Discutir estratégias para a melhor convivência da população com a geologia local, com destaque para as suas potencialidades. Acredita-se que tais informações sejam fundamentais para a apropriação do processo, para a proposição de ações de mitigação e para a orientação da população local.

Material e Métodos

Área de estudo

O município de Lapão está localizado na região centro-norte do estado da Bahia, a uma distância de 495 km de Salvador, situa-se entre as coordenadas geográficas 11° 22' 58" Sul e 41° 49' 52" Oeste (Figura 1). Sua extensão territorial é de 642,88 km², possuindo uma população estimada em 27.323 habitantes e uma densidade demográfica de 42,38 hab/km² (IBGE, 2021). O município é composto por povoados e pelos seguintes distritos distantes da sede: Aguada Nova (9,45 km), Belo Campo (23,6 km), Tanquinho (6,7 km) e Lagedo do Pau D'Arco (18,6 km). Dos 27.323 habitantes, apenas 39,19% residem

na zona urbana, de modo que a população de Lapão é predominantemente rural, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF, 2018).

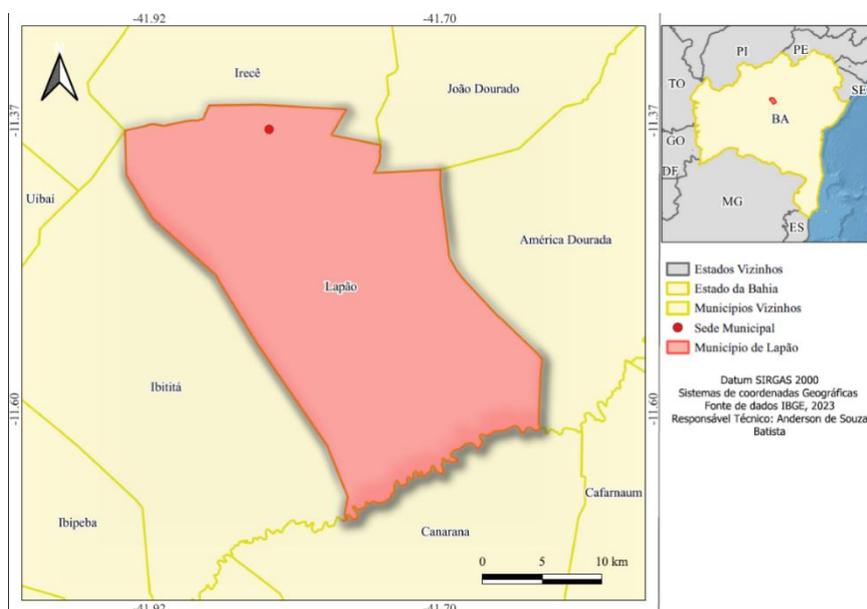


Figura 1- Localização do município de Lapão, Bahia.

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Clima e Hidrologia

O município de Lapão está inserido na microrregião de Irecê, que de acordo com a classificação climática de Köppen e Geinger tem clima classificado como BSh, caracterizado como semiárido quente, com temperatura média anual de 23°C, forte insolação e elevados índices de evaporação. O regime pluviométrico da região apresenta uma longa estação seca (maio a outubro), curtos períodos chuvosos (novembro a abril), e má distribuição da chuva no tempo e no espaço, com uma média anual de pluviosidade na faixa de 500 mm (Figura 2), a vegetação típica dessa área é a caatinga (Oliveira *et al.*, 2018; EMBRAPA, 2022).

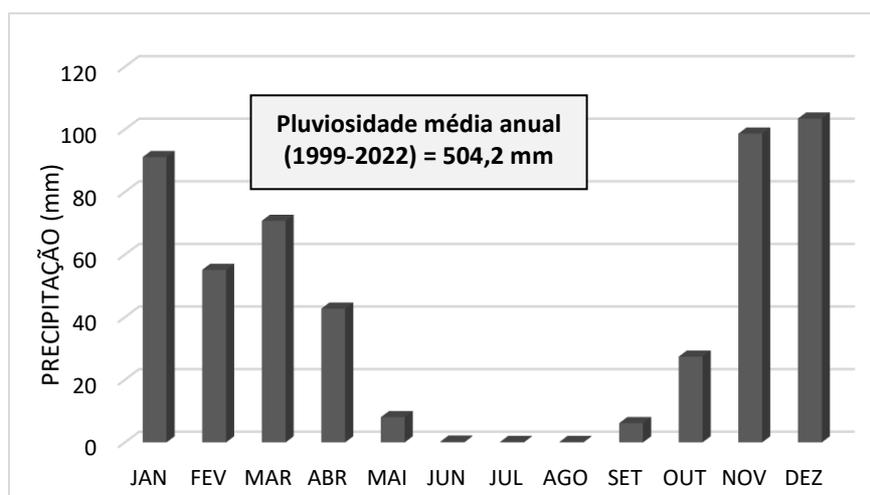


Figura 2- Pluviograma do município de Lapão, Bahia, entre os anos de 1999 e 2022.

Fonte: Elaborada pelos autores (2023). Dados: SEIA/INEMA (2023).

O município está localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Verde e Jacaré (Figura 3), que possui uma área de 33.000 km². O Rio Verde é um rio perene, enquanto o Rio Jacaré é intermitente, ambos são afluentes do Rio São Francisco (CBHSF, 2018).

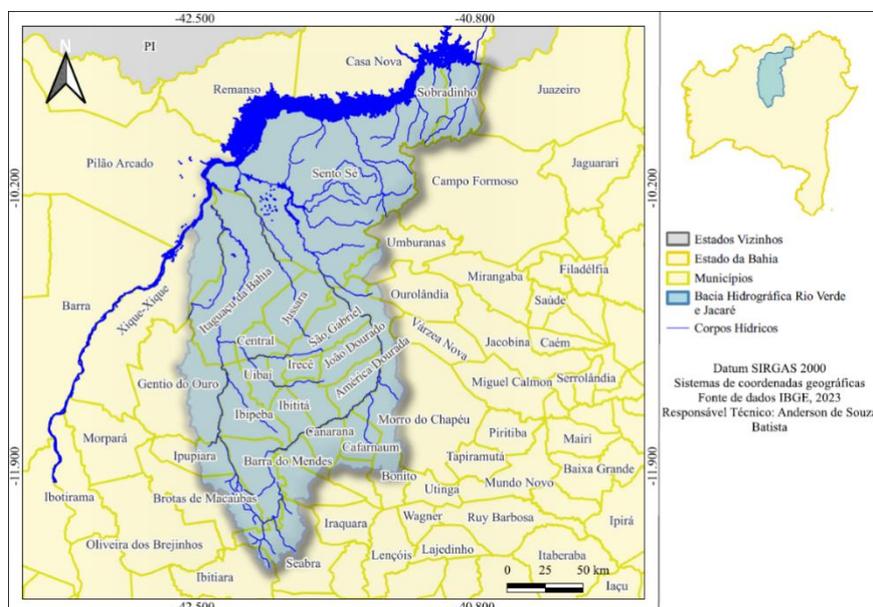


Figura 3- Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Verde e Jacaré.
Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Geologia e Relevô

De acordo com Maia *et al.* (2010), a região de Lapão “apresenta uma cobertura neoproterozóica constituída por rochas carbonáticas do Grupo Una, localizada no centro do cráton São Francisco”. O Plano Municipal de Saneamento Básico de Lapão (CBHSF, 2018) destaca que os aquíferos presentes na região são do tipo cárstico, caracterizados pelo rápido e turbulento movimento de suas águas, fato que não permite que haja um sentido definido desse curso d’água. O relevo plano do município favorece uma maior percolação da água no solo, sendo assim a principal via de abastecimento do aquífero local.

