

# Águas subterrâneas e sustentabilidade no semiárido: análise hidrogeológica e territorial do território de Irecê, estado da Bahia (BA)

*Groundwater and sustainability in the semi-arid region: hydrogeological and territorial analysis of the Irecê territory, state of Bahia (Brazil)*

Maira Gabriela Oliveira Costa <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pesquisadora Independente – Brasil, costamaira09@gmail.com

## Recebido:

19 de outubro de 2025

## Recebido no formato de revisão:

12 de março de 2026

## Aceito:

13 de março de 2026

## Disponível online:

24 de abril de 2026

## Seção:

Artigos

## Palavras-chave:

Águas subterrâneas.  
Semiárido.  
Governança.  
Sustentabilidade territorial.  
Irecê.

## Keywords:

Groundwater.  
Semi-Arid.  
Governance.  
Territorial Sustainability.  
Irecê.

<https://doi.org/10.14295/ras.v40i1.30360>



## RESUMO

As águas subterrâneas constituem o principal suporte hídrico do semiárido brasileiro, desempenhando papel estratégico na segurança hídrica, alimentar e socioeconômica. Este artigo analisa, sob a ótica do desenvolvimento territorial sustentável, as dinâmicas hidrogeológicas, socioeconômicas e institucionais associadas ao uso das águas subterrâneas no Território de Identidade de Irecê<sup>1</sup> (BA). A metodologia baseou-se em análise documental, interpretação técnico-analítica e comparação com experiências internacionais de gestão de aquíferos em regiões áridas e semiáridas. Os resultados indicam vulnerabilidade crescente à superexploração, salinização e contaminação por nitratos, agravadas pela ausência de monitoramento sistemático e controle de poços. Estudos da Espanha, Tunísia, Índia e México demonstram que a sustentabilidade hídrica depende da governança participativa, inovação tecnológica e políticas integradas de irrigação e conservação. Conclui-se que o equilíbrio entre uso econômico e conservação ambiental exige políticas públicas multiescalares e coordenação interinstitucional, fortalecendo o papel do aquífero como eixo estratégico do desenvolvimento territorial sustentável.

## ABSTRACT

Groundwater represents the main water resource in Brazil's semi-arid region, playing a strategic role in water, food, and socioeconomic security. This paper analyzes, from the perspective of sustainable territorial development, the hydrogeological, socioeconomic, and institutional dynamics associated with groundwater use in the Irecê Territory (Bahia, Brazil). The methodology was based on documentary analysis, technical interpretation, and comparison with international groundwater management experiences in arid and semi-arid regions. The results show growing vulnerability to overexploitation, salinization, and nitrate contamination, aggravated by the lack of systematic monitoring and well control. Case studies from Spain, Tunisia, India, and Mexico demonstrate that water sustainability depends on participatory governance, technological innovation, and integrated irrigation and conservation policies. It concludes that balancing economic use and environmental conservation requires multi-scalar public policies and interinstitutional coordination, reinforcing the aquifer as a strategic axis for sustainable territorial development.

<sup>1</sup>Os Territórios de Identidade constituem uma regionalização administrativa adotada pelo Governo do Estado da Bahia para fins de planejamento e implementação de políticas públicas, baseada em critérios socioeconômicos, culturais e ambientais, buscando articular ações de desenvolvimento territorial de forma integrada (SEPLAN-BA, 2015).

## 1. INTRODUÇÃO

A gestão das águas subterrâneas representa um dos maiores desafios contemporâneos para a sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento territorial, especialmente em regiões semiáridas. Segundo Hirata *et al.* (2019), cerca de 97% da água doce disponível no planeta encontra-se armazenada em aquíferos, constituindo a base do abastecimento humano e agrícola em diversos países. No semiárido brasileiro, as águas subterrâneas representam um importante recurso hídrico para a manutenção das atividades produtivas e para o abastecimento das populações rurais e urbanas. Entretanto, a presença frequente de águas salinas e salobras em grande parte dos aquíferos limita seu uso, sobretudo para a agricultura. Dessa forma, apenas alguns aquíferos, geralmente localizados em áreas específicas, apresentam qualidade e volume adequados para uso produtivo. Na pecuária, há maior tolerância à salinidade da água, o que amplia parcialmente as possibilidades de utilização desse recurso. Além disso, iniciativas como a agricultura bioessalina ainda são recentes no contexto do semiárido brasileiro, estando em processo de desenvolvimento e adaptação (CBHSF, 2016).

Entretanto, a crescente pressão sobre os recursos subterrâneos tem evidenciado um quadro de superexploração e degradação, agravado pela ausência de monitoramento sistemático e pela intensificação das atividades agrícolas e pelo limite da possibilidade de uso de águas superficiais. Biswas e Tortajada (2024) destacam que, globalmente, a superexploração das águas subterrâneas ocorre de forma silenciosa e cumulativa, comprometendo não apenas o equilíbrio hidrogeológico, mas também a sustentabilidade econômica das regiões dependentes desses sistemas. No Brasil, a carência de políticas integradas e de instrumentos de governança eficientes agrava o problema, sobretudo em territórios marcados por vulnerabilidades climáticas e institucionais.

A agricultura desempenha papel central na dinâmica econômica e territorial do Território de Irecê, historicamente reconhecido como uma das principais regiões produtoras de feijão do Brasil, especialmente entre as décadas de 1970 e 1990, quando o chamado Platô de Irecê se consolidou como referência nacional na produção do grão, com sistemas produtivos predominantemente de sequeiro e fortemente dependentes da variabilidade climática. Nas últimas décadas, entretanto, observa-se uma reconfiguração da estrutura produtiva regional, marcada pela diversificação das atividades agrícolas e pela introdução de culturas de maior valor agregado, como hortaliças, frutíferas e sementes comerciais, frequentemente associadas ao uso de irrigação. Esse processo intensificou a dependência das águas subterrâneas, particularmente do Aquífero Salitre, que constitui a principal fonte hídrica para a agricultura regional (Ramos *et al.*, 2007; Passos Filho *et al.*, 2018). Embora dados consolidados ainda sejam limitados, evidências indicam que a pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos decorre tanto da expansão de áreas irrigadas quanto da maior intensidade de uso da água por hectare em sistemas produtivos mais tecnificados, reforçando a necessidade de monitoramento hidrogeológico e de instrumentos de gestão sustentável do aquífero (ANA, 2021; Gonçalves; Leal, 2018).

Estudos internacionais reforçam a relevância dessa problemática. Na Tunísia, Dhauadi *et al.* (2021) identificaram a degradação da qualidade da água e a contínua superexploração dos recursos subterrâneos em áreas oásis, enquanto Salameh (2008) descreve, na Jordânia, os impactos socioeconômicos do colapso de aquíferos utilizados para irrigação intensiva. De forma semelhante, Narayanamoorthy (2022) e Rupérez-Moreno *et al.* (2017) observaram que a agricultura irrigada, quando desvinculada de políticas de uso racional e de gestão participativa, tende a acelerar o esgotamento dos lençóis freáticos e comprometer a sustentabilidade regional.

