

Filipe da Silva Peixoto
Josiel de Alencar Guedes
Alfredo Marcelo Grigio
Gutemberg Henrique Dias
Marco Antonio Diodato
Organizadores

HIDRO GEOGRAFIA

e gestão das águas
no semiárido



Filipe da Silva Peixoto
Josiel de Alencar Guedes
Alfredo Marcelo Grigio
Gutemberg Henrique Dias
Marco Antonio Diodato
Organizadores

HIDRO GEOGRAFIA

e gestão das águas
no semiárido



Mossoró, 2022



Reitora
Cicília Raquel Maia Leite

Vice-Reitor
Francisco Dantas de Medeiros Neto

Diretora de Sistema Integrado de Bibliotecas
Jocelânia Marinho Maia de Oliveira

Diretor da Editora Universitária da UERN – EDUERN
Francisco Fabiano de Freitas Mendes

Chefe do Setor Executivo da Editora Universitária da UERN - EDUERN
Jacimária Fonseca de Medeiros

Chefe do Setor de Editoração da Editora Universitária da UERN - EDUERN
Emanuela Carla Medeiros de Queiros

Conselho Editorial das Edições UERN

Edmar Peixoto de Lima
Filipe da Silva Peixoto
Francisco Fabiano de Freitas Mendes
Isabela Pinheiro Cavalcanti Lima
Jacimária Fonseca de Medeiros
José Elesbão de Almeida
José Cezinaldo Rocha Bessa
Maria José Costa Fernandes
Kalidia Felipe de Lima Costa
Regina Célia Pereira Marques

Diagramação e capa:
André Duarte da Silva



Catalogação da Publicação na Fonte.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

Hidrogeografia e Gestão das Águas no Semiárido [recurso eletrônico]. /
Filipe da Silva Peixoto, Josiel de Alencar Guedes, Alfredo Marcelo Grégio,
Gutemberg Henrique Dias, Marco Antonio Diodato (orgs.). – Mossoró, RN:
Edições UERN, 2023.

207 p.

ISBN: 978-85-7621-417-5 (E-book).

1. Geociências. 2. Geografia Física. 3. Hidrogeografia. I. Universidade do
Estado do Rio Grande do Norte. II. Título.

UERN/BC

910 .02 CDD

“José Arcadio Buendía, que era o homem mais empreendedor que se poderia ver na aldeia, determinara de tal modo a posição das casas que a partir de cada uma se podia chegar ao rio e se abastecer de água com o mesmo esforço; e traçara as ruas com tanta habilidade que nenhuma casa recebia mais sol que a outra na hora do calor. Dentro de poucos anos, Macondo se tornou uma aldeia mais organizada e laboriosa que qualquer das conhecidas até então pelos seus 300 habitantes. Era na verdade uma aldeia feliz, onde ninguém tinha mais de trinta anos e onde ninguém ainda havia morrido”

(Gabriel Garcia Márquez, 1977) – Cem anos de Solidão

SUMÁRIO

07 APRESENTAÇÃO

11 PREFÁCIO

17 **CAPÍTULO 1**
Áreas úmidas, cobertura vegetal e áreas produtivas no semiárido
Marco Antonio Diodato,
Alfredo Marcelo Grigio,
João Paulo Silva dos Santos,
Kleisson Eduardo Ferreira da Silva

28 **CAPÍTULO 2**
Recurso hídrico como indicador geobiofísico de desertificação e subsídio à gestão hídrica na sub-bacia hidrográfica do Rio Figueiredo, semiárido cearense do Brasil
Anny Catarina Nobre de Souza,
Sérgio Domiciano Gomes de Souza,
Maria Losângela Martins de Sousa,
Vlândia Pinto Vidal de Oliveira

42 **CAPÍTULO 3**
Rede hidrométrica e a gestão de sistemas fluviais no semiárido brasileiro: das estruturas, aplicações e desafios atuais
Andreza Tatiane Felix Carvalho,
Jacimária Fonseca de Medeiros

55 **CAPÍTULO 4**
Eutrofização e florações de cianobactérias em um reservatório de abastecimento público no semiárido potiguar
Amanda Nogueira Medeiros,
Adjuto Rangel Junior,
Julio Alejandro Navoni

- 68** **CAPÍTULO 5**
Avaliação de impactos ambientais causados pela construção do reservatório de Oiticica – Jucurutu/RN
Mirrayla Campos Feitosa Lacerda,
Ramiro Gustavo Valera Camacho,
Josiel de Alencar Guedes
- 89** **CAPÍTULO 6**
Hidrogeologia da porção oeste da Bacia Potiguar: aspectos quantitativos e problemáticas para gestão da água subterrânea
Filipe da Silva Peixoto,
Gutemberg Henrique Dias
- 113** **CAPÍTULO 7**
Contribuições ao gerenciamento do aquífero aluvionar para irrigação no semiárido
Renata Nayara Câmara Miranda Silveira,
Itabaraci Nazareno Cavalcante,
Filipe da Silva Peixoto
- 124** **CAPÍTULO 8**
Análise de metais pesados nas águas subterrâneas do semiárido baiano – Brasil
Maria da Conceição Rabelo Gomes,
José Ângelo Sebastião Araújo dos Anjos
Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto Melo
- 138** **CAPÍTULO 9**
Açudes, paisagens e territórios no Seridó Potiguar: bases para a gestão das águas
Manoel Cirício Pereira Neto
- 150** **CAPÍTULO 10**
Políticas Públicas e Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Norte: ações governamentais em diferentes períodos
Adriano Lima Troleis,
Lucas Costa Rodrigues,
Bruno Lopes da Silva
- 176** **CAPÍTULO 11**
Gestão da água no contexto da escassez e incertezas associadas ao semiárido caboverdiano
Antônio Pedro Said Aly de Pina,
Itabaraci Nazareno Cavalcante

APRESENTAÇÃO

Assim como a água que flui inexoravelmente pelo seu eterno caminho, formando um ciclo vital para o estabelecimento e manutenção da vida, a inquietação, requisito básico para o pesquisador ou para a pesquisadora, foi a motivação inicial de cada um dos capítulos apresentados nesta obra. Os autores do livro atuam, ao nível de pesquisa, ensino ou extensão no ambiente semiárido, e têm contribuído com relevantes pesquisas que ajudam a entender melhor os hidrossistemas e a relação entre a sociedade e a água no ambiente semiárido.

É dispensável falar da importância deste tema para a sustentabilidade da sociedade que vive, convive e constrói seus significados tão ligados à necessidade qualitativa e quantitativa do recurso hídrico. Em um mundo em que quase 2/3 das pessoas passaram ou passam por situações de escassez hídrica, enfrentando cotidianamente a insegurança de não ter ou verem-se em risco de não disporem de uma fonte segura de água, conhecer os recursos disponíveis e reconhecer a relação da água com a sustentabilidade se torna primordial para o enfrentamento desse quadro caótico. Entretanto, no ambiente semiárido, a vida flui segundo o fluxo da água. A convivência com a escassez e a incerteza qualificam os saberes construídos a partir da experiência de diversas pesquisas realizadas.

Portanto, o contexto de criação dessa obra é envolvido pela atmosfera semiárida, não no que tange a escassez de recursos, mas a abundância criativa e a motivação para prestar dados, informações e reflexões. Essa obra reforça a importância da ciência, mais especificamente da Hidrogeografia como um campo aberto, plural e interdisciplinar da Geografia, que tem contribuído, mas sobretudo contribuirá sobremaneira, na reconstrução da forma como se dá a relação entre a sociedade e a água. Nossa esperança, embrenhada pela perspectiva geográfica, busca contribuir para a solução dos problemas hídricos enfrentados nas regiões semiáridas, o que nos motiva a pesquisar, a escrever e, o mais importante, a colaborar uns com os outros. Essa força nos une na esperança de contribuir com uma distribuição equitativa, sustentável e sobretudo inclusiva de um recurso que não pode ser substituído por nenhum outro.

Essa obra foi concebida a partir de pesquisadores da Universidade do Estado do Rio Grande no Norte – UERN e da Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA no âmbito do Programa de Pós-graduação em Geografia – PPGeo/UERN, contando com a colaboração de outros pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Universidade Federal do Ceará – UFC, Universidade Federal da Bahia – UFBA e do Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos de Cabo Verde.

Os 11 capítulos foram divididos em 3 sessões: Hidrosistemas superficiais; Hidrosistemas subterrâneos e Gestão de recursos hídricos no semiárido.

No capítulo 1, intitulado “Áreas úmidas, cobertura vegetal e áreas produtivas no semiárido”, os autores Marco Antonio Diodato, Alfredo Marcelo Grigio, João Paulo Silva dos Santos e Kleisson Eduardo Ferreira da Silva chamam a atenção para a relação e a interdependência entre o clima, a cobertura vegetal, o solo, a disponibilidade de água e as áreas produtivas no semiárido e a necessidade das políticas públicas de recuperação de ambientes degradados, em especial aqueles atingidos pela desertificação, recrudescendo as áreas produtivas essenciais para o autossustento e dinâmica econômica das regiões semiáridas.

No capítulo 2, “Recurso hídrico como indicador geobiofísico de desertificação e subsídio à gestão hídrica na sub-bacia hidrográfica do Rio Figueiredo, semiárido cearense do Brasil”, os autores Anny Catarina Nobre de Souza, Sérgio Domiciano Gomes de Souza Maria Losângela Martins de Sousa e Vládia Pinto Vidal de Oliveira buscam examinar a disponibilidade hídrica potencial social da sub-bacia hidrográfica do Rio Figueiredo (SBHRF) no estado do Ceará, considerando este como indicador geobiofísico de desertificação e de subsídio à gestão hídrica, contribuindo não só do ponto de vista empírico e local para a bacia do Figueiredo, mas para a construção metodológica a partir de uma análise geográfica integrada entre a disponibilidade de água e diferentes condições de estabilidade ambiental no semiárido.

No capítulo 3, “Rede hidrométrica e a gestão de sistemas fluviais no semiárido brasileiro: das estruturas, aplicações e desafios atuais”, as autoras Andreza T. Felix Carvalho e Jacimária Fonseca de Medeiros trazem um estudo que contribui para o entendimento dos sistemas fluviais do semiárido, sobretudo aqueles de regimes intermitentes e efêmeros. A pesquisa contribui para entender os fundamentos da gestão hídrica descentralizada, nas demandas territoriais de utilização racional e integrada dos recursos hídricos e na transparência e universalização das informações hídricas.

No capítulo 4, “Eutrofização e florações de cianobactérias em um reservatório de abastecimento público no semiárido potiguar”, os autores Amanda Nogueira Medeiros, Adjuto Rangel Junior e Julio Alejandro Navoni estudam a problemática da eutrofização no Açude Itans, um importante reservatório no Seridó potiguar. A pesquisa teve como objetivos caracterizar a qualidade da água do açude Itans com o uso do Índice de Estado Trófico – IET, avaliar a ocorrência quali-quantitativa de cianobactérias e definir os potenciais impactos sanitários atrelados ao estado trófico. Favorecendo, dessa forma, o entendimento da eutrofização como um problema que atinge muitos reservatórios no semiárido, haja visto o aporte de nutrientes provenientes significativamente de fontes antropogênicas.

No capítulo 5, “Avaliação de Impactos Ambientais Causados pela Construção do Reservatório de Oiticica – Jucurutu/RN”, os autores Mirrayla Campos Feitosa Lacerda, Ramiro Gustavo Valera Camacho, Josiel de Alencar Gue-

des avaliam os principais impactos ambientais causados pela construção do reservatório de Oiticica, em Jucurutu/RN, por meio da perspectiva da população que reside no entorno da área. O capítulo, portanto, constitui-se de uma abordagem acerca dos conceitos de Percepção e Paisagem, no âmbito das ciências geográficas e de Impactos Ambientais, sendo este um importante problema a ser estudado, considerando que a ideia de solução hidráulica se perpetua por meio dos planejadores e tem afetado a milhares de pessoas no semiárido nordestino.

No capítulo 6, intitulado “Hidrogeologia da porção oeste da Bacia Potiguar: aspectos quantitativos e problemáticas para gestão da água subterrânea”, os autores Filipe da Silva Peixoto e Gutemberg Henrique Dias realizaram, por meio de um levantamento na literatura científica, a caracterização da hidrogeologia, a mapeação de principais aquíferos e seus aspectos quantitativos, com o objetivo de sistematizar dados para compor um quadro geral das águas subterrâneas no Oeste da Bacia Potiguar. É uma contribuição importante, pois sistematiza dados e gera informações para auxiliar na inserção das águas subterrâneas no processo de gestão e contribui para uma política integrada dos recursos hídricos na região.

No capítulo 7, com título “Contribuições ao gerenciamento do aquífero aluvionar para irrigação no semiárido”, os autores Renata Nayara Miranda Câmara Silveira, Itabaraci Nazareno Cavalcante e Filipe da Silva Peixoto trazem um estudo de caso em que buscaram dimensionar as reservas hídricas da aluvião do Rio Curú, Ceará, na área de abrangência do PICP, estabelecendo diretrizes para a gestão dos aquíferos aluvionares buscando a conservação e uso sustentável das águas subterrâneas. As aluviões que são reservas estratégicas para o abastecimento de múltiplos usos se mostram de extrema importância para a segurança hídrica da produção agrícola no vale do Rio Curú.

No Capítulo 8, “Análise de metais pesados nas águas subterrâneas do semiárido baiano – Brasil”, os autores Maria da Conceição Rabelo Gomes, José Ângelo Sebastião Araújo dos Anjos, Danilo Heitor Caires e Tinoco Bisneto Melo apresentam um estudo no município de Boquira-BA, localizado no semiárido baiano, no qual analisam a qualidade das águas subterrâneas utilizadas para abastecimento humano no município de Boquira, frente a uma possível contaminação natural e/ou antrópica por metais pesados provenientes de atividades de mineração outrora atuantes no município.

No Capítulo 9, “Açudes, paisagens e territórios no Seridó Potiguar: bases para a gestão das águas”, o autor Manoel Cirício Pereira Neto provoca reflexões acerca do papel da açudagem na configuração do espaço regional e da rede hidrográfica, de modo a fornecer possíveis bases subsidiárias para o planejamento e gestão ambiental territorial no Seridó potiguar, em sua bacia hidrográfica e em toda a região semiárida com características semelhantes.

No capítulo 10, “Políticas Públicas e Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Norte: ações governamentais em diferentes períodos”, os autores Adriano Lima Troleis, Lucas Costa Rodrigues e Bruno Lopes da Silva discu-

tem as políticas públicas em diferentes contextos temporais concernentes à gestão dos recursos hídricos e às implementações e demandas de objetos técnicos sobre o semiárido nordestino, pondo em evidência o estado do Rio Grande do Norte (RN). Os autores desenvolveram uma instigante análise da técnica implantada para o controle, acesso e produção de reservas hídricas por meio de reservatórios, adutoras, poços e cisternas e a expressão desses objetos de diferentes escalas e dimensões associados às políticas públicas.

No capítulo 11, “Gestão da água no contexto da escassez e incertezas associadas ao semiárido caboverdiano” os autores Antônio Pedro Said Aly de Pina e Itabaraci Nazareno Cavalcante apresentam um contexto geral dos desafios para a gestão de recursos hídricos em Cabo Verde. Cujo território é formado por 10 ilhas e 13 ilhéus, sendo 09 habitadas por uma população de 491.875 habitantes, e cuja precipitação média anual varia de 250 a 700 mm. O país possui êxitos e avanços, mas também desafios a serem superados para a eficaz gestão de seus recursos hídricos.

São muitos os obstáculos que a sociedade precisa superar para o fim ou substancial arefação da atual crise hídrica, que impacta diretamente 1/3 das pessoas do mundo; assim, não é exagero dizer que a crise hídrica impacta na vida de todos nós. Quando há aumento do preço dos produtos, por conta das secas ou enchentes, causando a perda de toneladas de alimentos, aumento no custo da produção de energia, por causa da falta de chuvas, aumento do custo do abastecimento de água e coleta de esgoto, por causa da forte contaminação das fontes hídricas, sendo necessárias tecnologias mais caras para o tratamento, todos somos impactados e isso não é “culpa da natureza”. E se o cenário realmente evoluir para esse caótico quadro que vem se desenhando, isso será consequência de incontáveis decisões erradas que foram tomadas e poucas acertadas, resultando na amplificação geográfica e na maior intensidade dos efeitos da crise hídrica.

Muitos afirmam “água é vida”. Para nós, que trabalhamos, vivemos e buscamos desempenhar nossa missão de cientistas e pesquisadores nos ambientes semiáridos, a água é esperança, pois, enquanto houver a última gota de água, haverá também a esperança de transformá-la em condições materiais adequadas para distribuí-la de forma equitativa, contribuindo para o desenvolvimento incluyente da sociedade.

Aprender a conviver com a escassez, necessariamente, passa pelo aprendizado de compartilhar.

Uma boa leitura!

Os organizadores

PREFÁCIO

Avaliações sobre recursos hídricos são indispensáveis em diversos campos do conhecimento científico. Para além da hidrologia, o estudo sobre as águas em suas várias vertentes tem na Hidrogeografia importante campo de atuação na conjuntura atual. A Hidrogeografia, pois, se propõe ao entendimento espacial das águas, em suas dinâmicas e condicionantes ambientais quer físicas, humanas ou ambas associadas. Pela diversidade espaciotemporal (desde aspectos de geomorfologia fluvial, perpassando por Sistemas de Informações Geográficas e de monitoramento à Geografia Política das águas) esta seara fornece arcabouço teórico-prático e empírico como alusivo na relação sociedade/natureza e espaço, tendo como referencial geográfico as águas e as bacias hidrográficas/bhs para gestão e planejamento ambientais.

Observa-se, portanto, que tal leitura sobre as águas transcende uma visão exclusivamente limnológica e amplia o debate com o envolvimento de questões biofísicas e socioculturais atinentes às dimensões dos hidrossistemas superficiais e subterrâneos, atrelados que são à gestão de recursos hídricos.

Com a concepção do ambiente exterior à existência humana, as águas são apreendidas somente como um recurso natural a ser explorado em grande parte dos casos. Por isto mesmo, há evidências de degradação que ameaçam a segurança hídrica em diversas bh atrelada às contingências climáticas e mudanças ambientais globais. A segurança hídrica, a propósito, correlaciona: acessibilidade humana a custo aceitável; qualidade, quantidade e garantia de água aceitáveis à manutenção da vida, em amplo sentido; desenvolvimento econômico e estabilidade política; e, níveis toleráveis para contenção de desastres e eventos extremos, secas e enchentes.

Em regiões de Terras Secas (Áridas, Semiáridas e Subúmidas Secas), como no Nordeste brasileiro (NEB) e no Arquipélago de Cabo Verde/África, tais problemas são agravados em função do quadro natural de alta susceptibilidade e de baixa sustentabilidade dos hidrossistemas, aumentado os riscos às contingências climáticas, sobretudo termoplúviométricas e hidroambientais. Por isto mesmo, é imperativo que se alterem modelos e padrões de vida de agrupamentos sociais que beiram a exaustão.

A discussão sobre a sustentabilidade hídrica, portanto, é central em qualquer cenário de espaço e tempo, seja na história de tempo profundo do planeta, quer seja na história social no processo civilizatório da humanidade. Por assim dizer, os recursos hídricos são fundamentais à manutenção da vida e como esteio produtivo. Os usos múltiplos das águas provocam fortes impactos nas coleções hídricas, afetando diretamente e ciclicamente seus usos múltiplos, quando já são observados decréscimos espaciotemporais e qualiquan-

titativos das águas interiores em ambientes lóticos, lênticos e hidrogeológicos.

Sobre isto, são comuns os usos consultivos e não-consultivos verificados nas bhs, ocorrendo desde os usos mais nobres (consumo humano e dessedentação animal), até a diluição de águas servidas nos veios fluviais oriundos de esgotos domésticos e dos mais diversos setores da economia.

Nesta conjectura, é providencial trabalhar a bacia hidrográfica - bh enquanto unidade de planejamento ambiental e sugerir modos de gestões alternativas dos recursos hídricos e gestão de secas. Assim apregoam Grafton e Hussey (2011, Water Resources Planning and Management), Nascimento (2012, Categorização de usos múltiplos dos recursos hídricos e problemas ambientais) e Derísio (2017, Introdução ao Controle de Poluição Ambiental).

Ratifica-se que a bh é, enquanto unidade-tarefa, um sistema complexo - dado o número de elementos e variáveis-, conectados através de ciclos de transformação, autoajuste, dissipação e novamente auto-organização e produção de entropia. As relações mútuas entre seus elementos possibilitam a análise ambiental integrada, favorecendo uma elaborada avaliação dos aspectos físicos, econômicos e socioculturais.

A cerca disto, é importante categorizar os usos múltiplos dos recursos hídricos, em consultivos e não-consultivos, assim como em compartilhados, competitivos e complementares, aferindo os principais conflitos ambientais. Igualmente, usos, funções e utilizadores do produto água associados a aspectos de imprescindibilidade, possibilidade de substituição e feitos a jusante em bhs também são quesitos a serem elucidados.

Os agentes produtores do espaço e os usuários de água, devem ainda, compreender que a escassez de água produz uma redução de sua disponibilidade, materializada no agora e a médio prazo, afetando a segurança alimentar, agravando os índices de qualidade de vida, de hoje e das futuras gerações, no contexto local e regional. É urgente evitar litígios (atuais e futuros) no alcance dos usos conjuntivos associados aos partilhados dos recursos hídricos, definindo prioridades e eliminando os riscos de conflitos pelo uso da água em uma cultura de paz. Correlacionado a este estratagema, é necessário adequar o domínio dos usos e usuários da água, suas funções, categorização e escala de necessidades para melhoria nos índices de mensuração da qualidade de vida da população local e contígua.

Deste modo, as legislações atinentes preconizam instrumentos legais, como outorga de direito de uso de águas, o licenciamento de obras hidráulicas e a cobrança pelo uso da água bruta (neste caso no Brasil). No foco água e convivência com as secas e eventos extremos, é premente referenciar a definição e caracterização das principais funções, com as respectivas subfunções em termos da gestão, oferta e conservação das águas.

Tais questões ganham destaque em regiões e áreas onde a disponibilidade espacial de águas - em termos qualiquantitativos e de garantia-, exigem maiores desafios para manutenção dos usos múltiplos e acesso distributivo a este elemento vital e insumo produtivo. Qual o caso das Terras Secas?

Mesmo porque, uma região semiárida apresenta alta vulnerabilidade às mudanças climáticas, com larga heterogeneidade de impactos observados, agentes e condições ecofisiográficas, biogeográficas e socioeconômicas

em relação aos seus setores estratégicos e pontos focais - sobressaindo-se além de alimento e energia, a questão hídrica.

Já que vem ao caso, as generalidades das regiões semiáridas envolvem sempre aspectos e desafios hidroclimáticos e fitogeográficos. Ocorrem: reduzidos índices de umidade, escassez de chuvas com irregularidade intra e interanuais; alongados períodos de carência e stress hídrico; balanço hídrico negativo; solos com problemas físico-químicos, muitos parcialmente salinos ou carbonáticos; caducifolia e xeromorfismo vegetacional; amplitude térmica diurna expressiva; e ausência de perenidade na descarga fluvial, sobretudo em relação às drenagens autóctones.

Para o semiárido do Brasil Ab'Saber (1999 - Sertões e Sertanejos, uma Geografia Humana Sofrida) exclama ser uma das regiões socialmente mais dramáticas das Américas! E que em função de sua rusticidade, apresenta os maiores problemas e dramas para o homem-habitante e suas famílias.

Em outros semiáridos - como o do Arquipélago Caboverdiano -, os desafios mostrados são convizinhos aos do Nordeste do Brasil/NEB. O Clima do país Africano varia de árido à semiárido, em composição de uma grande Zona Climática que atravessa a África desde o Atlântico ao Mar Vermelho, prolongando-se até Ásia. As chuvas estão em função da posição anual da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), cujo também é o principal sistema sinótico formador de chuvas de grande parte do NEB.

As contingências climáticas daquele arquipélago induzem carências qualiquantitativas das águas doces, impactando muito fortemente suas ofertas em termos de carência daquelas encontradas com baixo teor em sais e adequadas ao consumo humano, à agricultura e aos usos múltiplos em geral.

Nesta trama, a busca por águas doces, secularmente, ocorre por poços, galerias e furos para driblar a escassez hídrica e garantir a sustentabilidade. Todavia, há dependência das águas subterrâneas sem muitas alternativas à disponibilidade hídrica superficial com garantia ampliada e intertemporal. Novas incursões se dão com a dessalinização da água do mar e a intensificado de captação de águas superficiais com barragens, obras de correção fluvial e diques de contenção de sedimentos e assoreamentos.

Pelas Terras Brasilis, desde o Ministro que "tange a boiada" na ampliação do desregramento ambiental, flexibilizando normas e regulações, os recursos hídricos e seu debate em escala nacional ganham contornos territoriais e de territorialidades sem precedentes, em conflitos por recursos naturais na história recente.

Seja no Brasil ou na África, face a assimetria Norte-Sul, se faz fundamental suspeitar daquilo que opera os mercados e a macroeconomia, com resvalos regionais e locais em cada bh, impactando sobremaneira as tipologias e formas de usos das terras e das águas. Não raros, em ambos os países são verificadas vantagens locacionais e competitivas, políticas físicas e de subsídios operacionais na "guerra entre lugares", com suas tratativas de grandes projetos e política de financiamento público, privatizando a água. E assim a terra, e por consequência, o território.

Em nome do desenvolvimento econômico, tomadores de decisões polí-

ticas mancomunados com os detentores de maior poderio econômico, criam contradições complexas e degradações ambientais produzindo sociometabolismos com estrutura totalizante de organização e controle envolvendo capital, trabalho, Estado e grandes corporações. Isto altera as lógicas tradicionais da relação sociedade x natureza, nos territórios de cada bh.

Como exemplos ambientais disto, são observadas mutações territoriais: pequenas propriedades agrícolas descapitalizadas substituídas e incorporadas por Complexos Agroindustriais, onde se registra aumento de salinização de solos por irrigação e aumento de pobreza no campo; obras estruturantes do sistema hidrográfico à atender as regiões metropolitanas e concentrações urbano-industriais, assim como aos fundos territoriais, em detrimento às áreas e regiões produtoras e de captação de água; produção de monocultura em detrimento a policultura, causando desequilíbrio biológico e introduzindo um sem número de agrotóxicos nos rios e sua bacia de drenagem constituinte. São exemplos que mostram o diapasão do uso e ocupação do solo nos sistemas socioeconômico e natural nas mais diversas bhs.

Esses fenômenos ampliam o enorme descompasso entre as questões normativas e fiscais do Estado, recrudescendo os muitos desafios institucionais, científicos e de cidadania envoltos a gestão de águas.

A despeito deste contexto de coisas, o livro Hidrogeografia e gestão das águas no semiárido é publicado em hora e tempo oportunos. Os organizadores da obra trabalharam com maestria na ação individual-orquestral, intermediando as autorias que compuseram os onze (11) capítulos inclusos na obra, para que leitora/leitor pudessem perceber as boas e competentes impressões e expressões de cada escritora e escritor.

À vista disto são áreas estratégicas à Hidrogeografia, considerando os hidrossistemas superficiais e subterrâneos, em face da gestão de recursos hídricos no semiárido tão bem trabalhados na obra retrocitada: capacidade bioproductiva; indicadores geobiofísico de desertificação; rede hidrométrica e a gestão de sistemas fluviais; qualidade de água em reservatórios; disponibilidade hidrogeológica, sua qualidade, gestão de águas subterrâneas e superficiais; Avaliação de Impactos Ambientais; aluviões e irrigação; território e políticas públicas; escassez e incertezas.

Este manuscrito traz ementários, temas, enredos, tramas, empirias e desafios de pesquisas que se aninham a par da Hidrogeografia em profundos capítulos. Em sentido amplo, estes colaboram, de um feitio ou de outro, para entendimento dos mais diversos desafios sobre a gestão de águas no semiárido.

À propósito disto, para o caso do Brasil a agenda ambiental que enfrente a questão perpassa pela Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA, Lei 6.938 de 31/8/81), Declaração do Milênio, Agenda 21 e pelos acordos da Conferência Nacional de Meio Ambiente. E por extensão, pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável/ODS (Tema 6), com foco na água de boa qualidade ofertada à população.

Não se deve esquecer de criticar o novo Marco Legal do Saneamento Básico (PL 3.261/19), considerando os direitos humanos. E neste entretempo, fortalecer as diretrizes da Lei que advoga sobre o Marco Regulatório para o Setor de Saneamento no Brasil (Lei nº 11.445/2007). Nele estão contidas

as diretrizes e os princípios para universalização de acesso ao saneamento, como meta indispensável das políticas públicas. A saber: Abastecimento de água potável; Manejo de resíduos sólidos; Esgotamento sanitário; Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

Neste encadeamento de ideias, considerando a interrelação do ciclo hidrológico para o Brasil, tal qual em Cabo Verde, urge como desafio comum no plano de suas águas continentais e potamares, o desenvolvimento de trabalhos atrelados também a:

- Década das Nações Unidas de Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável, ou Década do oceano/ 2021 e 2030.
- Reavaliar a Década para Desertos e sobre a Luta contra Desertificação, que terminou em 2020 e em que pouco se avançou, de lado a lado.
- Década da ONU (2021 a 2030), o prazo final para os ODS e a linha do tempo que a comunidade científica prognosticou como última chance de evitar mudanças climáticas catastróficas.

De acordo com o Stockholm Resilience Centre, ainda mais, existem 9 (nove) Limites Planetários que mostram as fronteiras de risco à vida e manutenção do Planeta, se ultrapassadas: Mudança climática; Integridade da Biosfera; Mudanças no uso da terra; Fluxos Biogeoquímicos; Destruição do Ozônio/Estratosférico; Uso de água doce; Acidificação oceânica; Carregamento de aerossóis atmosféricos; Incorporação de Novas Entidades – microplásticos etc.

O ponto do problema aqui correlacionado é a água como elemento vital que é à manutenção de formas de vida e dinâmica ambiental, igualmente, como essencial aos fluxos biogeoquímicos no Sistema Superfície-Atmosfera-Oceano. E mesmo enquanto insumo produtivo a água está, direta e indiretamente, atrelada a todos os Limites Planetários. Desvelar os enlaces das águas nas regiões semiáridas no geral, e em Cabo Verde e no Brasil, no particular, também são desafios aos temas hidrogeográficos.

Expostos, pró-parte, desafios e importância da Hidrogeografia, o livro supracitado, colabora com importantes resultados e reflexões e dá outras providências.

À Leitura do compêndio “Hidrogeografia e gestão das águas no semiárido”.

Saudações a partir da Terra do Sol, Fortaleza-Ce/ Brasil, agosto de 2022.

Flávio Rodrigues do Nascimento

SEÇÃO 1

HIDROSSISTEMAS SUPERFICIAIS



CAPÍTULO 1

Áreas úmidas, cobertura vegetal e áreas produtivas no semiárido

Marco Antonio Diodato,

Universidade Federal Rural do Semiárido - UFRSA, Brasil.

E-mail: diodato@ufersa.edu.br

Alfredo Marcelo Grigio,

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN, Brasil.

E-mail: alfredogrigio@uern.br

João Paulo Silva dos Santos,

Secretaria de Educação da Prefeitura de Mossoró, Brasil.

E-mail: jptrabalhador@gmail.com

Kleisson Eduardo Ferreira da Silva,

Universidade Federal Rural do Semiárido - UFRSA, Brasil.

E-mail: kleisson.eduardo@gmail.com

Introdução

A questão da disponibilidade de água para atender às demandas das atividades humanas em ambientes semiáridos tem sido motivo de preocupação, tanto para o setor produtivo, seja em ambiente rural (agropecuária) ou urbano (atividades industriais), como para uso doméstico (limpeza, higiene pessoal e/ou consumo direto).

No caso do semiárido nordestino, a frequentemente citada escassez de água e a sua disponibilidade regional desigual devido às variações de fatores físicos (a exemplo de clima, geologia, tipo de solos e evapotranspiração) e sociais (escassez de recursos econômicos de parcela da população), tem incentivado, historicamente, a procura de soluções, por meio de estratégias e técnicas diversas para a conservação e uso da água das chuvas, sobretudo para os períodos do ano com precipitação escassa, quando não nula (de três a nove meses). Além da periodicidade anual do regime de chuvas, existe a ocorrência de períodos de secas que podem levar alguns anos até o retorno das chuvas regulares.

A estocagem de água das chuvas tem sido a estratégia mais utilizada, tais como, o represamento em declividades (açudes), a armazenagem em cisternas coletoras, as barragens subterrâneas, entre outras.

Segundo Silva e Brito (2008), os fatores motivadores para a questão da escassez de água no semiárido são:

- A água é vista como a *commodity* do século, insumo finito, intimamente relacionado com a qualidade de vida das populações. No caso específico das famílias rurais dispersas no semiárido brasileiro a escassez é questão de segurança alimentar. Em uma perspectiva futura, a falta de água pode se agravar, drasticamente, em função das possíveis mudanças climáticas e do processo de desertificação.
- Ano após ano, vastas regiões do mundo são submetidas a regimes pluviométricos

tricos ínfimos e o nordeste brasileiro é um exemplo típico desse fenômeno.

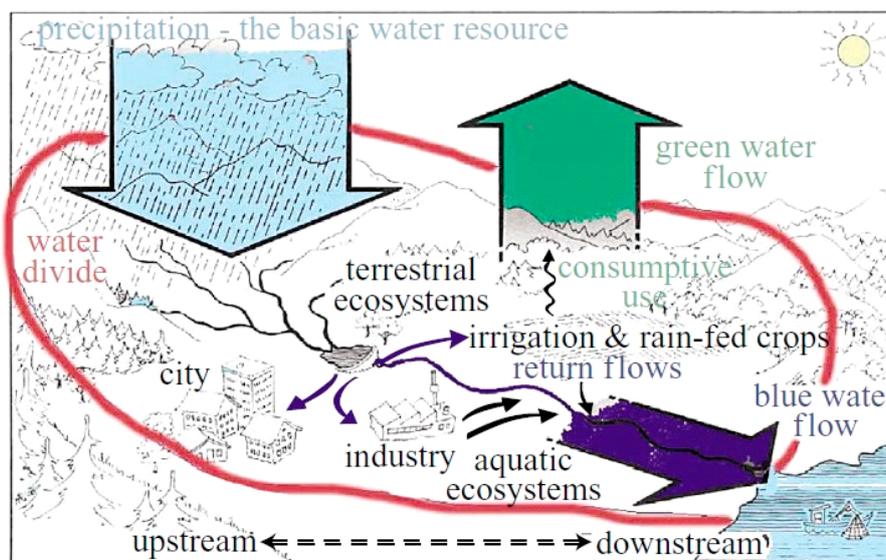
- De maneira geral, o gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil precisa de soluções eficazes que adequem a disponibilidade de água às suas demandas. Este fato é potencializado no semiárido devido à existência de milhões de famílias dependentes das precipitações pluviométricas irregulares anuais, no tempo e espaço.
- A degradação dos recursos florestais tem levado ao inexorável processo de perda da qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

Percebe-se, assim, a relação direta que há entre a segurança alimentar e nutricional e a disponibilidade de água para o consumo humano, para a dessedentação de animais e para a produção agroalimentar, intensificada na região semiárida nordestina.

Em relação à degradação dos recursos florestais, a conservação de áreas com vegetação, seja florestada ou não, tem sido o método menos referenciado até os dias de hoje. No entanto, há uma relação direta e muito importante, entre florestas e água, que deve ser levada em consideração quando se trata do seu uso para diversas atividades humanas.

Segundo Falkenmark (2004), toda a chuva que ocorre dentro da bacia hidrográfica constitui o recurso hídrico compartilhado por todas as atividades dependentes da água ali, tanto humanas quanto ecológicas (figura 1). Depois de atingir a superfície da terra, o autor divide a água da chuva em vapor, com o fluxo de água verde, e o líquido, com o fluxo de água azul. A primeira consiste na evaporação total, composta por uma parte não produtiva (evaporação do solo, água ou dossel) e uma parte produtiva (água captada pelas plantas e devolvida à atmosfera como transpiração). O resto se movimenta como fluxo de água azul nos rios e aquíferos dos pontos mais altos para os sistemas de água. O sistema de fluxo de água verde reflete o consumo de água por florestas, pastagens e áreas de cultivo de sequeiro. Ele sustenta os ecossistemas terrestres, bem como a produção agrícola alimentada pela chuva.

Figura 1 - A bacia hidrográfica permite uma abordagem integrada de todos os fenômenos relacionados com a água que atuam dentro dela.



Fonte: Falkenmark (2004).

Toda a chuva dentro da divisão de água está sendo dividida entre o fluxo de água azul líquido, que apoia a sociedade com serviços diretos de água doce, e o

fluxo de água verde invisível, apoiando a produção de plantas em ecossistemas terrestres, incluindo áreas de cultivo alimentadas pela chuva. A água é retirada para abastecer cidades e indústrias, devolvendo as águas residuais mais ou menos carregadas de poluentes. A água também é retirada para a agricultura irrigada, de onde a parte de uso consuntivo se junta ao fluxo de água verde, enquanto a parte do fluxo de retorno retorna ao sistema fluvial carregado de sais e agroquímicos lixiviados (FALKENMARK, 2004).

Segundo Gnadlinger, Silva e Brito (2007), a distinção entre água verde e água azul auxilia no entendimento da relação entre precipitação, solo, produtividade do solo e disponibilidade da água para outros usos. Esses autores destacam que a água verde é o suplemento de água para toda a vegetação não irrigada. Ela pode ser produtiva quando contribui para a produção vegetal - se é transpirada através de grãos, árvores ou vegetação natural, ou não-produtiva - quando é evaporada diretamente do solo ou de uma superfície de água livre. Já a água azul representa a água que pode ser retirada para irrigação. Em áreas sem "água verde" (umidade) no solo suficiente para poder plantar e produzir, as plantas podem ser irrigadas com a "água azul".

Com base nesses conceitos, o presente capítulo trata sobre a água verde no semiárido brasileiro e a sua relação com a cobertura vegetal e como essas variáveis influenciam as áreas produtivas rurais.

Produção rural, cobertura vegetal e semiárido

Segundo artigo publicado na revista *Nature*, em 2021, por Rattis et al. (2021), a liderança do Brasil na produção de soja e milho depende de chuvas previsíveis na fronteira agrícola Amazônia-Cerrado. Ao avaliarem se a expansão e intensificação da agricultura na região estão se aproximando de um limite climático para a produção de sequeiro, os autores mostraram que os rendimentos diminuem em anos com chuvas anormalmente baixas ou alta aridez durante os estágios iniciais do desenvolvimento da cultura - um padrão observado tanto em áreas irrigadas como em sequeiro. Embora a expansão e intensificação da agricultura tenham aumentado ao longo do tempo, o clima quente e seco durante os eventos de seca diminuiu sua taxa de crescimento. Ainda afirmam que o recente aquecimento e secagem regional já tirou 28% das terras agrícolas atuais de seu espaço climático ideal. Assim, estimam que 51% da agricultura da região sairá desse espaço climático até 2030 e 74% até 2060. Como conclusão, os autores são taxativos quando afirmam que, embora as estratégias de adaptação agrônômica possam aliviar alguns desses impactos, a manutenção da vegetação nativa é uma parte crítica da solução para estabilizar o clima regional.

No caso do semiárido nordestino, onde também se pratica a cultura de sequeiro, a chuva representa a principal fonte de água renovável, contudo, a imprevisibilidade dos fatores meteorológicos, tanto no tempo como no espaço, assim como em termos de quantidade de água precipitada, gera insegurança na produção de alimentos na região. O fornecimento artificial de água ao solo vem resolver parte dessa questão, com as culturas irrigadas. Porém, o acesso à tecnologia não é possível por todos os produtores pelos custos financeiros envolvidos, com o qual limita-se a produção de alimentos em grande escala e, em geral, para exportação.

Se por um lado a imprevisibilidade dos fatores meteorológicos, característico do clima semiárido, traz incertezas, em geral, não se pode afirmar que há escassez, quanto ao volume das precipitações, exceto em algumas regiões mais extremas, pois varia de 500 a 800 mm/ano. A questão principal se dá na irregularidade de

ocorrência e na retenção desse volume para ser aproveitada nos períodos de estiagem. Daí a importância da interceptação da água pela cobertura vegetal.

O efeito direto da interceptação é o retardamento do início do umedecimento do solo, o que mantém a infiltração em taxas elevadas e reduz o escoamento superficial, melhorando assim o sistema solo e o ciclo da água. Uma boa cobertura vegetal traz possibilidades de uso do solo durante todo o ano, traz benefícios econômicos e possibilita uma produção sustentável.

Contudo, as características edafoclimáticas e socioeconômicas do semiárido requerem prudência quanto à utilização e conservação dos recursos hídricos, a água torna-se um fator limitante nessa região devido à variabilidade temporal das precipitações e das características geológicas dominantes, onde há predominância de solos rasos baseados sobre rochas cristalinas e, conseqüentemente, baixas trocas de água entre o rio e o solo adjacente (FERREIRA, 2016).

A cobertura vegetal da região semiárida nordestina é fisionomicamente bem variável e a sua tipologia é influenciada, principalmente, pelo clima (precipitação) e o solo (influenciado, pela sua vez, pela geologia).

A vegetação dominante no semiárido brasileiro é a de Caatinga, caracterizada pela xerofilia (adaptadas a habitats secos e que sobrevivem com quantidades de água reduzidas) e por serem caducifólias, isto é, perderem a sua biomassa folhar em períodos de estiagem, estratégia de adaptação que permite a sua sobrevivência nos períodos secos do ano. Segundo Rizzini (1997), existem diversas classificações da vegetação de caatinga proposta por pesquisadores e estudiosos desse bioma, podendo variar de 6 a 11 tipos. Grosso modo, é denominada como savana estépica, a diferença do bioma Cerrado que é definida como savana.

Devido a não haver um consenso sobre a classificação da vegetação de caatinga, comumente, essas vegetações se diferenciam pelas suas características mais relevantes quanto à fitofisionomia (aspecto da vegetação), principalmente pela presença predominante de indivíduos de porte arbóreo (tamanho entre 8 e 12 metros de altura), arbustivos (tamanho entre 2 e 5 metros de altura) ou herbáceos (de menor porte, abaixo de 2 metros), e ainda, pela sua densidade, isto é, a capacidade de fornecer cobertura ao solo (densa, fechada, aberta, rala, entre outras).

A fitofisionomia da vegetação, como dito anteriormente, depende da geologia, do solo e da precipitação. De uma maneira geral, regiões com solos mais profundos, a exemplo dos formados sobre uma matriz sedimentare, mantêm uma vegetação de porte mais arbóreo e densa. O contrário ocorre em áreas da formação geológica do cristalino, onde a vegetação predominante é de arbustos, herbáceas e cactáceas, excetuando-se em áreas de escarpa, onde o fator climático da altitude é dominante (apesar delas também se apresentarem em outros tipos de formações geológicas e de solos). Essas características físicas e biológicas são determinantes para a manutenção, ou não, das atividades produtivas no semiárido. Em geral, elas dão preferência para áreas com mais potencial e menos limitações, em termos de solo e disponibilidade dos recursos hídricos.

No caso do Rio Grande do Norte, em particular do Oeste Potiguar, as áreas da bacia sedimentar são preferidos para a agricultura, enquanto as áreas da formação cristalina são escolhidas para a criação animais, tais como caprinos e ovinos, que são bastantes tolerantes ao clima da região.

Assim, entende-se que áreas com potencial de sustentação de uma cobertura vegetal mais arbórea e densa são as mais propícias para a agricultura. Para evitar esse conflito de uso é que o Código Florestal (BRASIL, 2012) disciplina o uso das propriedades, determinando a conservação e proteção de áreas determinadas, tais como as Áreas de Preservação Permanente (APP) e as Reservas Legais (RL). No

entanto, nas propriedades rurais costuma-se fazer o uso integral da área. Basta percorrer as áreas rurais para perceber, a simples vista, a degradação dos poucos remanescentes de vegetação.

A utilização dos recursos da caatinga ainda se fundamenta em princípios puramente extrativistas, sem a perspectiva de um manejo sustentável, observando-se perdas irrecuperáveis na diversidade florística e faunística como consequência da simplificação da rede alimentar, redução da resiliência e da estabilidade do ambiente diante dos fatores do meio (DRUMOND et al., 2000). Segundo Silva (2002), a agricultura é de uma ocupação territorial desordenada e impactante por causa da falta de tradição de planejamento, o que dificulta (ainda que não impossibilite) a reordenação dos espaços. Já a pecuária vem se tornando a atividade principal, ao longo do tempo, em razão das condições edafoclimáticas desfavoráveis. Ainda, Silva (2002) afirma que a pecuária, tal como praticada hoje, causa danos irrecuperáveis à biodiversidade e traz consequências graves para a própria manutenção dos processos ecológicos responsáveis pela sobrevivência humana na região.

Cobertura vegetal e umidade do solo

O solo constitui um dos principais fatores de produção, seja pela sua função como suporte para as plantas ou pelo fornecimento de condições indispensáveis ao seu desenvolvimento, envolvendo água, nutrientes e calor; entretanto, a demanda por maiores produtividades tem levado, eventualmente, a uma considerável degradação deste recurso natural, em decorrência do manejo inadequado (OLIVEIRA et al., 2005).

Nenhum dos processos físicos na atmosfera e no ambiente podem ocorrer sem água no planeta Terra. A umidade do solo depende da quantidade de precipitação, da intensidade do consumo de água pelas plantas e da temperatura do ar, entre outros fatores. Amplos níveis de umidade são de alta importância para o rendimento, portanto as plantas não crescerão e se desenvolverão com umidade inadequada do solo. Níveis suficientes de umidade são uma condição importante para a formação adequada das plantas e para o alto rendimento das culturas. Para a planta, a água serve não apenas como um agente de restauração de umidade, mas também como um regulador de temperatura. No processo de termorregulação, a planta evapora até 99% de toda a água obtida, utilizando apenas 0,2% a 0,5% para a formação da massa vegetativa. Portanto, é fácil entender que a planta tem necessidades diferentes de umidade dependendo das condições climáticas e estágios de crescimento (EOS, 2020).

No caso do ambiente semiárido, as atividades produtivas rurais (pecuária, agricultura e/ou florestal – produtos florestais madeireiros e não madeireiros) são dependentes da precipitação, assim como o tipo de solo e aspectos geomorfológicos, que são variáveis muito importantes para a determinação do tipo de atividade que será desenvolvida em uma determinada área. Em geral, as atividades florestais se limitam ao extrativismo sem um plano de manejo sustentável.

No entanto, as chuvas ocorrem durante um período determinado do ano, variando o seu volume, frequência e duração segundo a região. Durante os meses chuvosos, as atividades rurais se intensificam, aproveitando o período propício para elas. Solos úmidos para a agricultura e vegetação verdejante para a forragem animal propulsionam a economia regional. Porém, é no período de estiagem que as dificuldades se apresentam, restando aos produtores, principalmente aos de pequeno porte, a utilização de estratégias e técnicas para dar continuidade às suas atividades.

A captação e o manejo de água de chuva são umas das formas de assegurar,

pelo menos parcialmente, as atividades rurais, via açudes, cisternas e/ou barragens subterrâneas, entre outras. Os pequenos produtores também fazem uso das áreas naturais nas quais a retenção da água pluvial é mais duradoura no tempo, principalmente próximo a corpos de água e canais de drenagens, e até mesmo no leito dos rios intermitentes. São áreas intensivamente usadas no período de estiagem, principalmente para a agricultura de subsistência. A conservação, mais ou menos duradoura, da umidade desses solos é dependente do tipo de solo, relevo, mas também da cobertura vegetal presente.

Sabe-se que a cobertura vegetal influencia fortemente na temperatura e umidade do solo, assim como na temperatura do ar. Segundo Oliveira et al. (2005), via de regra, a temperatura ambiente foi maior acima do solo sem cobertura e menor nas áreas com cobertura vegetal, comprovando que a temperatura próxima ao solo está diretamente relacionada com a sua cobertura, a qual tende a interceptar os raios solares que se dirigem à superfície, criando um microclima específico sob a mesma. Também concluíram que a natureza da cobertura do solo e o nível de sombreamento influenciam diretamente nas flutuações de temperatura e umidade do solo.

Brito et al. (2017), ao analisar as diferenças de parâmetros biofísicos em áreas de caatinga preservada e degradada, bem como das áreas de agricultura irrigada e sequeiro, com o uso dos índices *Normalized Difference Vegetation Index* – (NDVI) Índice de Vegetação com Diferença Normalizada) e (*Normalized Difference Water Index* – (NDWI) Índice de Água de Diferença Normalizada) em imagens de satélites, observaram que a precipitação é uma variável chave no entendimento das variações dos índices, sobretudo em áreas de clima semiárido, já que a precipitação mais elevada no período chuvoso resulta em uma maior disponibilidade de água no solo, fazendo com que a vegetação permanecesse com a folhagem por um período de tempo maior. A cultura de sequeiro apresentou valores de índices tão baixos quanto nos da vegetação de caatinga, com exceção de alguns pontos que estão relacionados a cursos de água. As áreas irrigadas apresentaram valores mais altos dos índices devido a própria característica desse sistema, de fornecimento artificial de água para os plantios sempre que necessário.

Entende-se, assim, que uma cobertura vegetal bem preservada, principalmente próximo a cursos de água, favorece à manutenção da umidade do solo, inclusive por mais tempo no período de estiagem, auxiliando, principalmente, aos produtores de pequenas áreas e à agricultura de subsistência.

Efeito da desertificação e das mudanças climáticas em áreas semiáridas

Outra questão que, inevitavelmente, tem que ser levada em consideração atualmente se refere aos processos de desertificação e às suas consequências sobre a disponibilidade de água para o setor produtivo. Também merece destaque a perspectiva das mudanças climáticas no agravamento dos efeitos desse fenômeno.

A comunidade internacional considera que a desertificação se constitui em um problema global de caráter econômico, social e ambiental. A Convenção da ONU de Luta contra a Desertificação, aprovada em 1994, a qual aderiram mais de 180 países, define a desertificação como o processo de degradação da terra em zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de diversos fatores climáticos e humanos (UNCCD, 2021).

O assunto requer uma importante atenção, ainda mais atualmente. Quando a terra se degrada e deixa de ser produtiva, os espaços naturais se deterioram e transformam. Também pressupõe a existência de menos espaços naturais que ajudem a amenizar e proteger as comunidades humanas de fenômenos climáticos ex-

tremos, como as secas, as inundações e as tormentas de areia e poeira, que têm se tornado mais habituais em termos de frequência e intensidade.

A pressão das atividades antrópicas, principalmente a agricultura e pecuária intensivas e o desmatamento sobre os ecossistemas naturais traz como consequência direta e imediata a perda da cobertura florestal e, mais tardiamente, a possibilidade de desertificação das áreas semissecas ou secas. Isto é, áreas semiáridas estão se degradando tanto que, muito provavelmente, acabarão por se converter em solos áridos e não produtivos, provocando assim, em uma relação de causa-efeito, o fenômeno das migrações de comunidades rurais para outras áreas de (sobre) vivência.

O Ministério do Meio Ambiente e a Secretaria de Recursos Hídricos do RN (2005) afirma que a espacialização do processo exploratório da natureza assume a forma de degradação ambiental, cuja feição mais intensa é a desertificação. Ainda, esse fenômeno se revela no desgaste dos solos, dos recursos hídricos, da vegetação, da biodiversidade e, por conseguinte, da própria qualidade de vida, manifestando-se sobretudo nas regiões áridas e semiáridas da Terra.

Sabe-se que as áreas semiáridas são sensíveis a processos de desertificação e que esse processo se inicia e é intensificada pelas atividades antrópicas, sejam produtivas ou de subsistência. Nessas áreas, o clima apresenta características muito peculiares, tais como a ausência, escassez e má distribuição das precipitações pluviométricas no tempo e no espaço, assim como a ocorrência de secas periódicas. Neste sentido, segundo o Ministério do Meio Ambiente e a Secretaria de Recursos Hídricos do RN (2005), a seca e a desertificação apresentam-se como fenômenos distintos, mas estreitamente relacionados. Obviamente, esses fenômenos afetam direta e negativamente os sistemas de produção dependentes dos recursos da terra.

Uma das principais estratégias de combate à desertificação é a conservação, preservação e/ou proteção da cobertura vegetal em escalas regionais ou, pelo menos, na abrangência dos limites de uma bacia hidrográfica. Existem mecanismos legais que promovem essa estratégia (políticas públicas), tais como diversos escopos das leis ambientais, incluindo aqui o Código Florestal (a exemplo da Área de Preservação Permanente – APP e área de Reserva Legal – RL) e o Sistema de unidades de Conservação (SNUC), assim como o Cadastro Ambiental Rural (CAR), que visa o controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e o combate ao desmatamento. Essas, e outras políticas públicas correlatas, têm apresentado efeito regulador, se não total pelo menos parcialmente, sobre a (sobre)exploração dos recursos naturais, e efeito disciplinador sobre o uso e ocupação do solo.

O uso e manutenção de áreas consideradas de interesse público, tais como as reservas legais, as áreas de proteção permanente e as matas ciliares, assim como também todo e qualquer remanescente vegetal natural, têm auxiliado, mormente, na conservação da água, principalmente nas áreas semiáridas.

Oliveira Júnior e Oliveira (2020), em trabalho sobre desmatamento da vegetação de caatinga e a sua relação com as secas recorrentes na região do alto oeste potiguar, afirmam que a Caatinga é o bioma mais sensível às mudanças climáticas e que os eventos extremos de mudanças climáticas, bem como pressões antrópicas, comprometem a sua biodiversidade, determinando áreas improdutivas, gerando perdas nas colheitas e, conseqüentemente, afetando diretamente a agricultura de subsistência, levando ao êxodo rural. Também salientam que a recuperação dessas áreas é muito lenta ou mesmo irreversível, provocando a desertificação, o assoreamento e o desequilíbrio ecológico. Os autores concluem que sendo um bioma al-

tamente sensível às mudanças climáticas, o desmatamento da Caatinga contribuiu diretamente para desregular o ciclo hidrológico e reduzir a frequência das chuvas, que já são escassas em boa parte da área onde está inserida.

Na relação de parâmetros climáticos e cobertura vegetal compreende-se que há uma forte ligação entre essas variáveis e está implícita a interação e a retroalimentação que ocorre entre elas. Essa interdependência pode ser avaliada em diversas escalas, interagindo mutuamente, direta e indiretamente, ao nível mais pontual (microclima), local (mesoclima), regional (macroclima) e, ainda, global. A capacidade humana de intervir no clima, em qualquer escala, está relacionada diretamente, entre outras ações, às alterações da cobertura vegetal. Quando se trata de modificações de extensas áreas, a interferência humana no clima global se faz mais aparente, incluindo aqui a questão do estoque e da liberação do gás carbono (CO_2) na atmosfera.

Em relação a mudanças climáticas e florestas de áreas semiáridas tropicais, mostram-se interessantes os resultados obtidos por Castanho et al. (2020), no trabalho sobre mudanças potenciais na biomassa acima do solo e fisionomia de uma floresta tropical sazonalmente seca em um clima em mudança. Os autores avaliam e quantificam como as mudanças climáticas podem remodelar uma das maiores florestas tropicais sazonalmente secas (do inglês SDTF) do mundo, a região da Caatinga, no nordeste do Brasil. Segundo os autores, as florestas tropicais sazonalmente secas respondem por um terço da variabilidade interanual da produção primária líquida global (NPP), portanto, mudanças em grande escala na estrutura da floresta tropical seca podem afetar significativamente os fluxos globais de CO_2 . Ao combinarem dados históricos e projeções climáticas futuras, sob diferentes trajetórias de concentração representativas (RCPs), com estimativas de biomassa acima do solo, espacialmente explícitas, para estabelecer relações entre o clima e a distribuição da vegetação, verificaram que fisionomias, biomassa acima do solo e clima estão intimamente relacionados na Caatinga – e que a camada bioclimática da região está mudando rapidamente.

É preocupante os resultados obtidos por Castanho et al. (2020) para as áreas semiáridas do nordeste brasileiro. De 2008 a 2017, mais de 90% da região mudou para um espaço de clima mais seco em comparação com o período de referência, de 1950 a 1979. Um conjunto de modelos climáticos globais (com base no IPCC AR5 - Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) indica que até o final do século 21 as fisionomias mais secas da Caatinga (matas espinhosas a áreas não vegetadas) poderiam expandir de 55% a 78% ou tanto quanto 87% da região. Essas mudanças corresponderiam a uma diminuição de 30% a 50% do equilíbrio da biomassa acima do solo até o final do século. Os autores destacam que os resultados obtidos são consistentes com as mudanças históricas da vegetação relatadas para outras SDTFs. As mudanças projetadas para a Caatinga teriam impactos em grande escala sobre a biomassa e a biodiversidade da região, ressaltando a importância das SDTFs para o orçamento global de carbono.

É fundamental compreender que as mudanças apresentadas no estudo devem ser levadas em consideração para um planejamento regional efetivo e eficiente. A tratativa dos apontamentos é urgente. Somente por meio da ampliação e da implementação de ações (regionais e locais), que busque mitigar os efeitos da desertificação e das mudanças climáticas em áreas semiáridas, será possível diminuir os impactos socioeconômicos negativos que estão por vir no futuro próximo e garantir a disponibilidade de água para atender às demandas das atividades humanas em ambiente semiárido

Considerações finais

No decorrer do capítulo, ficou bem claro a relação e a interdependência entre o clima, a cobertura vegetal, o solo, a disponibilidade de água e as áreas produtivas no semiárido. O produtor rural do semiárido está em total dependência das variáveis climáticas, assim como, no caso do nordeste brasileiro, das políticas públicas estabelecidas. Por outro lado, as políticas públicas devem levar em consideração os diversos cenários econômicos, sociais e ambientais da região, atuais e futuras, sobretudo a questão da manutenção e recuperação da cobertura vegetal, um elo importante na composição das relações ambientais e ecológicas da região, principalmente quando se trata da manutenção e disponibilidade de água no solo.

Programas, planos e incentivos ao plantio de essências florestais para aumento da cobertura vegetal por parte do poder público, nas três esferas administrativas (federal, estadual e municipal), assim como por parte de proprietários rurais, é a forma mais concreta e econômica de equacionar todas as variáveis ambientais que afetam ao sistema produtivo rural (clima, água e solo), principalmente em ambiente semiárido, que se caracteriza por um clima irregular quanto à pluviosidade. A implementação dessas iniciativas no semiárido nordestino poderia desacelerar os problemas ambientais relacionados com desertificação e as mudanças climáticas na região.

Além dessas iniciativas, é necessário instalar a nível regional uma agenda de controle público que possa mitigar os impactos que diminuem gradativamente a capacidade de manutenção dos sistemas ambientais que sustentam o setor produtivo do semiárido. Caso isso não ocorra, a desertificação e as mudanças climáticas podem potencializar os seus efeitos negativos futuros, englobando simultaneamente as relações existentes entre áreas rurais e urbanas e as várias dimensões da civilização contemporânea (produtiva, econômica, social e política).

Se não controlados, a degradação dos sistemas ambientais do semiárido podem desarticular estruturas produtivas regionais importantes como as empresas produtoras de *commodities* agrícolas, as indústrias de bens de consumo básicos (alimentos e vestuário), a agricultura familiar e os setores de serviços que tem seu motor relacionado com a renda da população. Além disso, as consequências dessa problemática poderá promover outros efeitos espaciais e socioeconômicos impactantes para a região. Exemplos disso são:

- aumento das desigualdades intrarregionais e o acirramento da fragmentação regional existente no semiárido por meio da competição por recursos públicos e privados;
- aumento no nível de saída de contingentes populacionais do semiárido nordestino para outras regiões do país em processo de dinamização econômica, como o Centro-Oeste e a fronteira agrícola da região Norte ou de industrialização tradicional como a região Sudeste e Sul;
- diminuição nos níveis de renda associadas a queda do volume de empregos, principalmente nas áreas do semiárido onde as estruturas produtivas forem mais severamente afetadas;
- aumento do poder de concentração demográfico, produtivo e financeiro nas regiões litorâneas do Nordeste em decorrência da estagnação econômica das cidades médias localizadas no semiárido que terão suas condições produtivas diminuídas pelos efeitos negativos da desertificação e das mudanças climáticas;
- aumento dos problemas urbanos existentes (desemprego, violência urbana, déficit habitacional, transporte público ineficiente, ocupação irregular de

áreas para instalação de moradia, falta de água, entre outros) nas metrópoles litorâneas do Nordeste e em cidades médias no semiárido.

Referências

- BRASIL. **Lei n. 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102, 28 maio 2012. Seção 1, p.1. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm#art83. Acesso em: 13 nov. 2013.
- BRITO, P.; MORAIS, Y.; FERREIRA, H.; SILVA, J.; GALVINCIO, J. Análise comparativa da umidade da vegetação de áreas de caatinga preservada, agricultura irrigada e sequeiro. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. v. 2, n. 3 p. 493-498. 2017.
- CASTANHO, A.; COE, M.; BRANDO, P.; MACEDO, M.; BACCINI, A.; WALKER, W.; ANDRADE, E. Potential shifts in the aboveground biomass and physiognomy of a seasonally dry tropical forest in a changing climate. **Environmental Research Letters**. 15, 034053. 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab7394/pdf>. Acesso em: 20 nov. 2021.
- DRUMOND, M. A.; KIILL, L. H. P.; LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, M. C. de; OLIVEIRA, V. R. de; ALBUQUERQUE, S. G. de; NASCIMENTO, C. E. de S.; CAVALCANTI, J. **Avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga**. Petrolina: Documento para discussão no GT Estratégias para o Uso Sustentável, 2000.
- EOS. Earth Observing System. **A umidade do solo e casos práticos do seu gerenciamento**. Fev. 2020. Disponível em: <https://eos.com/pt/blog/umidade-do-solo>. Acesso em: 15 nov. 2021.
- FALKENMARK, M. Freshwater as shared between society and ecosystems: From divided approaches to integrated challenges. **Philosophical transactions of the Royal Society of London**. Series B, Biological Sciences. n. 358. p. 2037-2049. 2004.
- FERREIRA, L. L. N. **Variação espacial de atributos do solo, em zona de recarga de nascente, em uma microbacia perene do semiárido**. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Moossoró, p. 107. 2016.
- GNADLINGER, J.; SILVA, A. de S.; BRITO, L. T. de L. P1 + 2: Programa Uma Terra e Duas Águas para um semi-árido sustentável. In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (org.). **Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. p. 63-77.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE / SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO RN. **Panorama de Desertificação no Estado do Rio Grande do Norte**. Natal. 2005. Disponível em: http://www.mpgo.mp.br/portalweb/hp/9/docs/monografia_mma_-_panorama_da_desertificacao_no_rio_grande_do_norte.pdf. Acesso em 25 nov. 2021.

OLIVEIRA JÚNIOR, M. E.; OLIVEIRA, J. C. O desmatamento da caatinga e sua relação com as secas recorrentes na região do alto oeste potiguar. In.: SILVA, M. F. de A.; OLIVEIRA, J. C. de. (Org.). **Semana das engenharias ambiental e civil**. v2. Mossoró: Edufersa, 2020. p. 296-304.

OLIVEIRA, M. L.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p. 535-539, 2005.

RATTIS, L.; BRANDO, P. M.; MACEDO, M. N.; SPERA, S. A.; CASTANHO, A. D. A.; MARQUES, E. Q.; COSTA, N. Q.; SILVERIO, D. V.; COE, M. T. Climatic limit for agriculture in Brazil. **Nat. Clim. Chang.** 2021.

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. 2 ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural. 1997. 729 p.

SILVA, A. S.; BRITO, L. T. L. A água no Semi-Árido brasileiro. In: SILVA, A. S.; CEBALLOS, B. S. O.; SILVA, C. M. M. S.; FAY, E. F.; BRITO, L. T. L.; AMORIM, J. S.; SILVA FILHO, P. P. (org.). **Indicador de qualidade de uso de água em cisternas no semi-árido brasileiro (IUA-CD): relatório técnico final**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido: FINEP: ATECEL: UFCG: UEPB, 2008. Cap. 1, p. 6-8.

SILVA, J. M. C. Caatinga. In: **Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros**. Brasília: MMA/SBF, p. 133-174. 2002.

UNCCD. NAÇÕES UNIDAS. **Convenção para o combate à Desertificação**. Disponível em: <https://www.unccd.int/>. Acesso em: 26 nov. 2021.

CAPÍTULO 2

Recurso hídrico como indicador geobiofísico de desertificação e subsídio à gestão hídrica na sub-bacia hidrográfica do Rio Figueiredo, semiárido cearense do Brasil

Anny Catarina Nobre de Souza,

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN, Brasil,

E-mail: annysouza@alu.uern.br

Sérgio Domiciano Gomes de Souza,

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN, Brasil,

E-mail: sergiosouza@alu.uern.br

Maria Losângela Martins de Sousa,

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN, Brasil,

E-mail: mariasouza@uern.br

Vlândia Pinto Vidal de Oliveira,

Universidade Federal do Ceará – UFC, Brasil.

E-mail: vlpinto@ufc.br

Introdução

A água, elemento vital da natureza, é matéria de primeira necessidade desde a formação do planeta Terra pela precipitação do vapor de gases condensados. A partir daí, com o surgimento da vida e a formação das civilizações humanas ao longo do tempo e da distribuição desse solvente no espaço geográfico, sua importância ganha cada vez mais capilaridade pela natureza diferenciada, ora concentrada ora limitada nos ambientes.

No semiárido brasileiro, a água ganha importância central em virtude da configuração do ciclo hidrológico nesse ambiente marcado anualmente pela irregularidade do espaço temporal das chuvas e secas recorrentes. A água no semiárido é escassa em muitos lugares, o que repercute negativamente no deflúvio dos rios intermitentes e, portanto, nos reservatórios superficiais que aprisionam esse recurso no território. Vale destacar que a população local sofre com as condições climáticas, não porque as chuvas são irregulares e os reservatórios não são suficientes para suprir a demanda social, mas sim, pela falta de políticas públicas de convivência com a seca que estejam de fato comprometidas em resolver o problema.

Perante esse panorama, o presente trabalho objetiva examinar a disponibilidade hídrica potencial social da sub-bacia hidrográfica do Rio Figueiredo (SBHRF) no estado do Ceará, considerando esse como indicador geobiofísico de desertificação e de subsídio à gestão hídrica.

Ao aludir para a adoção de um indicador de desertificação, parte-se do entendimento de Abraham e Beekman (2006). Para os referidos autores, a metodologia dos indicadores se apresenta como uma ferramenta de avaliação da degradação, agregando e simplificando informações que demonstram o estado

ambiental dos recursos, os usos desenvolvidos e suas tendências. De tal modo que possa contribuir para uma gestão integrada dos recursos hídricos, uma vez que compatibiliza estratégias de preservação, usos e recuperação do ambiente para os seus diversos usuários, capaz de assegurar a eficiência junto do desenvolvimento sustentável da área (YASSUDA, 1993).

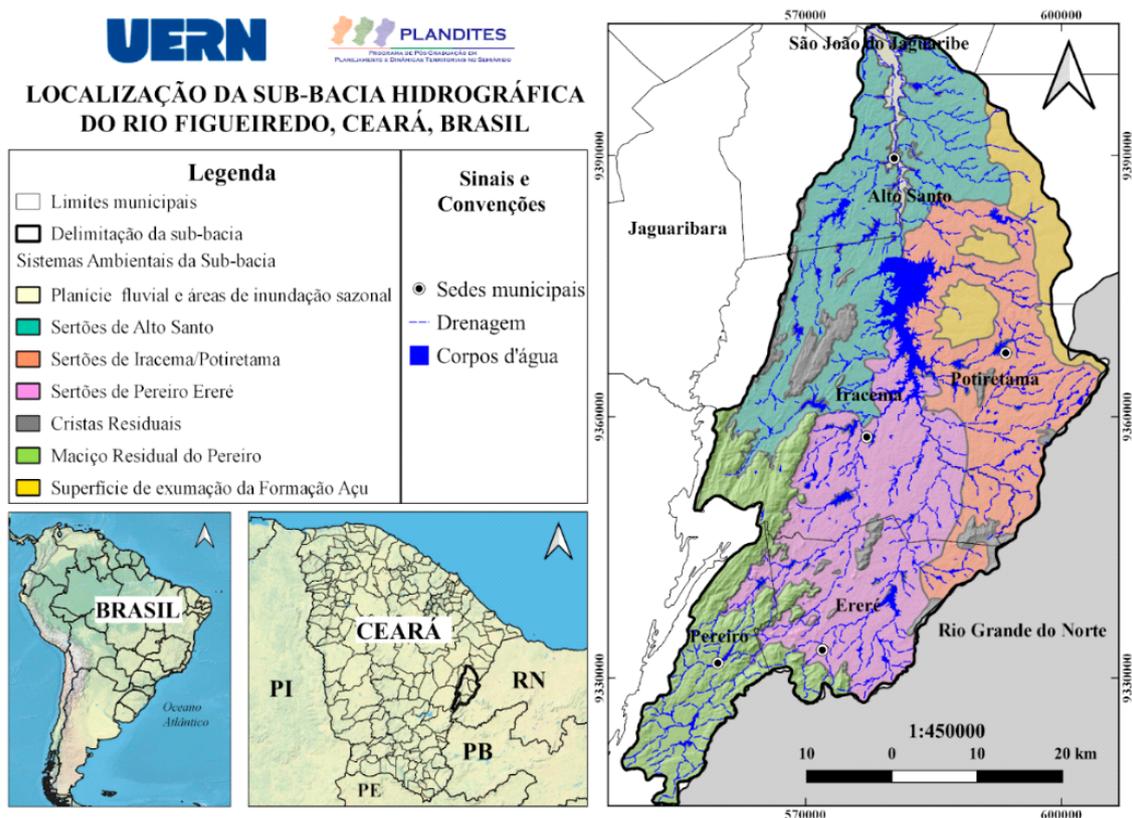
Para a realização do presente escrito, foi revisado aportes teóricos que versam sobre os temas de recursos hídricos, semiárido brasileiro, desertificação e gestão hídrica, no sentido de fazer aproximações teórico-conceituais da realidade investigada. Realizou-se o levantamento de dados sobre o recorte territorial de estudo, considerando como base o diagnóstico geoambiental da sub-bacia hidrográfica do Rio Figueiredo (SOUSA, 2012). Os dados secundários para a composição do indicador de recursos hídricos foram adquiridos através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Companhia de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (COGERH) e Instituto de Pesquisas e Estratégias Econômicas do Ceará (IPECE). Esses órgãos também forneceram dados para elaboração de produtos cartográficos.

Assim, organiza-se a discussão em quatro seções a partir desta introdução. Na primeira, apresenta-se a área de estudo e sua caracterização pelos seus sistemas ambientais. Por conseguinte, interpõe uma discussão com base da literatura revisada da interseção dos temas recursos hídricos, semiárido e desertificação. Na terceira, expõe-se por meio dos dados quantitativos a disponibilidade hídrica potencial social da SBHRF e sua aplicação como indicador de suscetibilidade à desertificação. Na quarta, argui-se acerca do indicador de recursos hídricos para a investigação da suscetibilidade à desertificação e como aporte para o gerenciamento hídrico na região semiárida. E por último, fez-se apontamentos acerca da temática discutida.

Localização e caracterização ambiental da sub-bacia Hidrográfica do Rio Figueiredo

A SBHRF pertence à bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe no estado do Ceará. Seu rio principal é o Figueiredo, que junto de riachos tributários drenam uma área de 2.320 km² (SOUSA, 2012) nascendo na serra do Pereiro e desaguardo no Rio Jaguaribe, na comunidade rural chamada barra do figueiredo, localizada no município de São João do Jaguaribe (Figura 1). Do ponto de vista político administrativo, no território da sub-bacia estão os municípios de Pereiro, Ereré, Iracema, Potiretama, Alto Santo e cerca de 2% do município de São João do Jaguaribe, que juntos abrigam uma população da ordem de 58 mil habitantes (IBGE, 2010).

Figura 1 - Mapa de Localização da sub-bacia Hidrográfica do Rio Figueiredo



Fonte: Elaboração dos autores, 2021.

Na sub-bacia, as condições hidrológicas são condicionadas pela irregularidade pluviométrica, marcante do clima semiárido, bem como pelo embasamento cristalino predominante. Os rios e riachos intermitentes que drenam a bacia são barrados por reservatórios de pequeno porte como o Santa Maria, Canafístula, Ema e Adauto Bezerra, além da barragem do Rio principal, que se apresenta como a quinta maior barragem do estado com uma capacidade de acumulação da ordem de 519.600.000 m³, inaugurada em 2013, com a possibilidade de abastecer os municípios da bacia.

Conforme o diagnóstico geoambiental da bacia (SOUSA, 2012), as melhores condições pluviométricas são registradas no município de Pereiro, no sistema ambiental de mesmo nome, com 750 mm/ano situado em serra, tendo o município de Erere, limítrofe, mas transitando para a área de depressão com 720 mm/ano. Os demais municípios que dispõem de postos pluviométricos, dispersos pelos sertões, possuem precipitações com índices menores, sendo 600 mm/ano em Iracema e Potiretama e 550 mm/ano em Alto Santo e São João do Jaguaribe.

No tocante ao quadro geoambiental, a bacia pode ser compartimentada em seis sistemas ambientais: o Maciço Residual do Pereiro, Sertões de Pereiro/Erere, Sertões de Iracema/Potiretama, Sertões de Alto Santo, Superfície de Exumação da formação Açú e Planície fluvial (SOUSA, 2012). O quadro 1 apresenta a síntese das principais características geoambientais, pontuais para entender posteriormente a aplicação e comportamento do indicador de recursos hídricos nesses espaços.

