

Mudanças climáticas e aquíferos rasos: relações presentes no Nordeste brasileiro

Laís Bezerra Alves*, Luciana Mayla de Aquino França**, Josiclêda Domiciano Galvêncio***

*Graduanda em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco e-mail:lais.lba@ufpe.br, **Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Pernambuco <lucianamayla@gmail.com>,

***Professora titular do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Pernambuco
josicleda.galvencio@ufpe.br

Received 5 December 2023; accepted 28 December 2023

Resumo

De acordo com os últimos relatórios do IPCC, as mudanças climáticas têm um impacto bastante significativo nas águas subterrâneas, visto que estas são responsáveis pelo abastecimento de água em muitas regiões do planeta, especialmente no Nordeste brasileiro. Diante disso, a presente pesquisa objetivou avaliar os impactos das mudanças climáticas nas águas subterrâneas, com foco nos estudos a respeito da bacia hidrográfica GL2, localizada no litoral do Estado de Pernambuco. Foram selecionados artigos publicados em diversas revistas científicas indexadas entre 2002 e 2023, e que analisaram a localização e distribuição de aquíferos rasos no país e na região Nordeste, bem como seus potenciais hídricos e suas utilizações. Os resultados apontam que as águas subterrâneas desempenham um papel de fundamental relevância em tempos de crise hídrica, de modo que se faz necessário uma reavaliação dos procedimentos atuais de uso e gestão dos recursos hídricos em todo o país.

Palavras-chave: gestão de recursos hídricos; recarga de aquíferos; bacias hidrográficas;

Climate change and shallow aquifers: relationships present in the Brazilian Northeast

Abstract

According to the latest reports from the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), climate change has a very significant impact on groundwater, as these are responsible for the water supply in many regions of the planet, especially in the Brazilian Northeast. Therefore, this research aimed to evaluate the impacts of climate change on groundwater, focusing on studies on the GL2 watershed, located on the coast of the State of Pernambuco. Articles published in several scientific journals indexed between 2002 and 2023 were selected, which analyzed the location and distribution of shallow aquifers in the country and in the Northeast region, as well as their water potential and uses. The results indicate that groundwater plays a fundamentally important role in times of water crisis, so that a reassessment of current procedures for the use and management of water resources throughout the country is necessary.

Keywords: water resources management; aquifer recharge; watersheds;

1. Introdução

As mudanças climáticas vêm avançando em todo o globo e causando consequências devastadoras. Dentre essas consequências, pode-se mencionar as ondas de calor, as secas e as enchentes, que já estão ultrapassando os limites de tolerância e ocorrência, dificultando cada vez mais o gerenciamento destas situações e afetando a vida de bilhões de pessoas e ecossistemas em todo o mundo.

De acordo com os últimos relatórios do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), as mudanças climáticas têm um impacto bastante significativo nas águas subterrâneas, visto

que estas são responsáveis pelo abastecimento de água em muitas regiões do planeta, e que a diminuição de precipitação ou maior nível de evaporação podem diminuir os níveis de recarga, levando a níveis ainda mais baixos de águas subterrâneas disponíveis (ANA, 2016). Segundo Binder (2006), é recomendável o detalhamento de cenários disponíveis das mudanças climáticas para a escala de bacias hidrográficas, em conjunto com modelos hidrológicos a fim de estudar os impactos causados por mudanças climáticas nos recursos hídricos.

Neste contexto, os aquíferos rasos desempenham um papel essencial na hidrografia, pois afetam a disponibilidade de água em

determinadas regiões, influenciando a formação de nascentes, riachos e cursos d'água superficiais. No Nordeste, por exemplo, a diminuição das chuvas resulta em menos água penetrando no solo, podendo haver uma redução de até 70% na recarga dos aquíferos dessa região (CEDEPLAR e FIOCRUZ, 2008). Os aquíferos denominados "rasos" estão localizados em profundidades relativamente pequenas, mais próximos da superfície terrestre em comparação com aquíferos mais profundos, o que significa que os mesmos são afetados mais facilmente por contaminação ou outro uso indevido da água.

Alguns fatores são preocupantes e devem ser considerados em relação aos aquíferos rasos e as mudanças climáticas, como o aumento da demanda de água à medida que as temperaturas continuam a subir, gerando uma exploração mais intensiva das águas, e a alteração da velocidade e fluxo da água, resultando em secas mais prolongadas em algumas áreas e enchentes em outras (IPCC, 2023). Além disso, também é fator de preocupação a questão da qualidade da água subterrânea, visto que os aumentos nas temperaturas podem também acelerar processos de

degradação da qualidade da água, como a liberação de contaminantes de solos e rochas.

Já existem algumas ferramentas que podem auxiliar neste tipo de estudo, uma delas é o SUPER (Sistema de Unidades de resposta hidrológica para Pernambuco), que consiste em um sistema interativo de modelagem hidrológica e de qualidade de água que utiliza como mecanismo de modelagem a Ferramenta de Avaliação do Solo e da Água - _Soil and Water Assessment Tool (SWAT), de modo que é possível simular os efeitos das práticas de gestão baseadas em uma ampla variedade de situações, incluindo possíveis cenários afetados pelas mudanças climáticas e parâmetros de qualidade da água subterrânea.

Dessa forma, a presente pesquisa objetivou avaliar os impactos das mudanças climáticas nas águas subterrâneas, com o propósito de que pudessem ser realizadas previsões a respeito do que será enfrentado na área delimitada de estudo da bacia GL2, visando a aquisição de maiores informações que possam auxiliar na criação e implementação de políticas públicas com foco no planejamento e gestão responsável dos recursos hídricos na área.