A literatura especializada aponta que a eficiência tecnológica, isoladamente, não garante o uso sustentável da água subterrânea. Segundo Lin Lawell (2016), a adoção de tecnologias de irrigação modernas pode, paradoxalmente, ampliar a captação hídrica quando não há mecanismos institucionais de controle. Esse fenômeno tem sido observado em diferentes contextos agrícolas, nos quais a introdução de sistemas mais eficientes de irrigação não resulta necessariamente em redução do consumo total de água, mas pode estimular a expansão da área irrigada ou o aumento da intensidade produtiva. No Brasil, esse debate também envolve o uso crescente de equipamentos como pivôs centrais, cuja expansão em áreas agrícolas tem levantado questionamentos sobre a ausência de regulação adequada e sobre os impactos no consumo de água subterrânea, especialmente em regiões dependentes de aquíferos. Nessas circunstâncias, a eficiência tecnológica precisa ser acompanhada por instrumentos de governança hídrica capazes de monitorar e regular o volume captado, evitando que ganhos de eficiência se convertam em maior pressão sobre os recursos subterrâneos (Pfeiffer; Lin, 2014; Lin Lawell, 2016). Pfeiffer e Lin

(2014) demonstraram empiricamente que o aumento da eficiência hídrica, em diversos contextos internacionais, levou à expansão da área irrigada e, conseqüentemente, ao aumento da extração de água subterrânea. Esses resultados corroboram a tese de Feinerman (1988), segundo a qual a gestão eficiente dos recursos hídricos deve conciliar equidade social, mecanismos de precificação e regulação ambiental. Nesse debate, Foster (2000) ressalta que parte das chamadas “perdas” associadas à irrigação, como a percolação profunda, pode representar recarga dos aquíferos e, portanto, não constitui necessariamente desperdício hídrico. Para o autor, a preocupação central deve concentrar-se nas perdas efetivas por evapotranspiração e no uso ineficiente da água no sistema produtivo. Assim, além da adoção de tecnologias de irrigação mais eficientes, a sustentabilidade do uso das águas subterrâneas depende também de mecanismos institucionais de controle e de arranjos de governança que incluam processos de gestão participativa entre usuários, instituições públicas e comunidades locais.

Custodio (2002) argumenta que o conceito de superexploração vai além do volume extraído, incluindo as implicações ambientais e socioeconômicas decorrentes do uso intensivo e desregulado dos aquíferos. Em estudos realizados na Espanha e na Índia, o autor demonstrou que a superexploração está intrinsecamente ligada à ausência de instrumentos eficazes de governança e ao desconhecimento das dinâmicas de recarga. No contexto da gestão de recursos hídricos, a governança refere-se ao conjunto de instituições, normas e mecanismos de coordenação que orientam o uso e a proteção da água, envolvendo diferentes níveis de governo, usuários e sociedade civil. Entre os principais instrumentos destacam-se os sistemas de outorga para captação de água, o monitoramento hidrogeológico contínuo, os planos de gestão de bacias hidrográficas, os mecanismos econômicos de regulação do uso da água e os espaços participativos de decisão, como comitês de bacia e associações de usuários. Essa perspectiva é compartilhada por Rodríguez-Estrella (2014), que ressalta a importância de integrar o conhecimento científico e os saberes locais na formulação de políticas hídricas regionais, fortalecendo arranjos de governança participativa capazes de equilibrar uso produtivo e conservação ambiental.

No Brasil, o uso das águas subterrâneas em regiões semiáridas tem sido historicamente orientado pela lógica da sobrevivência e da expansão agrícola, sem um planejamento adequado. A ausência de uma cultura de monitoramento e de gestão territorial participativa limita o alcance da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), cuja aplicação permanece incipiente em áreas de maior vulnerabilidade climática (Conicelli; Hirata, 2017).

Diante desse panorama, este estudo tem como objetivo analisar as dinâmicas hidrogeológicas, socioeconômicas e institucionais associadas ao uso das águas subterrâneas no Território de Irecê (BA), à luz do desenvolvimento territorial sustentável. Busca-se compreender as causas e conseqüências da sobre-exploração dos recursos subterrâneos, comparando a realidade local com experiências internacionais em regiões áridas e semiáridas. O caso de Irecê apresenta particular relevância no contexto do semiárido brasileiro, pois a região é sustentada pelo Aquífero Salitre, de natureza cárstica, enquanto grande parte do semiárido nordestino é caracterizada por sistemas aquíferos fraturados em rochas cristalinas, geralmente de menor produtividade hídrica. Essa condição confere ao território um potencial hídrico relativamente mais elevado, mas também implica maior vulnerabilidade à contaminação e à exploração intensiva, exigindo estratégias de gestão particularmente rigorosas. Nesse sentido, o estudo também busca discutir caminhos para o fortalecimento da governança hídrica, considerando o papel das políticas públicas, da inovação tecnológica e da participação comunitária, de modo a assegurar a sustentabilidade ambiental, a geração de emprego e renda e a segurança alimentar no Nordeste brasileiro.

A relevância do tema reside na necessidade de repensar os modelos de gestão das águas subterrâneas, incorporando princípios de sustentabilidade, equidade e resiliência ambiental. O estudo de Irecê representa um recorte emblemático para compreender os desafios da gestão hídrica no semiárido brasileiro. A região apresenta uma condição hidrogeológica particular, pois está assentada sobre o Aquífero Salitre, de natureza cárstica, enquanto grande parte do semiárido nordestino é caracterizada por aquíferos fraturados em rochas cristalinas, geralmente de menor produtividade hídrica. Essa característica confere ao território um potencial hídrico relativamente mais elevado, mas também maior vulnerabilidade à contaminação e à exploração intensiva. Nesse contexto, a gestão adequada desse sistema aquífero torna-se fundamental para garantir a sustentabilidade ambiental, a geração de emprego e renda e a segurança alimentar no Nordeste brasileiro.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Fundamentos hidrogeológicos e conceito de superexploração

A compreensão das águas subterrâneas como recurso estratégico exige uma abordagem multidimensional, que envolva aspectos hidrogeológicos, econômicos e sociais. Segundo Hirata *et al.* (2019), os aquíferos atuam como sistemas dinâmicos de armazenamento e fluxo, cuja renovação depende de fatores climáticos, geológicos e antrópicos. No semiárido, a baixa recarga natural e a evapotranspiração elevada reduzem a resiliência desses sistemas, tornando-os altamente vulneráveis à exploração excessiva.

Custodio (2000) define a superexploração de aquíferos como uma condição em que as taxas de extração superam a capacidade de recarga natural, provocando rebaixamento persistente dos níveis freáticos e degradação da qualidade da água. Em obra posterior, Custodio (2002) amplia o conceito, ressaltando que o problema não é apenas quantitativo, mas também qualitativo e institucional. Para o autor, a superexploração envolve desequilíbrios ecológicos, aumento dos custos de bombeamento e, principalmente, a ausência de políticas eficazes de controle da extração e de recuperação do equilíbrio hidrogeológico do aquífero, incluindo a recomposição dos níveis freáticos e a melhoria da qualidade da água subterrânea.