Quadro 1 - Principais características geoambientais da SBHRF

Sistema Ambiental	Área (km ² e %)	Condições naturais dominantes	Uso e ocupação
Maciço Residual do Pereiro	451 km ² 19,5%	Relevo dissecado com topografia de forte declive e altitude entre 500 e 800m, embasado em rochas cristalinas. Solos associados a Argissolos eutróficos e Neossolo litólico eutróficos, cobertos por mata seca e caatinga arbórea subperenifólia	Agricultura de subsistência, extrativismo vegetal, fruticultura, pecuária e área urbana
Sertões de Alto Santo	600 km ² 25,9%	Relevo de superfície pediplanada com altitude entre 100 e 200m em embasamento cristalino com associações de Luvisolos, Neossolos litólicos e afloramento rochoso cobertos por caatinga fortemente degradada	Extrativismo vegetal, agricultura de subsistência, pecuária, atividade ceramista
Sertões de Iracema/Potiretama	490 km ² 21,1%	Relevo ondulado com altimetria entre 120 e 200m em embasamento cristalino com Luvisolos, Neossolos litólicos e forte afloramento rochoso cobertos por caatinga degradada.	Extrativismo vegetal e agricultura familiar
Sertões de Pereiro/Eréré	590 km ² 25,4%	Superfície pediplanada com relevo forte ondulado de altitude variando entre 150 e 250 m, embasado por rochas cristalinas com Luvisolo, Argissolo vermelho-amarelo e Neossolo litólico cobertos por caatinga arbórea degradada	Extrativismo vegetal e agricultura familiar
Planície Fluvial e áreas de inundação sazonal	33 km ² 1,4%	Área plana resultante da acumulação fluvial composta por areias finas a grosseiras de Neossolos flúvicos, caracterizada por escoamento intermitente sazonal e presença de caatinga degradada	Atividade ceramista patrimônio paisagístico, atrativos turísticos e de lazer, agroextrativismo, agricultura de vazante
Superfície de exumação da formação Açú	156 km ² 6,7%	Patamares da Chapada do Apodi com influências estruturais de formas tabulares com relevo aplainado ou suavemente inclinado. Solos Neossolos Quartzarênicos associados aos Argissolos com cobertura de Caatinga aberta. Possui potencial de água subterrânea	Pecuária, cultivo do cajueiro, extrativismo e a agropecuária

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Sousa (2012).

Dessas condições gerais é importante dar centralidade às repercussões em torno dos recursos hídricos, sendo as reservas superficiais limitadas na sub-bacia em função da irregularidade pluviométrica e as subterrâneas pela presença do domínio hidrogeológico fissural, marcado pela baixa porosidade do manto cristalino. Os recursos hídricos na SBHRF devem ser compreendidos no contexto da semiaridez, conforme as aproximações teóricas elucidadas a seguir.

Recursos hídricos, semiárido e desertificação

Naturalmente, o processo que engendra a água, o ciclo hidrológico, é o modelo que simboliza uma interdependência e o fluxo contínuo desse elemento em seus estados físico-químicos, se dando a partir da manifestação dinâmica de fatores como a precipitação, evaporação, transposição, infiltração, percolação e drenagem. São desses fatores e das condições ambientais de cada lugar, que a água se distribui de forma desigual e heterogênea. Se levar em conta que a água totalmente solúvel às necessidades da vida, a água doce, representa apenas 2,5% do total existente na Terra (TUNDISI, 2011).

Nesse sentido, com a eclosão das atividades industriais e a sofisticação do mundo moderno, a água e o ciclo que lhe dá origem deixaram de ser puramente naturais e passam a ser também sociais, na medida em que a esta, lhe é atribuída o valor de recurso hídrico, com conotação econômica (IORIS, 2013). Seu ciclo formativo é afetado pela sociedade bem como repercute também nela, na medida em que se utiliza desse recurso.

Por essas constatações é que os rios, ao se constituírem como os principais e importantes reservatórios de água doce, são fundamentais para a sobrevivência da humanidade, das plantas, animais e organismos. Disso emerge a necessidade de pensar sobre a imprescindibilidade da água, seja como solvente natural à vida das espécies, seja como recurso, haja vista que esta, embora seja renovável, pode ser exaurida pelo grau depreciativo das atividades socioeconômicas. Essas ações preponderam decisivamente na redução da disponibilidade e no comprometimento da sua quantidade e qualidade (NASCIMENTO, 2013).

Essas ações, uma vez que se relacionam diretamente sobre os recursos, explorando-os, influenciam no volume e na qualidade do material em suspensão nos rios. As atividades humanas, quando praticadas de forma mal manejada, contribuem para a redução da cobertura vegetal, conseqüentemente, expondo os solos, acelerando os processos erosivos, que por sua vez provocam assoreamentos dos canais fluviais, alteram o fluxo da drenagem com a construção de reservatórios, entre outros impactos ambientais. Conforme Tundisi (2011), essas ações repercutem contraditoriamente nas águas superficiais e subterrâneas, se por um lado os reservatórios superficiais alteram o fluxo natural da água nos rios e desequilibram a reprodução e migração dos peixes, por outro lado, dão a possibilidade de reter água localmente prevenindo catástrofes sociais decorrentes de secas, bem como pode potencializar atividades econômicas ligadas ao turismo e lazer, gerando empregos.

Desse modo é que a dialética das águas se enquadra como complexa do ponto de vista natural, político e social. Desse quadro surge a importância de dar atenção também aos recursos hídricos subterrâneos que, embora tenham sua armazenagem condicionada ao fator litológico, representam um recurso natural importante e alternativo para os usos em regiões onde a possibilidade de acumular água em superfície é limitada, embora se usada descuidada e generalizadamente pode ficar comprometida do ponto de vista da disponibilidade e qualidade (TUNDISI, 2011).

Por isso os recursos hídricos (termo usado doravante, para se referir a água) deve ser estudado em contexto amplo, como a bacia hidrográfica, a fim de melhor compreender a sua dinâmica ambiental e territorial, bem como facilitar seu planejamento (NASCIMENTO, 2013).

Pois, em gestão de recursos hídricos, é necessário considerar processos conceituais que perpassam a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento integrado das dimensões natural, econômica e social (CARVALHO; NASCIMENTO, 2004) além dos processos tecnológicos que dizem respeito ao uso de tecnologias adequadas que protejam, conservem e recuperem os mananciais e sua água, a fim de que também se adote processos institucionais que integrem um e outro. De modo que a bacia hidrográfica represente uma evolução

conceitual, científica e institucional no gerenciamento dos recursos hídricos, haja vista que é uma unidade física natural, de diferentes escalas, em que o sistema hidrológico se dá integrado a todas as condições geoambientais nela existentes, oferecendo uma visão sistêmica de sua dinâmica (TUNDISI, 2011).

Dessas premissas se requer debruçar na investigação dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas semiáridas. Tratando-se do semiárido brasileiro, uma área que incorpora 1.262 municípios dos 9 estados da região Nordeste mais o estado de Minas Gerais.

Para Ab'Sáber (2003,) essa área representa uma grande região seca homogênea, originada pela compacta configuração climática, hidrológica e ecológica dos sertões secos. É nesse sentido que, o semiárido brasileiro, tem na escassez hídrica a principal vulnerabilidade natural, pois é uma região ambiental adversa, em que competem baixas precipitações com altas taxas de evaporação, de modo que da água que chove, apenas 12% escoam, da qual ínfimos 3,4% infiltram no limitado lençol subterrâneo, e os outros 8,6% ficam em superfície por alguns meses, refém da alta evaporação (VIEIRA; GONDIM FILHO, 2006).

Além disso, é desse cenário fatigado que, no Nordeste semiárido, os reservatórios superficiais, como açudes de pequeno e grande porte, são importantes para a regularização ano a ano dos deflúvios naturais e proporcionam alguma disponibilidade de volumes, uma vez que as bacias hidrográficas da região são constituídas por rios intermitentes, de modo que os açudes constituem-se, por excelência, a única disponibilidade de águas superficiais até o momento em que secam ou as chuvas recarregam seus volumes (VIEIRA; GONDIM FILHO, 2006).

No contexto regional do Brasil, a Bacia do Atlântico Nordeste situada no trópico semiárido “abrange uma das regiões mais pobres da Federação, pois há nas contingências do semiárido um forte entrave ao aproveitamento dos recursos naturais, com destaque aos hídricos” (NASCIMENTO, 2012, p. 89). É marcada pela configuração geoambiental complexa e diversificada, coberta predominantemente por uma vegetação de caatinga, o que logra recorrentemente as secas e irregularidade pluviométrica no tempo e no espaço (NASCIMENTO, 2013).

A sub-bacia em estudo, por estar predominantemente submetida à semiaridez, se apresenta como vulnerável ao fenômeno da desertificação, especificamente com seu território inserido nas Áreas de Suscetibilidade à Desertificação (ASD). As ASD comungam do processo de desertificação como fenômeno da degradação das terras secas - áridas, semiáridas e subúmidas secas - pela vulnerabilidade climática agravada pela ação humana predatória, ou seja, culmina da simbiose do quadro geoambiental frágil agravado pelas atividades humanas (PAN-BRASIL, 2004).

Nesse cenário, a depreciação dos recursos naturais torna-se evidente, ao agravante que a disponibilidade hídrica nas ASDs é frequentemente reduzida (CEARA, 2010). Desse passo, assume-se, conforme Sousa (2016) o alerta do processo de desertificação como problema sério, fortemente associado às atividades humanas, do depauperamento dos sistemas ambientais a frações irreversíveis. Urgente assim se torna a tarefa de investigá-lo a partir de um denominador comum, a exemplo dos indicadores, de base biofísica como discutiremos a seguir.

A disponibilidade hídrica potencial social da sub-bacia Hidrográfica do Rio Figueiredo

A condição geográfica do Brasil, de grandes extensões territoriais e com quadro paisagístico rico e diverso, faz com que esse concentre cerca de 13,8% do deflúvio mundial. Em contraste, essa realidade foge à porção semiárida da região Nordeste

do Brasil, representada por números elevados de escassez hídrica, decorrente dos baixos percentuais de pluviometria e altas taxas de evapotranspiração, e ainda uma forte demanda populacional com cerca de 22.598.318 habitantes, correspondente a 11,85% da população brasileira, segundo dados do último censo do IBGE (2010).

É nesse contexto que se enquadra a sub-bacia Hidrográfica do Rio Figueiredo, no Ceará. Esse estado, inserido em uma porção territorial do semiárido no Nordeste setentrional, possui características típicas do clima semiárido. Configurando desastres naturais associados a secas/estiagens em quase todo o estado, incluindo municípios litorâneos, e casos de enchentes associados às fortes chuvas que excepcionalmente ocorrem em alguns centros urbanos.

Para apresentar e discutir o que se convencionou denominar de disponibilidade hídrica potencial social, equacionou-se a capacidade de acumulação das principais reservas superficiais, monitoradas pela COGERH, e a vazão dos poços dos municípios localizados na bacia, cadastrados pela Superintendência de Obras Hidráulicas (SOHIDRA) e disponibilizados pelo anuário estatístico do IPECE em 2017.

Para tanto, advoga-se como disponibilidade hídrica potencial social a supervisão quantitativa das reservas hídricas pela população, ou seja, o quantitativo da capacidade das reservas superficiais e subterrâneas monitoradas pelos órgãos superiores de oferta máxima para a população (tabela 1). Corroborando da ideia proposta por Rebouças (1997, p.143) em que essa relação enquanto disponibilidade social "caracteriza melhor a relação água/sociedade na medida que agrega fator relevante ao processo de gerenciamento integrado da água".

Tabela 1 - Disponibilidade hídrica potencial social

Municípios	População	Reservas superficiais monitoradas		Reservas subterrâneas		Disponibilidade hídrica potencial social (m ³ /hab.)
		Açudes	Capacidade (m ³)	Nº de poços*	Vazão total (m ³ /h)	
Alto santo	16.359	Riacho da Serra	23.470.000	26	17,8	1.477,47
		Taborda	700.000			
Ereré	6.840	Santa Maria	5.866.800	11	11	857,72
Iracema	13.722	Barragem do Figueiredo	519.600.000	62	74,721	39.639,41
		Canafistula	13.110.000			
		Ema	10.390.000			
		Santo Antônio	832.000			
Pereiro	15.757	Adauto Bezerra	5.250.000	44	67,71	333,18
Potiretama	6.126	Potiretama	6.330.000	30*	-	1.033,30
Total	58.804	9	585.548.800	173	171,231	9.957,63

Fonte: Elaboração dos autores com base IBGE (2010); Atlas dos Recursos Hídricos do Ceará - COGERH (2018); Anuário estatístico do IPECE (2017). *poços secos e/ou sem registro de vazão.

Em sintonia, a disponibilidade hídrica da sub-bacia responde às condições semiáridas já elucidadas anteriormente. Observa-se que esta área possui um adensamento populacional relativo e que os poços ainda são de pouca expressão, estando a disponibilidade condicionada à presença e recarga dos barramentos.

Nesse cenário, os reservatórios superficiais construídos, sobretudo em leitos de rios, se apresentam como a garantia de água para a população subsistir e desenvolver seus usos ao longo do ano. Se na sub-bacia, como em quase todo o semiárido brasileiro, a condição estrutural do embasamento cristalino não oferece grande potencialidade à disponibilidade de água subterrânea, restringindo essas aos aquíferos fissurais e de baixa vazão, é a açudagem, como aponta Zanella (2014), uma das práticas que mais se destaca no que concerne às políticas de armazenamento de água em grande volume no semiárido brasileiro.

Como exemplos da prática da açudagem, na SBHRF há nove açudes monitorados de médio porte, com destaque para barragem do Figueiredo de maior expressão quantitativa e espacial no território abrangendo porções dos municípios de Alto Santo, Potiretama e Iracema, com capacidade para armazenar quase 520 milhões de m³ de água.

Além desses reservatórios de maior expressão, existem ao longo de toda a sub-bacia outros reservatórios de pequeno porte que asseguram os usos da população do espaço rural, por meio dos quais se garante a dessedentação animal, a agricultura familiar e as lavouras dos moradores locais.

Entretanto, dada a escassez hídrica e extrema necessidade da população local, é notória a existência de outros meios para suprir as deficiências hídricas, como escavação particular de poços, cacimbas, barreiros, cisternas, abastecimentos por carros-pipa e/ou em animais, sendo essas de difícil mensuração devido às ocorrências no espaço da sub-bacia.

Essas práticas subsidiárias e paralelas à açudagem são fundamentais para a população local, uma vez que a semiaridez dificulta não somente a disponibilidade hídrica pela irregularidade pluviométrica, mas também a alta vulnerabilidade desta à evaporação, algoz dos reservatórios superficiais. Além disso, socialmente, ainda que alvo de críticas, como são a distribuição por carros-pipa, representam a salvaguarda para a população em situação de pobreza que não possui condições financeiras para adquirir água comprada ou perfurar um poço em sua propriedade.

Por trás desse quadro ambiental imutável há um pano de fundo político e social que repercute decisivamente na realidade hídrica da região, ainda que não compete aqui aprofundá-las, que é o clientelismo político empregado nas ações governamentais para o Nordeste, disseminando a açudagem em terras concentradas na posse de latifundiários e provisionamento de carros-pipa a cada seca, até hoje deturpando o fenômeno natural e não dando ainda a possibilidade dos sujeitos do Nordeste semiárido de conviver com essa fatalidade, como é ressonância ainda na área em estudo.

Assim, considera-se a aplicação e interpretação de indicadores de suscetibilidade à desertificação sob a base teórico-metodológica de Abraham e Beeckman (2006) em que o intercedem como política de informação, monitoramento de tomada de decisão, e a abordagem geobiofísica de Oliveira (2011, p. 149), na associação integrada dos elementos para o “entendimento das relações sociais, econômicas e da organização do espaço, enfocando as principais potencialidades e limitações”. Ademais, no discernimento da dinâmica hídrica aludida, aliada a irregularidade pluviométrica espaço-temporal do semiárido e às condições reais de demanda para a sobrevivência humana local, além do nível de mensuração dos dados disponíveis, propõe-se a disponibilidade hídrica potencial social como variável para o indicador de recursos hídricos.

Em relação à construção técnica e metodológica desse indicador para examinar a suscetibilidade à desertificação na SBHRF, trabalhou-se com a mensuração matemática dos dados hídricos em comunhão a distribuição desses pelos sistemas ambientais, por meio da verificação no *software QGIS*, versão 3.10.9 - *A Coruña*, com a interposição das bases digitais da drenagem da sub-bacia, corpos d'água, reservas hídricas monitoradas, poços subterrâneos e limites municipais da área, disponibilizados pelos órgãos estaduais do Ceará.

Assim, o quadro 2 apresenta a composição do indicador de recursos hídricos pela variável da disponibilidade hídrica potencial social, variando da seguinte forma: 1 –estresse hídrico, 2 – Regular, 3 – Suficiente, 4 – Rico, 5 – Muito rico. Nesta perspectiva, os maiores valores correspondem à melhor potencialidade para a conservação. Inversamente, os menores valores indicam maior estado de degradação correspondentes aos sistemas ambientais da SBHRF.

Quadro 2 - Indicador de recursos hídricos à suscetibilidade à desertificação na SBHRF

IGBFDRH: Recursos Hídricos	DISPONIBILIDADE HÍDRICA POTENCIAL SOCIAL (m³/hab.)	VI	SISTEMAS AMBIENTAIS					
			SA	SIP	SPE	PF	SEFA	MP
Muito rico	> 100.000	5						
Rico	10.000 a 100.000	4			■			
Suficiente	2.000 a 10.000	3						
Regular	1.000 a 2.000	2	■			■	■	
Estresse	< 1.000	1		■				■

Fonte: Elaboração dos autores. IGBFDRH: Indicador Geobiofísico de Desertificação de Recursos Hídricos; SA: Sertões de Alto Santo; SIP: Sertões de Iracema/Potiretama; SPE: Sertões de Pereiro/Ereré; PF: Planície fluvial; SEFA: Superfície de Exumação da formação Açú; MP: Maciço Residual do Pereiro.

Assim, é perceptível a situação entre regular e estresse em 5 dos 6 sistemas ambientais da bacia. A exceção está nos sertões de Iracema/Potiretama devido à presença da barragem do Figueiredo. Embora essa represente a abrangência e importância da açudagem no semiárido cearense, não a demanda de fato, pela condição irregular das chuvas e do cenário das secas recorrentes, presença efetiva de disponibilidade hídrica para a população. Ao que pode configurar uma crescente preocupação ao indicativo de suscetibilidade ao fenômeno da desertificação na área, analisando esse contexto hídrico disponível para a população.

Aliado a esse contexto, na realidade da degradação ambiental e suscetibilidade à desertificação, a não manutenção desses reservatórios e a não preservação dos mananciais e nascentes podem repercutir negativamente na situação hídrica, uma vez que o equilíbrio dos componentes geoambientais, tanto pela vegetação como solos, são fundamentais para garantir o fluxo de água. Na realidade particular, já elucidada por Albuquerque (2020), as áreas de nascentes da sub-bacia têm sofrido alterações nos seus componentes naturais, reverberando na dinâmica hidroambiental a partir do histórico de uso e ocupação.

Indicador de recursos hídricos para a suscetibilidade à desertificação e a gestão hídrica no semiárido

A “Crise da água” nada mais é que um conflito político e social. Tendo em vista que os impactos da degradação nesse elemento natural para o seu uso, enquanto recurso, impacta diretamente nas civilizações em todo o mundo, reverberando em miséria, violência e depauperamento da própria condição humana.

É nesse sentido que, corroborando com Pruski e Pruski (2011, p. 36), é primordial que se conheça a disponibilidade hídrica pois “auxilia as decisões político-administrativas associadas à disponibilidade e ao uso da água. É essencial, portanto, o desenvolvimento de ações voltadas ao melhor conhecimento da disponibilidade dos recursos hídricos e da melhor forma de sua utilização”.

A gestão dos recursos hídricos emerge como ação política estatal para harmonizar os usos e os interesses que envolvem estes e seus usuários. No Brasil, a concepção de gestão adotada na Lei n.º 9433 de 1997 que trata da Política Nacional de Recursos Hídricos parte do entendimento de que a água é um bem público, limitado e de valor econômico, que a gestão deve ser descentralizada e estar direcionada a proporcionar os usos múltiplos na bacia hidrográfica. Como diretrizes da gestão, no artigo 3º da Lei apresentam-se, entre várias, a adequação às diversidades físicas, biológicas e sociais das regiões do país, considerando suas diversidades, usos do solo e a integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental (BRASIL, 1997).

Então, a primeira necessidade para a gestão é a efetivação prática do modelo de gestão concebido nesta lei, criando comitês de bacia, espaços de participação popular para que conheçam a realidade hídrica de seu território, os riscos e as potencialidades para a justa tomada de decisão, sem o qual o uso desse indicador, *a posteriori*, não seria efetivamente possível.

Dessas premissas, pensando na gestão dos recursos hídricos para o semiárido brasileiro, surge uma complexidade singular, pois trata-se de uma região onde os recursos hídricos são escassos e ao mesmo tempo as condições geoambientais vulneráveis à intensidade da ação humana, reverbera em processos complexos de degradação ambiental associados à desertificação. Essa realidade é sensível na paisagem da sub-bacia elucidada, sobretudo nos sertões de Alto Santo e nos sertões Iracema/Potiretama (CEARÁ, 2018).

A isso assume o cenário do semiárido em que o regime anual das chuvas, concentrados nos primeiros meses do ano, a alta evaporação, e manto superficial raso, predominantemente cristalino, competem para decidir negativamente o regime dos rios intermitentes, e a acumulação de água subterrânea, haja vista a limitação litológica do aquífero, que dificultam os usos, em especial a produção agrícola, sobretudo onde essa escassez se dá de modo mais acentuado (SOARES; CAMPOS, 2013).

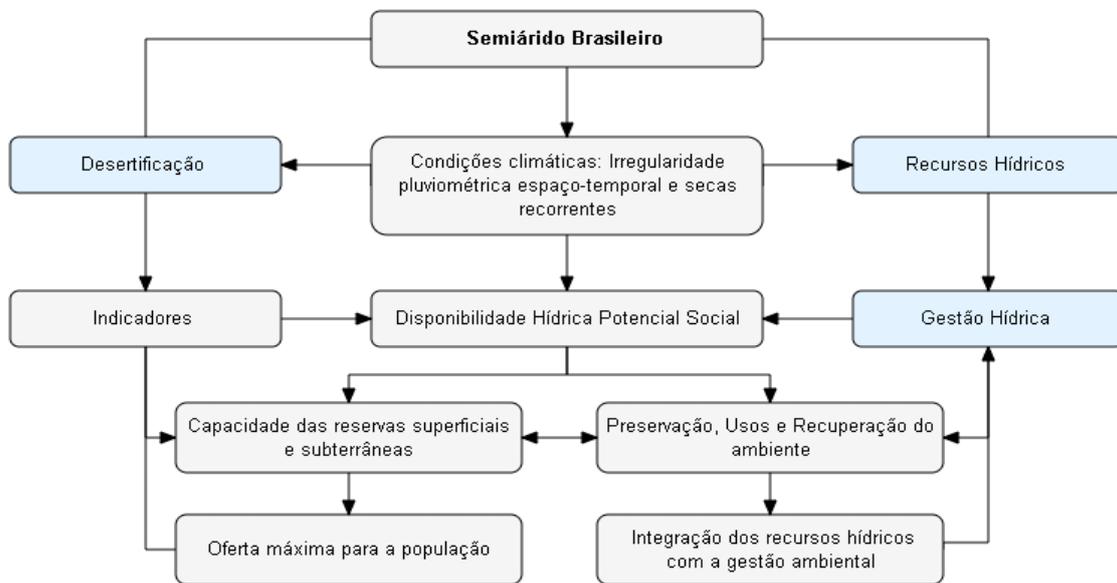
Daí a necessidade de se pensar em um mecanismo que possa conhecer e monitorar a disponibilidade hídrica no semiárido, considerando sua importância para a gestão e ao mesmo tempo para avaliação da desertificação, já que é o maior problema ambiental e social enfrentado por zonas climáticas dessa natureza. Nesta perspectiva, o entendimento de gestão deve coadunar com o paradigma da convivência com o semiárido, para que se concretizem nesse espaço a construção e manutenção de uma infraestrutura hídrica integrada (superficial e subterrânea) capaz de atender as demandas sociais, pautando-se em um gerenciamento dos recursos hídricos e do risco climático.

Diante dessa averiguação, o indicador de recursos hídricos pela variável da disponibilidade hídrica potencial social, conforme apontado, é uma importante ferramenta a ser considerada nas diretrizes da gestão hídrica, tal qual preconizada na

lei dos recursos hídricos do Brasil. Isso se deve à possibilidade de integrar aspectos da base físico-natural (água) e humano (população), dispondo de dados estratégicos para intervir na situação hídrica, além de dispor à comunidade de interesse uma alternativa metodológica. A figura 2 ilustra a interconexão dessa discussão frente à realidade semiárida.

Entretanto, é notório que a dificuldade de avaliar a situação hídrica dessa sub-bacia e em outras de espaço semiárido, corroborando com Rebouças (1997), está ligada à limitação da hidrografia regional, em que os rios secam na maior parte do ano, embora que, agir na ignorância dessa realidade é prejudicial para traçar qualquer planejamento e gestão que se leve em conta a efetividade de acesso democrático à água como bem público capaz de agregar uma política de desenvolvimento social sustentável da região.

Figura 2 - Fluxograma dos temas em discussão para o semiárido brasileiro



Fonte: Elaboração dos autores (2021).

Nesse panorama, advoga-se que planejar o semiárido, por mais heterogêneo que seja, implica agir decisivamente nos problemas estruturais que o atacam. Para esse recorte de estudo, elucida a desertificação e os recursos hídricos sem se desconectar um do outro, por meio do indicador de suscetibilidade à desertificação pela disponibilidade hídrica. No entendimento de que para mitigar o problema impera estudá-lo estrategicamente, compatibilizando as demandas sociais às disponibilidades dos recursos naturais, em especial, dos recursos hídricos. Por entender, que no presente século, o maior e mais urgente desafio reside não somente na escassez “natural” da água, mas no adequado gerenciamento dos recursos hídricos no âmbito global e regional, de forma integrada, consciente e participativa, envolvendo todos os atores do processo” (BRITO; MOURA; GAMA, 2007).

Pois ainda, considerando a crise da água como um problema que repercute nos desdobramentos das realidades socioespacial brasileira, e em especial no Nordeste semiárido do país, os fatores que dão sustentação a crise são fundamentalmente o acelerado e desordenado crescimento das demandas, a degradação dos mananciais e perda de sua qualidade e a precária eficiência dos serviços de saneamento básico (REBOUÇAS, 1997). Bem como considerar tratar a gerência e acesso à

água nessa região implica interferir na realidade fundiária que se constitui concentrada desde a sua formação territorial, que determina a disponibilidade de água, o acesso e o poder político (SILVA, 2020).

Nesse sentido, cabe ainda frisar que a chave mestra para enfrentamento de tais problemas é a gestão dos recursos hídricos. Considerando Ioris (2013), essa gestão deve considerar as raízes desenvolvimento do país e a representação política, uma cidadania ativa com plenos direitos à água e responsabilidades quanto ao uso e a preocupação ambiental.

Considerações finais

Dessa forma, reafirma-se a necessidade de dar centralidade ao tema da água nas relações espaciais, materializadas enquanto recurso hídrico, para o melhor funcionamento e gerenciamento no planeta Terra. No que diz respeito às regiões semiáridas, como é o caso do semiárido do Nordeste do Brasil, reside a atenção não somente às limitações naturais desse recurso, mas as especificidades geoambientais que resguardam as suas paisagens em comunhão às demandas e necessidades da população sertaneja, somando-se ao agravante do fenômeno da desertificação, asseverando a importância de uma gestão hídrica estratégica para o desenvolvimento sustentável.

Consoante, esse trabalho oportuniza a discussão da disponibilidade hídrica potencial social como indicador de suscetibilidade à desertificação, a partir do estudo de caso da sub-bacia hidrográfica do Rio Figueiredo, no Ceará, como estratégia metodológica para o estudo desse fenômeno. Oferecendo uma discussão para a gestão hídrica da realidade do semiárido brasileiro, uma vez que integrar as condições naturais e sociais, podem ainda subsidiar as intervenções de modo holístico.

Ademais, ressalta-se que o presente estudo não se isenta de aperfeiçoamento, justificando que o diagnóstico do panorama dos recursos hídricos no semiárido *per se* e aliado à desertificação é complexo. Além disso, essa é uma tentativa de esforços, que devem ser conjuntos com a comunidade científica, social e institucional, para que essa proposta possa contribuir efetivamente na realidade ensejada.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) e da Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Norte (FAPERN) – 001.

Referências

ABRAHAM, E. M.; BEEKMAN, G. B. **Indicadores de la Desertificación para América del Sur**. Mendoza: Editorial Martín Fierro, 2006.

AB'SÁBER, A. N. Caatingas: o domínio dos sertões secos. *In: Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades regionalistas*. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003, p. 83-101.

ALBUQUERQUE, D. S. **Uso e ocupação das áreas de nascentes do alto curso da sub-bacia hidrográfica do Rio Figueiredo, Ceará, Brasil**: elementos ao ordena-

mento territorial de áreas semiáridas. 2020. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Dinâmicas Territoriais no Semiárido) Departamento de Geografia, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Pau dos Ferros -RN, 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN-BRASIL)**. Brasília: Edições MMA, 2004.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades**. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em 01 abr. 2021.

BRASIL. **Lei nº. 9433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 30 abril 2021.

BRITO, L. T. L.; MOURA, M. S. B.; GAMA, G. F. B. **Potencialidades da água de chuva no Semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2007.

CARVALHO, O.; NASCIMENTO, F. R. Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável (escala de necessidades humanas e manejo ambiental). **GEOgraphya**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 12, p. 111-126, 2004.

CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH). **Atlas dos Recursos Hídricos do Ceará**. 2018. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/>. Acesso em: 20 abr. 2020.

CEARÁ. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). **Mapeamento Áreas Fortemente Degradadas em processo de Desertificação no Ceará**, 2018. Disponível em: http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2019/02/7-Mapa_CE_Desertifica%C3%A7%C3%A3o_2016_A2.pdf. Acesso em: 2 mar. 2021.

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). **Anuário estatístico do IPECE. 2017**. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/>. Acesso em: 20 outubro 2020.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAE-CE)**. Fortaleza, 2010.

IORIS, A. A. R. **Na contracorrente dos recursos hídricos: água e ambiente no Brasil contemporâneo**. Create Space, 2013.

NASCIMENTO, F. R. do N. Os Recursos Hídricos e o trópico semiárido no Brasil. **Geographia**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 28, p. 82-109, 2012.

NASCIMENTO, F. R. **O fenômeno da desertificação**. Goiânia: Ed. UGG, 2013.

OLIVEIRA, V. P. V. Indicadores biofísicos de desertificação, Cabo Verde/África. **Mer-cator**, Fortaleza, v. 10, n. 22, p. 147-168, 2011.

PRUSKI, F. F.; PRUSKI, P. L. A política nacional de recursos hídricos: desafios para sua implantação no semiárido brasileiro. *In*: MEDEIROS, S. de S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO,

C. de O.; PAZ, V. P. S. (org.). **Recursos Hídricos em Regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande - PB: Instituto Nacional do Semiárido (INSA), 2011, p. 1-25.

REBOUÇAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos avançados**, v. 11, n. 29, p. 127-154, 1997.

SILVA, C. B. Conflitos por Água e os (des) Caminhos do Uso e Apropriação no Contexto do Semiárido. **GeoUECE (online)**, v. 09, n. 16, p. 135-146, 2020.

SOUSA, M. L. M. de. **Diagnóstico Geoambiental da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Figueiredo, Ceará**: Subsídios ao Planejamento Ambiental. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

SOUSA, M. L. M. de. **Susceptibilidade à Degradação/Desertificação na Sub-Bacia Hidrográfica do Riacho Feiticeiro (Ceará/Brasil) e na Microbacia da Ribeira Grande (Santiago/Cabo Verde)**. Tese (Doutorado em Geografia). Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2016.

SOARES, R. B.; CAMPOS, K. C. Uso e disponibilidade hídrica no semiárido do Brasil. **Revista de Política Agrícola**. v. 22, n. 3, p. 48 - 57, 2013.

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Resolução nº 107/2017**. Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro e procedimentos para revisão de sua abrangência. Recife/PB, jul., 2017. Disponível em: <http://sudene.gov.br/images/2017/arquivos/Resolucao-107-2017.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2021.

VEIRA, P. P. B.; GONDIM FILHO, J. C. G. Água doce no semiárido. *In*: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDIZI, J. G (org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3º ed. São Paulo: Escrituras editora, 2006, p. 481 - 504.

YASSUDA, E. R. Gestão dos recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Rev. Adm. Pub.** Rio de Janeiro, v. 27, n. 2, p. 5 - 18, 1993.

TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno prudentino de Geografia**., volume especial, n. 36 p. 126 - 142, 2014.

CAPÍTULO 3

Rede hidrométrica e a gestão de sistemas fluviais no semiárido brasileiro: das estruturas, aplicações e desafios atuais

Andreza T. Felix Carvalho,

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN, Brasil.

E-mail: andrezaafelix@uern.br

Jacimária Fonseca de Medeiros,

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN, Brasil.

E-mail: jacimariamedeiros@uern.br

Introdução

Na última atualização da delimitação da área do Semiárido brasileiro, definida através da Resolução nº 115, de 23 de novembro de 2017, foram utilizados três critérios técnicos sobrepostos, sendo eles: (i) precipitação pluviométrica média anual inferior a isoietas de 800 milímetros; (ii) índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; e, (iii) risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990. De acordo com a Sudene (2021), como resultado foram incluídos à antiga delimitação geográfica mais 102 municípios, contemplando o total de 1.262 municípios localizados nos estados da região Nordeste e no norte do estado de Minas Gerais, correspondendo a área total de 982.563 km².

Observando a sua dimensão espacial, o Semiárido brasileiro é caracterizado como uma região que possui grande diversidade ambiental decorrente de variabilidades geológicas, climáticas, pedológicas, hidrológicas e florísticas, expressas em diferentes configurações de unidades de paisagem que, segundo Silva et al. (1993), contemplam 17 grandes unidades de paisagens, subdivididas em 105 unidades geoambientais, de um total de 172 no Nordeste como um todo.

Dada essa complexidade, compreende-se que pensar no conhecimento da espacialização e da temporalização dos aspectos ambientais torna-se primordial para o planejamento e implementação de políticas, programas, projetos e ações de ordem pública especializadas, voltadas ao desenvolvimento sustentável da área. Todavia, esta região estereotipada pelos longos períodos de estiagem, solos rasos e pedregosos, e vegetação escassa, encontra sérias dificuldades na esfera da gestão hídrica em seu território. Fato esse que, compromete diretamente a qualidade de vida de seus habitantes diante de diversas problemáticas de cunhos ambientais, como também, sociais, políticas e econômicas, como são os casos do acometimento de doenças de ordem hídrica e de inundações em áreas urbanas.

A questão climática é preponderante para a região semiárida nordestina e seu entendimento é fundamental para a convivência, bem como para o direcionamento das políticas públicas efetivas e direcionadas. Importante destacar que essa realidade climática não se constitui como algo recente, mas sim imprime um regime climático já bem definido com importantes transformações nas paisagens acentuadas no Neógeno e no Paleógeno. Para Paiva e Campos (1995), as condições de semiaridez evidenciadas no Nordeste brasileiro se intensificaram a partir do Pleistoceno e foram agravadas pela ocorrência de periódicas secas na região.

Nesta perspectiva, dentre os aspectos mais relevantes dos elementos climáticos, destaca-se que as temperaturas são elevadas e apresentam pouca variação interanual, oscilando entre 23°C e 27°C. As precipitações apresentam valor máximo de 800 mm/ano distribuídas em regime pluviométrico monomodal, com um pico de estação chuvosa concentrada nos primeiros meses do ano, definido como quadra chuvosa. Para Silva et. al. (2010), esta região se define pela forte insolação, temperaturas altas e regime de chuvas marcado pela escassez, irregularidade e ocorrência em poucos meses do ano.

Dentro desta discussão, enfatiza-se a importância de entender e considerar que o Semiárido nordestino apresenta uma realidade complexa quanto aos seus aspectos físicos, em especial a questão climática que reverbera diretamente na disponibilidade dos recursos hídricos, onde, segundo o Projeto Áridas (1994), caracterizam-se pela intermitência dos rios, as secas periódicas, as cheias frequentes e uso predominante da água para abastecimento humano e agropecuário.

As secas periódicas se constituem como uma marcante característica regional e o seu debate, segundo Vieira e Gondim Filho (2006) remonta ao século XIX, movido basicamente pela ocorrência destes eventos extremos de grande intensidade, com impactos traumáticos sobre grandes contingentes populacionais. Estas ocorrências de eventos de secas e de inundações ocasionam transtornos e perdas econômicas e humanas e, passam a ser fatores determinantes à implementação de um conjunto de medidas estruturais e não estruturais de ordem hídrica e territorial.

Isto posto, defende-se que “o monitoramento de recursos hídricos é uma política pública claramente complexa tendo em vista que os interesses são transversais e difusos e, portanto, o Estado não pode ser um ator monolítico, mas precisa ser uma entidade com diversidade de mecanismos e interesses que operem com múltiplas lógicas, principalmente, agindo como mediador para criar um contexto de interação” (SILVA, 2021, p. 11).

Pautado na sua significação e abrangência temporal e espacial, o entendimento dos sistemas fluviais pode ser considerado como fundamental à definição de ações sob os aspectos do planejamento territorial e, principalmente, do planejamento hídrico.

Neste contexto, no cerne do desenvolvimento da gestão de recursos hídricos, a existência e o funcionamento de uma rede de coleta de dados hidrológicos que possam subsidiar diversos estudos de caráter técnico e científico, sendo indispensáveis para dar segurança à tomada de decisões. Tal fato deve-se pois, como aponta a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA (2020), à atividade de estações hidrometeorológicas, a partir delas é possível mensurar o volume de chuvas, a evaporação da água, o nível e a vazão dos rios, a quantidade de sedimentos e a qualidade das águas em estações pluviométricas, evaporimétricas, fluviométricas, sedimentométricas e de qualidade da água.

Mas pensando na região do Semiárido brasileiro, como se apresenta a distribuição da rede hidrometeorológica? Quais os fatores intervenientes e qual a funcionalidade dessa rede no entendimento técnico e científico sobre a gestão de sistemas fluviais? E quais suas implicações às diversas problemáticas ambientais, sociais e econômicas que afligem diretamente ao desenvolvimento desta região? Assim, de forma despretensiosa, este capítulo fundamentado a partir de teorias, concepções epistemológicas, conceitos e resultados de pesquisas de diversos ramos das Geociências e da Geografia, tem como objetivo, discutir sobre as estruturas, aplicações

e desafios atuais que se apresentam a respeito da rede hidrométrica e da gestão de sistemas fluviais no Semiárido brasileiro.

Desse modo, esta abordagem traz em sua perspectiva, o convite de provocar ao leitor, uma reflexão pautada no entendimento dos sistemas fluviais do Semiárido, sobretudo, aqueles de regimes intermitentes e efêmeros associados ao fundamento da gestão hídrica descentralizada, nas demandas territoriais de utilização racional e integrada dos recursos hídricos e, na transparência e universalização das informações hídricas. Para isto, toma como base de dados as informações disponibilizadas pelo Sistema de Informações Hidrológicas do Hidro (2020), da Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), que reúne informações hidrometeorológicas de estações de monitoramento existentes no Brasil.

A bacia hidrográfica e o comportamento dos sistemas fluviais em regiões semiáridas

A bacia hidrográfica enquanto unidade de planejamento territorial e de gestão hídrica é fundamental para o cerne da compreensão da dinâmica dos recursos hídricos e do gerenciamento do controle de uso e ocupação da terra. Na escala de análise espacial da bacia hidrográfica, a hierarquização da rede de drenagem e os aspectos morfométricos são os pontos críticos para o estudo da dinâmica hídrica de superfície, refletindo diretamente na referência terrestre e nos compartimentos hidrológicos.

Conforme descreve Carvalho (2020a), a delimitação da área e o reconhecimento do ambiente físico da bacia hidrográfica como visão estratégica do planejamento trazem à bacia hidrográfica a concepção de recorte territorial como célula de análise integrada entre a organização espacial dos grupos sociais e os aspectos do ambiente físico que, por sua vez, os impactos gerados podem não estar exclusivamente relacionados à sua produção social local.

Contudo, de forma não excludente, é importante refletir que além das fronteiras da bacia hidrográfica e de sua produção social, deve-se ter atenção ao entendimento do comportamento dos sistemas fluviais na qualidade de elementos modeladores, formadores e resultantes das unidades das paisagens. Conhecer esses sistemas em diferentes perspectivas e escalas traz à concepção de um sistema complexo, mas sobretudo, de um sistema que possui grande diversidade de dinâmicas e resultados provenientes de forças de distúrbios e de forças de resistências que fogem da uniformização de processos e impactos.

A saber, pode-se explicar que os sistemas fluviais como sistemas dinâmicos, não lineares e de comportamento caótico são compostos por diversos elementos que se interagem, transformam, produzem, ligam e mantêm o sistema como um todo (SOUZA, 2013; CARVALHO, 2020). Diferentemente da bacia hidrográfica como recorte espacial sistêmico, o sistema fluvial enquanto unidade de observação possui em sua abordagem a análise dos processos e estrutura do sistema considerando os elementos internos e externos da rede de drenagem (SOUZA, 2013) e que, por apresentarem respostas não lineares e estados de não equilíbrio, geram dificuldades de se definir padrões fluviais normatizados.

Assim, destaca-se que, configurados por mudanças de regime hídrico, magnitude e frequência de cheias, os sistemas fluviais influenciados pelas características ambientais presentes e pretéritas possuem seu comportamento condicionado à ocorrência de precipitações de chuvas como sua fonte natural de entrada de energia. Conforme cita Souza (2013), para o estudo do sistema fluvial é necessário levar em consideração quatro conceitos: uniformidade dos processos, limiares de mudança, evolução da paisagem e respostas complexas.

Alterações na bacia hidrográfica, mesmo que de baixa intensidade, levam à desestabilização do sistema, devido ao grande número de interações e retroalimentações dos sistemas naturais (DREW, 2005). Desse modo, entende-se que inerente aos seus componentes, o comportamento natural do sistema fluvial traz consigo, implicações à dinâmica da bacia hidrográfica, assim como, a atuação antrópica neste recorte espacial territorial, altera o direcionamento de entradas de energia no sistema fluvial, respondendo através de mudanças/ impactos na saída de energia. Exemplo disso, pode-se citar desabamentos ou assoreamento às construções edificadas em leitos de cursos d'água, como barragens, pontes e passagens molhadas.

No Semiárido, apesar de ter sua paisagem estereotipada pela escassez de recursos hídricos, apresenta além dos sistemas fluviais de regime hídrico efêmeros e intermitentes, aqueles do tipo perene. Esta variabilidade hidrológica encontrada ao longo de sua rede fluvial, se mostra com características peculiares e não uniformes, fazendo com que os sistemas fluviais possam ao longo de um curso d'água apresentar mais de um tipo de regime hídrico.

Em particular, os sistemas de regimes hídricos intermitente e efêmero, exclusivos de ambientes Semiáridos e áridos, possuem elementos fisiográficos diversificados com comportamentos e dinâmicas variadas, que ainda são pouco estudadas, em parcela, por falta de informações e dados sistemáticos específicos da área. Suas diversidades de fluxo de água e de transporte existentes são respostas da combinação variabilidade espacial e temporal das precipitações e a heterogeneidade geológica, pedológica, geomorfológica e edáfica da área de esculturação.

Desse modo, destaca-se que os sistemas intermitentes possuem fluxo de água e de sedimentos em períodos chuvosos e seus elementos possuem estruturas resilientes aos períodos de estiagem e de configuração de fluxo influente. "Os cursos d'água influentes são mais comuns em zonas áridas e semiáridas em que os fluxos fluviais são majoritariamente temporários e o nível de água subterrâneo tende a não interceptar os canais" (MAGALHÃES JÚNIOR, BARROS e COTA, 2020, p. 218). À vista disso, são caracterizados pelos fluxos temporários, geralmente sazonais, e nascentes que podem mudar de posição em função das oscilações do nível da água subterrâneos.

Já com relação aos sistemas de regime efêmeros, estes abrigando fluxo de água e de sedimentos exclusivos da ocorrência pontual de chuva, no geral, não demonstram a manutenção de fauna aquática, calhas e nascentes definidas. Desse modo, considera-se que seus rios, não vindo a serem cursos d'água devido à ausência de nascente, são mais complexos de serem identificados e, conseqüentemente, geridos.

Contudo, para além desta configuração espacial, conforme já discutido anteriormente, a não uniformidade dos regimes hídricos dos sistemas fluviais no Semiárido brasileiro proporciona que perenidades hídricas possam ser encontradas também no Semiárido brasileiro. Sob as áreas de exceção climáticas como serras e vales se encontram geralmente os sistemas fluviais perenes do Semiárido, que possuem critérios de constância de escoamento (MAGALHÃES JÚNIOR, BARROS e COTA, 2020, p. 218), calhas definidas e presença de macrobiota.

Neste contexto de áreas de exceção climática, tem-se o exemplo a Serra de Martins-RN que, mesmo inserida em contexto regional semiárido apresenta, segundo Medeiros et al. (2021), características de área de exceção climática, com média pluviométrica de 1230 mm/anuais e média térmica de 23°C. Os autores ressaltam que o comportamento dos elementos climáticos citados está sob a constante atuação da altitude (700 m), enquanto um ativo fator geográfico do

clima.

Como exemplo da perenidade de sistemas fluviais nesta localidade, pode-se citar, conforme indica Neres (2014), a Nascente do Brejo, a Nascente da Cachimba, a Nascente Gruta de João Barreto e Nascente do Lamarão, alimentando continuamente seus respectivos cursos d'água. De acordo com a autora, a quantidade e a vazão das nascentes perenes encontradas em Martins e Portalegre vão responder a abundância da pluviosidade infiltrada nas zonas de recarga, durante um longo período.

Todavia, afastando-se deste cenário de exceções climáticas, tem-se ainda no Semiárido, casos de perenidade de sistemas fluviais, como dos rios São Francisco e Parnaíba. Se tratando de suas bacias hidrográficas, apesar de muitos de seus afluentes não se apresentarem perenes, a continuidade dos fluxos hídricos no curso d'água principal deriva particularmente, da capacidade de armazenamento superficial, sobretudo, da subsuperficial e subterrânea determinadas pelas estruturas geológicas e pedológicas existentes em suas áreas diretas de drenagem. Segundo Magalhães Júnior, Barros e Cota (2020), o fluxo que pereniza os canais é originário do escoamento de base, que pode variar em função do regime pluviométrico e dos processos de recarga de aquíferos.

Neste sentido, compreende-se que estudar a dinâmica hídrica nas bacias hidrográficas exige além de conhecimentos específicos sobre o tema, área e sistema fluvial de estudo, informações e dados representativos e particulares que possam dar subsídios às análises e considerações. Pois, diante da complexidade inerente dos sistemas fluviais, utilizar o recorte espacial territorial da bacia hidrográfica, converge à perspectiva sistêmica para realização da análise integrada, para que se possa analisar a estrutura, a dinâmica e o comportamento do objeto de estudo, como apontam Thornes e Brunnsden (1977), Mediondo e Tucci (1997), Christofolletti (1999), Coelho Netto (1998), Santos (2004), Guerra e Mendonça (2007) e Fellipe e Magalhães Júnior (2020), Magalhães Júnior, Barros e Cota (2020), entre outros.

A funcionalidade da Rede Hidrometeorológica e a sua estrutura no Semiárido brasileiro

Os sistemas fluviais, enquanto sistemas ambientais, possuem comportamentos distintos de acordo com a escala de observação dos processos hidrológicos, resultando no processo de transformação chuva-vazão. Assim, compreender este processo, bem como suas causas e efeitos, exige conhecer a representatividade dos processos hidrológicos em diferentes escalas espaciais e temporais.

Conforme Mediondo e Tucci (1997), a complexidade dos processos das escalas menores e a relativa simplicidade com a qual eles são integrados nas escalas menores são um dos desafios perante a complexidade das escalas espaciais e temporais para responder questões como das ações antrópicas em diferentes escalas da bacia hidrográfica. A saber disso, a “necessidade de maiores conhecimentos sobre a variabilidade espacial e temporal da precipitação é crucial para planejamento de ações que visem minimizar a escassez hídrica” (COSTA et. al, 2015) e redução no risco de desastres, dentre outras.

Assim, sabendo que os verdadeiros valores dos elementos hidrológicos não podem ser determinados por medições, porque erros de medição não podem ser eliminados completamente, a incerteza na medição tem um caráter probabilístico que pode ser definido como o intervalo em que se espera que o verdadeiro valor esteja com uma certa probabilidade ou nível de confiança (WORLD ME-

TEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO, 2008, p. 13). Logo, torna-se importante o entendimento da importância de uma rede de coleta de dados hidrológicos no sentido de fomentar a gestão dos recursos hídricos, e ainda, como um instrumento para o planejamento territorial, algo essencial principalmente, em uma região semiárida cuja principal característica relaciona-se à questão climática e, conseqüente, à escassez de recursos hídricos.

Neste contexto, no cerne do desenvolvimento da gestão de recursos hídricos, a existência e o funcionamento de uma rede de coleta de dados hidrológicos que possam subsidiar diversos estudos de caráter técnico e científico, dando a estes, segurança à tomada de decisões, é indispensável. Tal fato deve-se pois, como aponta a ANA (2020), a partir da atividade de estações hidrometeorológicas, é possível mensurar o volume de chuvas, a evaporação da água, o nível e a vazão dos rios, a quantidade de sedimentos e a qualidade das águas em estações pluviométricas, evaporimétricas, fluviométricas, sedimentométricas e de qualidade da água.

A Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN é coordenada pela ANA e composta por 22.779 estações de monitoramento espalhadas pelas 12 Regiões Hidrográficas do País, para isso, conta com a parceria de outras instituições federais, além de entidades estaduais para realização do monitoramento e disponibilização de informações de diferentes parâmetros de interesse hidrológico. Com suas estações distribuídas ao longo do território nacional, incluindo, alguns pontos em território marítimo, a ANA gerencia diretamente 4.968 estações sendo, 2.769 pluviométricas e 2.199 estações fluviométricas.

Entretanto, a ANA mesmo sendo a agência responsável pela coordenação do banco de dados nacional, dentre outras atividades, não é a detentora e responsável pela operacionalização e coleta de dados de todas as estações localizadas no território nacional. Atualmente, a Agência está focada na supervisão dos trabalhos realizados pela CPRM que opera as 3.518 estações de sua responsabilidade. Assim, caracterizada pela diversidade e multiplicidade de atores envolvidos na gestão desses postos de coleta, existem 75 estações operadas pela ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 902 estações cujos responsáveis são entes estaduais e 338 empresas privadas; ficando assim, a ANA responsável pela inserção das informações hidrometeorológicas no Sistema de Gestão e Análise de Dados Hidrológicos, na medida em que seus responsáveis as fornecem (HIDRO, 2021; SILVA, 2021).

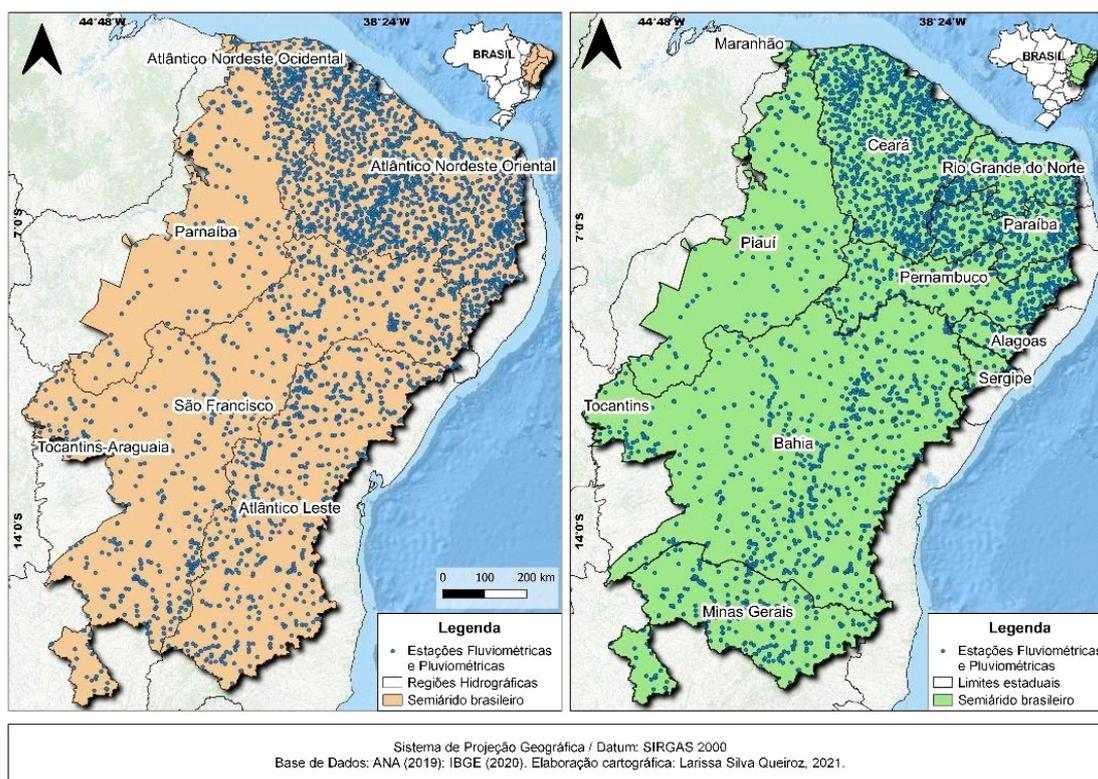
Analisando este total de estações, pode-se achar que se trata de uma significativa rede de coleta de dados, no entanto, há que se considerar que muitas delas estão desativadas e/ou com problemas técnicos em seu funcionamento, o que conseqüentemente gera uma grande lacuna nos dados e afeta de forma negativa as séries contínuas. Outro fator passível de crítica é a distribuição territorial que se apresenta de forma desigualitária, estando as estações mais concentradas nas regiões Sudeste e Sul, e na área do litoral oriental do Brasil.

De acordo com Silva (2021), o Nordeste brasileiro abriga 6.181 estações de monitoramento, sendo 3.666 pertencentes a Rede Pluviométrica Nacional e 2.525 da Rede Fluviométrica Nacional, correspondendo, a aproximadamente 30% do total nacional. Inserida neste contexto, segundo a ANA (2019), a região semiárida atualmente é atendida por 1.810 estações fluviométricas e 2.723 estações pluviométricas, como mostra a figura 1.

A figura 1 proporciona um entendimento de que a região semiárida brasileira apresenta significativa quantidade de estações fluviométricas e pluviométricas atendendo seu território, no entanto, é notória a concentração destas também em alguns espaços, como a Região Atlântico Nordeste Oriental e Oci-

dental que abrangem os territórios estaduais da Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte; contrariamente às demais regiões hidrográficas, que apresentam poucas estações, destacando principalmente as Regiões Hidrográficas do Parnaíba e do São Francisco.

Figura 1 - Distribuição das estações fluviométricas e pluviométricas por regiões hidrográficas e pelo Semiárido brasileiro.

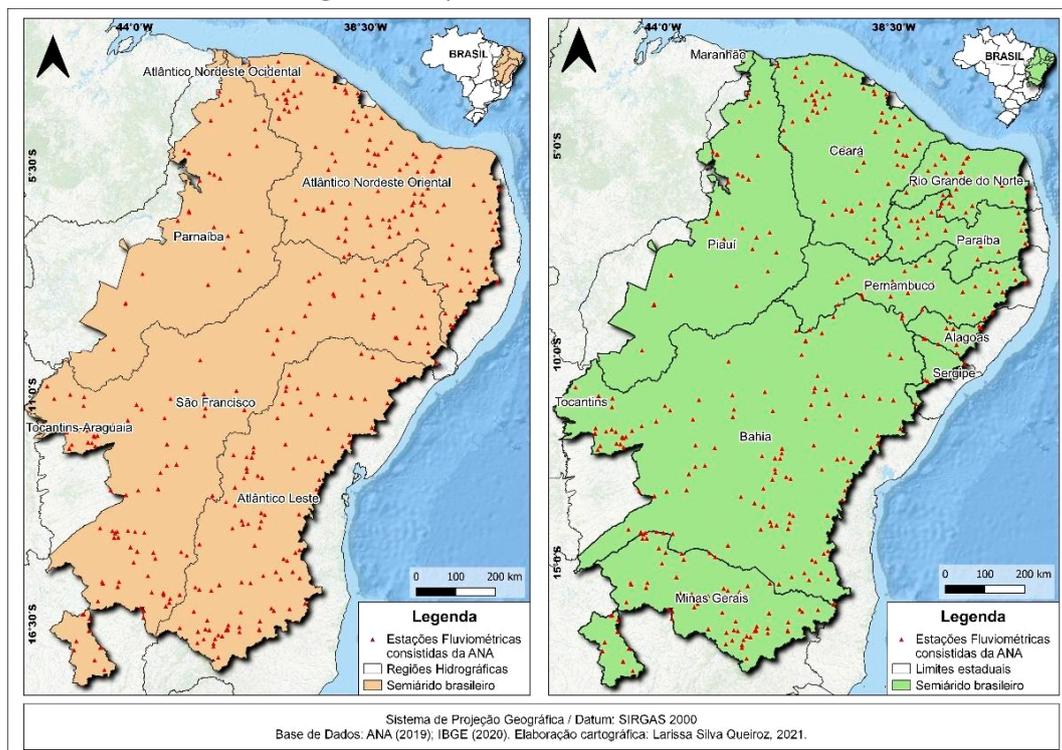


Fonte: Elaborado pelas autoras

Além disso, pode-se aferir um predomínio dessas estações em áreas que apresentam as regiões hidrográficas pertencentes a cursos d'água de ordem principal do tipo intermitente, tendo em vista que, as áreas menos assistidas são aquelas cujos canais fluviais principais se configuram como perenes, caso do Rio São Francisco e do Rio Parnaíba. Embora pareça haver maior interesse na geração de informações nos espaços marcados pela sazonalidade hídrica, talvez, buscando mitigar problemas relacionados aos eventos extremos e seus possíveis danos a população da região semiárida.

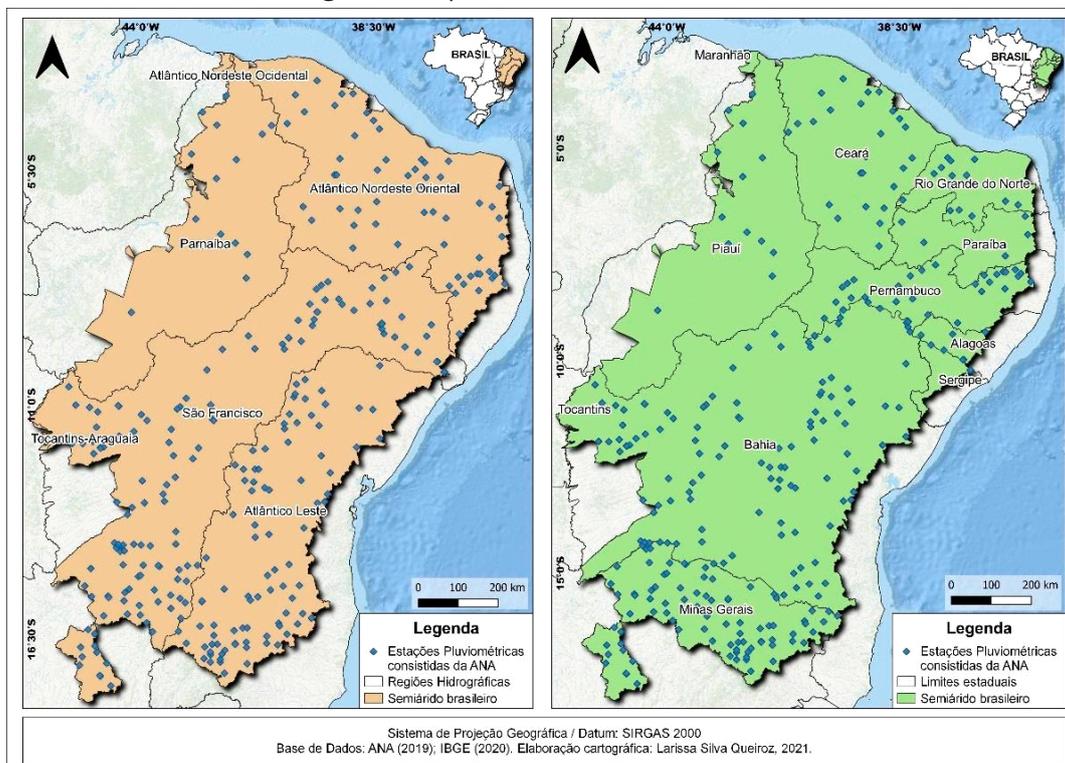
Com base no exposto e sabendo que "a disponibilidade de informações rápidas e confiáveis é essencial para avaliar a disponibilidade hídrica no tempo e no espaço, as cheias e inundações, a qualidade da água, o planejamento e a operação dos sistemas hídricos, entre outros processos ligados à gestão dos recursos hídricos" (ANA, 2020, p. 3), torna-se pertinente destacar que deste cenário, apenas 372 estações fluviométricas e 302 estações pluviométricas são geridas pela ANA (Figuras 2 e 3).

Figura 2 – Distribuição das estações fluviométricas consistidas pela ANA por regiões hidrográficas e pelo Semiárido brasileiro.



Fonte: Elaborado pelas autoras

Figura 3 – Distribuição das estações pluviométricas consistidas pela ANA por regiões hidrográficas e pelo Semiárido brasileiro.



Fonte: Elaborado pelas autoras

Além da questão da reduzida quantidade de estações fluviométricas e pluviométricas da ANA na região semiárida brasileira, ao analisar as figuras 1, 2 e 3, é possível evidenciar também que existem grandes vazios gerados pela ausência de estações. Percebe-se estes vazios, de forma mais contundente, na porção Oeste da região semiárida, principalmente nas Regiões Hidrográficas do Parnaíba e do São Francisco, que correspondem, respectivamente, aos estados do Piauí e da Bahia.

Perante os cenários expostos, é importante apreciar que a ausência de estações nesse território acarreta a inexistência de informações fundamentais relacionadas diretamente às precipitações pluviométricas no tocante ao volume de chuvas, evaporação das águas, nível e volume dos rios, quantidade de sedimentos, qualidade das águas, dentre outros, comprometendo de modo geral a gestão dos recursos hídricos. Segundo a WMO (2018, p. 24), a adoção da rede mínima deve evitar sérias deficiências no desenvolvimento e gestão de recursos hídricos em uma escala compatível com o nível geral de economia, desenvolvimento social e necessidades ambientais do país.

Neste quesito, destaca-se que, para uma região como o Semiárido, uma maior quantidade de estações para captação de dados de precipitação pode ser mais pertinente o emprego, que a de postos para obtenção de dados de vazão devido às suas características hidráulicas e dificuldades para medição. Esta relação deve ser avaliada cuidadosamente pois, apesar das estações fluviométricas captarem informações diretas da vazão do curso d'água, o instrumento registra restritamente as informações na seção do curso d'água em que está instalado, não observando os eventos de chuva-vazão difusos e podendo não traduzir, conseqüentemente, os impactos gerados à bacia hidrográfica e desfavorecer o grau de entendimento sobre os cursos d'água de regimes intermitente e efêmero.

A gestão dos sistemas fluviais intermitentes e efêmeros em face do banco de dados hidrometeorológico no Semiárido do Brasil

Informações e dados hidrometeorológicos são fundamentais para a gestão hídrica e planejamento territorial. Esse conjunto é responsável por fundamentar a realização de análises diversas, como conservação dos solos, gestão ambiental, gerenciamento do uso do solo, engenharias, geomorfologia, geologia, entre outros, que estruturam e direcionam políticas, planos, projetos e ações de cunho hídrico e territorial.

Quanto mais longas forem as séries históricas desses dados, maior a sua relevância para fins de diagnóstico e prognóstico para atividades que envolvem o planejamento de uso de recursos hídricos, gerenciamento de bacias hidrográficas, previsão de cheias, os diversos tipos de abastecimento público e privado, o ordenamento territorial, geração de energia hídrica, entre outros. Pois, como defende a ANA (2020), o registro histórico dos parâmetros monitorados e as informações obtidas e divulgadas, após a consistência e sistematização dos dados hidrometeorológicos são valiosas para subsidiar a tomada de decisão para a eficiente gestão dos recursos hídricos.

Todos os dados hidrometeorológicos monitorados necessitam de tratamentos e processamentos básicos para que os mesmos possam ser utilizados com confiabilidade. As incertezas envolvidas nos dados (...), muito raramente, podem ser desprezadas sem passarem, pelo menos, por análises preliminares (LOPES, et al. 2013, p. 1).

Nesse sentido, é importante relacionar que, a distribuição da disponibilidade da rede hidrometeorológicas e o registro consistente dos eventos de precipitação e de vazão dos cursos d'água são dificuldades encontradas à gestão dos sistemas fluviais no Semiárido.

Diante do cenário de disposição da rede, existe também como adversidade, a descontinuidade de registros que, porventura, são ocasionadas por motivos de interrupção de funcionamento por conta de depreciações dos equipamentos. Descontinuidades como estas, indicadas como ausência ou insuficiência de dados, comprometem a sistematização da série histórica de precipitações e de vazões, afetando diretamente no processo de avaliação da disponibilidade e do comportamento hídrico e, na previsão de impactos hidroambientais.

De acordo com Vespucci, Santos e Bayer (2016, p. 91) "(...) entre outros problemas recorrentes, está o fato das séries históricas serem extremamente curtas e da mesma forma, ocorre casos em que as medições não cumprem as devidas especificações da ANA/ANEEL". A quantidade inferior de estações fluviométricas, que é discutida no tópico anterior, traz no cerne da gestão dos sistemas fluviais que necessita de dados dos seus cursos d'água, o desafio de ter de trabalhar com os dados pluviométricos das estações mais próximas.

Neste limiar, depara-se com as diferenças entre a água colhida a altura de um pluviômetro ou de um pluviógrafo, daquela que atinge ao solo e se transforma em escoamento superficial, energia motivadora natural de processos de erosão, transporte e sedimentação. Para casos como estes são utilizados métodos estatísticos e matemáticos para dar aparato aos estudos hidrológicos na composição de estimativas das informações do local em estudo, a fim de "diminuir, minimizar ou eliminar os possíveis erros existentes nas séries de dados coletados, aumentando a confiabilidade desses estudos e diminuindo os impactos negativos que as incertezas produziram nos seus resultados" (LOPES, et al. 2013, p. 1-2).

Como exemplo, pode-se citar os procedimentos de transferência de informações de vazão por meio do recurso de regionalização de vazões. Esta estimativa "é realizada com base em modelos de cálculo das vazões estatisticamente ajustados, que se demonstram aplicáveis a qualquer seção fluvial da bacia considerada" (BARBOSA, 2004, p. 3). Desse modo, o desenvolvimento da gestão de sistemas fluviais intermitentes e efêmeros esbarra na condição de comprometimento da qualidade das propriedades estatísticas e históricas para previsões sobre o comportamento futuro desses sistemas, impedindo por muitas vezes a realização da ação compatível com as necessidades da área e objeto de interesse, indo assim, de encontro aos objetivos definidos pela Política Nacional de Recursos Hídricos, promulgados pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

Sobre isto, uma das grandes dificuldades que se pode citar é sobre o conhecimento dos cursos d'água em escalas locais, sobre seu comportamento e dinâmicas hidrológicas, sedimentológicas e geomorfológicas. Perante este quesito, a gestão hídrica por parte dos estados do Semiárido e, especialmente, dos municípios, acaba se tornando enfraquecida perante as demandas e processos inerentes da vida cotidiana no territorial municipal.

Os cursos d'água, por não apresentarem fluxo hídrico durante parte do ano decorrentes dos longos períodos de estiagem, passam a ter suas áreas desconsideradas, negligenciadas ou até mesmo desconhecidas pelas instituições e população. Segundo estudo realizado por Cavalcanti, Braga e Aguiar (2016), além de lacunas existentes na legislação, existe ainda a dificuldade de integração entre políticas, programas e projetos na esfera local, como é o que caso, para questões de abastecimento de água em áreas rurais.

Por fim, neste cenário, deficiências nos diálogos entre as instituições que lidam diretamente com a esfera de gestão ambiental e a de planejamento, assim como a falta de recursos humanos qualificados na área, colaboram para a inconsistência dessa gestão e, conseqüentemente, comprometem a definição de ações efetivas de preservação, mitigação e remediação associadas aos recursos hídricos da localidade.

Considerações finais

A implementação de uma gestão de recursos hídricos no Brasil de forma efetiva sendo sustentável, descentralizada e democrática ainda é algo que vem sendo objeto de desenvolvimento paulatino, sendo, além disso, mais evidente quando se trata do contexto do Semiárido.

Apesar da evidente e histórica problemática hídrica da região, até mesmo usada como justificativa pela sua condição socioeconômica, observa-se o descompasso na manifestação, elaboração e aplicação de políticas e estudos dedicados à sua solução, mas principalmente, de projetos e ações que visem a qualidade de informações sobre este recorte espacial. Neste sentido, é importante firmar e reforçar o ideário de que, conhecer a dinâmica dos sistemas fluviais, intermitentes e efêmeros, é a ferramenta mais apropriada para a formulação de medidas que sustentem o planejamento territorial do Semiárido e fortaleça a Política Nacional de Recursos Hídricos.

Para isto, é fundamental investir na manutenção e na estruturação da rede de dados hidrometeorológicos pois, como já abordado, seus equipamentos e sistemas integrados devem ser capazes de dar subsídios ao desenvolvimento de diversos estudos com mais consistência e propriedade sobre chuva e vazão. No tocante à ampliação da rede, em especial nos vazios regional, torna-se fundamental a realização de estudos específicos sobre as diversas áreas do Semiárido para que as estações possam atender de forma mais eficiente e fidedigna as diferentes realidades locais.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANEAMENTO BÁSICO. Catálogo de metadados da ANA (2019). Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/search?resultType=detailSHYPERLINK> ". Acesso 10 jun 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020:** informe anual/Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: ANA, 2020. 129p.

BARBOSA, S. E. S. **Análise de dados hidrológicos e regionalização de vazões da bacia do rio do Carmo.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Minas Gerais, Ouro Preto, 2004.

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos, **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso 18 ago 2021.

CARVALHO, A. T. F. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão so-

bre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v. 1, n. 42, p. 140-161, 2020a.

CARVALHO, A. T. F. Reflexões sobre a hidrogeomorfologia dos rios intermitentes frente às definições das áreas de preservação permanente de cursos d'água no Brasil. **Revista Geografia em Atos**, v. 4, n. 19, p. 135-150, 2020b.

CAVALCANTI, E.; BRAGA, R.; AGUIAR, W. J. Desafios para governança hídrica local. *In*: BRAGA, R. A. P. (Coord.). *Águas de areia*. Recife: Clã, 2016. p. 305 – 331.

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

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. *In*: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 93-148.

DREW, D. **Processos interativos homem - meio ambiente**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. *In*: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 225-256.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. de P.; COTA, G. E. M. Classificação de sistemas fluviais. *In*: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. de P. (org.). **Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020. p. 217-258.

MIRANDA, G. M. Motivações e desafios para a implementação da gestão integrada de recursos hídricos em federações: os casos brasileiro e suíço. **Revista Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 17, n. 6, p. 1-12, 2020.

NERES, S. C. T. **Nascentes da Região Serrana de Martins e Portalegre, Rio Grande do Norte: aspectos hidrodinâmicos e macroscópicos como subsídio à conservação**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais). Faculdade de Ciências Exatas e Naturais. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2014.

PAIVA, M. P.; CAMPOS, E. **Fauna do Nordeste do Brasil: Conhecimento científico e popular**. Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza, 1995. 274p.

SANTOS, J. M. Na esteira da abordagem sistêmica. *In*: SANTOS, J. M.; FARIA, M. **Reflexões e construções geográficas contemporâneas**. Salvador: Grasb, 2004. p. 35-57.

SILVA, L. R. S. da. Monitoramento hidrometeorológico no Brasil: uma análise sob a ótica da coordenação de políticas públicas. **Revista Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 1-15, 2021.

SILVA, F. B. R.; RICHÉ, G. R.; TONNEAU, J. P.; SOUZA NETO, N. C.; BRITO, L. T.; CORREIA, R. C.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B.; SILVA, A. B.; SILVA, J. C. **Zoneamento Agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e socioeconômico**. Petrolina, PE: Embrapa CPATSA; Recife: Embrapa-CNPS, Coordenadoria Regional Nordeste, 1993.

SILVA, P. C. G.; MOURA, M. S. B.; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. L.; PEREIRA, L. A.; SÁ, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. C.; CUNHA, T. J. F.; FILHO, C. G. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. (org.). **Semiárido Brasileiro**: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010, p. 17-48.

SOUZA, J. O. P. Dos sistemas ambientais aos sistemas fluviais – uma revisão de conceitos. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 14, n. 46, p. 224–233, 2013.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO NO NORDESTE. Delimitação do Semiárido. Disponível em: <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso 20 maio 2021.