Essa conjuntura é ainda mais importante tendo em vista que a região é marcada pela irregularidade pluviométrica e por sua má distribuição no tempo e no espaço, além da baixa disponibilidade hídrica superficial. Esses fatores combinados contribuem para uma maior utilização e aumento da pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos (CBHSF, 2018).

A região apresenta uma geologia constituída por calcários, dolomitos e lamitos algais levemente ondulados, apresenta cambissolos, rendzinas, vertissolos, além de afloramento rochoso (Nunes, 2013). De acordo com Oliveira Filho (2015) o município está localizado na região denominada Chapada de Irecê, caracterizada pela presença de uma altimetria que varia entre 600 m e 800 m com declividades pouco acentuadas, além de apresentar uma topografia plana, levemente ondulada, com algumas colinas isoladas.

Levantamento de dados

O presente trabalho teve caráter quali-quantitativo e contou com a elaboração de mapas, gráfico e tabela originais, produzidos a partir de informações secundários depositadas em bases de dados geográficas. Além de confrontar explicações disponíveis na literatura a fim de averiguar quais fatores estão associados aos eventos geológicos ocorridos no município de Lapão, na região centro-norte da Bahia.

Os mapas foram produzidos por meio de dados obtidos no site do Mapbiomas, e processados no Software QGIS. Para o gráfico foram utilizadas informações coletadas no site do SEIA/INEMA (2023), sobre a pluviosidade média anual do município de Lapão, entre os anos de 1999 e 2022. E a confecção da tabela comparativa foi feita a partir de informações adquiridas no site do Mapbiomas sobre as diferentes classificações do uso e ocupação do solo do município de Lapão, Bahia, Brasil (Mapbiomas, 2020), as quais permitiram o cálculo da porcentagem de cobertura de cada classificação, dentro do território do município. As classificações encontradas foram: Floresta (formação savânica, formação florestal); Formação natural não florestal; Agropecuária (pastagem, mosaico de agricultura e pastagem); Área urbanizada (outras áreas não vegetadas, infraestrutura urbana) e; Corpo d'água. Os cálculos consideraram intervalos de 10 anos, entre 1985 e 2020, com o último intervalo de tempo, entre 2015 e 2020, considerando apenas cinco anos.

Para a realização da pesquisa de caráter exploratório-explicativo, optou-se por uma revisão específica da literatura como método de levantamento de dados. De acordo com Galvão (2011, p.5), o levantamento bibliográfico:

[...] é se potencializar intelectualmente com o conhecimento coletivo, para se ir além. É munir-se com condições cognitivas melhores, a fim de: evitar a duplicação de pesquisas, ou quando for de interesse, reaproveitar e replicar pesquisas em diferentes escalas e contextos; observar possíveis falhas nos estudos realizados; conhecer os recursos necessários para a construção de um estudo com características específicas; desenvolver estudos que cubram lacunas na literatura trazendo real contribuição para a área de conhecimento; propor temas, problemas, hipóteses e metodologias inovadoras de pesquisa; otimizar recursos disponíveis em prol da sociedade, do campo científico, das instituições e dos governos que subsidiam a ciência.

Diante disso, a fase inicial da pesquisa contou com a busca por trabalhos que aprofundam e/ou apresentam dissensos acerca do tema proposto, possibilitando, assim, uma ampla e rica discussão. A pesquisa bibliográfica foi realizada em repositórios de periódicos científicos como: SciELO, Google Acadêmico, sites de instituições de pesquisa (públicas, privadas e/ou do terceiro setor) e revistas online, os quais possibilitaram a seleção de artigos científicos, dissertações e teses, de cunho nacional.

A busca literária de propósito exploratório foi efetuada em duas escalas: uma mais ampla, voltada ao entendimento dos processos geológicos característicos de regiões com geologia carbonática, a qual contou com a utilização de diferentes combinações das seguintes palavras-chave: eventos geológicos; carste; rochas carbonáticas; águas subterrâneas; subsidência de solo; fissuras de terreno; exploração; lençol freático. E uma mais específica, por meio da qual foi possível acessar trabalhos mais direcionados à região de interesse. Para isso, utilizou-se combinações dos termos: Lapão, Bahia; uso e ocupação do solo; composição geológica; eventos geológicos; utilização de água subterrânea; bacia do médio São Francisco; sub-bacias dos rios Verde e Jacaré; sub-bacia do riacho o Juá.

Para atender às expectativas de cada objetivo específico, fez-se necessária uma busca em diferentes áreas da produção científica. Para os objetivos I e II, foi feito o levantamento de obras que relacionam atividades antrópicas a alterações nos recursos hídricos subterrâneos, além de trabalhos mais voltados à área da geologia; para o objetivo III, foram considerados trabalhos que contemplam discussões que relacionam ambiente e socioeconomia; e, para o objetivo IV, incluiu-se uma parte da literatura voltada à educação ambiental e a medidas de controle de ações antrópicas em áreas cársticas. O conjunto dessas obras auxiliou a compreensão dos mecanismos indutores das alterações geológicas observadas no município de Lapão, bem como a avaliação dos seus impactos ambientais e socioeconômicos mais marcantes.

A etapa seguinte correspondeu à filtragem dos trabalhos inicialmente levantados, com a seleção de obras que proporcionaram dados que efetivamente agregaram valor e informação a esta pesquisa.

Os critérios de inclusão/exclusão dos trabalhos científicos selecionados na fase inicial da pesquisa bibliográfica consideraram o seguinte:

- i) período de publicação;
- ii) relevância do trabalho para o tema proposto;
- iii) regionalidade;
- iv) similaridade com os eventos ocorridos na área de estudo;
- v) presença/ausência de estratégias de ação referentes à problemática identificada.

De um total de 46 trabalhos científicos levantados na primeira etapa, foram selecionados 19, que atenderam aos critérios acima mencionados e os quais se encontram sistematizados na Tabela 1, em função da escala de abordagem. Após a filtragem dos trabalhos, foi feito o fichamento das obras selecionadas.