Esses efeitos são observados em diversas regiões áridas e semiáridas do mundo. Rodríguez-Estrella (2014) identifica que, no sudeste da Espanha, o uso intensivo de poços agrícolas levou à subsidência do solo e à salinização de lençóis freáticos. Ibáñez, Valderrama e Puigdefábregas (2008) aplicaram análises de estabilidade de sistemas para demonstrar que o colapso de aquíferos mediterrâneos está diretamente associado à expansão agrícola sem mecanismos de governança integrada, entendida como a articulação entre políticas de recursos hídricos, uso do solo, planejamento agrícola e participação dos usuários na gestão do recurso. Da mesma forma, Esteller e Diaz-Delgado (2002) relataram que a superexploração nos altos planaltos do México resultou na degradação ambiental e em perdas econômicas irreversíveis para comunidades rurais dependentes da irrigação subterrânea.

Segundo Chang *et al.* (2017), a conservação das águas subterrâneas deve ser pautada por políticas baseadas em evidências científicas, que conciliem o uso produtivo com estratégias de recarga e monitoramento contínuo. No caso do Território de Irecê, caracterizado por uma formação cárstica do tipo Salitre, Gonçalves e Leal (2018) e Gonçalves *et al.* (2016) destacam a elevada produtividade do aquífero, mas também sua sensibilidade a variações pluviométricas e à contaminação por nitratos. Essa combinação de fatores torna imprescindível a adoção modelo de gestão adaptativa baseados em governança descentralizada e participação social.

### 2.2. Governança hídrica e instrumentos de gestão

A governança das águas subterrâneas tem sido objeto de crescente interesse nas últimas décadas, à medida que se reconhece a necessidade de integrar dimensões técnicas, econômicas e políticas na gestão do recurso. Lin Lawell (2016) argumenta que a eficiência da irrigação, frequentemente promovida como solução para a escassez, pode ser ilusória se não for acompanhada por políticas institucionais que controlem a expansão agrícola e o uso do solo. Pfeiffer e Lin (2014) confirmam, com base em evidências empíricas, que a adoção de tecnologias de irrigação mais eficientes tende a aumentar o consumo total de água quando não há limites regulatórios, um fenômeno conhecido como "paradoxo da eficiência".

Feinerman (1988) propõe que a gestão das águas subterrâneas deve equilibrar eficiência e equidade, evitando que os benefícios econômicos da exploração hídrica se concentrem em grupos específicos. Para ele, instrumentos econômicos como taxas de uso, subsídios à conservação e compensações territoriais podem favorecer uma distribuição mais justa e sustentável dos recursos.

Kemper (2007) reforça que a gestão bem-sucedida de águas subterrâneas depende da integração entre instituições, usuários e instrumentos jurídicos. O autor observa que a maioria dos países em desenvolvimento ainda carece de mecanismos formais de coordenação entre os diferentes níveis de governo, o que resulta em políticas fragmentadas e ineficazes. Frija *et al.* (2015), em estudo sobre o setor de irrigação na Tunísia, demonstraram que o desempenho dos instrumentos de gestão depende não apenas da tecnologia, mas também da legitimidade institucional e da participação dos agricultores nos processos decisórios.

Em contextos semelhantes, White *et al.* (2019) modelaram a eficácia de diferentes cenários de gestão subterrânea e concluíram que os planos de manejo baseados em evidências hidrológicas, aliados a mecanismos participativos, são mais efetivos na redução da superexploração do que políticas centralizadas. Guilfoos, Khanna e Peterson (2016) acrescentam que políticas adaptativas e regionalizadas favorecem a eficiência de longo prazo, sobretudo em ambientes de alta variabilidade climática.

Experiências da Espanha (Rupérez-Moreno *et al.*, 2017) e do Irã (Karimi *et al.*, 2012) reforçam a importância de integrar a gestão hídrica com estratégias de mitigação de emissões e conservação de solo. Já Faysse *et al.* (2011) alertam que, no Magrebe, a ausência de instrumentos participativos leva à resistência local e ao uso informal dos poços, perpetuando a degradação dos aquíferos.

### **2.3. Sustentabilidade territorial e políticas públicas no semiárido**

No Brasil, a Lei nº 9.433/1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, criando mecanismos de descentralização e integração das ações de gestão. Entretanto, conforme Conicelli e Hirata (2017), a aplicação desses princípios no semiárido enfrenta obstáculos relacionados à escassez institucional, à fragmentação de competências e à falta de dados geológicos atualizados.

O conceito de sustentabilidade territorial, conforme Veiga (2019), vai além da preservação ambiental, incorporando dimensões sociais e econômicas no processo de planejamento regional. Em territórios rurais, a gestão integrada das águas subterrâneas é um vetor estratégico para o desenvolvimento sustentável, promovendo segurança hídrica, inclusão produtiva e conservação ambiental.

Monteiro e Cabral (2023) apontam que experiências internacionais bem-sucedidas em governança hídrica como as da Dinamarca, Espanha e Austrália demonstram a eficácia da cooperação interinstitucional e do uso de tecnologias de monitoramento remoto. No semiárido baiano, Evangelista (2021) e Silva, Dourado e Rocha (2021) destacam que políticas como o Projeto Próspera Caatinga têm buscado articular combate à desertificação e uso racional da água, mas ainda carecem de mecanismos permanentes de acompanhamento e avaliação.

Segundo Mammadova e Negri (2024), a sustentabilidade de aquíferos sobre explorados requer uma combinação entre controle técnico (monitoramento, recarga, zoneamento) e mecanismos sociais (educação ambiental, conscientização comunitária e participação nos conselhos gestores). Essa visão está alinhada ao que Custodio (2002) denominou de "governança hidroecológica", em que a gestão das águas subterrâneas é compreendida como parte integrante de um sistema territorial em constante interação com a sociedade e o ambiente.

## **3. METODOLOGIA**

A pesquisa fundamenta-se em uma abordagem qualitativa de caráter analítico e comparativo, baseada em análise documental e revisão da literatura científica sobre gestão de águas subterrâneas no Território de Irecê (BA), sob a perspectiva do desenvolvimento territorial sustentável. A metodologia adotada baseou-se em análise documental, interpretação técnico-analítica de dados hidrogeológicos e revisão bibliográfica internacional, permitindo estabelecer conexões entre as realidades locais e experiências exitosas de governança hídrica em regiões áridas e semiáridas.

### **3.1. Abordagem e delineamento da pesquisa**

O delineamento metodológico foi estruturado em três eixos complementares: (1) diagnóstico hidrogeológico e socioeconômico do território; (2) análise comparativa com casos internacionais de sobre-exploração e gestão adaptativa de aquíferos; e (3) discussão dos resultados à luz da sustentabilidade territorial e das políticas públicas multiescalares.