Segundo a Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC, 2023) a região em questão, situada na Zona da Mata Sul, apresenta uma área de 1.264,94 km², totalmente inserida no Estado de Pernambuco e correspondendo a um percentual de 1,29% do Estado. Esta bacia possui uma área de drenagem de 1.022,01 km², que abrange 9 municípios, estando Cabo de Santo Agostinho e Jaboatão dos Guararapes totalmente inseridos, Moreno com sua sede no GL2, e Escada, Pombos, Ipojuca, Recife, São Lourenço da Mata e Vitória de Santo Antão, parcialmente inseridos. Os municípios se distribuem espacialmente conforme apresentado na Figura 1.

2. Material e métodos

Localização e caracterização da área

O grupo de bacias de pequenos rios litorâneos 2 – GL2 está localizada no litoral do Estado de Pernambuco, inserida na Unidade de Planejamento Hídrico UP15, entre as coordenadas 08° 02' 42" e 08° 25' 59" de latitude sul, e 34° 52' 27" e 35° 23' 06" de longitude oeste. O GL2 limita-se ao norte com a bacia do rio Capibaribe (UP2), ao sul com a bacia do rio Ipojuca (UP3), a leste com o Oceano Atlântico e a oeste com as bacias dos rios Capibaribe e Ipojuca.

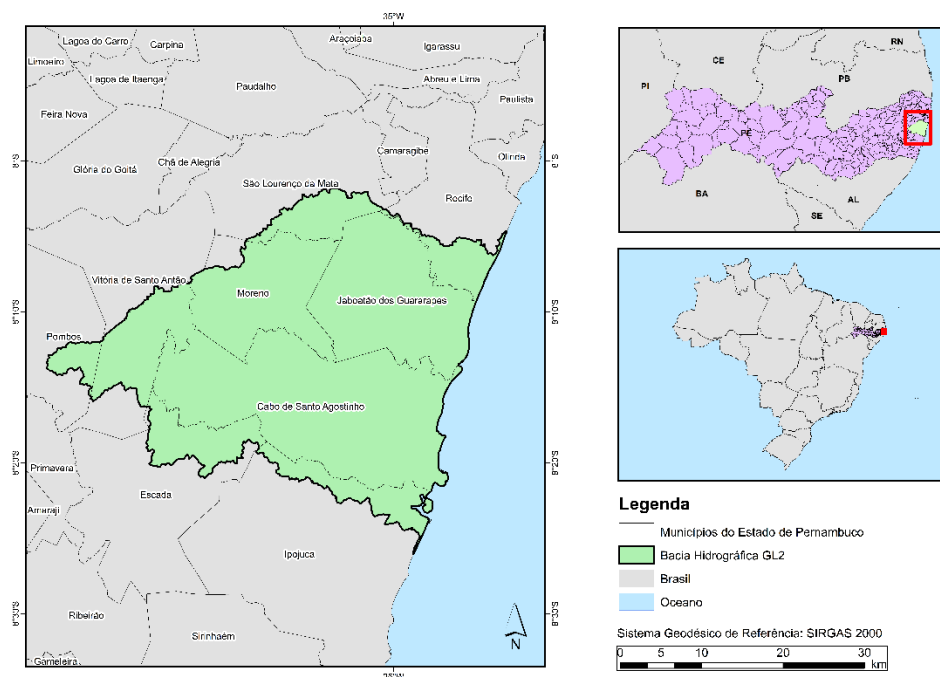


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica de pequenos rios litorâneos (GL2) em Pernambuco, Brasil.

Procedimentos metodológicos

Inicialmente, foi realizado um levantamento bibliográfico para uma aquisição de informações a respeito do tema, com a identificação dos tópicos inseridos mais relevantes para a revisão da literatura adequada. Posteriormente, foram iniciadas buscas que foram realizadas em diferentes bases de dados - IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), ANA (Agência Nacional de Águas), SGB/CPRM (Serviço Geológico do Brasil), APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima), além dos Repositórios Institucionais da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco) e IFPE (Instituto Federal de Pernambuco), entre outras.

Foram selecionados artigos publicados em diversas revistas científicas indexadas entre 2002 e 2023, coletados por meio das bases bibliográficas como Google Scholar, Scopus e Scielo, e que analisaram a localização e distribuição de aquíferos rasos no país e na região Nordeste, bem como seus potenciais hídricos e suas utilizações. Em especial, estudos a respeito da bacia hidrográfica GL2, localizada no litoral do Estado de Pernambuco. Além disso, também foram analisadas as vulnerabilidades em que esses aquíferos estão

inseridos frente às mudanças climáticas, como o impacto das variabilidades de precipitação e temperatura ao longo dos anos.

Após esse processo, foi realizada a identificação e caracterização espacial da bacia hidrográfica GL2. O Sistema de Informação Geográfica utilizado na pesquisa foi o programa livre com código-fonte aberto, QGIS 3.28 Firenze. Por meio do programa, foi possível analisar espacialmente a bacia hidrográfica GL2 em sua totalidade, com todos os dados alinhados para a pesquisa e o desenvolvimento de mapas georreferenciados.

A presente pesquisa seguiu os princípios de uma revisão de literatura, ou seja, com o objetivo fundamental de compactar e sintetizar os conhecimentos que estejam fragmentados e informar e avaliar a literatura que já foi publicada a respeito do tópico abordado. Por meio do método apresentado, a identificação de todas as publicações dentro do período de busca estabelecido, bem como a seleção e a classificação das mesmas em termos de evidência científica foram seguidas de maneira sistemática e padronizada, assegurando o rigor metodológico da presente revisão.