Tabela 1- Síntese, por escala de abordagem, das obras selecionadas como fonte de dados da presente pesquisa.

(continua...)

Obras selecionadas	Gerais	Específicas
ANA (2018). Hidrogeologia dos ambientes cársticos da Bacia do Rio São Francisco para a gestão de recursos hídricos.		X
BRASIL (2009). Lei Nº 11.612, de 08 de outubro de 2009. Dispõe sobre a política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências.	X	
CBHSF (2018). Plano Municipal de Saneamento Básico de Lapão.		X
COUTO et al (2006). Sistemas de produção familiar no município de Lapão, Bahia.		X
CPRM (2013). Levantamento geofísico de eletrorresistividade para investigação do substrato calcário de áreas colapsadas e de novas áreas para expansão urbana da cidade de Lapão – Bahia.		X
FONSECA et al (2020). Conflitos pelo uso da água na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.		X
IBGE (2021). Cidades e estados- Lapão, BA.		X
MAIA et al (2010). Análise geológica e estrutural das fissuras e subsidências no carste de Lapão.		X
NOSSA et al (2011). Hidroquímica e índices de saturação dos minerais do sistema aquífero cárstico Salitre na região de Irecê-Lapão, Bahia, Brasil.		X
OLIVEIRA e CAMPOS (2019). Subsidência do solo devido à exploração de água subterrânea.	X	
OLIVEIRA FILHO e CUNHA (2013). Ação emergencial de setorização das áreas com riscos a subsidências em ambientes cársticos: Lapão, Bahia.		X
PAIVA (2015). Mudança do uso da terra e dinâmica de carbono orgânico do solo no platô de Irecê, Bahia.		X
ROCHA (2013). Impactos causados pelos tremores de terra no município de Lapão – Bahia.		X
ROCHA NETO (2021). Análise temporal do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica da microrregião de Irecê-BA.		X
SIAGAS(2022). Total de poços e fontes naturais cadastrados.		X
SOBRINHO (2012). Utilização de água subterrânea do aquífero carstico do município de Lapão/Bahia: análise realizada através dos dados do cadastro de usuários de recursos hídricos do estado da Bahia.		X
TEIXEIRA et al (2018). Educação ambiental em paisagem cárstica para o desenvolvimento do turismo sertanejo no semiárido cearense.	X	
TELES e MORAIS (2019). Gestão de áreas cársticas: uma proposta para a conservação ambiental.	X	

TRAVASSOS (2019). Princípios de carstologia e geomorfologia cárstica.	X	
VESTENA <i>et al</i> (2022). Considerações sobre gestão ambiental em áreas cársticas.	X	
VILLANUEVA <i>et al</i> (2015). Aplicação do método COP para avaliação da vulnerabilidade intrínseca à contaminação do aquífero cárstico Salitre, Irecê-BA, Brasil.		X
VILLAR e HIRATA (2022). Governança das águas subterrâneas e a construção de indicadores jurídicos para os estados brasileiros.	X	

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Resultados e Discussão

O evento geológico ocorrido em outubro de 2008 no município de Lapão, Bahia, Brasil, caracterizado pela abertura de fissuras, subsidências, e colapsos de solo e rochas (conforme imagens apresentadas em Maia *et al.*, 2010 e CPRM, 2023), teve seu início registrado na fazenda Sete Cascas, propagando-se em um intervalo de tempo de apenas 15 dias até a Fazenda Juá. Um mês após o surgimento das primeiras rachaduras, o evento atingiu a zona urbana do município, mais especificadamente na Praça da Fonte do Lapão, onde está localizada a dolina em que a cidade se desenvolveu no entorno e que dá origem ao nome da praça (Figura 4) (Sobrinho *et al.*, 2012).



Figura 4- Dolina localizada no centro do município de Lapão, Bahia.

Fonte: Câmara Municipal de Lapão (2014).

De acordo com Maia *et al.*, (2010), o evento provocou subsidências no solo que ocasionaram desníveis que mediam aproximadamente 15 cm de profundidade, e fissuras do terreno com 20 cm de largura acompanhando as margens do riacho do Juá, no sentido leste-oeste (Figura 5). No ano seguinte, foram reportadas novas rachaduras, dessa vez, no distrito de Tanquinho, localizado na zona rural, 6 km a oeste da cidade de Lapão (Sobrinho *et al.*, 2012).

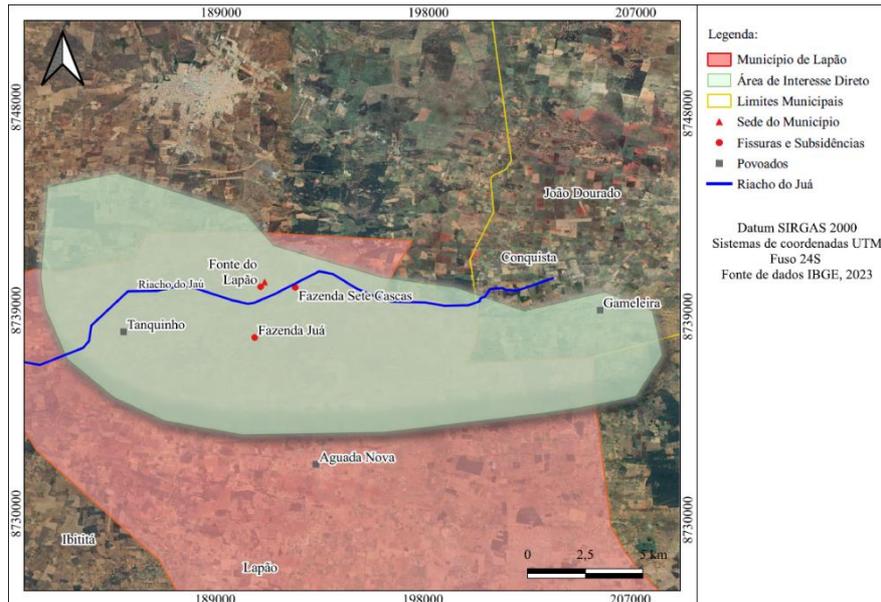


Figura 5- Ordem e localização (numerais de 1 a 5) das fissuras e subsidências ocorridas em 2008 no município de Lapão, Bahia.

Fonte: Elaborada pelos autores (2023). Adaptado de Maia *et al.* (2010).