THORNES, J. B.; BRUNSDEN, D. **Geomorphology & Time**. London: Methuen & Co, 1977.

VESPUCCI, A. G.; SANTOS, J. G. R.; BAYER, M. Qualificação dos dados hidrológicos disponíveis na base HIDROWEB/ANA: estações fluviométricas do estado de Goiás. **Ateliê Geográfico** - Goiânia-GO, v. 10, n. 3, p. 89-108, dez./2016.

VIEIRA, V. P. P. B.; GONDIM FILHO, J. G. C. Água Doce no Semiárido. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (org.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

WMO – WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Methods of observation**. In: Guide to Hydrological Practices: Hydrology from measurement to hydrological information. 6. Ed. Geneva, Switzerland, 2008.

CAPÍTULO 4

Eutrofização e florações de cianobactérias em um reservatório de abastecimento público no semiárido potiguar

Amanda Nogueira Medeiros,

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Brasil.

E-mail: amanda.nogueiram@gmail.com

Adjuto Rangel Junior,

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Brasil.

E-mail: jr_arangel@hotmail.com

Julio Alejandro Navoni,

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Brasil.

E-mail: navoni.julio@gmail.com

Introdução

Água doce é um elemento imprescindível para a vida e o desenvolvimento sustentável das populações. Na conjuntura mundial, a degradação da qualidade dos corpos de água é um problema crescente atrelado as mudanças climáticas quanto ao impacto das atividades antrópicas sobre estas (SWEENEY *et al.*, 2009; TORMAM *et al.*, 2017).

Três milhões e meio de pessoas morrem anualmente no mundo em consequência de problemas relacionados ao fornecimento inadequado de água, e somente a diarreia, doença relacionada à contaminação da água, provoca 2.195 óbitos de crianças diariamente (TRATA BRASIL, 2013).

Caracterizado pelo aumento da concentração de nutrientes, sobretudo de fósforo e nitrogênio nos ecossistemas aquáticos, o fenômeno da eutrofização pode ser observado em todo o mundo, principalmente em regiões em desenvolvimento com crescimento da urbanização e expansão das indústrias e agricultura (ESTEVES, 2011; OLIVEIRA SANTOS *et al.*, 2020).

No Brasil, existe um crescente número de artigos científicos descrevendo a problemática da eutrofização como recorrente dos reservatórios do semiárido nordestino. A utilização excessiva de fertilizantes, urbanização, o inadequado gerenciamento da disposição final dos efluentes domésticos como também as secas extremas vivenciadas nos últimos anos são os fatores mais sobressalientes na deterioração da qualidade de água dos reservatórios descritos na literatura (TAVARES *et al.*, 1998; MOLICA *et al.*, 2002; BOUVY *et al.*, 2003; COSTA *et al.*, 2006; CASTRO MEDEIROS *et al.*, 2015; ROCHA JUNIOR *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

O fósforo é um nutriente existente em produtos de limpeza, como os detergentes, enquanto o nitrogênio é utilizado na agricultura e na indústria, como fertilizante e insumo, respectivamente. Esses nutrientes artificiais podem desencadear o processo de eutrofização artificial, propiciando a floração de produtores primários, como as cianobactérias, que podem liberar toxinas, ou as macrófitas aquáticas. Assim, esse estresse ambiental pode gerar riscos ao abastecimento de água e principalmente à saúde da população e de animais que porventura consumam dessa água, podendo também levar o ecossistema ao colapso (QUEVEDO; PAGANINI, 2011). Esse quadro pode ser minimizado e até evitado com a melhoria do sanea-

mento ambiental, da gestão dos recursos hídricos, abastecimento de água potável e medidas de higiene doméstica (GENTRY-SHIELDS; BARTRAM, 2014).

Essas condições que propiciam a eutrofização são encontradas principalmente na região Nordeste incluindo-se o Estado do Rio Grande do Norte (RN), onde diversas barragens e açudes foram construídos com o propósito de solucionar os problemas decorrentes da seca, como o abastecimento público (VIEIRA *et al.*, 2011). O problema da eutrofização desses reservatórios superficiais pode ser estimulado em virtude das condições naturais do ambiente como as elevadas taxas de evaporação, que provocam um aumento na concentração dos nutrientes na água; o período prolongado de retenção de água e atributos geológicos, pedológicos e geomorfológicos que favorecem a lixiviação e o carreamento de nutrientes para os mananciais (FREITAS *et al.*, 2011).

Nessa perspectiva, os impactos ambientais negativos e seus efeitos à saúde humana, como no caso da contaminação e eutrofização de corpos hídricos, constituem elementos importantes para a análise de problemas de saúde ambiental (TRUJILLO, 2016).

Considerando a problemática da eutrofização, esse trabalho objetivou: i) Caracterizar a qualidade da água do açude Itans através do Índice de Estado Trófico - IET; ii) Avaliar a ocorrência qualitativa de cianobactérias e iii) Definir os potenciais impactos sanitários atrelados.

Material e Métodos

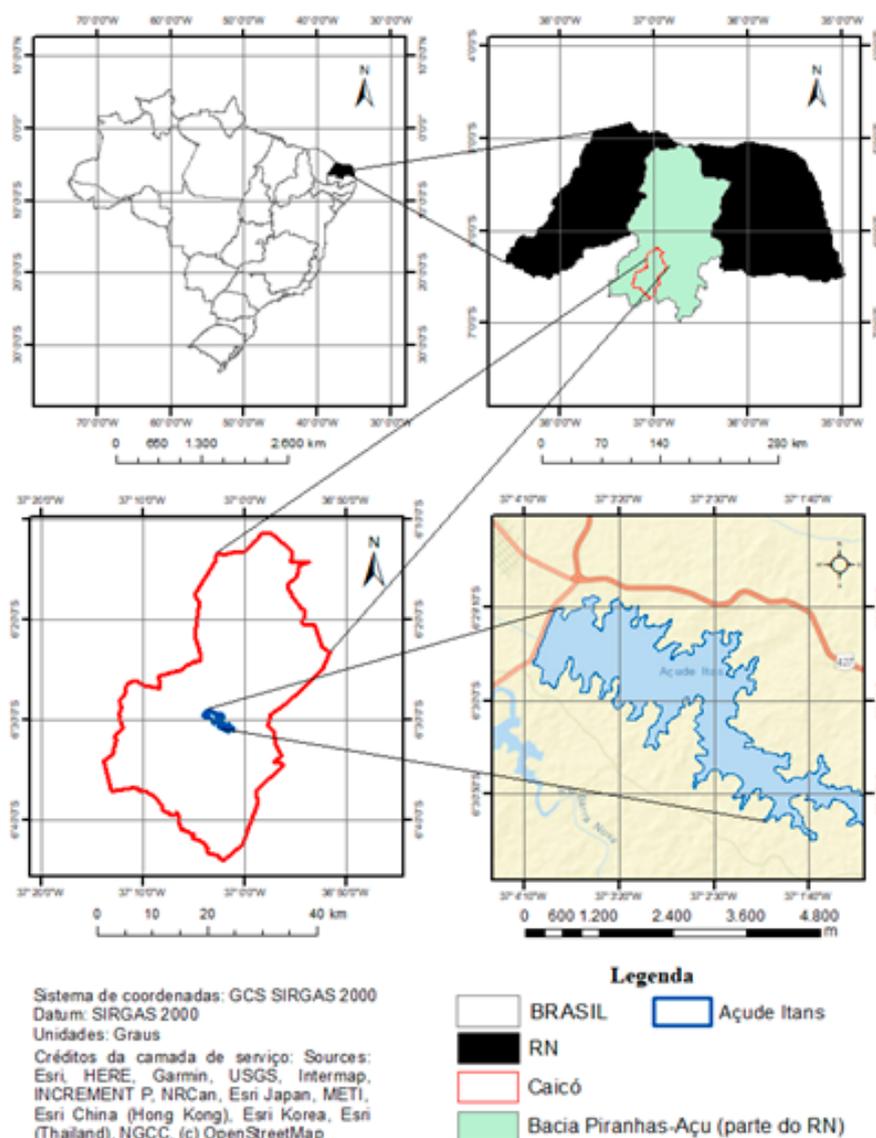
A área de estudo está inserida no Estado do Rio Grande do Norte (RN), que está situado no Nordeste brasileiro, tendo como limites o Oceano Atlântico, Paraíba e Ceará e, segundo o IBGE (2010), possui uma população de 3.168.027 habitantes distribuídos entre seus 167 municípios, com área territorial de 52.811,107 km².

O RN é constituído por dezesseis bacias hidrográficas (IGARN, 2014), nas quais foram construídos reservatórios para assegurar a regularização do abastecimento de água, especialmente em tempos de seca. A Bacia hidrográfica do Piranhas-Açu situa-se na parte central do Estado do Rio Grande do Norte cobrindo uma área com cerca de 44.000 km², abrangendo a parte ocidental do Estado da Paraíba (PB) e o centro-norte do RN, ocupando uma superfície de 17.489,5 km², que corresponde a cerca de 32,8% do território estadual.

Essa bacia hidrográfica desempenha um importante papel na disponibilização de água para o abastecimento humano de populações inseridas na sua área geográfica, para grandes projetos de irrigação, como os das Várzeas de Sousa e do Baixo Açu, nos Estados da PB e RN. Nela estão inseridos os reservatórios Curema-Mãe D'Água, no estado da Paraíba, e a Barragem Armando Ribeiro Gonçalves, no Rio Grande do Norte, com capacidade de armazenamento de 2,4 bilhões de metros cúbicos com vazão regularizada de 17,8m³/s (Q 90%) (CBH Piancó-Piranhas-Açu, 2019).

Na parte situada no estado do RN (Bacia do Piranhas-Açu), dentro desta bacia, têm-se o Açude Itans (Figura 1), localizado no município de Caicó no qual possui uma área de aproximadamente 1.228,554 km² e é o quinto município com maior extensão territorial do estado, contando com uma população estimada para o ano de 2018 de 67.554 habitantes.

Figura 1 - Mapa de localização do Açude Itans.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Situado na confluência dos rios Barra Nova e Seridó, na microrregião do Seridó Ocidental, Caicó apresenta uma altitude média de 151 metros acima do nível do mar. Este município possui uma economia diversificada baseada principalmente na prestação de serviços. Na zona rural há agricultura familiar e produção de leite, carne de sol e queijos compondo o setor primário, contando, ainda, com produção de cachaças e plantio de feijão e milho. Já no setor secundário, a cidade destaca-se pela produção de bonés, bordados artesanais, beneficiamento de laticínios, sorvetes e panificação. No setor terciário, a cidade polariza os serviços da região do Seridó Potiguar e Sertão Paraibano com turismo, serviços médicos, jurídicos, escolares e bancários, além de seu intenso e variado comércio realizado com as cidades da região (IGBE, 2019).

O município de Caicó, do ponto de vista do quadro físico dominante, está em região caracterizada pela instabilidade e escassez das chuvas, altas temperaturas, baixa umidade e bioma de caatinga. A irregularidade pluviométrica é característica

notável de sua climatologia, além de apresentar altos níveis de insolação, sendo a média anual de 2.852 horas, o que equivale há cerca de 237 horas/mês, ou aproximadamente, 8 horas/dia de insolação (SILVA; FERREIRA; LUCENA, 2012), com índice de evaporação elevado e ventos fracos (CBH Piancó-Piranhas-Açu, 2019).

O açude Itans constituiu um dos principais mananciais de abastecimento da cidade. Esse reservatório artificial construído no leito do rio Barra Nova, teve sua construção iniciada em 1932 e concluída em 1953, contando com uma capacidade total de 81.750.000 m³, tendo como finalidade primária de abastecer aquela localidade que vem cumprindo desde então (SEMARH, 2018).

Base de dados utilizada

Os resultados aqui apresentados abrangeram a escala temporal dos anos de 2008 a 2016 e fazem parte do banco de dados do programa de monitoramento dos reservatórios inseridos na Bacia Hidrográfica do Piranhas-Açu (Programa Água Azul, 2016). Os valores do Índice de Estado Trófico (IET) analisados foram estimados segundo o adotado pela CETESB (2007) utilizando o índice clássico introduzido por Carlson (1977) modificado por Toledo Jr. *et al.* (1983), Toledo Jr. (1990) e Lamparelli (2004), considerando-se os parâmetros fósforo total e clorofila 'a' para o cálculo do IET, além da estimativa da densidade de cianobactérias seguindo o protocolo descrito por Komárek e Anagnostidis (2005) na estação de amostragem do reservatório Itans.

As precipitações pluviométricas anuais foram obtidas no banco de dados da Empresa de Pesquisa Agropecuária do RN (EMPARN) no ponto 00637021 de coleta situado no Açude Itans.

Análise dos impactos sanitários ocasionados pela eutrofização

A menção e avaliação das potenciais consequências sanitárias atreladas a ocorrência de eutrofização com espécies de cianobactérias produtoras de cianotoxinas foi realizada mediante a análise da ocorrência e quantidade de espécies com potencial produtor.

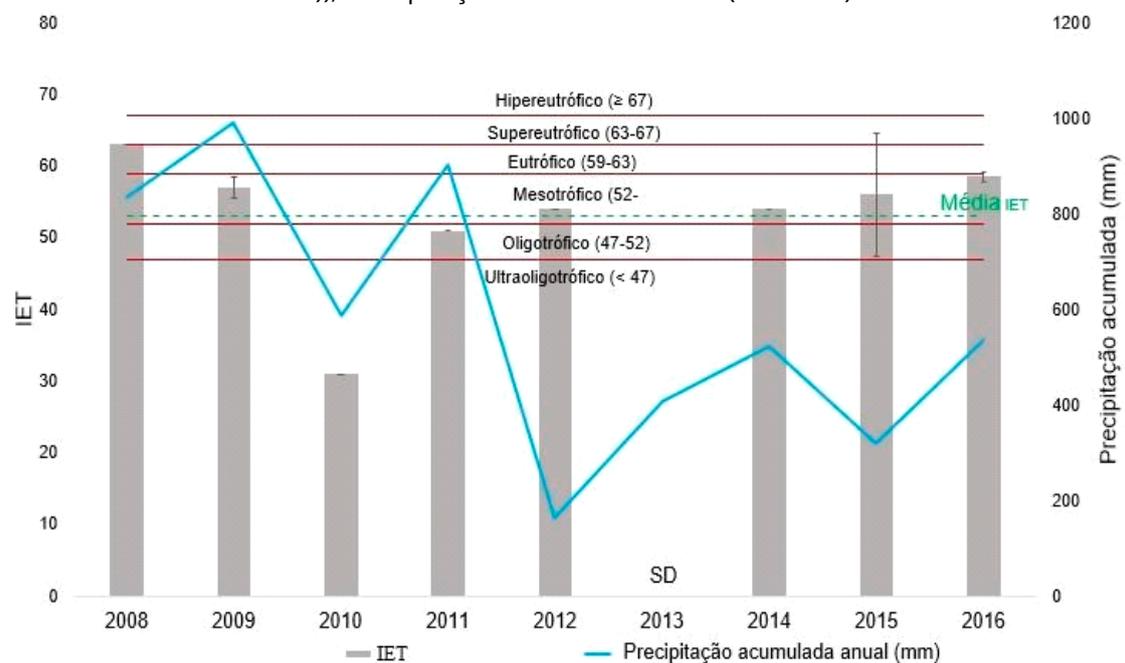
Análise dos dados

Os resultados apresentados foram comparados com os Valores Limites Permitidos – VLPs para o padrão de potabilidade (originado da PRT MS/GM 2914/2011) contido no Anexo XX da Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde, a fim de destacar a relevância de se considerar a legislação vigente no levantamento de possíveis impactos sanitários nos quais a população pode ter sido submetida no período em questão.

Resultados e discussão

Em linhas gerais, o nível de eutrofização do Açude Itans representado através do IET foi em média Mesotrófico no período temporal considerado (Figura 2). Os valores de IET oscilaram de 30 até acima de 60 descrevendo situações de eutrofização desde a categoria ultraoligotrófica até o limiar supereutrófico.

Figura 2. Nível de eutrofização representado através do IET da água do açude Itans no período 2008-2016 (PIA21; Programa Água Azul (2016), (SD – sem informação disponível)); Precipitação anual acumulada (EMPARN).



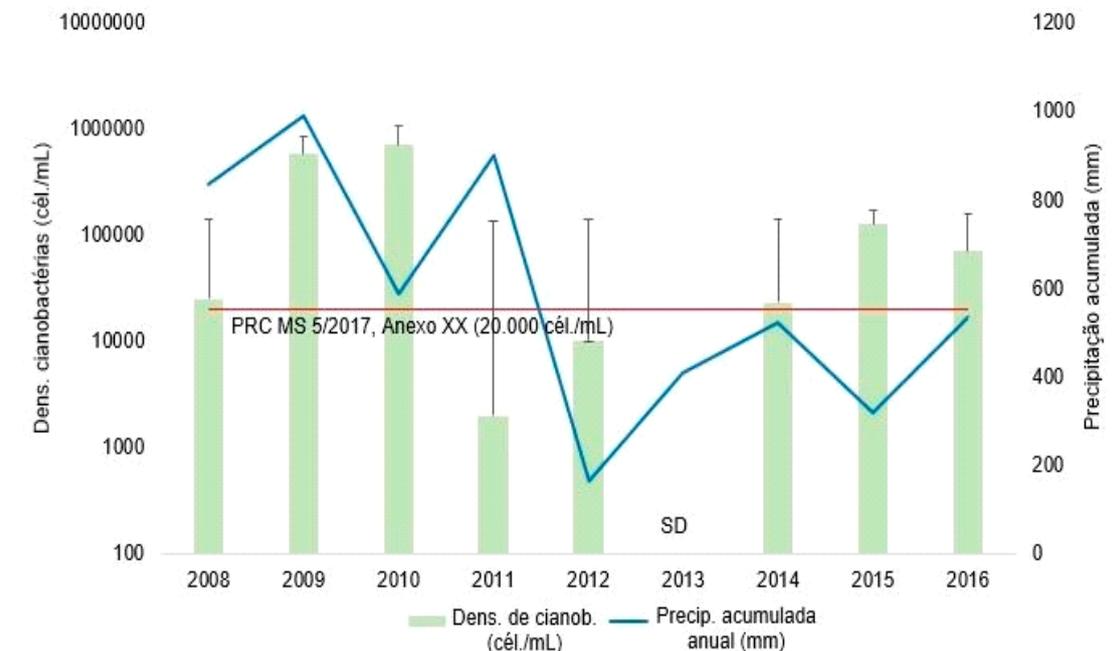
Fonte: Adaptado de Programa Água Azul e EMPARN pelos autores (2021).

Os valores máximos observados do IET foram os reportados nos anos 2008 e 2015, caracterizando um estado eutrófico, o que representa um corpo hídrico com baixa produtividade ou produtividade intermediária de cianobactérias, com possíveis complicações sobre a qualidade da água (BARRETO *et al.*, 2014). Sobre a precipitação pluviométrica acumulada anual em milímetros (Figura 2), o ano de 2009 teve os maiores registros (990, 2 mm) e os anos 2012 (165,3 mm) e 2015 (319,6 mm) os menores totais anuais registrados no ponto observado.

Já os valores de eutrofização, apresentam uma estabilização desde 2012 em virtude, provavelmente, da seca constante (baixos índices pluviométricos) observada desde essas datas até o presente ano. Estudos realizados no semiárido nordestino também tem mostrado níveis variáveis de eutrofização, como, por exemplo, Leite e Becker (2019) mostraram em seu trabalho em um reservatório (Açude Dourado, em Currais Novos – RN) após esgotamento hídrico, um nível de eutrofização semelhante a este estudo, nas categorias de eutrófico para mesotrófico. Outro estudo realizado por Wiegand *et al.* (2016), também em reservatório (Açude Marengo) do semiárido nordestino (estado do Ceará), apresentou nível mais alto, eutrófico.

A densidade de cianobactérias (Figura 3) entre os anos de 2008 e 2016 foi variável, apresentando um nível médio de 231.710 cél./mL. No geral, todos os anos monitorados, considerando os desvios padrões, apresentaram uma grande variabilidade em números superiores aos valores limites permitidos (VLPs) segundo a PRC MS nº 5/2017 Anexo XX, de 20.000 cél./mL, descrevendo águas impróprias para o consumo humano.

Figura 3 - Densidade de cianobactérias reportados em amostras de água no Açude Itans (PIA21, Programa Água Azul no período estudado (SD – sem informação disponível)); Precipitação anual acumulada (EMPARN).



Fonte: Adaptado de Programa Água Azul e EMPARN pelos autores (2021).

É interessante salientar o comportamento temporal bifásico da densidade de cianobactérias observado. Enquanto no período 2008-2010 apresentou os valores máximos descritos (25.000, 572.500, 700.000 células/mL), após o ano de 2011, onde também houve decréscimo da precipitação pluviométrica, os valores apresentaram uma diminuição (média de 46.400 células/mL) com aumento na variabilidade e oposto ao esperado segundo representado anteriormente através do IET, onde um maior período de estiagem favoreceria a eclosão das cianobactérias (WIEGAND *et al.*, 2016).

Os resultados descritos neste estudo, sobre o IET e densidade de cianobactérias, são variáveis e não foram diretamente relacionados com a taxa pluviométrica como seria de esperar em meses de seca. No entanto, observa-se uma estabilização no nível de eutrofização provavelmente pelo período de seca extrema constante observado na região nos últimos anos.

Estudos realizados em reservatórios do estado do RN mostraram que fatores como a seca prolongada, a evaporação intensa e o longo tempo de residência da água agem decisivamente na determinação das condições hidrológicas da bacia hidrográfica e estão relacionadas com o estado de trofia do ambiente (COSTA *et al.*, 2009). Diversos trabalhos realizados, já citados anteriormente, salientam as alterações na qualidade hídrica de vários reservatórios, produto das mudanças no uso e ocupação regional, o que evidencia a influência antrópica que pode estar relacionada, em parte, com o padrão diferenciado observado.

Estudos semelhantes relacionaram o longo período de estiagem a um aumento na concentração de nutrientes na água como sendo as principais causas de florações tóxicas (FERRAZ, 2012). No Brasil, cianobactérias formando florações foram encontradas em todas as regiões, do norte ao sul do país sendo, na sua maioria, em reservatórios utilizados para o abastecimento público de água. Especialmente na região Nordeste, esses corpos de água apresentam frequentes florações de ciano-

bactérias (TAVARES *et al.*, 1998; MOLICA *et al.*, 2002; BOUVY *et al.*, 2003; COSTA *et al.*, 2006; PANOSSO *et al.*, 2007, COSTA *et al.*, 2009, DE CASTRO MEDEIROS *et al.*, 2015; ROCHA JUNIOR *et al.*, 2018; DE OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Assim, a considerável densidade das cianobactérias pode estar relacionada ao alto tempo de residência da água em reservatórios e às características climáticas locais de altas temperaturas e radiação solar como foi verificado, por exemplo, no estudo de Cardoso *et al.* (2017) realizado nesta mesma bacia hidrográfica.

A maioria das cianobactérias é de água doce, podem viver no plâncton e/ou no perifíton. As espécies planctônicas são mais preocupantes em razão dos problemas que podem causar nos ecossistemas aquáticos, tanto do ponto de vista ecológico, como sanitário, através da formação de florações ou liberação de cianotoxinas (SONOBE; LAMPARELLI; CUNHA, 2019). As chuvas têm uma forte influência na composição das espécies fitoplanctônicas e na biomassa total atuando como fator diluidor e, ao mesmo tempo, como um fator de perturbação das comunidades aquáticas (RANGEL JUNIOR *et al.*, 2018). Por outro lado, a estação seca, que normalmente coincide com a instabilidade da coluna d'água, constitui um fator determinante nas mudanças da comunidade fitoplanctônica (CARVALHO, 2003).

A ocorrência de cianobactérias é uma característica de ambientes eutrofizados, sendo algumas destas, de relevância pela sua capacidade de produção de toxinas, o que pode representar um impacto ambiental negativo não só ao meio ambiente (fauna e flora), mas também ao ser humano que pode vir a fazer uso dessa água comprometendo seu estado de saúde (SILVA *et al.*, 2013).

Os resultados reportados na janela temporal estudada indicam a concentração elevada de cianobactérias (103.803 cél./ml), com ocorrência das espécies *Planktotrix agardhii* (potencial produtora de cianotoxinas), *Merismopedia tenuissima*, *Snowela lacustris*, *Chroococcus minutus*, *Aphanocapsa delicatissima*, *Aphanocapsa holsatica* e *Aphanocapsa koodersii*. Enfatiza-se principalmente a predominância das espécies *Planktolyngbya minor* e *Cylindrospermopsis raciborskii* em concentrações geralmente acima de 50.000 cél./mL permitida pela legislação vigente (Programa Água Azul, 2016). Assim, a maior preocupação vem atrelada a ocorrência de espécies com capacidade de produção de cianotoxinas.

No entanto, a base de dados utilizadas neste trabalho não fornecem informação a respeito de quantidade relativa destas espécies na biomassa total de cianobactérias assim como também das concentrações de cianotoxinas decorrente da ocorrência destas cianobactérias, o que contribuiria para um entendimento aprofundado dos riscos sanitários atrelados desde uma visão quantitativa.

As espécies anteriormente reportadas *Planktotrix agardhii*, *Planktolyngbya minor* e *Cylindrospermopsis raciborskii* apresentam capacidade de geração de cianotoxinas. Essas substâncias tóxicas são de tipo endotoxinas, que podem ser liberadas quando as células se tornam senescentes, aumentando os riscos por contaminação dos recursos hídricos eutrofizados tanto para a biota quanto para os seres humanos. Em aparente correlação com o fenômeno do aquecimento global, Cylindrospermopsinas (CYN) são toxinas produzidas por cianobactérias de particular interesse devido à sua dispersão de ambientes tropicais para ambientes temperados, cuja presença na Europa foi detectada pela primeira vez em 2002 (MESSINEO *et al.*, 2010). CYN são alcaloides cuja produção foi inicialmente identificada em *Cylindrospermopsis raciborskii* em 1992 (BERRY *et al.*, 2009) e essa espécie é uma das predominantes no reservatório Itans.

A ampla distribuição de espécies produtoras de CYN, atrelada a sua capacidade invasora, pode tornar-se um grave problema na gestão de águas superficiais interiores, inclusive em escala global. Este alcaloide é altamente ativo a nível bioló-

gico, interferindo com várias vias metabólicas. Tem efeitos a nível citotóxico, hepatotóxico e genotóxico e é considerado como potencialmente carcinogênico (DINIZ, 2016), agindo diretamente na inibição da síntese proteica no fígado e ligando-se a canais de sódio na membrana do axônio respectivamente (SILVA *et al.*, 2013).

Em geral, as *Planktothrix agardhii* das cianobactérias dominantes no fitoplâncton do reservatório Itans são, de fato, espécies potencialmente produtoras de toxinas (BARTRAM; CHORUS, 2021). Os resultados do estudo de Panosso *et al.* (2007) indicaram a presença de compostos hepatotóxicos em vários reservatórios da região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, os extratos de amostras planctônicas, obtidos nos reservatórios Itans, Passagem das Traíras e Sabugi produziram efeito letal quando testados através bioensaios com camundongos. Os sintomas de hepatotoxicidade foram claramente observados nos testes positivos, incluindo pilo-ereção, isolamento, distensão das patas traseiras, cólicas abdominais e morte entre 3 e 66 horas em 100% dos camundongos testados.

Sintomas não claramente definidos de neurotoxicidade ou hepatotoxicidade e morte após 40 minutos foram observados em animais testados com água de um tanque de piscicultura abastecido pelo reservatório Itans, sendo *Cylindrospermopsis raciborskii* a espécie dominante na ocasião da coleta (PANOSSO *et al.*, 2007).

Na bacia do Piranhas-Açu, na parte inserida no Estado do Rio Grande do Norte, o Instituto de Gestão das Águas (IGARN) realiza o monitoramento da densidade de cianobactérias nos açudes Cruzeta, Gargalheiras, Beldroega, Pataxós, Santo Antônio, Itans, Boqueirão de Parelhas e Passagem das Traíras, que são utilizados para abastecimento humano. À exceção do açude Pataxós, todos os demais reservatórios amostrados apresentaram densidade de cianobactérias muito elevada, excedendo o limite estabelecido para águas doces de classe 2, que é de 50.000 cél./mL. Geralmente esses reservatórios apresentam dominância de espécies potencialmente tóxicas, como *Cylindrospermopsis raciborskii* (ANA, 2016).

No geral, os impactos sanitários referentes ao fenômeno da eutrofização devem-se ao fato de que este é seguido pela alteração do ecossistema aquático do corpo hídrico, ocasionando consequências negativas no que concerne à qualidade da água para abastecimento urbano, piscicultura, irrigação, dessedentação animal etc. Assim, os mananciais eutrofizados podem criar consideráveis problemas na área de abastecimento urbano (MACEDO; SIPAÚBA-TAVARES, 2018).

Dados semelhantes aos acima mencionados indicam como a variabilidade climática pode impor riscos operacionais ao hidrossistema e, especificamente ao setor de abastecimento humano. Esses riscos ressaltam a necessidade de adaptar as regras, os instrumentos de gestão e as instituições que governam a relação entre os agentes socioeconômicos. Assim, os dados mostraram que as consequências da eutrofização são dinâmicas no tempo e no espaço, ou seja, o processo de eutrofização pode se acentuar em um período e desacelerar em outro, fazendo com que as águas daquele corpo hídrico se recuperem rapidamente (VIEIRA, 2005).

As consequências da eutrofização nos períodos em que o açude Itans estava eutrófico podem ter incluído proliferação de cianobactérias e possíveis toxinas derivadas de seu floramento, grandes infestações de algumas plantas aquáticas, maior incidência de doenças hidricamente transmissíveis, águas turvas, odores fétidos, água com mau paladar, depleção de oxigênio dissolvido e mortandade de peixes.

Por fim, a Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) gerencia e monitora a água distribuída à população da cidade de Caicó. A água é captada por bombas instaladas a jusante da barragem e levadas para uma estação de tratamento. Devido à escassez hídrica, a disponibilidade de água ficou insuficiente e atualmente o abastecimento de Caicó é feito através da adutora Manoel Torres, onde capta seus

recursos hídricos no leito do rio Piranhas, rio este perenizado pelo sistema hídrico Curemas-Mãe D'água. A água é utilizada para irrigação do perímetro irrigado Itans-Sabugi, com o objetivo da prática da agricultura e pecuária.

O fato do açude Itans situar-se na área periurbana de Caicó, da qual recebe cargas poluidoras de áreas ainda não saneadas (especialmente sem coleta e tratamento de esgotos), além de outros usos tais como plantação de hortaliças, lazer (usos como balneário) e a criação de animais (pecuária e piscicultura) nos arredores do açude contribuem com o cenário eutrofizado observado que pode estar relacionado a alta concentração de cianobactérias, o que demanda medidas de controle por parte do poder público.

Tendo em vista os impactos negativos à saúde pública da liberação de cianotoxinas, recomenda-se o constante monitoramento do Açude Itans de modo a prevenir acidentes, bem como favorecer a obtenção de conhecimento para implementação de um plano de gerenciamento desse recurso hídrico, sem comprometer seus usos múltiplos, mantendo sob controle as florações de cianobactérias e monitorando a qualidade da água.

Considerações finais

Uma das consequências mais relevantes desde o ponto de vista sanitário é a ocorrência de cianobactérias produtoras de cianotoxinas. A exposição a essas substâncias pode trazer consequências na saúde da população em escala endêmica. A qualidade de água descrita mostrou ser afetada pela eutrofização com ocorrência de elevada quantidade de cianobactérias entre as quais elencam-se espécies de interesse toxicológico como *Planktolyngbya minor* e *Cylindrospermopsis raciborskii*, indicando o potencial tóxico da água pela presença de cianotoxinas. Futuros estudos deverão ser realizados com o intuito de avaliar os níveis destes compostos na água consumida após distribuição para compreender as reais consequências sanitárias atreladas a ocorrência de cianobactérias e, portanto, as medidas a serem tomadas no gerenciamento da potabilidade do recurso hídrico a nível regional.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu. **Relatório técnico**. Anexos Digitais do Resumo Executivo do PRH Piancó-Piranhas-Açu. ANA, 195p., Brasília-DF, 2016. Disponível em: http://piranhasacu.ana.gov.br/produtos/PRH_PiancoPiranhasAcu_RelatorioTecnicoAnexosDigitais.pdf. Acesso em: 3 mar. 2020.

BARRETO, L. V.; FRAGA, M. S.; BARROS, F. M.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S.; CARVALHO, S. R.; BONOMO, P., SILVA, D. P. Estado trófico em uma seção do rio Catolé Grande sob diferentes níveis de vazão. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, V. 9, n. 2, p. 250–260. 2014.

BERRY J. P.; GIBBS P. D.; SCHMALE M. C.; SAKER, M. L. Toxicity of cylindrospermopsin, and other apparent metabolites from *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Aphanizomenon ovalisporum*, to the zebrafish (*Danio rerio*) **embryo. Toxicon**. Oxford. v. 53, n. 2. p. 289 - 299. 2009.

NASCIMENTO, S. M.; MOLICA, R. J. R.; VERA HUSZAR A. F.; AZEVEDO, S. M.F.O. Limnological features in Tapacurá reservoir (northeast Brazil) during a severe drought. **Hydrobiologia**, São Paulo, v. 493, n. 1, p. 115-130, 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. seção, i.; Polos do programa, parágrafo único os. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017.

CARDOSO, A. S.; MARWELL, D. T. B.; SOBRAL, M. DO C. M.; MELO, G. L.; CASÉ, M. C. C. Análise da presença do fitoplâncton em bacia integrante do Projeto de Integração do Rio São Francisco, região semiárida, Nordeste brasileiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 261-269, 2017.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and oceanography**, Wa-co-USA. v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977.

CARVALHO, M. C. **Comunidade fitoplanctônica como instrumento de biomonitoramento de reservatórios no Estado de São Paulo**. 2003. Tese (Doutorado em saúde ambiental). Faculdade de Saúde Pública Universidade de São Paulo, 2003.

Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu (CBH). Bacia A Bacia: características Físicas 2019. Disponível em: <http://www.cbhpiancopiranhasacu.org.br/portal/a-bacia/>. Acesso em: 21 dez. 2019.

CHORUS, I. WELKER, M. **Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management**. Taylor & Francis, 2021.

COSTA, I. A. S. Costa, PANOSSO, S. R. S; ARAÚJO, R. F.; MELO, M. F. F.; SANT'ANNA, J. L. S.; ESKINAZI, E. M. Dinâmica de cianobactérias em reservatórios eutróficos do semi-árido do Rio Grande do Norte. **Oecologia Australis**, v. 13, p. 382-401, 2009. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/8078>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *In: Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo: 2006*. CETESB. São Paulo: (Série Relatórios), 2007.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Cianobactérias Plantônicas**: Legislação, Orientações para o monitoramento e aspectos ambientais. São Paulo: CETESB, 2013. 56 p.

COSTA, I. A. S. SANTOS, A. P.; SILVA, A. A. L.; MELO, S. G. PANOSSO, R. F.; ARAÚJO, M. F. F. Floração de Algas Nocivas: ameaça às águas Potiguares. **Revista Fundação de Apoio a Pesquisa do Rio Grande do Norte**, v. 1, n. 4, p. 14-16, 2006.

MEDEIROS, L. C. MATTOS, A. LÜRLING, M.; BECKER, V. Is the future blue-green or brown? The effects of extreme events on phytoplankton dynamics in a semi-arid man-made lake. **Aquatic Ecology**, v. 49, n. 3, p. 293-307, 2015. doi: <https://doi.org/10.1007/s10452-015-9524-5>

OLIVEIRA, C. S. P. FONSECA, A. S.; DÍAZ, C. A.; SANTOS, W. P. Reflexões sobre o desafio ambiental: níveis de eutrofização e floração de cianobactérias na Bacia Apodi-Mossoró. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 5, p. 519-530, 2020. doi: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0047>

SANTOS, J. P. O.; SILVA, J. S.; PESSOA, G. G. F.; PEREIRA, M. C. S. ALVES, R. M. A.; BARBOSA, L. G. Influência da urbanização no índice de estado trófico de um ecossistema lêntico na bacia do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. **Acta Biológica Catarinense**, v. 7, n. 1, p. 113-122, 2020.

DINIZ, C. M. **Avaliação de métodos de detecção de genótipos de cianobactérias produtoras de cianotoxinas em amostras ambientais.** 2016. Tese de Doutorado. Universidade do Algarve.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE. **Monitoramento Pluviométrico de Caicó-RN.** EMPARN, 2019. Disponível em: <http://189.124.130.5:8181/monitoramento/monitoramento.php>. Acesso em: 17 abr. 2019.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. 3ª edição. **Interciência, Rio de Janeiro**, 2011.

FERRAZ, H. D. A. Associação da ocorrência de cianobactérias às variações de parâmetros de qualidade da água em quatro bacias hidrográficas de Minas Gerais. 2012. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. 2012.

FREITAS, F. R. S.; RIGHETTO, A. M.; ATTAYDE, J. L. Cargas de fósforo total e material em suspensão em um reservatório do semi-árido brasileiro. **CEP**, v. 59072, p. 970, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/8156>

GENTRY-SHIELDS, J.; BARTRAM, J. Human health and the water environment: Using the DPSEEA framework to identify the driving forces of disease. **Science of the Total Environment**, v. 468, p. 306-314, 2014. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.052>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/panorama>. Acesso em: 20 set. 2020.

INSTITUTO DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. IGARN, 2014. Bacia Hidrográfica do RN. Disponível em: <http://www.igarn.rn.gov.br/>. Acesso em 27 mar. 2021.

RANGEL JUNIOR, A.; SANTOS, R. H. L.; NASCIMENTO, K. J.; RANGEL, A. J.; CAVALCANTE, F. C.; GÓES, M. I.; LACERDA S. R. Composição de cyanobacteria planctônicas em um reservatório de abastecimento público, Ceará, Brasil. **DESAFIOS-Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins**, v. 5, n. 1, p. 100-110, 2018. doi: <https://doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2018vol5n1p99>

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. **Bd. 19/2: Cyanoprokaryota: teil 2: Oscillatoriales.** Elsevier, München, 2005.

LAMPARELLI, Marta Condé. **Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** 2004. Tese (Doutorado em Ecologia). Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. 2004.

LEITE, J. N. C.; BECKER, V. Impactos do esgotamento hídrico e reinundação na qualidade da água de um reservatório da região tropical semiárida durante evento de seca prolongada. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 31, n. 15, p. 1-9, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s2179-975x6918>.

MACEDO, Carla Fernandes; SIPAÚBA-TAVARES, Lúcia Helena. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 36, n. 2, p. 149-163, 2018. Disponível em: <https://www.pesca.sp.gov.br/boletim/index.php/bip/article/view/911>. Acesso em: 02 mai. de 2019.

MESSINEO, VALENTINA. MELCHIORRE, S.; DI CORCIA, A.; GALLO, P.; BRUNO, M. Seasonal succession of *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Aphanizomenon ovalisporum* blooms with cylindrospermopsin occurrence in the volcanic Lake Albano, Central Italy. **Environmental Toxicology: An International Journal**, v. 25, n. 1, p. 18-27, 2010. doi: <https://doi.org/10.1002/tox.20469>

MOLICA, R.; ONODERA, H.; GARCIA, C. RIVAS, M. ANDRINOLO, D.; NASCIMENTO, S.; MEGURO, H. OSHIMA, Y. AZEVEDO, S. LAGOS, N. Toxins in the freshwater cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanophyceae) isolated from Tabocas reservoir in Caruaru, Brazil, including demonstration of a new saxitoxin analogue. **Phycologia**, v. 41, n. 6, p. 606-611, 2002. doi: <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-41-6-606.1>

PANOSSO, R.; COSTA, I. A. S.; SOUZA, N. R.; ATTAYDE, J. L.; CUNHA, S. R. S.; GOMES, F. C. F. Cianobactérias e cianotoxinas em reservatórios do estado do Rio Grande do Norte e o potencial controle das florações pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Oecol. Bras.**, v. 11 n. 3, p. 433-449, 2007.

PROGRAMA ÁGUA AZUL. 2016. Disponível em: http://programaaguaazul.ct.ufrn.br/relatorios/aguas_superficiais/. Acesso em: 22 jan. 2019.

QUEVEDO, Claudia Maria Gomes de; PAGANINI, Wanderley da Silva. Impactos das atividades humanas sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente e seus reflexos na saúde pública. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, n. 8, p. 3539-3539, 2011.

ROCHA JUNIOR, C. A. N. COSTA, R. A; MENEZES, R. F.; ATTAYDE, J. L.; BECKER, V. Water volume reduction increases eutrophication risk in tropical semi-arid reservoirs. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 30, 2018. doi: <https://doi.org/10.1590/s2179-975x2117>

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS. Ficha Técnica do Açude Itans produzida pela SEMARH. SEMARH, 2018. Disponível em: <http://www.semarh.rn.gov.br/consulta/cResFichaTecnica.asp?IdReservatorio=29%7C>. Acesso em: 28 dez. 2019.

SILVA, E. M.; GOMES, C. T. S.; RAMOS, C. P. S.; BRICIO, S. M. L. Ocorrência de cianobactérias no reservatório de Mundaú, no estado de Pernambuco, no período de janeiro de 2010 a novembro de 2011. **Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia**, v. 1, n. 3, p. 35-42, 2013. Disponível em: <https://visaemdebate.incqs.fiocruz.br/index.php/visaemdebate/article/view/40>. Acesso em: 12 maio 2019.

SILVA, S. D. R.; FERREIRA, A. M.; LUCENA, R. L. Níveis de Insolação no Seridó Potiguar e suas Implicações: o caso de Caicó/RN. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 9, p. 800-812-800-812, 2012. Disponível em: <http://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2538>. Acesso em 12, mai. De 2019.

SONOBE, H. G.; LAMPARELLI, M. C.; CUNHA, D. G. F. Avaliação espacial e temporal de aspectos sanitários de reservatórios com captação de água para abastecimento em SP com ênfase em cianobactérias e cianotoxinas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 5, p. 909-918, 2019. doi: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019193351>

SWEENEY, J. MURPHY, C.; FEALY, R.; CHARLTON, R. Climate Change Scenarios and Challenges for the Water Environment. *Irish Academy of Engineering*; 69: 345, 2009

TAVARES, J.L.; CEBALLOS, B.S.O.; ALBUQUERQUE, F.; GOIS, R.S.S. Interferência de Fatores Hidrológicos na Qualidade da Água de uma Represa do Trópico Semi-árido (Sapé - Pb - Brasil). *In: XXVI CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL*, 1998, Lima. **Anais [...]**. Lima. Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1998.

TOLEDO JUNIOR, A. P. **A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais**. [s.l.:s.n.], 1983.

TOLEDO JR, A. P. Informe preliminar sobre os estudos para a obtenção de um índice para a avaliação do estado trófico de reservatórios de regiões quentes tropicais. **São Paulo: CETESB**, 1990.

TORMAM, M. F.; BORK, C. K. GUEDES, H. A. S., MANZKE, JULIA.; FERRÃO, A. L. Variabilidade sazonal da qualidade da água na Lagoa Mirim, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4, n. 2, p. 54-59, 2017.

TRATA BRASIL. Análise dos impactos na saúde e no sistema único de saúde decorrentes de agravos relacionados a um esgotamento sanitário inadequado dos 100 maiores municípios brasileiros no período 2008-2011. **Relatório Final**, p. 1-74, 2013.

TRUJILLO, A. Epidemiologia: história, tipos e métodos. **Simbiótica. Revista Eletrônica**, v. 3, n. 1, p. 180-206, 2016.

VIEIRA, P. C. S.; SILVA, A. P. C; COSTA, I. A. S. Variações na distribuição do fitoplâncton e em variáveis limnológicas na Barragem Armando Ribeiro Gonçalves/RN. *In: FREIRE, E. M. X.; CÂNDIDO, G.; VIEIRA, P. Múltiplos olhares sobre o semiárido brasileiro: perspectivas interdisciplinares*. Natal: EDUFRN, p. 11-35, 2011.

VIEIRA, V. P. P. B. Análise de risco em recursos hídricos: fundamentos e aplicações. **ABRH**, Porto Alegre v. 361, p. 25, 2005.

WIEGAND, Mario Cesar; PIEDRA, Julio Iván González; ARAÚJO, José Carlos de. Vulnerabilidade à eutrofização de dois lagos tropicais de climas úmido (Cuba) e semiárido (Brasil). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 415-424, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016139527>.

CAPÍTULO 5

Avaliação de Impactos Ambientais Causados pela Construção do Reservatório de Oiticica – Jucurutu/RN

Mirrayla Campos Feitosa Lacerda,

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN,
Email: myrraila@yahoo.com.br

Ramiro Gustavo Valera Camacho,

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN,
Email: ramiro@uern.br

Josiel de Alencar Guedes,

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN
Email: josielguedes@uern.br

Introdução

O Nordeste é marcado pela frequente ocorrência de secas. O recorte territorial que corresponde às áreas de abrangência das condições de semiaridez, denominado Polígono das Secas, é uma importante região para o desenvolvimento de políticas públicas direcionadas ao gerenciamento e ao combate aos efeitos das estiagens. Desde 1980, quando foi institucionalizado, o Polígono das Secas tem passado por alterações ao longo dos anos, como a inserção de novos municípios e a ultrapassagem dos limites políticos e administrativos da região Nordeste (TROLEIS; SILVA, 2018).

O Rio Grande do Norte apresenta baixos índices de precipitação e dificuldade de prover as demandas de abastecimento de sua população, sendo que o estado tem mais de 90% de seus municípios enquadrados dentro desse recorte espacial. Assim, problemas relacionados aos recursos hídricos, principalmente, à ameaça de colapso na distribuição de água, são corriqueiros no estado, algo comum ao considerarmos sua localização (TROLEIS; SILVA, 2018).

As precipitações anuais irregulares não permitem que os reservatórios existentes na região alcancem a totalidade de sua capacidade de armazenamento e, com isso, enfrentar confortavelmente os demais períodos do ano. A situação torna-se preocupante à medida que o volume dos reservatórios diminui, e o temor pela perda das plantações e animais passa a deixar os municípios afetados em sinal de alerta.

Diante desse quadro, os órgãos governamentais tentam construir mais reservatórios de grande porte nos estados que mais sofrem os efeitos das estiagens prolongadas, como é o caso do Rio Grande do Norte, que atualmente conta com a construção do Reservatório de Oiticica na porção Seridó do estado, com o objetivo, por exemplo, de aumentar a segurança hídrica para a população de cerca de 19 municípios e diminuir as cheias, que deságuam no reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves (SILVA, 2017).

Mesmo com o significativo papel na manutenção das atividades econômicas e de subsistência, que os grandes açudes representam, acabam gerando muitos impactos sobre os meios bióticos, abióticos e antrópicos. Assim, essas interferências podem ser observadas a curto, médio e longo prazo, atingido.

Desse modo, “a construção de barragens é algo complexo e lento de se fazer,

isso porque para chegar ao projeto final diversas fases devem ser concluídas, e estas não compreendem somente fases de construção” (SILVA, 2017, p.24). Estudos preliminares, testes, relatórios de impactos socioambientais devem ser realizados para que se comprove a viabilidade da construção.

Assim, ao observar a complexidade que envolve os reservatórios artificiais, percebe-se a importância de analisar as mudanças geradas a partir da instalação destes. Desse modo, esse estudo tem como objetivo identificar e avaliar os principais impactos ambientais causados pela construção do reservatório de Oiticica, em Jucurutu/RN, e conhecer a perspectiva da população que reside no entorno da área. O presente artigo, constitui-se de uma abordagem acerca dos conceitos de Percepção e Paisagem, no âmbito da ciência geográfica e Impactos Ambientais, respaldada em autores como Sauer (1998), Almeida e Passini (2010), Tuan (1980), Oliveira (2012), Sánchez (2013), entre outros.

Para tanto, foi realizado uma visita de campo para observação *in loco* da construção do reservatório, captação de imagens e análise da paisagem da área destinada ao açude, através da consideração dos elementos e dos processos aos quais o ambiente está submetido, resultando, assim, da interação entre os componentes da natureza sob influência da sociedade que os cerca (CAVALCANTI, 2018). Adotamos os três principais procedimentos de análise destacados por Cavalcanti (2018), estes baseiam-se na delimitação da área de estudo, avaliação do contexto que envolve o recorte em destaque e a identificação dos principais contrastes paisagísticos do local.

Posteriormente, foi realizada uma Avaliação de Impactos Ambientais através do método de Listas de Controle (Check-list), que é amplamente utilizado em estudos preliminares para a identificação de impactos relevantes, para a construção de grandes empreendimentos, como, por exemplo, as barragens. Tendo como parâmetro o Estudo de Impacto Ambiental/ Relatório de Impacto do Meio Ambiente (EIA/RIMA) do empreendimento, este encomendado pelo Estado do Rio Grande do Norte, o que possibilitou confrontar as informações coletadas com as existentes no documento da obra.

Assim, foi feita a identificação e enumeração dos impactos, a partir de um diagnóstico ambiental que observa o meio físico, biológico e cultural, levando em consideração as fases de implantação e de operação do empreendimento, para que se possa classificar em impactos positivos ou negativos (COSTA et al, 2015).

Ainda, através da aplicação de entrevistas com 15 moradores da comunidade mais afetada, conhecida por Barra de Santana, foi possível obter dados que revelam a perspectiva deles perante a construção do reservatório, além dos problemas ambientais que podem ser observados por eles. As entrevistas foram analisadas segundo o método fenomenológico, que, de acordo com a “concepção husserliana [...] confere um sentimento ao ser e ao fenômeno, sendo que só pode haver fenômeno enquanto houver o sujeito, no qual se situa esse fenômeno” (NEVES et al., 2017, p.3). A fenomenologia é construída em três etapas: redução (como ir ao fenômeno), descrição (enumerar as características fundamentais do fenômeno investigado) e interpretação dos dados obtidos (NEVES et al., 2017).

Como procedimentos para a coleta dos dados, foram usados gravadores de áudio e roteiros de entrevistas, elaborados através de interrogações diretas relacionadas ao objeto de estudo desta pesquisa. Questões estas, que permitiram ao interlocutor a explanação livre de suas ideias.

Paisagem, percepção e geossistema

A construção de barragens e hidrelétricas materializa as intervenções antrópicas em bacias hidrográficas, causando impactos que se diluem ao longo do curso da água e se combinam com as áreas diretamente afetadas. Isso varia em escala e proporção, de acordo com as características do projeto, a área inundada, a paisagem afetada e o espaço produzido (NASCIMENTO, 2020).

Os reservatórios artificiais modificam a paisagem de forma contundente e impactante. Para Santos (1988, p. 61), a paisagem é composta por “tudo aquilo que nós vemos [...] Não é apenas formada de volumes, mas também de cores, movimentos, atores, sons”. Assim, a paisagem é tudo aquilo passível de percepção. No entanto, Santos (2006) ainda destaca que a paisagem é provisória, que está sempre em transformação, refletindo a dinâmica que a compõe.

Nesse sentido, Cavalcanti (2018) apresenta uma visão sobre o conceito de paisagens, baseada na composição de elementos humano-naturais e naturais, que possuem uma estrutura dinâmica e evolutiva; enquanto Fusalba (2009) destaca que a paisagem corresponde a um conjunto de formas, elementos, agentes e processos tanto de ordem natural, como socioeconômicos e culturais, que operam na superfície terrestre, dando, assim, singularidade aos territórios. Para este autor, a paisagem designa tipos de realidades, estas constituídas por elementos tangíveis (naturais e antrópicos) em uma dimensão passível de ser percebida, nesse contexto, a paisagem seria reflexo do “sistema territorial vigente em cada período” (FUSALBA, 2009, p.141).

Assim, a paisagem é produto e condição das interações entre o homem e o meio. Essa simbiose é carregada de simbologias, relações de poder, ideologias e culturas, que contribuem para uma organização característica a cada recorte espacial. Isso explica o fato de a análise da paisagem acompanhar a geografia desde os primeiros tempos desta ciência (ALMEIDA; PASSINI, 2010) a partir da observação, descrição e representação das áreas visitadas em expedições, baseando-se nas relações estabelecidas entre o homem e a natureza.

De forma geral, o estudo da paisagem requer uma contextualização histórico-geográfica do objeto, levando em consideração as configurações sociais e os processos naturais e humanos que estiveram envolvidos na construção da paisagem observada, pois

Não podemos formar uma ideia de paisagem a não ser em termos de suas relações associadas ao tempo, bem como suas relações vinculadas ao espaço. Ela está em um processo constante de desenvolvimento ou dissolução e substituição. Assim, no sentido corológico, a alteração da área modificada pelo homem e sua apropriação para o seu uso são de importância fundamental. A área anterior à atividade humana é representada por um conjunto de fatos morfológicos. As formas que o homem introduziu são um outro conjunto (SAUER, 1998, p.42).

Como destacado por Sauer (1998), existe uma interação entre a natureza e as ações antrópicas, pela qual deve se compreender a paisagem, sendo necessário haver uma separação da paisagem em natural e antropizada, pois o homem seria importante agente de interferência na configuração da paisagem. Sob esse olhar, a materialização das ideias dentro de alguns sistemas tem significado relevante na realização da paisagem (SCHIER, 2003). Dentro das inúmeras definições presentes na literatura, destaca-se na escola francesa o conceito de Bertrand (2004, p.141):

a paisagem não é a simples adição de elementos geográficos dispartados. É [...] resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável.

Nota-se que não há prevalência de um dos elementos geográficos em detrimento do outro, pois o que existe é a paisagem de forma hegemônica. Com a necessidade de tornar operacional o conceito para a gestão territorial, a escola russa desenvolveu a ideia de Geossistemas (MAXIMIANO, 2004). Esse conceito está baseado em classes hierarquizadas do meio natural “possui três escalas de grandeza: planetária, regional e topológica. A sua identificação parte de dois princípios: homogeneidade e de diferenciação” (MAXIMIANO, 2004, p.88). A análise sistêmica permite a identificação de diversas formas de interação de uma paisagem, assim como a sua funcionalidade, seu estado e as relações estabelecidas com o meio.

O conceito de “geossistema” surge a partir das contribuições de Sotchava (1978), partindo da perspectiva de que a Geografia não deve estudar apenas os componentes da natureza, mas também as conexões que existem entre os elementos, assim, não se devem observar apenas a morfologia, mas também as estruturas que a envolve (ROSS, 2006).

No Brasil, os estudos sobre o conceito de paisagem foram influenciados pela escola francesa, através dos trabalhos de Tricart e Bertrand, recentemente as técnicas de geoprocessamento e os estudos anglo-saxônicos se fazem presentes, servindo como base para as metodologias do zoneamento ecológico-econômico (ZEE) (MAXIMIANO, 2004). No entanto, a análise da paisagem a partir dos geossistemas refletem melhor as transformações realizadas pelo homem no espaço, dando condições à análise da organização espacial e à diferenciação das paisagens.

A Geografia sai da condição analítica descritiva das paisagens para uma Geografia que se preocupa com a aplicação de um discurso de desenvolvimento aliado à conservação e à preservação da natureza (ROSS, 2006). Ainda, segundo Ross (2006), as contribuições de Bertrand permitiram a construção de um conhecimento acerca do que se chamou “ciência da paisagem” (ROSS, 2006, p.28), onde, para fins de estudo, as abordagens deveriam basear-se nos conceitos e metodologias da aplicação do geossistema.

Para isso, o suporte teórico dessa metodologia estava amparado na noção de “paisagem ecológica” (ROSS, 2006, p. 28), que foi introduzida por Troll, no final dos anos de 1930, e parte de uma abordagem geográfica que observa o estudo da influência do homem sobre a paisagem e a gestão do território (ROSS, 2006).

No que se refere à construção de barragens, a teoria geossistêmica possibilita analisar a influência socioeconômica no meio ambiente, pois esta procura “racionalizar as tarefas exigidas análise das dependências entre os distintos fenômenos geográficos, como [...] transformações dos regimes naturais em virtude da construção de barragens [...]” (RODRÍGUEZ; SILVA, 2019, p.42).

Assim, relacionado as questões ambientais à ação do homem sobre a paisagem implica na mudança das estruturas de componentes do sistema ambiental, que alteram negativamente sua dinâmica, para criar sistemas, que nem sempre são favoráveis à sociedade (BRAGA, 2015). As intervenções humanas podem acontecer de diversas maneiras, uma delas é a construção de reservatórios artificiais, que modificam o ecossistema da área e, conseqüentemente, a paisagem na qual estão inseridos.

Percepção da paisagem

É a partir do meio natural que as sociedades extraem os elementos essenciais para a sua sobrevivência e, por consequência, acabam interferindo nos meios biótico e abiótico, modificando a paisagem ao seu redor, construindo novas representações do espaço. Contudo, à medida que o homem consegue introduzir o uso de novas técnicas, como a irrigação, por exemplo, a influência do homem sobre o meio fica mais perceptível (DREW, 1998).

A análise da interação entre os indivíduos com o espaço habitado revela a profunda e intrínseca relação entre os conceitos de paisagem e lugar. Os laços subjetivos fortalecidos a partir da vivência geram sentimentos de identificação (TUAN, 1980), pois o espaço vivido é parte do percebido. A percepção requer um olhar atento às características paisagísticas de um local (MARCOMIN; SATO, 2016). Deste modo, percebemos que o que compõem o meio é “tudo aquilo cuja existência ou inexistência, cuja natureza ou alteração conta [...]” (MERLEAU-PONTY, 1999, p.430).

Merleau-Ponty (1999) destaca que a percepção está intrínseca à nossa natureza, sendo vivida de forma direta e imediata, pois é através dela que experimentamos, conhecemos e formulamos nossas concepções do que está em nossa volta. Nesse sentido, “a percepção está relacionada a experiência vivida por cada ser humano, sua cultura, sua visão de mundo, entre outros fatores” (SANTOS, 2020, p.43).

Como a superfície terrestre é composta por variados elementos, há diversas formas de perceber e analisar as diferentes formas existentes no planeta (TUAN, 1980), assim um mesmo objeto pode ser ponto de diferentes percepções. Contudo, não é possível considerar a percepção como algo estático, ela pode ser alterada na medida em que as formas de olhar ou de sentir do indivíduo são modificadas, pois a percepção é “a resposta dos sentidos aos estímulos externos” (TUAN, 1980, p.4).

Os diferentes estímulos recebidos em relação ao meio ambiente podem desencadear respostas, descritas por Tuan (1980) como: topofilia (associada ao sentimento de pertença a um lugar) e topofobia (aversão ao lugar). Através dessa lógica, Carlos (2007) define a existência de um lugar, onde os indivíduos estabelecem relações identitárias com o lugar, e de um não-lugar, que, por sua vez, não possui ligações com os indivíduos, assim, transitórios, sem significado para quem o percebe.

As diferenças de percepção entre as pessoas podem influenciar nas formas como ocorre a produção do espaço, por consequência da paisagem, podendo interferir diretamente na preservação de áreas naturais (FERNANDES et al, 2004), pois indivíduos de diferentes culturas e condições socioeconômicas, podem agir distintamente nesses ambientes (cf. FERNANDES, et. al, 2004), muitas vezes sem estabelecer relações entre as práticas desenvolvidas por eles e seus efeitos sobre o meio ambiente.

Segundo Fernandes et. al (2004, p.1), a “percepção ambiental pode ser definida como sendo de uma consciência do ambiente pelo homem, ou seja, o ato de perceber o ambiente que se está inserido”, podendo ser diferenciada de acordo com ambiente: se rural, imbricado à subordinação das dependências climáticas, entre outras, onde, por vezes, há a concepção de que o ambiente rural é inesgotável, o que pode ocasionar impactos ambientais, tais como a perda da fertilidade do solo; se urbana, pois, muitas vezes, a natureza não é respeitada nos sítios urbanos, a exemplo disso, a expansão desordenada das cidades espontâneas; ou selvagem, termo que designa regiões pouco antropizadas, vistas como *hostis*, não sendo urbana ou rural, mas intermediária (OLIVEIRA, 2012).

A compreensão da percepção ambiental permite reconhecer as experiências dos indivíduos no ambiente, os sentimentos e os significados associados às situa-

ções vivenciadas, e envolve mais do que os sentidos da visão ou da audição (MARCOSIN; SATO, 2016). A paisagem, portanto, é um elemento holístico que embasa a percepção do homem sobre o meio ambiente. Pois, percepção não é centrada na forma como as pessoas percebem os espaços, mas como estes espaços são percebidos por elas (MERLEAU-PONTY, 1999).

Quanto à área do reservatório de Oiticica, esta apresenta cobertura vegetal de Caatinga, de características arbóreas com e sem palmeiras, entrelaçadas a áreas antropizadas. Nas planícies fluviais, no vale do rio Piranhas-Açu, há a alta concentração de carnaúbas, juazeiros, quixabeiras e oiticicas (RIO GRANDE DO NORTE, 2005).

Nas áreas marcadas pela interferência humana, podemos observar algumas mudanças na formação vegetal, originando diferenças na paisagem ao longo da futura área de inundação do reservatório, são locais usados para desenvolvimento de atividades pastoris e cultivos, sendo que, como a área apresenta grande déficit hídrico, as atividades agrícolas são limitadas pela disponibilidade de água, havendo o investimento em produções voltadas para a subsistência.

Ao observar essa paisagem local, percebemos que há uma forte presença da interação homem-meio. A natureza condiciona as atividades econômicas de boa parte da população de Barra de Santana/RN, ao mesmo tempo em que os indivíduos utilizam dos meios naturais disponíveis para suprir suas necessidades, extraíndo matéria-prima (madeira para artesanato, lenha etc.), usando o solo para as atividades econômicas da comunidade (agricultura e pecuária). Isso ocorre sem fiscalização, pois não existe demarcação de nenhuma unidade de conservação ambiental na área delimitada para a construção de Oiticica, desse modo, essas atividades passam a não ser consideradas como impactos ambientais pela população local.

Definição de impactos ambientais

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (2002, p.760) define o meio ambiente como o “conjunto de condições, leis, influência e interações de ordem física, química, biológica, social, cultural e urbanística, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”.

O ambiente “é a soma das condições que envolvem, dão condição de vida, sustenta e mantém relações de troca com os seres vivos em um território” (SANTOS, 2007, p.20). Assim, podemos entender que o ambiente é composto por um conjunto de elementos (solos, água, vegetação, o homem), estes que, Santos (2007) chama de sistemas, estes que estabelecem relações entre si. As ligações existentes entre os elementos dos sistemas resultam em níveis de organização, em espaços e em tempos diversos, ao interferir em quaisquer dos elementos, nós desencadeamos alterações em toda o sistema ao qual esse componente pertence (SANTOS, 2007).

Segundo Tricart (1977), manter a dinâmica do meio ambiente é importante para a conservação e para o desenvolvimento dos recursos naturais. Assim, quando um ou mais elementos afastam-se do equilíbrio, a dinâmica é rompida, e os elementos passam apresentar diferentes comportamentos.

Dentre as conceituações formuladas para definir impactos ambientais, Moraes (1994) apresenta uma visão estabelecida através de estudos da teoria marxista, onde, para ele, as interações entre homem e meio natural ocorrem por meio das relações estabelecidas pelos e entre os homens, inseridos em um modo de produção, desse modo, os impactos são avaliados de acordo com o “contexto de um modo de produção de uma formação econômico social” (MORAES, 1994, p.78), sendo encarados como manifestações dos processos sociais pelos quais uma socie-

dade usufruí dos recursos naturais. Enquanto Sánchez (2013), chama atenção para o fato de que, mesmo construídas de formas distintas, as concepções comungam dos mesmos elementos básicos, dentre eles, as alterações provocadas pelas ações humanas

Assim, consideramos impactos ambientais as alterações no meio ambiente provenientes da ação antrópica alimentada pelo modo de produção capitalista. De acordo com a Resolução nº 306, de julho de 2002, do CONAMA, os impactos ambientais são definidos como:

qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia, resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 2002, p. 759-760).

Com base na conceituação do CONAMA, Braga (2015, p.22) caracterizou os impactos ambientais em: “direto ou indireto, positivo ou negativo, de curto ou de longo prazo, permanente ou temporário e, reversível ou irreversível”. O impacto direto é aquele que ocorre a partir de mudanças ambientais que são resultado da relação entre causa e efeito, sendo, portanto, mais fáceis de se identificar, analisar e descrever. Os resultados das ações secundárias caracterizam os impactos indiretos (BRAGA, 2015).

Impactos positivos são aqueles que geram benefícios a um ou a mais elementos presentes no meio ambiente, enquanto os impactos negativos são aqueles que resultam em prejuízos. Assim, quando nos referimos aos impactos de curto prazo, estamos levando em consideração os efeitos que podem ser observados logo após a execução das ações ou dos projetos. E quando modificações são detectadas algum tempo depois da ação realizada, temos impactos de longo prazo (BRAGA, 2015).

Danos temporários são aqueles que têm duração determinada, no entanto, sobre os danos permanentes, não podemos determinar sua duração. Os efeitos são reversíveis quando a área afetada retorna às suas características originais assim que as forças atuantes deixam de existir. Impactos irreversíveis acontecem quando o prazo para restauração dos elementos naturais não consegue ser estabelecido, mesmo ao final da atividade que o causava (BRAGA, 2015).

A água é um dos recursos naturais mais afetados pelas ações humanas, embora ela seja indispensável, base da vida em seus mais variados aspectos, devido ao risco de escassez e a existência de áreas onde os recursos hídricos são insuficientes, como é o caso da Região Nordeste, que sofre ao longo de dois séculos com o regime irregular de chuvas, provocando as secas.

A construção de cisternas de placas, barragens subterrâneas, de adutoras e de reservatórios superficiais (açudes e barragens) são algumas das alternativas adotadas para melhorar a oferta de água, bem como para o gerenciamento e distribuição do recurso, contudo a construção de barramentos artificiais é a estratégia mais adotada pelo Estado para combater os efeitos das secas.

No entanto, a construção de barragens produz inúmeras alterações no meio ambiente, principalmente nos sistemas hidrológicos no qual estão inseridas. Segundo Lins (2006), os barramentos trazem grandes alterações nas condições biológicas, físicas e químicas da água, ocasionadas principalmente pela retenção da água.

De acordo com um estudo global feito pela Comissão Mundial de Barragens, constata-se ainda que “os impactos sobre o ecossistema são mais negativos do que

positivos e, em muitos casos, provocaram danos significativos e irreversíveis a espécies e ecossistemas” (COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS, 2000, p.18). Nesse sentido, a Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) pode ser compreendida como um instrumento analítico que objetiva entender as consequências dos prejuízos identificados, buscando uma tomada de decisão a partir do levantamento realizado (GUTIERRES, 2019).

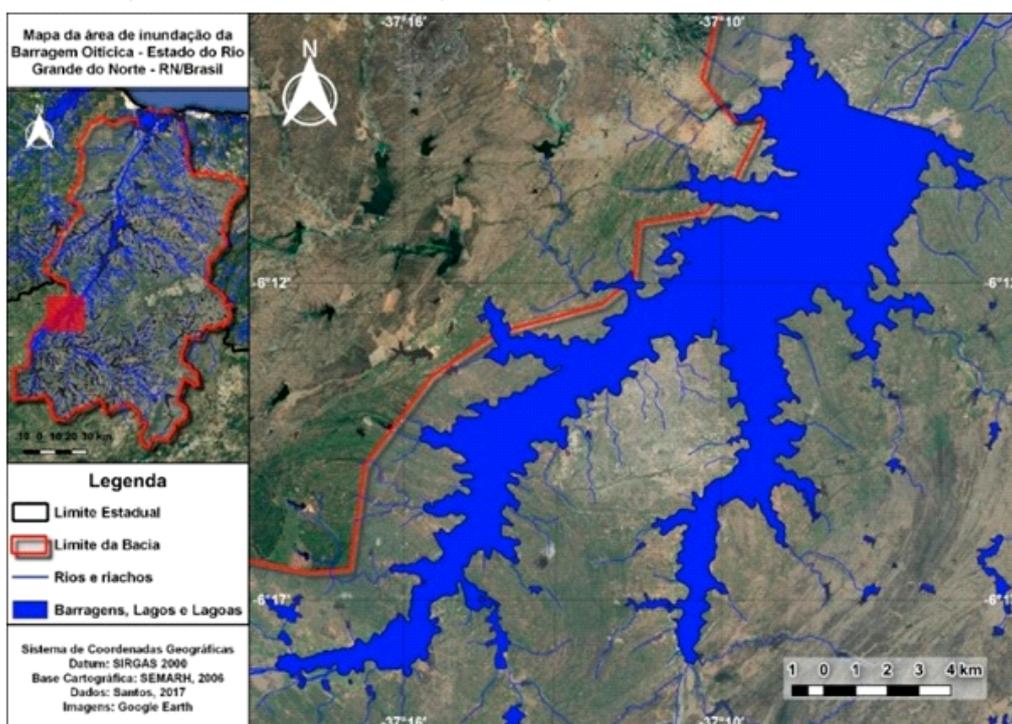
Impactos ambientais e a percepção dos atingidos

Os impactos da construção de reservatórios estão relacionados ao tamanho e à localização da obra. Assim, para a identificação e mitigação de possíveis modificações nos meios biótico e abiótico são delimitadas duas áreas: a primeira diz respeito ao local de influência direta do empreendimento, correspondendo às áreas de inundação, de obras e de faixa de preservação permanente que, conforme estabelecido pelo CONAMA, em sua Resolução nº 306/2002, estão definidas como:

Área de Preservação Permanente: a área marginal ao redor do reservatório artificial e suas ilhas, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (CONAMA, 2002, p.75).

A segunda área está relacionada à influência indireta, no caso do Reservatório de Oiticica, está subdividida em: municípios do Eixo de Integração do Piranhas-Seridó (delimitada em 110 km², abrangendo Jucurutu, Jardim de Piranhas e São Fernando) e pelos municípios a jusante do reservatório. Na figura 1, podemos observar a área correspondente à inundação do reservatório após a conclusão das obras.

Figura 1 – Bacia hidráulica prevista para o reservatório de Oiticica.



Fonte: Mirrayla Lacerda, 2020.

A construção do reservatório é apresentada pelas esferas governamentais (federal, estadual e municipal) como fonte de muitos benefícios. Pois, segundo estes, o empreendimento se constitui como uma das melhores formas de contornar os efeitos das secas prolongadas que afetam a região do Seridó.

Entretanto, os reservatórios de usos múltiplos, como o de Oiticica, provocam uma série de impactos sobre o meio ambiente, as comunidades situadas em seu entorno e na área passível de inundação, gerando uma discussão paradigmática entre os pontos positivos e negativos da construção.

Impactos ambientais no meio abiótico e biótico da área de influência direta

A construção de reservatórios é responsável por gerar “impactos positivos e negativos a montante e a jusante dos rios” (GUEDES et. al., 2020, p.70). Geralmente, a montante, esses impactos estão relacionados à sua área de drenagem, e a jusante estão anexos ao escoamento do canal fluvial (GUEDES et. al., 2020). Independentemente de seu tamanho e capacidade, os reservatórios inundam áreas férteis, destroem a fauna e a flora, que não conseguem desenvolver suas condições de sobrevivência em outros locais, ocorre também a perda das rotas migratórias de outros animais e a alteração da paisagem cênica (CAMILO, 2019).

A parte das obras que estão inseridas na área de influência direta é o canteiro de obras, as estradas de serviço, locais de entulho e áreas de empréstimo, que, por sua vez, são locais “onde a ação antrópica promoveu a retirada de substrato edáfico para diversos usos, deixando o subsolo exposto” (ALMEIDA; et. al., 2015, p.20). Essa porção tem altos índices de impactos sobre o meio ambiente (SILVA, 2017), mesmo que temporários, causam grandes perdas, pois não há impactos considerados positivos para o meio (RIO GRANDE DO NORTE, 2005).

A abertura e a estruturação do canteiro de obras são importantes para a execução de projetos de construção de barragens, pois este local também abriga o acampamento de trabalhadores e de máquinas com estrutura de refeitório, alojamentos, ambulatório, depósito, garagem, entre outros (Figura 2).

O local do canteiro permaneceu o mesmo dos anos em que a obra esteve ativa, desse modo, não ocorreram grandes desmatamentos ou movimentações de terra, gerando apenas poeira e ruídos em uma área pequena. No entanto, para a construção das edificações e das estradas de acesso e serviços, os movimentos de terra e a retirada da vegetação preocupam, pois deixam os solos expostos à ação de agentes erosivos, que podem acarretar o carreamento de materiais para os cursos d'água (RIO GRANDE DO NORTE, 2005). Ainda, a recarga dos aquíferos podem ser prejudicadas, pois o solo exposto reduz a infiltração das águas pluviais devido a facilidade de escoamento.

Figura 2 – Instalação do canteiro de obras do Reservatório de Oiticica, localizado na comunidade Acampamento.



Fonte: Danilo Evaristo, 2014.

Além disso, os desmatamentos contribuem para a erradicação da cobertura vegetal, que pode interferir na qualidade das águas que serão armazenadas. Contudo, o governo espera minimizar essa problemática através da adoção do “desmatamento zoneado” (RIO GRANDE DO NORTE, 2005, p.18), técnica que permite a remoção da vegetação em zonas demarcadas previamente. Ainda, ocorre também o decapeamento (retirada de solos férteis) feito pelas atividades de terraplanagem.

Para que se efetive a construção de reservatórios, o uso de matéria-prima arenosa, terrosa e rochosa é necessário, além dos materiais industrializados (cimento, ferro etc.). Assim, para que o contingente de materiais a serem usados seja suficiente, a instalação de áreas de empréstimo surge como uma alternativa. Em 2013, foi concedida a licença para abertura de jazidas (SILVA, 2017) e deu-se início a exploração das áreas reservadas para empréstimos através dos processos de extração, transporte e retalhamento de materiais.