A análise qualitativa buscou compreender as causas e consequências da exploração intensiva dos recursos subterrâneos, identificando inter-relações entre variáveis naturais (clima, geologia, recarga hídrica) e fatores socioeconômicos (uso agrícola, dependência hídrica, políticas públicas). Essa abordagem é coerente com a perspectiva

defendida por Veiga (2019), que destaca a importância de compreender os fenômenos territoriais a partir de suas múltiplas dimensões ambiental, produtiva e institucional.

O estudo foi desenvolvido em consonância com o paradigma da governança ambiental participativa, conforme defendem Frija *et al.* (2015) e Monteiro e Cabral (2023), priorizando a integração entre conhecimento técnico-científico, atores institucionais e saberes locais. A escolha dessa perspectiva metodológica reflete a natureza interdisciplinar do tema, que envolve aspectos da hidrogeologia, da economia ecológica e do planejamento territorial.

### 3.2. Coleta e análise de dados

Foram analisados documentos técnicos e relatórios provenientes de fontes oficiais, como a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, e o Plano Diagnóstico Produtivo do Território Irecê, desenvolvido no âmbito do Projeto AgroNordeste (ANA, 2021; CBHSF, 2016; UFES, 2022). Esses materiais forneceram informações sobre geologia, disponibilidade hídrica, usos da água e indicadores socioeconômicos.

A base empírica foi complementada por estudos clássicos sobre o aquífero cárstico de Irecê (Ramos *et al.*, 2007; Passos Filho *et al.*, 2018; Gonçalves; Leal, 2018), bem como por publicações científicas recentes sobre processos de superexploração e vulnerabilidade ambiental (Mammadova; Negri, 2024; Dhaouadi *et al.*, 2021; Rodríguez-Estrella, 2014).

Para fins comparativos, foram sistematizadas experiências internacionais documentadas em periódicos de alto impacto:

- a) Espanha e Tunísia, com ênfase em estratégias de gestão integrada e mitigação de sobre-exploração (Frija *et al.*, 2015; Rupérez-Moreno *et al.*, 2017);
- b) Índia e Irã, com foco em políticas de eficiência e instrumentos econômicos de regulação (Narayanamoorthy, 2022; Karimi *et al.*, 2012);
- c) México e Jordânia, que ilustram os impactos sociais e ambientais do colapso de aquíferos (Salameh, 2008; Esteller; Díaz-Delgado, 2002).

Essa triangulação metodológica permitiu confrontar o caso de Irecê com diferentes realidades geográficas e institucionais, assegurando maior consistência analítica à discussão dos resultados.

### 3.3. Procedimentos de análise comparativa

A análise foi conduzida a partir de três dimensões interdependentes:

- a) Dimensão físico-natural: considerou-se a geologia cárstica do Aquífero Salitre, a dinâmica de recarga e as variações piezométricas registradas nos estudos regionais. Foram examinadas as condições de vulnerabilidade e contaminação, especialmente a presença de nitratos e sais (Passos Filho *et al.*, 2018; Oliveira; Negrão; Rocha, 2004).
- b) Dimensão socioeconômica: avaliou-se o padrão de uso da água nas atividades produtivas, o grau de dependência hídrica e as desigualdades territoriais resultantes da distribuição irregular de poços. Dados secundários do Censo Agropecuário (IBGE, 2019) e relatórios da CODEVASF subsidiaram essa etapa.
- c) Dimensão institucional: foram analisados os instrumentos de governança e as políticas públicas em vigor, com destaque para a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) e seus desdobramentos locais. A ausência de mecanismos de controle e fiscalização de poços foi considerada um indicador de fragilidade institucional (Conicelli; Hirata, 2017).

A abordagem comparativa adotada foi inspirada na proposta de Lin Lawell (2016), que enfatiza o papel das instituições e das externalidades na gestão sustentável dos recursos subterrâneos. Segundo a autora, políticas de eficiência só produzem resultados duradouros quando combinadas com instrumentos de governança multiesca-lares e baseadas em evidências científicas.

### 3.4. Limitações e validade da pesquisa

As limitações deste estudo decorrem da escassez de dados atualizados sobre a recarga e o balanço hídrico do aquífero de Irecê, bem como da ausência de medições contínuas do nível freático. Tal lacuna de monitoramento é especialmente preocupante considerando a importância econômica e agrícola da região para o estado da Bahia e para a produção nacional de grãos, o que reforça a necessidade de sistemas permanentes de acompanhamento hidrogeológico. Entretanto, a triangulação entre fontes técnicas e análises comparativas internacionais permitiu mitigar essas lacunas, conferindo validade teórica e empírica aos resultados.

O caráter qualitativo da pesquisa privilegia a profundidade analítica em detrimento da generalização estatística, conforme sugerem Yin (2018) e Stake (2010) em estudos de caso. O método adotado busca compreender a complexidade do fenômeno da superexploração de águas subterrâneas em sua dimensão territorial, social e política integrando ciência, gestão e sustentabilidade.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização hidrogeológica do território de Irecê

O Território de Identidade de Irecê situa-se no centro-norte do estado da Bahia e integra uma das principais zonas cársticas do semiárido nordestino. Segundo a EMBRAPA Territorial (2022), a região apresenta clima semiárido quente e seco, com solos rasos e pedregosos. Villanueva *et al.* (2015) elaboraram o mapa de uso e ocupação dos solos da região, destacando a expansão agrícola sobre áreas de recarga e o consequente aumento da susceptibilidade à contaminação dos aquíferos.