3. Resultados e discussão

O que são aquíferos rasos e onde estão localizados no Brasil

Frente a crise hídrica e preocupação global com o uso e distribuição da água disponível no planeta, os aquíferos são apontados como possível solução provisória para a questão. Eles são caracterizados por apresentar grandes reservas de água infiltradas no subsolo da terra, podendo

fornecer água por longos períodos, mesmo durante a seca e estiagem muito longa e severa, sendo também de fundamental importância para o mantimento dos cursos de água na superfície. Por outro lado, a exploração desenfreada dessas águas

subterrâneas podem causar o rebaixamento do solo e o avanço do mar sobre a superfície de água doce, salinizando a reserva nas áreas litorâneas, como já foi visto em Boa Viagem, no Recife (Figura 2).



Figura 2 - Praia de Boa Viagem recebeu pedras para contenção do mar. A manutenção do enrocamento é feita pela Emlurb. (Foto: Tarciso Augusto/Esp. DP. 2020)

Uma análise feita no ano de 2020 pelos pesquisadores Marco Gomes e Lauro Pereira da Embrapa Meio Ambiente (Jaguariúna, SP), publicada na Revista Científica Núcleo do Conhecimento, explica que existem 37 aquíferos de grande importância mundial, sendo que 21 deles se encontram sob condição de estresse hídrico, ou

seja, com extração de água superior à recarga (GOMES e PEREIRA, 2020).

De acordo com a ANA, aquíferos rasos são formações geológicas que podem armazenar água subterrânea e pode ser definido como aquele cujo topo é demarcado pelo nível freático, confinado por camadas de solos argilosos e orgânicos, onde a água subterrânea está sujeita a pressão atmosférica (Figura 3).

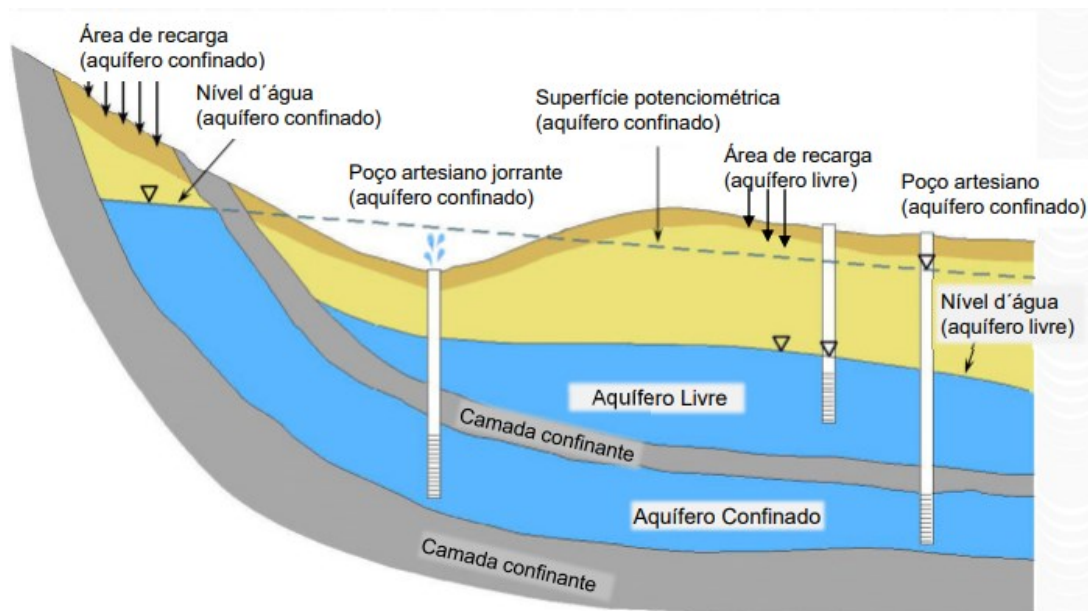


Figura 3 - Representação dos aquíferos quanto a pressão. (Fonte: ANA, 2019)

Os aquíferos rasos são naturalmente mais vulneráveis, visto que pela proximidade com a superfície apresentam níveis de água mais rasos e consequentemente maior facilidade de exploração. Poços de captação muitas vezes são escavados manualmente e é comum a perfuração dos mesmos próximos às áreas de descarga, onde se dá a aluvião de um rio.

Além disso, existe uma interconexão direta entre rio e aquífero, de modo que há a manutenção da perenidade dos corpos superficiais. Sendo assim, os aquíferos livres apresentam maior vulnerabilidade natural às cargas potencialmente contaminantes, recarga maior e mais rápida, interação com as águas superficiais e poços mais rasos e de menor custo (ANA, 2019).

No Brasil, encontram-se duas das maiores reservas de água subterrânea mundiais, os aquíferos Guarani, situado no Centro-sul e que se estende por outros países, e o Alter do Chão, localizado na região Norte. Além destes, temos também outros aquíferos de destaque como o Cabeças, o Urucuiá - situado na região Nordeste, com ocorrência dominante no oeste do Estado da Bahia - o Furnas, Bauru e Serra Geral.

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, o aquífero Guarani, constituído pelas formações Botucatu e Pirambóia, é o maior manancial de água doce subterrânea transfronteiriço do mundo e sua maior ocorrência se dá em território brasileiro (2/3 da área total), abrangendo os Estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Dados divulgados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, que responde pelo

serviço geológico nacional do país, indicam que o Guarani é um aquífero misto, com uma parte superior livre com cerca de 50 metros de espessura e outra parte confinada, correspondendo a aproximadamente 430 metros de espessura. Nota-se na região o uso bastante difundido do abastecimento das comunidades por poços tubulares. O município de Santana do Livramento, por exemplo, tem a totalidade de seu abastecimento de água atendido por captação subterrânea. O estudo analisado ainda indica que o aquífero possui alta vulnerabilidade natural e apresenta elevado risco de contaminação por diferentes cargas poluentes de superfície (CPRM, 2012).