Dessa forma, para abertura de jazidas e estradas de serviço, é comum o uso de explosivos, estes que geram poeira, comprometem a qualidade do ar das regiões que circundam o reservatório e ocasionam ruídos em escalas médias. O uso de materiais de detonação nas pedreiras e nas centrais de fabricação de brita (Figura 3) provoca sismicidade sentida pela população adjacente.

Figura 3 – Estações de britagem do canteiro de obras do Reservatório de Oiticica.



Fonte: Acervo da autora, 2020.

Para conter os problemas relacionados ao uso de explosivos, foram adotadas medidas mitigadoras como: adoção de horários para detonação, avisos com antecedência à população, contenção do tráfego próximo as áreas de explosão, umidificação das estradas e áreas afetadas, para evitar a propagação de nuvens de poeira e armazenamento e manuseio de materiais explosivos, segundo as normas do Exército (RIO GRANDE DO NORTE, 2005).

Todas as atividades citadas representam grandes danos aos solos locais, pois facilitam a ação dos agentes erosivos, o assoreamento dos corpos hídricos, aumento da turbidez das águas durante as chuvas, erradicação da flora local e expulsão temporária da fauna, por causa da destruição dos habitats.

Para iniciar as obras do barramento do leito do Rio Piranhas-Açu, foi feita a construção de uma ensecadeira (Figura 4). Isso significa que foi colocado material no eixo de fechamento do rio, dando base à existência de um aterro (TOMASCHITZ, 2017). Ao contrário da parede do reservatório, a ensecadeira é temporária e permite o uso de materiais comuns, como terra, por exemplo.

Figura 4 – Ensecadeira construída a montante do Reservatório.



Fonte: Acervo da autora, 2020.

Segundo o EIA-RIMA (RIO GRANDE DO NORTE, 2005), esse tipo de construção pode provocar interferências no escoamento, prejudicando a fauna aquática e as populações que ocupam áreas a jusante do rio e dependem das águas deste para desenvolverem suas atividades de subsistência. A ensecadeira (Figura 5) permitiu a formação de áreas secas, que facilitaram a realização da construção do barramento do reservatório (Figura 6), contribuindo para o desvio do escoamento do rio Piranhas, o que mostra a consolidação do desvio.

Figura 5 – Visão aérea do leito do rio Piranhas-Açu e execução do desvio de seu curso.



Fonte: Acervo da autora, 2020.

Figura 6 – Leito após a execução do desvio e conclusão da parede do reservatório.



Fonte: Acervo da autora, 2020.

Quanto ao transporte de sedimentos, que são naturalmente carreados durante o movimento do curso d'água, desde sua nascente até a foz, a construção de açudes diminui a capacidade dos rios de transportarem o material desgastado, causando a erosão do leito a jusante do barramento, para que haja uma recuperação dos sedimentos que chegavam à desembocadura. Segundo Camilo (2019), esse processo ocasiona o alargamento e aprofundamento das margens do rio, o que pode comprometer as estradas, o abastecimento de água de algumas regiões, interferir na alimentação de peixes e aves que consomem insetos e crustáceos que habitam alguns sedimentos.

Com relação à área de inundação do reservatório de Oiticica, ocorre o desmatamento racional do local a ser coberto pelas águas, para evitar risco à qualidade da água. Segundo a Lei Federal nº 3.824/60, é obrigatório a limpeza dos açudes, represas ou lagos artificiais, que são construídos pelo Poder Executivo Federal, Estadual e Municipal ou por entidades privadas, que tenham concessão para fazê-los. Ainda, de acordo com Pimentel (2004, p.279-280),

O desmatamento e limpeza do futuro reservatório têm por objetivo mitigar os potenciais impactos ambientais negativos decorrentes da inundação, e assim: reduzir a produção de gases de efeito estufa; reduzir a eutrofização cultural do reservatório; induzir a movimentação prévia e gradual da fauna terrestre para fora de área a ser inundada; eliminar

potenciais focos de contaminação das águas por organismos patogênicos; eliminar obstáculos que possam limitar o uso múltiplo do reservatório, ou colocar em risco a segurança dos usuários [...] (PIMENTEL, 2004, p.279-280).

Desse modo, foi elaborado um cronograma de implantação de desmatamento racional da bacia hidráulica do reservatório de Oiticica (SILVA, 2017), que corresponde a retirada de vegetação de uma área de 8.280,09 hectares, a ser realizada conforme indicações da Portaria nº113/1995 do IBAMA. Assim, é recomendado a remoção de outras possíveis fontes de contaminação, como casas, currais, fossas, cemitérios etc.

Para que essa atividade possa ocorrer é “obrigatório a elaboração de Plano de Desmatamento e Limpeza da Área de Inundação” (SILVA, 2017, p.65), que deve conter demarcações da área, escolha dos métodos e definição das Áreas de Preservação Permanente, que, por sua vez, devem obedecer às definições estabelecidas pelo CONAMA, em Resolução 302/2002.

A retirada da vegetação nativa acarreta danos ao meio biótico e abiótico, pois promoverá a destruição dos “habitats da fauna terrestre e da ornitofauna” (RIO GRANDE DO NORTE, 2005, p.22), além de causar danos à vegetação aquática e ao patrimônio florístico. A migração de animais peçonhentos e de algumas espécies de mamíferos para áreas próximas pode resultar em acidentes com a população. Com a desapropriação da população da Comunidade de Barra de Santana é possível que haja o aumento do extrativismo vegetal (lenha e madeira). A avifauna terá seu habitat degradado e ocorrerá migração para outras áreas, passando a competir por alimento com outros animais (RIO GRANDE DO NORTE, 2005).

Percepção dos impactos ambientais e mudanças na paisagem

Quando um reservatório é construído, as pessoas que habitam nas áreas próximas sofrem os impactos. Entre os muitos danos observados, o desmatamento é o mais relatado pela população, devido, em um primeiro momento, a construção das vias de acesso ao empreendimento, a implantação do canteiro de obras, e, posteriormente, a remoção da vegetação nativa, para que o reservatório inicie o processo de acumulação hídrica.

Para que a percepção dos moradores de Barra de Santana, área que será inundada após a conclusão da barragem, fosse apurada, foi necessário compreender como os moradores do distrito observavam a relação entre o barramento e sua comunidade. Foram entrevistados 15 moradores, e foram perguntados quais os impactos eles observavam a partir da construção de Oiticica.

Segundo os moradores de Barra de Santana, os impactos mais observados são a supressão da vegetação, as explosões, a poeira e o assoreamento do Rio Piranhas-Açu (Figura 7). Dentre os ouvidos, durante a pesquisa, os entrevistados E01, E11 e E04 citaram o desmatamento como o impacto percebido com mais facilidade por eles, haja vista que este problema é notado a partir da observação da paisagem cênica do entorno da comunidade.

Figura 7 – Impactos ambientais percebidos pelos moradores de Barra de Santana/RN.

ASSOREAMENTO
RIO
POEIRA EXPLOSÕES
DESMATAMENTO
NENHUM
POLUIÇÃO

Fonte: Elaborado com base nas entrevistas (2021).

Ao relatarem sobre a supressão da vegetação, os moradores destacaram ainda outros problemas, por exemplo, os animais que habitavam na mata extraída estão invadindo as casas, alguns destes peçonhentos, que oferecem risco ao homem. De acordo com uma das moradoras (E03), a remoção dos animais acontece de forma lenta, sendo que poucas espécies foram retiradas do local destinado ao reservatório.

Quanto aos problemas mencionados no leito do rio, os relatos dão conta da extinção do leito principal, que, segundo os entrevistados, ocasionou perdas no volume do rio e dificultou o acesso da população à pesca, pois a água está “presa”, correndo por um pequeno leito construído a partir do desvio do leito principal, como destaca o entrevistado E04. O assoreamento causado pelas retiradas dos materiais para a construção do barramento, por causa disso também foram pontos destacados pelos moradores.

A poeira e a poluição foram relacionadas ao trânsito das máquinas no entorno e no interior da comunidade, pelas explosões que ocasionaram poluição sonora, nuvens de poeira e rachaduras em casas próximas às áreas de detonação. Outro contratempo que foi relatado por alguns moradores é o fechamento de algumas estradas carroçáveis que interligavam pontos distintos da comunidade aos municípios limítrofes: Jucurutu, São Fernando e Jardim de Piranhas.

Parte dos moradores ouvidos, cerca de 73% do total, diz se reconhecer como parte do meio ambiente. Entendem que existe uma relação de interdependência entre o homem e a natureza. Inclusive, se mostram preocupados com a qualidade da água e na forma como o rio vai responder após a entrega do reservatório, tendo em vista os problemas que eles destacaram. Ainda destacam a preocupação com a remoção das espécies animais e vegetais. Quanto aos entrevistados que disseram não se reconhecerem como parte do meio natural, são os mesmos que relataram não haver identificado nenhum impacto ambiental durante a construção de Oiticica.

Podemos pensar que isso ocorre porque essas pessoas estão alheias à realidade que o envolve, muitas vezes, não buscam compreender os acontecimentos ou não se dispõem a fazer análises sobre os acontecimentos. No entanto, é comum a todos a conclusão de que, mesmo com os problemas gerados, estes se justificam pelos benefícios gerados para a região a partir da construção do reservatório.

Considerações finais

O Reservatório de Oiticica irá assegurar o abastecimento de água para consumo humano, desenvolvimento das atividades econômicas dos municípios beneficiados direta e indiretamente e a produção de energia elétrica. Contudo, é inegável o fato de que a obra possui grande potencial de degradação do meio ambiente, bem como alteração da paisagem na qual está inserida.

Durante a fase de construção, que ainda não foi concluída, pode-se observar que as interferências no meio ambiente derivam de processos necessários à implementação da obra, como a extração, o transporte e o corte de materiais, a construção dos aterros, as terraplanagens, os desmatamentos, a exploração da brita, o desvio do curso do rio etc. Tais processos podem desencadear diversos tipos de problemas, a exemplo: degradação dos solos, poluição do ar, expulsão da fauna, entre outros. Com relação ao desmatamento racional a ser realizado na área de inundação, este pode causar processos erosivos, morte de animais, riscos de acidentes, mudanças no ciclo hidrológico e a perda da biodiversidade.

O Ministério da Integração Nacional, através da SEMARH, tem como dever implementar o Programa de Recuperação de Áreas Degradadas, com o objetivo de diminuir os impactos gerados, sendo que devem ser reestruturadas as áreas que irão permanecer fora da bacia hidráulica. Além disso, ressalta-se que as áreas de empréstimo de materiais construídas para auxiliar na obtenção de matérias-primas para a edificação do empreendimento se encontram, em grande parte, dentro da área de inundação, assim é necessário haver uma recuperação de todas as áreas que possam ocasionar em danos à qualidade da água represada.

Quanto aos locais degradados, é importante que as condições ambientais se tornem o mais próximas possível do que se encontrava anteriormente, na busca de devolver ao local o equilíbrio e a estabilidade antes existentes. A reconstrução paisagística das áreas afetadas precisa ser iniciada a partir de um processo de reflorestamento, que, por sua vez, protegerá os solos contra os agentes erosivos, reduzindo o carreamento de sedimentos para os cursos da água, facilitando a recarga dos aquíferos.

A supressão da vegetação está prevista no licenciamento ambiental do empreendimento. Esse trabalho prevê o afugentamento, resgate e salvamento da fauna local, posteriormente a soltura dos animais nas áreas de preservação permanente, que foram destinadas na fase inicial da construção do reservatório, estas que são constituídas por uma faixa de vegetação nativa de 100 metros de largura ao redor do lago formado. No entanto, não está especificado como ocorrerá o processo de desmatamento, se o uso de desfolhante será adotado, lembrando que o produto é poluente e fonte de doenças.

A preservação da vegetação que circunda o reservatório deve servir de barreira a materiais poluentes, permitindo a conservação do recurso hídrico, que pode também beneficiar outros componentes do meio ambiente. Além disso, a cobertura vegetal ajuda na manutenção de condições climáticas em áreas próximas ao reservatório.

Outras medidas mitigadoras previstas pelos órgãos responsáveis pela execução da obra são: controle de deslizamentos de encostas, estabelecimento da Estação Ecológica, que visa a preservação de espécies de plantas e animais; o Programa de Educação e Gestão Ambiental Participativa, que busca envolver a população que ocupa as áreas de influência da bacia hidráulica na manutenção e desenvolvimento de atividades de preservação. No entanto, em muitos casos, as medidas adotadas não atingem seus objetivos.

Outro fator pouco observado é a quantidade de gases emitidos por Oiticica quando a atividade de geração de energia for iniciada, pois as hidroelétricas emitem metano, um gás de efeito estufa que gera mais impacto ao aquecimento global do que o gás carbônico. Não foram considerados fatores como a influência da localização, emissão por período de atividade da barragem, vazão, localização das turbinas e vertedouros.

Desse modo, faz-se necessário um plano de acompanhamento e de fiscalização da obra ao longo dos anos, com monitoramentos nas emissões de gases, nas atividades sísmicas e demais problemas que possam surgir, fazendo as adequações que se fizerem necessárias frente aos possíveis problemas detectados. É preciso que o governo seja presente também após a entrega da obra, que esta não fique abandonada, e que as propostas de mitigação sejam efetivadas.

Contudo, não podemos deixar de ressaltar a importância do reservatório à população do estado do Rio Grande do Norte, pois este, quando concluído, servirá como reserva hídrica para o abastecimento de algumas cidades, principalmente da região Seridó do estado e para a instalação de uma usina hidrelétrica, que contribuirá para a geração de energia, no entanto é preciso refletir sobre quem realmente será beneficiado com isso, uma vez que é preciso estar atento ao discurso recorrente do desenvolvimento do local oportunizado por empreendimento desse porte. A exemplo disso, a geração de energia que não ficará na localidade, essa produção energética irá integrar o sistema nacional de fornecimento e de geração de energia e servirá para alimentar os grandes centros urbanos e áreas industriais, assim como a água armazenada, que beneficiará, em grande proporção, os projetos voltados para o agronegócio.

Nessa perspectiva, destacamos que, de posse dos dados de evaporação, no semiárido, é intensa a manutenção e a ampliação do reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, o que consistiria em uma alternativa viável economicamente e menos impactante, pois apenas ampliaria o espelho da água existente e aproveitaria a estrutura da adutora, que já é responsável pelo abastecimento de várias cidades que compõem as regiões do Vale do Açu e do Seridó.

Referências

ALMEIDA, R. R. P.; CHAVES, A. D. C. G.; CRISPIN, D. L.; TRIGUEIRO, J. M. A.; MARACAJÁ, P. B.; ALMEIDA, I. P.; BULHÕES, A. A.; SILVA, F. T. Proposta de recuperação de uma área de empréstimo degradada pela atividade de olaria no município de Pombal/PB. **INTESA**, Pombal, v.9, n.1, p.19-22, jan./jun. 2015.

ALMEIDA, R. D.; PASSINI, E. Y. **O espaço geográfico**: ensino e representação. 15. ed. São Paulo: Contexto, 2010.

ANA. Agência Nacional das Águas. **Relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos 2017**. Brasília, 2017.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física global: esboço metodológico. **Revista RA'EGA**, Curitiba, n.8, p.141-152, 2004.

BRAGA, J. L. **Impactos ambientais na bacia hidrográfica do Rio Piranhas, no percurso entre Boqueirão de Piranhas a São Gonçalo – PB**. Cajazeiras-PB: UFCG. 62 f. 2015. Monografia (Curso de Licenciatura em Geografia) – Universidade Federal de Campina Grande.

BRASIL **Lei nº 3.824, de 23 de novembro de 1960. Torna obrigatória a destoca e**

consequente limpeza das Bacias Hidráulicas dos Açudes, Represas Ou Lagos Artificiais. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 24 nov., 1960. Seção 1, p. 1522. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L3824.htm. Acesso em: 6 abr. 2020.

BARRAGENS, Comissão Mundial. **Barragens e desenvolvimento:** um novo modelo para tomada de decisões - um sumário. Londres: Earthscan, 2000. (Relatório da Comissão Mundial de Barragens).

CARLOS, A. F. A. **O lugar no/do mundo.** São Paulo: FFLCH, 2007.

CAMILO, K. T. G. **Construção da Barragem Armando Ribeiro Gonçalves: divisor de águas na história do município de São Rafael – RN.** 2019. Monografia (Graduação em Gestão Ambiental) – Faculdade de Ciências Econômicas – FACEM. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Mossoró, 2019.

CAVALCANTI, L. C. S. **Cartografia de paisagens.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 306, de 05 de julho de 2002. Estabelece os requisitos mínimo e o termo de referência para realização de auditorias ambientais.** Diário Oficial da União, Brasília, 19 de julho de 2002. p.75-76.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 302, de 20 de março de 2002.** Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Diário Oficial da União, Brasília, 13 maio, 2002. Seção 1, p.67-68.

COSTA, M. V.; CHAVES, P. S. V.; OLIVEIRA, F. C. Uso das técnicas de avaliação de impacto ambiental em estudos realizados no Ceará. In.: **Anais [...]** XXVIII Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://www.intercom.org.br/papers/nacionais/2005/resumos/r0005-1.pdf>. Acesso em: 6 jan. 2020. P. 16 – 21.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente.** 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

EVARISTO, D. **Imagem do canteiro de obras do Reservatório de Oiticica, 2014.** Disponível em: <https://www.blogdaniloovaristo.com.br/obras-da-barragem-oitica-ja-comecam-a-atrasar/>. Acesso em: 5 maio. 2020.

FEARNSIDE, P. M. **Hidrelétricas na Amazônia:** impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras. Manaus: Editora do INPA, 2015. Disponível em [/07/Hidrel%C3%A9tricas-na-Amaz%C3%B4nia-Impactos-ambientais-Sociais.-V.1.pdf](http://fmclimaticas.org.br/wp-content/uploads/2015/07/Hidrel%C3%A9tricas-na-Amaz%C3%B4nia-Impactos-ambientais-Sociais.-V.1.pdf)”<http://fmclimaticas.org.br/wp-content/uploads/2015/07/Hidrel%C3%A9tricas-na-Amaz%C3%B4nia-Impactos-ambientais-Sociais.-V.1.pdf#page=137>. Acesso em: 5 maio. 2020.

FERNANDES, R. S.; SOUZA, V.J.; PELISSARI, V. B.; FERNANDES, S. T. **Uso da percepção ambiental como instrumento de gestão e aplicações às áreas educacional, social e ambiental.** Rede Brasileira de Centros de Educação Ambiental, 2004. Disponível em: [3%A7%C3%A3o_Ambiental.pdf](http://www.redeceas.esalq.usp.br/Percepção_Ambiental.pdf)”http://www.redeceas.esalq.usp.br/Percepção_Ambiental.pdf. Acesso em: 10 set. 2021.

FUSALBA, J. P. El concepto de paisaje y su aplicación en El planeamiento territorial y ambiental. In.: LEMOS, A. I. G.; GALVANI, E. (org.). **Geografia, tradições e perspectivas: interdisciplinaridade, meio ambiente e representações**. Buenos Aires: Clacso, São Paulo. Expressão popular, 2009, p. 139-158.

GUEDES, J. A.; AMARAL, V. S.; FREITAS, F. W. S. Reservatórios: impactos socioambientais, uso e gestão. In: GUEDES, J. A. (org.). **Estudos em Hidrogeografia**. Belo Horizonte: Dialética, 2020, p. 69-83.

GUTIERRES, H. E. P. **Proposta metodológica para avaliação dos impactos geomorfológicos a partir dos estudos de impacto ambiental das barragens de Sero Azul e Igarapeba no Estado de Pernambuco**. 2019. Tese (Mestrado em Geografia) Faculdade de Ciências Humanas. UFPE, Recife. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/39458>. Acesso em: 3 jan. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Portaria IBAMA nº 113, de 29 de dezembro de 1995**. Disciplina a exploração das florestas primitivas e demais formas de vegetação arbórea nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste. Coletânea de Legislação e Jurisprudência.

LINS, R. P. **Limnologia da Barragem de Acauã e codeterminantes socioeconômicos do seu entorno: uma nova interação do limnólogo com sua unidade de estudo**. 2006. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza, UFPB, João Pessoa, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/4500>. Acesso em: 8 jun. 2020.

MARCOMIN, F. E.; SATO, M. Percepção, paisagem e educação ambiental: uma investigação na região litorânea de Laguna-SC, Brasil. **Educação em Revista**, Belo Horizonte, v.32, n.2, p.159-186, abr./jun. 2016.

MAXIMIANO, L. A. Considerações sobre o conceito de paisagem. **Revista RA'EGA**, Curitiba, n.8, p.83-91, 2004.

MERLEAU-PONTY, M. **Fenomenologia da percepção**. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

MORAES, A. C. R. Bases epistemológicas da questão ambiental: o método. In.: **Meio ambiente e ciências humanas**. São Paulo: Hucitec, 1994, p.67-80.

NASCIMENTO, F. R. Hidrelétricas e os limites da sustentabilidade no Nordeste do Brasil: método, análise e impactos. In.: SOUSA, R. Á. D. **Sociedade/natureza/trabalho em tempos de crise**. Rio de Janeiro/RJ: Autografia, 2020, p.85-106.

NEVES, M. C. D.; BUFFON, A. D.; MARTINS, M. R. A fenomenologia como procedimento metodológico em pesquisa qualitativa na formação de professores. **Anais... XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XI ENPEC**. Florianópolis, SC – UFSC, de 3 a 6 de julho de 2017, p. 1-8.

OLIVEIRA, L. Percepção Ambiental. **Revista Geografia e Pesquisa**, Ourinhos, v.6, n.2, p.56-72, 2012.

PIMENTEL, V. C. R. **Alternativas para solução de impactos físicos de barragens**. 2004. 2 v. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, USP, São Paulo, 2004.

RIO GRANDE DO NORTE. Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos. **Complementação do Estudo de Impacto Ambiental e Respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) para a Implantação da Barragem Oiticica, Município De Jucurutu / Rio Grande Do Norte.** Natal/RN, 2005. 3 v. (Estudo realizado pela Acquatool Consultoria LTDA).

RODRÍGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da. **Teoria dos Geossistemas – o legado de V. B. Sochava:** fundamentos teórico-metodológicos. Fortaleza: Edições UFC, 2019. (v.1).

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

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental:** conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado.** São Paulo: HUCITEC, 1988.

SANTOS, M. P. **O espaço humanizado, a paisagem humanizada e algumas reflexões sobre a paisagem em São Paulo no século XVIII e XIX.** 2006. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo, 2006.

SANTOS, M. A. P. dos. A percepção ambiental como ferramenta estratégica de gestão em unidades de conservação. **Revista Eletrônica Uso Público em Unidades de Conservação**, Niterói, v.8, n.13, p.42-50, 2020.

SANTOS, R. F. (Org.). **Vulnerabilidade ambiental:** desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília: MMA, 2007.

SAUER, O. A morfologia da paisagem. In: CORRÊA, R. L.; ROZENDAHL, Z. (Org.). **Paisagem tempo e cultura.** Rio de Janeiro: EdUERJ, 1998, p.12-74.

SCHIER, R. A. Trajetórias do conceito de paisagem na geografia. **Revista RA'EGA**, Curitiba, n.7, p.79-85, 2003.

SILVA, A. S. B. **Os impactos ambientais e sociais da construção da Barragem de Oiticica - Jucurutu/RN.** Angicos: UFERSA, 2017.

SOTCHAVA, V. B. **Por uma teoria de geossistemas de vida terrestre.** Biogeografia (14). Universidade de São Paulo – Instituto de Geografia: São Paulo, 1978, 23 p.

TOMASCHITZ, J. O. P. **Dimensionamento de blocos para fechamento de rio por enrocamento lançado em ponta de aterro: ensaios em modelos reduzidos** Curitiba: UFPR 2017. Tese de mestrado.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

TROLEIS, A. L.; SILVA, B. L. Do Polígono das Secas à vulnerabilidade ao colapso hídrico: uma análise do território do Rio Grande do Norte. **Revista GeoSertões**, Cajazeiras, v.3, n.5, p.24-40, jan./jun. 2018.

TUAN, Y. F. **Topofilia:** um estudo da percepção, atitudes e valores do meio ambiente. São Paulo: Difel, 1980.

SEÇÃO 2

HIDROSSISTEMAS SUBTERRÂNEOS



CAPÍTULO 6

Hidrogeologia da porção oeste da Bacia Potiguar: aspectos quantitativos e problemáticas para gestão da água subterrânea

Filipe da Silva Peixoto,

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN, Brasil.

E-mail: felipepeixoto@uern.br

Gutemberg Henrique Dias,

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN, Brasil.

E-mail: gutembergdias@uern.br

Introdução

O principal empecilho para uma gestão adequada das águas subterrâneas no Brasil é, sem dúvida, a falta de conhecimento básico, conceitual e empírico sobre os aquíferos e outros meios hidrogeológicos por uma parte significativa dos profissionais, planejadores e da própria sociedade. A água subterrânea tem sido pouco inserida no processo de gestão dos recursos hídricos, ela é abordada nos planos de recursos hídricos, de um modo geral, a passos muito lentos e sem metodologias adequadas a sua especificidade.

No planejamento em escala nacional, basta citar que a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), Lei Federal nº 9.433/1997, não contempla de forma clara as especificidades da dinâmica e ocorrência das águas subterrâneas. Um dos pontos mais emblemáticos é o recorte territorial de planejamento e a dominialidade sobre esse recurso. A PNRH usa como referência física-territorial a bacia hidrográfica, dotando os recursos hídricos contidos nesta, como estadual, no caso de bacias cuja área esteja totalmente situada em um estado, ou federal caso a área da bacia abranja mais de um estado ou sendo uma bacia internacionalmente transfronteiriça. Contudo, na ocorrência de aquíferos, a legislação não contempla de forma expressa tal atribuição, pois os grandes aquíferos, em geral, não são delimitados por divisores de águas, como as bacias hidrográficas, o fluxo subterrâneo, pode, em função das especificidades hidrogeológicas ocorrer de modo distinto das águas superficiais, assim, há inconsistências de sobreposição espacial contínua, o que é um problema central para gestão dos recursos hídricos.

O que de fato tem ocorrido é que alguns estados da federação, antes mesmo da PNRH, tomaram iniciativa e começaram, já no início da década de 1990, a legislar sobre as águas subterrâneas, citando como exemplo os estados de São Paulo e Ceará, que regulamentaram suas respectivas políticas de recursos hídricos em 1991 e 1992.

Na tentativa de uma gestão compartilhada nos aquíferos transfederativos, poucos Estados têm buscado uma articulação conjunta para aplicar os instrumentos básicos de gestão como a outorga, visando o mínimo controle das águas subterrâneas. Uma lei específica para a gestão dessas águas foi ventilada e posteriormente arquivada pelo congresso nacional. Segundo Hager e D'almeida (2008) em 2000, contudo, houve a aprovação da resolução CNRH nº 15, em 2001, que implementa alguns pontos importantes que estavam no projeto de lei arquivado.

Contudo, os passos lentos são evidenciados em uma falta de mudança efetiva

para uma concepção integrada da gestão dos recursos hídricos. Esse contexto reporta-se a uma realidade de falta de conhecimento básico por parte da sociedade e falta de conhecimento técnico sobre a dinâmica de funcionamento da interação entre as águas superficiais e subterrâneas, ademais, a falta de dados técnicos e parâmetros hidrogeológicos em vários aquíferos dificulta as tomadas de decisão, o que leva a uma situação de hidroesquisofrenia

Aponta-se para isso, como uma das causas, a falta ou deficiência de um conhecimento básico e adequado sobre recursos hídricos, especialmente da água subterrânea, por parte da sociedade. Isso pode ter origens várias, como uma educação insuficiente por parte do currículo do nosso sistema educacional, falta de uma participação cívica ativa e democrática nas tomadas de decisão, e sobretudo, a baixa capilaridade dos conhecimentos produzidos pelos cientistas (sobretudo hidrogeólogos), e formação insuficiente ou natureza muito fragmentada dos conhecimentos de profissionais que atuam na academia, em órgãos técnicos e empresas, atuantes na gestão dos recursos hídricos.

Contudo, as constantes crises hídricas têm aumentado a preocupação da sociedade brasileira com seus mananciais nos últimos anos. O País se encontra em 1º no rank de vazão fluvial, e dois dos maiores aquíferos do mundo estão presente no território nacional, porém a escassez hídrica é recorrente em uma parte significativa do território brasileiro, no Nordeste semiárido, onde as precipitações não superam os 800 mm/ano e a evapotranspiração potencial chega a 2.300 mm/ano, o que promove um déficit hídrico potencial muito significativo.

Além disso, mesmo em outras partes do país, onde existem condições hidroclimáticas caracterizadas pela abundância de água, vêm ocorrendo escassez e aumento de tensões sociais em torno de disputas territoriais pela água. Em consequência disso, os conflitos pelo uso da água vêm crescendo de maneira assustadora nos últimos anos (PEIXOTO; SOARES; SALES, 2021).

Na Grande São Paulo, no ano de 2015, ocorreu uma crise hídrica sem precedentes, quando a pluviometria dos meses de janeiro a março não foram o suficiente para manutenção de um nível seguro para os principais reservatórios suprir grandes demandas de água das fábricas e residências, isso resultou em medidas de racionamento e aumento da conta de água dos clientes da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. Autores atribuem essa seca às chuvas abaixo da média nos anos de 2014 e 2015, mas esta poderia ter sido evitada caso o governo do Estado tivesse aplicado medidas preventivas ao colapso hídrico.

Em outras regiões com abundância de água, como em estados da Região Norte, a realidade é a falta de fontes seguras com qualidade adequada, além das péssimas condições sanitárias que provocam os níveis preocupantes de contaminação e de doenças diarreicas agudas nas populações mais vulneráveis. Nessa região, o crescimento no número e quantidade de famílias envolvidas em conflitos pela água revela situações de escassez de segunda ordem, causadas por problemas de ordem socioambiental por atividades de mineração e por grandes barragens para aumento da oferta de energia hidrelétrica (PEIXOTO; SOARES; SALES, 2021).

A Região Nordeste possui histórico de secas meteorológicas causadas pela alta variabilidade climática. Nunes e Medeiros (2020) estudando dados históricos de pluviometria para o estado do Ceará, concluíram que em 46% dos anos as chuvas foram abaixo da média e em 6% dos anos houve precipitações mínimas, caracterizando as secas extremas.

A partir do final da década de 1990 houve significativo crescimento da resiliência social aos impactos da seca, o que envolve a atuação de programas que viabilizaram o repasse de recursos federais para medidas emergenciais, como o seguro

safrá, a implementação de cisternas rurais e outras tecnologias hídricas sociais, e construção de grandes, médias e pequenas barragens.

De fato, desde o segundo reinado, no século XVIII, são implementadas diversas ações de políticas públicas que de um modo ou de outro, minimizaram os efeitos das secas.

De acordo com Felipe (2020), as políticas de desenvolvimento territorial para o Nordeste sempre enfatizaram a seca como um problema a ser superado, mas com visões e estratégias diferentes na forma de lidar com o problema, pode-se dividir as políticas públicas com relação à seca em 5 fases:

- 1ª fase (1877 – 1906) - Estudos de várias comissões nacionais e internacionais no nordeste semiárido realizando levantamentos de recursos naturais e sugerindo possíveis soluções para o problema das secas. Essas comissões eram formadas por engenheiros geólogos e geógrafos, os quais realizaram estudos iniciais, apontando vales fluviais margeados por serras secas como áreas com potenciais para a construção de açudes;
- 2ª fase (1906 – 1950) - Seca como problema hídrico, quando se ampliou estudos para construção de médios e grandes açudes, propondo uma solução hidráulica para superação do problema da seca. Nesse período foram criados órgãos federais para dar suporte ao planejamento, pesquisa e construção de açudes: Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS), que se transformou em Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS), que finalmente se tornou o Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS).
- 3ª fase (1950 – 1964) - Seca como um problema estrutural para o desenvolvimento socioeconômico da região, inspirado no nacional desenvolvimentismo cujo objetivo era buscar uma industrialização do país, integrando economicamente o nordeste com as regiões mais industrializadas. Aqui, surgiram o Grupo de Trabalho para o Desenvolvimento do Nordeste (GTDN), que resultou na criação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – (SUDENE), a Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), e o Banco do Nordeste do Brasil (BNB).
- 4ª fase (1964 - 1992) - Modernização conservadora, quando a elite agrária influenciou na implementação da modernização agrícola, aumento de créditos para empresas agropecuárias via recursos federais. Houve o aproveitamento de áreas úmidas e vales perenizados por açudes grandes e médios, criando os perímetros irrigados. Nesse momento surge a agricultura irrigada em várias partes do nordeste. Em alguns desses vales, grandes empresas têm aproveitado os recursos hídricos mais disponíveis, como por exemplo, em Mossoró, onde inicialmente se começou a produzir caju e depois o melão aproveitando o potencial hídrico das águas subterrâneas, e no vale do Açu onde se passou a produzir grandes quantidades banana. Toda essa atividade segue, atualmente, o modelo de produção de *comodities* para exportação.
- 5ª fase (1992 – presente) - Retomada do pensamento nacional desenvolvimentista, com a implementação de programas de transferência de renda, melhoria do salário-mínimo, aumentando, assim, indicadores sociais e de acesso ao mercado; valorização da agricultura familiar; interiorização do ensino técnico e superior, ampliação dos serviços de saúde.

Também é importante frisar que, durante essas fases, a própria condição que envolve a interação homem-meio no semiárido propiciou o acúmulo de conhecimento prático envolvendo estratégias mitigadoras dos riscos causados pela seca. Segundo Silva e Sampaio (2014), “as comunidades rurais desenvolveram histórica-

mente estratégias de sobrevivência no semiárido, estabelecendo relações com a natureza, principalmente com a água” (p. 321). Alguns desses conhecimentos tradicionais como previsão e leitura de fenômenos climáticos, coleta e armazenamento da água da chuva.

Características da área de estudo e aproximação ao problema

O Rio Grande do Norte, em sua configuração climática, divide-se entre clima úmido a subúmido no litoral oriental, com precipitações maiores que 1000 mm/ano, e um climas semiáridos no interior e litoral setentrional, variando entre 900 e 400 mm/ano, com 6 a 10 meses secos (NIMER, 1979).

O clima semiárido predomina em cerca de 80% do território potiguar, particularmente, porção Oeste da bacia estudada, está totalmente inserida nessa tipologia climática. Nessa área, a área que hoje é denominada pelo IBGE de Região Imediata de Mossoró (RIM) foi geograficamente beneficiada pelo desenvolvimento de capitais que, funcionando também como entreposto comercial entre Recife, Fortaleza e Natal. A cidade de Mossoró se expandiu de modo congruente aos ciclos econômicos e, atualmente, comporta suas principais atividades de serviços, dinamizadas pela extração mineral (sal, petróleo e calcário) e fruticultura irrigada, desenvolvida também nos territórios de outros municípios cuja centralidade é exercida pela cidade de Mossoró.

Na RIM, particularmente nos municípios de Baraúna, Mossoró, Serra do Mel, Apodi e Felipe Guerra têm ocorrido forte crescimento da agricultura irrigada, dinamizando as relações cidade-campo e, ampliando a capacidade econômica de produção, sobretudo de *comodities* da fruticultura irrigada.

Esse forte empenho do setor agrícola vem ocorrendo em função da disponibilidade da água subterrânea dos Aquíferos Jandaíra e Açú. Na bacia do Rio Apodi-Mossoró, 56% da demanda de água para uso agrícola o que corresponde a quantidade de 343.620,80 m³/dia, segundo os dados de outorgas disponibilizado pelo Instituto de Gestão de Águas do RN – IGARN, sistematizados por Marín et al. (2016).

No entanto, poucas são as ações desenvolvidas para a conservação e uso sustentável da água subterrânea na região. O que acarreta situações de risco e de contaminação difusa causada pelos insumos da atividade agrícola, superexploração de alguns setores dos aquíferos e contaminação devido ao lançamento de esgoto doméstico. O estudo de Manuel Filho et al. (2010) apontou que há rebaixamento excessivo do nível de água dos poços, e contaminação generalizada nas áreas de atuação da agricultura irrigada. Contudo é difícil diagnosticar o atual quadro qualitativo e quantitativo das águas subterrâneas por conta da falta de dados básicos, como cadastro de poços, monitoramento do nível freático e da qualidade da água.

A falta de dados e informações de qualidade e de profissionais engajados tecnicamente para uma gestão das águas subterrâneas direcionam esse grave quadro para um futuro taciturno. Se não compreendemos de forma clara as funções e serviços ambientais desempenhados pelas unidades hidrogeológicas da região, a quantidade de água disponível, a qualidade natural e o atual quadro ambiental dos meios hidrogeológicos seremos responsáveis por tolher as gerações futuras de usufruir de maneira digna e respeitosa desse inestimável recurso.

Nesse intuito, o presente trabalho foi concebido buscando aliar um conjunto de informações e dados técnicos sobre a Hidrogeologia da porção oeste da Bacia Potiguar, apresentando os principais aquíferos e potenciais de uso. Busca-se desse modo contribuir a construção de conhecimento para maior compreensão da importância da conservação dos aquíferos na região, apontando problemáticas que precisam ser superadas por processos amplos e participativos de planejamento e gestão das águas subterrâneas.

Litologia e evolução estrutural da bacia

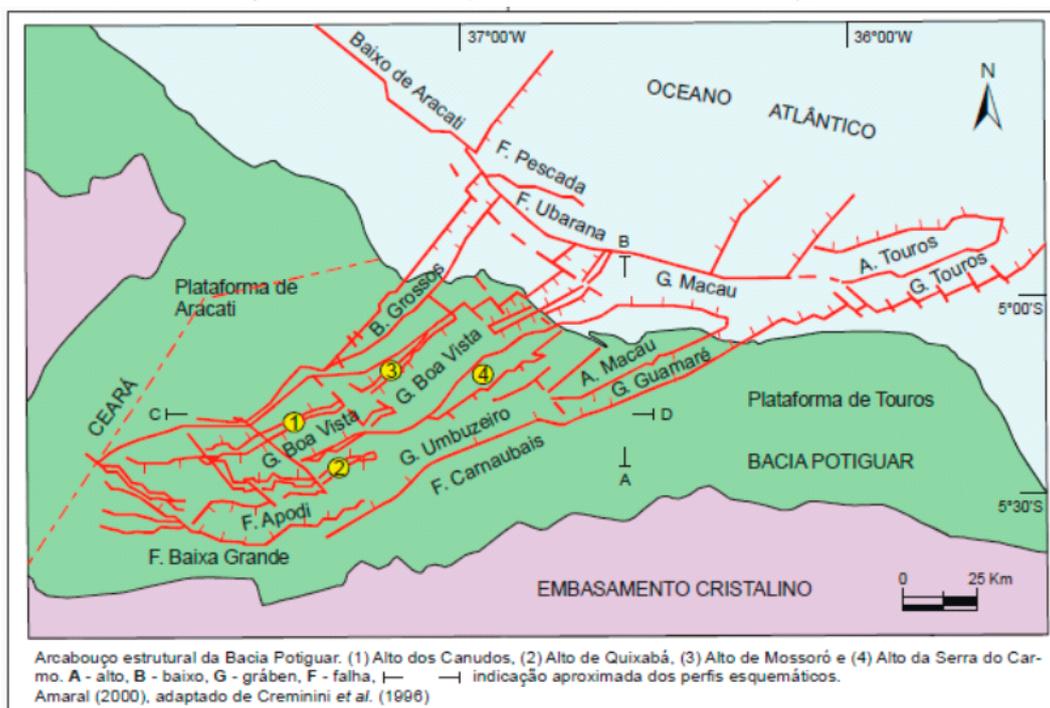
A bacia potiguar abrange territórios dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, estando limitada a oeste pelo alto estrutural de Fortaleza, a leste o alto estrutural de Touros, a sul pelo embasamento cristalino e a norte se encontra submersa pelo oceano atlântico, chegando a cotas batimétrica de 200m.

A evolução geológica está associada ao processo de formação do oceano atlântico. Este começou a ser formado a partir do sudeste do continente sul-americano há cerca de 140 milhões de anos, iniciando também a separação das placas tectônicas Africana e Sul-Americana por meio de movimentos divergentes. O esforço tectônico associados à separação dos continentes gerou falhamentos perpendiculares que desenvolveram os principais sistemas de falhas do Nordeste brasileiro. Esse episódio pode ser explicado pelo fato da crosta rochosa espessa, formada por profundo arcabouço estrutural da outrora cadeia montanhosa transbrasiliana, que se prolonga desde o Brasil Central até a crosta ocidental subsaariana do continente africano.

A partir da movimentação tectônica ocorre a distensão crustal, que promoveu falhas por meio do estiramento crustal ocasionando várias depressões que foram atulhadas por sedimentos, constituindo a bacias sedimentares, algumas interioranas como a Bacia do Rio do Peixe-PB, Bacia do Iguatú-CE, e outras sob a influência marinha como a Bacia do Araripe, Tucano-Jatobá e a própria Bacia Potiguar.

A Bacia Potiguar evoluiu a partir de esforços extensionais precursores com direção E-W, provocando um estiramento crustal com elevadas taxas de subsidência mecânica do embasamento (PESSOA NETO *et al.*, 2007). O arcabouço estrutural da bacia é representado pela figura 1, nela se observa as principais feições estruturais: altos internos, grábens e plataformas rasas, em resposta à subsidência mecânica. Os grábens da porção emersa definem os grandes lineamentos estruturais de direção NE-SW, de forma assimétrica, delimitados a sudeste e sudoeste por falhas com rejeitos superiores a 5 km.

Figura 1 – Arcabouço estrutural da Bacia Potiguar



Fonte: ANGELIM *et al.* 2006.

As etapas de evolução geológico-estratigráfica da bacia Potiguar podem ser descritas de forma didática como *Supersequencia Rifte* e *Supersequencia Drift*, sendo que a orientação das zonas de cisalhamento sofreu movimentação que reposicionou os *trends* estruturais de S-N para NE-SW. No contexto da bacia propriamente dita, alguns autores (ARARIPE; FEIJÓ, 1994; CAMPOS NETO *et al.* 2007) reconheceram os seguintes grupos na estratigrafia mesozoica: Areia Branca (*Supersequencia Rifte*), Apodi e Agulha (*Supersequencia Drift*).

Supersequencia Rifte

O Grupo Areia Branca é constituído por depósitos lacustres siliciclásticos, constituindo as formações Pendência e Pescada, respectivamente. Os sedimentos constituídos por essas formações apresentam influência de transgressão marinha e sedimentos depositados entre 140 e 100 milhões de anos. Ademais, a Formação Alagamar, sobreposta a estas últimas, pertence a etapa pós-rift da evolução tectônica da bacia, e apresenta os primeiros indícios de regressão marinha, com material depositado entre 120 e 110 milhões de anos por meio de sistemas flúvio-deltáticos. Esta formação é dividida nos membros Upanema e transicional Galinhos, isolados por um intervalo de folhelhos e calcilutitos.

Supersequência Drifte

O Grupo Apodi, composto pelas Formações: Açú, Ponta do Mel, Quebradas e Jandaíra, forma um conjunto de sequências flúvio-lacustres transgressivas de composição siliciclástica (Açú, Ponta do Mel e Quebradas), clástico carbonática (Formação Guamaré, Ubarana e Tibau) e carbonática (Jandaíra). Esse grupo foi formado entre o Albiano Superior e o Campaniano Superior (110 – 50 milhões de anos). Há vários vestígios de uma transgressão do Grupo Apodi constituído nas Formações Açú e, principalmente, Jandaíra com depósitos típicos de plataforma em mar raso, e sequências marinhas regressivas do Grupo Agulha de idade campaniana-pleiocênica, abrangendo as Formações Guamaré, Ubarana e Tibau, as quais constituem-se de sequências regressivas clástico-carbonática.

Depósitos recentes

Nessa categoria se enquadram os depósitos sedimentares pouco ou não litificados, da Formação Barreiras, Aluviões e Dunas. Os depósitos aluvionares podem ser segmentados em Depósitos Aluvionares Antigos, os quais têm significado bem particularizado, uma vez que, anteriormente, eles foram mapeados como Formação Barreiras e somente com o enfoque dado por Angelim *et al.* (2006), estes passaram a ser uma sequência neógena de acordo com dados de datação por Luminescência Opticamente Estimulada (LOE) (MOURA-LIMA *et al.*, 2010). Os depósitos aluvionares recentes se enquadram em idade quaternária, transportados e depositados pela dinâmica fluvial dos principais rios que cortam a bacia, dentre eles o Rio Apodi-Mossoró e Rio do Carmo em seus cursos médio e baixo. Esses depósitos variam muito de espessura de até 64 metros em alguns trechos e são constituídos por areias finas a grossas com intercalações silto-argilosas, sotopostos linearmente sobre diferentes litologias, desde o embasamento cristalino a setores aflorantes das formações Açú, Jandaíra e Barreiras.

A Formação Barreiras possui sedimentos pouco ou não litificados que foram depositados entre o plioceno e pleistoceno. São estruturados por sequências estratigráficas variando entre areia, silte e argila, sustentado por sequência conglomerática basal. A Formação Barreiras foi constituída em sequências regressivas depositadas em ambiente marinho de plataforma continental, posteriormente submergidas pelo recuo da linha de costa. Esta formação ocorre em quase toda costa brasileira, no rio Grande do Norte alcança extensão de até 20 km a partir da linha de costa, e tem espessura variável de 10 a 40 metros, podendo alcançar até 100 metros em alguns setores da costa setentrional potiguar.

As Dunas, por sua vez, são depósito arenosos costeiros constituídos por areias médias e finas bem selecionadas pela dinâmica eólica formados a partir do holoceno, sendo remodelados até o presente. As Dunas bordeiam a costa e se posicionam até 10 km a partir da linha de costa na região das Dunas do Rosado, no Município de Porto do Mangue-RN. Outros campos semelhantes, mas de menores dimensões são encontrados em todo o litoral, de maneira descontínua, pois são cortados pela planície fluviomarinha do rio Apodi-Mossoró.

Hidrogeologia e principais sistemas aquíferos

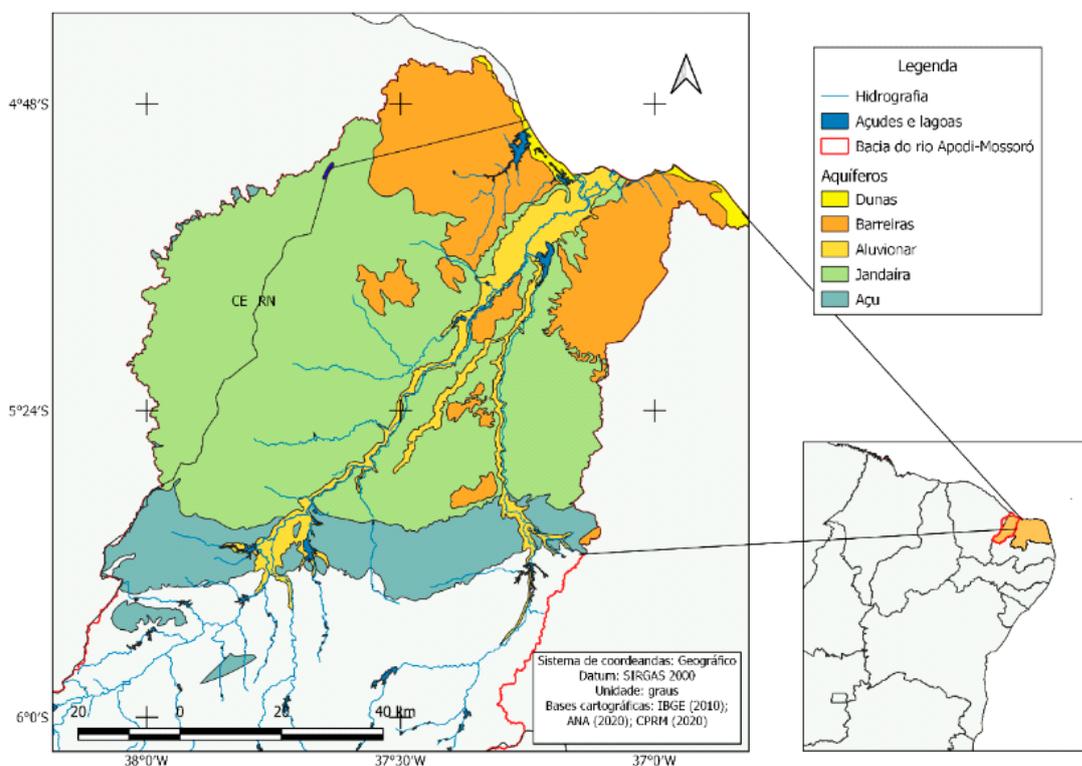
Os aquíferos são formações geológicas capazes de armazenar e ceder quantidades significativas de água. Para isso, Rebouças (2008, p. 24) coloca que “os aquíferos possuem coeficiente de porosidade efetiva (n_e) variando entre 1 e 15%, e condutividade hidráulica (K) variando entre 10^{-2} e 10^{-5} m/s”. Isso não quer dizer que as águas subterrâneas não possam ser exploradas em outras unidades aquíferas, sobretudo em ambientes de grande escassez como no semiárido nordestino, unidades hidrogeológicas como aquíferos, constituídas de depósitos sedimentares coluviais ou aluviais, as próprias sequências alternadas de siltitos, argilitos ou misturas em proporções variadas de argilas, siltes e arenitos finos, que resultam em sensível redução do coeficiente de porosidade efetiva (n_e) variando entre 0,5 e 5% e condutividade hidráulica (K) entre 10^{-6} e 10^{-8} m/s, assim, volumes de água armazenados nessas unidades são mais reduzidos e possuem fluxo mais lento (REBOUÇAS, 2008), contudo, são utilizados em comunidades rurais por meio de poços manuais amazonas (cacimbões) ou cacimbas.

Os sistemas aquíferos se comportam como um sistema aberto, sofrendo trocas de matéria e energia através da interação com a atmosfera, superfície do solo, reservatórios superficiais, ou mesmo de ambientes hidrogeológicos diversos, compreendendo mais de uma unidade aquífera, formando, portanto, um sistema aquífero. Segundo Diniz (2014, p. 17) sistemas aquíferos são “originados a partir da união de dois ou mais aquíferos, criando um domínio espacial limitado em superfície e em profundidade, relacionados ou não entre si, mas que constituem uma unidade prática para a investigação ou exploração” Portanto, aspectos relacionados a quantidade e a qualidade naturais da água subterrânea a partir da infiltração são formados/influenciados pela disposição estratigráfica, composição mineral da litologia, tipos de conexão hidráulica e comportamento geoquímico entre a água e as unidades hidrogeológicas.

Os principais sistemas aquíferos na região estudada são representados pelo Sistema Aquífero Apodi compostos pelo aquífero Açu (arenitos finos a grossos, por vezes conglomeráticos, coloração variegada, com intercalações de folhelhos e argilitos); aquífero Jandaíra (calcarenitos, calcilitos bioclásticos, cinza claros a amarelados e níveis de evaporitos na base); aquífero Aluvionar (depósitos sedimentares ocasionalmente grosseiros com matriz argilosa); Sistema Aquífero Costeiro composto por Formação Barreiras (arenitos e conglomerados, intercalações de argilitos

e siltitos) e pelo aquífero Dunas (areias de granulação média-grossa e fina, selecionadas e depositadas pela dinâmica eólica) (Figura 2).

Figura 2 – Aquíferos da Bacia Potiguar no médio e baixo curso da bacia do rio Apodi-Mossoró.



Fonte: Elaborado pelos autores

Sistema Aquífero Apodi

As unidades hidrogeológicas compostas por aquífero Jandaíra, aquífero Quebradas e aquífero Açú formam o Sistema Aquífero Apodi - SAA, denominado por Manoel Filho et al., (2010), em estudo com modelagem de teste de aquífero no município de Baraúna-RN. De modo independente das outras formações, estudando a hidrogeologia do aquífero Açú em área aflorante desse aquífero, Vasconcelos et al. (1990) definiram 4 unidades da base para o topo: Açú 1 - Na porção basal predominam, sobre um relevo acidentado, formado por depósitos de leques aluviais e fluviais do tipo entrelaçado; Açú 2 - depósitos fluviais do tipo meandrante grosseiro que gradam verticalmente para meandrante fino; Açú 3 - arenitos médios/grossos a conglomeráticos de coloração predominantemente avermelhada; Açú 4 - arenitos muito finos a finos, tendendo a médios, de coloração esbranquiçada a esverdeada, bastante friáveis.

Carvalho Júnior e Melo (2000), estudando essas unidades 3 e 4 no município de Apodi - RN, identificaram 3 sub-unidades por meio de suas características litológicas e hidrogeológicas, definindo assim a subunidade 1 - correspondendo a parte mais grosseira da unidade Açú 3 de Vasconcelos et al., (1990), com arenitos de matriz arenosa e conglomerados; e subunidades 2 e 3 que correspondem a arenitos de matriz fina a muito fina, formada por siltitos e argilitos. No estudo de Manoel Filho

et al. (2010), foi delimitado no SAA sotoposto à Formação Jandaíra, dois aquípardos correspondentes litoestratigraficamente com as subunidades 2 e 3, denominando-os de aquíparado Quebradas.

Na região de ocorrência do Rift, o SAA é limitado inferiormente pela “sequência sedimentar albo-cenomaniana denominada de Formação Açú, discordante com a Formação Alagamar” (SOUTO; PEDRA; FARIAS, 1990, p. 12). O aquífero Açú é o mais produtivo na área de estudo, nele estão instalados poços com vazão específica média de 1,97 m³/h/m, esse aquífero possui características de confinamento e semiconfinamento pelo aquíparado Quebradas. Peixoto et al, (2021) evidenciou a partir de perfis construtivos e litológicos de poços, que na cidade de Mossoró-RN, o aquíparado se comporta como uma camada limitrofe confinante que varia entre 300 e 350 metros de espessura, mas com evidências de semiconfinamento em algumas áreas específicas.

Frickson, Santiago e Torquato (1988) outrora já identificaram por meio de estudos de balanço de isótopos de ¹⁶O/¹⁸O, e H/D que há interação entre as águas do Aquífero Jandaíra e Aquífero Açú, seja em característica ascendente na zona de baixos estruturais onde esses grábens evidenciam artesianismo nos poços ali localizados, seja em fluxo descendente, quando o aquífero Jandaíra cede parte de sua reserva principalmente nas zonas de contato de falhamentos limitadas por horsts estruturais. Embora os aquíferos Açú e Jandaíra estejam separados por uma camada semipermeável (aquíparado Quebradas) correspondentes ao topo da Formação Açú e a base da Formação Jandaíra, a função confinante do Aquífero Açú e dependentemente das diferenças de carga hidráulica, responsável por uma entrada (drenança vertical descendente) ou saída (drenança vertical ascendente) de água desse aquífero em relação ao Jandaíra (BARBOSA et al., 2016). Assim, há, embora local e quantitativamente limitado, intercambio hídrico entre essas unidades.

Tal comportamento evidencia a natureza integrada desse sistema aquífero que exerce grande importância para a região, principalmente pela função de fonte de abastecimento doméstico para cidades importantes como Mossoró e Apodi. Além disso, servem de fontes de água para abastecimento de pequenas comunidades difusas espalhadas por toda extensão territorial da bacia, para insumo na fruticultura irrigada, produção de água mineral e água potável de mesa.

Aquífero Açú

A gênese e descrição litológica da formação Açú apontam que esse aquífero foi formado por meio da convergência de depósitos flúvio-deltáticos, expressando assim sua característica clástica, porosidade primária e permeabilidade consideráveis, as quais condicionam-no como o principal reservatório de água do estado, com reservas consideráveis e de boa qualidade.

Contudo, suas propriedades, dimensão e funções são diferenciadas ao longo de sua ocorrência aflorante ou sotoposta às outras unidades hidrogeológicas. Segundo Vasconcelos (2008), ele aflora na borda sul da bacia ao longo de uma faixa marginal com largura variando cerca de 5 km no extremo leste e mais de 20 km no extremo oeste, sendo estas as principais áreas de recarga. Segundo Lima et al. (2006, p. 8):

A Formação Açú ocorre numa estreita faixa que circunda grosseiramente a bacia e mergulha suavemente em direção ao mar – recoberta pela Formação Jandaíra – apresentando espessuras variáveis, que aumentam gradativamente de sul para norte, desde poucas

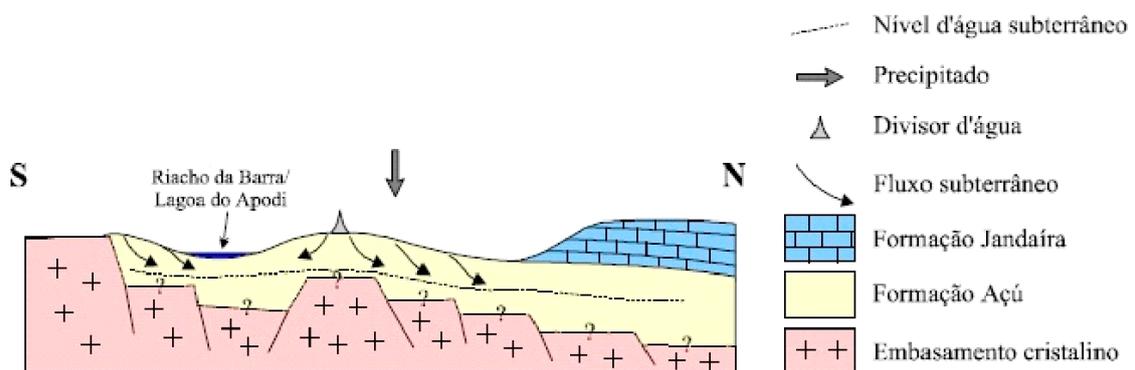
dezenas de metros, na área de afloramento, até mais de 800 metros, próximo à costa.

Tendo em conta a natureza integrada e cíclica da água, o uso e cobertura da terra sobre essas áreas de recarga é um aspecto importante para o gerenciamento desse aquífero. Atualmente, explorações excessivas, deposição de lixo e lançamento de esgotos em valas de infiltração e fossas rudimentares além da expansão da fruticultura irrigada que utiliza insumos agrícolas em excesso podem vir a comprometer o aquífero qualitativo e quantitativamente. De acordo com Frickson, Santiago e Torquato (1988), as águas do aquífero Açú se movimentam a velocidades que variam de 1 m a 2 m/ano, os mesmos autores demonstram que o aquífero Açú possui paleoáguas com idades entre 25.000 e 40.000 anos, portanto, a questão da renovabilidade das águas e possível esgotamento do aquífero em algumas áreas é uma problemática que precisa ser considerada na gestão e precisa ser melhor entendida.

Estudos realizados especificamente nas áreas de recarga mostram que nessas áreas o comportamento do aquífero Açú é característico de aquífero livre a semi-confinado mais localizados, segundo Carvalho Filho e Melo (2000), esses modelos de recarga puderam ser constatados com base nas diferenças de carga hidráulica de poços entre os municípios de Upanema-RN e Apodi-RN.

Bertani (1987), ao descrever a geologia da Bacia Potiguar define que o embasamento cristalino é formado por um conjunto de grábens assimétricos, internamente separados por *horsts* estruturais e limitados por duas plataformas rasas, a leste (Plataforma de Touros) e a oeste (Plataforma de Aracati). O estudo de Carvalho Filho e Melo (2000) comprova a influência dessa configuração nas condições hidrogeológicas regionais de fluxo em direção a norte e aos vales fluviais dos rios do Carmo e Apodi-Mossoró. Ademais, em uma faixa entre as cidades de Apodi e Caraúbas foi identificado que os melhores condicionamentos hidrogeológicos estariam localizados nas regiões de gráben, as quais receberiam material grosseiro (proximal) oriundos dos horsts, que por sua vez são áreas mais importantes de recarga (MELO et al., 2005) (Figura 3).

Figura 3 – condicionamento estrutural no fluxo subterrâneo regional



Fonte: Carvalho Filho e Melo (2000)

Na borda Oeste, onde o aquífero é mais raso e com maior expressão do aquífero Quebradas (MANUEL FILHO et al., 2000) ocorrem usos que exigem grandes demandas para irrigação, os poços mais produtivos são localizados no Aquífero Açú, perfurados em profundidades superiores a 300 metros, enquanto o aquífero Jan-

daíra se mostra com baixa potencialidade para esse uso, além de restrições quanto à qualidade da água (JUCÁ et al., 2019).

De um modo geral, o aquífero Açu é essencial para diversas atividades são dependentes do uso de suas águas. Isso é facilmente comprovado por meio dos parâmetros hidrogeológicos como condutividade hidráulica de (K) que varia entre 10^{-4} a 10^{-7} m/s, com média de 10^{-5} m/s (GURGEL e MELO, 2002), e vazão específica que varia entre 0,44 até 1,11 l/s/m (LIMA et al., 2006). Em sua área de ocorrência confinada, os poços possuem profundidades entre 600 e 1.000 metros, com vazões geralmente superiores a 50 m³/h, sendo a média de 78 m³/h (SUDENE, 1980) contudo há poços com mais de 1200 m de profundidade na área central da bacia que podem chegar a vazões máximas de 200 m³/h, onde está situado o gráben principal, além disso são comuns águas com temperatura acima de 50 °C em poços jorrantes (LIMA et al., 2006). Os níveis estáticos variam quase sempre entre 40 e 100m, podendo atingir cerca de 200m em áreas topograficamente mais elevadas.

Aquífero Jandaíra

O Aquífero Jandaíra é composto por calcarenitos bioclásticos e calcilutitos da formação homônima, compondo um sistema hidrogeológico cárstico-fraturado, com circulação de água por zonas de dissolução que formam expressivos carstes em superfície ou no subterrâneo. Mistretta (1984), que estudou as características hidrogeológicas do aquífero Jandaíra, comenta que "... diaclases e carstificação em superfície (exocarstes) e orientação do relevo, são fatores importantes para entender a hidrogeologia do Jandaíra, que se comporta como aquífero livre, cujo nível estático está intimamente relacionado ao relevo" (p. 83).

Esse aquífero aflora em grande parte da bacia potiguar em formato de um extenso platô, com espessuras médias da ordem de 250-350 metros, podendo, excepcionalmente, atingir até mais de 400 metros.

Sua litologia é constituída por calcários bioclásticos, calcarenitos e calcários dolomíticos, com coloração predominantemente creme e cinza. São duros, finos, com intercalações de argilitos e com bancos ricamente fossilíferos. (LIMA et al., 2006 p. 5).

A dissolução dos minerais de calcita e dolomita, portanto, não ocorre de maneira uniforme. O grau pureza e conseqüentemente maior grau de solubilidade dos calcários e dolomitos são dependentes da composição da matriz litológica e do aspecto estrutural. Rebouças (2008) coloca que os aquíferos encontrados neste meio são bastante influenciados quanto à sua qualidade química em virtude da dissolução do calcário (CaCO₂ e MgCO₂) elevando o teor de dureza, bem como de salinidade. Além disso, há tendência para menores concentrações de Ca²⁺ e Mg²⁺ nas zonas de recarga, no período seco, e maiores concentrações no período chuvoso, provocado pela dissolução, principalmente dos minerais de calcita presente nas rochas. Diniz Filho et al. (2004) propõem um modelo conceitual da circulação de água em subsuperfície no aquífero Jandaíra, cujo desenvolvimento do sistema cárstico está associado diretamente ao fluxo das águas subterrâneas:

- Num estágio mais avançado de dissolução, o intemperismo químico vai alargando e aprofundando os condutos, à medida que o fluxo subterrâneo transporta quimicamente o material dissolvido;

- O fluxo subterrâneo natural, na medida em que o escoamento subterrâneo vai propiciando o desenvolvimento de maior porosidade secundária e permeabilidade (formação de condutos e canais interconectados), no seio da rocha carbonática.

No setor da bacia potiguar estudado, há importantes zonas de carstes que são essenciais na recarga do aquífero Jandaíra, o Lagedo de Soledade, em Apodi-RN, a área de abrangência do Parque Nacional Furna Feia que está situado entre os municípios de Mossoró e Baraúna, foram identificadas por Manuel Filho et al. (2010) como importantes áreas de recarga do Aquífero Jandaíra. A própria natureza do processo de circulação da água em fraturas abertas por dissolução promove o desenvolvimento de exocarstes como dolinas, uvulas, poljes, vales cegos, simas, sumidouros e cavernas (Figura - 4).

Figura 4 - Fisionomia cárstica destacando campos de lapiás, Lagedo de Soledade, Apodi-RN.



Fonte: Acervo dos autores (2021)

A preservação de zonas de carstes bem desenvolvidos é determinante na qualidade e quantidade de água que recarrega o aquífero cárstico-fraturado. Manuel Filho et al., (2010) apontaram que o nível freático, geralmente inferior a 20 m, oscila de forma significativa em resposta a pluviometria, dependendo assim, de uma recarga pluvial, configurada pela condição não confinada desse aquífero e extensas áreas de afloramento da formação Jandaíra. A formação e grau de desenvolvimento dos carstes dependem da relação entre a pluviometria, grau de solubilidade da água de infiltração e o grau de dissolução das rochas (SILVA, 2008). Na porção central da bacia a solubilidade dos minerais que compõem a formação Jandaíra diminuem por conta de maiores proporções de argilas na composição de calcilutitos (MISTRETTA, 1984).

A qualidade natural das águas do aquífero Jandaíra é geralmente comprome-

tida para consumo humano devido a salinidade, evidenciada pela condutividade elétrica-CE, que apesar de muito variável, com mínimo de 177 e máximo de 13.120 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a maioria dos poços capta águas entre 1000 e 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, destacando que é necessário que se tenha uma água com CE entre 50 e 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para o consumo humano.

Naturalmente, o risco na atividade agrícola também pode ser relevante para problemas decorrentes da toxicidade e salinização do solo. Os parâmetros de qualidade da água mais importantes para uso na agricultura são Condutividade elétrica, STD, Sódio, Cloro, Boro, Nitrogênio Bicarbonato e pH. Particularmente no aquífero Jandaíra possuem teores elevados de STD e água dura a muito dura. Analisando dados de qualidade da água de 19 poços em Apodi-RN, Oliveira et al., (2013) identificaram os riscos que essa água possui para agricultura. Cerca de 26% das águas dos poços possuem risco de salinidade entre nulo e médio, enquanto a maioria dos poços (58%) estão na classe de risco de salinidade alto a muito alto.

Diniz Filho et al. (2000) classificam as águas do aquífero Jandaíra como predominantemente cloretadas mistas e subordinadamente cloretadas sódicas, com sólidos totais dissolvidos (STD) entre 1.551 e 2.436 mg/L, e média de 2.168 mg/L. É importante observar que valores elevados de STD inviabilizam essas águas para o consumo humano sem um tratamento adequado, Resolução Conama nº 396 de 2008 e Portaria nº 2.914 de 2011, haja vista que esses dispositivos estabelecem o Valor Máximo Permitido (VPM) de 1.000 mg/L.

Cosme et al. (2018) analisaram amostras de águas em 22 comunidades rurais de Mossoró/RN com objetivo de classificar essas águas quanto ao uso na irrigação, mostrou que do total de amostras apenas 13,04% são consideradas boas para a prática de irrigação já que apresentaram média salinidade e baixa sodicidade. A maior quantidade, 56,52% das águas são consideradas de qualidade regular tendo alto teor de sais e baixa sodicidade e, por fim, 30,44% das águas se apresentam com eleva restrição para uso na irrigação. Os dados apontam que os resultados dessa pesquisa se assemelham aos resultados das análises feitas no município de Baraúna por Stein et al. (2014), haja vista que os valores de STD e CE se mantêm elevados, enquanto ocorre uma variação nos demais parâmetros a exceção do PH.

Os poços locados no aquífero Jandaíra apresentam profundidade média de 100 m, e possuem um custo relativamente baixo para obtenção da água. Além disso, apesar da espessura, podem alcançar até 600 m. Em geral, para esse tipo de hidrogeologia, somente os 50 a 150 m de espessuras a partir da superfície são os mais importantes do ponto de vista hidrogeológico (DINIZ FILHO et al., 2014). No entanto, essas águas frequentemente apresentam muitas vezes qualidade limitada, como comentado anteriormente, sendo necessário o uso de dessalinizadores para compatibilizar a qualidade ao uso demandado, sobretudo em comunidades difusamente especializadas. Segundo Marcon, Martins e Stein (2014), a ocorrência das águas em baixas profundidades faz com que as comunidades difusas ao longo da bacia façam uso para atividades agrícolas diversas, como fonte de renda, e insumo importante para a subsistência.

Sistema Aquífero Aluvionar

Depósitos aluviais também possuem sua importância hidrogeológica, o material formador é basicamente os sedimentos inconsolidados de idade recente. Para as aluviões, a dinâmica de deposição de sedimentos nos leitos aluviais pode promover condições litoestratigráficas complexas, que envolve não só o grau de competência do rio em transportar e depositar sedimentos, mas a sua própria história

natural que reflete condições paleoclimáticas diferentes das atuais, além de mudanças nos níveis de base de erosão regional/global.

O pacote sedimentar formado ocorre em espessuras consideráveis de até 60 metros no médio e baixo curso do rio Apodi-Mossoró, no rio do Carmo e em espessuras limitadas a 3 e 5 metros em alguns dos seus principais afluentes. Gurgel e Melo (2010, p. 252) descrevem-nos como “Sedimentos grosseiros, inconsolidados, moderadamente a pobremente selecionados, de coloração esbranquiçada a amarelada clara e têm em média espessuras inferiores a 10 metros”.

Segundo Diniz Filho et al. (2014), depósitos de canal e os depósitos de planície de inundação formam aluviões mais recentes, estando ligados ao canal ativo do rio, enquanto aluviões antigos, também chamados depósitos cenozóicos de paleocalheiras, correspondem aos que formam patamares mais elevados que a planície fluvial ativa do rio, constituindo assim os terraços fluviais. Mistretta (1984) também coloca que há heterogeneidade granulométrica nesses depósitos, que apresentam litologia bastante variável, com sedimentos clásticos ocasionalmente grosseiros com matriz argilosa, por vezes ricas em matéria orgânica.

As condições hidrogeológicas, portanto, também são marcadas pela anisotropia, especialmente quanto ao fluxo descendente de água. Contudo Lima *et al.*, (2006) classifica-o como aquífero, quando o depósito aluvionar é relativamente bem desenvolvido, produzindo um sistema livre com nível estático subaflorante. Essa configuração facilita a exploração de água via poços escavados, principalmente poços amazonas e cacimbas que são importantes na segurança hídrica domiciliar de famílias que usam essas águas como principal fonte de abastecimento ou como fonte alternativa e emergencial para períodos de seca.

Sistema Aquífero Costeiro

O sistema aquífero costeiro - SAC é constituído por sedimentos não ou fracamente consolidados da Formação Barreiras e Dunas, a primeira, foi depositada em ambiente de regressão marinha, e com variações de areia silte e argila, tendo, portanto, propriedades hidrodinâmicas variáveis. Enquanto os pacotes de sedimentos bem selecionado das Dunas formam depósitos homogêneos e isotrópicos, que, embora com espessura média limitada, possuem boa permeabilidade e potencialidade aquífera significativa ou exerce função de transferência da água infiltrada para o Barreiras.

Os aquíferos costeiros muitas vezes são representados somente pelo Barreiras que se estende sobre a Formação Jandaíra, geralmente até uma distância de 50 km a partir da linha de costa. Com espessura média entre 30 e 50 metros é um “pacote de sedimentos, composto por arenitos argilosos, pouco consolidados, de coloração vermelha, violeta, branca e amarelada, apresentando incipiente estratificação plano-paralela e frequentes intercalações sílticas, argilosas e conglomeráticas” (LIMA *et al.*, 2006, p. 11).

A função hidrogeológica do Barreiras foi amplamente observada como aquífero de transferência em áreas menos próximas da costa. Grosso modo, sua boa capacidade de infiltração por águas pluviais, mas espessura limitada nessa área de ocorrência, permite a percolação vertical para o topo do Aquífero Jandaíra. Já que o nível estático médio de 12 m demonstra sua pequena espessura saturada, sobretudo no Barreiras na região do município de Mossoró, o que inviabiliza muitas vezes a exploração de água exclusivamente dessa unidade, assim, muitos poços ali instalados exploram águas mistas do Barreiras e Jandaíra.

Em áreas mais próximas ao litoral, sobretudo quando o Barreiras ocorre so-

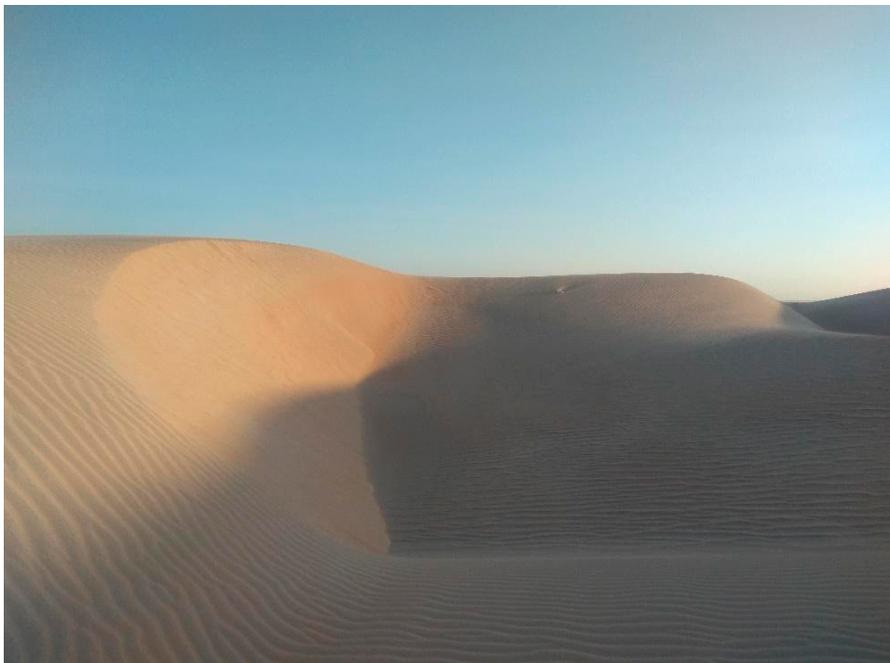
breposto por Dunas, a profundidade dos níveis estáticos varia entre 4 e 10 metros, possibilitando amplo acesso à água subterrânea por meio de poços escavados ou poços tubulares rasos. A direção do fluxo da água se subsuperfície se dá em direção aos vales e lagoas o nível freático está, frequentemente, entre 1 e 4 metros.