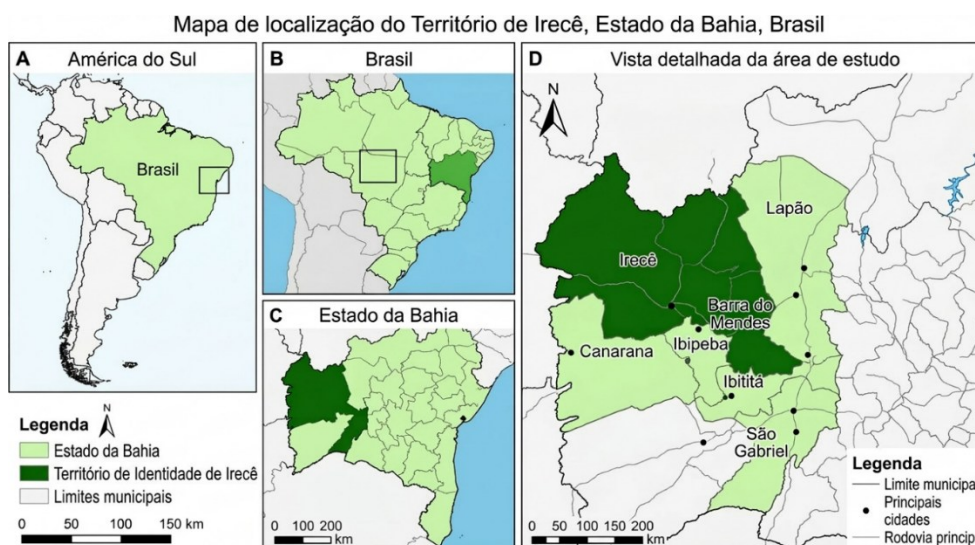


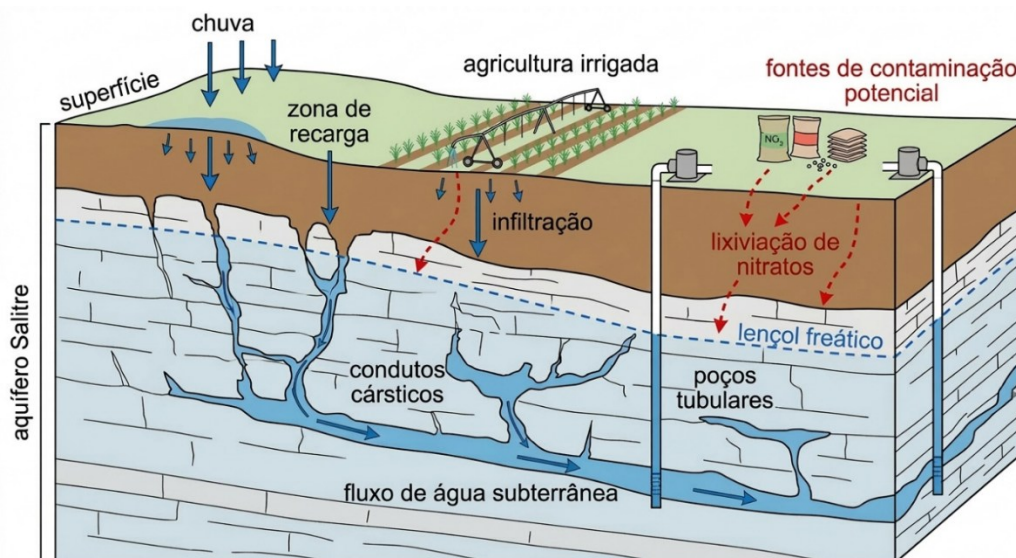
Figura 1. Mapa de localização do Território de Irecê no estado da Bahia, Brasil. Fonte: elaboração própria.

O aquífero predominante no território é o Aquífero Salitre, formado por rochas calcárias e dolomíticas do Grupo Una, caracterizadas por elevada permeabilidade e intensa dissolução cárstica, o que condiciona diretamente os processos de recarga, circulação e armazenamento das águas subterrâneas. Essas características conferem ao sistema elevada produtividade hídrica, mas também elevada vulnerabilidade à contaminação e a rápidas variações nos níveis piezométricos (Gonçalves; Leal, 2018; Ramos *et al.*, 2007).

Segundo o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, a recarga média das sub-bacias hidrográficas do sistema varia entre 22,7 e 71,4 m<sup>3</sup>/s, com fortes oscilações sazonais associadas às irregularidades climáticas típicas do semiárido (CBHSF, 2016). Ramos *et al.* (2007) observaram variações de até 10 m no nível freático entre períodos úmidos e secos, indicando a sensibilidade do sistema às mudanças de uso e cobertura do solo.

Os estudos de Passos Filho *et al.* (2018) indicam que a intensificação do uso das águas subterrâneas no território, associada à expansão de sistemas irrigados voltados à produção de hortaliças, frutíferas e outras culturas comerciais, tem contribuído para o rebaixamento local do lençol freático. Historicamente, a região de Irecê destacou-se

pela produção de feijão em sistemas predominantemente de sequeiro, especialmente entre as décadas de 1980 e 1990, quando se consolidou como um dos principais polos produtores do país. Nas últimas décadas, entretanto, a diversificação produtiva e a maior adoção de sistemas irrigados passaram a exercer maior pressão sobre o aquífero. Embora exista no estado da Bahia um sistema institucional de outorga para o uso de recursos hídricos subterrâneos, estudos recentes apontam desafios relacionados ao monitoramento, à fiscalização e à definição de critérios técnicos para a concessão dessas autorizações, o que pode limitar a eficácia da gestão do recurso (Augusto, 2022). A Agência Nacional de Águas reforça que mais de 60% dos poços ativos na região operam de forma irregular, comprometendo o monitoramento e a gestão integrada dos recursos subterrâneos (ANA, 2021).



**Figura 2.** Esquema hidrogeológico simplificado do Aquífero Salitre no Território de Irecê (BA). Fonte: elaboração própria com base em Ramos et al. (2007) e Gonçalves e Leal (2018).

Custodio (2002) enfatiza que a superexploração de aquíferos deve ser compreendida não apenas como um desequilíbrio físico, mas também como um problema institucional e social, decorrente da ineficiência na governança e do desconhecimento dos limites de recarga. Essa interpretação é plenamente aplicável a Irecê, onde a ausência de instrumentos técnicos e de planejamento territorial tem contribuído para a exploração desordenada dos recursos subterrâneos.

A contaminação por nitratos e sais é outro desafio crescente. Oliveira, Negrão e Rocha (2004) identificaram índices elevados de nitrato em poços rasos, sobretudo nas áreas urbanas de Irecê e Lapão, o que indica infiltração de efluentes domésticos e resíduos agrícolas. Essa degradação da qualidade da água compromete não apenas a segurança hídrica, mas também a saúde pública e a sustentabilidade das atividades agroindustriais locais. De modo semelhante, Luz, Leal e Barreto (2004) aplicaram tratamento estatístico aos dados de poços do Platô de Irecê, confirmando a elevada variabilidade hidroquímica e a necessidade de monitoramento sistemático da qualidade da água.

#### 4.2. Impactos ambientais e vulnerabilidades socioeconômicas

A intensificação da irrigação baseada no uso de águas subterrâneas em Irecê tem ampliado os riscos de salinização e desertificação, fenômenos recorrentes em regiões semiáridas submetidas a pressões antrópicas e a práticas inadequadas de manejo do solo e da água. Estudos de Evangelista (2021) e Silva, Dourado e Rocha (2021) indicam que o avanço da desertificação no Platô de Irecê está associado à exploração hídrica excessiva, à retirada da vegetação nativa e à ausência de práticas conservacionistas de manejo do solo e da água. Além desses fatores, aspectos socioeconômicos também desempenham papel relevante nesse processo. Em diferentes áreas do semiárido nordestino, estudos apontam que parte da renda das famílias agricultoras é complementada pela comercialização de lenha proveniente do corte da vegetação da Caatinga, o que intensifica a pressão sobre os recursos naturais, especialmente em contextos de baixa renda e limitada diversificação produtiva.

No contexto internacional, situações semelhantes foram observadas na Espanha e na Tunísia, onde a intensificação agrícola sem gestão sustentável levou à degradação irreversível de aquíferos. Rodríguez-Estrella (2014) relata que, no sudeste espanhol, a extração intensiva provocou subsidência e aumento da salinidade, reduzindo a produtividade agrícola e comprometendo a renda das comunidades rurais. Já Dhaouadi *et al.* (2021) destacam que, nas regiões oásis da Tunísia, a exploração contínua das águas subterrâneas resultou em redução drástica da qualidade da água e perda de biodiversidade.