Já o aquífero Alter do Chão é considerado um dos maiores do mundo em volume de água disponível, se configurando como importante reserva de recursos naturais. Está localizado no subsolo dos Estados do Pará, Amapá e Amazonas e compreende um sistema hidrogeológico com propriedades de aquífero livre e confinado e está inserido na Região Hidrográfica Dominante do Amazonas (ANA, 2005). O principal uso para as águas do sistema aquífero Alter do Chão é o abastecimento público. Os grandes volumes de água armazenada e características hidrogeológicas favoráveis à sua exploração constituem um potencial importante para o desenvolvimento da região (CPRM, 2012).

O aquífero Furnas, localizado nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná, é de natureza sedimentar, com porosidade intersticial e ocorre na condição livre e confinada. Abrange principalmente as regiões hidrográficas Tocantins/Araguaia e Paraguai, possuindo área de recarga de 24.894 km² e espessura média de 200 m.

No estado do Paraná, as águas do aquífero Furnas são utilizadas para fins de abastecimento humano, industrial, em irrigação e na dessedentação de animais. (ANA, 2005)

O aquífero Bauru-Caiuá, pertencente à Bacia Sedimentar do Paraná, e que ocorre recobrando o aquífero Serra Geral, abrange além da região oeste de Minas Gerais, parte dos Estados de Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, com área aflorante total de 353.420 km². O aquífero Bauru-Caiuá é do tipo poroso e pode se apresentar na condição de livre a semi-confinado. Cerca de 80% do abastecimento público da região de abrangência do aquífero Bauru-Caiuá é feito através de água subterrânea. Em algumas regiões, o aquífero é intensamente explorado, como por exemplo, na cidade de São José do Rio Preto (SP), em que 70% da população é abastecida por água subterrânea (LIMA e ALMEIDA, 2012).

Aquíferos rasos no Nordeste do Brasil e suas utilizações

Em uma região semiárida como o Nordeste brasileiro, que apresenta altas temperaturas, chuvas escassas e mal distribuídas e longos períodos de estiagem, a utilização dos recursos hídricos subterrâneos se faz de fundamental importância para atividades humanas e desenvolvimento econômico da região. A água subterrânea participa do abastecimento de comunidades rurais do semiárido nordestino, da população urbana de diversas cidades do país - como Fortaleza, Recife, Maceió, entre outras, e irrigação em Mossoró no Rio Grande do Norte (ZOBY e MATOS, 2002).

No Nordeste, destaca-se o aquífero Urucuia, com ocorrência dominante no oeste da Bahia, envolvendo extensa porção da margem esquerda do rio São Francisco, como também o Sistema Aquífero Serra Grande/Pimenteiras/Cabeças, integrante da Bacia do rio Parnaíba que abrange os Estados do Piauí e Maranhão e parte nordeste do Estado do Tocantins.

O aquífero Urucuia é o maior aquífero do país, considerando que o mesmo está totalmente situado em território nacional. Com extensão de aproximadamente 142 mil km², abrange seis estados: Bahia, Minas Gerais, Tocantins, Goiás, Maranhão e Piauí e exerce influência na vazão das bacias dos rios São Francisco e Tocantins. O aquífero Urucuia é um aquífero sedimentar poroso de grande potencial, contribuindo significativamente para a manutenção das vazões

do rio São Francisco, especialmente entre a divisa do estado de Minas Gerais e a montante de Sobradinho (SGB/CPRM, 2023).

Os aquíferos Serra Grande/Pimenteiras/Cabeças oferecem em conjunto uma reserva hídrica de 317 bilhões de m³, uma potencialidade de 6,73 bilhões de m³/ano e uma disponibilidade explorável de 6,19 bilhões de m³ /ano (92% da potencialidade) (COSTA *et al.*, 2012).

No semiárido brasileiro, as águas subterrâneas são amplamente exploradas para atender a demanda das atividades agrícolas. A região do aquífero Urucuia apresenta abundância de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, fornecendo um grande suporte ao desenvolvimento da agricultura, especialmente irrigada. Nas últimas décadas, o processo acelerado da agricultura mecanizada com irrigação permanente vem sendo responsável por gerar um grande desperdício de água, especialmente em culturas de soja, café, arroz e algodão (JUNIOR e LIMA, 2007). Além disso, o Serviço Geológico do Brasil aponta que a grande utilização dos recursos hídricos pode vir a comprometer a manutenção das vazões dos cursos d'água da região, como também as vazões do rio São Francisco e os seus usos como navegação e geração de energia elétrica.

Já o aquífero Serra Grande se encontra na mesorregião Sudeste do Estado do Piauí, onde está inserida parte da área de recarga do aquífero Serra Grande e área de grande exploração do mesmo, correspondendo a um total de 13.856,31 km² (IBGE, 2002). Por meio de estudo sobre o uso e forma de exploração do aquífero Serra Negra realizado por Júnior *et al.* (2003), foi observado que a potencialidade de exploração do aquífero Serra Grande está interligada ao desenvolvimento da região.

A baixa densidade populacional e a falta de industrialização na região reduzem o potencial de degradação ao longo do tempo. Mais da metade dos poços (53,61%) tem como uso primordial atividades de subsistência. A irrigação é o segundo uso preponderante, em 21,17% dos poços. Em 35,52% dos poços analisados, são usados métodos de irrigação artesanais, que na maioria dos casos, apresentam baixa eficiência de aplicação de água (JUNIOR *et al.*, 2003).

Cruz e França (1967) determinaram que o aquífero Serra Grande é apresentado como sendo o principal da região, estando o mesmo confinado pela Formação Pimenteiras. Outros aquíferos, como o Cabeças, possuem uma importância maior na região oeste do estado do Piauí, e os aluviões são representativos no fornecimento de água para as

chamadas “culturas de vazante”. Outros sistemas aquíferos como o Dunas e Barreiras são especialmente importantes na região costeira do Estado do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte para abastecimento humano, com destaque para as cidades de Belém (PA), Fortaleza (CE) e Natal (RN).