Enquanto o aquífero Dunas, na área de estudo, segundo Lima *et al.*, (2006, p. 6).

A faixa costeira, propriamente dita, é recoberta por cordões litorâneos paralelos à linha de costa, compostos por campos de dunas móveis, que se caracterizam pela morfologia ondulada típica e em certos trechos constituem uma barreira natural à drenagem superficial (endorréica), proporcionando a formação de lagoas. As dunas móveis são depósitos de natureza eólica, constituídas por areias homogêneas, bem selecionadas, friáveis, finas a médias, amareladas, esbranquiçadas e avermelhadas, que se sobrepõem tanto aos sedimentos do Grupo Barreiras como às dunas fixas (mais antigas).

As dunas ocorrem até uma faixa de 10 km de largura que se estreita até 2 km e, se interrompe na foz dos Rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu. Elas têm alturas médias de 20 metros e podem ser classificadas 2 gerações de Dunas, uma mais antiga com idade possivelmente pleistocênica se encontram interiorizadas, edafizada ou recobertas por dunas da geração seguinte (MISTRETTO, 1984). Enquanto as dunas mais recentes apresentam dinâmica eólica ativa, portanto são dunas móveis, modeladas pelos ventos alísios de direção NO - SE, geralmente, dunas barcanas (Figura - 5).

Figura 5 – Duna barcana na região das Dunas do Rosado, Porto do Mangue-RN



Fonte: Acervo dos autores (2021)

As Dunas mais antigas formam como as dunas recentes, um mesmo aquífero, pois o comportamento hidrodinâmico, dado pelo material constituinte, é muito semelhante. As vazões de poços nesse aquífero podem atingir 15 m³/h. Poços ra-

sos produzidos por moradores locais são comuns, principalmente em comunidades sem rede de abastecimento de água, esses poços possuem vazões mais limitadas por conta do uso de material adaptados e falta de critérios técnicos na produção do poço, sendo construídos por materiais alternativos pelos próprios moradores (Figura – 6).

Figura 6 – Poço construído com materiais alternativos, revestimento de PVC convencional em Praia do Rosado, Porto do Mangue, RN.



Fonte: Acervo dos autores (2021)

As unidades hidrogeológicas que formam o SAC, apesar desses dois aquíferos (barreiras e dunas) estarem hidráulicamente conectados, possuem características hidrodinâmicas distintas. Beltrão e Manuel Filho (1970) calcularam a condutividade hidráulica (k) que varia de 4×10^{-5} m/s para o Barreiras, as condições hidrodinâmicas, por vezes representam propriedades aproximadas de aquífero. Enquanto o Dunas, Campos e Menezes (1982) identificaram condutividade hidráulica (k) = $1,94 \times 10^{-3}$ e $2,50 \times 10^{-4}$ m/s, o que demonstra a sua vocação aquífera, associadas as reservas renováveis com origem pluvial. Isso também é causa da alta vulnerabilidade intrínseca as próprias condições de permoporosidade do aquífero. Araújo et al. (2017) identificaram que os sistemas alternativos de esgotamento sanitário (fossas sépticas e rudimentares) representam um risco generalizado quando esses se encontram em alta densidade espacial. Peixoto et al., (2019) em análise de vulnerabilidade aquífera realizada em Fortaleza-CE, também constataram vulnerabilidade média para o aquífero Barreiras, e alta para o aquífero Dunas.

A necessidade de conceber a importância do o SAC com limitações que devem ser consideradas para sua conservação pode ser reconhecida na locação de poços que, geralmente aproveitam as águas dos dois aquíferos, sendo, ao longo da zona costeira muito comum a presença de dos poços de vazão mista. Além disso, a conexão hidráulica entre esses aquíferos pode permitir a migração de contaminantes via percolação ou mesmo devidas às más condições sanitárias, e falta de aparato técnico dos poços.

Aspectos quantitativos

O dimensionamento das reservas hídricas é uma das principais informações necessárias ao planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. Tratando-se de um recurso natural renovável, a condição da ciclicidade da água, bem como a renovabilidade desta, nas unidades aquíferas estudadas, são informações-chave para adoção de um modelo de conservação do aquífero.

A água subterrânea é um fator importante para o desenvolvimento social e econômico de uma região, portanto, quando disponível, ela deve ser considerada nos planos de ordenamento territorial, assumindo um papel fundamental nos insumos para a agricultura e indústria e serviço. Segundo Custódio e Llamas (2001, p.04):

A água subterrânea é recurso-chave para abastecimento urbano e rural, sendo um recurso estratégico caso outras fontes de água passem por condições críticas de escassez ou de poluição. É também um importante recurso para desenvolvimento da irrigação, e para uso industrial. (tradução nossa)

Deveras, a exploração e uso das águas subterrânea possui uma série de vantagens como a fácil acessibilidade, distribuição ampla e dispersa, custo relativamente baixo, tecnologias viáveis e disponíveis, atendimento a muitos usos múltiplos, maior resiliência às secas, maior proteção contra contaminação e perda de qualidade da água.

A superexploração, ou seja, a retirada de água do sistema para além da sua capacidade de renovação pode acarretar comprometimento do sistema aquífero e seu uso. A consequência natural de superexploração é o rebaixamento do nível freático, isso acarreta uma série de problemas, a depender da intensidade do rebaixamento, dentre eles, o aumento do custo energético para captação, diminuição ou cessão de rios, riachos e poços rasos, além do risco de subsidência de terrenos e colapso em ambientes cársticos. Esses problemas podem gerar conflitos sociais e prejuízos econômicos, dado os setores econômicos envolvidos que utilizam as águas subterrâneas e os demais atingidos direta ou indiretamente pelos efeitos da superexploração.

As primeiras aplicações de metodologias para dimensionamento de reserva na Bacia Potiguar visaram o planejamento em escala regional, assim há primeiramente informações muito generalizadas, produzindo valores para as unidades aquíferas de toda a bacia, como em Mistretta (1984), Frischkorn, Santiago e Torquato (1988) e em Costa (1994). Algumas quantificações mais locais importantes no contexto regional da bacia do rio Apodi-Mossoró podem ser identificadas em Melo et al. (2005) e Manuel Filho et al., (2010). Esses estudos foram aplicados em diferentes áreas, assim, apesar de as recargas estimadas serem restritas a determinadas área, elas permitem entender o funcionamento do Sistema Aquífero Apodi.

De acordo com Mistretta (1984), os estudos sistematizados objetivando levantar informações para dar suporte ao planejamento hidrológico se iniciaram com a atuação da Inspeção Federal de Obras Contra as Secas - IFOCS na década de 1910. Desde então, foram realizadas uma série de publicações sobre as águas no Nordeste, incluindo a água subterrânea no Rio Grande do Norte, envolvendo o próprio IFOCS, o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNMP, o Governo do Estado do Rio Grande do Norte e a Petrobras. A Superintendência de Desenvolvimento para o Nordeste - SUDENE atuou fortemente no levantamento de dados e informações

sobre as águas subterrâneas do estado do Rio Grande do Norte a partir de 1965, e em 1969 estudo no âmbito da Bacia Potiguar foram publicados, intitulados “*Ground water in Northeastern Brazil*” e “Bacia Potiguar: estudos por analogia elétrica das condições de exploração das águas subterrâneas”. De acordo com o mesmo autor, a partir da década de 1970, a SUDENE promoveu uma série de publicações da série “inventários hidrogeológicos”, bem como estudos constatando viabilidade de uso da água subterrânea para irrigação.

Sendo assim, várias informações e dados aqui apresentados têm origem direta ou indireta nos estudos apresentados acima, bem como aproximações quantitativas em escalas regionais de maior detalhe realizadas por meio de metodologias mais modernas e amostragens mais significativas. Estudos sobre a quantificação das águas subterrâneas na bacia potiguar, em suas unidades aquíferas mais representativas são apresentadas no quadro 1 a seguir:

Quadro 1 – Estimativas de quantidade de água subterrânea para a bacia potiguar no estado do Rio Grande do Norte

Autores	Área de estudo	Reservas
(REBOUÇAS, FILHO, BENOIT, 1967)	Área de ocorrência dos aquíferos Jandaíra e Açu na Bacia Potiguar.	<ul style="list-style-type: none"> Reservas de $180 \times 10^9 \text{ m}^3$ no aquífero Jandaíra e $120 \times 10^9 \text{ m}^3$ no aquífero Açu. As vazões sem comprometimento dos aquíferos são $160 \times 10^6 \text{ m}^3$ ano e $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ano para os aquíferos Jandaíra e Açu, respectivamente.
(MISTRETTA, 1984)	Área de ocorrência do aquífero Jandaíra na em toda a área continental emersa.	<ul style="list-style-type: none"> Reserva permanente $122 \times 10^9 \text{ m}^3$/ano, com renovação 0,05% ao ano; Tempo de renovação de 2158 anos; Reserva reguladora $56,6 \times 10^6 \text{ m}^3$/ano Volume anual de recarga $43 \times 10^6 \text{ m}^3$/h.
(FRISKCHKORN, SANTIAGO e TORQUATO, 1988)	Área de ocorrência dos aquíferos Jandaíra e Açu na Bacia Potiguar.	<ul style="list-style-type: none"> Conexão hidráulica entre aquíferos Jandaíra e Açu em cerca de 1/3 da área da bacia. Em Mossoró os poços estão localizados a 50km da área de recarga, a água possui idade de 25.000 anos, correspondendo uma velocidade de 2 m/ano.
(COSTA, 1994)	Sistema Aquífero Apodi na área da bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró	<ul style="list-style-type: none"> Reservas totais $300 \times 10^6 \text{ m}^3$.

(MELO et al., 2005)	Borda sudoeste da Bacia Potiguar à oeste do Estado do Rio Grande do Norte, que se estende de Upanema até a fronteira com o Estado do Ceará, ocupando uma superfície de 1320 km ²	<ul style="list-style-type: none"> • O volume de água anual potencialmente infiltrado é de 62,83 x 10⁶ m³. • A recarga das águas subterrâneas do aquífero Açú, é da ordem de 41 mm/ ano ou 54 x 10⁶ m³/ano.
(MANUEL FILHO et al., 2010)	Áreas das Bacias Hidrográficas do Rio Apodi-Mossoró e do Riacho Mata Fresca na Bacia potiguar no estado do Rio Grande Norte.	<p>Aquífero Jandaíra</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reservas reguladoras 332 x 10⁶ m³; • Reservas permanentes 28 x 10⁹ m³; • Reservas exploráveis 332 x 10⁶ m³. <p>Aquífero Açú:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reservas permanentes 25,2 x 10⁹ m³

Fonte: Sistematizado pelos autores

Primeiramente, é necessário considerar que os primeiros estudos apresentados visaram o levantamento de aspectos quantitativos para as águas subterrâneas em toda a Bacia Potiguar. Assim, estes podem ser comparados e analisados, no sentido de dar suporte ao planejamento em escala estadual. Em um dos levantamentos desenvolvidos pela SUDENE intitulado "Bacia potiguar – Estudo Hidrogeológico" com coordenação técnica de Rebouças Filho e Benoit (1967) foram definidas totais de 180 x 10⁹ m³ no aquífero Jandaíra e 120 x 10⁹ m³ no aquífero Açú, sendo que as quantidades que podem ser exploradas sem o comprometimento quantitativo das águas dos aquíferos são 160 x 10⁶ m³/ano e 5 x 10⁶ m³/ano para os aquíferos Jandaíra e Açú, respectivamente.

Enquanto outro estudo com foco no aquífero Jandaíra, realizado por Mistretta (1984), definiu uma reserva de 122 x 10⁹ m³/ano, com renovação 0,05% ao ano. Foi também identificado que o tempo médio de renovação dessas águas é de 2158 anos, sendo consideradas águas jovens, que possuem recargas diretas de origem pluvial, com um volume de recarga de 43 x 10⁶ m³/h. para toda área de afloramento do aquífero. Friskchorn, Santiago e Torquato (1988) identificaram, entretanto, que as taxas de renovação das águas para o aquífero Açú são bem diferentes, devido ao seu caráter confinante em 2/3 de sua área. Segundo esses autores, em Mossoró, onde os poços estão localizados a 50 km da área de recarga, a água possui idade de 25.000 anos, correspondendo uma velocidade de 2 m/ano, isso demonstra o caráter menos sustentável da exploração do aquífero Açú, haja vista a que suas águas se enquadram como águas antigas ou paleoáguas.

Costa (1994), em estudo publicado pelo projeto Áridas, que tratou de um levantamento da disponibilidade hídrica dos reservatórios subterrâneos e superficiais para o Nordeste, definiu a quantidade de reservas totais de água subterrânea para a bacia do rio Apodi Mossoró, particularmente nos aquíferos Jandaíra e Açú, da ordem de Reservas totais 300 x 10⁶ m³.

Os estudos mais recentes foram produzidos em áreas específicas, mas estratégicas no contexto dos aquíferos Açú e Jandaíra na bacia do Rio Apodi-Mossoró. Melo et al., (2005) estudaram a principal área de recarga do Açú, correspondendo

uma faixa de 1.320 km² que se estende do município de Upanema até a fronteira com o estado do Ceará. Foi dimensionada uma recarga da ordem de 41 mm/ano ou 54 x 10⁶ m³/ano. Manuel Filho et al. (2010), por outro lado, estudando um setor da chapada do Apodi, localizada em área na Bacias Hidrográficas do Rio Apodi-Mossoró e do Riacho Mata Fresca na Bacia Potiguar no estado do Rio Grande Norte, definiu as reservas explotáveis em 332,0 x 10⁶ m³. Esse volume pode ser alocado do aquífero sem o comprometer quantitativamente, sendo que esse volume se trata da recarga anual do aquífero Jandaíra na área, mas que pode ser acrescida com uma parcela da reserva permanente nos anos de seca. Quanto ao aquífero Açú, o mesmo autor coloca que este não pode ser tratado a nível de exploração, pois:

... além de suas reservas serem constituídas exclusivamente de paleoáguas, esse aquífero já vem sendo explotado na área, pela CAERN, Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte, para abastecimento urbano de água em Mossoró e Baraúna, há mais de 40 anos em regime de exaustão [...]. A ênfase da gestão compartilhada, portanto, se concentra no aquífero Jandaíra para o qual definiu-se como reserva explotável [...]. Altos valores de profundidade do nível estático (112m em agosto e 119 m em janeiro 2010) sugerem que muitos poços já estão explotando águas das reservas permanentes do aquífero Jandaíra (MANUEL FILHO et al., 2010, p.125).

Outro aspecto importante de se considerar na área de estudo é que os poços que são perfurados nos aquíferos Jandaíra possui profundidade em torno de 100m, sendo baixo o custo de obtenção da água, apresentando concentração elevada de sais, principalmente bicarbonato de cálcio. Enquanto, no aquífero Açú a profundidade é cerca de 1000m, com águas sem restrição de uso em termos de qualidade, todavia com alto custo de captação (ALMEIDA e LISBOA, 2000).

Considerações finais

Os aquíferos Dunas, Barreira, Aluvião, Jandaíra e Açú apresentam uma importância no âmbito da Bacia Potiguar e juntos são responsáveis pela maior parte do volume de água utilizado para consumo humano e animal.

Os dados técnicos, ora levantados, demonstram a necessidade de ampliar os estudos sobre os aquíferos, buscando, principalmente, entender suas reservas e recargas, haja vista que informações sobre o nível estático de poços nesses aquíferos já denotam rebaixamentos consideráveis, principalmente, no Jandaíra nas áreas de maior concentração da fruticultura irrigada e no Açú nas zonas de maior exploração, como em na cidade de Mossoró.

A qualidade das águas é fator determinante para o consumo humano e, também, seus múltiplos usos. Os riscos de contaminação dos aquíferos livres estão assentados no uso, ocupação e cobertura da terra, já que nas principais áreas de exploração desses aquíferos se desenvolvem assentamentos urbanos e fruticultura irrigada com uso de agrotóxicos e insumos que são carregados por lixiviação aos aquíferos.

As políticas de gestão e regulação institucional dos aquíferos no Brasil não têm um marco legal e terminam por gerar dificuldades de gestão dos aquíferos, sobretudo quando esses abrangem uma ou mais unidades federativas. Especificamente os aquíferos Jandaíra e Açú, objeto da análise nesse estudo, se enquadram nessa perspectiva e estão situados nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte.

É importante atentar que, pela falta de um arcabouço legal que estabeleça um regramento para a gestão compartilhada das águas subterrâneas interestaduais, ocorrem, naturalmente, conflitos quanto ao uso e, também, quanto à forma de gestão desses aquíferos. Isso se dá devido às diferentes percepções ou entendimento dos gestores estaduais quanto aos riscos do uso dessas águas, sejam para consumo humano ou industrial, por vezes, sendo um mais restritivo ou mais permissivo que no outro ente federativo.

Com o avanço das demandas de exploração de água subterrânea para uso na irrigação em expansão, fomentado pelo avanço das fronteiras agrícolas no Nordeste setentrional, se faz necessário a retomada da discussão quanto a um marco legal que possa equalizar a gestão compartilhada dos aquíferos na Bacia Potiguar e no território nacional.

Referências

ANGELIM, L. A. A.; MEDEIROS, V. C.; NESI, J. R. **Projeto Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte**. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte. Escala 1:500.000. Recife: CPRM/FAPERN, 2006.

ARARIPE, P. T.; FEIJÓ, F. J. Bacia Potiguar. **Boletim de Geociências da Petrobrás**. Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 127-141, 1994.

ARAÚJO, K. V.; CAVALCANTE, I. N.; OLIVEIRA, R. M.; PEIXOTO, F. S.; Lima Neto, I. O. Vulnerabilidade natural e perigo de contaminação do Sistema Aquífero Dunas na região norte do Município de Aquiraz, Ceará. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 38, p. 37-48, 2017.

BARBOSA, C. C. et al., Água subterrânea e petróleo, uma avaliação no município de Mossoró-RN. 2016. Campinas, **Anais [...]**. XIX Congresso brasileiro de águas subterrâneas. ABAS, 2016, p. 1 – 18.

BELTRÃO, A. E.; MANOEL FILHO, J. **Abastecimento de Água da Área Metropolitana da Cidade de Fortaleza – CE**. SUDENE. Série Hidrogeológica 44, Recife – PE. 1970, p. 294.

BERTANI, R. T., A. F. APOLUCENO NETTO, AND R. M. D. MATOS, Habitat do petróleo e perspectivas exploratórias na Bacia Potiguar emersa: **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 1, 1987, p. 41-49.

BRASIL. Ministério do meio Ambiente. **Lei Federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm

CAMPOS, L. A. S.; MENEZES, M. A. S. Pesquisa e Aproveitamento de água subterrânea para abastecimento urbano nas Dunas Costeiras do Ceará. 1982, Salvador, **Anais [...]** II Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Salvador, ABAS, 1982 p. 29-42.

CARVALHO JUNIOR, E. R.; MELO, J. G. Comportamento hidrogeológico do aquífero Açú na região de Apodi-RN. 2000, Fortaleza, **Anais [...]**. do I Joint World Congress on

Groundwater. Fortaleza: ABAS, 2000. p. 1 – 23.

COSTA, W. **Água subterrânea e o desenvolvimento sustentável do semi-árido Nordeste**. Brasília, Projeto ÁRIDAS–RH, SEPLAN/PR, 1994.

^neas, 11., Fortaleza, 2000. Fortaleza: ABAS/AHLSUD/IAH, 2000.

DINIZ FILHO, J.; STEIN, P.; MELO JÚNIOR, G.; SRIVASTAVA, N. K. Aspectos hidrogeológicos de um setor rural nos municípios de Assú e Carnaubais/RN. **Águas Subterrâneas**, v. 28, n. 2, p. 53-67. 2014.

DINIZ, J. A. O.; MONTEIRO, A. B.; SILVA, R. C.; PAULA, T. L. F. Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo: Nota técnica. - Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2014.

FELIPE, J. L. A. Não esquecer o passado, mesa de abertura. In: XXV Encontro de Geógrafos do Rio Grande do Norte – EGEORN, **[Anais]**. Palestra, Caicó -RN, 2020. 13 de novembro.

FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M. M. F.; TORQUATO, J. R. Dados isotópicos e hidroquímicos da porção oriental da Bacia Potiguar. 1988, São Paulo. **Anais [...]** In: V Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo. 1988. v. 1. p. 144-153.

GURGEL, C. A. P.; MELO, J. G. Caracterização hidrogeológica do aquífero Açú na região norte de Caraúbas – RN. 2002, Recife, **Anais [...]**. IV Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste, Recife: ABAS, p. 249 – 260, 2002.

HAGER, F. P. V.; D'ALMEIDA, M. L. Legislação aplicada às águas subterrâneas. 2008, Natal, **Anais [...]** XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, ABAS, 2008. p. 1 – 16.

JARVIS, T. W. GIORDAN, M. PURI, S.; MTSUMOTO, K. WOLF, A. International borders, groundwater flow and hydroschizophrenia. **Ground water**, v. 43, n. 5, p. 764-770, 2005.

JUCÁ, C. C. A.; SILVA, C. D. A.; ALVITE, E. N. C.; GONÇALVES, L. R. L. Estudo hidrogeológico e geofísico na borda da bacia Potiguar, Fazenda Macacos, Limoeiro do Norte/CE. 2018, Campinas, **Anais [...]** XX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Campinas: ABAS, 2018, p. 1 – 4.

LIMA, E. A.; NASCIMENTO, D. A.; DOURADO, T. D. C.; BRANDÃO, L. C. R. BERALDO, V. J. Mapeamento hidrogeológico das folhas sb.24-x-b / -x-d - Areia branca / Mossoró. 2006, Curitiba. **Anais [...]** XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. ABAS, 2006. p. 1 – 13.

MANOEL FILHO, J. (Coord.) **Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e Proposição de Modelo de Gestão Compartilhada para os Aquíferos da Chapada do Apodi, entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará**. Vol. III – Hidrogeologia. Agência nacional de águas - ANA. Programa nacional de desenvolvimento dos recursos hídricos. Acordo de Empréstimo N° 7420-BR, Banco Mundial, 2010.

MARCON, A. E.; MARTINS, C. A.; STEIN, P. Caracterização das águas subterrâneas do aquífero Jandaíra em subsídio ao programa água doce no Rio Grande do Norte (PAD/RN). 2014, Belo Horizonte, **Anais [...]** XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Belo Horizonte: ABAS, p. 1 – 11, 2014.

MELO, J. G.; STEIN, P.; VASCONCELOS, M. B.; SILVA, F. H. R. Fatores condicionantes na recarga do aquífero Açú na borda sudoeste da bacia Potiguar (RN). **Águas Subterrâneas**, v. 19, n. 2, p. 105-122, 2005.

MISTRETTA, G. **Monografia do aquífero Jandaíra da bacia Potiguar**. Dissertação (Mestrado em Hidrogeologia) Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 1984. v. 1, 252 p.

MOURA-LIMA, E. N.; SOUSA, M. O. L.; BEZERRA, H. R.; AQUINO, M. R.; VIEIRA, M. M.; LIMA-FILHO, F. P.; FONSECA, V. P. AMARAL, R. F. Sedimentação e Deformação Tectônica Cenozoicas na Porção Central da Bacia Potiguar. **Revista do Instituto de Geociências – USP**. São Paulo, v. 10, n. 1, p. 15-28, 2010.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

NUNES, L. F. C. V.; MEDEIROS, P. H. A. Análise histórica da severidade de secas no Ceará: efeitos da aquisição de capital hidráulico sobre a sociedade. **Rev. Gest. Água Am. Lat.**, Porto Alegre, v. 17, e18, 2020. <https://dx.doi.org/10.21168/reg.v17e18>

OLIVEIRA, H. A. Qualidade de águas de poços dos assentamentos da chapada do Apodi-RN para o uso na agricultura. **HOLOS**, v. 29, n. 1. p. 64 – 72, 2013.

PEIXOTO, F. S.; CAVALCANTE, I. N. Vulnerabilidade aquífera e risco de contaminação da água subterrânea em meio urbano. **Geologia USP. Série Científica**, v. 19, n. 2, p. 29-40, 2019.

PEIXOTO, F. S.; SOARES, J. A.; RIBEIRO, V. S. Conflitos pela água no Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 34, n. 1, 2021. 10.14393/SN-v34-2022-59410. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/59410>. Acesso em: 28 dez. 2021.

PEIXOTO, F. S.; TÔRRES, L. M. G.; FERREIRA, I. C. S. SILVA, A. M. S. A city on waters: use and quality of the groundwater in Mossoró-RN. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 12, p. 294 - 307, 2021. doi: <https://doi.org/10.26895/geosaberes.v12i0.1114>

PESSOA NETO, O. C.; SOARES, U. M.; SILVA, J. G. F.; ROESNER, E. H.; FLORENCIO, C. P.; SOUZA, C. A. V. Bacia Potiguar. **B. Geoci. Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 2, p. 357-369, 2007.

REBOUÇAS, A. C. Importância das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3ª. ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM e LABHID, 2008.

SILVA, A. B. Hidrogeologia de meios cársticos. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3ª. ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM e LABHID, 2008.

SILVA, D. R.; SAMPAIO, J. L. F. Do combate à convivência com a escassez de água no semiárido cearense. In: SAMPAIO, L. F. et al., (org.). **Espaço, natureza e resistências camponesas no Nordeste**. Fortaleza: Edições UFC, 2014. p. 301 – 321.

SOUTO, D. L. A. N.; PEDRA, W. N.; FARIAS, P. R. C. Sistemas deposicionais e geometria dos reservatórios da Formação Açú no alto de Mossoró, Bacia Potiguar. 1990, Natal, **Anais [...]** Congr. Bras. Geol., 36, Natal, 1: 241 - 249, 1990.

Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). **Plano de aproveitamento integrado dos recursos hídricos do Nordeste do Brasil**, fase 1, Recife: SUDENE, 1980.

VASCONCELOS, E.P., LIMA NETO, F. F. ROOS, S.; Unidades de correlação da Formação Açú-Bacia Potiguar. In: SBG/Núcleo Nordeste, 1990, Natal, **Anais [...]** Congresso Brasileiro de Geologia, 1990. p. 227-240

VASCONCELOS, M. B.; MELO, J. G.; MORAES, F. Ocupação do solo e vulnerabilidade ambiental natural aquífero Açú na borda sul da Bacia Potiguar, RN. 2008, Natal, **Anais [...]** XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008, p. 1 – 12.

CAPÍTULO 7

Contribuições ao gerenciamento do aquífero aluvionar para irrigação no semiárido

Renata Nayara Câmara Miranda Silveira,
Universidade Federal do Ceará – UFC, Brasil.
E-mail: eng.agro.renatanayara@gmail.com

Itabaraci Nazareno Cavalcante,
Universidade Federal do Ceará – UFC, Brasil.
E-mail: itabaracicavalcante@gmail.com

Filipe da Silva Peixoto,
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN, Brasil.
E-mail: felipepeixoto@uern.br

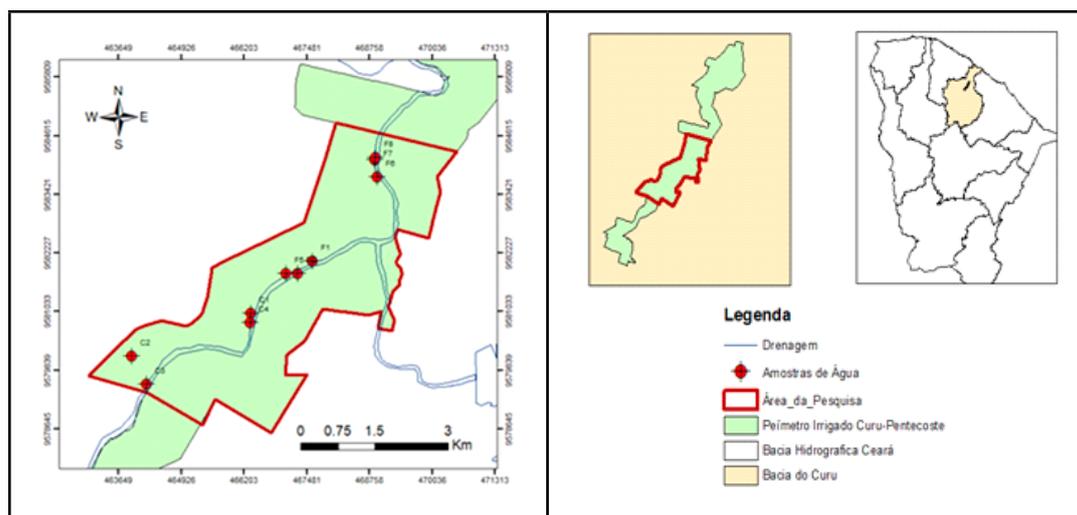
Introdução

No semiárido brasileiro, a maior parte dos rios é intermitente, o que dificulta o suprimento contínuo de demandas de água de superfície para atividades econômicas. Nesse sentido, desde o final do século XIX foi desenvolvida a implantação da açudagem como política e meio de regular a oferta de água captada no período chuvoso e liberada durante todo o ano (CAMPOS, 2014). No entanto, é comum nessa região a ocorrência de secas interanuais, o que faz com que o volume hídrico armazenado nos reservatórios seja muito dependente da condição hidroclimática de cada ano, e frequentemente muitos reservatórios não possuem capacidade de acumulação de água para atender todos os usos e demandas crescentes, ou mesmo chegam a secar quase que totalmente.

O Ceará e a maior parte dos estados nordestinos passaram por seis anos consecutivos de seca (2012-2017), classificada como a pior dos últimos 50 anos, o que ocasionou grandes prejuízos no setor agropecuário nordestino, tanto na agricultura de sequeiro como na irrigada, já que as águas dos açudes, principais fontes para a agricultura, não foram suficientes para atender todas as demandas deste setor.

A ocorrência de secas na região semiárida é um fenômeno cíclico e conhecido, porém após as secas de 1997/1998 a região conviveu com certa regularidade de chuvas, fato que parece ter levado os produtores a desconsiderar os riscos das atividades agropecuárias (REIS FILHO, 2013). Assim, houve aumento de áreas cultivadas com culturas perenes que demandam um elevado volume de água.

Nesse contexto está inserido o Perímetro Irrigado Curu - Pentecoste (PICP) – Ceará (Figura 1), que possui culturas que exigem altas demandas hídricas, como é o caso de coqueiros e bananeiras, que são as culturas predominantes no PICP. Ademais, a irrigação por sulco representa mais de 80% da área.

Figura 1 – Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, Ceará

Fonte: elaborado pelos autores (2022)

Diante da escassez de natureza quantitativa da água para irrigação no PICP devido ao baixo nível de água nos açudes General Sampaio e Pentecoste, que objetivam perenizar o vale do Rio Curu, a construção de poços para captar a água subterrânea do Aquífero Aluvionar foi uma medida emergencial adotada no sentido de minimizar as perdas dos produtores.

De fato, no estado do Ceará, a construção de poços tubulares tem sido a medida emergencial mais adotada pela sociedade civil, poder público e usuários de água em geral, para aumentar a oferta de água frente a períodos de escassez hídrica. No entanto, muitas vezes essas obras não atendem aos critérios técnicos básicos de locação e aspectos construtivos, sobretudo no Domínio Hidrogeológico Cristalino, onde existe pequena garantia de que o poço terá uma boa vazão ou que a qualidade da água será adequada para o uso almejado. Contudo, para os aquíferos sedimentares clásticos, existem melhores metodologias desenvolvidas, e mais adequadas, para se dimensionar a potencialidade aquífera e, por conseguinte, a oferta de água, proporcionando maior segurança na avaliação da disponibilidade para o planejamento integrado dos recursos hídricos.

No estado do Ceará, 80% de sua área é constituída por rochas cristalinas pouco alteradas, apresentando limitações quanto ao armazenamento e exploração, e vazão média de 2 m³/h, além de possuírem águas com qualidade restrita à diversos usos, com expressiva salinidade, ultrapassando geralmente os 1.000 mg/L de Sólidos Totais Dissolvidos - STD. As demais áreas (20%) são representadas por termos sedimentares, constituindo aquíferos clásticos e cársticos.

No Ceará, pode-se enumerar quatro unidades litológico-estruturais que acumulam grandes volumes de água subterrânea: a Bacia do Araripe (Sistema Aquífero Médio), Bacia Potiguar (Aquíferos Açú e Jandaíra), Aquíferos Barreiras e Dunas. Adicionada a estas, ao longo das drenagens desses ambientes existem, também, os depósitos de materiais de granulometria variável denominados de aluviões que se constituem, normalmente, em aquíferos de importância estratégica na região e, inúmeras vezes, com forte potencial hídrico com vazões que chegam a 220 m³/h (Bacia Hidrográfica do Jaguaribe), onde o comportamento hidrogeológico varia em função da composição mineralógica e das espessuras dos depósitos (CEARÁ, 2007).

A matriz hídrica do estado prioriza a construção de reservatórios superficiais devido, sobretudo, ao relativo fácil dimensionamento e monitoramento, enquan-

to o gerenciamento da água subterrânea precisa de dimensionamento e monitoramento das reservas e da qualidade, necessitando de poços de monitoramento instrumentalizados para vazão, nível estático e qualidade da água, além do uso e cobertura do solo. No entanto, em regiões semiáridas existe uma alta taxa de evaporação e nos períodos longos de estiagem os reservatórios superficiais apresentam alta susceptibilidade a esse tipo de perda hídrica, que chegam no Ceará a 2.500 mm/ano, enquanto as águas subterrâneas possuem menor vulnerabilidade às perdas por evaporação.

Geralmente o Aquífero Aluvionar é captado por poços rasos (profundidades inferiores a 20m) e, quanto muito próximo às margens do rio, o bombeamento pode induzir uma recarga proveniente das águas superficiais, sobretudo em períodos de cheia, podendo, assim, acarretar uma melhoria da qualidade dessa água por meio de processos físicos e biogeoquímicos ao longo do fluxo hídrico subterrâneo (PAIVA et al, 2010).

As águas subterrâneas representam fontes estratégicas com forte alcance social para fixação e sobrevivência do homem no período de estiagem. O conhecimento das reservas hídricas traz benefícios à população, favorecendo atividades econômicas e de subsistência, fornecendo dados para a gestão dos recursos hídricos e levando ao uso racional da água (conservação). Portanto, faz-se necessário conhecer detalhadamente as condições hidrogeológicas e hidroquímicas e entender o funcionamento dos aquíferos (MOURA, 2014).

A gestão das águas subterrâneas deve levar em conta as particularidades de cada aquífero explorado carecendo, assim, em aquíferos circunscritos a uma determinada bacia hidrográfica, de estudos hidrogeológicos mais detalhados. No entanto, a área de Hidrogeologia ainda resente da ausência de corpo técnico, dados e informações para a gestão das águas subterrâneas na maioria das agências que trabalham nessa linha. Este trabalho busca dimensionar as reservas hídricas da aluvião do Rio Curú, na área de abrangência do PICP, estabelecendo diretrizes para a gestão dos aquíferos aluvionares buscando a conservação e uso sustentável das águas subterrâneas.

Reservas hídricas subterrâneas

O conhecimento das reservas hídricas subterrâneas disponíveis para exploração é de fundamental importância para a gestão e o planejamento desse recurso, principalmente em regiões onde o uso das águas subterrâneas é um fator de desenvolvimento regional (EILERS, 2004).

Foi utilizado o balanço hidroclimatológico para a estimativa da recarga hídrica subterrânea, segundo o método de Thornthwaite & Mather (1948) para o cálculo da Evapotranspiração Real (ETR), com base nos dados obtidos na Estação Agrometeorológica da Fazenda Experimental Vale do Curu, localizada em área contígua ao PICP.

A lâmina de água precipitada (P) pode ser dividida em três parcelas: o escoamento superficial (ES), a evapotranspiração real (ETR) e a infiltração total (Recarga potencial - I_T), podendo a expressão geral do balanço hidroclimatológico ser visualizada na Equação 1.

$$P = ES + ETR + I_T \quad \text{[Equação 1]}$$

A infiltração total (I_T) inclui a água retida no solo (I_r) e a água que penetra no

subsolo denominada infiltração eficaz (I_e), que corresponde à parcela da precipitação que alimenta a reserva subterrânea. Esta porção, segundo Castany (1975), está diretamente relacionada com as flutuações da superfície potenciométrica, que refletem a variação das reservas de água subterrânea, exposta na Equação 2, desconsiderando o escoamento superficial.

$$I_e = P - ETR \quad [\text{Equação 2}]$$

Onde,

I_e - Infiltração eficaz (mm)

P - Precipitação (mm)

ETR - Evapotranspiração real (mm).

Para a determinação da ETR, o método proposto por Thornthwaite & Mather (1955) é um dos melhores que se adapta para áreas com características climáticas que apresentam alternância de períodos secos e chuvosos bem diferenciados, como é o caso do semiárido nordestino brasileiro (VASCONCELOS, 1999). No caso de aquíferos livres, especialmente em regiões de clima semiárido, a ETR constitui-se no principal termo de perda de água.

A equação de Thornthwaite & Mather (1955) considera a temperatura e uma série de índices produzidos empiricamente, fornecendo a evapotranspiração potencial em milímetros, como apresentado na Equação 3.

$$ETP = 16 (10T/I)^a K \quad [\text{Equação 3}]$$

Em que,

T - Temperatura média mensal em °C

I - Índice térmico anual (Adimensional)

K - Fator de correção (Depende da latitude, fornecido por Vilela e Matos (1975))

a - Função do índice térmico (Adimensional)

A determinação do Índice térmico é obtida através da Equação 4:

$$I = \sum li \text{ onde, } li = (Ti/5)^{1,5} \quad [\text{Equação 4}]$$

Em que:

I - Índice térmico anual (Adimensional)

li - Índice térmico mensal (Adimensional)

O valor do expoente (a) é dado pela Equação 5:

$$a = 0,49239 + 1792 \times 10^{-5} I - 771 \times 10^{-7} I^2 + 675 \times 10^{-9} I^3 \quad [\text{Equação 5}]$$

A determinação da quantidade de água retida no solo que não sofre percolação, ou seja, a capacidade de campo (C) varia conforme as propriedades morfo-

lógicas da cobertura pedológica. Para o Aquífero Aluvionar estudado foi adotado o valor de 52 mm, em consonância com a Embrapa (2010) para o tipo de solo da área (Neossolos flúvicos) que, considerando uma umidade igual à zero no início do ano hidrológico, a capacidade do campo (C) é considerada como zero neste momento.

O cálculo da Evapotranspiração real (ETR) é obtido mensalmente por meio da relação entre a precipitação e a evapotranspiração potencial (Equação 6).

$$ETR = PPT \quad [\text{Equação 6}]$$

se $PPT - ETP < 0$ e $ETR = ETP$, se a $PPT - ETP > 0$

Onde:

ETP - Evapotranspiração potencial (mm);

PPT - precipitação (mm).

Reservas, Potencialidades e Disponibilidades

Uma informação essencial para gestão de qualquer recurso natural, renovável ou não, é a quantidade de recurso disponível. Do mesmo modo, para a gestão das águas subterrâneas há necessidade do dimensionamento das reservas, considerando a renovabilidade inter e intra-anual cujas variáveis principais são o regime hidroclimático regional, as características hidrogeológicas e a geometria aquífera para o qual se deseja quantificar as reservas, sejam elas de natureza permanente ou renovável.

De modo geral, reconhecem-se na literatura os termos descritos a seguir para a terminologia relacionada às reservas hídricas subterrâneas (CAVALCANTE, 1998; MATTA, CAVALCANTE; SILVEIRA, 2021):

- Reservas Reguladoras
- Reservas Permanentes
- Reservas Totais
- Reservas de Exploração Recurso Explotável tem sido também utilizado;
- Potencialidade
- Disponibilidade

Dentro da concepção técnica, os estudos hidrogeológicos consideram os sistemas aquíferos sob uma visão de planejamento e gestão integrada com o meio ambiente. Dentro desse enfoque, os aquíferos desempenham um conjunto de funções no processo de gerenciamento, entre os quais se destacam as funções de produção, estocagem, filtro, estratégia, hidro-ambiental e energética (REBOUÇAS, 1994 *apud* Matta et al. 2021).

Tradicionalmente, os dois tipos de reservas mais utilizadas para as análises integradas dos recursos hídricos subterrâneos são as reservas renováveis (ou reguladoras) e as reservas permanentes. Porém, para efeito de planejamento governamental, o termo Potencialidade dos Recursos Hídricos Subterrâneos é sempre priorizado.

Reservas Renováveis (R_r)

As reservas renováveis podem ser calculadas de várias maneiras. Entre as mais comuns podem ser citadas (CAVALCANTE, 1998; MATTA, CAVALCANTE e SILVEIRA, 2021):

Vazão de Escoamento Natural do Aquífero (VEN) que, sob condições de equilíbrio natural pode ser considerada como o volume de infiltração efetiva anual, que reflete a recarga anual do aquífero, ou seja, sua reserva reguladora. Ela pode ser expressa por (Equação 7):

$$VEN = T \cdot i \cdot L \text{ [Equação 7]}$$

Onde:

T - Transmissividade hidráulica do aquífero (L²T⁻¹);

i - Gradiente hidráulico do escoamento (Adimensional);

L - Comprimento da frente de escoamento considerada (L).

O valor de "T" é avaliado a partir de teste de bombeamento. O valor de "i" é tirado pela diferença entre duas curvas potenciométricas traçadas em mapa e o valor de "L" é medido no mapa.

Método Volumétrico, tomando-se por base a variação dos níveis de água nos aquíferos livres. É utilizada a Equação 8:

$$R_r = A \cdot \Delta h \cdot \eta_e \text{ [Equação 8]}$$

Onde:

A - Área de ocorrência do aquífero (L²);

Δh - Variação do nível d' água (L);

η_e - Porosidade efetiva (adimensional)

A reserva permanente (R_p) é entendida, também, como correspondendo ao volume de água armazenada no aquífero, abaixo da superfície mínima de variação periódica dos níveis de água, ou seja, é a água subterrânea localizada na zona saturada abaixo da posição mínima do nível de oscilação sazonal da superfície piezométrica do aquífero livre (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000). Para estimativa da reserva do aquífero aluvionar são consideradas as suas características dimensionais e hidrodinâmicas, conforme a Equação 9.

$$R_p = A \cdot b \cdot \eta_e \text{ [Equação 9]}$$

Em que,

A- Área de ocorrência do sistema aquífero (L²);

b - Espessura média saturada (L), e;

η_e- Porosidade efetiva ou eficaz (Adimensional).

Para este estudo, foi utilizada a porosidade efetiva média para a aluvião (0,17), definida por Silveira (2016).

Para se entender a relação entre as reservas e o quanto se pode explorar do aquífero, Costa (1998) e Matta, Cavalcante e Silveira (2021) definem que a potencialidade do aquífero é igual ao volume considerado explotável, e esta pode ser reconhecida como sendo a parcela máxima que pode ser aproveitada anualmente da potencialidade, sem comprometer o reservatório para os futuros usos.

Costa (1998, p. 78) ressalta que os efeitos indesejáveis aos aquíferos podem ser classificados de acordo com o quadro 1:

Quadro 1 - Efeitos indesejáveis aos aquíferos

De Ordem Econômica	De caráter hidrogeológico:	Conflito de uso (Social ou legal):
<ul style="list-style-type: none"> - Exaustão do aquífero (dano ao reservatório para qualquer uso); - Rebaixamento que inviabiliza o uso econômico da água. 	<ul style="list-style-type: none"> - Inviabilização do uso das captações existentes por limite das câmaras de bombeamento; - Acesso ao aquífero de água de qualidade inaceitável; - Recalque do terreno, que prejudicará estradas, prédios, tubulações etc.. 	<ul style="list-style-type: none"> - Prejuízo aos usuários de poços, as descargas de base dos rios, de fontes e de lagoas; - Prejuízo ao equilíbrio do meio ambiente que depende das descargas de rios e de fontes, ou de lagoas, ou ao uso econômico da natureza.

Fonte: Adaptado de Costa (1998)

Cavalcante (1998), ao calcular esses recursos para a Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará, considera que os recursos explotáveis são representados pela reserva renovável acrescida de uma parcela da permanente, calculada em função das variáveis de decisão, sendo na prática corresponde a 1/3 das reservas totais (Equações 10 e 11), metodologia esta adotada para as aluviões do PICP.

$$R_T = R_p + R_R \quad [\text{Equação 10}]$$

$$R_E = 1/3 R_T \quad [\text{Equação 11}]$$

Onde:

R_T - Reserva total (m^3);

R_p - Reserva permanente (m^3);

R_R - Reserva renovável ($m^3 \text{ ano}^{-1}$);

R_E - Recurso explotável ($m^3 \text{ ano}^{-1}$).

Resultados e discussão

O cálculo das reservas hídricas depende, exclusivamente, do meio hidrogeológico. Na área do PICP são encontrados dois domínios hidrogeológicos: o Sedimentar (Aluvionar) e o Cristalino, sendo o Aluvionar de maior representatividade e, assim,

foram calculadas apenas as reservas para este aquífero.

Através do mapeamento geológico da área e interpretação geofísica das Sondagens Elétricas Verticais – SEVs (SILVEIRA, 2020) foi possível fazer a delimitação da área aluvionar em $7,70 \times 10^6 \text{ m}^2$.

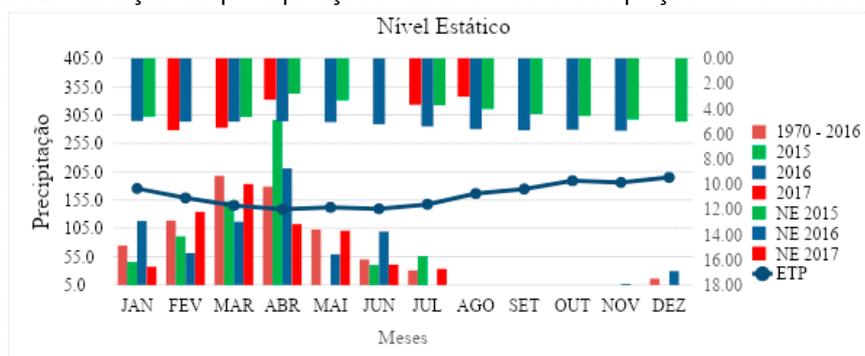
O conhecimento das reservas hídricas traz benefícios à população, favorecendo atividades econômicas e de subsistência, fornecendo dados para a gestão dos recursos hídricos e levando ao uso racional da água assegura Moura (2013) trabalhando com o Perímetro Irrigado de Banabuiu - Ceará. Esta premissa encontra-se totalmente inserida no PICP, onde os agricultores necessitam deste conhecimento para projetar a área plantada, tipo de cultura e método de irrigação visando, assim, o aproveitamento máximo da gota d'água.

O monitoramento do nível estático, ou seja, a investigação das flutuações da superfície potenciométrica, em um determinado período, permite estudar a variação das reservas e alimentação dos aquíferos, sendo de suma importância para conservação dos recursos hídricos subterrâneos (CASTANY, 1975). A utilização das informações potenciométricas, obtidas através de monitoramento dos níveis d'água são indicadores diretos de recarga efetiva, sendo o aumento do nível de água resultado da recarga à zona saturada do aquífero (BARRETO *et al*, 2009).

No setor agrícola, o conhecimento das variáveis que compõem o balanço hidroclimatológico é essencial para o seu planejamento e práticas de controle de produção, permitindo ao produtor identificar as fragilidades climáticas e tomar decisões quanto ao manejo da produção e irrigação para suprir a deficiência hídrica no solo (AQUINO & OLIVEIRA, 2013). O método de Thornthwaite & Mather (1955) permite a estimativa da recarga através do cálculo das entradas (precipitação) e saídas (Escoamento superficial e evapotranspiração) da água ao longo do tempo no perfil do solo (ALBUQUERQUE *et al*, 2015).

Na Figura 2, se observa a variação das médias mensais do nível estático e a relação que este tem com os valores mensais de evapotranspiração ao longo dos três (3) anos de investigação. É possível perceber que, em 2015, as recargas se davam em função de respostas mensais da precipitação, onde os menores valores de nível estático (NE) ocorreram no período chuvoso (abril a julho), enquanto, em 2016, o NE manteve-se estacionado, e isso pode ter ocorrido devido ao ano anterior ter apresentado precipitações abaixo da média, além do ano em questão, estando o solo muito seco, impossibilitando a rápida percolação para recarga do aquífero livre. Após as chuvas ocorridas em fevereiro e março de 2017, percebeu-se uma recarga eficiente para o Aquífero Aluvionar, expressado na média do NE no mês consecutivo (abril).

Figura 2 - Relação da precipitação x nível estático dos poços rasos – PICP/Ceará



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Legenda: ETP – Evapotranspiração potencial; NE – Nível estático.

Reservas renováveis

Estas reservas correspondem ao volume hídrico que participa efetivamente do ciclo hidrológico anual ou sazonal e quando estas não são explotadas, são reintegradas ao ciclo hidrológico através da evapotranspiração ou constituindo o fluxo de base dos rios (CAVALCANTE, 1998)

A infiltração eficaz (le), calculada na Tabela 1, é a forma mais rápida para uma primeira estimativa de recarga, sendo obtida quando se retira da infiltração total a parcela que fica retida na zona não saturada durante o processo de infiltração. Esta parcela, que é a capacidade de saturação do solo (C), é uma constante que depende das características do meio não saturado, especialmente das características granulométricas, e do tipo de cobertura vegetal. Para a área de estudo, onde há predominância dos neossolos flúvicos foi adotado um " C " de 52mm proposto pela Embrapa para esse tipo de solo (EMBRAPA, 2010).

Tabela 1 - Valores para o balanço hídrico, no período de 1970 a 2017.

Meses						
1970 à 2017	PPT (mm)	ETP (mm)	PPT - ETP (mm)	C (mm)	ETR (mm)	le (mm)
Jan	74.9	161.1	-86.2	0.0	74.9	0.0
Fev	118.8	131.7	-12.8	0.0	118.8	0.0
Mar	197.7	138.1	59.5	52.0	138.1	7.5
Abr	178.7	129.1	49.7	52.0	129.1	49.7
Mai	103.0	133.5	-30.6	21.4	133.5	0.0
Jun	50.1	125.9	-75.8	0.0	50.1	0.0
Jul	30.9	135.5	-104.6	0.0	30.9	0.0
Ago	3.9	151.0	-147.1	0.0	3.9	0.0
Set	2.6	154.9	-152.4	0.0	2.6	0.0
Out	2.4	169.4	-167.1	0.0	2.3	0.0
Nov	2.0	168.5	-166.4	0.0	2.0	0.0
Dez	16.5	178.1	-161.7	0.0	16.5	0.0
Total	781.3	1776.8	-	-	702.69	57.2

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Assim, de acordo com os cálculos do balanço hidroclimatológico e a capacidade de saturação do solo adotada, tem-se uma recarga potencial anual de 57,2 mm, o que corresponde a um volume de $572 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Considerando a área mapeada da aluvião ($7.706.000 \text{ m}^2$), as reservas renováveis representam $4,41 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$.

Reservas permanentes

Considerando apenas a área aluvionar de $7.706.000 \text{ m}^2$ e média da espessura saturada baseada nas SEVs, de aproximadamente 7,00m, e a porosidade efetiva calculada por Silveira (2014) de 17,43%, as reservas permanentes são de $9,17 \times 10^6 \text{ m}^3$. Esse valor representa, em fevereiro de 2020, 18,4% do volume armazenado de água do maior açude da Bacia do Curu (Pereira de Miranda) que está em $4,9 \times 10^7 \text{ m}^3$.

Reservas explotáveis

As reservas explotáveis são de $4,5 \times 10^6 \text{ m}^3$, volume de água subterrânea significativa considerando a necessidade hídrica da região.

Fazendo uma simulação para irrigação de coqueiro-anão, cultura agrícola de maior área plantada no PICP, as reservas explotáveis anuais dariam para irrigar 786 ha. durante o período seco (julho a dezembro) considerando 160 coqueiros/hectare e cada coqueiro demandando 200L de água/dia. Assim, atende-se a demanda de uma área maior que a estudada, que é de 770 há, o que significa que é viável a irrigação com as águas aluvionares até mesmo para cultura já implantada (Coqueiro).

O volume diário de água a ser aplicado no coqueiro varia principalmente com a região de plantio, com a época do ano e com a idade da planta. Para plantas adultas, esse volume normalmente varia, na época mais seca do ano, de 144 a 255 litros por planta adulta (MIRANDA et al., 2016).

Conclusões

As águas subterrâneas não são fotogênicas e, assim sendo, somente são vistas quando captadas. Normalmente, em projetos agropecuários, embora o agricultor quase sempre utilize dos recursos hídricos subterrâneos, dificilmente se propõe a estudá-los em termos qualiquantitativos, ignorando a avaliação técnica de um bem precioso e que poderá se constituir na água que irá assegurar seu investimento financeiro.

A avaliação das reservas hídricas subterrâneas deveria representar o primeiro passo em qualquer projeto que irá utilizar de tal recurso, mas, infelizmente, não é de conhecimento do agricultor. Corriqueiramente, o que se observa é o total descaso no investimento do conhecimento da geometria aquífera e de suas reservas e, desta forma, o que se faz é a contratação direta para captação através de "buracos" que não obedecem a quaisquer técnicas relativas a construção de poços tubulares.

O investimento em pesquisa das águas subterrâneas, neste caso em particular, se torna imprescindível e deve ser entendido como necessidade básica associada a tais atividades, onde os períodos de escassez hídrica superficial são cada vez mais comuns e a água subterrânea se torna o único recurso capaz de ser utilizado em tais momentos.

Este capítulo retrata a pesquisa metodológica em um Aquífero Aluvionar inserido no PICP/Ceará, conduzida para uma avaliação quantitativa representada pelas reservas e potencialidades hídricas subterrâneas. Embora de reduzidas dimensões aquíferas, o Aquífero Aluvionar consegue suprir uma demanda de água extremamente necessária à sobrevivência da cultura implantada, particularmente no segundo semestre anual quando as águas superficiais se tornam mais escassas e, às vezes, inexistentes, fato este comum no Semiárido Nordeste brasileiro.

Referências

ALBUQUERQUE, J. A. **Avaliação do passivo ambiental de solos degradados por sais no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste - Ceará**, 2015, Tese (Doutorado em Engenharia agrícola), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Dispo-

nível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm> Acesso em: 26 de setembro de 2017

CAMPOS, J. N. B.. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Estud. Avançados**, 2014, v. 28, n. 82, p. 65-88. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142014000300005> Acesso em: 09 de dezembro de 2017.

CASTANY, G. **Prospeccion y Explotación de las Aguas Subterráneas**. Ediciones Omega S.A., Barcelona, 1975.

CAVALCANTE, I. N. **Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará**. 1998. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

CEARÁ, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Mapeamento e Avaliação do Potencial Hídrico Subterrâneo dos Aluviões em Zonas Semiáridas Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG**. Relatório Final, Fortaleza: Funceme, 2007.

EILERS, V. H. M. **Estimativa de recarga de águas subterrâneas utilizando o método do balanço hídrico**. 2004, São Paulo, **Anais** [...] XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004. p. 1-12.

MATTA, M., CAVALCANTE, I. N., SILVEIRA, R. N. C. M. **Apostila Hidrogeologia do Curso de Especialização em Gestão Hídrica e Ambiental**. ed. 2, Universidade Federal do Pará, 2022.

MIRANDA, F. R., AMORIM, J. R. A., NOGUEIRA, L. C., RESENDE, R. S. **A cultura do coqueiro**. Sistema de Produção Embrapa. ed 2. Brasília: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016.

MOURA, I.B.M. **Estudos das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú no Trecho entre Quixeramobim e Banabuiú - Ceará, Brasil**. 2014, Tese (Doutorado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

PAIVA, A.L.R. de; CABRAL, J.J.S.P.; DEMÉTRIO, J.G. A.; SOBRAL, M. C. M. Filtração em Margem para Indução de Recarga e Melhoria da Qualidade de Água - Estudo de Caso: Rio Beberibe. **Águas Subterrâneas**, v. 24, n. 1, p.103-114. 2010.

REIS FILHO, R. J. C. Potencialidades dos Perímetros Irrigados e Estratégias para Reduzir os Efeitos da Estacionalidade sobre a Oferta de Forragem para os Rebanhos no Nordeste. **Rev. Cient. Prod. Anim.**, v. 15, n. 2, 2013, p. 91-97.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, 1948. p. 55-94.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance** Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p.

VASCONCELOS, S.M.S. **Recarga do Aquífero Dunas/Paleodunas**, 1999, São Paulo. Tese (Doutoramento em Hidrogeologia) Instituto de Geociências, USP, 1999.

VILLELA, S.M., MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Mc Graw Hill do Brasil, 245p, 1975

CAPÍTULO 8

Análise de metais pesados nas águas subterrâneas do semiárido baiano – Brasil

Maria da Conceição Rabelo Gomes,
Universidade Federal da Bahia – UFB, Brasil.
E-mail: conceicaoabelo@yahoo.com.br

José Ângelo Sebastião Araújo dos Anjos,
Universidade Federal da Bahia – UFB, Brasil.
E-mail: jose.anjos@ufba.br

Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto Melo,
Universidade Federal da Bahia – UFB, Brasil.
E-mail: danilohmelo@gmail.com

Introdução

Os recursos hídricos vêm sendo detentores de uma variedade de subprodutos provenientes da atividade antrópica. A presença de elementos potencialmente tóxicos é responsável por efeitos adversos sobre o ambiente, com impacto na economia e na saúde pública. O lançamento de metais nos sistemas aquáticos ocorre naturalmente através de processos geoquímicos, no intemperismo, e a contribuição atribuída à atividade humana é um reflexo de sua ampla utilização pela indústria, resultante principalmente do rápido crescimento urbano (YABE; OLIVEIRA 1998).

Nos últimos anos, foram realizadas inúmeras pesquisas com a finalidade de avaliar os possíveis impactos ambientais relacionados ao aumento da concentração de metais pesados no meio ambiente. Esses metais são originários de processos litogênicos e/ou atividades antrópicas, como a utilização de fertilizantes em zonas agrícolas e a atividade mineradora (MUNIZ; OLIVEIRA FILHO, 2006).

Ressalta-se que a contaminação de aquíferos por metais pesados é um problema mundial por serem de difícil remediação e não serem biodegradáveis (BAILEY, 1999). Assim, tornam-se elementos de grande preocupação, pois em elevadas concentrações podem provocar efeitos tóxicos sobre organismos vivos podendo até ocasionar a morte. No entanto, alguns desses metais, quando em baixas concentrações, são considerados micronutrientes essenciais para os seres vivos, tornando-se tóxicos quando ultrapassam determinados valores (WHO, 2011; UECHI *et al.*, 2017).

Considerando os aspectos apresentados, o município de Boquira, situado na porção centro sul do estado da Bahia, região do semiárido baiano, está parcialmente situado no contexto geológico da Unidade Boquira, pesquisada por diversos autores (ESPOURTEILLE; FLEISCHER, 1980; ROCHA, 1985; ARCANJO *et al.*, 2000; GARCIA, 2011, DALTRO, 2017) devido à presença de importantes mineralizações de chumbo, conferindo importante *background* natural para metais como chumbo, zinco, ferro, dentre outros. Associado a este fato, o município hospedou a partir da década de 1960 a maior mina de chumbo e zinco do Brasil (CORNEJO; BARTORELLI, 2010), operando por mais de 30 anos (1960 e 1992), até ser subitamente abandonada, deixando expressivo passivo ambiental sob forma de material particulado composto por metais tóxicos como chumbo, zinco, prata, bário, cobre, cromo, níquel, arsênio e cádmio, depositado na bacia de rejeito e nas gale-

rias da mina subterrânea. Os passivos da mineração, tais como a disposição de resíduos no entorno da área urbana e nas galerias das minas subterrâneas podem significar importantes fontes de contaminação dos recursos hídricos utilizados no município (DALTRO, 2017).

Segundo Andrade *et al.* (2017), apesar da extração mineral ter sido totalmente interrompida há mais de 25 anos no município de Boquira, o plano de recuperação das áreas degradadas nunca foi implementado. Mesmo com o risco eminente de contaminação, o lixão municipal foi instalado na superfície da pilha de rejeitos. Além disso, a presença de bairros urbanos, de catadores de materiais recicláveis no lixão e de estabelecimentos rurais próximos ao local da pilha de rejeitos pode resultar em problema de saúde pública, delineando-se um quadro de injustiça ambiental.

Diante disso, a pesquisa objetiva analisar a qualidade das águas subterrâneas utilizadas para abastecimento humano no município de Boquira, frente a uma possível contaminação natural e/ou antrópica por metais pesados, assim como a influência dos passivos ambientais deixados pela mineração no município.

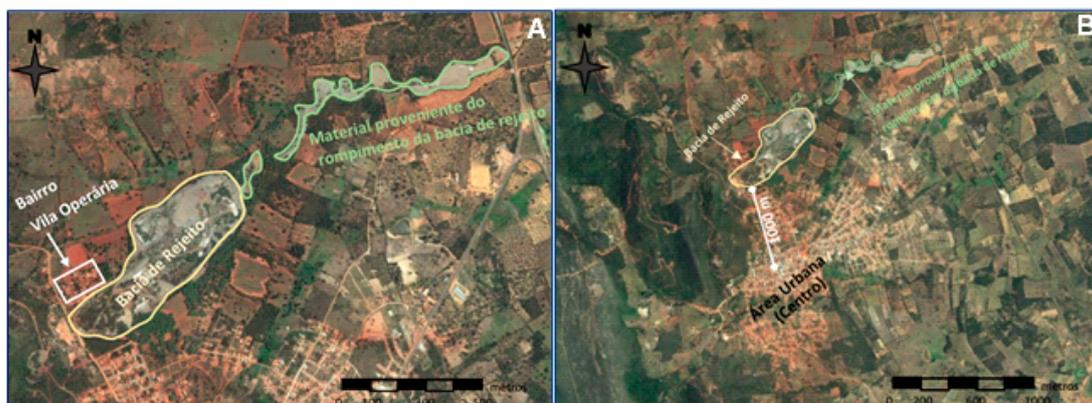
Área de pesquisa

O município de Boquira por estar localizado no semiárido baiano, apresenta problemas com escassez de recursos hídricos, baixos índices de precipitações anuais, altas taxas de insolação e evaporação. Isso culmina muitas vezes na utilização de fontes de água impróprias para o consumo humano, por carência de alternativas, tanto pela população como por governanças. O município, em especial a área urbana e alguns pontos de captação de água, encontram-se parcialmente inseridos no contexto geológico da Unidade Boquira, que apresenta importante mineralização pumblífera, conferindo elevado *background* natural principalmente para Chumbo, Zinco e Ferro (DALTRO, 2017).

Daltro (2017) ressalta que a bacia de rejeito do município de Boquira apresenta pontos muito próximos às residências da área urbana, podendo chegar a distâncias inferiores a 40 metros, como no bairro Vila Operária (Figura 1 - A), no qual é possível observar a proximidade da bacia de rejeito com residências que utilizam o sistema de cisterna por captação de chuva, e a cerca de 1.000 metros do centro da cidade (Figura 1 - B). Cunha *et al.* (2016) encontrou valores elevados nas análises da poeira no interior das residências da área urbana, principalmente para metais como Pb, Mn e Cu, sendo os dois primeiros concentrados em localidades mais próximas da bacia de rejeito como o bairro da Vila Operária. Os metais Al, Ba, Cr, Ni, Sr, V e Zn também foram encontrados dispersados ao longo da área urbana em concentrações inferiores aos citados anteriormente, porém ainda acima dos valores máximos permitidos pela legislação.

As principais unidades aflorantes na área de pesquisa correspondem às rochas do Complexo Paramirim (migmatito, gnaiss granítico, ortognaiss granodiorítico), Unidade Boquira (formações ferríferas, carbonatos, quartzitos e xistos), Granito Boquira (metagranodiorito, metamonzogranito), Granito Veredinha (metagranodiorito, formação ferrífera bandada), Serra do Espinhaço (quartzito feldspático, metaconglomerado, mica quartzito, filito, biotita xisto, metarriolito, metadacito, metapiroclástica, diabásio, gabro), coberturas detrito-lateríticas ferruginosas (silte, areia, argila) e depósitos aluvionares (silte, cascalho, argila) (CPRM, 2010).

Figura 1 - Ilustração da proximidade da bacia de rejeito com as residências do Bairro Vila Operária (A) e à zona urbana no município de Boquira (B).



Fonte: Daltro (2017).

A ocorrência da água subterrânea armazenada nos aquíferos da região semiárida se dá predominantemente em zonas subverticais estreitas, associadas aos intensos conjuntos de falhamento, com cerca de 10 a 15 metros de profundidade, sempre abaixo de um manto incipiente de rocha alterada (LIMA, 2003). Giampía e Gonçalves (2013) corrobora que, a água subterrânea armazenada nos aquíferos é controlada por condições específicas que integram fatores hidroclimáticos e aspectos geológicos, influenciando diretamente na qualidade das águas.

De acordo com os bancos de dados do SIAGAS/CPRM (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas/Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais), SAAE (Sistema Autônomo de Água e Esgoto), CERB (Companhia de Engenharia e Recursos Hídricos da Bahia) e atividades de campo da dissertação de Daltro (2017), verificou-se que o abastecimento do município de Boquira ocorre predominantemente por meio da utilização de poços tubulares, fontes naturais (Figura 2) e cisternas de acúmulo de água pluvial.

Figura 2 - Captação da água subterrânea por meio de poço tubular - PT8 (A) e fonte natural - FN2 (B) no município de Boquira/BA.

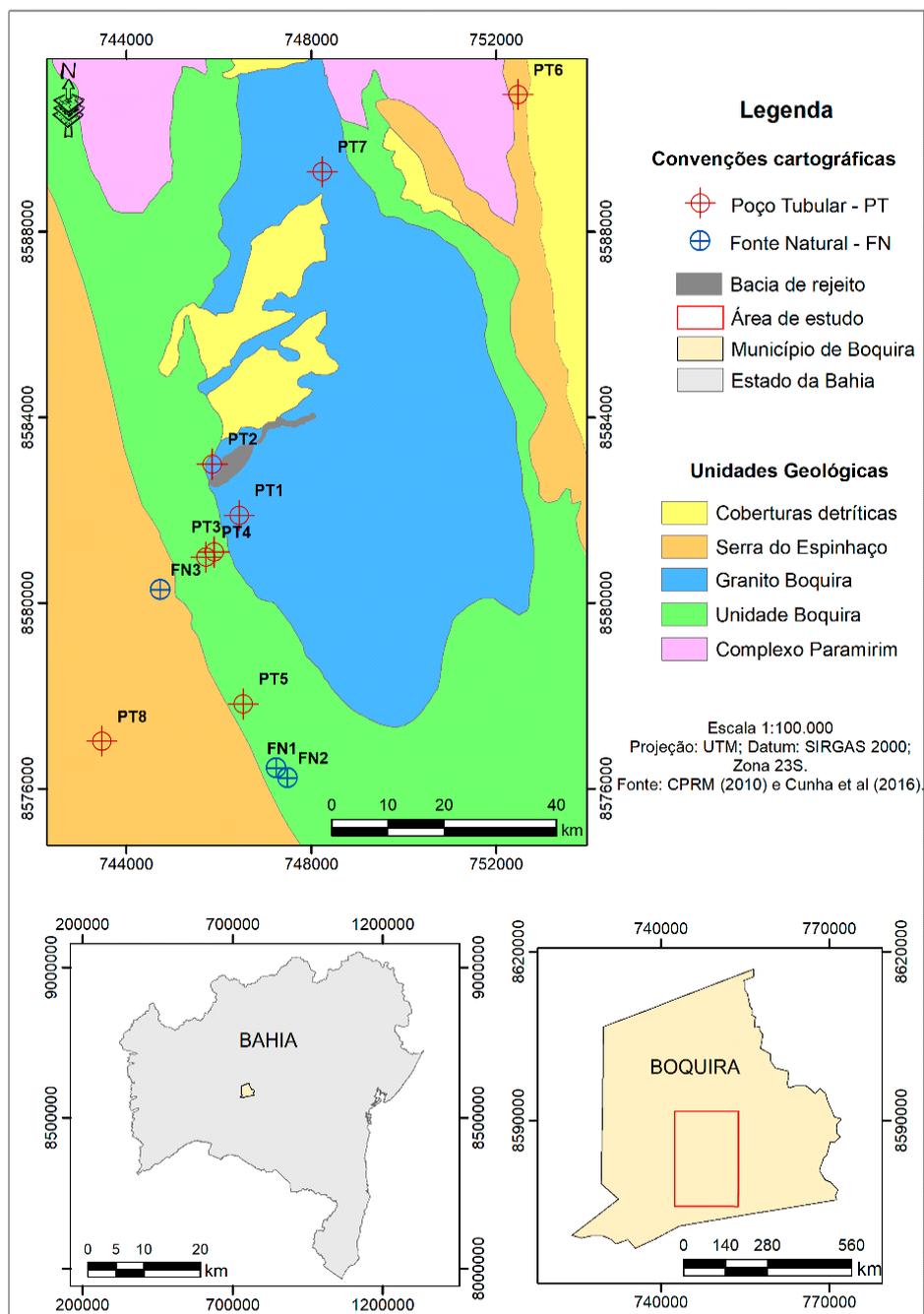


Fonte: Daltro (2017).

Materiais e métodos

Nessa pesquisa, utilizou-se análises de água subterrânea (30 parâmetros físico-químicos) do projeto Atlas Geoquímico da Bacia do Rio Paramirim realizado em julho de 2013 (CUNHA et al., 2016), com informações de 11 amostras (8 poços tubulares e 3 fontes naturais) distribuídos nas principais unidades geológicas aflorantes no município de Boquira (Figura 3).

Figura 3 - Localização da área de pesquisa e amostras analisadas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Os resultados analíticos dos parâmetros físico-químicos - Alumínio (Al), Arsenio (As), Boro (B), Bário (Ba), Berílio (Be), Cálcio (Ca), Cádmi (Cd), Cobalto (Co), Crômio (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Potássio (K), Lítio (Li), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Sódio (Na), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Antimônio (Sb), Silício (Si), Estanho (Sn), Estrôncio (Sr), Titânio (Ti), Vanádio (V), Zinco (Zn), Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE) e Oxigênio Dissolvido (OD) - foram catalogados e sistematizados em planilha Excel sendo posteriormente processados no *software SPSS Statistics*, versão 17.0 (análise fatorial pelo método das componentes principais e análise agrupamento hierárquico).

A análise fatorial descreve a correlação ou covariância, entre o conjunto de variáveis, em termos de um número limitado de variáveis não-observáveis. Essas variáveis não-observáveis ou fatores são calculados pela combinação linear das variáveis originais. Na análise fatorial utilizou-se o método da análise da componente principal (ACP), com emprego da rotação varimax normalizada. O objetivo deste procedimento é descrever as relações de covariância entre os parâmetros correlacionados, tendo como base os fatores identificados, além de evidenciar, através das comunalidades, o quanto cada parâmetro explica cada fator (HOFMANN, 1992; MANLY, 1998; LANDIM, 2011). O procedimento da adequação dos dados da análise fatorial realizou-se a partir do índice KMO (*Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy*) e do Teste Estatístico de Esfericidade de Bartlett, que testa a hipótese nula de que as variáveis analisadas não são correlacionadas (HAIR JR. et al., 1998). Os dados foram padronizados pelo método *Z scores* com o intuito de eliminar os efeitos produzidos pelas diferentes unidades (CE apresenta unidade de $\mu\text{S}/\text{cm}$ e as demais variáveis é medida por mg/L).

Para a análise de agrupamento hierárquico (AAH) das amostras, utilizou-se o método *Ward* como critério hierárquico de agrupamento, com medida de similaridade dada pela distância euclidiana quadrada (*Squared Euclidean Distance*). Esse critério de agrupamento utiliza a soma total dos quadrados dos desvios de cada objeto em relação à média do grupo onde o mesmo foi inserido. A escolha deste critério se baseou no frequente uso em estudos de qualidade da água (VEGA et al., 1998; ANDRADE et al., 2008; FERNANDES et al., 2010; SALGADO et al., 2011; GOMES; CAVALCANTE, 2017; GOMES et al., 2020). Os grupos formados foram submetidos à análise de variância (*One-Way ANOVA*) e apresentaram níveis de significância inferiores a 5%, indicando a formação de um conjunto relativamente estável de grupos.

A partir dos grupos formados, as concentrações de metais nas amostras analisadas foram comparadas aos valores máximos permitidos (VMP) presentes na Portaria nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde (MS) e Resolução CONAMA nº 396 de 2008, por serem as normativas mais recentes em uso na legislação brasileira.