Casos da Índia e do Paquistão evidenciam que a superexploração dos aquíferos está intimamente ligada à ausência de instrumentos econômicos e de regulação efetiva. Narayanamoorthy (2022) observa que a expansão da irrigação com uso de água subterrânea na Índia foi estimulada por subsídios à energia elétrica e pela limitada capacidade de controle estatal, resultando em declínio acentuado dos níveis freáticos. Qureshi, Gill e Sarwar (2010) reforçam que a ausência de políticas participativas e a concentração do acesso à água entre produtores de maior capacidade econômica ampliam não apenas as desigualdades sociais, mas também as econômicas. Em muitos contextos rurais, os elevados custos de perfuração e operação de poços tubulares restringem o acesso às águas subterrâneas por pequenos agricultores, reforçando assimetrias no uso do recurso e contribuindo para processos de degradação ambiental associados à exploração intensiva.

No Território de Irecê, a concentração de poços produtivos em propriedades de médio e grande porte reforça a assimetria no acesso à água e contribui para o agravamento das desigualdades socioeconômicas. Segundo dados da CODEVASF (2023) e do Censo Agropecuário (IBGE, 2019), cerca de 70% das famílias agricultoras dependem de fontes hídricas de terceiros ou de cisternas sazonais, o que limita sua capacidade produtiva. Esse cenário evidencia que o acesso às águas subterrâneas está frequentemente condicionado à capacidade econômica de investimento na perfuração e operação de poços tubulares. Como consequência, produtores com maior disponibilidade de capital tendem a concentrar o uso desse recurso, o que, na ausência de mecanismos eficazes de controle e regulação, pode intensificar a pressão sobre o aquífero e ampliar as desigualdades no acesso à água.

Estudos de Lopes *et al.* (2020), conduzidos em comunidades rurais do semiárido, demonstram que o uso de poços tubulares representa não apenas uma alternativa de subsistência, mas também um indicador de vulnerabilidade e desigualdade no acesso à água. Esse cenário evidencia a necessidade de políticas públicas que, simultaneamente, ampliem o acesso às águas subterrâneas para agricultores que ainda não dispõem desse recurso e estabeleçam mecanismos de controle e regulação para evitar o consumo excessivo por parte de usuários já consolidados. Tal equilíbrio é fundamental para promover maior equidade no acesso à água e assegurar a sustentabilidade do uso dos aquíferos.

As limitações

### 4.3. Governança, políticas públicas e desafios institucionais

A governança das águas subterrâneas em Irecê apresenta um quadro de fragmentação institucional e baixa integração entre políticas setoriais. A Lei nº 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, prevê a gestão descentralizada e participativa, mas, na prática, sua implementação no semiárido enfrenta limitações técnicas, orçamentárias e institucionais (Conicelli; Hirata, 2017). Além desses fatores, a dinâmica de acesso aos recursos hídricos também está associada a relações de poder e à capacidade de determinados atores de acessar políticas de financiamento, crédito rural ou apoio institucional para perfuração e operação de poços tubulares. Nesse contexto, programas de crédito e iniciativas de apoio técnico podem, direta ou indiretamente, influenciar a distribuição do acesso às águas subterrâneas e a intensidade de sua exploração.

Segundo Lin Lawell (2016), políticas públicas eficazes devem articular instrumentos econômicos, normativos e participativos, assegurando o equilíbrio entre eficiência e equidade. Essa perspectiva é corroborada por Guilfoos, Khanna e Peterson (2016), para os quais a eficácia das políticas de gestão depende da existência de incentivos que orientem o comportamento dos usuários, aliando controle à corresponsabilidade.

Frija *et al.* (2015) demonstraram, na Tunísia, que mecanismos participativos de regulação como associações locais de usuários e conselhos de bacia são fundamentais para garantir o cumprimento das metas de sustentabilidade. A ausência de arranjos institucionais semelhantes em Irecê dificulta o acompanhamento das captações subterrâneas e limita a formulação de políticas de gestão de longo prazo. Além das fragilidades técnicas e institucionais, a literatura sobre governança de recursos naturais destaca que assimetrias de poder entre diferentes atores sociais

podem influenciar os processos decisórios e o acesso aos recursos hídricos, favorecendo grupos com maior capacidade econômica ou política de incidência nas políticas públicas.

Estudos recentes apontam que o fortalecimento das capacidades institucionais locais é decisivo para o enfrentamento do problema. Monteiro e Cabral (2023) destacam que experiências internacionais bem-sucedidas, como as da Austrália e da Dinamarca, baseiam-se em sistemas integrados de monitoramento, transparência na outorga e uso de tecnologias de sensoriamento remoto. Tais mecanismos permitem ajustar o uso da água em tempo real, prevenindo o esgotamento dos aquíferos.

No caso de Irecê, recomenda-se a criação de um Sistema Territorial de Monitoramento Hidrogeológico, com dados públicos e acessíveis, articulado entre a ANA, a EMBASA, a CERB e os comitês de bacia. Essa medida possibilitaria o acompanhamento contínuo do comportamento piezométrico e da qualidade da água, promovendo o controle social e a governança adaptativa, conforme sugerido por Pereira, Abreu e Murillo-Bermúdez (2024).

#### 4.4. Síntese interpretativa e comparação internacional

A análise dos resultados revela que o Território de Irecê compartilha características comuns com outras regiões semiáridas do mundo, como forte dependência dos recursos subterrâneos, baixa recarga natural, intensificação da irrigação e fragilidades institucionais na gestão hídrica. Segundo Custodio (2002), tais condições configuram o que ele denomina sobre-exploração estrutural, um processo em que a pressão socioeconômica supera a capacidade de gestão e regeneração do sistema hídrico. Entretanto, a literatura internacional indica que os impactos e as respostas institucionais a esse fenômeno variam significativamente conforme o contexto socioeconômico e político. Em países com maior equilíbrio na distribuição de renda, terra e poder político, como Austrália, Dinamarca, Espanha e regiões agrícolas da Califórnia, os mecanismos de governança tendem a ser mais estruturados e capazes de implementar políticas de controle e monitoramento dos aquíferos (Rupérez-Moreno *et al.*, 2017). Em contraste, em contextos marcados por maiores desigualdades socioeconômicas, como em partes do sul da Ásia e em algumas regiões do semiárido brasileiro, a gestão das águas subterrâneas enfrenta desafios adicionais relacionados ao acesso desigual aos recursos e à limitada capacidade institucional (Narayanamoorthy, 2022; Qureshi, Gill; Sarwar, 2010).