A cidade de Natal é abastecida com mais de 70% de água subterrânea, mas atualmente apresenta áreas contaminadas por nitrato que são resultado da ausência de sistema de saneamento com a disposição dos efluentes domésticos no solo. O aquífero Açú é especialmente importante na região de Mossoró (RN) onde ele vem sendo intensamente explorado para abastecimento público, industrial e em projetos de irrigação (ZOBY e MATOS, 2002).

Vidal (2003) demonstrou preocupação com a exploração do aquífero Serra Grande na cidade de Picos, Piauí. Enquanto as condições de recarga são estabelecidas por uma pluviosidade baixa e mal aproveitada, a quantidade de água subterrânea explorada diariamente na zona urbana da cidade é extremamente elevada para as características socioeconômicas do município.

A água subterrânea representa a principal fonte de abastecimento das populações dos estados do Piauí e Maranhão, em especial nas regiões do interior de clima semi-árido em que os rios são praticamente todos intermitentes. No Maranhão, mais de 70% das cidades usam água de poços, e no estado do Piauí esse percentual supera 80% (ZOBY e MATOS, 2002).

Disponibilizado em agosto de 2021, a CPRM afirma por meio de relatório a respeito do uso das águas subterrâneas como reforço no abastecimento público, que as mesmas são de fundamental relevância estratégica para o abastecimento público, principalmente em regiões de domínio das bacias sedimentares, importantes reservatórios de águas subterrâneas, não afetados por sazonalidades de secas, inundações e evaporação, constituindo-se em importantes mananciais para abastecimento da população.

A implementação de programas de monitoramento contribuem para um melhoramento no planejamento, desenvolvimento, proteção e manejo das águas subterrâneas (LÓPEZ e VERA, 2006). No semiárido brasileiro, as águas subterrâneas são amplamente exploradas para atender a demanda das atividades agropecuárias. O uso de água subterrânea em projetos de irrigação, onde a concentração dos agricultores é alto, requer estratégias para o manejo de recursos hídricos com vistas ao uso sustentável (NUNES *et al.*; 2022).

Em estudo realizado a respeito do Sistema Aquífero Urucuia, as características e potencialidades apresentadas conferem ao aquífero uma fonte estratégica de água para abastecimento público e projetos de irrigação. Esse aquífero regional merece atenção especial em função de sua ampla importância como regulador das vazões do rio São Francisco no período de recessão das precipitações. Nas regiões de recarga mais importantes deve ser dada atenção especial na gestão do sistema, principalmente com relação ao risco de poluição, nas áreas de uso agrícola intensivo e zona não saturada pouco profunda e ao risco de sobreexploração, pois as demandas para irrigação são muito elevadas (GASPAR e CAMPOS, 2007).

Em sua tese de doutorado, Vidal (2003) fez uma análise a respeito da disponibilidade e gerenciamento sustentável do aquífero Serra Grande no município de Picos (PI), o único na região com capacidade para atender as demandas futuras da população na área. O maior problema na região é a elevada diferença entre o volume de água produzido e a recarga do referido aquífero, atendida por recursos armazenados ou incorporados ao sistema com sua exploração.

Enquanto as condições de recarga são estabelecidas por uma pluviometria baixa e mal aproveitada, a quantidade de água subterrânea produzida diariamente na área estudada é da ordem de 430 litros por habitante, número extremamente elevado para as características socioeconômicas do município. Considerando que um volume de 200 litros seria bastante satisfatório para atender a população, concluiu-se que mais de 50% dos recursos explorados são mal utilizados na cidade (VIDAL, 2003).

Com base no estudo realizado, a principal conclusão foi a de que há a necessidade de um programa de gerenciamento sustentável para o aquífero Serra Grande no município de Picos, que racionalize o uso da água e preserve os recursos disponíveis.

Importância da bacia hidrográfica GL2 e impactos que as mudanças climáticas podem causar em aquíferos localizados em áreas metropolitanas

No Dia Mundial da Água de 2022, o relator especial da ONU para os direitos humanos à água potável e ao saneamento, Pedro Arrojo Agudo, emitiu uma declaração em que afirma que os maiores riscos sociais decorrentes das mudanças climáticas são e serão gerados em torno da água. Além disso, Agudo constata que perante a

crescente variabilidade climática, a chave das estratégias de adaptação reside no reforço da resiliência do ciclo da água, recuperando e conservando a funcionalidade dos ecossistemas mais inerciais do ciclo da água: zonas húmidas, ecossistemas ribeirinhos, leitos fluviais e, sobretudo, aquíferos subterrâneos.

Em especial, aquíferos localizados em áreas metropolitanas necessitam de estudo e regulamentação de uso mais incisivos, pois são responsáveis por fornecer água potável para diversas cidades e regiões densamente povoadas. No entanto, a exploração excessiva e a poluição podem ameaçar a qualidade e a disponibilidade dessa fonte de água.

A Região Metropolitana do Recife (RMR) (Figura 4) está localizada em uma Planície Deltáica, cujos sedimentos têm origens diversas: Fluvial, Marinho, Coluvial, Mangues, etc., que recobrem as bacias sedimentares costeiras Pernambuco (a norte) e Cabo (a sul), separadas pelo divisor estrutural Lineamento Pernambuco. Sendo assim, se desenvolveram aquíferos com características hidrodinâmicas distintas e que, através dos mesmos, principalmente a partir da década de 90, vêm contribuindo de maneira emergencial para o fornecimento de água para a capital de Pernambuco (Borba et al., 2010).