Resultados e discussão

A análise fatorial em componentes principais aplicada nas amostras de águas subterrâneas condensou as variáveis físico-químicas em dois fatores, explicando 93% da variância total, sendo o Fator 1 responsável por 75% dessa variância. As variáveis com maiores cargas fatoriais, nesse fator, foram boro (0,919), sódio (0,921) e magnésio (0,897), embora as demais variáveis também apresentem forte relação com esse fator, dados os elevados valores das cargas fatoriais e das comunalidades. Enquanto, o Fator 2 respondeu por 18% da variância total e incluiu também variáveis com altas cargas fatoriais, como bário (0,971) e Estrôncio (0,954) (Tabela 1). De acordo com Andrade (1989) *apud* Brito et al. (2006), são representativas aquelas variáveis cujas cargas fatoriais são as mais elevadas e devem sempre ser superiores a 0,300.

Tabela 1 - Cargas fatoriais, comunalidades e variância explicada na análise fatorial das variáveis analisadas, após a rotação pelo método *varimax*.

Variável	Fator 1	Fator 2	Comunalidade
Boro (B)	0,919	-0,042	0,846
Bário (Ba)	0,075	0,971	0,948
Potássio (K)	0,770	0,617	0,973
Magnésio (Mg)	0,897	0,336	0,917
Sódio (Na)	0,921	0,226	0,899
Silício (Si)	0,597	0,756	0,929
Estrôncio (Sr)	0,146	0,954	0,932
Condutividade elétrica (CE)	0,741	0,651	0,972
Cálcio (Ca)	0,690	0,700	0,966
Variância explicada pelo fator (%)	75,384	17,747	-
Variância acumulada (%)	93,132		

Unidade das concentrações: mg/L, exceto CE ($\mu\text{S/cm}$).

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

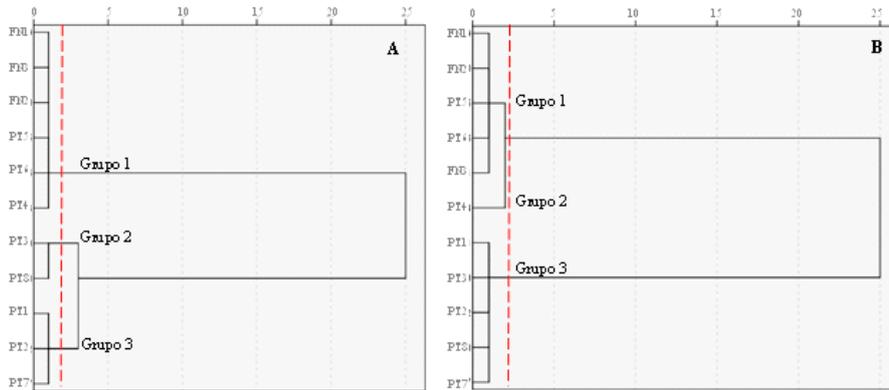
O Fator 1 (75% da variância dos dados) representado pelas variáveis boro (B), potássio (K), magnésio (Mg), sódio (Na) e condutividade elétrica (CE) está fortemente relacionado com as concentrações de metais e salinidade na água. O Fator 2 (18% da variância dos dados) composto pelas variáveis bário (Ba), silício (Si), estrôncio (Sr) e cálcio (Ca) está fortemente correlacionada com as concentrações de metais na água. Celino e Rangel (2007), analisando os sedimentos de corrente no semiárido baiano, encontraram os elementos que apresentam os mais altos coeficientes e que se correlacionam com o maior número de outros elementos como B, Ba, Ca, Mg, Ni, Ti, Y, Zr, Cr, Cu, Pb, Zn, Fe, Mn e F.

Ressalta-se que o intemperismo e a lixiviação do solo são exemplos de processos naturais que geram o aparecimento de metais pesados na água e no solo, todavia a extração e o beneficiamento de metais, rejeitos industriais, efluentes domésticos, insumos agrícolas, descarte de produtos comerciais, queima de combustíveis fósseis e descarte de lodo de esgoto são atividades antrópicas associadas à contaminação do meio ambiente por tais metais (NRIAGU; PACYNA, 1988; TEIXEIRA *et al.*, 2000; ALLEONI *et al.*, 2005; GUILHERME *et al.*, 2005 *apud* MUNIZ e OLIVEIRA FILHO, 2006).

Alves *et al.* (2017) constataram que os principais minerais carreadores de chumbo se encontram em avançado estágio de intemperismo, eventualmente alterando para óxido de chumbo. A disposição inadequada desse tipo de rejeito pode vir a implicar em condições favoráveis para a liberação do chumbo da estrutura de seus minerais carreadores e conseqüentemente colocar em risco o meio ambiente e a população que vive no entorno da bacia de rejeitos.

A análise de agrupamento hierárquico aplicada às amostras de águas subterrâneas permitiu classificar essas amostras em três grupos com características quimicamente semelhantes para o período de amostragem em cada fator (Figura 4).

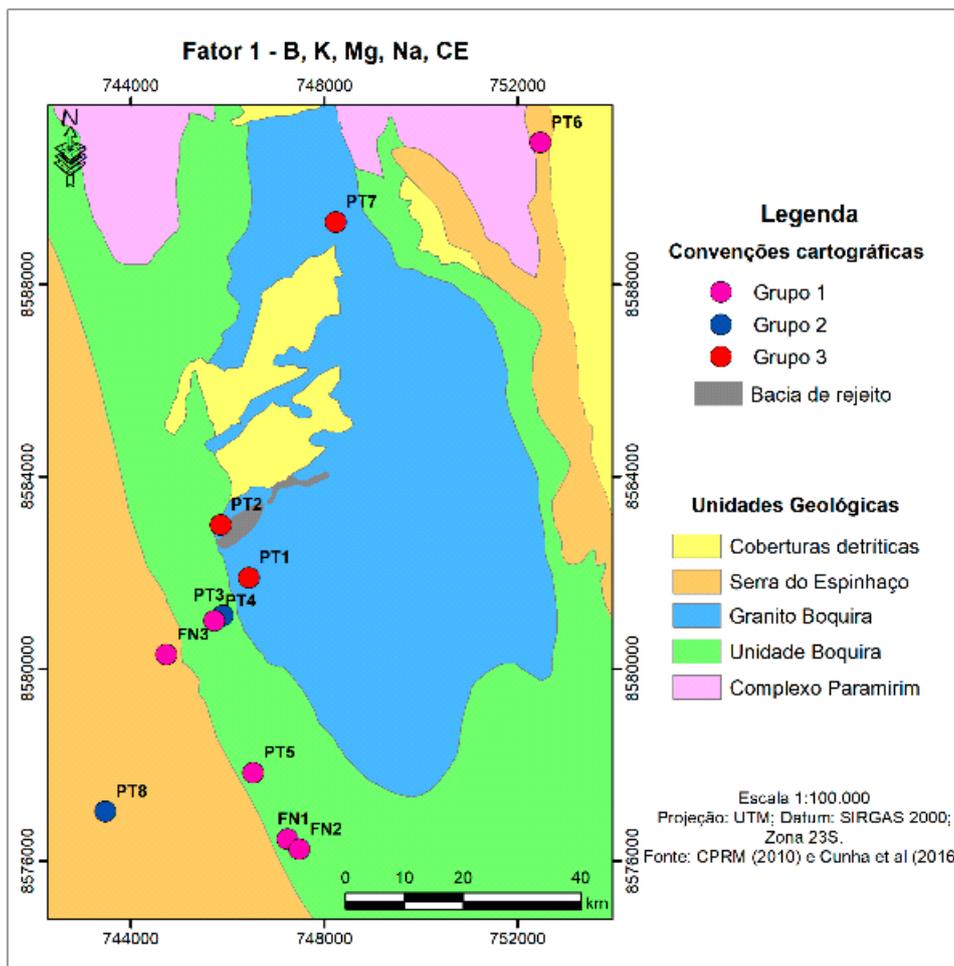
Figura 4 - Dendrogramas resultante da análise de agrupamento hierárquico (AAH) das variáveis explicadas nos Fatores 1 (A) e 2 (B).



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

De acordo com as variáveis do fator 1 (B, K, Mg, Na, CE) (Figura 5) foram gerados 3 grupos similares, composto por 55% (3 poços e 3 fontes naturais), 18% (2 poços) e 27% (3 poços) das amostras analisadas nos Grupos 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 5 - Distribuição espacial das amostras analisadas por grupo no Fator 1.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

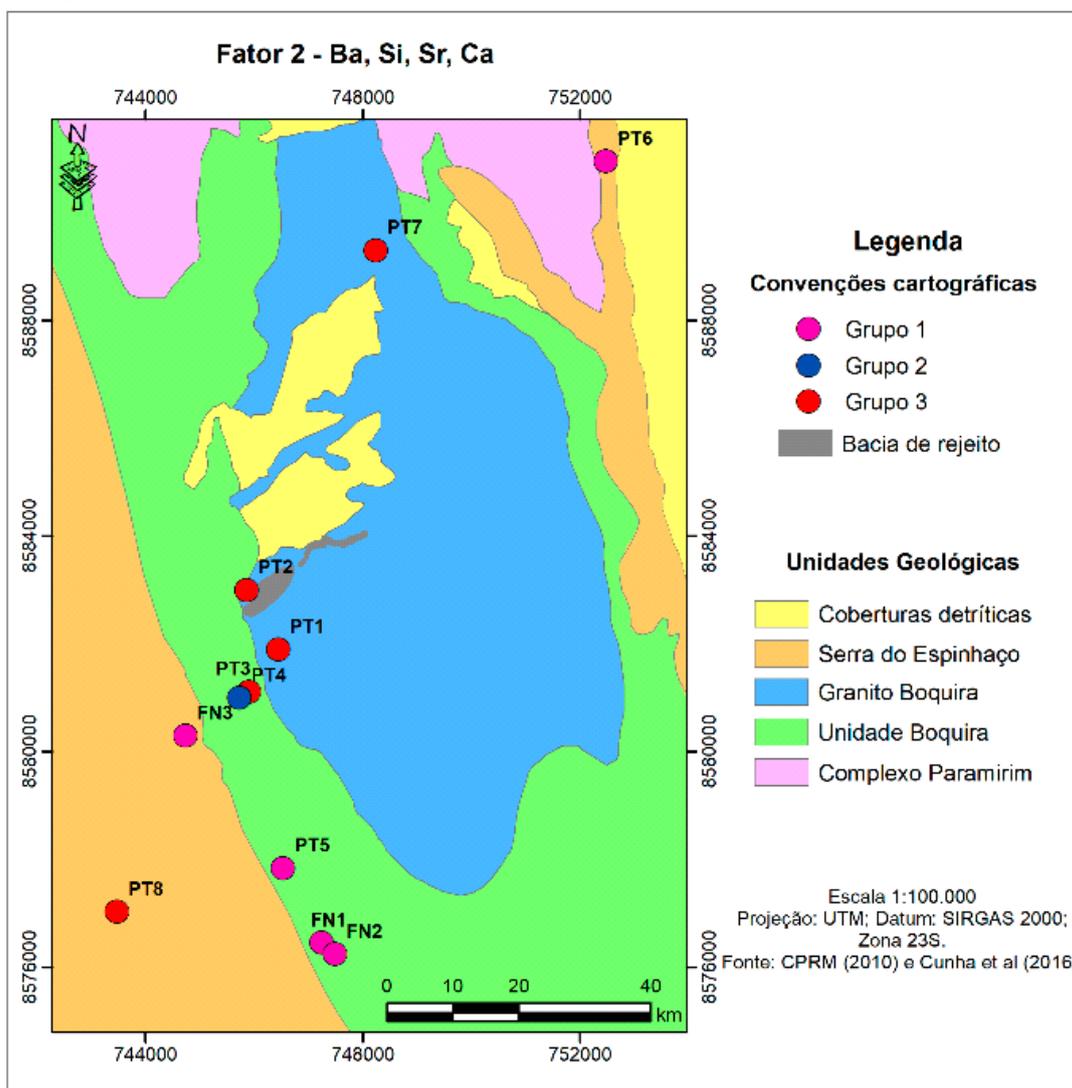
O Grupo 1 (FN1, FN2, FN3, PT4, PT5, PT6) é caracterizado por águas de baixas concentrações de metais e salinidade, com concentração de Boro (B) entre 0,01 e 0,02 mg/L, estando, todas as amostras abaixo do valor máximo permitido pela Resolução do CONAMA nº 396/2008 (0,5 mg/L B). A Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde (MS) não estabelece um valor máximo permissível para a concentração de boro. O potássio (K) oscilou de 0,17 e 7,47 mg/L, magnésio (Mg) de 0,53 e 34,60 mg/L e, CE de 13,86 e 604,10 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ressalta-se que a Portaria nº 888/2021 do MS e Resolução CONAMA nº 396/2008 não estabelecem valores máximos permissíveis as concentrações de K, Mg e CE. O sódio oscilou de 1,45 e 44,10 mg/L, encontrando-se dentro do limite permitido pela Portaria nº 888/2021 do MS e Resolução do CONAMA nº 396/2008 (200 mg/L Na), mostrado resultados semelhantes à pesquisa de Daltro (2017).

O Grupo 2 (PT3, PT8) é caracterizado por águas com concentrações de metais e salinidade intermediária, com concentração de Boro (B) entre 0,04 e 0,10 mg/L, estando as amostras abaixo do valor máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 396/2008 (0,5 mg/L B). O potássio (K) oscilou de 9,57 e 12,50 mg/L, magnésio (Mg) variou de 43,00 e 113,00 mg/L (PT3 - Unidade Boquira) e CE de 1335 e 1357 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O sódio oscilou de 77,20 e 86,90 mg/L, encontra-se dentro do limite permitido pela Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde (MS) e Resolução CONAMA nº 396/2008 (200 mg/L Na), corroborando também com a pesquisa de Daltro (2017).

O Grupo 3 (PT1, PT2, PT7) é caracterizado por altas concentrações de metais e salinidade nas águas, com concentração de Boro (B) entre 0,01 e 0,14 mg/L, estando, todas as amostras abaixo do valor máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 396/2008 (0,5 mg/L B). O potássio (K) oscilou de 17,10 e 19,10 mg/L, magnésio (Mg) variou de 96,00 e 139,00 mg/L (PT1, PT2, PT7 - Granito Boquira) e a CE de 1840 e 2399 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O sódio oscilou de 112,00 e 310,00 mg/L, estando duas amostras (PT1 e PT2 - Granito Boquira) fora do limite permitido pela Portaria nº 888/2021 do MS e Resolução CONAMA nº 396/2008 (200 mg/L Na).

De acordo com as variáveis do fator 2 (Ba, Si, Sr, Ca) (Figura 6) foram gerados 3 grupos similares, composto por 45% (2 poços e 3 fontes naturais), 10% (1 poço) e 45% (5 poços) das amostras analisadas nos Grupos 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 6 - Distribuição espacial das amostras analisadas por grupo no Fator 2.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

O Grupo 1 (FN1, FN2, FN3, PT5, PT6) do fator 2 é representado pelas mesmas amostras do grupo 1 do fator 1, exceto a amostra PT4, caracterizado por águas de boa qualidade, com concentração de Bário (Ba) entre 0,01 e 0,05 mg/L, estando, todas as amostras dentro do valor máximo permitido (0,7 mg/L Ba) pela Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde e Resolução CONAMA nº 396/2008. A concentração de cálcio (Ca) variou de 0,98 a 2,41 mg/L, ressaltando que a Portaria nº 888/2021 do MS e a Resolução CONAMA nº 396/2008 não estabelece um valor máximo permissível para a concentração de cálcio. Os resultados de silício (Si) e estrôncio (Sr) variaram de 6,88 a 11,50 mg/L e 0,01 a 0,07 mg/L, respectivamente. Ressalta-se que a Portaria nº 888/2021 do MS e Resolução CONAMA nº 396/2008 não estabelece valores máximos permissíveis para as concentrações de Si e Sr, mostrando também os resultados similares com a pesquisa de Daltro (2017).

O Grupo 2 (PT4) do fator 2 é caracterizado por águas de qualidade inferior ao grupo 1 e superior ao grupo 3, com Bário (Ba) de 0,02 mg/L, estando, a amostra dentro do valor máximo permitido (0,7 mg/L Ba) pela Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde (MS) e Resolução CONAMA nº 396/2008. A concentração de cálcio (Ca)

foi de 91,10 mg/L. Destaca-se que a amostra PT4 está captando água da Unidade Boquira. As concentrações de silício (Si) e estrôncio (Sr) atingiram 23,70 mg/L e 0,19 mg/L, respectivamente.

O Grupo 3 (PT1, PT2, PT3, PT7, PT8) do fator 2 é caracterizado por águas de qualidade inferior aos grupos 1 e 2, com Bário (Ba) variando de 0,05 a 1,26 mg/L, estando duas amostras (PT7 - Granito Boquira e PT8 - Serra do Espinhaço) acima do valor máximo permitido (0,7 mg/L Ba) pela Portaria nº 888/2021 do MS e Resolução CONAMA nº 396/2008. A concentração de cálcio (Ca) oscilou de 202,00 a 303,00 mg/L. O silício (Si) e estrôncio (Sr) oscilaram de 30,40 a 52,40 mg/L e 0,45 a 2,50 mg/L, respectivamente.

As variáveis do fator 1 (F1), indicadores de concentrações de metais pesados e salinidade nas águas, sugerem que os poços e as fontes naturais identificados como do grupo 1 exploram águas que atendem aos padrões de potabilidade quanto à concentração dos íons B e Na. Estes captam águas da Unidade Boquira e Serra do Espinhaço. Os identificados como do grupo 2 são apenas dois poços (PT3 e PT8) que também exploram águas da Unidade Boquira e Serra do Espinhaço. Nestes poços as águas são mais mineralizadas (maior CE) que o grupo anterior e o poço PT3 apresenta elevada concentração de Mg. Já os do grupo 3, que exploram águas do Granito Boquira, são águas altamente mineralizadas e com altas concentrações de metais, onde as águas não atendem aos padrões de potabilidade quanto à concentração do íon Na^{2+} . Ressalta-se que dois poços (PT1 e PT2) estão localizados em torno da bacia de rejeito da mina.

As variáveis do fator 2 (F2), indicadores de concentrações de metais nas águas, sugerem que os poços e as fontes naturais identificados como do grupo 1 exploram águas de melhor qualidade em relação aos íons Ba, Si, Sr e Ca, localizados geologicamente na Unidade Boquira e Serra do Espinhaço. O poço identificado como do grupo 2 (PT4) que também explora água da Unidade Boquira, apresenta águas de qualidade inferior ao grupo 1 e superior ao grupo 3, com maiores concentração de cálcio. Já os do grupo 3, são águas de qualidade inferiores (não atendem aos padrões de potabilidade quanto à concentração do íon Ba) aos dos grupos anteriores, onde captam águas do Granito Boquira, Unidade Boquira e Serra do Espinhaço. São águas altamente mineralizadas e com altas concentrações de metais.

Cunha *et al.* (2016) analisou a rampa da mina e verificou índices elevados de chumbo (Pb), zinco (Zn), cádmio (Cd), níquel (Ni), cobalto (Co), estrôncio (Sr), magnésio (Mg) e cálcio (Ca). Isso pode ser explicado devido à grande quantidade de material oriundo da bacia de rejeito depositado nas galerias da mina subterrânea durante o período de funcionamento e após o abandono da mineração.

De acordo com Daltro (2017), o fluxo da água subterrânea no município de Boquira apresenta direção preferencial W-NE, e especificamente na área de pesquisa, onde os pontos amostrados se encontram a montante das principais fontes de contaminação antrópica (bacia de rejeito, galerias da mina subterrânea e cava da mina à céu aberto).

Considerações finais

A análise fatorial pelo método das componentes principais permitiu classificar as variáveis de maior significância na qualidade das águas, priorizando aquelas fortemente relacionadas com as concentrações de metais e salinidade nas águas.

A análise de agrupamento classificou as amostras de acordo com a qualidade das águas, em três grupos em cada fator, onde concluiu-se que existe influência do *background* natural das rochas do município de Boquira nos recursos hídricos, com

valores elevados para metais como magnésio (grupos 2 e 3 do fator 1), cálcio (grupos 2 e 3 do fator 2) e bário (grupo 3 do fator 2).

Apesar das maiores concentrações para metais como chumbo, zinco e cádmio estarem situadas nas águas das galerias da mina subterrânea e bacia de rejeito, não foi encontrado elevados teores desses metais nas amostras de águas subterrâneas analisadas.

Recomenda-se o monitoramento contínuo (período seco e chuvoso) da qualidade da água dos poços e nascentes situados à jusante e montante das fontes de contaminação, ainda que não sejam utilizados para abastecimento público, visando a determinação de possível pluma de contaminação do material contaminado.

Os resultados destas análises com auxílio de técnicas multivariadas são importantes como suporte ao monitoramento e à gestão da qualidade de águas subterrâneas, principalmente em regiões de alta vulnerabilidade socioambiental, como o município de Boquira.

Referências

ALVES, F. E. A.; BERTOLINO, L. C.; MENDES, J. C. Caracterização Mineralógica do Rejeito da Mineração de Chumbo em Boquira, Estado da Bahia, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 40, n. 3, p. 14-23, 2017.

ANDRADE, E.M.; PALÁCIO, H.A.; SOUZA I.H.; OLIVEIRA L.R.A.; GUERREIRO, M.J. Land use effects in groundwater composition of an alluvial aquifer (Trussu River, Brazil) by multivariate techniques. **Environmental Research**, v., 106, n. 1, p. 170-177. 2008.

ANDRADE, Á. A. X. de; SOARES; E. M. B.; CUNHA; D. A. da & OLIVEIRA, M. L. R. de. Riscos e incertezas: a realidade pós-extração do minério de chumbo em Boquira, BA. **Interações**, Campo Grande, v. 18, n. 1, p. 103-117. mar. 2017.

ARCANJO, J. B. A.; VARELA, P. H. L.; MARTINS, A. A. M.; LOUREIRO, H. S. C.; NEVES, J. P. **Projeto Vale do Paramirim: Estado da Bahia**. Salvador: CPRM, 2000. 105 p. il. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB. Convênio CBPM/CPRM. Escala 1:200.000. Relatório Interno.

BAILEY, S.E.; OLIN, T.J.; BRICKA, R.M.; ADRIAN, D.D. A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. **Water Research**, v. 33, n. 11, p. 2469 -2479. 1999.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 396 de 03 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>. Acesso em: 05 fev. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 888 de 04 de maio de 2021**. Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>. Acesso em: 05 dez. 2021.

BRITO, L.T.L., SILVA, A. de S., SRINIVASAN, V.S., GALVÃO, C. de O.; GHEYI, H.R. Uso de análise multivariada na classificação das fontes hídricas subterrâneas na bacia hidrográfica do Salitre. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 36-44. abr. 2006.

CELINO, J.J.; RANGEL, P.A. Análise estatística multivariada aplicada a prospecção

geoquímica de metais traços em sedimentos de corrente no semiárido do Estado da Bahia. **Geochimica Brasiliensis**, Brasil, v. 21, n. 2, p. 193-211. agost. 2007.

CORNEJO, C. C.; BARTORELLI, A. **Minerais e pedras preciosas do Brasil**. São Paulo: Solaris edições culturais, 704p., 2010.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa Geodiversidade do Estado da Bahia**. Salvador: CPRM, 2010. 1 mapa. Escala 1:2.500.000. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/14691>. Acesso em: 20 outubro 2018.

CUNHA, F. G.; VIGLIO, E. P.; ANJOS, J. A. S. A.; LOUREIRO, T. B. **Estudos geoquímicos no município de Boquira - Estado da Bahia**. Salvador: CPRM, 2016.

DALTRO, R. R. **Impactos ambientais nos recursos hídricos por metais tóxicos: o caso do município de Boquira, no semiárido baiano**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

ESPOURTEILLE, F.; FLEISCHER, R. **A mina de Boquira**. In: INDA, H. A. V.; DUARTE, F. B. **Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia: textos básicos**. Salvador: SME, v. 3, p. 104-125. 1980.

FERNANDES, F.B.P., ANDRADE, E.M. de., FONTENELE, S. DE B., MEIRELES, A.C.M. RIBEIRO, J. Análise de agrupamento como suporte à gestão qualitativa da água subterrânea no semiárido cearense. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 4, n. 2 p. 86-95. 2010.

GARCIA, P. M. P. **Análise comparativa de dados geológicos, litogeoquímicos e geofísicos das formações ferríferas do complexo Boquira e supergrupo Espinhaço na região de Boquira, BA**. Monografia (Graduação em geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2011.

GIAMPIÁ, C. E. Q.; GONÇALES, V. G. **Águas Subterrâneas e poços tubulares profundos**. ed. 2, rev. e atualizada. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

GOMES, M.C.R.; CAVALCANTE, I. N. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água subterrânea. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 134 -149. Jan. 2017.

GOMES, M. C. R.; ANJOS, J. A. S. A.; DALTRO, R. R. Multivariate statistical analysis applied to the evaluation of groundwater quality in the central-southern portion of the state of Bahia - Brazil. **Rev. Ambient.** Água, Taubaté, v. 15, n. 1, p. 8-24. Dez. 2020.

HAIR Jr., J.F., ANDERSON, R.E., TATHAN, R.L.; BLACK, W.C. **Multivariate data analysis**. New Jersey, Prentice Hall: 1998.

HOFFMANN, R. **Componentes principais e análise fatorial**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz: 1992.

LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos multivariados**. Oficina de textos: São Paulo, 2011.

LIMA, O. A. L. de. Geosistemas e recursos hídricos: água subterrânea no estado da Bahia. SEI. **Bahia análise & dados**, Salvador, v. 13, n. especial, p. 391-402, 2003.

MANLY, B.F.J. **Multivariate statistical methods**. London, Chapman & Hall: 1998.

MUNIZ, D. H. de FREITAS; OLIVEIRA FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 4 n.1/2, p. 83-100. 2006.

ROCHA, G. M. F. **Caracterização faciológica da formação ferrífera de Boquira, encaixante da mineralização de Pb/Zn**. 1985. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1985.

SALGADO, E.V., ANDRADE, E.M. de, FONTENELE, S. de B.; MEIRELES, A.C.M. Similaridade das variáveis hidroquímicas com o uso da análise multivariada, na Bacia do Salgado, Ceará. **Revista Caatinga**, Mossoró v. 24, n. 3, p. 158-166, set, 2011.

UECHI, D.A.; GABAS, S.G.; LASTORIA, G. Análise de metais pesados no Sistema Aquífero Bauru em Mato Grosso do Sul. **Eng Sanit Ambient.**, v. 22 n. 1, p. 155-167. 2017.

VEGA, M., PARDO, R., BARRADO, E.; DEBÁN, L. Assessement of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. **Water Research**, v. 32, n. 12, p. 3581-3592, 1998.

WHO. World Health Organization. **Guidelines for drinking-water Quality**, 4 th. ed. Genebra: WHO, 2011.

YABE, M. J. S.; OLIVEIRA, E. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. **Química Nova**, v. 21, n. 5, p. 551-556. 1998.

SEÇÃO 3

GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO SEMIÁRIDO



CAPÍTULO 9

Açudes, paisagens e territórios no Seridó Potiguar: bases para a gestão das águas

Manoel Cirício Pereira Neto,
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN, Brasil.
E-mail: ciricioneto@uern.br

Introdução

No território brasileiro são nítidas as transformações observadas nas últimas 4 décadas em decorrência dos adventos técnicos e de informação que constantemente têm renovado sua materialidade e substância (*ousía*). Conforme é destacado por Santos e Silveira (2001), trata-se de uma condição assim resultante das variadas relações entre a sociedade e o meio, e dos múltiplos aspectos em curso.

Em relação ao semiárido brasileiro, por sua vez, a construção de açudes aparece como umas das técnicas mais empregadas pelo homem para “combater” ou mitigar os efeitos das secas. Trata-se, sem dúvida alguma, de uma das mais importantes iniciativas na região voltadas ao atendimento das necessidades básicas de abastecimento humano e animal – de modo amplamente incorporado ao discurso de desenvolvimento do território.

A política da açudagem tem sido amplamente empregada ao longo do tempo, de modo a ser o semiárido brasileiro apontado atualmente como sendo uma das regiões mais densamente açudadas do mundo (MOLLE, 1994). É algo que tem, sobretudo, provocado diferentes configurações territoriais, por vezes, cristalizadas no espaço geográfico, a partir da complexa rede de relações sociais, políticas, econômicas, ambientais e culturais.

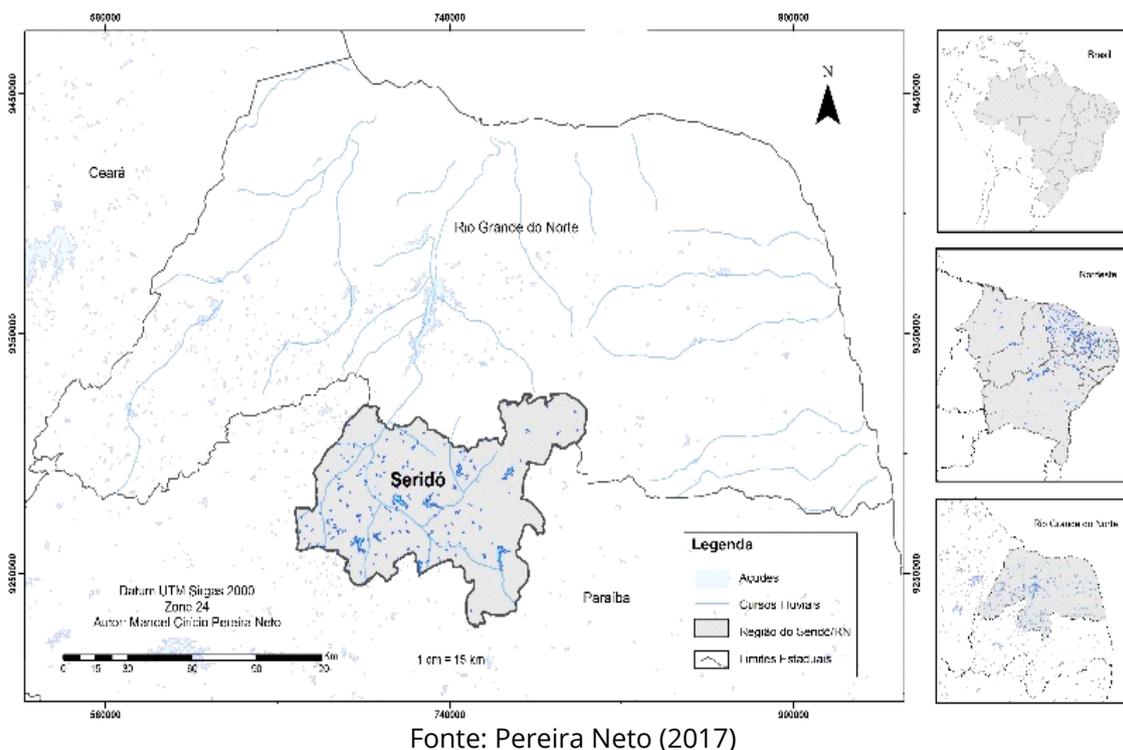
Os benefícios observados com a construção dos reservatórios hídricos são diversos. Entre os destaques figuram-se àqueles relacionados ao armazenamento e distribuição de água, ao abastecimento humano e animal, à irrigação, às atividades de lazer, entre outros (PEREIRA NETO, 2017). Entretanto, observam-se também complexas as interações, contradições e implicações provenientes da inserção desses sistemas de engenharia no espaço geográfico – fruto de diversas e, por vezes, conflitantes perspectivas apresentadas.

Conforme é acrescentado por Santos (1988), *a forma* sobre a paisagem seria então criada como resposta às necessidades ou funções do presente; ou, ainda também, diante do contexto apresentado, às perspectivas de um passado não muito distante. Nesse caso, o açude surge contextualmente como sendo essa *forma*, um sistema de engenharia, um objeto geográfico e/ou uma técnica que, ao ser incorporado à ‘paisagem natural’ do semiárido tenderia a refletir e/ou configurar diferentes perspectivas de territorialização.

O objetivo desse artigo está, portanto, em discutir acerca da participação da açudagem na tecnicização do território, na (re)organização das paisagens regionais do Seridó potiguar, perante o modo de sua apropriação pelos homens, pelas firmas ou instituições deste território – e seus conflitos – através do conceito de território usado.

Para tanto, com base nesses preceitos e contextualização, diante da problemática apresentada, incorre-se como recorte espacial de interesse e análise o Seridó potiguar – então localizado em pleno semiárido nordestino e potiguar (Figura 1). Este encontra-se localizado no semiárido potiguar, do sertão central, e sua escolha se justificaria ainda por compreender ainda um dos quatro núcleos de desertificação brasileiro.

Figura 1 - mapa de localização do Seridó potiguar, com destaque à açudagem



A discussão poderá provocar, portanto, reflexões acerca do papel da açudagem na configuração do espaço regional e rede hidrográfica; de modo a fornecer possíveis bases subsidiárias para o planejamento e gestão ambiental territorial no Seridó potiguar, em sua bacia hidrográfica e em toda a região semiárida com características semelhantes.

O açude como objeto técnico diante à paisagem natural

O semiárido brasileiro possui considerável riqueza e diversidade paisagística. A configuração de ambientes distintos é, senão, resultado das condições e processos naturais atuais, mas também e, principalmente, entendida como herança. A extensiva área e a situação geográfica refletem ou condicionam tal realidade.

Trata-se de um território – também político – que se caracteriza do ponto de vista ambiental, sobretudo, pela elevada evapotranspiração de forma induzida pelo aumento da temperatura e balanço hídrico deficitário, com excedente hídrico em apenas um mês do ano. Em grande parte, esse ainda tem como base o complexo mosaico litológico do embasamento cristalino, com solos pouco desenvolvidos que acabam potencializando a presença das águas superficiais em

detrimento do armazenamento das águas subterrâneas.

Nesse contexto, a extensa rede de drenagem superficial acaba por almentar cerca de 70.000 pequenos açudes para usos múltiplos (ALBINATI, 2006). Entretanto, à título de ilustração e dimensão, Guimarães Duque (1959), uma das grandes referências do Nordeste, chega a pontuar no período correspondente entre de 1909 a 1956 aproximados 1.000.000.000 (um milhão) de açudes! Esses são açudes classificados como sendo de nível público federal, ou construídos pela cooperação com os estados e municípios, ou açudes em cooperação com particulares. Naquele período, é ainda acrescentado pelo referido autor, a construção de 1.976 pontes, 586 canais de irrigação, 200 km de drenos.

Tais *formas* surgem e despontam na paisagem, assim como já assinalado, como interessantes respostas às necessidades ou funções do presente (SANTOS, 1988). Nesse caso, entretanto, atente-se para a inseparabilidade entre a materialidade e seus usos, entre a forma e sua função, e toda uma estrutura correspondente fazendo com que tais reservatórios hídricos se apresentem, pois, como sendo verdadeiros objetos geográficos; incorporados ou reflexos da própria paisagem e das múltiplas territorialidades existentes.

A paisagem natural vai sendo assim consideravelmente alterada com a construção desses sistemas de engenharia, imbricada ainda pelo viés das perspectivas, dos discursos e modelos diversos – e de uma dada sociedade. No que diz respeito à política de açudagem no semiárido no tempo essa encontra-se voltada, sobretudo, ao atendimento das ‘necessidades humanas e animais básicas’, ao ‘combate às secas’, e ainda ao próprio discurso de desenvolvimento econômico do território (PEREIRA NETO, 2017).

É por essa perspectiva que, para Bertrand e Bertrand (2009, p. 332), a paisagem surge como sendo não apenas a aparência das coisas, mas também “um espelho que as sociedades erguem para si mesmas e que as reflete. Construção cultural e construção econômica misturadas. E sob a paisagem, há o território, sua organização espacial e seu funcionamento”. Paisagem e o Território se apresentam, portanto, como sendo duas importantes categorias de análise dessa conjectura, de modo a possibilitar o entendimento de arranjos socioespaciais diversos. Nessa perspectiva, a açudagem tende a fornecer bases para o entendimento da própria estruturação das paisagens e ainda das territorializações, conflitos, dilemas, das potencialidades e desafios diversos.

O meio geográfico inicialmente tido como um meio natural, destacado por Milton Santos, vai, a partir e através também da açudagem, se transpondo em um meio técnico no qual a materialidade do espaço é formada pelo “natural” e pelo “artificial” ao mesmo tempo. Nessa perspectiva, Santos (2006, p. 156) destaca que:

a história das relações entre sociedade e natureza é, em todos os lugares habitados, a da substituição de um meio natural, dado a uma determinada sociedade, por um meio cada vez mais artificializado, isto é, sucessivamente instrumentalizado por essa mesma sociedade.

Algo que, aparentemente, acaba se cristalizando, no contexto do semiárido, como interessante rugosidade e herança de tempos pretéritos. Embora as necessidades humanas e animais aparentemente continuem as mesmas, os grandes açudes públicos tendem a atravessar novos e complexos desafios, possibilidades, estruturas e dinâmicas ao longo do tempo presente. São rugosida-

des que acabam balizando e subsidiando o desenvolvimento regional, de modo a impulsionar outras necessidades e meios diversos.

No Seridó potiguar, por sua vez, assim como em grande parte do semiárido brasileiro, a própria localização dos principais núcleos de ocupação e povoamento encontra-se intimamente relacionados, de forma estratégica, com as margens dos principais rios. São nessas mesmas áreas, ao longo do histórico de ocupação e desenvolvimento, que decorre o maior adensamento dos grandes açudes públicos.

Haveria, sobretudo, uma imbricada interrelação entre a localização dos grandes centros urbanos e do processo de desenvolvimento local, com a própria construção desses reservatórios hídricos. As paisagens, de tempos em tempos modificadas, refletiriam ou possibilitariam a construção de narrativas, dilemas e perspectivas regionais.

Em relação ao Seridó potiguar, este se destaca historicamente no que diz respeito à construção de açudes públicos e particulares sobre o restante do Nordeste brasileiro. Trata-se de um dos polos de maior e mais antiga concentração de açudes no país. Aqui a constituição e força das oligarquias políticas é, sem dúvida, um dos grandes propulsores para a disseminação de tais obras na região.

A título de ilustração destaque-se a presença de um dos primeiros açudes construídos na região do semiárido (o açude Recreio), há muito mais de um século, em 1842, localizado no então município de Caicó/RN. Segundo é apontado por Oswaldo Lamartine de Faria, em 1978, esse número já alcançava o quantitativo de 200 açudes e em 1915 a região do Seridó já se destacava pelos aproximados 710 açudes. Todavia, mais de dois terços de tais pequenos e médios açudes particulares na região do Seridó haviam sido construídos de forma a não resistir as secas prolongadas ou ainda aos 'invernos' mais rigorosos caracterizados por grandes índices pluviométricos.

Com isso, a forma na paisagem se altera e é ela própria alterada com o tempo. O aspecto multitemporal de acordo com o represamento das águas das chuvas, diante a pequena açudagem (os barreiros), acaba dinamizando a paisagem regional conforme à sazonalidade dos aspectos hidroclimáticos e possível ocorrência de eventos extremos.

A açudagem tem atualmente subsidiado o desenvolvimento de uma irrigação com alto potencial produtivo, com base para a subsistência de diferentes culturas agrícolas. Nesse caso, destaque-se a criação dos perímetros irrigados localizados em áreas potenciais para a produção agrícola irrigada, juntamente às condições favoráveis de solos. São exemplos os perímetros irrigados no município de Caicó – Itans e Sabugi – e aquele situado em Cruzeta/RN (GUERRA, 1981). Além disso, com construção do açude público Itans em Caicó, destaca-se a instalação de uma das mais importantes estações de piscicultura do Nordeste – a estação de piscicultura Estevão de Oliveira (figura 2a).

Figura 2 - a) estação de piscicultura Estevão de Oliveira e perímetro irrigado Itans, em Caicó/RN; b) panorama paisagem açude Gargalheiras; c) vila de pescadores em Acari



Fonte: Acervo do autor (2022)

Igualmente importante ressalta-se que, em quase todos os municípios localizados na região do Seridó, é nítida a vocação e potencialidade dos açudes para o desenvolvimento das atividades de lazer, turismo, pesca, entre outros. Dessa forma, os açudes dos municípios de Acari (Gargalheiras) e Parelhas (Boqueirão), por exemplo, destacam-se, atualmente, de modo ainda incipiente, como importantes polos atrativos à fixação de diversas pousadas, balneários, vilas de pescadores, entre outros (ver figuras 02b e 02c). Em Acari o açude Gargalheiras, tem possibilitado àquele município ser atualmente considerado a capital do ecoturismo. Atualmente é considerado a 3ª maravilha do estado potiguar, algo resultante ainda da interessante geodiversidade do Geoparque Seridó, então localizada entre os limites do Maciço da Borborema com a Depressão Sertaneja.

Em termos gerais, são inúmeras as transformações estruturais e mesmo funcionais provenientes da política e/ou sistema de açudagem na região do Seridó potiguar. Entre as principais mudanças, podem ser citadas: a) construção da Barragem Passagem das Traíras, localizada entre os municípios de Jardim do Seridó e São José do Seridó, para a “perenização” do Rio Seridó; b) instalação de diversos balneários para a prática de atividades esportivas e de lazer, como acontecia, por exemplo, nos açudes Itans em Caicó, Totoró (Currais Novos), Santo Antônio (São João do Sabugi), entre outros.

Açudes: técnica e territorialidades no Seridó Potiguar

Segundo é assinalado pelos historiadores, o fenômeno da seca teria acarretado um desfalque de cerca de 2.5 milhões de vidas nos três últimos séculos (MOLLE, 1994). Nessa perspectiva, a seca apesar de ser um fenômeno natural é também um contexto político, no qual o discurso relacionado acaba sendo, por vezes, promovido segundo dinâmicas diversas e permeado de verdadeiras relações de poder no território.

Os açudes na região semiárida do nordeste brasileiro aparecem, assim, em seu contexto histórico, como interessantes núcleos aglutinadores para onde se direcionavam os sertanejos e sertanejas quando assolados pelas secas; ou ainda como núcleos de referência à difusão da educação e da pesquisa ligados ao desenvolvimento da região. Neste sentido, Molle (1994, p.28) com base em Guimarães Duque ressalta ainda que:

Essa visão também impera nos anos 30 [...] pensávamos em utilizar os açudes como pequenos polos de desenvolvimento e que ali se faria a exploração do peixe, da vazante, da irrigação e da energia, quando possível, e a parte científica seriam levadas daquele mesmo tempo, os trabalhos experimentais; a feita ali e sementes e mudas das xerófilas açude lá para fora, para a região seca, em círculos concêntricos em torno do açude, de modo a fazer a influência da sua produção atingir o limite máximo possível. Assim daríamos ao açude uma função muito mais ampla do que simplesmente explorar a água à vazante e a irrigação.

Nesse caso, a relação entre a sociedade e a natureza, ou melhor, entre o homem e o meio, acaba sendo diretamente mediada pela técnica. A inserção de novas infraestruturas e as dinâmicas socioeconômicas tendem, assim, a definir os usos do território (SANTOS; SILVEIRA, 2001). O território é assim entendido por certa hibrididade, sendo o território usado caracterizado por "objetos e ações, sinônimo de espaço humano, espaço habitado", ou ainda de espaço geográfico (SANTOS, 1994, p. 138).

O território não é, portanto, uma coisa inerte ou um palco onde a vida se dá, e sim um quadro de vida, híbrido de materialidade e vida social (SILVEIRA, 2009); que a cada momento histórico se configura e se redefine dependendo dos usos e relações observados.

A açudagem enquanto *técnica* se configura como um interessante sistema de engenharia, que baliza ou acaba renovando a materialidade, as relações e as funções nos diferentes territórios do semiárido brasileiro. Por conseguinte, através da dinâmica dos processos sociais e econômicos em curso se estabelecem territorialidades diversas configuradas também por relações de poder.

Igualmente interessante para Santos (1994) é o uso do território e não o território em si mesmo que faz dele objeto de análise social. Surge aqui a necessidade de um esforço para realizar-se uma periodização possível, tendo em vista que os usos e as intencionalidades se mostram diferentes em períodos distintos; em cada época, o interesse está em (re)conhecer a novidade, as heranças e das características de maior destaque.

À política de açudagem no semiárido brasileiro identifica-se a presença de três períodos, a saber: I) o primeiro período, caracterizado pela ausência de grandes sistemas de engenharia referentes à açudagem; II) o segundo período, caracterizado

pela criação do Instituto de Obras contra a seca (IOCS) e construção de pequenos e médios reservatórios; III) o terceiro período, caracterizado pela construção de grandes reservatórios cujo principal objetivo se concentrava na modernização e industrialização do setor agrícola em determinados territórios.

Balizado por tal periodização destacam-se, inicialmente, alguns dos principais reservatórios públicos no Seridó potiguar (Quadro 01), de modo a dar base à discussão e reflexão acerca de questões de interesse ao entendimento do território e de seu contexto regional.

Quadro 1- Localização e informações de açudes públicos na região do Seridó potiguar

Açude	Município	Capacidade de Acumulação (m³)	Ano de Construção
Mundo Novo	Caicó	3.600.000,00	1915
Cruzeta	Acari/Cruzeta	23.545.745,33	1920-1929
Totoró	Currais Novos	3.941.300,00	1933
Itans	Caicó	81.750.000,00	1935
Zangare-lhas	Jardim do Seridó	7.916.000,00	1957
Gargalheiras	Acari	44.421.480,38	1959
Sabugi	São João do Sabugi	65.334.880,00	1965
Caldeirão	Parelhas	9.320.657,03	1967
Dourados	Currais Novos	10.321.600,00	1982
Boqueirão	Parelhas	84.792.119,23	1988
Esguicho	Ouro Branco	27.937.310,41	2002

Fonte: SEMARH (2001).

Com a construção desses reservatórios desenvolve-se também toda uma infraestrutura agregada e dinâmicas sociais e econômicas diversas, atreladas às frentes de trabalho. O açude mundo novo, por exemplo, localizado no município de Caicó, é um símbolo do pioneirismo dessa região na política de açudagem desde a década de 1910.

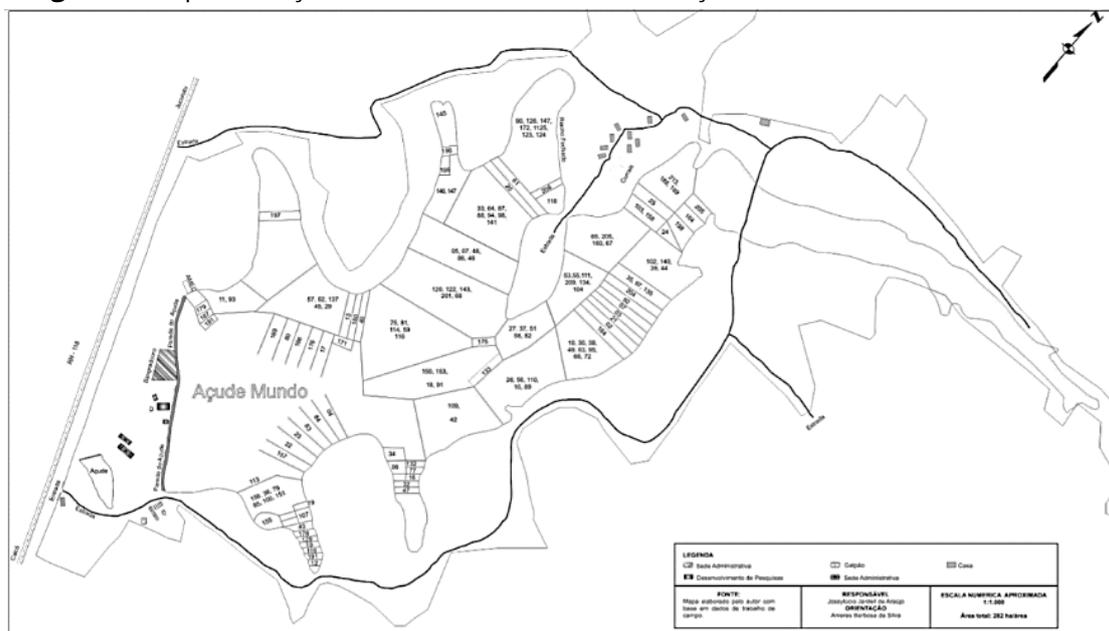
Trata-se do primeiro açude construído com recursos públicos federais em todo o estado do Rio Grande do Norte (ARAÚJO, 2008), onde em 1972 se possibilitou a instalação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); sendo essa mesma unidade transformada, ainda na década de 1980, na Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) onde atua até os dias atuais.

A construção desse açude também “significou a germinação da política das vazantes”, de modo a atender os flagelados da seca e levar o desenvolvimento da agricultura de subsistência (ARAÚJO, 2008, p.47) com a produção de milho, feijão, batata e jerimum, por exemplo, além da própria possibilidade de pesca.

Nesse contexto, Araújo (2008, p.103) ainda delinea importante mapeamento acerca do sistema de vazantes no açude Mundo Novo (Figura 3), de modo a destacar que a ocupação desses espaços “obedece ao ritmo e à movimentação das águas

do açude”. Uma marca das territorialidades existentes, até aquele momento, sem maiores conflitos.

Figura 3 - Espacialização do sistema de vazantes no açude Mundo Novo, em Caicó/RN



Fonte: Araújo (2008).

No ano de 2015, entretanto, é destaque no cenário regional a “invasão” de um grupo de aproximadamente cem pessoas na área da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), localizada no açude Mundo Novo em Caicó/RN. Sobre esse caso, o jornal Tribuna do Norte (2015) destaca a afirmação do gestor da unidade sobre o aviso prévio recebido por ele da polícia militar “antes mesmo da ocupação sobre as pretensões do MST”. Nesse caso, segundo é ainda acrescentado pelo gestor para tal ocupação “quebraram os cadeados dos portões de acesso à propriedade”.

O caso também foi alvo de conflito com a Associação Seridoense de Criadores (ASSERC) que na época ingressou com uma ação civil pública e de tutela inibitória com o objetivo de evitar possíveis invasões de propriedades rurais localizadas nas imediações da base da EMPARN, em Caicó/RN. Em resposta ainda segundo a referida reportagem:

Um dos líderes do MST, [...], disse que soube da existência de terras de propriedade da Emparn e Dnocs (Departamento Nacional de Obras Contra a Seca) e optaram por ocupar. “Mas cabe ao Inbra desapropriar essas terras para eles. Alguns têm casas, mas não tem terra para trabalhar ou criar os animais (TRIBUNA DO NORTE, 2015).

O processo de desocupação dessa área pelo MST foi logo em seguida determinado pela justiça estadual. De todo o modo, o território passa assim ser analisado a partir da técnica e a partir do desenvolvimento do uso da técnica no tempo e no espaço.

Ainda no município de Caicó/RN destaca-se a construção dos perímetros Itans, Sabugi I e Sabugi II. Esses surgem atrelados ou ‘possibilitados’ com o açude Itans (inaugurado ainda na década de 1930), relacionados aos projetos de desen-

volvimento regional e diante do surgimento ou da intensificação dos fluxos; perante a nova infraestrutura criada com às novas vilas, casas, armazéns em suas proximidades. Nesse caso, menciona-se também a construção da piscicultura “Estevão de Oliveira” no município de Caicó com produção aproximada de 10 bilhões de alevinos distribuídos entre os estados de Pernambuco, Paraíba, Ceará e o próprio Rio Grande do Norte – atualmente considerada a única do estado e uma das poucas do Nordeste em operação.

O atual município de Cruzeta/RN, por sua vez, após a construção do seu açude público municipal, recebeu por transferência as instalações da Estação Experimental do Seridó em 1930, cujo projeto é de autoria do então Senador da República, o seridoense José Augusto (GUERRA FILHO, 2001). Algo que vem a refletir, portanto, o poder político-econômico regional do Seridó nessa época e destacar mais uma vez o papel da açudagem no balizar de fixos e fluxos produtivos com suas devidas territorialidades.

Igualmente interessante, a presença de casas e balneários nas margens desses açudes, consideradas áreas de preservação permanente, entretanto, têm sido atualmente objeto de discussão, disputa e conflitos diversos. Embora tenham sido áreas potenciais à histórica ocupação humana, ao desenvolvimento das atividades de lazer, encontros e sociabilidades construídos ao longo do tempo, a permanência de toda uma infraestrutura nas margens de alguns açudes tem sido já a uma década alvo de disputa judicial e política.

Somente no açude Itans, em Caicó, por exemplo, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA), através da operação Rios Federais, acabou embargando desde o ano de 2012 os locais conhecidos como ‘Pelicano’, ‘Caicó late Clube’, ‘Colônia de Pescadores’, ‘Clube Caminhoneiro’, ‘ASDEC’ e ‘APUC’. Alguns desses foram construídos há mais de meio século, se tornando de grande afeição local, de lazer nos “períodos de inverno”. O ministério público federal ainda mantém a proibição de toda e qualquer atividade desenvolvida por esses empreendimentos. A força política regional tem atuado no sentido de agilizar a reabertura desses locais, mediante um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC), mas até o momento atual ainda ‘sem sucesso’.

Tais apontamentos surgem, portanto, mediante diferentes territorialidades e em conflito com uma base legal referente à demarcação das áreas de preservação permanente, junto a esses sistemas de engenharia e/ou ecossistemas. É desse modo, pois, que a paisagem e o conceito de território se imbricam numa problemática inerente ao desenvolvimento de atividades diversas junto à açudagem.

Embora tenham sido inicialmente pensados à luz do abastecimento humano e regional dessas cidades, os açudes acabaram incorporando perspectivas distintas ao longo do tempo – incluindo aquelas de lazer, sociabilidade e de normativas legais. É desse modo que tais reservatórios hídricos se caracterizariam, portanto, como verdadeiras rugosidades sobre o território potiguar, que em determinado período ou momento do passado perdeu a sua “função original” de maneira a exercer uma diferente função no espaço.

Neste sentido, Santos (2006, p.92) destaca ser o conceito de rugosidade aquilo que “fica do passado como forma, espaço construído, paisagem, o que resta do processo de supressão, acumulação, superposição, com que as coisas se substituem e acumulam em todos os lugares”. A forma cristalizada na paisagem diante o acúmulo desigual de tempos.

Atualmente, destaca-se ainda no Seridó a construção do complexo da Barragem das Oiticicas. Trata-se de um projeto idealizado ainda na década de 1950, mas só iniciado a partir de 2013, com a proposta da transposição do rio São Francisco.

Com capacidade total para aproximadamente 560 milhões de metros cúbicos de água, esse sistema de engenharia será o terceiro maior reservatório hídrico do estado potiguar.

De acordo com o seu 1º comunicado, a construção da Barragem Oiticica abrangerá uma área de aproximadamente 6.000ha, alagando e forçando territorialidades diversas junto às comunidades de Barra de Santana, povoado de Carnaúba Torta e sítios diversos entre os municípios de Jardim de Piranhas, São Fernando e Jucurutu. Essa área foi ainda posteriormente de sobremaneira aumentada, perante necessidades diversas do próprio projeto e pressão do Movimento dos Atingidos por Barragens (MAB), que também contou com o apoio da sociedade civil organizada. Silva e Santos (2017) pontuam o suporte dos sindicatos de trabalhadores e trabalhadoras rurais dos Municípios de Jucurutu, São Fernando e Jardim de Piranhas, da SEAPAC (Serviços de Apoio aos Projetos Alternativos Comunitários, da CODEPEME (Coordenadoria de Defesa dos Direitos dos Moradores da Barragem Oiticica, e da própria Igreja Católica.

O movimento foi organizado, principalmente, pelos moradores de Barra de Santana que foram os mais afetados diretamente com a inundação de sua comunidade. Em rela o aos conflitos e a organiza o observada, Silva e Santos (2017) destacam que:

Essas lutas foram tomando corpo especificamente a partir do ano de 2013, quando acontece a assinatura do termo para ordem de serviço no Governo da Presidente Dilma Rousseff (*sic*), dando início a constru o do reservatório. No início de 2014, as lutas dos atingidos e atingidas se torna mais intensa quando os agricultores percebem o avanço na obra física e o congelamento da obra social, interpretado por eles como omissão dos órgãos governamentais que deixaram de priorizar as questões relacionadas às indeniza es dos proprietários de terras, como também a constru o da nova comunidade.

Como a constru o e desocupa o das comunidades encontram-se em sua fase final, ainda não   clara as possíveis territorialidades a serem assumidas quanto   sua conclusão. Mas há de se perceber a grande potencialidade para o desenvolvimento regional, somado   disponibilidade de recursos naturais nas áreas de planície fluvial para a irriga o, da própria organiza o social provocada, entre outros que se desvelam em outros contextos a serem pensados e analisados com o tempo e as possibilidades.

Atualmente os comitês de bacia hidrográfica também se somam-se   constru o de narrativas diversas no e para o território, a fim de ser também agentes de debate e gestão dos conflitos internos de uma bacia hidrográfica.

Destarte, os reservatórios hídricos encontram-se ainda associados com dinamismo da economia e da sociedade – *pari passu* – incluindo de um lado a materialidade e, de outro, seus modos de organiza o e regula o do território.  , senão desse modo que para Guimarães Duque (1959) as solu es dos problemas da água deveriam de ser pensadas localmente, diante complexas e distintas interrela es sociais.

Considera es finais

A transforma o da paisagem natural a partir da açudagem se associa às necessidades sociais e econ micas junto aos diferentes territórios. A própria configu-

ração do que imaginamos como sendo natural, aparentemente, acaba não mais se configurando como tal, ao passo que o artificial cada vez mais se “naturaliza” quando incorporado à natureza.

Tratam-se, deste modo, de verdadeiros sistemas de engenharia que produzem complexas estruturas e movimentos socioespaciais no território; de acordo com as múltiplas intencionalidades e perspectivas, seu contexto econômico e necessidades sociais. O açude, por sua vez, se apresenta como uma possível rugosidade perante a coexistência de tempos e/ou perspectivas distintas na paisagem.

Torna-se de fundamental importância discutir então paralelamente as políticas e gestão dos recursos hídricos no Nordeste brasileiro, a questão do planejamento voltado para o uso e parcelamento do solo sobre a área de influência do empreendimento, de modo que estas estejam intrinsecamente associadas ou relacionadas com as políticas de desenvolvimento econômico e melhoria da qualidade de vida humana.

É urgente a necessidade de reflexão, planejamento e gestão muito além tão somente da gestão compartilhada das águas. Esse por si já é um grande desafio. Diante tal complexidade some-se ainda a necessidade urgente reflexão sobre a gestão compartilhada, o acesso e ao direito à terra. No semiárido brasileiro, e especificamente no Seridó potiguar, tal relação surgiria em meio à própria necessidade de subsistência básica dos menos favorecidos, do bem-estar social e do desenvolvimento regional.

Referências

- ALBINATI, R. C. B. Aquicultura em pequenos açudes no semiárido. **Revista Bahia Agrícola**, Salvador, v.7, n.2, p. 1 – 7. 2006.
- ARAÚJO, J. J.; Terra e trabalho: permanência de uma política pública na fazenda Mundo Novo, em Caicó-RN. 2008, **Dissertação** (Mestrado em Geografia), Centro de Ciências Humanas, Letras e Arte UFRN, 2008, 152p.
- BERTRAND, C.; BERTRAND, G. **Uma Geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades**. Maringá: Ed. Massoni, 2009.
- DUQUE, J. G. **Ligeiro estudo sobre irrigação no Nordeste**. Fortaleza: BNB, 1959.
- FARIA, O. L. **Os açudes dos sertões do Seridó**. Natal, Coedição Fundação José Augusto/Coleção Mossoroense, 1978.
- GUERRA FILHO, A. **O Seridó na Memória do seu povo**. Natal: DEI, 2001.
- GUERRA, O. A Batalha das Secas. In: ROSADO, Vingt-un, (org). **Memorial da Seca**. Brasília, Centro Gráfico do Senado Federal/ESAM. Coleção Mossoroense, 163, 1981
- GUERRA, P.; GUERRA, T. **Seccas contra a secca**. Fundação Guimaraes Duque, quarta edição, coleção mossoroense, 1909 [fac símile].
- MOLLE, F. **Marcos Históricos e Reflexões sobre a Açudagem e seu Aproveitamento**. Recife: SUDENE, DPG. PRN. HME, 1994.
- PEREIRA NETO, M. C. Perspectivas da açudagem no semiárido brasileiro e suas implicações na região do Seridó potiguar. **Revista Sociedade & Natureza**. Rio de Janeiro, v.29, n.2, 2017.

SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado**: fundamentos teórico e metodológico da Geografia. Hucitec. São Paulo, 1988.

SANTOS, M. O retorno do território. In: SANTOS, M.; SOUZA, M. A. A.; SILVEIRA, M. L. (org.). **Território**: globalização e fragmentação. São Paulo: Anpur/Hucitec: 1994. p. 15-20.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço**: técnica e tempo. Razão e Emoção. - 4. ed. 2. Reimpr. São Paulo, Hucitec, 2006.

SANTOS, M.; SILVEIRA, M. L. **O Brasil**: Território e Sociedade no Início do Século XXI. São Paulo, Editora Record, 2001.

SILVA, M. C.; SANTOS, J. S. **Água e conflito**: o movimento do(a)s atingido(a)s e a Barragem de Oiticica (Jucurutu/RN). Revista Geointerações. Assú, v.1, n.2, 2017.

SILVEIRA, M. L. Ao território usado a palavra: pensando princípios de solidariedade socioespacial. In: VIANA, A.L.A.V; IBAÑEZ, N.; ELIAS, P.E.M. (org.). **Saúde, desenvolvimento e território**. São Paulo: Hucitec., 2009.

TRIBUNA DO NORTE. Criadores do Seridó entram com ação para evitar invasões a propriedades, **Tribuna do Norte**. Natal, 02 de dezembro de 2015. Disponível em: <http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/criadores-do-serida-entram-com-aa-a-o-para-evitar-invasa-es-a-propriedades/331663>

CAPÍTULO 10

Políticas Públicas e Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Norte: ações governamentais em diferentes períodos

Adriano Lima Troleis,

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Brasil.
E-mail: adrianotroleis@gmail.com

Lucas Costa Rodrigues,

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Brasil.
E-mail: rodrigueslucas@hotmail.com

Bruno Lopes da Silva,

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Brasil.
E-mail: brunogeografialopes@gmail.com

As políticas públicas no contexto dos recursos hídricos

O presente capítulo discute as políticas públicas em diferentes contextos temporais concernentes à gestão dos recursos hídricos e às implementações e demandas de objetos técnicos sobre o semiárido nordestino, pondo em evidência o estado do Rio Grande do Norte (RN). Destacam-se, nesse contexto, os reservatórios, as adutoras e os poços e/ou cisternas, fundamentais no processo de desenvolvimento socioeconômico da população.

O contexto hídrico do semiárido nordestino e, por conseguinte, do estado do Rio Grande do Norte (RN), é historicamente deficitário: a seca, segundo José Campos (2014, p. 73), “passou a ser aceita como um problema”, ao passo que os envolvidos ao governo àquela época buscavam “escolher quais as políticas recomendadas para tornar a região menos vulnerável”, apenas em virtude da Grande Seca, ocorrida entre os anos de 1877 e 1879. “A solução encontrada neste período foi a construção de infraestruturas hidráulicas” (CAMPOS, p. 77), isto é, *A hidráulica da solução*.

Passados um pouco mais de um século, outros contextos relacionados às políticas públicas e à seca surgiram, tais como as questões habitacionais, logísticas e sustentáveis — tendência assinalada por Campos (2014) — pois, aludindo-se às secas, trata-se não “apenas ao fenômeno climático”, mas de “uma questão estrutural” (ANDRADE; NUNES, 2014, p. 35).

Dentro desse contexto, foram eleitas, como discussão teórica deste estudo, as categorias de território usado, configuração territorial, materialidades, normas e sistemas de engenharia de Milton Santos, além de duas propostas de periodização das “políticas de secas”.

A primeira, desenvolvida por José Campos (2014), trata do contexto geral do semiárido nordestino, onde, no período atual, iniciado em 1992, o Programa Água para Todos (PAPT) e o Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) são as principais diretrizes que norteiam as ações recentes de combate às secas na região, fundadas na vertente do desenvolvimento sustentável. Além dessas, destacam-se a “Operação Carro-pipa”, “Bolsa de Estiagem”, “Garantia-Safra”, “Linha de crédito emergencial” e as políticas de “Recuperação de poços” e “Abastecimento de milho para consumo animal” (ANDRADE; NUNES, 2014, p. 33) (BRASIL,

2020). A segunda proposta elaborada se volta exclusivamente, ao estado do Rio Grande do Norte (RN), cuja delimitação em três matrizes de periodização evidencia os diferentes momentos de instauração de materialidades técnicas.

Do ponto de vista normativo, a tendência do desenvolvimento sustentável nas “políticas de secas” é contemplada nos planos e programas presentes nos portais de transparência do Instituto de Gestão das Águas do estado do Rio Grande do Norte (IGARN, 2021) e do Instituto de Defesa do Meio Ambiente em Natal (IDEMA, 2021).

Na presente discussão a respeito das políticas públicas no cenário hídrico, enquanto introdução a elas, optou-se por tratá-las em um plano conceitual, promovendo assim um diálogo entre os autores Celina Souza, Francisco Heidmann, Campos e a leitura dessas políticas no campo da Geografia. Dentre as características em ênfase, tem-se, respectivamente: a) conceituação de “políticas públicas” proposta por Heidmann (2006 apud CAMPOS, 2014); b) sua visão holística, bem reiterada por Souza (2006); c) os elementos/partes integrantes desta perspectiva totalizadora, tanto no plano empírico (Estado, governo e sociedade) quanto, portanto, no entendimento de que essas políticas constituem um “objeto multidisciplinar”, conforme admite a compreensão de Souza (2006) e Campos (2014); d) as políticas públicas no âmbito da ciência geográfica e seu objeto: o espaço geográfico.

Ao definir políticas públicas, Souza (2006, p. 24) destaca que “não existe uma única, nem melhor definição” sobre elas. Assim, recorreu-se à conceituação de Heidmann (2006, p. 29 apud CAMPOS, 2014, p. 65), a saber: “políticas públicas são as ações, práticas, diretrizes fundadas em leis e empreendidas como funções de Estado por um governo, para resolver questões gerais e específicas da sociedade”.

No entanto, mesmo essa avaliação converge a uma tendência em que “as definições de políticas públicas assumem, em geral, uma visão holística do tema” (SOUZA, 2006, p. 25), onde “o todo é mais importante do que a soma das partes”, isto é, o conjunto total de elementos da realidade se sobressai a um só elemento/unidade, uno ou agregado.

Na perspectiva vista de Heidmann, os elementos mesclados são o Estado, governo, sociedade e, indicando totalidade, suas questões gerais e específicas. Dessa maneira, as políticas públicas são vistas como um objeto multidisciplinar de discussão, o qual “torna-se território de várias disciplinas, teorias e modelos analíticos”, assim, “embora seja formalmente um ramo da ciência política, a ela não se resume, podendo também ser objeto analítico de outras áreas do conhecimento” (SOUZA, 2006, p. 26).

Nesse contexto, a geografia, destacada no material de Souza (2006, p. 25), é uma dessas ciências que “têm contribuído para avanços teóricos e empíricos” das discussões e pesquisas concernentes às políticas públicas. Através de seu objeto, o espaço geográfico, é possível fazer uma gama de leituras espaciais a respeito dessas ações, práticas e diretrizes, pois, aqui, essa forma de espaço é entendida como a “totalidade verdadeira” (SANTOS, 2014, p. 85), cujo domínio abarca todas as demais categorias geográficas, inclusive o território, foco deste trabalho.

Para Milton Santos (2011, p. 14, grifo do autor), “o território tem que ser entendido como o *território usado*, não o território em si”. Segundo o autor, “O território são formas, mas o território usado é objetos e ações, sinônimo de espaço humano, espaço habitado” (SANTOS *et al.*, 1998, p. 16). Assim, a sociedade, transformando o meio a partir de suas necessidades e intencionalidades, é fator

e elemento imprescindível no território usado, em função de ser o produtor das ações que ocorrem neste.

Portanto, o território usado é uma realidade relacional entre os objetos naturais, objetos geográficos e a sociedade; natureza, materialidades e homem; trabalho morto e trabalho vivo. Trata-se de “um conjunto indissociável de sistemas de objetos e de sistemas de ações” (SANTOS, 2008, p. 12), em que o primeiro impele ao último, condicionando-o. Destarte, o arranjo de estruturas técnicas (objetos geográficos) — dentre elas, adutoras e reservatórios — relacionado à manipulação dos recursos hídricos (objetos naturais) faz-se fundamental, isto é, “impele” à intervenção e às ações humanas alicerçadas em uma gama de políticas com vista a atender às demandas da população residente que, no caso do semiárido nordestino, é coagida pelas secas.

Na linha de entendimento de Santos (2008, p. 321), o objeto geográfico/artificial, também intitulado de materialidade, é definido como um “[...] componente imprescindível do espaço geográfico, [...] é, ao mesmo tempo, uma condição para a ação; uma estrutura de controle, um limite à ação; um convite à ação”. Essas materialidades, no que se refere às políticas públicas voltadas à captação da água e à distribuição para o consumo, têm grande relevância, visto que, ao serem incorporadas no território usado, trazem modificações estruturantes para o uso de um recurso natural, mediante as políticas públicas.

Por esse ângulo, uma categoria interna central que está relacionada com este capítulo é a de configuração territorial, ao qual difere ao território usado outrora discutido. De acordo com Santos (2014, p. 85), a configuração territorial pode ser entendida partindo-se do conjunto de elementos naturais e artificiais presente no território usado. Este último “seria o conjunto do trabalho morto (formas geográficas)” e, diferentemente da primeira, “do trabalho vivo (o contexto social)” (SANTOS, 2014, p. 79).

A constelação de recursos naturais, “lagos, rios, planícies, montanhas e florestas”, e de recursos criados, “estradas de ferro e de rodagem, condutos de toda ordem, barragens, açudes, cidades, o que for”, expressa a totalidade das formas, isto é, a configuração territorial. O conjunto desses fixos, “naturais e sociais, forma sistemas de engenharia”, estes que, vistos isoladamente, se definem basicamente “como o conjunto de instrumentos de trabalho agregados à natureza” (SANTOS, 2014, p. 87-88).

Dessa maneira, é possível afirmar que há uma ordem territorial constituída pelo arranjo espacial dos objetos, responsável pela emergência do conceito de “território como norma”. Ou seja, “hoje o território é também uma norma, em função da racionalidade da produção do próprio espaço, de sua dependência técnica” (SANTOS, 1994, p. 3).

O território usado também é admitido como “normado”. Entendido do ponto de vista político, tal território pode ser definido como a “jurisdição de um Estado, a projeção espacial de sua soberania e de sua autoridade” (CATAIA, 2011, p. 117). Trata-se de um espaço submetido a uma lei e a um poder jurídico, que fundamenta a atuação dos Estados nacionais.

Aqui, atrela-se a definição de território político proposta por Gottmann (2012, p. 523), qual seja: “uma porção do espaço geográfico que coincide com a extensão espacial da jurisdição de um governo. Ele é o recipiente físico e o suporte do corpo político organizado sob uma estrutura de governo”. Em relação às leis que normatizam o território, Santos (1994, p. 3) considera que “dentre as formas sociais existentes, a forma jurídica é a única que detém, do ponto de vista legal, força para estabelecer comportamentos e sanções”.

Nessa lógica, a aglomeração de normas, isto é, planos, programas e projetos, a saber: Programa Água para Todos (PAPT), Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), Água Azul, Água Nossa, Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA), Pacto Nacional pela Gestão das Águas (PROGESTÃO) e IGARN Itinerante (IGARN, 2021), tal como o Plano de Gestão Ambiental Compartilhada, Programa Estadual de Monitoramento e Fiscalização Ambiental Aéreo (PEMFAA) e Monitoramento da Qualidade das Águas dos Rios Jundiá e Potengi (IDEMA, 2021) no cenário do RN. Em síntese, todas essas normas, no semiárido nordestino e/ou no RN, assim como as materialidades ou estruturas técnicas concernentes aos recursos hídricos, têm como papel central ser um meio, ou empecilho, às ações ambiciadas e intencionadas de gestão, desenvolvimento e segurança hídrica.

Portanto, as materialidades e as normas — elementos da configuração territorial — voltadas às políticas públicas, têm como meta aproveitar os recursos naturais em proveito da sociedade. À vista disso, Luiz Venturi (2005, p. 13) define “recurso natural” como “qualquer elemento ou aspecto da natureza que esteja em demanda, seja passível de uso ou esteja sendo usado pelo Homem, direta ou indiretamente como forma de satisfação de suas necessidades físicas e culturais em determinado tempo e espaço”.

Paralelamente, as políticas públicas concernentes à construção de sistemas de engenharia, por exemplo, “após desenhadas e formuladas”, segundo Souza (2006, p. 26), “desdobram-se em planos, programas, projetos, bases de dados ou sistema de informação e pesquisas” e, “quando postas em ação, são implementadas, ficando daí submetidas a sistemas de acompanhamento e avaliação”. Portanto, é nessa perspectiva que este trabalho tem a finalidade de expô-las e avaliá-las brevemente, pois entende-se que a água é um recurso natural e bem primordial para existência de diversas atividades humanas, mas que depende de infraestruturas (fixos) e técnicas eficientes para sua captação e uma melhor distribuição para as populações, tal qual de normas que prescrevam e regulem a construção dessas materialidades e forneça, ao mesmo tempo, o “convite” e os limites das ações relativas ao domínio e proveito dos recursos hídricos.

As políticas públicas de recursos hídricos voltadas para o semiárido.