Maia *et al.* (2010) pontuam que, para além dos processos de desgaste natural, comuns em ambientes cársticos, modificações nessas áreas também são frequentemente induzidas por atividades antrópicas, tais como: atividades agrícolas, extração intensiva de água subterrânea, ocupação urbana, atividades de extração mineral e despejo inadequado de esgoto no solo. Segundo os autores, no caso de Lapão, as águas acidificadas oriundas do descarte inadequado de efluentes líquidos e das águas servidas de atividades agrícolas, ambos ricos em ácidos orgânicos, ao percolarem no solo e entrarem em contato com as rochas carbonáticas, atuam no processo de dissolução das mesmas, criando novas cavidades e diminuindo, assim, o poder de sustentação do solo (Maia *et al.*, 2010). Nesse sentido, os autores sugerem que o evento geológico ocorrido no município de Lapão estaria mais relacionado ao contato das rochas carbonáticas com a água acidificada proveniente do descarte inadequado de águas servidas, do que à extração excessiva da água subterrânea.

Em contrapartida, se observarmos a densidade demográfica do município de Lapão, que segundo o IBGE (2021) corresponde a 42,38 hab/km², faz sentido inferir que a quantidade de habitantes e sua respectiva carga de contaminantes não seriam suficientes para promover a acidificação das águas subterrâneas, de modo a induzir a dissolução das rochas carbonáticas que constituem o aquífero local. Porém, não é descartada a possibilidade de que a dissolução dessas rochas possa estar relacionada à água acidificada oriunda de atividades agrícolas, levando em consideração que Lapão possui uma grande área com intenso desenvolvimento da agricultura, principal atividade econômica do município.

Numa linha similar de argumentação, Nossa *et al.* (2011) identificaram que o aquífero Salitre presente na região possui uma elevada capacidade de recarga e uma alta velocidade do movimento de suas águas, além da presença de sumidouros, dolinas e fraturas. Essa conjuntura permite que esse aquífero esteja exposto a contaminações químicas e biológicas, uma vez que a água de recarga passa da zona não saturada para a zona saturada sem que haja filtração durante esse processo (Nossa *et al.*, 2011).

Ao analisar três diferentes pontos acometidos pelo evento geológico na cidade de Lapão, a saber: Praça da Fonte, Bairro Ida Cardoso (Fazenda de Gildásio) e BA-432, a Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM, 2013) identificou que essas áreas apresentam um substrato calcário enfraquecido, com zonas de deformação e cavidades. O substrato rochoso enfraquecido, somado à ocupação do solo e à

extração de água subterrânea, contribui de forma expressiva para o processo de dissolução das rochas calcárias, influenciando fortemente a formação de dolinas nesses pontos (CPRM, 2013).

Essas teorias divergem da defendida por Rocha (2013) que vincula a ocorrência desse evento geológico à retirada excessiva (sobrexploração) de água subterrânea do aquífero local (Aquífero Salitre). De acordo com a autora o município de Lapão passou a ser ocupado a partir de 1807, após movimentos migratórios, e desde então, a procura por água e solos férteis, propícios à subsistência de comunidades passou a ser crescente destacando a agropecuária com cultivos de cenoura, beterraba, mamona, feijão, cebola, tomate e pinha, típicos da região, além da criação de animais, como uma das atividades que mais se desenvolveu ao longo dos anos e, conseqüentemente, passou a demandar água desse aquífero. Assim, a autora elenca i) a formação geofísica do município, ii) a facilidade para extração da água subterrânea e iii) a grande utilização dessa água nas atividades agrícolas da região, como os principais indutores dos eventos geológicos iniciados em 2008.

A relação teorizada por Rocha (2013) é corroborada pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF, 2018), o qual atrela a ocorrência dos fenômenos geológicos à combinação de fatores como: suscetibilidade natural do ambiente, hidrologia e hidrogeologia local e a intensa retirada de água para suprir as necessidades agrícolas do município. No que tange ao cenário de oferta de água da bacia hidrográfica dos Rios Verde e Jacaré, a CBHSF (2018) destaca ainda que a oferta de águas superficiais não é suficiente para atender à demanda hídrica da população do município de Lapão, sendo necessário a utilização de outras fontes, como a adução de água de outras bacias ou dos recursos hídricos subterrâneos.

Oliveira e Campos (2019) reforçam essa tese, atribuindo o processo de subsidência ocorrido em Lapão a intensa exploração de água subterrânea, destacando que apesar do município possuir um baixo número populacional, a exploração da água subterrânea é uma ferramenta necessária devido as baixas precipitações pluviométricas que o município apresenta. Sobrinho *et al.* (2012) destacam que a intensa retirada de água subterrânea do Aquífero Salitre chega a ser mais de três vezes e meia superior à velocidade de recarga natural desse aquífero por meio das chuvas. De acordo com os autores, o volume estimado de água subterrânea disponível para utilização na sub bacia hidrográfica do riacho do Juá, em 2009, foi de 9.900 m³/dia, enquanto o volume de água retirado do Aquífero Salitre, que abastece o riacho do Juá, foi de 36.000 m³/dia.

As teses apresentadas anteriormente são reforçadas ao analisarmos o mapa de uso e ocupação do solo do município de Lapão (Figura 6). É possível observar no mapa que o município possui uma predominância de áreas voltadas à agropecuária. De acordo com Couto *et al.* (2006), a partir da década de 1940 o sistema agrário da região passou a atingir maiores proporções, com a agricultura de sequeiro, que foi ainda mais intensificada a partir da década de 1970.

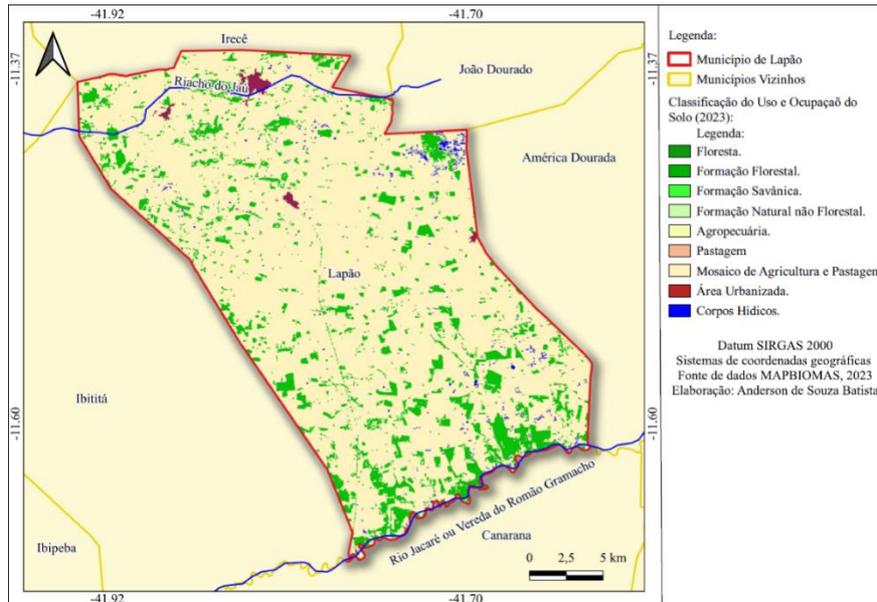


Figura 6- Mapa de uso e ocupação do solo do município de Lapão, Bahia.