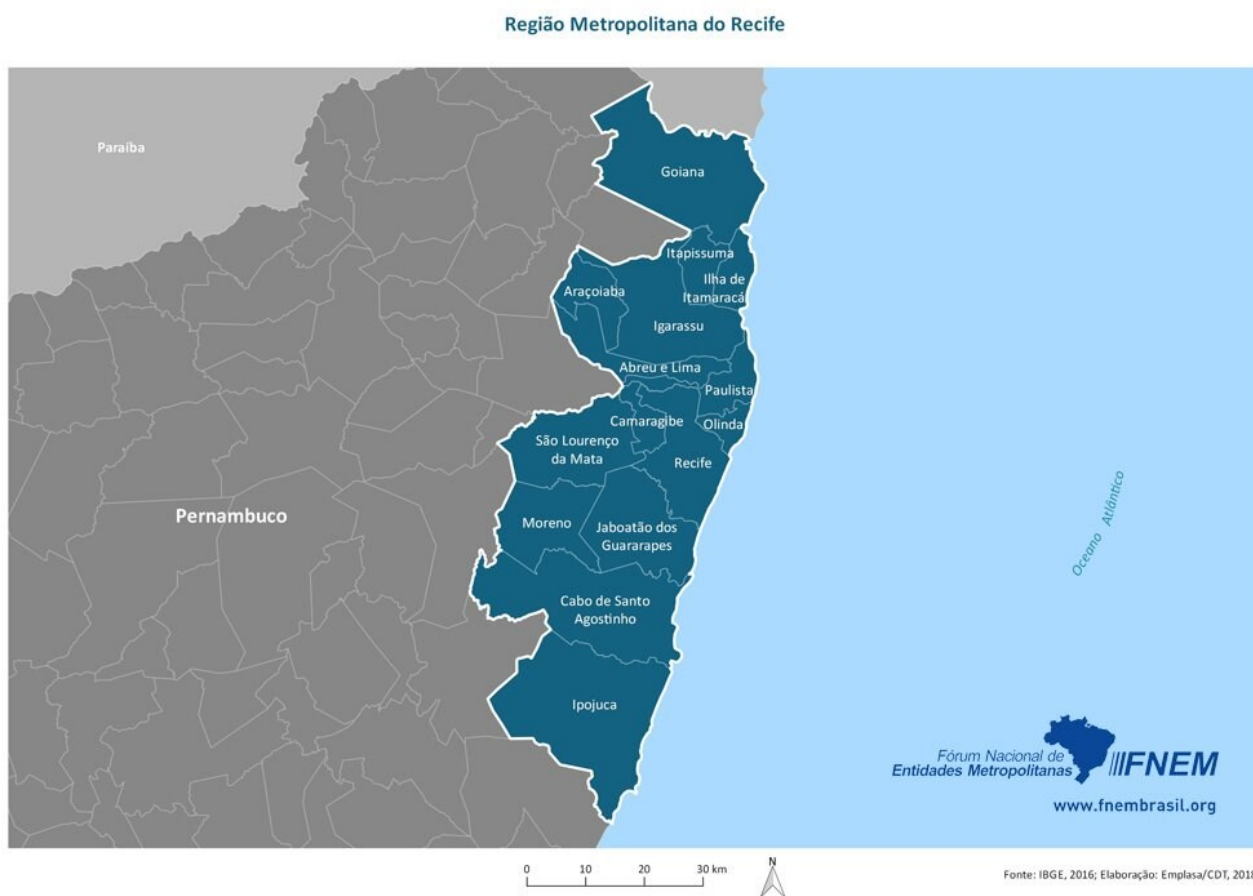


Figura 4 - Fonte: IBGE, 2016. Elaboração: Emplasa/CDT, 2018.

Em termos de recursos hídricos, a RMR apresenta um quadro de sustentação hídrica baseada predominantemente na captação de águas superficiais de vários reservatórios, e complementada através de aquíferos que se estendem por toda a faixa costeira do Estado.

O grupo de bacias de pequenos rios litorâneos 2 – GL2 é formado por rios que desembocam no Oceano Atlântico. Sua rede hidrográfica é composta basicamente pelos rios

Jaboatão e Pirapama, com seus afluentes, à exceção de suas porções nordeste e sudeste, que são representadas pelos estuários dos rios Tejiú e dos rios Massangana e Tatuoca, respectivamente.

O rio Jaboatão é considerado o principal do grupo GL2 e tem sua nascente localizada no município de Vitória de Santo Antão. Esta nascente está inserida numa região onde predomina a cultura da cana-de-açúcar. Esse rio apresenta margens intensamente ocupadas pela cana-de-açúcar até a

confluência com o seu principal afluente, o rio Duas Unas, no município de Jaboatão dos Guararapes (APAC, 2019).

A bacia do rio Jaboatão, uma das mais importantes do Estado e que apresenta caráter fortemente metropolitano, conta com um grande número de indústrias e consequentemente sofre com fontes poluidoras, como o despejo de líquidos industriais. Segundo pesquisa realizada por Moreira (2007), do total de indústrias existentes na bacia hidrográfica do rio Jaboatão, 75% geram efluentes sanitários e 25% geram efluentes industriais e sanitários. Destas, 14% são localizadas no distrito industrial de Jaboatão dos Guararapes; 8% possuem sistemas de tratamento específico para cada tipologia industrial; e 2% das indústrias são do setor sucroalcooleiro e utilizam o processo de fertirrigação para tratamento do vinhoto e água de lavagem de cana.

Destaca-se na ainda bacia o reservatório Duas Unas, que é responsável por grande parte do abastecimento da Região Metropolitana do Recife. Apesar de sua importância, este reservatório também tem sua margem ocupada pelo cultivo da cana, caracterizando a degradação da vegetação nativa da região.