Comparativamente, os casos da Espanha (Rupérez-Moreno *et al.*, 2017) e da Tunísia (Frija *et al.*, 2015) demonstram que políticas integradas e descentralizadas com monitoramento constante, participação social e estímulo à eficiência produtiva são fundamentais para a reversão desse quadro. No Brasil, a adaptação dessas estratégias exige o fortalecimento institucional, maior transparência na gestão dos recursos hídricos e a valorização do conhecimento técnico-científico. Entretanto, tais medidas precisam estar articuladas com mecanismos de governança descentralizada e participativa, envolvendo usuários da água, organizações locais e instituições públicas nos processos de tomada de decisão, conforme preconiza a Política Nacional de Recursos Hídricos e destacam Monteiro e Cabral (2023).

O caso de Irecê, portanto, ilustra um dilema recorrente em regiões agrícolas dependentes de águas subterrâneas: a necessidade de conciliar a produção agropecuária com a conservação de um recurso hídrico estratégico e limitado. Embora esse desafio seja particularmente evidente no semiárido brasileiro, situações semelhantes também são observadas em outras regiões agrícolas intensivas do país, como áreas do MATOPIBA, do Oeste Baiano, da Chapada do Apodi e das bacias dos rios Grande e Paranapanema, onde a expansão da irrigação tem ampliado a pressão sobre os aquíferos. Nesse contexto, a sustentabilidade das águas subterrâneas depende da capacidade de construir políticas públicas de longo prazo, apoiadas por ciência, inovação e mecanismos de governança territorial integrada, entendida como a articulação entre instituições públicas, usuários da água, políticas setoriais e instrumentos de gestão capazes de equilibrar produção agrícola, conservação ambiental e equidade no acesso aos recursos hídricos.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise realizada evidencia que as águas subterrâneas do Território de Irecê desempenham papel estratégico na sustentabilidade socioeconômica e ambiental da região, constituindo a principal fonte hídrica para abasteci-

mento humano, irrigação e atividades agroindustriais. Contudo, os resultados apontam para um quadro progressivo de superexploração associado à intensificação da agricultura irrigada, à perfuração desordenada de poços e à fragmentação institucional entre os órgãos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos.

O Aquífero Salitre, embora reconhecido por sua elevada produtividade hídrica, apresenta vulnerabilidades típicas de sistemas cársticos, como rápida circulação da água, baixa capacidade de retenção e alta suscetibilidade à contaminação. Essa condição amplia os riscos associados à exploração intensiva e reforça a necessidade de estratégias de gestão baseadas em monitoramento hidrogeológico contínuo, planejamento territorial e regulação efetiva do uso da água.

A comparação com experiências internacionais demonstra que a superexploração de aquíferos é um fenômeno recorrente em regiões semiáridas dependentes da irrigação. Nesses contextos, a sustentabilidade hídrica depende da combinação entre instrumentos institucionais de regulação, participação social e inovação tecnológica na gestão dos recursos naturais (Custodio, 2002; Rupérez-Moreno *et al.*, 2017).

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a gestão sustentável das águas subterrâneas no Território de Irecê requer o fortalecimento da governança hídrica, a ampliação do monitoramento do aquífero e a integração entre políticas públicas de recursos hídricos, agricultura e desenvolvimento territorial. Essas medidas são essenciais para equilibrar o uso produtivo da água com a conservação ambiental e para garantir maior equidade no acesso aos recursos hídricos.

Nesse sentido, recomenda-se a implantação de sistemas territoriais de monitoramento hidrogeológico, o fortalecimento de mecanismos participativos de governança e o desenvolvimento de políticas públicas baseadas em evidências científicas. Tais iniciativas podem contribuir para a construção de um modelo de gestão hídrica mais sustentável, capaz de conciliar produção agrícola, segurança hídrica e preservação ambiental no semiárido brasileiro.

## **Recomendações para pesquisas futuras**

Com vistas à ampliação do conhecimento científico e ao aprimoramento das políticas públicas, recomenda-se que futuras pesquisas:

- a) realizem monitoramento piezométrico sistemático e geoespacial das áreas de recarga;
- b) desenvolvam modelos de simulação de cenários de uso do aquífero sob diferentes condições climáticas;
- c) investiguem instrumentos econômicos de regulação aplicáveis ao contexto brasileiro, com base em experiências da Europa e do norte da África; e
- d) ampliem os estudos sobre educação ambiental e participação social como pilares da governança territorial hídrica.

Como salientam Veiga (2019) e Monteiro e Cabral (2023), a superação dos desafios ambientais no semiárido depende da integração entre ciência, política e sociedade um trinômio indispensável para a sustentabilidade e a justiça hídrica no século XXI.

## **AGRADECIMENTOS**

O estudo contou com o apoio do Escritório de Apoio Técnico de Irecê (CODEVASF/2ª SR), e do Projeto AgroNordeste, cujos dados e registros de campo contribuíram para a análise hidrogeológica e territorial. Reconhece-se, ainda, o trabalho de pesquisadores e instituições que produzem conhecimento sobre os aquíferos do semiárido e fortalecem a construção de políticas públicas sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

- ANA. **Atlas das águas subterrâneas do Brasil**. Brasília: ANA, 2021.
- AUGUSTO, Vitor Afonso. **Gestão e regulação do uso de águas subterrâneas no semiárido brasileiro: desafios institucionais e perspectivas para a governança hídrica**. 2022. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2022.
- BISWAS, Asit K.; TORTAJADA, Cecilia. Groundwater: an unseen, overused and unappreciated resource. **International Journal of Water Resources Development**, [s. l.], v. 40, n. 1, p. 1–6, 2024.
- CBHSF. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco**. Brasília: CBHSF, 2016.
- CHANG, Fi-John *et al.* Conservation of groundwater from over-exploitation: scientific analyses for groundwater resources management. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 598, p. 828–838, 2017.
- CODEVASF. **Relatório técnico sobre recursos hídricos e agricultura irrigada no Território de Irecê**. Brasília: CODEVASF, 2023.
- CONICELLI, Bruno; HIRATA, Ricardo. Novos paradigmas na gestão das águas subterrâneas. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, ed. esp., p. 1–18, 2017.
- CUSTODIO, Emilio. **The complex concept of overexploited aquifer**. Madrid: Fundación Marcelino Botín, 2000.
- CUSTODIO, Emilio. Aquifer overexploitation: what does it mean? **Hydrogeology Journal**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 254–277, 2002.
- DHAOUADI, Latifa *et al.* Assessment of natural resources in Tunisian oases: degradation of irrigation water quality and continued overexploitation of groundwater. **Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 36, 2021.
- EMBRAPA TERRITORIAL. **Caracterização climática e pedológica do Território de Irecê**. Campinas: EMBRAPA, 2022.
- ESTELLER, Maria Vicenta; DIAZ-DELGADO, Carlos. Environmental effects of aquifer overexploitation: a case study in the highlands of Mexico. **Environmental Management**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 266–278, 2002.
- EVANGELISTA, Antonia dos Reis Salutiano. **Desertificação em paisagem cárstica: uma análise multitemporal no Platô de Irecê, Bahia**. 2021. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.
- FAYSSE, Nicolas *et al.* Agricultural use of groundwater and management initiatives in the Maghreb: challenges and opportunities for sustainable aquifer exploitation. **AFDB Economic Brief**, [s. l.], p. 1–24, 2011.
- FEINERMAN, Eli. Groundwater management: efficiency and equity considerations. **Agricultural Economics**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 1–18, 1988.
- FOSTER, Stephen. **Sustainable groundwater exploitation for agriculture: current issues and recent initiatives in the developing world**. Madrid: Fundación Marcelino Botín, 2000.
- FRIJA, Aymen *et al.* Performance evaluation of groundwater management instruments: the case of irrigation sector in Tunisia. **Groundwater for Sustainable Development**, [s. l.], v. 1, n. 1–2, p. 23–32, 2015.
- GONÇALVES, Thiago dos Santos *et al.* Zoneamento do potencial produtivo no aquífero cárstico da Formação Salitre, na microrregião de Irecê. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, ed. esp., 2016.
- GONÇALVES, Thiago dos Santos; LEAL, Luiz Rogério Bastos. Potencialidades hídricas no aquífero cárstico Salitre na região de Irecê, Bahia. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 32, n. 2, p. 191–199, 2018.
- GUILFOOS, Todd; KHANNA, Neha; PETERSON, Jeffrey M. Efficiency of viable groundwater management policies. **Land Economics**, [s. l.], v. 92, n. 4, p. 618–640, 2016.
- HIRATA, Ricardo *et al.* **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo: IGc-USP, 2019.
- IBÁÑEZ, Javier; VALDERRAMA, Jaime Martínez; PUIGDEFÁBREGAS, Juan. Assessing overexploitation in Mediterranean aquifers using system stability condition analysis. **Ecological Modelling**, [s. l.], v. 218, n. 3–4, p. 260–266, 2008.