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2018), devido aos baixos índices pluviométricos da região, somados a períodos de estiagens excepcionalmente longos, o cultivo de sequeiro foi perdendo espaço ao longo dos anos, dando lugar à agricultura irrigada com diversidade de cultivos, manobra utilizada por produtores pra enfrentar a crise hídrica que acometeu a região entre os anos de 1980 e 1990. Ao realizar uma análise temporal do uso e ocupação do solo do município de Lapão, em intervalos de 10 anos entre 1985 e 2015, e em um intervalo de cinco anos entre 2015 e 2020, é possível perceber alterações na paisagem da região ao longo dos anos (Figura 7).

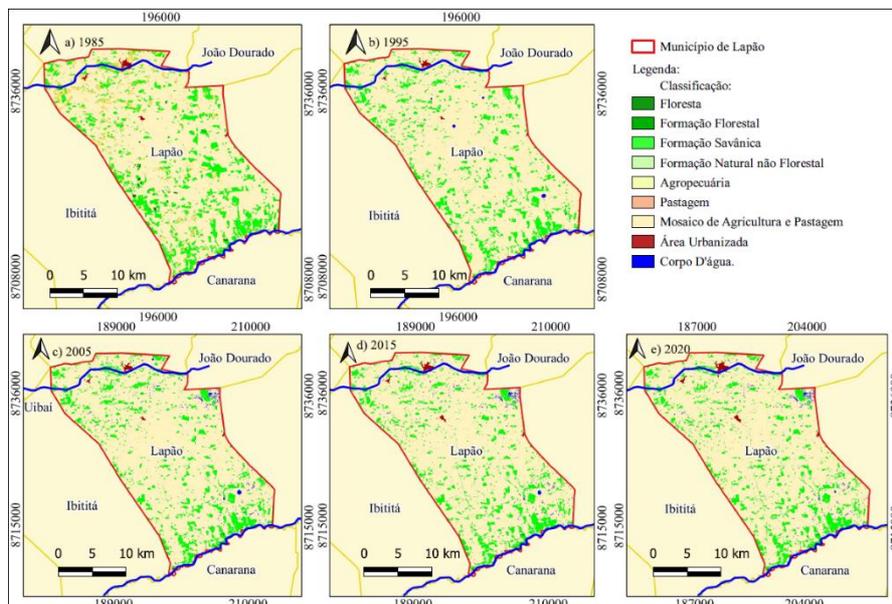


Figura 7- Evolução temporal no uso e ocupação do solo no município de Lapão, Bahia, de 1985 a 2020.

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Durante o período analisado, a área municipal sofreu modificações em sua paisagem, com áreas vegetadas dando espaço a atividades antrópicas com predominância da abertura de áreas voltadas à agropecuária.

Segundo Paiva *et al.* (2015), dentre os 19 municípios que compõe a microrregião de Irecê (América Dourada, Barra do Mendes, Barro Alto, Cafarnaum, Canarana, Central, Gentio do Ouro, Ibipeba, Ibititá, Irecê, Itaguaçu da Bahia, João Dourado, Jussara, Lapão, Mulungu do Morro, Presidente Dutra, São Gabriel, Solto Soares, Uibaí), o município de Lapão possui a maior extensão de terras voltadas à agricultura. Essa prática foi responsável pela maior redução da Caatinga entre os anos de 1980 e 2007, período em que a microrregião se tornou a maior produtora de grãos do Nordeste. No ano de 1980 o município possuía 14.323,93 ha de caatinga preservada, em 2007 esse valor caiu para 5.525,93 ha, apresentando uma redução de 38,58% da caatinga entre os respectivos anos (Paiva *et al.*, 2015).

A tabela a seguir (Tabela 2) traz o percentual de evolução de cada uso e ocupação do solo do município de Lapão entre os anos de 1985 (ano em que foi desmembrado do município de Irecê) e 2020.

Tabela 2- Detalhamento da evolução dos diferentes usos e ocupações do solo no município de Lapão, Bahia, cuja área municipal é equivalente a 642,88 km².

CLASSIFICAÇÃO	ANOS	ÁREA									
		1985		1995		2005		2015		2020	
		km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Floresta		109,1	16,9	65,9	10,2	73,1	11,3	81,7	12,7	77,8	12,1
Formação savânica		106,9	16,6	65,5	10,1	72,7	11,3	81,2	12,6	77,1	11,9
Formação florestal		2,2	0,3	0,04	0,07	0,40	0,06	0,46	0,71	0,73	0,11
Formação natural não florestal		4,2	0,65	50,3	7,82	9,97	1,55	5,42	0,48	4,05	0,68
Agropecuária		526,9	81,9	523,2	81,3	555,8	86,4	551,5	85,7	556,7	86,6
Mosaico de agricultura e pastagem		476,4	74,1	495,6	76,9	553,6	86,1	541,8	84,2	549,1	85,4
Pastagem		50,5	7,8	30,5	4,7	12,2	1,8	9,7	1,51	7,6	1,1
Área urbanizada		2,3	0,36	3,08	0,48	3,69	0,57	4,01	0,62	4,3	0,66
Corpo d'água		0,31	0,048	0,30	0,046	0,28	0,04	0,25	0,038	0,02	0,003

Fonte: Elaborada pelos autores (2022).

Os dados apresentados na tabela mostram que entre os anos de 1985 e 2020 o município sofreu uma redução 4,87% da sua área de vegetação, além de 0,04% da área coberta por corpos d'água, enquanto as áreas destinadas à agropecuária tiveram um aumento de 4,7 %, chegando a ocupar 86,6% do território do município. Essa análise indica que as atividades agrícolas presentes na região foram se tonando cada vez mais expressivas e, conseqüentemente, mais demandantes de água, levando em consideração o contexto hidrológico da região. Os cursos d'água superficiais presentes não são suficientes para atender da demanda hídrica exigida por essa atividade socioeconômica aumentando, assim, a procura por fontes alternativas que viabilizem o desenvolvimento da agricultura irrigada, sendo a água subterrânea a principal via encontrada.

Essa afirmação é reforçada pela ANA (2018), a qual destaca que a demanda hídrica da bacia do riacho Juá, está ligada a atividades como: abastecimento urbano de água, dessedentação animal, agropecuária, irrigação e indústrias, sendo que, dentre essas atividades, a agricultura irrigada se destaca

como a atividade antrópica mais demandante de água na região, com parte dessa demanda conseguindo apenas ser suprida mediante captação de águas subterrâneas.

Estudo realizado por Fonseca *et al.* (2020) que destacam que a associação entre o clima da região e a intensa extração de água subterrânea, excedendo até mesmo o limite de vazão do Aquífero Salitre, tem ocasionado o rebaixamento do nível do lençol freático. Esse rebaixamento está relacionado ao intenso uso do solo para a agricultura irrigada – a qual apresentou uma crescente expansão ao longo dos anos, devido às propícias características do solo no chamado platô de Irecê para esta atividade –, à fácil extração de água subterrânea, além da falta de controle sobre a ocupação do solo do município (Fonseca *et al.*, 2020).