O Rio Pirapama nasce no município de Pombos (Mesorregião do Agreste Pernambucano), a cerca de 450 metros de altitude e percorre aproximadamente 71 km até seu exutório, no estuário do rio Jaboatão, ocupando grande destaque no grupo GL2. Tem como principais afluentes, pela margem esquerda, rio Araribe, rio Cajabuçu, arroio Dois Rios e rio Gurjaú. Este último é o mais importante, por possuir o manancial que abastece Jaboatão dos Guararapes e Cabo de Santo Agostinho (PERNAMBUCO, 2011).

O Sistema Pirapama, localizado no Cabo de Santo Agostinho, na RMR, é o maior sistema de abastecimento de água de Pernambuco e um dos maiores do Brasil. O projeto do Sistema Pirapama foi executado em três etapas, sendo a última finalizada em novembro de 2011. O novo sistema produz 5.130 litros de água (5,13 m³ água/segundo), o que representa um incremento de 50% da produção de água da RMR. Foram beneficiadas cerca de 3 milhões de pessoas no Recife, Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho e, indiretamente, as cidades de São Lourenço da Mata e Camaragibe (COMPESA, 2018).

O Diagnóstico Ambiental Integrado da Bacia do Pirapama (Gama, 1999) descreve que dentre os diversos aspectos de poluição ambiental verificado na bacia, destaca-se o lançamento de resíduos industriais, provocando danos ambientais

devido a agressão de seus efluentes e dos resíduos agrícolas pelo elevado potencial poluidor, associado às dificuldades de controle e fiscalização pelo órgão estadual ambiental, o que permite que seja colocado como o setor de maior ameaça à manutenção da qualidade da água do rio Pirapama.

O cenário predominante nas margens dos rios Jaboatão e Pirapama resume-se a duas situações: na primeira, antes dos centros urbanos, as APPs são ocupadas por cana-de açúcar ou policulturas; na segunda, a partir dos centros urbanos, suas margens passam a ser ocupadas por habitações e, em alguns locais, por indústrias (APAC, 2019).

Segundo estudo realizado por Silva et al (2019), a respeito dos aspectos e impactos ambientais após implantação da refinaria de petróleo ao longo do litoral de Ipojuca e Cabo de Santo Agostinho, foi verificada a forte ocorrência de evolução antrópica cada vez mais próxima da área fluvial e das áreas com o qu ebra mar natural. Ressalta-se também no estudo que a presença de solo exposto, em ambientes que apresentam variados tipos de vegetação e áreas fluviais, mostra que o ambiente sofreu uma intervenção antrópica apresentando problemas socioambientais. Nas áreas onde há cada vez mais construção em meio natural há suscetibilidade de vulnerabilidade à erosão.

De acordo com o banco de dados da bacia hidrográfica GL2 adquirido por meio de pesquisa realizada por Costa e Rodrigues (2022), a geomorfologia da bacia hidrográfica GL2 pode ser caracterizada por Água, Área Urbana, Planícies marinhas e fluviomarinhas, Serra e serrotes, superfícies dissecadas rebaixadas, superfícies remobilizadas e várzeas e terraços aluviais. As classes de solos da Bacia Hidrográfica GL2 são caracterizadas por: Área Urbana, Argissolo Amarelo, Espodossolo Ferrihumiluvico Hidromorfo, Gleissolo Haplico, Latossolo Amarelo, Neossolo Quartzarenico, Nitossolo Vermelho, Solos de mangue.

A cobertura vegetal é disposta da seguinte maneira: Floresta Ombrófila Aberta, Áreas das Formações Pioneiras, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Densa. Em relação à densidade vegetacional, houve diminuição na bacia e um aumento da classe de corpos hídricos principalmente devido a criação da barragem Pirapama. A região apresenta clima quente e úmido, com um período chuvoso extenso, com pelo menos seis meses de duração, que vai de março a agosto e o seu período seco de setembro a fevereiro. Em termos de distribuição de chuvas, 75% a 80% concentram-se nos meses chuvosos,

enquanto 20% a 25% no período seco. Com relação às precipitações totais nas bacias, as mesmas chegam aproximadamente em cerca de 2000 mm anuais (Costa e Rodrigues, 2022).

Ainda de acordo com os autores, a bacia hidrográfica GL2 tem relevante importância para Pernambuco uma vez que sofre influência antrópica da Região Metropolitana do Recife. O IPCC alerta que a capital pernambucana é a 16ª cidade mais ameaçada do mundo por alterações do meio ambiente. As mudanças climáticas trazem diversos riscos para a cidade litorânea e seus habitantes, como o aumento do nível médio do mar, as inundações, os deslizamentos, o aumento de vetores de doenças transmissíveis, as ondas de calor e a desertificação (UNICEF, 2023).

O impacto esperado das alterações climáticas de longo prazo sobre os aquíferos brasileiros para 2050 vai levar a uma severa redução em 70% da recarga nos aquíferos da região Nordeste (comparando aos valores de 2010). As mudanças climáticas podem afetar a recarga do aquífero e a descarga superficial. A elevação da temperatura tem o potencial de reduzir a vazão total em função da elevação da evapotranspiração, bem como a vazão devido à redução do excesso de água (HIRATA e CONICELLI, 2012).

4. Conclusões

Diante de todo o exposto, fica comprovado que as águas subterrâneas desempenham um papel de fundamental relevância em tempos de crise hídrica. Em face do aumento da demanda de uso dos recursos hídricos, onde o comprometimento das reservas superficiais já demonstram avançada degradação, o uso dos aquíferos subterrâneos se intensificaram como um meio de substituição da reserva estratégica principal, especialmente para atender as demandas de abastecimento de água e irrigação nas produções agrícolas no país.

Constata-se também que o esgotamento de aquíferos por superexploração - extração de água subterrânea que ultrapassa os limites de produção das reservas reguladoras do aquífero - é uma realidade possível e fator preocupante frente às mudanças climáticas, desenvolvendo uma relação complexa e interdependente com as variabilidades de precipitação e temperatura, desestabilizando a segurança hídrica e afetando a vida de bilhões de pessoas e ecossistemas. Ademais, a questão da privatização dos recursos subterrâneos que trata o uso das águas como um recurso puramente econômico tem várias implicações contraditórias, como o acesso desigual à água onde grandes

agentes da sociedade civil controlam e monetizam esse acesso.