A água enquanto recurso se mostra de maneira escassa no território brasileiro, especialmente na região denominada de semiárido, cujas secas impactam severamente às populações residentes. No caso do semiárido brasileiro, a delimitação atual “abrange cerca de 1.135 municípios inseridos nos estados nordestinos (exceto o Maranhão), e inclui os do extremo norte e nordeste do estado de Minas Gerais” (ANDRADE; NUNES, 2014, p. 28). Segundo Jucilaine Andrade e Aparecida Nunes (2014, p. 28), os critérios para os municípios fazerem parte do semiárido, são:

- Precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros;
- Índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990;
- Risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990 (BRASIL, 2005, p. 03).

Além de precipitação média anual ser baixa em todo o semiárido, outras características hidrológicas marcantes desta região são: “a evapotranspiração potencial acima de 2 mil milímetros; a existência de rios, em sua maioria, intermitentes; e eventos hidrológicos extremos frequentes (escassez e excesso de chuvas concentradas em poucos meses)” (CASTRO, 2011, p. 7).

Verifica-se que, “em média, ocorre um ano seco para cada cinco anos de chuvas normais” (CASTRO, 2011, p. 7), isto é, o regime de precipitações na região tem uma notável variabilidade temporal, ao passo que, também, há uma variabilidade espacial significativa quando, em um mesmo período, chove acima da média em uma parte do semiárido e abaixo da média em outra, por exemplo.

A escassez de água nessa região, ademais, é provocada por condições edáficas, climáticas e pluviais irregulares, de modo que grande parte dos rios escoam água de três a quatro meses durante o ano e permanecem secos durante os meses seguintes, sendo chamados de intermitentes (SANTANA FILHO, 2007).

Devido às questões climáticas apontadas, Aziz Ab'Saber (2005) afirma que planos, programas, projetos etc. dessa ordem envolvem a necessidade obrigatória do conhecimento da dinâmica climática regional do Nordeste, cuja “área, que é de 1.219.000 km², equivale a aproximadamente um quinto da superfície total do Brasil, abrangendo nove estados”, a saber: Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. Neles, “vivem 18,5 milhões de pessoas, dos quais 8,6 milhões estão na zona rural” (CIRILO *et al.*, 2007, p. 33 apud. CIRILO, 2008, p. 62).

As consequências socioeconômicas das secas sobre a população ali assentada são intensas e variadas: as atividades econômicas em geral e, conseqüentemente, a geração de emprego e renda dessas pessoas, são prejudicadas “devido às vicissitudes climáticas do Semiárido” (CASTRO, 2011, p. 07). “As políticas públicas de secas”, no entanto, “somente iniciaram após o governo reconhecê-las como problema nacional e agir no sentido de solucioná-las”. “Isso só aconteceu”, conclui Campos (2014, p. 65), “com a tragédia e repercussão mundial da Grande Seca de 1877 a 1879, quando morreram centenas de milhares de pessoas”.

A partir de então, iniciaram-se medidas concretas de combate à seca, em que seu ponto inicial (até 1958) foi o “paradigma da construção de reservatórios” (CAMPOS, 2014, p. 77). Depois, discussões relativas ao desenvolvimento regional (1959-1991), impulsionados por Celso Furtado, e, após a emergência da Agenda 21, políticas sustentáveis e sociais (1992-) tornaram-se presentes.

Nessa lógica, com a finalidade de apresentar “uma nova proposta de periodização das políticas de secas desenvolvida no contexto dos Recursos Hídricos e associada aos paradigmas e pensamentos de intelectuais marcantes na formulação das políticas” (CAMPOS, 2014, p. 66), o autor dividiu essas “políticas de secas” e seus contextos em cinco períodos: 1) defrontando-se com as secas; 2) a busca do conhecimento; 3) a hidráulica da solução; 4) a busca do desenvolvimento regional; 5) a gestão de águas e o desenvolvimento sustentável. À exceção do último período (1992 - aos dias atuais), tratado isoladamente nos parágrafos posteriores deste trabalho, o (Quadro 1) resume-os:

Quadro 1 - Resumo das “políticas de secas” ocorridos em quatro períodos da história do Brasil, de 1583 a 1991, com base na proposta de periodização de José Campos (2014)¹

Período	Evento	Resumo
Período 1 (1583-1848)	Defrontando-se com as secas	“Na fase do Brasil Colônia, os governantes, reis de Portugal, não tinham como objetivo buscar soluções para problemas das populações do Nordeste. Dessa forma, não havia formulação de políticas públicas. ” (CAMPOS, 2014, p. 69, grifo nosso). Por esse motivo, este período é caracterizado unicamente pelo defrontamento da população às secas no semiárido nordestino. É nesse contexto que foram elaborados os registros primários desse fenômeno na região, cujo primeiro deles na história do Brasil “é devido ao padre jesuíta Fernão Cardim, que chegou ao Brasil em 1583 em companhia do jesuíta visitante padre Cristóvão Gouvêa” (CAMPOS, 2014, p. 67). Essas secas, em resumo, relatadas no século XVI até meados do século XVII, “referem-se, principalmente, aos impactos nas áreas litorâneas nas culturas de cana, mandioca, milho e pecuária de gado bovino” (CAMPOS, 2014, p. 66). De qualquer modo, “o período de defrontamento com as secas mostrou que a região era extremamente vulnerável” (CAMPOS, 2014, p. 69).
Período 2 (1849-1877)	A busca do conhecimento	Neste período, em contraste ao anterior, destaca-se, principalmente, a busca do conhecimento sobre às secas. Segundo Campos (2014, p. 69, grifo nosso), o “marco considerado como início da busca do conhecimento se dá em 15 de dezembro de 1849, quando o imperador Pedro II abriu o Paço Imperial para as sessões do Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro (IHGB) ”. Nesse momento, “houve um verdadeiro duelo de inteligências” entre intelectuais da época, a saber: Raja Gabaglia, Guilherme de Capanema Viriato de Medeiros, e Henrique Beaurepaire-Rohan. “Para Raja Gabaglia e Capanema”, afirma Campos (2014, p. 73), “o Ceará era formado de terras férteis e população perdulária”, em contrapartida, “para Rohan e Viriato de Castro, terras frequentemente castigadas e população sofredora”. No fim, a Grande Seca de 1877 a 1879 “pode ser considerada como o fato histórico que decidiu o debate em favor de Rohan e Viriato”. A partir de então, conclui Campos (2014, p. 73, grifo nosso), “ a seca passou a ser aceita como um problema e buscavam-se escolher quais as políticas recomendadas para tornar a região menos vulnerável”, ao passo que debatiam, também, “quais ajudas deveriam ser dadas às populações impactadas e quais os custos que o governo deveria arcar”.
Período 3 (1877-1958)	A hidráulica da solução	A solução encontrada neste período foi a construção de infraestruturas hidráulicas , tais como reservatórios, grandes médios e pequenos, cuja finalidade não era ser uma solução definitiva, ao contrário, “ era tornar a região menos vulnerável às secas ”. À vista disso, Campos (2014, p. 77, grifo nosso): “não se pode dizer que os intelectuais da formulação das políticas tinham a ilusão de que a construção de açudes, por si só, fosse capaz de acabar com as secas”. A explicação lógica para a priorização e adoção dessas infraestruturas nesse início de formulação de políticas públicas dirigidas ao combate às secas é que “sem água não há civilização [...]. É impossível uma sociedade moderna se desenvolver em um ambiente hidrológicamente tão desfavorável como esse” (CAMPOS, 2014, p. 78). Este foi o pensamento não só dos intelectuais e técnicos brasileiros neste período, mas também predominante “no oeste dos Estados Unidos e norte da Austrália” (CAMPOS, 2014, p. 78), em que açudes foram instalados para compensar as adversidades climáticas.

Período 4 (1959-1991)	A busca do desenvolvimento regional	<p>“No ano 1958 aconteceu uma das secas mais intensas da história climática do Nordeste [...]. Buscou-se então repensar as políticas públicas contra as secas” (CAMPOS, 2014, p. 78). Em razão disso, foi realizado o Seminário para Desenvolvimento Econômico do Nordeste no município de Garanhuns (PE), de 26 de abril a 3 de maio de 1959. Nessa circunstância, ocorreu a criação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (Sudene), cujo primeiro superintendente era Celso Furtado. “Ele inseriu no debate a questão estrutural da posse da terra e das desigualdades regionais” (CAMPOS, 2014, p. 80). Além disso, “O fortalecimento de instituições federais, como a Sudene, foi fundamental para as novas políticas da região” (CAMPOS, 2014, p. 80). Com a Constituição de 1988, em suma, “os estados começam a ter maior importância no arcabouço institucional e na formulação de políticas de mitigação das secas” (CAMPOS, 2014, p. 80). Paralelamente, começou-se, nesse período, há se ter no cenário nacional inflexões oriundas do debate internacional “em termos de desenvolvimento sustentável e o desenvolvimento de uma política de gestão de águas” (CAMPOS, 2014, p. 80).</p>
-----------------------	-------------------------------------	--

Fonte: Adaptado de José Campos (2014).

Nota: ¹À exceção do último período (1992-2021) por ele apresentado, tratado isoladamente a seguir.

Consoante ao (Quadro 1), o *Período 1* (1583-1848) diz respeito ao momento em que houve os primeiros registos do defrontamento da população colonial do semiárido nordestino com as secas. Estas entravam em conflito com a atividade agropecuária da região. O *Período 2* (1849-1877) é caracterizado pela busca de conhecimento referente às secas, cujo marco é a construção do Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro (IHGB), onde intelectuais (sobretudo, Gabaglia, Medeiros e Beaurepaire-Rohan) debatiam potenciais medidas para conter esse fenômeno climático.

Somente a partir da emergência da Grande Seca (1877-1879) que se desenvolvem as primeiras políticas públicas (medidas concretas) frente às secas. Essas políticas centravam-se na edificação de materialidades hidráulicas, principalmente reservatórios. Trata-se, logo, do *Período 3* (1877-1958). Com o passar do tempo, novas formas de se fazer e fomentar políticas foram surgindo e acrescentando-se à *hidráulica da solução*. No *Período 4* (1959-1991), com a criação da Sudene e a eclosão da importância do desenvolvimento regional por seu superintendente, Furtado. Já nos tempos atuais— a partir da conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), realizada no ano de 1992 no Rio de Janeiro—foi inserida a questão do desenvolvimento racional: sustentável, social e habitacional, sendo o *Período 5* (1992-aos dias atuais), último da proposta de Campos (2014), cujos parágrafos subjacentes tratarão.

Na CNUMAD, ponto de partida para o contexto atual de “políticas das secas”, também conhecida como Eco-92 ou Rio-92, as ações “de gerenciamento das águas e do desenvolvimento sustentável foram concebidas em um contexto mundial de reação da sociedade aos desastres ambientais ocorridos na segunda metade do século XX”, destarte, “o tema meio ambiente entra em pauta em várias dimensões, como: as mudanças e variabilidades climáticas; a desertificação e a gestão racional das águas” (CAMPOS, 2014, p. 80).

Nesse mesmo evento, marco dessa época, foi formulada a Agenda 21 que sintetizava muitos “pensamentos decorrentes de análises de especialistas, técnicos e políticos do mundo ao longo dos séculos”, proporcionando “um documento validado mundialmente para a adoção de políticas relacionadas às secas” (CAMPOS, 2014, p. 84).

No atual período, “As instituições”, no geral, “evoluíram muito no conhecimen-

to sobre a gestão dos estoques de água nos açudes”, ao passo que “A transposição do rio São Francisco se constitui, talvez, na última grande obra de infraestrutura hídrica para fortalecimento da oferta de água” (CAMPOS, 2015, p. 85). Portanto, é sobre esta iniciativa, atrelada ao contexto geral de semiárido nordestino, que o texto se dirige agora. Posteriormente será tratada a discussão a respeito do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), especificamente relacionada ao estado do Rio Grande do Norte (RN).

Para a região Nordeste, o Rio São Francisco é considerado um dos principais recursos naturais que contribuem com o seu desenvolvimento, devido a sua importância para a agricultura e o aproveitamento da sua força para a geração de energia. Ao longo desse rio, foram realizados diversos empreendimentos de construção de usinas hidrelétricas, como as de Sobradinho, Xingó e Paulo Afonso, além de grandes projetos de irrigação, a exemplo dos localizados na região de Petrolina e Juazeiro (CHESF, 2018). Apresentando-se como mais uma iniciativa de intervenção no rio, o PISF é considerado a mais relevante iniciativa do governo federal dentro da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), compreendendo um projeto de grande escala que vem sendo executado no cenário nacional desde o ano de 2007 até os dias atuais (2021).

Ademais, o PISF abrange parte do Semiárido nordestino e visa fornecer segurança hídrica para abastecimento de cerca de 12 milhões de pessoas em 390 municípios nos estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, (BRASIL, 2017b). O PISF é, portanto, um exemplo de uma decisão política que afeta uma escala considerável nessa área: a política transformada em materialidade torna-se condição para a chegada do recurso tão discutido e necessário para as populações da região do Semiárido nordestino, isto é, a água.

Contudo, Cirilo (2008, p. 80) aponta que, “para torná-la efetivamente útil para as populações a serem beneficiadas, muito planejamento é requerido”, logo, no PISF, três ações principais cabíveis são ressaltadas:

- “As questões operacionais do projeto devem ser mais estudadas, com a visão mais global de integração das fontes existentes e os cenários das esperadas mudanças climáticas. Questões como redução de perdas de condução de água e efficientização dos usos, principalmente na irrigação, onde os consumos são maiores, devem ser bem analisadas no projeto”;
- “Também precisam ser bem estudados os aspectos como distribuição da terra, cultivos a serem irrigados, infra-estrutura complementar e logística de escoamento de produção, pois a experiência de produção agrícola no Nordeste comprova que não é só a falta de água que compromete o desenvolvimento regional”;
- “Da mesma forma, os projetos já implantados ou previstos, na própria bacia do Rio São Francisco, necessitam ser estudados sob uma visão sistêmica e de futuro, porque são grandes as pressões sobre os recursos hídricos na bacia e muitas as potencialidades de conflitos de uso: particularmente no tocante à irrigação, há muito mais áreas que podem ser irrigadas que efetivamente água para isso”.

Além da Transposição do Rio São Francisco, outras políticas públicas relativas aos recursos hídricos têm sido empreendidas. Semelhantemente às secas do século XX, as quais culminaram na Rio-92 e, conseqüentemente, na Agenda 21, a seca de 2012 se destacou como uma das piores dos últimos anos. Nesse cenário, reitera

Andrade e Nunes (2014, p. 32, grifo do autor): “O plano de ações elaborado pelo governo federal para enfrentar o problema consistiu em realizar algumas políticas consideradas estruturantes e uma série de ações emergenciais”; “No âmbito das medidas estruturantes, o plano se pautou na execução de ações do *Programa Água para Todos*”, como também na “realização de obras de infraestrutura hídrica, como a construção de barragens, de canais, de adutoras” e mesmo a integração do Rio São Francisco. O Quadro 1, extraído do material de Andrade e Nunes (2014), representa as ações emergenciais e seus respectivos orçamentos para o combate à seca de 2012:

Quadro 2 - Ações emergenciais e orçamentos para o enfrentamento das secas em 2012.

Ações	Valor R\$ (milhões)	Descrição
Operação Carro-pipa	164,6	Previsão de utilização de 3.360 carros-pipa. O Ministério da Integração é responsável pela logística.
Recuperação de poços	60	Previsão de 2.400 poços a serem recuperados em todos os estados Semiárido e mais o Maranhão.
Garantia safra	500	Benefício de R\$680,00 a ser pago em 5 parcelas para os agricultores familiares que se enquadrem nos critérios previamente estabelecidos.
Bolsa estiagem	200	Benefício de R\$400,00 a ser pago em 5 parcelas para os agricultores familiares que se enquadrem nos critérios previamente estabelecidos.
Crédito rural	1.000	Três linhas de crédito para agricultores familiares ou para empreendedores individuais, empresas individuais, cooperativas e outros.
Antecipação das metas do <i>Programa Água para Todos</i> ,	799	Adiamento de parcelas e de recursos para novos convênios e aditivos com os estados para a construção de cisternas.
TOTAL	2.723,60	

Fonte: Andrade e Nunes (2014, p. 33).

O Programa Água para Todos (PAPT), um dos enfoques desta pesquisa, foi instituído pelo Decreto Federal nº 7.535 de julho de 2011 “com a finalidade de promover a universalização do acesso à água em áreas rurais para consumo humano e para a produção agrícola e alimentar”, cujo Semiárido brasileiro “é o principal foco de atuação, pois a região ainda possui uma grande quantidade de pessoas com acesso precário à água e em situação de vulnerabilidade social” (ANDRADE; NUNES, 2014, p. 33).

O PAPT consiste, basicamente, na promoção de tal universalização por intermédio da implementação de infraestruturas hídricas: “os barreiros (micro e pequenas barragens); as cisternas para a produção; os sistemas coletivos de abastecimento; e as cisternas para captação da água de chuva” (ANDRADE; NUNES, 2014, p. 33).

As duas primeiras materialidades têm como fim o fornecimento de água para a produção agropecuária, enquanto os sistemas coletivos e as cisternas para captação da água de chuva, o fornecimento dela para consumo humano. “A meta principal está relacionada com a implantação de cisternas para captação da água de chuva” (ANDRADE; NUNES, 2014, p. 33). Essas cisternas têm capacidade de armazenamento de até 16 mil litros de água. Segundo Andrade e Nunes (2014, p. 43), o Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS) “considera que tal volume é suficiente para que uma família de até cinco pessoas utilize a água para consumo humano por até 240 dias de seca – 8 meses é o período médio sem chuvas na região”.

Dessa forma, cada pessoa poderá consumir até 13,3 litros de água por dia, sabendo-se que “O consumo prioritário elencado pelo MDS deve ser para escovar os dentes, para cozinhar e para beber” (ANDRADE; NUNES, 2014, p. 43). Além disso, “para que a cisterna armazene o volume máximo de água, é necessário que a precipitação anual alcance o volume de 400 mm, e que o domicílio possua um telhado com área de pelo menos 40m²” (ANDRADE; NUNES, 2014, p. 34).

No entanto, este é o problema: “é passível de existir domicílios que não possuem telhados nessas condições” (ANDRADE; NUNES, 2014, p. 35). Assim, em determinados anos, aqueles em que a pluviosidade anual fica muito abaixo do mínimo, as necessidades mínimas da população, sejam elas de abastecimento humano, como também utilização para agricultura ou dessedentação animal, não conseguem ser supridas de maneira satisfatória.

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CORREIA, 2011), a precipitação pluviométrica, no contexto Semiárido nordestino, tem como uma de suas características a variabilidade espaço-temporal. Nesse documento, a partir de dados obtidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010 *apud* CORREIA, 2011) e Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1990 *apud* CORREIA, 2011), foi apresentada a climatologia da precipitação sobre o Nordeste do Brasil e, portanto, o Semiárido nordestino. No geral, no litoral leste, tem-se valores superiores à 1.000 mm, enquanto, ao adentrar o Semiárido nordestino, a precipitação pluviométrica média varia, principalmente, de 500 a 800 mm (EMBRAPA, 2011).

Além das ações emergenciais e dados orçamentários relativos à 2012, demonstrados no Quadro 1, em 2020, especificamente, o Governo Federal, representado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), liberou R\$ 2,7 bilhões “para que os sertanejos tenham melhores condições de conviver com a seca” (BRASIL, 2020). Segundo o documento oficial emitido,

As medidas abrangem ações como a implantação de cisternas, reforço da distribuição de água por carro-pipa, recuperação de poços, auxílio financeiro emergencial (Bolsa Estiagem), antecipação dos pagamentos do Programa Garantia-Safra, apoio à atividade econômica por meio de linha especial de crédito e a venda de milho para alimentação animal a preços subsidiados. (BRASIL, 2020).

Outra ação emergencial é a Operação Carro-pipa “e conta com 3 mil veículos para levar água às áreas e cidades mais afetadas”, ao passo que houve a construção, até o período de publicação (28/04/2020), de 111 mil cisternas “para armazenar água dos caminhões-pipa e das chuvas” (BRASIL, 2020). Além deles, destacam-se as ações emergenciais:

- **Bolsa de Estiagem:** de acordo com o Governo Federal (2020), trata-se de “um auxílio financeiro emergencial pago aos agricultores familiares enquadrados nos critérios do benefício”. São critérios:
 - residir em município em Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública, cujo reconhecimento pelo Poder Executivo Federal tenha ocorrido entre 1º de janeiro e 31 de outubro de 2012;
 - ser agricultor familiar com Declaração de Aptidão ao Pronaf (DAP); caso seja agricultor familiar e não tenha feito a DAP, deve consultar o órgão competente do seu município para a emissão da Declaração;

- possuir renda familiar mensal média de até 2 (dois) salários-mínimos, em conformidade com a Lei 10.954/2004;
- estar cadastrado no Cadastro Único para Programas Sociais do Governo Federal (CadÚnico); caso não esteja cadastrado, deve procurar a prefeitura do seu município para se cadastrar;
- não ter aderido ao Programa Garantia Safra 2011/2012. (BRASIL, 2020).

“Cada família beneficiada receberá”, em suma, “o valor total de R\$ 400 transferidos em cinco parcelas mensais de R\$ 80”.

- **Garantia-Safra:** é, como a Bolsa de Estiagem, um auxílio; neste caso, “São contemplados agricultores, com renda de até 1,5 salário-mínimo, de municípios com perda verificada de ao menos 50% da produção” (BRASIL, 2020). O valor total de repasse é de R\$ 680,00, “este montante é dividido em cinco parcelas” e seu pagamento ocorre “por meio de cartão eletrônico da Caixa Econômica Federal” (BRASIL, 2020).
- **Abastecimento de milho para consumo animal:** refere-se a milhos cujos preços são subsidiados pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab).
- **Linha de crédito emergencial:** foi disponibilizado, através do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE), R\$ 1.000.000.000 (bilhão) para “concessão de crédito de investimento, capital de giro e custeio agrícola e pecuário para produtores rurais, comerciantes, prestadores de serviços, empresas agroindustriais e industriais prejudicadas pela estiagem na área de atuação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (Sudene)” (BRASIL, 2020). Ainda segundo a publicação (BRASIL, 2020), “O limite de crédito varia de R\$ 12 mil a R\$ 100 mil, com juros de até 3,5% ao ano”, aos quais os beneficiados serão os “empreendimentos localizados em municípios com decretos de Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública reconhecidos pela Secretaria Nacional de Defesa Civil, a partir de 1º de dezembro de 2011”.

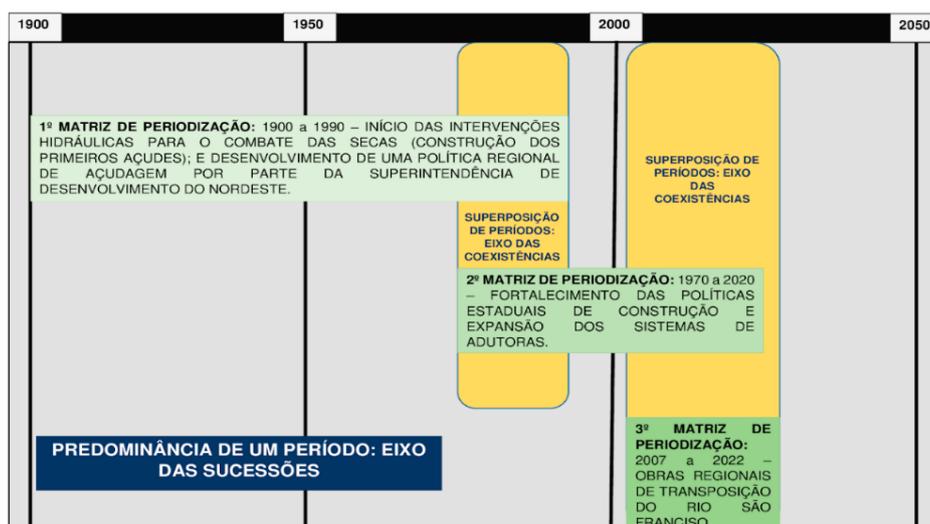
Assim, esta seção (2) abordou as políticas públicas de recursos hídricos referentes ao semiárido nordestino; expôs os critérios para as áreas serem consideradas de semiaridez, conforme os elucidou Andrade e Nunes (2014); contextualizou à periodização das “políticas de secas” de Campos (Quadro 1), detalhando algumas políticas públicas inclusas no seu decorrer como o PISF; além de destacar ações emergenciais do Governo Federal, por meio do MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, constadas em documento oficial (Bolsa de Estiagem, Garantia-Safra etc.).

A próxima seção (3) centrará a discussão das materialidades técnicas e suas características relativas aos recursos hídricos do estado do Rio Grande do Norte (RN). Propõe-se uma matriz de periodização das obras hidráulicas construídas no RN (Figura 1), assim como, discute-se sobre os principais reservatórios deste estado, os dividindo em regiões geográficas (A, B, C, D, E e F) (Figuras 2 a 8).

Periodização das ações governamentais voltadas para os recursos no Rio Grande do Norte (RN): aspectos técnicos e políticos

Considerando como estudo de caso as obras de segurança hídrica realizadas no Rio Grande do Norte (RN), ao longo da história, foram definidas três matrizes de periodização, nas quais há demarcação de períodos com materialidades técnicas e arranjos políticos específicos, como mostra a Figura 1:

Figura 1 - Matriz de periodização das obras de segurança hídrica no estado do Rio Grande do Norte (RN).



Fonte: Elaborado pelos autores, baseando-se em Campos (2014), Macedo (2020) e Rodrigues (2020).

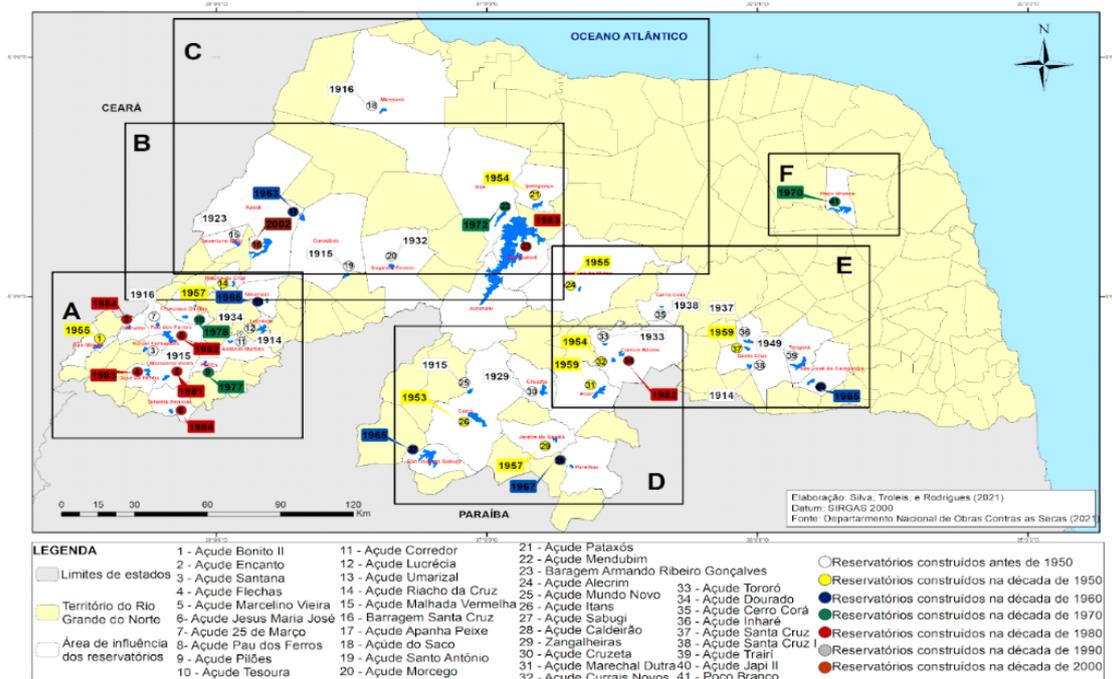
Logo, consoante à Figura 1, a primeira matriz de periodização corresponde ao período compreendido entre 1900 e 1990, caracterizado pelo início das intervenções hidráulicas para o combate às secas, no qual houve a construção de reservatórios e o desenvolvimento de uma política regional de açudagem, por meio de órgãos federais. A segunda matriz, por sua vez, abrange o período de 1970 a 2020, em que houve o fortalecimento de uma política estadual de expansão dos sistemas de adutoras, com a construção de novos ramais no território potiguar, levando água para diversos municípios que não possuíam autossuficiência nos seus sistemas de abastecimento. Um fato que chama atenção nesta matriz é que parte de sua constituição temporal está circunscrita na primeira matriz, ou seja, trata-se de duas políticas que se superpõem em um dado momento do tempo.

Cabe ressaltar que, se há, por um lado, concomitância de eventos, sistemas técnicos ou políticas, há, por outro lado, no espaço geográfico, a identificação de sistemas particulares do acontecer social, onde há a predominância de um período específico, que é o eixo das sucessões (SANTOS, 2006). No caso das obras de segurança hídrica, o eixo das sucessões que mais predominou, em termos temporais, foi justamente a primeira matriz de periodização, concernente à política de açudagem, a qual permaneceu como sistema técnico predominante por mais de 70 anos.

Para se compreender de forma mais detalhada as relações de coexistência e sucessão entre as três matrizes de periodização, é preciso que se faça uma análise de seus respectivos conteúdos técnicos e políticos. Assim, em cada uma dessas matrizes, é necessário que se compreenda quais atores estavam e ainda hoje estão envolvidos; quais os órgãos públicos ou privados responsáveis pelo delineamento das políticas e as características das materialidades técnicas construídas.

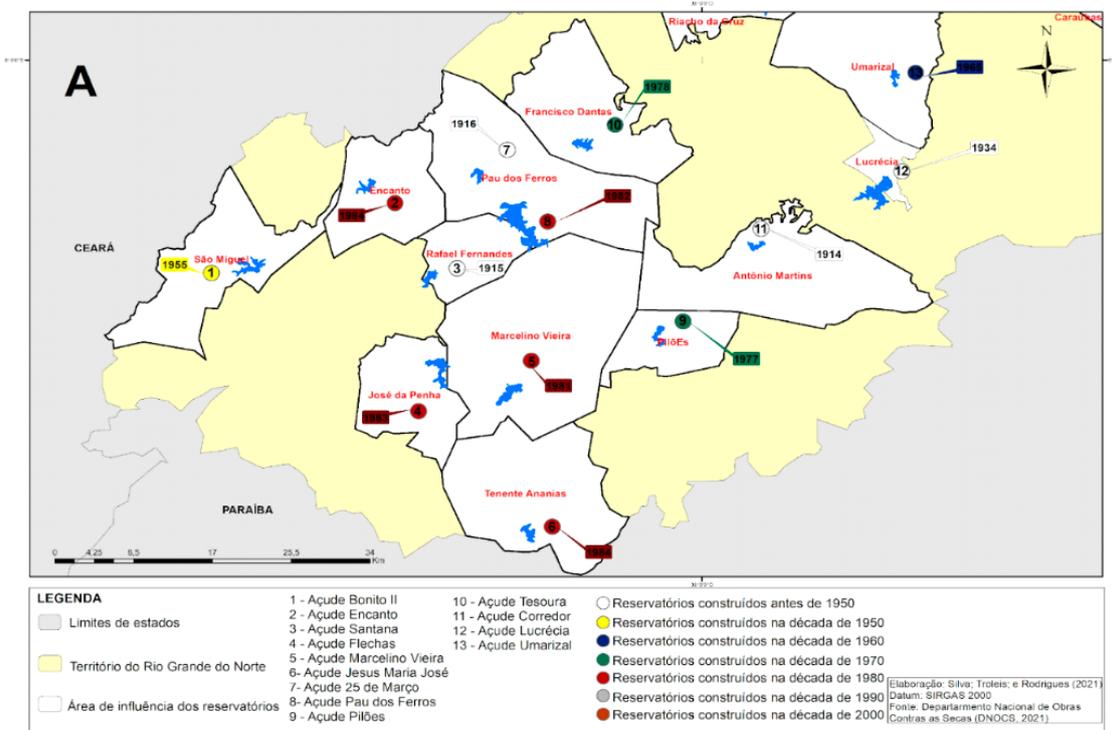
Partindo dessa perspectiva, as Figuras 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 mostram os principais reservatórios do Rio Grande Norte, os quais foram construídos no contexto da política de açudagem, circunscrita dentro da primeira matriz de periodização:

Figura 2 - Principais reservatórios do estado do Rio Grande do Norte (RN).



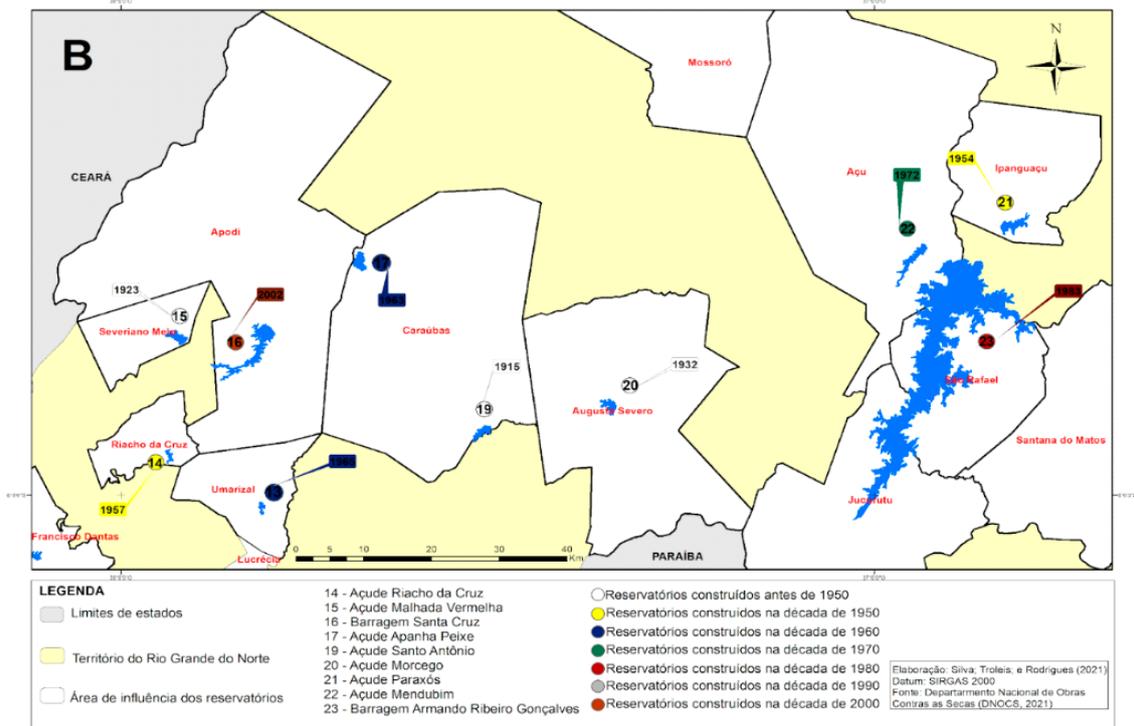
Fonte: Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (2021).

Figura 3 - Principais reservatórios da Região Geográfica Imediata Pau dos Ferros.



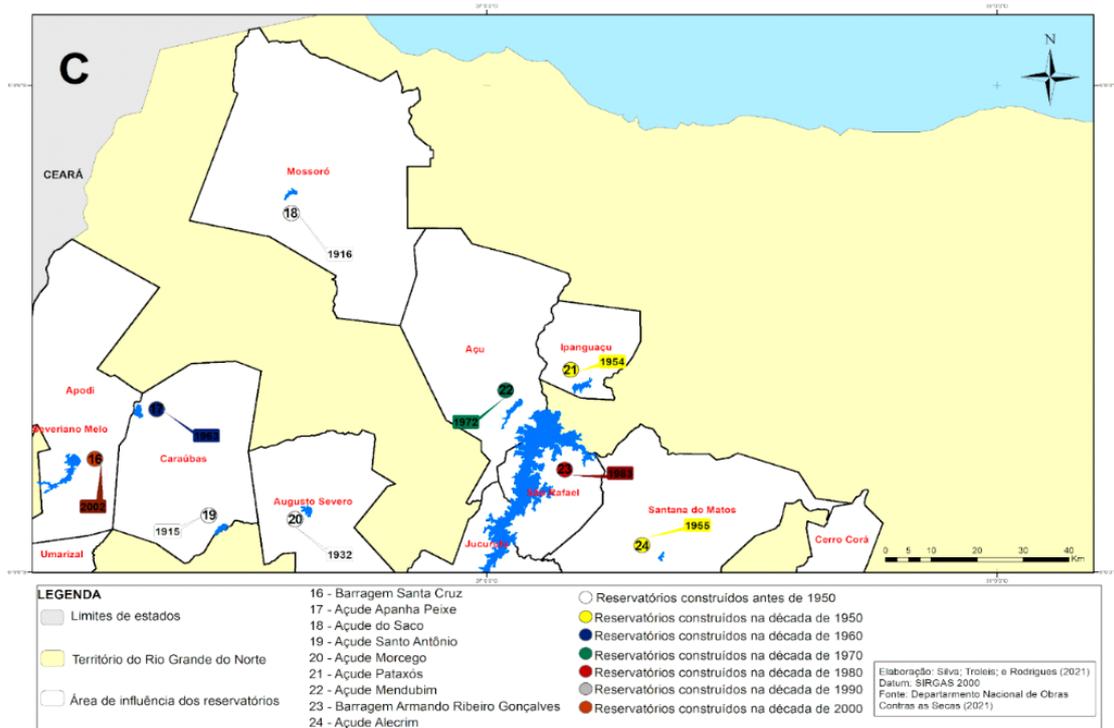
Fonte: Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (2021).

Figura 4 - Principais reservatórios das Regiões Geográficas Imediatas Pau dos Ferros; Mossoró; e Açu.



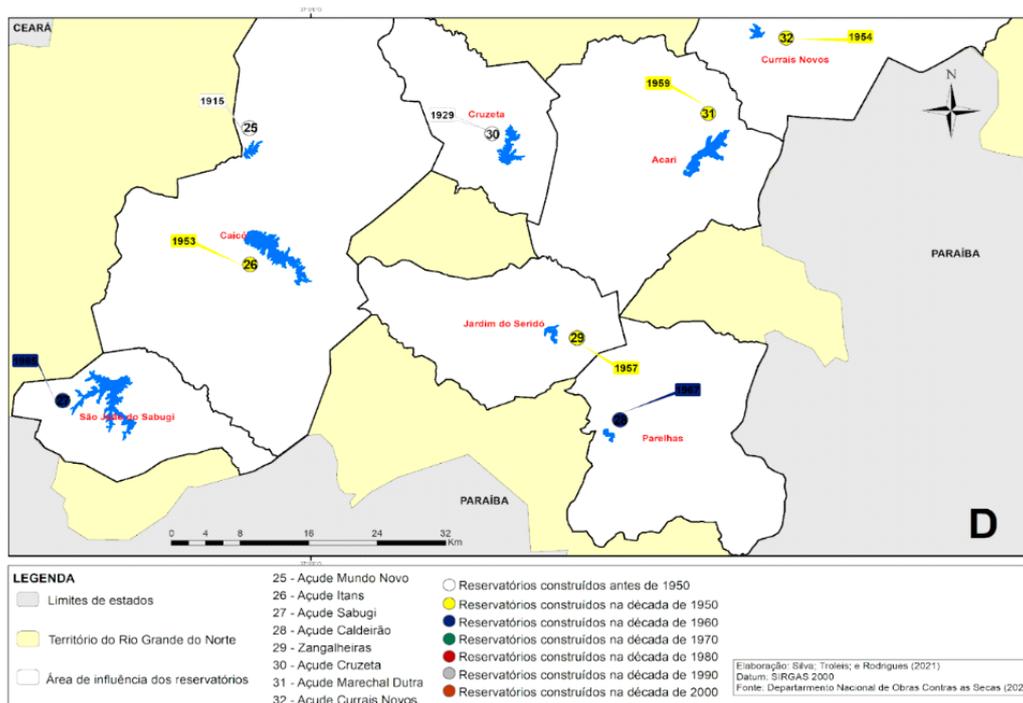
Fonte: Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (2021).

Figura 5 - Principais reservatórios das Regiões Geográficas Imediatas Mossoró; e Açu.



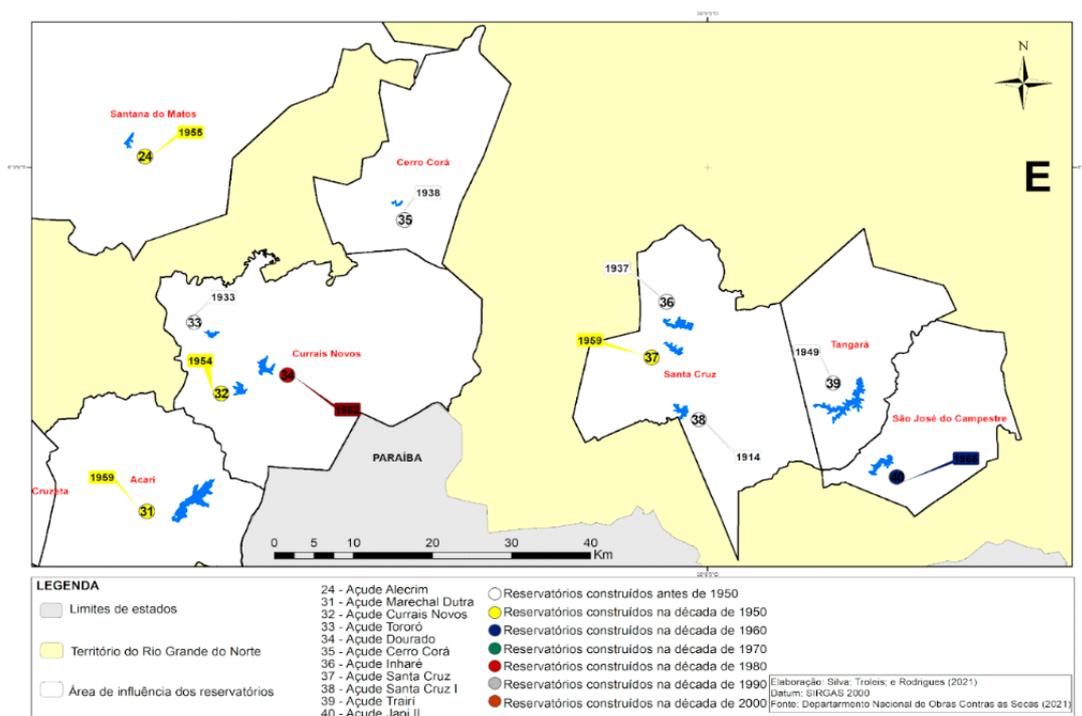
Fonte: Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (2021).

Figura 6 - Principais reservatórios das Regiões Geográficas Imediatas Caicó; e Currais Novos.



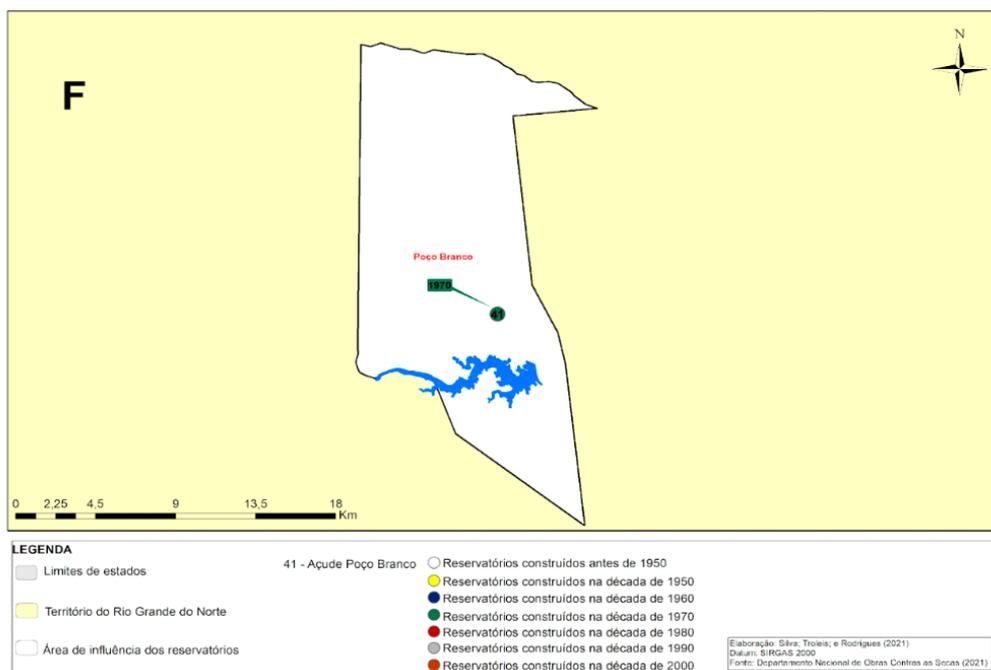
Fonte: Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (2021).

Figura 7 - Principais reservatórios das Regiões Geográficas Imediatas Açú; Currais Novos; Santa Cruz; Santo Antônio-Passa e Fica-Nova Cruz.



Fonte: Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (2021).

Figura 8 - Açude Poço Branco (Região Geográfica Imediata Natal).



Fonte: Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (2021).

A análise das Figuras 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 colocam em evidência os principais reservatórios (açudes e barragens) do estado do Rio Grande do Norte (RN). O critério utilizado na espacialização dos 41 reservatórios levou em consideração dois aspectos: reservatórios com capacidade de armazenamento superior a 5.000.000 m³; e reservatórios que desempenham a função de principal manancial de captação de água para o abastecimento municipal. Os reservatórios que não estão expressos nas figuras não se enquadraram em nenhum deles.

Em relação à origem dessa política de açudagem no contexto do RN, ela tem como marco inicial o ano de 1900, momento em que os primeiros estudos e obras de cunho hidráulico começaram a ser desenvolvidos.

Segundo Travassos, Souza e Silva (2013), foi por intermédio da ação de órgãos federais criados para a implementação de políticas públicas de combate às secas, como a Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS) — fundada em 1909 e que, em 1919 e 1945, respectivamente, passou a se chamar Instituto Federal de Obras Contra as Secas (IOCS) e Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) — que uma série de reservatórios foram construídos no RN. A ação direta desses órgãos fez do semiárido do Nordeste uma das regiões mais açudadas do mundo, com mais de 70 mil açudes construídos (MALAVEZZI, 2007). No território norte-rio-grandense, por exemplo, entre 1900 e 1950, em torno de 30 açudes foram construídos em diferentes municípios (SILVA, 2017), isso inclui reservatórios que têm capacidade inferior e superior a 5.000.000 m³, ou seja, açudes e barragens de pequeno, médio e grande porte.

Dentre os principais reservatórios construídos nessa época, destacam-se o açude Santana (Rafael Fernandes); açude 25 de Março (Pau do Ferros); açude Corredor (Antônio Martins); açude Lucrécia (Lucrécia); açude Malhada Vermelha (Severiano Melo); açude Santo Antônio (Caraúbas); açude Morcego (Augusto Severo); açude do Saco (Mossoró); açude Mundo Novo (Caicó); açude Cruzeta (Cruzeta); açude Tororó (Currais Novos); açude Cerro Corá (Cerro Corá); açude Inharé (Santa Cruz);

açude Santa Cruz I (Santa Cruz); açude Trairí (Tangará).

Dada as limitações técnicas desse período, boa parte desses açudes foram construídos manualmente, por meio de terra amontoada ou de pedra e cal. Além disso, utilizou-se também a técnica de “couro de arraste”, puxado por uma junta de bois, que posteriormente foi substituída por um outro procedimento, caracterizado pelo uso de jumentos para o carregamento de caixotes com sedimentos. O início da construção do açude Itans, em 1932, no município de Caicó, contou com o uso dessa técnica e vários desses animais foram usados para o transporte da terra (MOLLE; CADIER, 1992).

A partir da década de 1950, houve um aprimoramento técnico no que diz respeito às técnicas utilizadas. De acordo com Molle e Cadier (1992), o processo de construção dos açudes passou por uma tecnificação, com o uso de máquinas como os tratores de esteira ou de pneus, com rapadeira agrícola. Esse processo de modernização da época pode ser explicado em função da reestruturação política que as ações governamentais passaram a ter, uma vez que, até 1950, os programas e projetos voltados a minimizar os efeitos da seca eram conduzidos por órgãos específicos, como a IOCS ou DNOCS.

Porém, a partir da década de 1950, criou-se, por parte do governo federal, uma política de desenvolvimento com bases regionais, que deu origem a vários reservatórios e obras de segurança hídrica no RN. Um dos marcos políticos desse período, como citado outrora na periodização de Campos (2014), foi a criação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) em 1959, no governo de Juscelino Kubitschek e sob inspiração de Celso Furtado, para tentar dar uma resposta a problemas recorrentes, atribuídos às secas, como as de 1952 e de 1958 (MALAVEZZI, 2007).

Segundo Travassos, Souza e Silva (2013), com a criação da SUDENE, as ações de combate às secas passaram a apresentar um novo paradigma, saindo de projetos totalmente centrados na construção de açudes e adotando uma perspectiva de trabalho caracterizada por projetos de cunho sistêmico, de maior magnitude, como a criação de barragens para perímetros irrigados, além de ferrovias e rodovias. Assim, as ações de combate às secas passaram a ter um cunho mais diversificado, abrangendo não apenas a construção de açudes, mas também outros elementos estruturais.

Os reservatórios construídos entre a década de 1950 e a década de 1980, no RN, foram projetados e implementados sob essa égide da política de desenvolvimento regional da SUDENE. Nesse sentido, no território norte-rio-grandense, em 1950, foram construídos os seguintes reservatórios: açude Bonito II (São Miguel); açude Riacho da Cruz (Riacho da Cruz); açude Pataxós (Ipanguaçu); açude Alecrim (Santana do Matos); açude Itans (Caicó); açude Gargalheiras (Jardim do Seridó); açude Marechal Dutra (Acari); açude Currais Novos (Currais Novos); açude Santa Cruz (Santa Cruz).

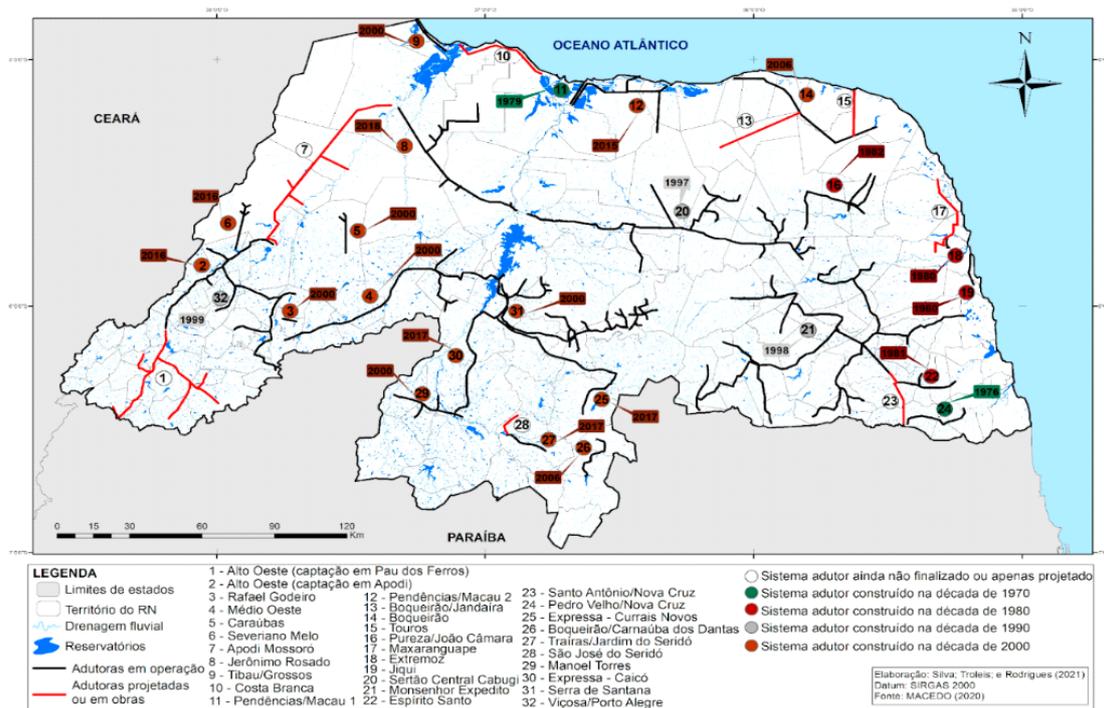
Na década de 1960, foram construídos o açude Umarizal (Umarizal); o açude Apanha Peixe (Apodi); o açude Sabugi (São João do Sabugi); o açude Caldeirão (Parelhas); o açude Japi II (São José de Campestre). O processo de construção de reservatórios se estendeu ao longo das décadas de 1970 com o açude Pilões (Pilões); açude Tesoura (Francisco Dantas); açude Mendubim (Açu); açude Poço Branco (Poço Branco), em 1980 açude Encanto (Encanto); açude Flechas (José da Penha); açude Marcelino Vieira (Marcelino Vieira); açude Jesus Maria José (Tenente Ananias); Barragem Armando Ribeiro Gonçalves (Açu); açude Dourado (Currais Novos) e 2000 (Barragem Santa Cruz (Apodi).

Já na década de 1990, não foram construídos reservatórios de médio e grande

porte no estado, considerando as tipologias dos açudes e barragens analisados. Nesse período, o foco das políticas públicas de combate às secas no estado passou a dar ênfase a outros objetos técnicos, como, por exemplo, as adutoras. Vale ressaltar que a implantação das primeiras adutoras no RN não foi na década de 1990, mas foi nesse período em que o processo de construção de ramais de adução cresceu significativamente.

Partindo desse princípio, a figura 9 mostra a espacialidade das adutoras no território do estado do RN e os seus respectivos períodos de implantação:

Figura 9 - Período (1976 a 2018) de implantação dos sistemas de adutoras do Rio Grande do Norte (RN).



Fonte: Macedo (2020).

A figura 9 nos permite identificar que os primeiros sistemas adutores implantados no RN datam da década de 1970. Nesse período, foram criados dois ramais de adutoras no território norte-rio-grandense: adutora Pendência/Macau e adutora Pedro Velho/Nova Cruz.

A pouca representatividade desse tipo de sistema técnico no território, em tal contexto, se deve ao fato das políticas públicas voltadas aos recursos hídricos estarem direcionadas à construção de açudes, barragens e obras de irrigação. Por sua vez, na década de 1980, foram construídas no estado quatro sistemas de adução sendo eles: adutora Pureza/João Câmara; adutora Extremoz; adutora do Jiqui; adutora Espírito Santo. Trata-se de adutoras de pequeno alcance, abrangendo um pequeno número de municípios. Dentre esses sistemas de adutoras, destacam-se dois: a de Extremoz (água captada na Lagoa de Extremoz) e a do Jiqui (água captada na Lagoa do Jiqui), responsáveis por transportar boa parte da água que alimenta o sistema de abastecimento de Natal, contribuindo assim, para suprir a demanda de consumo de uma população com mais de 800.000 mil habitantes.

Entretanto, foi a partir da década de 1990, que os sistemas adutores de maior

porte começaram a ser construídos no RN, com ramificações territoriais que passaram a alcançar vários municípios ao mesmo tempo. Neste contexto, foram construídos dois sistemas de adutoras: **adutora Monsenhor Expedito**, que aduz água da Lagoa do Bom Fim (São José de Mipibú) para Ruy Barbosa, São Pedro, São Tomé, São Paulo do Potengi, Japí, Coronel Ezequiel, Jaçanã, São Bento do Trairí, Lajes Pintadas, São José de Campestre, Serrinha, Sítio Novo, Boa Saúde, Serra Caiada, Lagoa de Velhos, Barcelona, Bom Jesus, Lagoa Salgada, Lagoa de Pedras, Tangará, Santa Cruz, Monte das Gameleiras, Serra de São Bento, Passa e Fica, Lagoa D`anta, Monte Alegre, Ielmo Marinho, Santa Maria, Sen. Eloi de Souza e Campo Redondo; **adutora Sertão Central Cabugi**, que transporta água do rio Piranhas/Açu (Itajá) para os municípios de Lajes, Pedro Avelino, Caiçara do Rio dos Ventos, Jardim de Angicos, Pedra Preta, Riachuelo, Angicos e Fernando Pedroza.

De acordo com Carlos (2004), a construção desses sistemas técnicos (adutoras) fez parte da Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), implementada a partir de 1999 e que tinha como meta desenvolver estratégias e ações para resolver a problemática dos recursos hídricos no RN. Dentro de tal política, uma das linhas de ações foi o Programa Estadual de Adutoras, gerenciado pela Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SERHID).

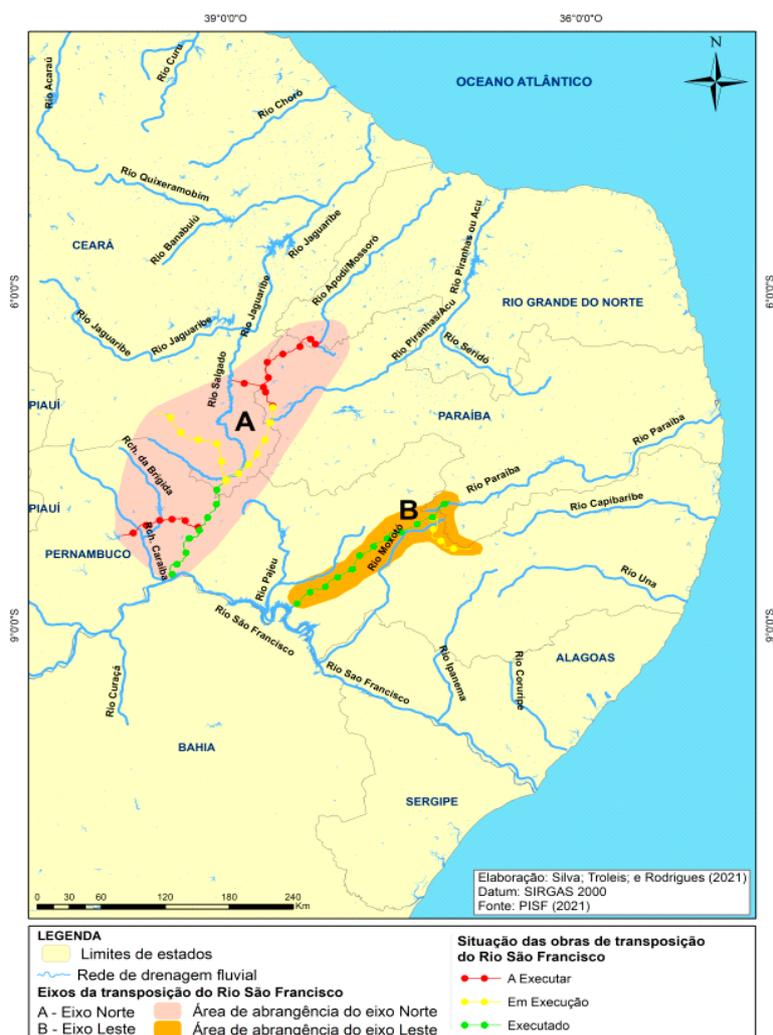
Cabe ressaltar que outras adutoras foram construídas por meio dessa política estadual, como, por exemplo, os sistemas adutores de Jerônimo Rosado, Serra de Santana, Boqueirão, Médio Oeste e Manoel Torres, atendendo, principalmente, os municípios das regiões centrais e Oeste do território norte-rio-grandense. Além dessas adutoras, no estado, por volta do ano de 2017, construiu-se adutoras expressas ou emergenciais em Caicó e Currais Novos, com o objetivo de reforçar o abastecimento municipal e com isso evitar o colapso hídrico, tendo em vista a redução dos níveis dos reservatórios por consequência da seca que assolava o estado nesse período (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2017).

As adutoras expressas em Caicó e em Currais Novos foram construídas mediante liberação de recursos do Ministério da Integração (MI), captam água na Barragem Armando Ribeiro Gonçalves mediante uma integração com o sistema adutor Serra de Santana e transportam esse recurso captado até os municípios de Caicó, Currais Novos e Acari. O fato de terem um caráter emergencial fez com que a concepção desse tipo de adutora adotasse uma técnica diferente, a qual é justamente a técnica de engate rápido, isto é, estruturas fáceis de serem montadas, simples de manusear e duráveis (ALVENIUS, 2016).

Além dessas adutoras emergenciais ou expressas, no território do RN, há um total de oito adutoras que estão projetadas ou em fase de construção, são elas: adutora do Alto Oeste (captação em Pau dos Ferros); adutora Apodi/Mossoró; adutora Costa Branca; adutora Boqueirão Jandaíra; adutora Boqueirão; adutora Maxaranguape; adutora Santo Antônio/Nova Cruz; adutora São José do Seridó. Dentre essas adutoras, a do Alto Oeste está inserida no contexto das obras de transposição do Rio São Francisco. Essas obras quando concluídas irão fornecer água para dois reservatórios da região Oeste do estado: o açude Pau dos Ferros (Pau dos Ferros) e a Barragem Santa Cruz (Apodi). Esses dois reservatórios alimentarão o sistema adutor do Alto Oeste, com perspectiva para atender 26 municípios da região e mais de 200 mil pessoas serão beneficiadas.

As obras de transposição do Rio São Francisco, do ponto de vista temporal, fazem parte da terceira matriz de periodização, as quais tiveram início em 2007, com previsão de conclusão para 2022. A Figura 10 mostra a espacialização das estruturas técnicas que fazem parte da transposição do Rio São Francisco no contexto do Nordeste e do Rio Grande do Norte.

Figura 10 - Eixos da transposição do rio São Francisco.



Fonte: Adaptado de ANA (2019).

Dois dos principais rios do Rio Grande do Norte, destarte, sofrerão influência das obras da transposição. No momento de elaboração deste capítulo (setembro/outubro de 2021), as obras nos outros estados continuam em andamento, não atendendo ainda o Rio Grande do Norte, visto que anteriormente devem passar por reservatórios da Paraíba (Engenheiro Ávido), estrutura visitada em campo. O PISF está localizado no Nordeste Setentrional, abrangendo os estados da Paraíba, Pernambuco, Ceará e Rio Grande do Norte. O empreendimento tem extensão de 477 km, organizados em dois eixos de transferência de água: o Norte, com 260 km, e o Leste, com 217 km, cada um formado por captações no Rio São Francisco, estações de bombeamento, canais, aquedutos, barragens, túneis e outras obras complementares. Em relação ao RN, as águas do Rio São Francisco devem chegar por meio do Rio Piranhas-Açu e, antes de adentrar o solo potiguar, deverão passar pelo estado do Ceará, para seguir com destino à Paraíba. A partir de então, transbordará no RN. A Figura 11 mostra fotos que representam alguns reservatórios e estações de bombeamento das principais estruturas do PISF no Nordeste.

Figura 11 - a) Res. Engenheiro. Ávidos em Cajazeiras – PB; b) Res. Jati – CE; c) Estação de bombeamento em Salgueiro – PE e d) Estação de bombeamento em Cabrobó – PE.



Fonte: Rodrigues, 2020.

Para a chegada das águas no Rio Grande do Norte, existirão dois “portais”, o Ramal do Apodi e o Piranhas-Açu. O primeiro desenvolve-se nos estados da Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte, partindo do reservatório Caiçara, localizado no município de São José de Piranhas (PB) e segue em direção ao estado do Rio Grande do Norte, beneficiando 370 mil pessoas em 44 municípios. Possui extensão de 115,5 km (tem início na estrutura de controle do reservatório Caiçara (final do Eixo Norte/PB) e chegada das águas no Açude Público Angicos, na bacia do rio Apodi (RN). Já as águas que chegarão ao Rio Grande do Norte, pelo Piranhas-Açu, irão abastecer o reservatório Armando Ribeiro Gonçalves, beneficiando 900 mil habitantes em 51 municípios.

A conclusão do Eixo Norte da Transposição do Rio São Francisco, na Bacia do Piranhas- Açu, através do município de São José de Piranhas Alto Sertão paraibano é de extrema importância socioeconômica para os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, pois contemplará as duas maiores barragens destes estados, respectivamente, Coremas-Mãe D'Água e Armando Ribeiro Gonçalves. Juntas essas barragens acumulam 3,7 bilhões de metros cúbicos de água, volume maior que a represa de Sobradinho, na Bahia. A perenização do Piranhas-Açu através do Eixo Norte trará a possibilidade de regularizar o abastecimento de água de 147

municípios, sendo 45 municípios no estado do Rio Grande do Norte e 102 municípios no estado da Paraíba. A perenização do rio Piancó permitirá o desenvolvimento agrícola desta região, além de perenizar o trecho do rio Piranhas até a montante da barragem Armando Ribeiro Gonçalves, no estado do Rio Grande do Norte, permitindo também desenvolvimento da potencialidade agrícola de toda região denominada Baixo-Açu, no Rio Grande do Norte (CORREIA *et al.*, 2017, p. 5).

No Rio Grande do Norte, o Projeto de Integração do São Francisco tem previsão para garantir o abastecimento seguro para 94 municípios, com 1,2 milhão de habitantes, por meio do aumento da garantia da oferta de água dos açudes Santa Cruz e Armando Ribeiro Gonçalves e da perenização do Rio Piranhas-Açu, em associação com uma rede de adutoras que vem sendo implantada no estado do Rio Grande do Norte (BRASIL, 2017a).

Dessa forma, o estado do RN terá que lidar com um novo recurso, seja do ponto de vista do seu gerenciamento, seja da relação com os outros estados no que diz respeito à gestão da bacia hidrográfica do Piranhas-Assú, bacia que receberá as águas da transposição e que armazenará as águas na barragem Armando Ribeiro Gonçalves. Para além da questão técnica, existe a questão política, de se alinhar os interesses estaduais com o governo federal, tendo em vista a presença da construção da Barragem de Oiticica no estado, financiada pelo Governo Federal. Segundo o Ministério do Desenvolvimento Regional (2020), outro projeto em destaque apresentado pelo governo do estado é o sistema Seridó que contará com mais de 330 quilômetros de canais adutores com interligações entre grandes reservatórios. Serão 14 estações de bombeamento de água, três pontos de captação de água, além de estações de tratamento.

No momento, o sistema Seridó se encontra na fase de licitação do projeto (Ministério do Desenvolvimento Regional, 2020). Porém, o próprio Ministério cita que serão 24 municípios envolvidos do estado do Rio Grande do Norte, abastecendo aproximadamente 280 mil pessoas. O Projeto Sistema Seridó é citado no Plano Nacional de Segurança Hídrica, elaborado no ano de 2019 (ANA, 2019), ao qual se constitui um conjunto de sistemas adutores com suas interligações entre reservatórios de modo a garantir a segurança hídrica da população a partir do suprimento de água para consumo humano e demais atividades produtivas.

Considerações finais

A abordagem apresentada acerca das políticas públicas de recursos hídricos no Rio Grande do Norte, corroborou para atender o objetivo traçado na presente discussão. O território norterio-grandense ao longo do tempo tem se caracterizado por uma superposição de políticas com diferentes arranjos técnicos e cronologias específicas, o que não foi suficiente para resolver a problemática dos recursos hídricos no estado, mas em algumas regiões teve efeito mitigador.

Como diagnóstico da discussão realizada, evidencia-se duas questões relativas a estruturação das políticas de recursos hídricos no Rio Grande do Norte, tais como: o predomínio durante boa parte do tempo de uma política setorial e centralizadora, como é o caso da política de investimento em açudagem; e a alternância do predomínio de vetores de intervenção política tanto a nível federal (a partir da construção de reservatórios e da transposição do Rio São Francisco), quanto a nível estadual (a partir da implementação e integração de adutoras).

Uma perspectiva de aprofundamento futuro dessa discussão, é a incorporação da variável “eventos de seca” à matriz de periodização formulada. Dessa forma, será

possível analisar a estruturação política e técnica dos programas e ações relacionadas aos recursos hídricos no Rio Grande do Norte, nos períodos em que a estiagem ocorreu como fenômeno natural dentro da periodização considerada.

Assim, a questão hídrica perpassa por longas e distintas linhas de tempo, questões políticas, sociais e econômicas de interesse público e privado, investimento de recursos federal, estadual e municipal, a partir da intersecção entre agentes institucionais de jurisdições distintas que são até certo momento responsáveis pela produção de sistemas técnicos e de gestão distintos. Tais aspectos colocam em evidência a complexidade das ações de combate à seca no semiárido do Rio Grande do Norte.

Estas ações, ao longo do tempo, têm exigido do poder público a implementação de políticas com diferentes arranjos, o que nos permite concluir que as questões relacionadas aos recursos hídricos nos acompanham no decorrer de nossa história enquanto sociedade. A diversidade de ações realizadas desde as obras iniciais (através das construções de açudes) que apresentavam uma lógica pontual, setorializada e concentrada em algumas regiões do semiárido, cederam espaço para uma lógica de caráter estrutural e regionalizada como a Transposição do Rio São Francisco, abrangendo boa parte da região nordestina.

Assim, entende-se que a questão hídrica está inserida em uma dinâmica e complexa relação de políticas públicas e de gestão. Além de gerenciar as infraestruturas já existentes, as que estão em fase de projeto e em construção, os gestores têm que lidar com os processos políticos, sociais e econômicos que muitas vezes condicionam decisões e encaminhamentos referente à utilização da água como recurso, em uma relação interfederativa extremamente variável.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. A. **A quem serve a transposição?** In Folha de São Paulo, São Paulo, 20 fev. 2005. Brasil, Caderno B, A.18. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/brasil/fc2002200522.htm>>. Acesso em 12 de julho 2021.

ALVENIUS. **Adutora de engate rápido sistema k10/k20.** São Paulo: Alvenius, 2016. Disponível em: https://www.alvenius.ind.br/PDF/alvenius_adutora_engate_rapido_imp.pdf. Acesso em 12 de julho de 2021.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Plano Nacional de Segurança Hídrica.** Brasília: MDR, 2019. 116 p.

ANDRADE, J. A.; NUNES, M. A. Acesso à água no Semiárido Brasileiro: uma análise das políticas públicas implementadas na região. **Revista Espinhaço**, Diamantina, p. 28-39, 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Combate à seca:** acompanhe as ações do Ministério da Agricultura no combate à seca. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/combate-a-seca-1>. Acesso em: 10 jun. 2021.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Rio São Francisco.** Brasília: 2017b. Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/web/projeto-sao-francisco/o-rio-e-seus-numeros>> Acesso em: Jul, 2018.

CAMPOS, J. N. B. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Estudos Avançados (USP)**, São Paulo, p. 65-88, 2014.

CARLOS, A. A. G. Avaliação dos benefícios à população de comunidades rurais abastecidas por sistema adutor: um estudo de caso, 2004. **Dissertação** (Mestrado Profissional de Vigilância em Saúde). a Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação "Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 2004.

CASTRO, C. N. **Impactos do projeto de transposição do rio São Francisco na agricultura irrigada no nordeste setentrional**. Texto para discussão: IPEA, Rio de Janeiro, n. 1573, p. 07-35, 2011.

CATAIA, M. A. Território Político: fundamento e fundação do Estado. **Sociedade e Natureza**. Uberlândia, n. 23, v. 1, p. 115-125, 2011.

CHESF. Companhia Hidrelétrica do São Francisco. **Usinas Hidrelétricas no Rio São Francisco**. Recife: 2018. Color.

CIRILO, J. A.. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos Avançados (USP)**, São Paulo, p. 61-82, 2008.

CORREIA, R. C.; KIILL, L. H. P.; MOURA, M. S. B. de; CUNHA, T. J. F.; JESUS JUNIOR, L. A.; ARAUJO, J. L. P. **A região semiárida brasileira**. In: VOLTOLINI, T. V. (Ed.). Produção de caprinos e ovinos no Semiárido. Petrolina: Embrapa Semiárido, p. 21-48. 2011.

CORREIA, G. P. S.; DONATO, L. A.; SILVA, E. F. A.; RAMALHO, A. M. C. Eixo norte da transposição do rio São Francisco: perspectivas socioeconômicas na bacia do Piranhas-Açu. 2017, Campina Grande. In: **Anais**. Workshop internacional sobre água no semiárido brasileiro: a qualidade da água que é consumida no semiárido. Campina Grande. , 2017. p. 01-07. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/39020>. Acesso em: 11 mai. 2023.

DNOCS. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Fichas técnicas dos reservatórios**. Estado: RN. Disponível em: https://www.dnocs.gov.br/php/canais/recursos_hidricos/fic_estado.php?sigla_estado=RN. Acesso em: 14 Jun. 2021.

GOTTMANN, Jean. A evolução do conceito de território. **Boletim Campineiro de Geografia**, 2012, 2.3: 523-545.

INSTITUTO de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (IDEMA). **Planos e Programas Ambientais**. Natal. Disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=1412&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=Gest%E3o+Ambiental>. Acesso em: 10 jun. 2021.

INSTITUTO de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (IDEMA). **Plano de Gestão Ambiental Compartilhada**. Natal, 2014. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=5966&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=Planos+&+Programas>. Acesso em: 10 jun. 2021.

INSTITUTO de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (IDEMA). **Programa Estadual de Monitoramento e Fiscalização Ambiental Aéreo**. Natal, 2013. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=5970&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=Planos+&+Programas>. Acesso em: 10 jun. 2021.

INSTITUTO de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (IDEMA). **Monitoramento da Qualidade das Águas dos Rios Jundiá e Potengi**. Natal, 2013. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=5970&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=Planos+&+Programas>.

[G=5971&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=Planos&+Programas](#). Acesso em: 10 jun. 2021.

INSTITUTO de Gestão das Águas do estado do Rio Grande do Norte (IGARN). Natal. Disponível em: <http://www.igarn.rn.gov.br/>. Acesso em: 10 jun. 2021.