Tais processos são também apontados por Rocha Neto (2021) que, após avaliar o uso e ocupação do solo do município de Lapão entre os anos de 1980 e 1989, identificou que ele sofreu uma expressiva supressão da vegetação para abertura de áreas voltadas à agropecuária. Essa brusca conversão do uso e ocupação do solo se torna ainda maior quando analisado o recorte temporal entre 1980 e 2007. O autor levanta ainda a hipótese de que o uso intensivo e indiscriminado do recurso hídrico subterrâneo nessa região tenha relação com o surgimento das fissuras e subsidências no município, tendo em vista a grande quantidade de água extraída de poços artesanais instalados – inclusive de forma clandestina – para atender a elevada demanda hídrica do sistema de produção agropecuário (Rocha Neto, 2021).

De acordo com o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS, 2021), o município de Lapão possui atualmente 275 poços cadastrados (Figura 8), porém estima-se que o número de poços perfurados na região de forma clandestina seja muito superior a essa quantidade, como constatado anteriormente por Rocha Neto (2021), o que dificulta ainda mais o monitoramento e a identificação da vazão de água extraída diariamente do recurso hídrico subterrâneo.

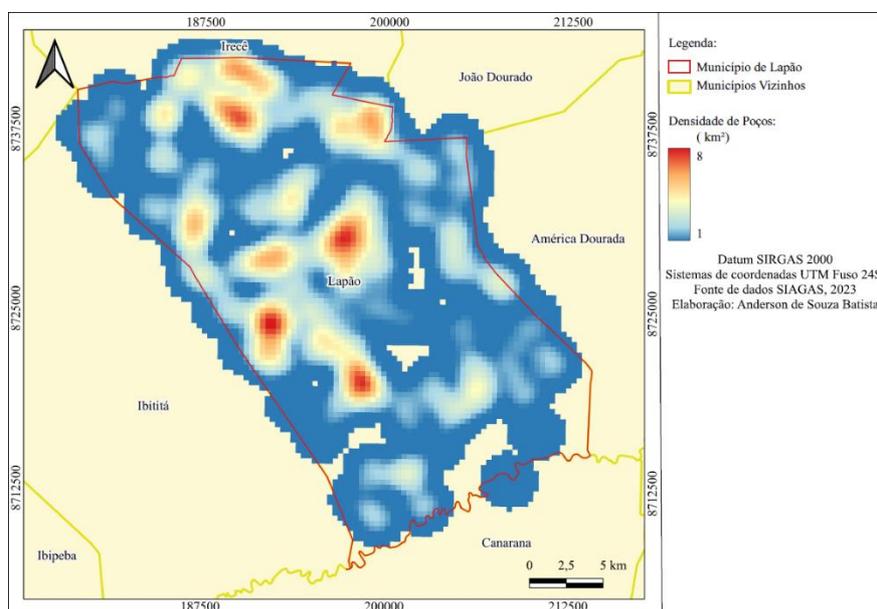


Figura 8- Distribuição espacial de poços artesanais cadastrados no município de Lapão, Bahia até 2021.

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Vestana *et al.* (2022) reforçam que o uso e ocupação do solo de forma desordenada em áreas cársticas, associados à exploração dos recursos naturais (água subterrânea e mineração de calcário), podem desencadear eventos geológicos que consequentemente produzem em impactos sobre o meio ambiente e na vida das pessoas, podendo trazer prejuízos econômicos e até mesmo provocar mortes de quem reside nessas áreas.

O evento geológico ocorrido na cidade de Lapão gerou pânico na população local, danos a estruturas urbanas, desvalorização de imóveis, desocupação e realocação de comércios e locais públicos de lazer (conforme imagens apresentadas em Oliveira Filho e Cunha, 2013) (CPRM, 2013; Rocha, 2013).

Segundo Teles e Morais (2019), os ambientes cársticos apresentam naturalmente mais susceptibilidade a processos de dissolução das rochas carbonáticas, necessitando do gerenciamento ambiental que busque mitigar os impactos negativos e promover a conservação dessas áreas. Para tanto, é necessário um conjunto de estratégias voltadas à especificidade de cada região que apresenta esse tipo de patrimônio espeleológico. Essas estratégias consistem em um conjunto de instrumentos legislativos, instruções normativas, resoluções das esferas federais, estaduais e municipais, além do uso do conhecimento fornecido pela literatura voltada para as áreas cársticas (Teles; Morais, 2019).

De acordo com Villar e Hirata (2022), no Brasil, é de competência dos estados a gestão das águas subterrâneas. Porém, apesar da existência de instrumentos legais que subsidiam essa gestão, a implementação dessas leis enfrenta desafios que compreende: a falta de domínio e coordenação entre os estados; a falta de interesse e comprometimento na aplicação das leis; pressão dos usuários das águas subterrâneas; conflito de interesses entre setores administrativos; corrupção; aplicabilidade seletiva da lei, entre outros (Villar; Hirata, 2022).

No estado da Bahia, a Lei nº 11.612, de 08 de outubro de 2009 da Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, prevê no Art. 38 que as águas subterrâneas devem estar sujeitas a constantes medidas de preservação, uma dessas medidas está estabelecida no Art. 40 onde determina que os resíduos sólidos, líquidos e gasosos oriundos de atividades antrópicas só poderão ser descartados no solo de forma que não polua as águas subterrâneas (BRASIL, 2009).

Oliveira Filho e Cunha (2013) listam uma série de sugestões e intervenções que podem ser aplicadas no município as quais compreende: o mapeamento geológico, geofísico e geotécnico da área; a elaboração do mapa de riscos, que apresente as áreas estáveis e instáveis, conduzindo o crescimento de ocupações urbanas para áreas mais seguras; a instalação de uma malha topográfica para detecção de possíveis sismos; o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas e o nível da água nos poços; a restrição de atividades potencialmente impactantes em áreas que apresentam maior risco, e a criação de parques de preservação nessas áreas mais vulneráveis; e o monitoramento geotécnico para acompanhar as possíveis evoluções dos eventos.

Para Villanueva (2015), programas de monitoramento das águas subterrâneas, com a utilização de mapas cartográficos de vulnerabilidade de aquíferos e mapas de dolinas e fraturas, são ferramentas fundamentais para o gerenciamento das áreas cársticas. A cartografia é um instrumento que permite a prevenção de aquíferos em relação a contaminantes, apesar de apresentar um alto custo econômico e ser um processo que requer tempo (a depender da quantidade de contaminante inseridos no meio), já o mapa de dolinas e fraturas auxiliam na identificação de áreas de recarga, as quais apresentam um maior aporte hídrico, necessitando de uma maior proteção (Villanueva, 2015).