Em caráter conclusivo, se faz necessário uma reavaliação dos procedimentos atuais de uso e gestão dos recursos hídricos, em especial na região Nordeste, onde os recursos hídricos superficiais se encontram limitados. A mesma utiliza em larga escala os reservatórios de águas subterrâneas para atividades humanas e de desenvolvimento econômico na região e a água subterrânea se faz fundamental para a produção de alimentos, particularmente necessária aos pequenos produtores rurais. O uso dos aquíferos para o atendimento das necessidades básicas humanas e de produção, bem como a universalização desse acesso deve se tornar prioridade na gestão desses recursos.

Além disso, a região Nordeste, também é uma das que mais sofre com a falta de planejamento urbano e a existência de um índice elevado de pobreza. A vulnerabilidade do Nordeste brasileiro, somado a má governança pública são questões que colaboram para a maximização dos impactos das mudanças climáticas.

Agradecimentos

O presente estudo só se fez possível por meio da estrutura da Universidade Federal de Pernambuco, e em especial, do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO), comandado pela professora e orientadora Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio. Agradecemos também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida a primeira autora.

Referências

- Intergovernmental panel on climate change (IPCC). "Climate Change 2023: Synthesis Report". Acesso em: 10 ago. 2023. Disponível em:
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf>
- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima, 2021. Bacias hidrográficas GL-2. Acesso: 10 ago. 2023. Disponível em:
<http://www.apac.pe.gov.br>
- ANA. Agência Nacional das Águas, 2016. Planejamento, manejo e gestão de bacias hidrográficas. Acesso em: 10 ago. 2023. Disponível em:
https://planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias_hidrograficas/planejamento_manejo_e_gestao_unidade_1.pdf

- Gomes, M. A. F. Cenário mundial dos recursos hídricos subterrâneos. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, v. 15, n. 08, p. 79–97, 3 set. 2020. Acesso em: 15 ago. 2023 Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/meio-ambiente/cenario-mundial>
- Mourão, M. A. A.; WREGE, M. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Relatório Diagnóstico: “Sistema Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul”. Vol.16. 2012. Acesso em: 14 ago. 2023 Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/22255/1/sistema_aquifero_guarani_rs.pdf
- Mourão, M. A. A.; JUNIOR, H. R. M. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Relatório Diagnóstico: “Aquífero Alter do Chão no Estado do Pará”. Vol. 7. 2012. Acesso em: 14 ago. 2023. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/22246/1/aquifero_alter_chao_pa.pdf
- Zoby, J. L. G.; MATOS, B. Águas Subterrâneas no Brasil e sua inserção na Política Nacional de Recursos Hídricos. *Águas Subterrâneas*, 26 jul. 2002. Acesso em: 14 ago. 2023. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22634/14858>
- Lima, J. E. S.; Almeida, C. S. C.; Mourão, M. A. A. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Relatório Diagnóstico: “Sistema Aquífero Bauru-Caiuá no Estado de Minas Gerais”. Vol. 13. 2012. Acesso em: 15 ago. 2023. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/22252/1/aquifero_%20bauru_caiua_mg.pdf
- Costa, W. D. et al. A Gestão das Águas Subterrâneas na Região Sudeste do Estado do Tocantins. *Águas Subterrâneas*, 27 jan. 2012. Acesso em: 16 ago. 2023. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27655/17910>
- Andrade J., A. S. de; Silva, E. F. De F.; Silva, A. De S.; Gomes, M. A. F.; Pais, V. De O. Aquífero Serra Grande: uso da água e forma de exploração. Embrapa. 2003. Acesso em: 15 ago. 2023. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131165/1/2003AA012.pdf>
- Nunes, K.G.; et al. Groundwater resources for agricultural purposes in the Brazilian semi-arid region. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 26 (2022): 915-923. Acesso em: 16 ago. 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/FKmb6dx5HDs69WpdGgPShMQ/?format=pdf&lang=en>
- Hirata, R; Conicelli, B. P. Groundwater resources in Brazil: a review of possible impacts caused by climate change. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 84 (2012): 297-312. Acesso em: 16 ago. 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/jKgS5VBVS4MxrmHtsSZ78TB/?lang=en#>
- Vasconcelos, M. B., Luz, C. A., Correia, F. L.; Soares Filho, A. R. (2010). CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Monitoramento de aquíferos: Considerações metodológicas e situações no Nordeste do Brasil. Acesso em: 15 ago. 2023. Disponível em: http://dspace.cprm.gov.br/bitstream/doc/920/1/evento_PAP002493.pdf
- Diniz, H. N. et al. Hidrogeologia de aquíferos rasos: estudo de caso em área de várzea no rio Paraíba do sul, SP. *Águas Subterrâneas*. (2010). Acesso em: 20 ago. 2023. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22891/15037>
- Costa, W. D., et al. A gestão das águas subterrâneas na região Sudeste do Estado do Tocantins. *Águas Subterrâneas* (2012). Acesso em: 20 ago. 2023. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27655/17910>
- Da Costa, F. R., Rodrigues, R. Z. S. Physical characterization using geotechnology in the hydrographic basin of the small litorian rivers group (GL2). *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*. v 12.3 (2022): 88-98. Acesso em: 20 ago. 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.html>
- Vasconcelos, M. B.; Luz, C. A.; Mourão, M. A. A. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Relatório Diagnóstico: “Aquífero Serra Grande”. Vol. 4. 2012. Acesso em: 21 ago. 2023. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/22234/1/aquifero_serra_grande.pdf