- IBGE. **Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.
- KARIMI, Poolad *et al.* Reducing carbon emissions through improved irrigation and groundwater management: a case study from Iran. **Agricultural Water Management**, [s. l.], v. 108, p. 52–60, 2012.
- KEMPER, Karin Erika. **Instruments and institutions for groundwater management**. Washington, DC: World Bank, 2007.
- LIN LAWELL, C.-Y. Cynthia. The management of groundwater: irrigation efficiency, policy, institutions and externalities. **Annual Review of Resource Economics**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 247–259, 2016.
- LOPES, Jéssica Rafaely Almeida *et al.* Águas subterrâneas como alternativa de subsistência em uma comunidade rural no semiárido brasileiro. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 34, n. 2, 2020.
- LUZ, Joana Angélica Guimarães; LEAL, Luiz Rogério Bastos; BARRETO, Félix Silva. Tratamento estatístico dos dados dos poços da região do Platô de Irecê – Bahia. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 18, n. 1, p. 45–58, 2004.
- MAMMADOVA, Lala; NEGRI, Sergio. Understanding the impacts of overexploitation on the Salento aquifer: a comprehensive review through well data analysis. **Sustainable Futures**, [s. l.], v. 7, p. 100188, 2024.
- MONTEIRO, Pedro Benjamin Carreiro Lima; CABRAL, Jaime Joaquim da Silva Pereira. Gestão de águas subterrâneas: o que podemos aprender a partir de modelos internacionais bem-sucedidos? **Estudos Geográficos**, v. 21, n. 3, p. 209–226, 2023.
- NARAYANAMOORTHY, A. Groundwater irrigation in India: development, overexploitation and sustainability. *In: THE IRRIGATION future of India: development, resource and policy*. Cham: Springer, 2022. p. 73–95.
- OLIVEIRA, Iara B.; NEGRÃO, F. I.; ROCHA, T. S. Determinação do índice de qualidade da água subterrânea (IQAS) com base nos dados de poços tubulares do estado da Bahia: áreas piloto Recôncavo e Platô de Irecê. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 18, n. 2, 2004.
- PASSOS FILHO, Roberto Rios *et al.* Caracterização hidrogeológica do município de Irecê, Bahia. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 32, n. 1, 2018.
- PEREIRA, Sueli Yoshinaga; ABREU, Ana Elisa Silva; MURILLO-BERMÚDEZ, Luís Fernando. Segurança das águas subterrâneas: revisão dos estudos nacionais e internacionais. **Derbyana**, São Paulo, v. 45, e807, 2024.
- PFEIFFER, Lisa; LIN, C.-Y. Cynthia. Does efficient irrigation technology lead to reduced groundwater extraction? **Journal of Environmental Economics and Management**, [s. l.], v. 67, n. 2, p. 189–208, 2014.
- PFEIFFER, Lisa; LIN, C.-Y. Cynthia. The effect of irrigation technology on groundwater use. **Choices**, [s. l.], v. 25, n. 3, 2010.
- QURESHI, Asad Sarwar; GILL, Mushtaq A.; SARWAR, Asrar. Sustainable groundwater management in Pakistan: challenges and opportunities. **Irrigation and Drainage**, [s. l.], v. 59, n. 2, p. 107–116, 2010.
- RAMOS, S. O. *et al.* **Variação temporal do nível freático do aquífero cárstico de Irecê - Bahia: contribuição para uso e gestão das águas subterrâneas no semiárido**. Revista Brasileira de Geociências, v. 37, n. 4 (suplemento), p. 227–233, 2007.
- RODRÍGUEZ-ESTRELLA, T. The problems of overexploitation of aquifers in semi-arid areas: characteristics and proposals for mitigation. **Boletín Geológico y Minero**, Madrid, v. 125, n. 1, p. 91–109, 2014.
- RUPÉREZ-MORENO, Carmen *et al.* Sustainability of irrigated agriculture with overexploited aquifers: the case of Segura Basin (SE Spain). **Agricultural Water Management**, [s. l.], v. 182, p. 67–76, 2017.
- SALAMEH, Elias. Over-exploitation of groundwater resources and their environmental and socio-economic implications: the case of Jordan. **Water International**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 55–68, 2008.
- SILVA, Ithany Felipe Alcântara da; DOURADO, Daniela Lopes Oliveira; ROCHA, Ana Karine Loula Torres. **Território de Identidade de Irecê em foco: combate à desertificação através do Projeto Próspera Caatinga**. 2021.
- STAKE, Robert E. **Qualitative research: studying how things work**. New York: Guilford Press, 2010.
- UFES. **Plano Diagnóstico Produtivo do Território de Irecê – PDP AgroNordeste**. Vitória: FEST/UFES, 2022.
- VEIGA, José Eli da. **Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI**. 3. ed. São Paulo: Editora 34, 2019.

VILLANUEVA, T. C. B. *et al.* **Diagnóstico da qualidade das águas subterrâneas e elaboração do mapa de uso e ocupação dos solos na região de Irecê-BA.** *Águas Subterrâneas*, v. 29, n. 1, p. 30–41, 2015.

WHITE, E. K. *et al.* Do groundwater management plans work? Modelling the effectiveness of groundwater management scenarios. **Hydrogeology Journal**, [s, l.], v. 27, n. 7, p. 2447–2470, 2019.

YIN, Robert K. **Case study research and applications: design and methods.** 6. ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2018.