Fonseca *et al.* (2020) sugerem que, para uma melhor gestão da área cárstica presente no município de Lapão, é necessário o levantamento de dados que permitam identificar a demanda a oferta de águas superficiais e subterrâneas, para que seja possível atender às necessidades da população sem prejudicar a estrutura geológica da região. Uma gestão hídrica nos moldes propostos por Fonseca *et al.* (2020) só é alcançada mediante realização de estudos hidrogeológicos, controle e regularização de poços artesianos e identificação de áreas que apresentam vulnerabilidades geotécnicas, com grande risco de colapso.

Complementarmente, Teixeira (2018) pontua que uma das formas de proteção e conservação de áreas cársticas consiste na utilização da educação ambiental como instrumento de acessibilidade da população da região ao conhecimento das questões ambientais, desde que não seja aplicada somente

nos meios formais e institucionalizados, mas também, de modo democrático, em espaços culturais e comunitários.

Nessa mesma linha, Travassos (2019) destaca o geoturismo, atividade de lazer com viés sustentável e respeito à capacidade do ambiente, como uma ferramenta para promover o conhecimento e a valorização dessas áreas, que podem servir de atrativo para estudantes, pesquisadores e turistas. O autor ainda pontua a estratégia de transformar, legalmente, ambientes cársticos em patrimônio natural, termo que remete a uma herança que deve ser preservada e transmitida de geração em geração (Travassos, 2019).

Independentemente da estratégia pensada no sentido de promover a conservação e a valorização dos ambientes cársticos, entende-se ser consenso a necessidade de informar, familiarizar e garantir o acesso dos próprios residentes a essas áreas para que seja possível preservar através do conhecimento e da corresponsabilização da população local.

Considerações finais

A revisão da literatura permitiu identificar duas principais teorias sobre as atividades antrópicas possivelmente relacionadas à ocorrência dos eventos geológicos no município de Lapão, Bahia, em 2008. Uma dessas teorias relaciona a ocorrência desses eventos ao processo de dissolução das rochas carbonáticas através da interação com a água acidificada, oriunda do descarte inadequado de efluentes líquidos. Porém, a teoria mais defendida na literatura destaca a sobrexplotação da água subterrânea do aquífero cárstico Salitre – a fim de atender a demanda hídrica das atividades agropecuárias – como a principal atividade antrópica indutora dos eventos geológicos ocorridos em Lapão. A partir da avaliação das obras selecionadas na literatura, conclui-se, portanto, que a ocorrência dos eventos geológicos no município de Lapão está, em realidade, ligada ao conjunto dessas ações antrópicas, que são resultantes do crescente uso e da ocupação desordenada do solo no município.

De forma geral, acredita-se que todas as medidas conhecidas que subsidiem e reforcem a importância da preservação e conservação desse ambiente cárstico devam ser colocadas em prática, de modo a garantir que a interação entre a população do município de Lapão e o ambiente do seu entorno se desenvolva da forma mais sustentável possível, respeitando as fragilidades e fazendo o uso responsável das potencialidades apresentadas por essa região.

Medidas adequadas só podem ser propostas de forma segura mediante a realização de estudos mais regionalizados que permitam identificar a demanda e a capacidade de oferta de água subterrânea do aquífero cárstico presente na região, a fim de reduzir a sobrecarga nesse sistema e promover um ambiente favorável que atenda às necessidades da população dessa região. A falta de estudos que disponibilizem esses dados para que haja uma compreensão mais aprofundada de como o aquífero dessa região vem sendo explorado, foi uma das lacunas identificadas no desenvolvimento deste trabalho.

Referências

ANA- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Hidrogeologia dos ambientes cársticos da Bacia do Rio São Francisco para a gestão de recursos hídricos**. Volume IV - gestão integrada de recursos hídricos. 2018. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/11828587-8176-4eb9-a367-0e4cdf9b2e3d/attachments/Volume_IV_-_Gestao_Integrada_de_Recurso_Hidricos_-_Tomo_2__Cenarios_e_Propostas_de_Gestao.pdf. Acesso em: 21 jun. 2022.

ANA- Agência Nacional de Águas. **Hidrogeologia geral**: principais impactos e monitoramento das águas subterrâneas. Vitória/ES. 2019. Disponível em: <https://progestao.ana.gov.br/destaque->

superior/eventos/oficinas-de-intercambio-1/aguassubterraneas-1/oficina-aguas-subterraneas-vitoria-es-2019/oficina-progestao-es-palestra-4-ana-cosub-impactos-e-monitoramento.pdf. Acesso em: 15 out. 2021.

BOLDRIN, M. T. N.; CUTRIM, A. O. **Avaliação de impactos potenciais nas águas subterrâneas urbanas de Sinop (MT) usando a matriz de Leopold.** São Paulo, 2014. Disponível em: https://www.revistageociencias.com.br/geocienciasarquivos/33/volume33_1_files/33-1-artigo-7.pdf. Acesso em: 10 set. 2021.

BRASIL. Lei Nº 11.612, de 08 de outubro de 2009. **Dispõe sobre a política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências.** Salvador, Bahia, 2009. Disponível em: <https://governoba.jusbrasil.com.br/legislacao/820104/lei-11612-09>. Acesso em: 25 out. 2021.

CABRAL, J. J. S. P.; SANTOS, S. M; PONTES FILHO, I. D. S. **Bombeamento intensivo de água subterrânea e riscos de subsidência do solo.** 2006. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east1.amazonaws.com/Sumarios/23/b6a853f3fd33a2638ed2c7aafb118091_8ff3a6332c8c0acdfff038e003e46648.pdf. Acesso em: 08 out. 2021.

CBHSF- Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Francisco. **A agricultura de sequeiro.** 2015. Disponível em: <https://2017.cbhsaofrancisco.org.br/2017/a-agricultura-de-sequeiro-3/>. Acesso em: 18 nov. 2021.

COUTO, V, A. et al. **Sistemas de produção familiar no município de Lapão, Bahia.** Salvador, Bahia, 2006. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/ags/sobr06/149554.html>. Acesso em: 21 jun. 2022.

CPRM- Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. **Levantamento geofísico de eletrorresistividade para investigação do substrato calcário de áreas colapsadas e de novas áreas para expansão urbana da cidade de Lapão- Bahia.** Salvador, 2013. Disponível em:

<https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/15491>. Acesso em: 08 out. 2022.

EMBRAPA. **Clima.** 2022. Disponível em: <https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>. Acesso em: 12 jan. 2023.

FONSECA, E. R. *et al.* Conflitos pelo uso da água na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco: estudos de caso no Estado da Bahia. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e823997929, 2020. DOI:

<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7929>. Disponível em:

<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/7929/7090/113838>. Acesso em: 20 jun. 2022.

GALVÃO, M. C. B. Levantamento bibliográfico e pesquisa científica. *In: Fundamentos de Epidemiologia.* Tradução. Barueri: Manole; 2011. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002499360>. Acesso em: 20 set. 2021.

HIRATA, R. *et al.* **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento.** Instituto Trata Brasil. 2021. Disponível em: http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/aguas-subterraneas-esaneamento-basico/Estudo_aguas_subterraneas_FINAL.pdf. Acesso em: 07 out. 2021.

IBGE. **Cidades e estados – Lapão, BA, 2021.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ba/lapao.html>. Acesso em: 18 nov. 2021.

MAIA, P. H. P.; DIAS NETO, B.; CORRÊA GOMES, L. C. Análise geológica e estrutural das fissuras e subsidências no carste de Lapão. **Águas Subterrâneas**. 2010. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23180>. Acesso em: 22 out. 2021.

MANUEL FILHO, J. Exploração de água subterrânea em zona urbana: caso da Grande Recife – PE. **Águas Subterrâneas**. 2011. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23484>. Acesso em: 20 out. 2021.

MAPBIOMAS. **Cobertura e transição de Biomas e Estados**. Coleção 6 (1985 – 2020). 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org/estatisticas>. Acesso em: 18 jun. 2022.

NOSSA, T, C, B. *et al.* Hidroquímica e índices de saturação dos minerais do sistema aquífero cárstico Salitre na região de Irecê-Lapão, Bahia, Brasil. **Águas Subterrâneas**. 2011. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28122>. Acesso em: 12 set. 2022.

NUNES, S, M. **Estudo de solos expansivos no município de Juazeiro/BA e na Região de Lapão/BA: identificação, determinação da expansibilidade linear e classificação geotécnica**. Juazeiro, Bahia, 2013. Disponível em: <http://www.univasf.edu.br/~tcc/000002/000002AA.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2022.

OLIVEIRA FILHO, I B. **Carta geotécnica de aptidão à urbanização de ambiente cárstico**. Lapão-BA, pg. 59. Ouro Preto- MG, 2015. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/5557>. Acesso em: 04 nov. 2022.

OLIVEIRA FILHO, I, B.; CUNHA, F. **Ação emergencial de setorização das áreas com riscos a subsidências em ambientes cársticos: Lapão, Bahia**. Salvador: CPRM, 2013. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/18898?show=full>. Acesso em: 27 nov. 2022.

OLIVEIRA, I, D.; CAMPOS, I, O. **Subsidência do solo devido à exploração de água subterrânea**. Monografia (Curso de Engenharia Civil), Faculdade Doctum Juiz de Fora. Juiz de Fora, MG. 2019. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/1981/1/SUBSID%C3%8ANCIA%20DO%20SOLO%20DEVIDO%20%C3%80%20EXPLOTA%C3%87%20DE%20%C3%81GUA%20SUBTERR%C3%82NEA.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2022.

OLIVEIRA, M, M. *et al.* Balanço hídrico climatológico e curva ombrotérmica para o município de Irecê – Bahia. *In: III Congresso Internacional das Ciências Agrárias. [Anais...]*. João Pessoa- PB, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/331241188_BALANCO_HIDRICO_CLIMATOLOGICO_E_CURVA_OMBROTERMICA_PARA_O_MUNICIPIO_DE_IRECE_-_BAHIA. Acesso em: 12 jan. 2023.

PAIVA, A. Q. **Mudança do uso da terra e dinâmica de carbono orgânico do solo no platô de Irecê, Bahia**. Rio Claro, 2015. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/10347>. Acesso em: 07 abr. 2022.

ROCHA, A, C. **Impactos causados pelos tremores de terra no município de Lapão – Bahia**. Jacobina, Bahia, 2013. Disponível em:

<http://www.saberaberto.uneb.br/bitstream/20.500.11896/436/1/TCC%20ALINE%20CARVALHO>. Acesso em: 22 out. 2021.

ROCHA NETO, O. **Análise temporal do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica da microrregião de Irecê-BA**. Campina Grande – PB, 2021. Disponível em: <http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/3828>. Acesso em: 11 jun. 2022.

SALLUN FILHO, W. *et al.* **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. Cap. 7. Subsidências e Colapsos em Terrenos Cársticos. 2009. Disponível em: http://www.sidec.sp.gov.br/defesacivil/media/OSDownloads/1438375861_DesastresNaturais.pdf. Acesso em: 17 nov. 2021.

SEIA- Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos. INEMA - Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Dados Pluviométricos de Lapão/Bahia/Brasil**. Disponível em: <http://monitoramento.seia.ba.gov.br/paginas/hidrometeorologico/pluviometrico/export.xhtml>. Acesso em: 18 abr. 2023.

SIAGAS- Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. **Total de poços e fontes naturais cadastrados**. 2022. Disponível em: http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php. Acesso em: 21 jun. 2022.

SOBRINHO, J, N. *et al.* Utilização de água subterrânea do aquífero cárstico do município de Lapão/Bahia: análise realizada através dos dados do cadastro de usuários de recursos hídricos do estado da Bahia. *In: XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. [Anais...]*. Bonito – MS, 2012. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27609/17866>. Acesso em: 13 jan. 2022.

TEIXEIRA, N, F, F. *et al.* Educação ambiental em paisagem cárstica para o desenvolvimento do turismo sertanejo no semiárido cearense. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 13, n. 1: 262-271. São Paulo. 2018. Disponível em: <https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/2311>. Acesso em: 25 nov. 2022.

TELES, E. F. B.; MORAIS, F. Gestão de áreas cársticas: uma proposta para a conservação ambiental. *In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA*, 35, 2019. [Anais...]. Bonito. Campinas: SBE, 2019. p.336-341. Disponível em: https://www.cavernas.org.br/wp-content/uploads/2021/07/35cbe_336-341.pdf. Acesso em: 23 jan. 2022.

TRAVASSOS, P. L. E. **Princípios de carstologia e geomorfologia cárstica**. ICMBio. Brasília, 2019. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/publicacoes/PrincipiosCarstologia/CECAV_PrincipiosDeCarstologia.pdf. Acesso em: 16 nov. 2021.

VESTENA, L, R. *et al.* **Considerações sobre gestão ambiental em áreas cársticas**. 2022. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/18518>. Acesso em: 16 mar. 2022.

VILLANUEVA, T. C. B. *et al.* **Aplicação do método COP para avaliação da vulnerabilidade intrínseca à contaminação do aquífero cárstico Salitre, Irecê-BA, Brasil**. 2015. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/16606>. Acesso em: 25 mar. 2022.

VILLAR, P, C.; HIRATA, R. **Governança das águas subterrâneas e a construção de indicadores jurídicos para os estados brasileiros**. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/MyJxyZZwMjRQm3Hmh7GnVKs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 16 jan. 2023.