INSTITUTO de Gestão das Águas do estado do Rio Grande do Norte (IGARN). **Programa Água Azul**. Natal, 2017. Disponível em: <http://www.igarn.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=24385&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=Programas>. Acesso em: 10 jun. 2021.

INSTITUTO de Gestão das Águas do estado do Rio Grande do Norte (IGARN). **Programa Água Nossa**. Natal. Disponível em: <http://www.igarn.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=29849&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=Programas>. Acesso em: 10 jun. 2021.

INSTITUTO de Gestão das Águas do estado do Rio Grande do Norte (IGARN). **Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA)**. Natal, 2014. Disponível em: <http://www.igarn.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=24386&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=Programas>. Acesso em: 10 jun. 2021.

INSTITUTO de Gestão das Águas do estado do Rio Grande do Norte (IGARN). **Pacto Nacional pela Gestão das Águas (PROGESTÃO)**. Natal. Disponível em: <http://www.igarn.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=24387&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=Programas>. Acesso em: 10 jun. 2021.

INSTITUTO de Gestão das Águas do estado do Rio Grande do Norte (IGARN). **IGARN Itinerante**. Natal, 2019. Disponível em: <http://www.igarn.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=215147&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=>. Acesso em: 10 jun. 2021.

LONGLEY, P.; GOODCHILD, M. F., MAGUIRE, D. J., RHIND, D. W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

MACEDO, Y. M. **Risco de desabastecimento hídrico no Rio Grande do Norte**. 2020. Tese (Doutorado em Geografia) - Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2020.

MALAVEZZI, Roberto. **Semi-árido: uma visão holística**. – Brasília: Confea, 2007.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Com a crise hídrica, Adutora Emergencial abastece Caicó, evitando colapso no abastecimento de água**. Fortaleza: DNOCS/MDS, 2017

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do pequeno açude**. Recife, SUDENE, 1992.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. **Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido**. In.: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S. (editores). Recursos hídricos em regiões semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012.

RODRIGUES, L. C. **A transposição do Rio São Francisco na federação brasileira: planejamento do território e materialidades do Eixo Norte**. 2020. Dissertação (Mestrado em Geografia). Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2020.

SANTANA FILHO, J. R. Projeto São Francisco: garantia hídrica como elemento dinamizador do semi-árido nordestino. **Inclusão Social**, v. 2, n. 2, p. 14 – 18, 2007.

SANTOS, M. A. **Metamorfoses do espaço habitado**: fundamentos teóricos e metodológicos da Geografia. 6. ed. 2 reimp. São Paulo: Edusp, 2014. 136 p.

_____, M. **A natureza do espaço**: Técnica e Tempo, Razão e Emoção. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.

_____, M. **A natureza do espaço**: técnica e tempo, razão e emoção. 4. ed. 2. Reimpr. São Paulo: Edusp, 2008. 384p. Coleção Milton Santos.

_____, M. **O dinheiro e o território**. In: TERRITÓRIO, territórios: ensaios sobre o ordenamento territorial. 13-21. ed. Rio de Janeiro: Editora Lamparina, 2011.

_____, M.; SILVEIRA, M. L. **O Brasil**: território e sociedade no início do século XXI. Rio de Janeiro: Record, 2008.

_____, Milton; SOUZA, M. A. A. de; SILVEIRA, Maria Laura. **Território**: Globalização e Fragmentação. 4. ed. São Paulo: Editora Hucitec e ANPUR, 1988. 335 p.

SARMENTO, F. J. **Transposição do Rio São Francisco**: Os bastidores da maior obra hídrica da América Latina. Chiado Books, 2018.

SOUZA, C. Políticas Públicas: uma revisão da literatura. **Sociologias**, Porto Alegre, ed. 16, p. 20-45, jul./dez. 2006.

TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. I.; SILVA, A. B. Secas, desertificação e políticas públicas no semiárido nordestino brasileiro. **Revista OKARA**: Geografia em debate, João Pessoa, v.7, n.1, p. 147-164, 2013.

VENTURI, L. A. B. Recurso natural: a construção de um conceito. **Geosp Espaço e Tempo** (Online), São Paulo, v. 10, n. 1, p. 09-17, 2006.

CAPÍTULO 11

Gestão da água no contexto da escassez e incertezas associadas ao semiárido cabo-verdiano

António Pedro Said Aly Pina,
Agência Nacional de Água e Saneamento, Cabo Verde.
E-mail: salypina@hotmail.com

Itabaraci Nazareno Cavalcante,
Universidade Federal do Ceará – UFC, Brasil.
E-mail: itabaracicalcavalcante@gmail.com

Introdução

Nas últimas décadas, o recurso natural água vem sendo cada vez mais disputado, tanto em quantidade quanto em qualidade, principalmente em consequência do acentuado crescimento demográfico e do próprio desenvolvimento econômico.

As disponibilidades hídricas em regiões de climas áridos e semiáridos são extremamente limitadas. Esta situação assume ainda maior relevância em regiões insulares, devido às dificuldades de transferências hídricas. Nestes casos, o fornecimento de água às populações é uma tarefa extremamente delicada, havendo necessidade recorrente de racionalização de recursos.

A gestão de recursos hídricos implica um conhecimento o mais rigoroso possível das disponibilidades hídricas, quer no que diz respeito às águas superficiais, quer em termos de águas subterrâneas. Para assegurar a manutenção da quantidade e qualidade dos recursos hídricos subterrâneos, de uma maneira sustentável, existe a necessidade de se implementar estudos hidrogeológicos, hidrogeoquímicos e sanitário-ambientais mas, em especial, um estudo de vulnerabilidade para os aquíferos livres. A partir do conhecimento das áreas mais vulneráveis é possível se fazer uma investigação preliminar do risco de contaminação para diferentes fontes, como também identificar áreas de risco devido a fatores geológicos naturais que podem contribuir para contaminação dos solos e das águas.

A incerteza associada às estimativas dos recursos hídricos subterrâneos no arquipélago requer a adoção de metodologias diversificadas, de modo a produzir valores coerentes, os quais estão na base das estratégias de planejamento. Em terrenos cristalinos, são acrescidas as dificuldades em obter estimativas consensuais que constituam um suporte efetivo da atividade de gestão dos recursos hídricos. A incerteza e risco são companheiros inseparáveis da vivência humana que se evidenciam no conhecimento incompleto das situações e no apego a valores que poderemos perder ou ganhar. Estes aspectos, sempre presentes na gestão quotidiana da nossa vida, foram sendo progressivamente racionalizados e estruturados na análise (quantitativa) do risco. Desta forma, procura-se tornar possível a consideração do risco nos processos de decisão sem excluir, contudo, outras formas de abordagem.

No caso das águas subterrâneas, para além da avaliação das disponibilidades hídricas e de modo a garantir a sustentabilidade dos recursos é necessário, ainda, conceitualizar o funcionamento dos sistemas hidrogeológicos, de modo a produzir um suporte em torno do qual se desenvolvem os modelos matemáticos que deverão governar a gestão dos aquíferos.

O conhecimento, ainda que incipiente, da hidrogeologia de Cabo Verde vem

demonstrar as características peculiares dos meios vulcânicos, nomeadamente a sua heterogeneidade e anisotropia. Simultaneamente, para além dos aspetos geológicos, as características climáticas regionais, áridas a semiáridas, concorrem para a existência de recursos hídricos muito limitados, cujo aproveitamento terá de ser feito em um quadro de gestão integrada, incluindo as águas subterrâneas, as águas superficiais, a dessalinização da água do mar e das águas salobras e finalmente, e a reutilização segura de águas residuais tratadas.

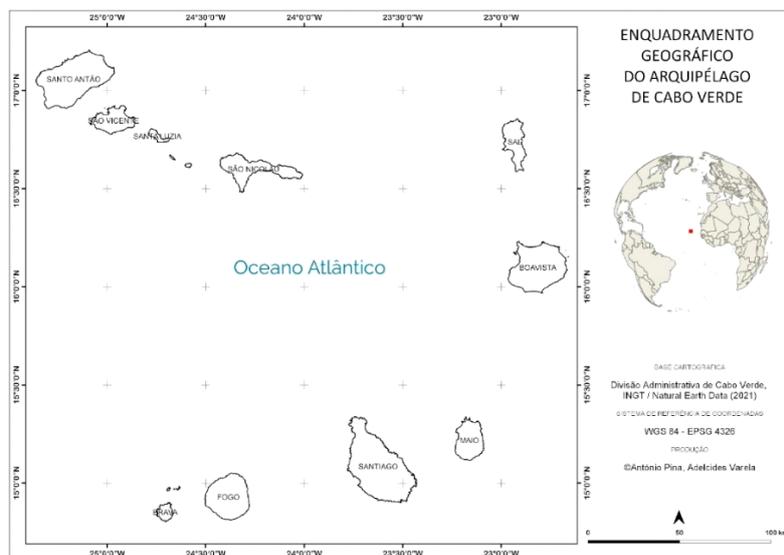
São evidentes a limitada recarga aquífera e o risco de degradação dos recursos hídricos subterrâneos em Cabo Verde, devido a fenômenos de intrusão salina e à contaminação agrícola devido ao uso incorreto e abusivo de fertilizantes.

Um dos problemas mais comuns de qualidade de águas interiores são as elevadas concentrações de nutrientes, especialmente de nitrogênio (N) e fósforo (P). Essa contaminação provém dos esgotos domésticos, dos efluentes (*run-off*) e de atividades agrícolas. No entanto, o conhecimento hidrogeológico sobre as restantes ilhas do arquipélago é praticamente inexistente. Para além de inventários de cursos de água, não são conhecidos os recursos hídricos subterrâneos, quer do ponto de vista quantitativo, quer do ponto de vista qualitativo. Um dos principais componentes de um balanço hídrico é avaliação das disponibilidades de água, tarefa que pode ser baseada em dados de monitoramento das disponibilidades das origens de água em exploração potencialmente utilizáveis, nomeadamente cursos de água, nascentes, poços ou furos. Na ausência de monitoramento destas origens de água ou para complementar os dados existentes, é frequentemente necessário realizar um balanço hidrológico para avaliar as diversas componentes do ciclo hidrológico e quantificar os recursos superficiais e subterrâneos disponíveis e passíveis de serem explorados.

Localização do arquipélago de Cabo Verde

O arquipélago de Cabo Verde fica localizado na margem oriental do atlântico Norte, entre os paralelos de Latitude 14° 48' e 17°12' Norte e os meridianos de Longitude 22°44' e 25°22' Oeste, a cerca de 450km a oeste da costa ocidental aficana e a cerca de 1400 km a SSW das ilhas Canárias (Figura 1).

Figura 1 - Localização geográfica do arquipélago de Cabo Verde na costa ocidental africana.



Fonte: PINA;VARELA (2022).

O arquipélago é constituído por 10 ilhas e 13 ilhéus, distribuídos em forma de ferradura com abertura para ocidente, das quais 9 sendo habitadas, que ocupam 4.033 km² com população de 491.875 habitantes (INE, 2010). Mais da metade da população vive na ilha de Santiago, onde fica a capital do país, a cidade da Praia. As ilhas são todas de origem vulcânica, mas apresentam, para além de dimensões e configurações diversas, características geológicas e geomorfológicas que as diferenciam. Em função do relevo, temos o grupo das ilhas planas ou rasas (Sal, Boavista e Maio) situadas a este do arquipélago e com uma altitude que não ultrapassa os 450 metros; e, o das ilhas altas (Santo Antão, Fogo, Santiago, São Nicolau, São Vicente e Brava) situadas mais a ocidente, com grandes pendentes nos relevos apresentando uma intensa rede de drenagem, assim como os maiores potenciais hídrico e agrícola.

Clima

Do ponto de vista climático, o arquipélago de Cabo Verde fica situado numa vasta zona de clima árido e semiárido, que atravessa a África desde o atlântico até o Mar Vermelho e se prolongando pela Ásia. Esta faixa extensa fica compreendida entre os centros de altas pressões subtropicais do atlântico Norte e a linha de convergência intertropical, no seio dos ventos alísios (AMARAL, 1964). À semelhança dos outros países sahelianos, Cabo Verde manifesta duas estações distintas: estação seca, de dezembro a junho, e estação úmida, de agosto a outubro. Os meses de julho e novembro são considerados como de transição. O arquipélago, por vezes, é invadido por rajadas de vento quente e seco (harmatão), proveniente do deserto de Sahara, quando o anticiclone dos Açores se desloca mais a leste. Este vento sopra por poucas horas, mas pode, também, prolongar-se por vários dias. Apesar do percurso marítimo de algumas centenas de quilômetros, chega às ilhas ainda quente e seco. Para além do harmatão, o clima cabo-verdiano é condicionado por mais dois tipos de ventos, de origem e características diferentes: o alísio do nordeste e a monção do atlântico Sul (BEBIANO, 1932.).

As precipitações no arquipélago são, geralmente, fracas, com valores médios que não ultrapassam, anualmente, 300 mm para as zonas situadas abaixo de 400 m de altitude e 700 mm para as zonas situadas a mais de 500 m e expostas aos ventos alísios. Contudo, as ilhas mais aplanadas podem registar precipitações anuais inferiores a 250 mm sendo, portanto, enquadráveis no clima árido. De um modo geral, a precipitação está concentrada em agosto, setembro e outubro; pelo contrário, no período de dezembro a junho, a precipitação é praticamente nula. Os meses de julho e novembro registam alguma precipitação, podendo ser considerados meses de transição.

Da integração dos valores médios de precipitação e temperatura mensais, verifica-se que a temperatura máxima é registada no mês de setembro, que é também o mês de maior precipitação. A evapotranspiração potencial é de 1564,8 mm, o que limita a evapotranspiração efetiva ao valor da precipitação (ALY PINA, 2014).

Geologia e geomorfologia

De acordo com Bebiano (1932), as várias erupções vulcânicas que deram origem às ilhas de Cabo Verde tiveram início no fundo do oceano e, em alguns casos, os produtos vulcânicos levaram até à superfície fragmentos da litosfera. Segundo Burke e Wilson (1972), a gênese das ilhas está associada a um mecanismo do tipo *hotspot*. Do mesmo modo, Crough (1978) considera que o arquipélago é o resultado

de um *hotspot* desenvolvido a partir de plumas mantélicas. Mais recentemente, ALI *et al.* (2003) e PIM *et al.*, (2008), consideram que o mecanismo de *hotspot* não consegue explicar completamente a origem destas ilhas. Segundo estes autores, processos magmáticos profundos, nomeadamente o levantamento dinâmico, seriam os responsáveis pela formação das ilhas do arquipélago.

Nas ilhas de Santiago e de São Nicolau, a circulação da água subterrânea depende, em certo grau, das características litológicas primárias e secundárias, resultantes da origem da própria rocha e dos processos da formação da mesma. As características litológicas primárias relacionam-se com o volume, a frequência e o grau de associação de cavidades, poros e fissuras, sendo em regra responsáveis pelas propriedades hidráulicas (a permeabilidade varia significativamente devido à heterogeneidade do meio).

A diversidade hidrogeológica da ilha apresenta uma variedade das formações litológicas onde ocorrem os aquíferos, é seguramente responsável pela existência de vários tipos de funcionamento hidráulico, pela multiplicidade de conexões hidráulicas com outros subsistemas, pela variabilidade das produtividades observadas e pela diversidade dos sentidos de fluxo. Quanto ao relevo, verifica-se que algumas ilhas têm um relevo assaz montanhoso, como é o caso das ilhas do Fogo (a que apresenta maior altitude, 2829 m), de Santo Antão, de São Nicolau, de Santiago e Brava, em que em parte delas se podem diferenciar as plataformas litorais (que se relacionam com derrames lávicos basálticos), as formas de relevo acidentado que se erguem da superfície costeira e as áreas montanhosas centrais de relevo majestoso e densamente talhado pela erosão.

Gestão da água no contexto da escassez e incertezas

A gestão da água está associada, de uma forma mais ou menos explícita, a decisões fortemente influenciadas por incertezas e, também, por riscos. Com efeito, a água, como um recurso natural, está associada a eventos ou ocorrências com elevada variabilidade à escala temporal e espacial. As incertezas, estão, assim, sempre presentes na definição e caracterização de cenários futuros. Nesta conformidade, as incertezas têm influenciado a gestão da água, nomeadamente as relacionadas com a garantia de disponibilidade de água, em quantidade e qualidade, e, com a segurança de pessoas e bens. Desde épocas remotas da história da humanidade que se enfrentam as referidas variabilidades e incertezas com intervenções tendentes a controlar as mesmas.

As mais antigas civilizações hidráulicas conhecidas desenvolveram-se em regiões mais ou menos áridas fertilizadas por cheias de grandes rios. Aprendeu-se a conviver com as cheias e a tirar partido das águas com obras de grande envergadura. Escreve Platão (428-347 a.C.):

... nós outros temos o Nilo, nosso salvador fiel, que em tais anos nos protege, livrando-nos dessa calamidade, pelas suas cheias. Quando...os Deuses submergem a Terra com as águas, para purificá-la, os habitantes das montanhas, boieiros e pastores, escapam da morte, mas os que vivem nas cidades são arrastados pelos rios para o mar" (TIMEU, 360 a.C.).

O saber conviver exigiu equilíbrio, perdas e ganhos, cada vez mais difíceis à medida que a humanidade foi desafiando e densificando os territórios das águas e concentrando a sua ocupação onde parecia mais conveniente, relegando para

segundo plano, perigos inerentes. A garantia de abastecimento de água a populações urbanas e a atividades econômicas exigem o desenvolvimento de técnicas e de critérios de dimensionamento adequados para atenuar a incerteza e para evitar os prejuízos associados. A ameaça à saúde pública resultante da poluição produzida pelos humanos, ou por outras origens, veio a constituir um fator relevante na consolidação dos serviços públicos para abastecimento de água a zonas urbanas e num desenvolvimento mais saudável e sustentado das sociedades contemporâneas, nomeadamente, a partir do século XIX.

Os riscos públicos associados a eventos como as cheias ou o avanço do mar nas zonas costeiras devem motivar, por parte dos decisores e de gestores, a construção de obras de defesa, tendo em vista a atenuação dos potenciais danos resultantes. Para a sua concretização devem ser definidos critérios de segurança baseados na experiência acumulada, nas parcerias desenvolvidas e no conhecimento científico.

O domínio da gestão da água envolvendo as incertezas aleatórias e, ainda, as decorrentes do nosso conhecimento incompleto ou deficiente (incertezas epistêmicas) constitui, assim, um domínio propício à aplicação do conceito de risco. Saliem-se, em particular, os aspetos relativos à proteção contra acontecimentos extremos de origem natural (e.g. cheias e inundações, secas, erosão costeira etc.) ou acidentes de origem tecnológica (e.g. roturas de barragens, diques, condutas etc.) e às diversas práticas de gestão envolvendo processos de decisão (e.g. no planeamento, na seleção de critérios de dimensionamento e de soluções alternativas de projeto e de exploração de sistemas hidráulicos ou na gestão de serviços e obras significativas). Numa perspectiva geral, a análise e a gestão de riscos podem ser consideradas como componentes de uma gestão integrada dos recursos hídricos.

Com o efeito, a variável *risco* pode ser integrada nos diferentes processos de decisão relativos a cenários futuros de forma a propiciar a minimização das consequências expectáveis negativas ou adversas contribuindo, assim, para melhorar a segurança, a eficiência e a sustentabilidade da gestão da água. A gestão da água, estando associada a um dos setores mais estratégicos e vitais da humanidade, não pode deixar de ser sensível a esta tendência em particular nos aspetos referentes à segurança ambiental e de pessoas, bem como a sustentabilidade e eficiência de decisões estratégicas.

Eventos críticos, evolução em Cabo Verde e dimensões do risco

Regra geral, a identificação de situações perigosa que possam constituir o *risco* é baseada em dados históricos e em previsões científicas. Entre os perigos naturais que afetam o arquipélago de Cabo Verde, a seca assume maior relevância socioeconómica. A história do país está marcada de modo dramático pela sua ocorrência, sendo a seca de 1946 um dos mais marcantes, que tirou a vida a mais de 30 mil pessoas (EM-DAT/Cabo Verde *Country Profile*) e forçou muitos cabo-verdianos a emigrar para as plantações de café e cacau das ilhas de São Tomé e Príncipe.

A variabilidade espaço-temporal das precipitações e a presença de climas locais condicionados pela orografia das ilhas e a exposição aos ventos alísios dominantes de nordeste determinam o contraste das paisagens agrícolas de uma ilha para outra, onde uma vasta região árida cobre uma superfície considerável das ilhas. A questão das alterações climáticas e do respetivo impacto futuro nos recursos hídricos e nos eventos hidro-meteorológicos é fundamentada em projeções de alterações futuras do clima obtidas pelos modelos climáticos globais. Estes são modelos matemáticos baseados em equações e hipóteses consideradas razoáveis face aos

conhecimentos atuais e as simulações executadas. Em Cabo Verde, as alterações climáticas têm efeitos em alguns processos associados à água, nomeadamente:

- A variação da disponibilidade de águas;
- a alteração nos padrões da precipitação e da ocorrência de secas e de outros eventos extremos, e;
- a subida do nível de mar, por exemplo na costa leste da ilha de Santiago.

Estas ameaças potenciais nos sistemas naturais, ou construídos nomeadamente pela modificação no padrão de variáveis aleatórias, são fundamentais na aplicação de critérios de dimensionamento económico e de segurança. Deste modo, apesar da incerteza das projeções sobre as alterações climáticas no arquipélago, as mesmas constituem um risco relevante atendendo às potenciais consequências e à modificação nas condições de variabilidade associadas à probabilidade de ocorrência de eventos com elevada severidade e à garantia de disponibilidades hídricas. Registra-se, desde o período 2016 - 2020, seca severa no arquipélago e medidas de adaptação já estão previstas constituindo, assim, ações de mitigação no âmbito de uma tentativa de gestão deste risco global.

Constitui como grande fragilidade do país, os escassos registos de dados das variáveis climáticas (a precipitação, a temperatura, a velocidade do vento, a humidade relativa e a insolação), assim como da respetiva homogeneidade e da consistência das séries no arquipélago. A descontinuidade espacial do território (composto por dez ilhas) por um lado, e por outro, a irregularidade da precipitação dificultam de forma significativa uma análise cautelosa da área afetada pela seca, assim como do índice vegetativo visando melhorar a captação de sinal de vegetação, minimizando os efeitos atmosféricos e do solo.

A seca (meteorológica, agrícola e hidrológica), considerada genericamente como a falta prolongada de precipitação, tem-se tornado cada vez mais grave e mais frequente em Cabo Verde, país insular, de clima árido e semiárido, situado na costa ocidental africana, que apresenta uma acentuada variabilidade e sazonalidade no seu regime pluviométrico, o que o torna particularmente vulnerável à ocorrência desse fenómeno.

Sendo Cabo Verde um país onde a agricultura de sequeiro tem uma expressão elevada, aliado à recente experiência adquirida durante o episódio de seca ocorrido em 2016 - 2020, torna-se evidente que se deveria trabalhar em separado dois fenómenos de seca: um relativo à "**Seca Agrometeorológica**", com efeitos na diminuição ou até mesmo na perda de capacidade produtiva dos solos, bem como deterioração das pastagens e difícil acesso a água para desedentação do gado extensivo, que poderão levar a graves perdas de produção e morte de animais conduzindo a situações económicas dos produtores bastante precárias, e outro respeitante à "**Seca Hidrológica**" onde existem consequências nas reservas hídricas do país, localmente ou em todo o território, podendo afetar ou colocar em perigo a operacionalidade dos sistemas de abastecimento público e de regadio, justificando assim a adoção de um conjunto de procedimentos específicos destinados a minimizar os impactos em cada setor.

O conjunto desses procedimentos, numa primeira fase, o planeamento de contingência é constituído pelo conjunto das medidas que se destinam a fazer face as condições excecionais de escassez de água que afetam principalmente a pecuária extensiva e os produtores baseados em agricultura de sequeiro protegendo a sanidade dos animais e culturas permanentes de sequeiro.

Por outro lado, com o prolongar de períodos sem precipitação, são necessárias medidas de contingência que contrariem a diminuição de capacidade para garantir o normal fornecimento de água, não só às populações, como às atividades econômicas de relevo, nomeadamente explorações agropecuárias.

Assim, de modo a possibilitar a gestão das situações de seca de forma mais eficaz, com a adoção de medidas apropriadas a cada fase de agravamento da mesma, há a necessidade de definição e avaliação de indicadores que permitam fixar as condições para declarar níveis de alerta com base em critérios objetivados segundo parâmetros técnico-científicos.

A estratégia de resposta deverá estar adaptada às condições e aos problemas locais gerados pela seca, sendo posta em marcha de forma gradual, acompanhando a severidade e duração da ocorrência, segundo níveis de intervenção adequados ao seu estágio evolutivo.

Porém, na análise de situações de seca no passado recente verificaram-se algumas divergências nas repercussões que estas tiveram no país. É possível que, num determinado período temporal em que se verifique um desvio de precipitação acentuado face à média, não haja repercussões nas reservas hídricas localizadas, mas provocar perdas acentuadas principalmente na agricultura de sequeiro e pecuária extensiva. O contrário também poderá ocorrer quando, após uma seca plurianual, ocorra um ano de precipitação normal, com rápida recuperação da agricultura, podendo esta já ter um ano produtivo normal, mas ainda serem necessárias medidas de contingência no consumo de água, uma vez que as reservas hídricas poderem ainda estar a recuperar os níveis médios normais.

Em termos científicos, a existência de várias definições e tipos de secas levou à criação de muitos índices para a sua avaliação e análise, que geralmente pretendem determinar o início do período seco, o grau de severidade e a sua frequência de ocorrência. Contudo, nem todos os índices possuem a capacidade de determinar estes aspectos. São vários os estudos que apresentam uma análise das vantagens, assim como das limitações dos índices mais conhecidos e aplicados no mundo, nomeadamente os de Keyantash e Dracup (2002); Narasimhan e Srinivasan (2005); Hayes (2002); Tsakiris *et al* (2007); Vicente-Serrano *et al* (2010); Rosa e Pereira (2011) e Mu *et al* (2013).

Keyantash e Dracup (2002) avançam ainda mais nesta análise, atribuindo pesos de 2 - 8% e ponderações de 1-5, valores a critérios como robustez, flexibilidade, transparência, sofisticação, extensibilidade e dimensionalidade a cada índice. A robustez do índice permite a sua aplicação a qualquer lugar, independentemente das suas características físicas; deve ser flexível, ou seja, de simples computação; transparente no sentido que os passos no cálculo do índice sejam claros e perceptíveis; a sofisticação pode ser vista como o oposto de flexibilidade e transparência, porém constitui um aspecto importante na concepção e qualidade de qualquer índice, sendo que isto é possível a partir de utilização de dados adequados e de grande qualidade.

A história do arquipélago de Cabo Verde está marcada de modo dramático pela sua ocorrência: entre o século XVII e meados do século XX, Amaral (1991) identificou 32 eventos com consequências relevantes na produção agrícola do arquipélago, muitos deles na origem de graves crises alimentares que redundaram em surtos de fome generalizada e mortalidade.

A partir do final da década de 60 do século passado, tal como em todo o Sahel, têm ocorrido diversos episódios, alguns de longa duração, como os que foram observados de 1968 a 1973 e de 1981 a 1983, quando a precipitação ocorrida em Cabo Verde foi 50 a 70% inferior à precipitação média do período 1941-1990 (COSTA,

1995). Entre os 10 desastres naturais que mais pessoas afetaram no arquipélago entre 1969 e 2010, constam as secas de 1969, 1980, 1982, 1998 e 2002 (EM-DAT/ Cabo Verde *Country Profile*), que incitou danos relevantes a pessoas e bens e ao ambiente, integrando fator e justificação importante dos riscos associados à água. Contudo, continua a se registar situações associadas a decisões relativas ao planeamento e ao desenvolvimento de ações de âmbito empresarial ou político em que os insucessos têm sempre custos.

Santos (2016) avaliou a distribuição temporal de episódios de secas ocorridos no arquipélago e realizou um calendário de eventos para o período de 1962-2013, com a aplicação do índice SPI (*Standardized Precipitation Index*) foi possível identificar 209 episódios de secas entre 1962 e 2013, dos quais 114 foram moderados, 43 severos e 53 extremos. Em termos cronológicos, verifica-se a crise dos anos 70 e registro de episódios pontuais no início dos anos 80 e 90 e uma sucessão de anos normais ou úmidos. A avaliação de susceptibilidade permitiu chegar à conclusão de que cerca de 80% do território do arquipélago possui uma suscetibilidade elevada de ocorrência de seca.

Os eventos relacionados com a água, de uma forma ou de outra, são muito frequentes e apresentam graus de gravidade muito diferentes. Neste contexto, os gestores (decisores) devem estar conscientes de que o processo de decisão deverá ser o mais eficaz e eficiente para atender aos diferentes condicionantes e melhorar a justificação e a comunicação das decisões técnicas ou empresariais. A institucionalização do processo de gestão de risco integrando-o, de forma permanente, abrangente e regulamentada poderá ser com a sua consolidação uma ferramenta resolutive. Trata-se, neste caso, de sublinhar a vontade de promover uma gestão prudencial que tenha em conta as incertezas das potenciais perturbações futuras e os custos dos danos ou benefícios envolvidos nos cenários futuros.

Nesta conformidade, a implementação é, fundamentalmente, uma questão de organização funcional e de introdução de procedimentos e de competência técnica, salvaguardado os aspectos éticos e legais exigindo, para o efeito, uma capacidade efetiva de intervenção e de moderação dos gestores impedindo níveis de segurança inaceitáveis ou justificações de decisões socialmente inadmissíveis. A título de exemplo, constata-se na ilha de Santiago a construção de barragens de aterro vs barragens de concreto mal localizadas e sem prévio estudo geotécnico e *respectivo* rigoroso monitoramento. O estatuto e a capacidade de intervenção dos gestores nacionais são muito importantes para o controle e monitoramento da evolução do processo. O princípio do "*bom senso*" não deve ser considerado uma mera habilidade técnica, exigindo um conjunto de pressupostos para se obter os melhores resultados, tais como:

- Uma relação positiva entre o gestor e a percepção social relativa aos diferentes tipos de riscos;
- a aceitação da aplicação da análise riscos-custos-benefícios em alternativa à fixação normativa de limites rígidos (proporcionando, assim, uma melhoria na eficiência económica de cada caso);
- a consideração de um processo de decisão administrativa transparente e flexível na gestão dos riscos públicos nomeadamente com a intervenção efetiva das partes interessadas e uma informação adequada ao público, proporcionando uma maior garantia de equidade e de aceitação na aplicabilidade das decisões;
- a definição da partilha de responsabilidades políticas e legais face aos riscos públicos resultante de um clima democrático de estabilização e confiança sociais.

Vivemos a era da aplicação de novas tecnologias da informação que tem permitido uma uniformização dos riscos mais completa e eficaz ao público em geral e a implementação de sistemas de proteção civil integrados de previsão e aviso que, objetivamente, podem melhorar a segurança, a proteção de pessoas e bens e facilitar a investigação. A Figura 2 é um exemplo a ser implementado paulatinamente pela Agência Nacional de Água e Saneamento - ANAS na ilha de Santiago, consistindo no monitoramento e tecnologias (*Hardware e software*), modelação, SIG, telemetria radar e atuadores automáticos nos cursos de água.

Figura 2 – Abordagem avançada, pluridisciplinar do risco e monitorização tecnológica.



Fonte: GSI – ANAS, 2019.

Cabo Verde deve adaptar de forma faseada e fazer com que o modelo de gestão dos riscos associados à água seja um instrumento eficaz na sustentabilidade das reservas hídricas e da segurança pública ambiental.

De um modo geral, há uma condição física transitória caracterizada pela escassez de água, associada a períodos extremos de reduzida precipitação, mais ou menos longos, com repercussões negativas significativas nos ecossistemas e nas atividades socioeconômicas. Distingue-se dos restantes fenômenos naturais extremos, a exemplo das cheias, pelo facto do seu desencadeamento se processar de forma mais imperceptível, a sua progressão ser mais lenta, de arrastar-se por um maior período, poder atingir extensões superficiais de maiores proporções e a sua recuperação ocorrer de um modo também mais lento.

Por conseguinte, a escassez de água e as secas não são meramente uma questão a tratar pelos gestores de recursos hídricos. Têm um impacto direto nos cidadãos e nos setores econômicos que utilizam e dependem da água, como a agricultura, o turismo, a indústria, a energia e os transportes. Têm, também, impactos mais vastos nos recursos naturais, em geral devido a efeitos secundários negativos na biodiversidade, na qualidade da água, e no empobrecimento dos solos.

Os fatores que podem induzir uma seca são muito diversos e complexos, como:

- Fatores atmosféricos: precipitação, evaporação, temperatura, velocidade do

vento, insolação e umidade relativa;

- Fatores associados às condições hidrológicas: águas superficiais e subterrâneas;
- Fatores associados às condições agrícolas: o comportamento do solo, sistema e o tipo de colheita e o período de crescimento;
- Condições geográficas: a topografia do terreno, e;
- As atividades humanas: podem, por um lado, intensificar ou induzir o surgimento de uma situação de seca, mas, por outro, diminuir os seus efeitos.

O contexto da escassez de água em Cabo Verde resume-se conforme exposto no Quadro 1.

Quadro 1 - Regime de escassez de água em Cabo Verde.

ESCASSEZ	NATURAL	PRODUZIDA PELO HOMEM
Permanente	Aridez	Desertificação
	Precipitação média anual baixa a muito baixa e grande variabilidade espacial e temporal.	Desequilíbrio da disponibilidade de água devido à sobre-exploração das águas subterrâneas, combinado com degradação da terra, erosão e uso inadequado do solo, baixa infiltração, cheias rápidas mais frequentes e perda dos ecossistemas ripícolas.
Temporária	Seca	Penúria de água
	Precipitação persistentemente abaixo da média, ocorrendo com frequência, duração e severidade aleatórias, e cuja previsão é difícil ou mesmo impossível.	Desequilíbrio da disponibilidade de água incluindo sobre-exploração de aquíferos, capacidade dos reservatórios reduzida, uso da terra inadequado, degradação da qualidade da água e redução da capacidade de suporte dos ecossistemas.

Fonte: Pina (2022)

Planos de contingência

A experiência adquirida na gestão da seca registrada nos últimos cinco (5) anos em Cabo Verde permitiu concluir que a definição de um conjunto de medidas de caráter excepcional, devidamente acompanhada pela sua execução faseada, poderá constituir um instrumento útil à boa gestão dos escassos recursos hídricos disponíveis em condições meteorológicas/climáticas adversas.

Tendo em vista transportar essa experiência para a elaboração de planos de contingência, foi aprovada a resolução nº110/2017, publicada no B.O. nº 58, I Série referente ao Programa de Emergência para Mitigação da Seca e do Mau Ano Agrícola (PEMSMAA) e que cria a equipe técnica de pilotagem responsável pela coordenação de todas as operações de emergência, que propôs um guia orientador para a elaboração de planos de contingência a serem ativados quando ocorrer, ou se preveja que venha a ocorrer, acentuada redução das disponibilidades de recursos hídricos. A lógica presente na elaboração desse guia foi a construção de um documento simples e de fácil consulta, de tipo não rígido e ajustável à realidade específica de cada situação (entidades gestoras de sistemas de abastecimento em alta ou em baixa, entidades gestoras de sistemas de regadio etc.).

Constata-se, contudo, que nem todas as entidades gestoras de sistemas de captação e distribuição de água utilizam esta ferramenta operacional, situação que importa corrigir, de forma a assegurar que a procura de soluções para os diversos

condicionantes impostos pela escassez de água, ou seca, não seja feita de modo inopinado e não sistematizado, pondo em causa a sua eficiência.

Do mesmo modo, importa obviar à falta de mecanismos para a avaliação sistemática e permanente dos reais impactos da seca. Com efeito, os objetivos de um plano de contingência devem ser os seguintes:

- Procurar as medidas técnicas e socialmente adequadas para fazer face à redução das disponibilidades hídricas, num ambiente de serenidade e participação dos interessados;
- permitir a preparação técnica das medidas preconizadas;
- definir e divulgar um conjunto de regras claras que, permitindo aos interessados o conhecimento prévio das restrições a que estarão sujeitos e o confronto destas restrições com as de terceiros, facilitará, por um lado, a compreensão das motivações das medidas de restrição e a sua aceitação; por outro, a definição de estratégias de minimização dos seus custos ou prejuízos e a sua atempada preparação. Exemplos destas estratégias são: (i) incentivos fiscais e financeiros como a isenção de direitos aduaneiros, IVA e taxas associadas à importação de alimentos e medicamentos para animais bem como de materiais e equipamentos destinados à rega gota-a-gota; (ii) criação de linha de crédito facilitado para os agricultores e criadores de gado com acesso rápido a meios financeiros (máximo de 48 horas), sem juros e com período de carência alargados; (iii) parcerias com os fabricantes de ração, com importadores de cereais e outras empresas ou entidades no sentido de se fabricar e vender esses alimentos a preço unificado e reduzido para criadores; (iv) parcerias com Organizações Não Governamentais – ONGs na execução de ações de sensibilização e aconselhamento das famílias, na avaliação da situação social e alimentar e na eventual assistência social.
- facilitar a avaliação sistemática e permanente dos reais impactos da seca e do próprio plano, permitindo reajustar as medidas de contingência de forma a melhorar a respetiva eficácia ou equidade.

Do mesmo modo, importa obviar a falta de mecanismos para a avaliação sistemática e permanente dos reais impactos da seca. Entende-se, assim, que todas as entidades gestoras de sistemas de captação e distribuição de água deverão proceder à elaboração de um Plano de Contingência para situações de seca, sob pena de perderem prioridade nos apoios públicos em caso de seca. Por seu lado, caberá aos organismos governamentais de tutela ou de regulação, concretamente, a ANAS, fomentar ativamente a elaboração desses planos, nomeadamente através da disponibilização de informação e apoio técnico.

No que respeita ao abastecimento público, a obrigatoriedade de elaborar um Plano de Contingência deverá abranger todas as entidades responsáveis pela captação e distribuição de água aos aglomerados urbanos.

A agricultura cabo-verdiana representa 22% de emprego da população ativa. Perante os sucessivos cenários de mau ano agrícola e tendo em conta o seu impacto extremamente negativo para a população, urge a necessidade de monitorizar a agricultura de sequeiro praticada em todas as ilhas e a pecuária extensiva.

Vulnerabilidade e risco costeiro na ilha de Santiago

Em Cabo Verde, país arquipelágico, as zonas costeiras são particularmente vulneráveis à ação do mar. Além dos eventos extremos e de curto prazo, há uma di-

nâmica natural que pode dar origem a erosão costeira, associada à perda significativa de território para o mar. Esta dinâmica é também modificada pelas intervenções humanas, sendo muitas vezes amplificada e acabando por entrar em conflito com as próprias atividades humanas e a ocupação costeira. A elevada exploração dos cursos de águas nas zonas costeiras da ilha de Santiago, e a falta de recarga natural dos aquíferos têm como consequência o avanço da cunha salina e consequências na qualidade da água, em resultado da ação enérgica do mar com diferentes níveis de vulnerabilidade (Figura 3 a, b).

Figura 3 - Formas de exploração de água. a) Poços rasos (Cacimbas); b) construção de poços profundos junto a costa.



Fonte: Acervo dos autores (2022)

Na costa leste da ilha de Santiago, devido a topografia acentuada com cota praticamente nula, tal processo constitui um dos parâmetros de vulnerabilidade natural mais relevante. A água do mar invade o território e no seu retrocesso cria plumas de contaminação (Figura 4a) com consequências na salinização de solos (Figura 4b) e posterior salinização dos cursos de águas pouco profundos devido ao efeito de lixiviação.

Figura 4 - a) Invasão da água do mar para o continente; b) Salinização do solo, onde são observadas manchas de cloreto de sódio (Halita).



Fonte: Acervo dos autores (2022)

A altura significativa da onda, parâmetro caracterizador da agitação marítima, assim como a velocidade do vento, estão diretamente relacionadas à taxa de transporte sólido longitudinal.

As cartas geológicas fornecem informações acerca da natureza das rochas e dos sedimentos nas zonas costeiras. A classificação de vulnerabilidade associada às características geológicas baseia-se no comportamento e na escala de dureza dos minerais que os constituem. Com efeito, as rochas magmáticas, ou eruptivas, apresentam uma elevada dureza e, portanto, a sua vulnerabilidade à ação do mar é muito baixa. No outro extremo da classificação tem-se a vulnerabilidade muito elevada dos sedimentos finos não consolidados. A fraca cobertura vegetativa e presença de vegetação rasteira associada às intervenções antropogênicas interferem com a dinâmica costeira natural, com impactos sobre os volumes de sedimentos em transporte.

O mapeamento das zonas costeiras em termos de vulnerabilidade e de risco deve ser prioritário e utilizado como ferramenta de apoio à tomada de decisão, nomeadamente em termos de hierarquização de prioridade de ação. A própria retirada de areias locais dos cordões dunares e das praias, nomeadamente para construção civil, tem sido uma prática que, apesar de proibida, ainda se verifica, com consequências ao nível da posição da linha da costa (Figura 5).

Figura 5 – Retirada de areia junto a costa para efeitos de construção civil.



Fonte: Acervo dos autores (2022)

A construção de barragens nos cursos fluviais pode contribuir significativamente para esta diminuição do volume de sedimentos que chega ao mar (Figura 6).

Figura 6 – Construção de barragens.



Fonte: Acervo dos autores (2022)

Intrusão Salina

Como potenciais consequências de riscos costeiros enumeram-se a intrusão salina, diminuição da água potável, perdas de biodiversidade, perdas de território, danos ou perdas de bens, danos morais, perdas de vidas humanas, diminuição de turismo de sol e praia, entre outros impactos. O risco costeiro tem vindo a aumentar significativamente na costa Cabo-verdiana, quer pelos impactos das alterações climáticas, quer pela permanente intervenção antrópica direta e indireta no sistema costeiro. Uma gestão sustentável requer, por um lado, a adaptação às alterações climáticas e às alterações dos ambientes costeiros e, por outro, a integração de conhecimento, o mais profundo possível, dos processos costeiros, não só técnico e científico, mas, também, conhecimento comum envolvendo as comunidades locais no processo.

Uma gestão participativa enriquece a tomada de decisão, na medida em que fornece mais informação e mais pontos de vista para a discussão dos problemas e para a definição das soluções.

A intrusão salina nos aquíferos costeiros é um fenómeno natural devido à maior densidade da água do mar. É modificada e exacerbada devido ao aproveitamento das águas subterrâneas, ações no território que reduzem a recarga para aquíferos, e obras costeiras que envolvem drenagem e alteração da permeabilidade. Na costa Cabo-verdiana a água do mar ocupa a parte inferior do terreno e cerca de 2 a 3% se mistura com água doce o suficiente para inviabilizar a água resultante para a maioria dos usos, se, processos de redução de salinidade não forem aplicados, o que obriga a um alto consumo de energia e elevados custos financeiros.

O conhecimento científico da intrusão salina e seus aspectos de quantidade e qualidade datam do início do século XX, mas em grande parte é baseado em avanços após 1950. O princípio hidrodinâmico básico é a Lei *Badon Ghijben – Herzberg (1901)*, que considera o equilíbrio entre fluidos de diferentes densidades. Baseia-se no equilíbrio estático das colunas de água de densidades diferentes no solo, com as

seguintes simplificações em termos de postulados:

- a) O fluxo de água doce é horizontal e, portanto, o potencial hidráulico é constante em qualquer posição vertical;
- b) não há fluxo de água salgada;
- c) a interface é áspera, não há mistura de águas;
- d) o nível do mar é constante com a seguinte referência altitudinal ($z = 0$).

Sua aplicação requer a consideração da geometria do fluxo e que o trânsito entre a água doce e a salgada pode variar entre a zona da interface e uma zona de mistura bem desenvolvida.

O tratamento analítico só oferece soluções e aproximações para o caso de interface em regime permanente e com condições geométricas simples e meio homogêneo. Situações mais complexas requerem a resolução da equação de fluxo junto com a equação de transporte usando modelos numéricos. A exploração de um aquífero costeiro supõe alterações importantes das condições de escoamento e, portanto, das relações entre água doce e água do mar. Devem ser, portanto, objeto de preocupação, em particular no que respeita à definição das estratégias e políticas de gestão de sistemas de recursos hídricos incluindo, naturalmente, os sistemas de abastecimento de água. Nenhum argumento é aceitável, assim como, não deve constituir razão suficiente para adiar ação, escolhendo políticas flexíveis e facilmente adaptáveis, uma vez que se trata de um país arquipelágico. De fato, crê-se que a não implementação de ações e processos de planejamento e de gestão da água tornarão a resolução de futuras situações críticas ainda mais difícil e complexa.

Processos químicos compatíveis com os minerais na costa leste da ilha de Santiago - exemplo de estudo

Na ilha de Santiago, as argilas presentes são do grupo dos silicatos. O grupo dos óxidos ocorre com maior frequência em regiões de intemperismo acentuado, onde os processos de percolação de águas são muito atuantes durante a formação do solo, (ALVES *et al*, 1971). A gênese de solos salinos (holomórficos) está fortemente relacionada à formação geológica e à drenagem.

O mineral existente em maior proporção relativa nos solos da ilha de Santiago é o quartzo (SiO_2), com exceção dos solos do Complexo Antigo e da Formação dos Órgãos onde o principal mineral é o feldspato ((K, Na Ca) (Si, Al) $_4$ O $_8$) e o piroxênio de sódio ($\text{Na}(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})\text{Si}_2\text{O}_6$), respectivamente. Os solos derivados destes arenitos nas rochas sedimentares, e junto a costa, são constituídos por 99% de quartzo com grãos de aderência ferruginosa e 1% de concreções ferro-argilosas e ferruginosas e são caracterizados por uma sequência de siltitos, argilitos e arenitos finos argilosos, com litofácies típicas de ambientes lacustres rasos.

Os solos desenvolvidos sobre a Formação Monte das Vacas (MV) caracterizam-se pela presença de quartzo, hematita (Fe_2O_3), e (titano) magnetita ($\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3)$), plagioclásio (que vai de $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ até $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (Albita – Anortita), pode conter potássio em quantidades consideráveis em quanto mais sódico e feldspato potássico, piroxênio, filossilicatos e olivina ((Mg,Fe) $_2\text{SiO}_4$).

O enriquecimento em hematita e (titano) magnetita pode dever-se ao facto desta formação corresponder aos depósitos piroclásticos formados à superfície e,

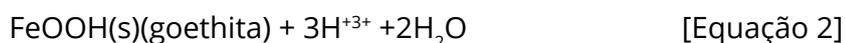
como evidência, as suas rochas apresentam teores mais elevados em óxido de ferro (Fe_2O_3), e os solos são mais enriquecidos em olivina, (ASSUNÇÃO *et al*, 1970).

Junto à costa e nas bacias hidrográficas da Ribeira Seca e da Achada Baleia surgem camadas evaporíticas formadas principalmente por gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e anidrita (CaSO_4). Do topo à base é composto de calcários micríticos argilosos e folhelhos calcíferos, laminados, representando fácies centrais de um sistema deposicional lacustre, expressiva quantidade de Carbono Orgânico Total (COT), da ordem de 25%, o que propicia atividades metabólicas de microrganismos heterotróficos, que levam à oxidação da matéria orgânica.

Regista-se baixa concentração de ferro na água junto a costa lesta da ilha de Santiago, concretamente, na bacia hidrográfica da Achada Baleia, e alta concentração de sulfatos provenientes na crosta terrestre, e com sucessivas ocorrências em evaporitos ou depósito salino (característica de rocha sedimentar) ou na forma de camadas interestratificada de folhelhos, calcários e argilitos, podendo também ser encontrado em litotipos meteóricos juntamente com a grande quantidade de matéria orgânica que proporcionam processos termodinâmicos de oxidação-redução anaeróbicos através de atividades microbiológicas, onde, o metanol (CH_2O) representa genericamente, matéria orgânica (Equação 1).



Deste modo, com a dissolução de goethita (Equação 2), há uma redução de $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$



de gipsita (Equação 3),



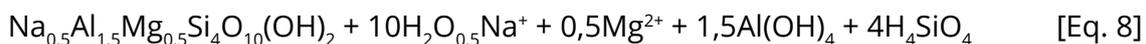
o S^{6+} nos sulfatos reduzir-se-á para S^{2-} nos sulfetos (Equações 4 e 5).



A existência de sulfetos e de íons ferrosos em solução é resultante da precipitação de pirita (FeS_2) (Equação 6), que é um mineral de solubilidade muito baixa.



Como o quartzo (SiO_2) e as argilas são produtos finais nos processos de intemperismo, é provável que ocorram precipitações de argilas, que serão representadas na simulação hidroquímica pelas montmorilonitas cálcicas (Equação 7) e sódicas (Equação 8),



Outro processo considerado na simulação hidrogeoquímica, além daqueles de dissolução, precipitação e oxidação-redução descritos, é o processo de troca iônica entre íons metálicos adsorvidos em argilas devido principalmente à presença de arenitos argilosos na região da Achada Baleia. Desta forma, admittiu-se trocas entre os íons Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ , tendo como substrato argila.

Para o cálculo das transferências molares entre as formações geológicas e a água subterrânea através da inversão geoquímica, usando o aplicativo PHREEQC 2.12, elegeu-se uma amostra de água da bacia hidrográfica da Ribeira Seca como “*inicial*” e outra da bacia hidrográfica da Ribeira de São Miguel “*final*” (Tabela 1).

Tabela 1 - Hidroquímica das amostras de águas subterrâneas utilizadas na modelagem (ALY PINA, 2011).

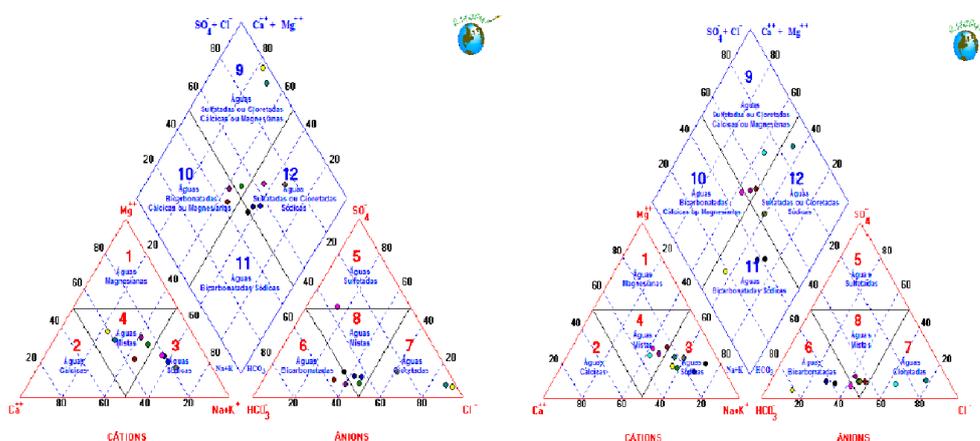
Amostra	pH	T °C	CE μS/cm	Concentração em mmol/litro							
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
<i>Inicial</i>	6,8	26,9	1433	0,22	0,18	1,3	0,65	-	1,8	0,0	0,39
<i>Final</i>	7,3	27,8	2364	3,45	2,69	3,85	2,48	0,02	3,55	2,63	4,18

Fonte:

Estas duas amostras representam, respetivamente, o *início* e o *fim* do processo de evolução hidrogeoquímica decorrente das características litológicas e mineralógicas das formações geológicas existentes ao longo da principal direção de fluxo subterrâneo corresponde a NW – NE, zonas onde o nível potenciométrico se encontra sob o nível médio do mar. O fluxo natural subterrâneo na ilha segue a topografia, (zonas mais altas para as mais baixas) descarregando nas principais linhas de água superficiais (ribeiras) e em direção ao exutório.

O valor elevado da condutividade elétrica (CE) na água subterrânea não é devido aos litotipos, compostos de minerais pouco solúveis e com grande resistência ao intemperismo, mas, sim, do clima árido e semiárido, do longo período de estiagem e da elevada exploração dos recursos hídricos. As águas subterrâneas apresentam fácies hidroquímicas várias, sulfatadas ou cloretadas sódicas, (SO₄ – Na) ou (Cl - Na), sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas (Figura 7-1), para a amostra *inicial* e, bicarbonatada sódica (HCO₃-Na), sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas (Figura 7-2.) para a amostra *final*, com predominância ao Na⁺ como cation dominante e Cl⁻ e SO₄²⁻ como anions com maior frequência.

Figura 7 – Diagrama de Piper com amostras de água *inicial* (1) e *final* (2), utilizadas na inversão hidroquímica.



Fonte: Pina (2014)

A dissolução incoerente de gipsita (Equação 3) ocorre porque a água que chega com feição bicarbonatada cálcica magnésiana apresenta alta concentração de cálcio, um elemento comum também à gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). À medida, portanto, que a gipsita se dissolve, liberando íons de cálcio e de sulfato para a solução, haverá consequente deposição de calcita (CaCO_3), retirando íons de carbonato da solução e diminuindo seu pH. Este processo confere a água subterrânea em sulfatada cálcica magnésiana.

Finalmente, a água que apresenta concentrações elevadas de cátions fluirá pelo aquífero em direção a costa. Devido à presença de argilas junto a costa deste aquífero, espera-se a ocorrência de processos de troca iônica entre os cátions de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ assim como precipitação de argilas.

A presença do mineral halita (NaCl), formada incipientemente junto com os depósitos evaporíticos, não é de origem geológica, mas sobretudo da intrusão salina, da elevada exploração da água subterrânea e da extração de areia junto a costa. Da mesma forma, apresenta as seguintes razões iônicas: $r\text{Cl} > r\text{HCO}_3 > r\text{SO}_4 > r\text{CO}_3$ e $r\text{Na} > r\text{Ca} > r\text{Mg} > r\text{K}$.

A água nos aquíferos possui uma feição cloretada sódica, embora pela mineralogia e condição de aquífero livre fosse esperada uma feição bicarbonatada mista. Esta feição, cloretada sódica pode ser explicada através da dissolução de aerossóis marinhos, trazidos por correntes atmosféricas, que entram no aquífero através da recarga com baixas, mas significativas concentrações de cloro e sódio, conferindo uma mineralização expressiva da água. O desenvolvimento de vários processos hidroquímicos permite a dissolução de CaCO_3 e de $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ contribuindo para aumentar substancialmente as concentrações dos íons de Ca^{2+} , Mg^{2+} e HCO_3 mudando a composição química da água de cloretada sódica (porém com baixas concentrações de sais) para bicarbonatada cálcica magnésiana e com certo grau de dureza.

Modelagem hidrogeoquímica aplicada no aquífero freático da costa leste da ilha de Santiago (ALY_PINA, 2011) apresentou as relações hídricas água-doce, água-salgada e a grande importância para caracterizar intrusão salina, assim como obter a situação num dado momento e respetiva evolução. Alguns métodos foram utilizados para a caracterização da água subterrânea, envolvendo a preparação de gráficos, diagramas e tabelas para classificação das águas e formulação de hipóteses conceituais, seguida da realização dos cálculos de especiação e índices de satura-

ção através do código para modelagem hidrogeoquímica PHREEQC 2,12 (Parkhurst e Appelo, 2005). Os resultados permitiram avaliar a cunha de intrusão salina e, conseqüentemente, auxiliar na avaliação dos riscos de salinização. Através das razões iônicas obtidas observou-se que as águas subterrâneas da costa leste da ilha de Santiago apresentam forte influência marinha, ainda que a salinidade total diminua à medida que nos afastamos da costa.

Os resultados conseguidos pelo modelo PHREEQC 2,12 em relação aos índices de saturação mostram que os minerais de ferro e alumínio se encontram quase saturados na solução, diferentemente dos minerais carbonatados e sulfatados. A presença de ferro dissolvido ou incrustações desse elemento começam a ter efeito na água subterrânea local. As relações iônicas são fundamentais, alguns conservadores como bromo (Br) estão sujeitos a modificações, como o íon borato (BO_3^{3-}), de ácido bórico (H_3BO_3) e traem o processo de atuação requerendo atenção cuidadosa. O conteúdo de sílica dissolvida é um bom indicador do grau de interação com o terreno. Da mesma forma, isótopos ambientais como C, S, Sr e B, e isótopos presentes na água em combinação com a salinidade, associados a estudos hidrogeoquímicos são ferramentas que permitem encontrar possíveis explicações, desde que, a amostragem esteja correta e a interpretação seja baseada num modelo conceitual de operação e atualizado para à medida que novas informações sejam obtidas.

As rochas magmáticas de quimismo carbonatítico patenteado por rochas constituídas por carbonato ígneo na ilha de Santiago distribuem-se por vários tipos de formações geológicas com diferentes idades, ficando as mais antigas localizadas, na maioria dos casos, no leito das ribeiras em áreas desnudadas.

Concepção e cálculo da disponibilidade hídrica na ilha de Santiago

A disponibilidade hídrica subterrânea pode ser definida como a quantidade de água armazenada nos aquíferos, disponível para os diferentes usos e extraída de forma sustentável.

A estimativa da disponibilidade hídrica subterrânea requer, além de procedimentos científicos, diretrizes políticas e admite diferentes interpretações, estando ligada às finalidades de planejamento e de gestão das bacias hidrográficas.

A disponibilidade hídrica está relacionada diretamente com as reservas de água subterrânea. Em sentido amplo, CUSTÓDIO (1996) define reserva "...como a totalidade da água móvel existente num sistema aquífero, ou seja, a quantidade de água presente somente em camadas permeáveis".

A forma como a quantidade de água se encontra contida ou armazenada nos aquíferos pode ser distinguida em armazenamento drenável e armazenamento compressível (MACE *et al.*, 2001). *Armazenamento drenável* é a quantidade de água que pode ser drenada naturalmente do aquífero e depende da porosidade efetiva (\emptyset_e) das rochas e constituintes. *Armazenamento compressível* é a quantidade de água armazenada nos aquíferos, devido aos efeitos elásticos originados pela compressão do próprio esqueleto físico e da água contida nos poros do aquífero (LLAMAS & GALOFRÉ, 1996).

De acordo com COSTA (1998), as reservas subterrâneas podem ser distinguidas em:

- Reservas reguladoras, renováveis ou ativas;
- Reservas permanentes ou seculares;

- Reservas totais ou naturais;
- Reservas exploráveis.

As *reservas ativas* representam a quantidade de água armazenada no aquífero e renovada anualmente a cada ciclo hidrológico e são determinantes para a manutenção do escoamento de base dos rios. As *reservas permanentes* correspondem ao volume de água acumulado no aquífero, não variável em decorrência da flutuação sazonal da superfície potenciométrica.

As *reservas totais* englobam as reservas permanentes e ativas, constituindo a totalidade de água presente nos aquíferos. As *reservas exploráveis* constituem a quantidade máxima de água que poderia ser extraída de um aquífero, sem riscos de prejuízo para o sistema hídrico.

The Texas Water Development Board considera como disponibilidades hídricas subterrâneas o volume produzido pela recarga efetiva mais a quantidade de água que pode ser extraída anualmente do armazenamento permanente durante um período programado, de modo a não causar danos ambientais irreversíveis, incluindo deterioração da qualidade da água.

A *recarga efetiva* é a quantidade de água que recarrega o aquífero e está disponível para bombeamento, sendo geralmente menor do que a recarga total (MACE *et al*, 2001).

Em resumo, a disponibilidade hídrica subterrânea compreende parte das reservas ativas e parte das reservas permanentes dos aquíferos.

No cálculo das reservas hídricas subterrâneas devem ser distinguidos, fundamentalmente, dois grandes grupos de aquíferos, em função do tipo de armazenamento:

- Aquíferos de porosidade intergranular predominante (formados por rochas sedimentares);
- Aquíferos de porosidade fissural predominante (em Cabo Verde, geralmente formados por rochas basálticas).

Ilha de Santiago - exemplo de estudo

A ilha de Santiago é constituída quase exclusivamente por morfologias, estruturas e rochas basálticas que foram derramadas por uma cratera principal que ocupa o local do maciço do Pico da Antónia. As rochas eruptivas constituem a maior parte emersa da ilha (cerca de 87%), condicionando assim a sua morfologia, enquanto as formações sedimentares ocupam áreas muito pequenas, geralmente nos vales das ribeiras e na orla costeira e, apesar de terem muita importância, sobretudo as marinhas pelo fato de conterem fósseis, não constituem componente essencial na geologia da ilha ALVES *et al.*, (1979).

A permeabilidade das rochas vulcânicas na ilha de Santiago varia significativamente devido à heterogeneidade do meio, assim como a presença de cavernas condicionando a direção e sentido do fluxo das águas subterrâneas. Por outro lado, a porosidade das rochas vulcânicas é muito variável consoante o tipo de rochas, podendo variar entre 10% e 50% em rochas piroclásticas de formações de idade recente, até menos de 5% em formações geológicas de base, ou seja, as mais antigas.

A disponibilidade hídrica subterrânea ativa, ou seja, as renováveis anualmente, calculada em 2018, recorrendo a séries pluviométricas anuais e relativas ao pe-

ríodo de 1981 a 2017 são na ordem de 24,3 hm³/ano assim distribuídas conforme Tabela 2.

Tabela 2. Estimativa da reserva ativa (Ra) em função das diferentes altitudes.

Faixa altimétrica	Precipitação média anual (mm)	Excedente hídrico (mm)	Precipitação anual (%)	Infiltração eficaz (mm)	Área (km ²) %	Reserva ativa estimada (hm ³)
0 -110	152,7	24,6	-	15,4	250	3,85
110 - 500	371,6	62,8	16,9	31,4	650	20,41
500 - 1340	852,4	312,3	47,5	60,7	100	6,07
-	-	-	-	-	1000	30,33
Área de CA (km ²)	-	-	-	-	200	-
Área de recarga (km ²)	-	-	-	-	800	24,3

Fonte: Lobo Pina (2018).

As reservas permanentes dizem respeito ao volume hídrico acumulado nos aquíferos, em função da capacidade de armazenamento, da porosidade eficaz e o coeficiente de armazenamento e independentemente das flutuações sazonais do nível freático ou potenciométrico, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Estimativa da reserva permanente (Rp) em função das diferentes unidades hidrogeológicas.

Reservas Permanentes (Rp)					
(geometria do aquífero)					
Unidade Hidrogeológica	Sub Unidades	Porosidade Eficaz (%)	Espessura Saturada (m)	Área (km ²)	Rp (hm ³)
		1	50	210	500
Unidade de Base (CA/CB/ λρ)	-	8	100	683	5464
Unidade Intermédia (PA/A)	U.I. Subaérea (LR)	19	70	47	625
Unidade Recente (MV/a)	U.I. Submarina (LRi)	20	15	43	129
TOTAL					6718

Fonte: Lobo Pina (2018).

Legenda: **CA:** Complexo Eruptivo Interno Antigo; (**λρ**): Formação dos Flamengos; **CB:** Formação dos Órgãos; **PA:** Complexo Eruptivo do Pico da Antónia; **A:** Formação da Assomada; **MV:** Formação Monte das Vacas; **a:** Aluviões; **LR:** tipologia dos aquíferos predominantemente fraturados ou de dupla porosidade; **LRi:** comportamento hidrogeológico do tipo poroso (intergranular), devido ao seu carácter vacuolar.

A disponibilidade hídrica na ilha de Santiago corresponde a uma fração das reservas ativas ou reguladoras. Diversos autores (COSTA, 1998; FREITAS, 2007; TAMELAN *et al.*, 2016) propuseram que a disponibilidade hídrica subterrânea deverá corresponder a 20% das reservas renováveis anualmente num ano médio. A reserva ativa da ilha de Santiago é da ordem dos 24,3 hm³/ano, o que corresponde ao valor percentual estimado a 4,86 hm³/ano, ou seja, 4,86 x 10⁶ m³/ano.

A população da ilha de Santiago (CENSO, 2010), é de 274.044 habitantes, devendo na atualidade ser superior. Desta forma, e considerando os valores antes referidos, LOBO PINA (2018), a disponibilidade hídrica por habitante é de 17,73 m³/ano, ou seja, cerca de 49 L/habitante/dia. É um valor manifestamente baixo e revelador de uma situação de escassez hídrica severa.

De acordo com o Fundo da População das Nações Unidas (UNFPA, 2001), os países ou regiões com disponibilidade hídrica inferior a 1.700 m³/habitante/ano estão em situação de **stress hídrico**. Por outro lado, considera-se em **escassez hídrica** os países ou regiões onde a disponibilidade hídrica é inferior a 1.000 m³/habitante/ano. Face ao exposto, verifica-se que a disponibilidade hídrica na ilha de Santiago, avaliadas em 17,73 m³/habitante/ano, conferem à região um estatuto de **escassez hídrica severa**, uma vez que o valor é apenas de 1,8% em relação ao limite de 1.000 m³/habitante/ano definido pelas Nações Unidas. Ainda que a disponibilidade hídrica pudesse corresponder à totalidade das reservas ativas, a captação passaria para 89 m³/habitante/ano, valor ainda muito abaixo do limite inferior dos países em *stress hídrico*. Em 2013, a exploração de água subterrânea atingiu o limite correspondente às reservas ativas e nos anos subsequentes este limite foi mesmo ultrapassado, atingindo em 2017 (último ano com dados disponíveis) um índice de 1,31, o que significa que as extrações foram superiores às disponibilidades em 31%.

No que diz respeito à água para consumo humano, as Nações Unidas definem os volumes entre 20 L/habitante/dia e 50 L/habitante/dia como as necessidades hídricas mínimas para as atividades domésticas básicas, como a alimentação e a higiene. Neste aspecto, as disponibilidades hídricas na ilha de Santiago (49 L/habitante/dia) parecem satisfazer as necessidades da população insular onde o sistema de abastecimento é com o recurso na dessalinização da água do mar. No entanto, em nível global é usual se considerar que as atividades domésticas representem apenas 10% das necessidades hídricas totais, sendo que a agricultura consome 70% e a indústria os restantes 20%. Nesta perspectiva, considerando o volume intermediário de 35 L/habitante/dia para satisfazer das necessidades domésticas, restariam apenas 14 L/habitante/ano para as outras atividades (agrícola e industrial). Assim, a agricultura necessitaria de 245 L/habitante/dia e a indústria 70 L/habitante/dia, o que perfaz um total de 350 L/habitante/dia. Mesmo nestas condições, a disponibilidade hídrica na ilha de Santiago satisfaz apenas 14% das necessidades da população.

Perante a situação descrita, e ainda que os cálculos apresentados possam estar associados a uma certa margem de erro, é factualmente indiscutível que a disponibilidade hídrica da ilha de Santiago é manifestamente insuficiente para satisfazer as necessidades da população, tanto a nível doméstico, como aos níveis agrícola e industrial, pelo que deve ser considerada uma **região de escassez hídrica severa**. Esta situação é ainda agravada pelo fenómeno da alteração climática que está a afetar a região, nomeadamente uma tendência para a diminuição da precipitação atmosférica. De fato, os últimos anos têm registrado valores de precipitação muito baixos, o que concorre para a diminuição da disponibilidade hídrica e, consequentemente, para o agravamento da situação relativa ao fornecimento de água à população, havendo necessidade de implementação de programas de emergência, nomeadamente através da realização de estudos conducentes à execução de captações nos locais mais promissores, onde as reservas hídricas são potencialmente

mais favoráveis. A revisão dos planos de exploração das captações existentes afigura-se também fundamental para o aumento da eficiência do aproveitamento dos recursos hídricos regionais. A dessalinização da água do mar para o abastecimento público, a dessalinização da água subterrânea salobra para a agricultura com recurso, a energia renovável e a reutilização segura da água residual tratada para a agricultura constituem soluções enquadradas no contexto e visão de economia circular do ciclo da água.

Em Cabo Verde, no total das 10 (dez) ilhas e sendo 9 (nove) habitadas, a população nas 7 (sete) ilhas consome água dessalinizada para o consumo humano a um custo insustentável de 3 (três) euros por metro cúbico, o mais alto do continente africano.

Considerações finais

O problema do risco de escassez hídrica para o próximo milénio está relacionado com a necessidade de uma mudança mais rápida de um novo paradigma que adote o manejo da água, voltado ao aumento da eficiência do sistema de abastecimento, bem como no tratamento e reutilização segura dos efluentes residenciais e industriais. Na ilha de Santiago, a baixa disponibilidade hídrica da água subterrânea para fins agrícolas, não se deve apenas a fatores naturais rígidos pelo ciclo hidrológico, ou pela intrusão salina, mas também, pela elevada taxa de retirada da água, pela deficiente regulação do mercado, a ecologia política que não dissocia a natureza e sociedade, o tempo e espaço de forma a evitar cada vez mais, a apropriação dos recursos naturais, o discrepante consumo e desperdício e no desigual acesso. A crise da água é a dimensão mais difusa, mais severa e mais invisível da devastação ecológica da Terra.

A gestão das águas subterrâneas é complexa e multidisciplinar: muitos problemas ficam por resolver, ou são de resolução difícil, não por falta de soluções tecnológicas adequadas, mas antes porque existem dificuldades e bloqueamentos nos planos sociais e institucionais que se refletem nos processos de decisão associados à sua resolução. Cada vez mais tem de ser vista numa perspectiva global, holística e eco-sistêmica.

Referências

- AFONSO, C.; CABRAL, J. A.; CARVALHO, J. N.; PEREIRA, J. M.; MOTA GOMES, A. Sequência vulcano-estratigráfica comparada das ilhas da República de Cabo Verde. **Anais**. 1º Simpósio Nacional de Recursos Hídricos de Cabo Verde, Praia, 16 e 17 de Julho, 2009.
- ALI, M. Y., WATTS, A. B.; HILL, I. A Seismic Reflection Profile Study of Lithospheric Flexure in the Vicinity of the Cape Verde Island. **J. Geophys. Res.**, n. 108, 2003. p. 22 -39, doi: 10.1029/2002JB002155.
- ALVERINHO D. J. Evolução da zona costeira portuguesa: forçamentos antrópicos e naturais. Encontros científicos, **Revista da Área de Seminários**. Esght, p. 8-28. 2005.
- ALVES, C. A. M.; MACEDO, J. R; SILVA, C. L.; SERRLHEIRO, A.; PEIXOTO, A. F. Estudo Petrológico e Vulcanológico da ilha de Santiago (Cabo Verde). **Garcia de Orta, Ser. Geol.**, Lisboa, v. 3, n. 1-2, 1979. p. 47 -74.

AMARAL, I. **Santiago de Cabo Verde - A Terra e os Homens**. Junta de Investigação do Ultramar, Lisboa. 1964.

_____. Alguns aspetos geomorfológicos do litoral da ilha de Santiago (arquipélago de Cabo Verde). **Garcia da Orta: Série Geografia**, v. 2, n 1, 1974, p. 19-28.

BEBANO, J. B. **A Geologia do Arquipélago de Cabo Verde**. Oficina Gráfica: Lisboa, 1932, 275 p.

BURRI, C. Petrochemie der Cap Verden and Vergleich der Caverdeschen vulcanismus mit demjenigen des Rheinlands. Schweizerische und Petrographische Mitteilungen. Zürich, vol.40. Tradução de N.F. Grossman. **Garcia da Orta, Ser. Geol.**, v.1, n. 2, Lisboa, 1960, p 48.

COSTA, M. A. **Acerca do reconhecimento hidrogeológico do Arquipélago de Cabo Verde e abastecimento de água às populações**. Praia, Cabo Verde, 1962.

COSTA, F. L. **Erosion, risque naturels et conservation du sol au Cap vert. Colloque Crues Versants et Lits Fluviaux**. Ministère de l'Enseignement Supérieur et de Recherche, Laboratoire de Géographie Physique, C.N.R.S.-U.R.A. 142, Université de Paris I. 1995

_____. Impactes do uso do solo nos processos erosivos e nas formas de vertente em Cabo Verde. **Anais**. 1ª Conferencia Lusófona sobre o Sistema Terra – CluSTer, Lisboa. 2006

CROUGH, S. T. Thermal origin of mid-plate hot-spot swells. **Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society**, v. 55, n. 2: p. 451- 469, 1978.

CUSTODIO, E. **Hidrogeologia de formaciones volcánicas**. 3rd UNESCO – ESA – AIH Symposium on Groundwater, Palermo, 1975, p 23-69.

_____. ; LLAMAS, M. R. **Hidrologia subterranea**. Ed. Omega, Barcelona, 1983, 2359 p.

_____. **Groundwater characteristic and problems in volcanic rock terrains**. In: International Atomic Energy Agency. Isotopic techniques in the study of the hydrology of fractured and fissured rocks. IAEA: Vienna, 1986, p 87-137.

_____. **Coastal aquifer**. In: CUSTÓDIO, E.; CHAIRMAN, BRUGGEMAN, G. A. Groundwater problems in coastal areas. UNESCO: Belgica, 1987, p. 6 – 10.

_____. **Saline groundwater in the Canary Islands (Spain) resulting from aridity**. Greenhouse Effect, Sea Level and Drought. Mathematical and Physical Sciences, n. 325. Kluwer, Dordrecht, p. 593-618, 1990.

_____. **La interpretación hidrogeoquímica como herramienta de estudio y valoración de sistemas acuíferos: aspectos metodológicos generales**. In: CUSTÓDIO, E. (Org). Hidrología, estado actual y perspectiva. Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona, 1991. p. 121-162.

_____. **Evaluación de la recarga por la lluvia mediante métodos ambientales químicos, isotópicos y térmicos**. In: CUSTÓDIO, E. (Org). La Evaluación de la Recarga a los Acuíferos en la Planificación Hidrológica. Asoc. Intern. Hidrogeólogos – Grupo Español: 1997, p. 83-109.

DE PAEPE, P.; KLERKX, J. H. E PLINK, P. Oceanic tholeiites on the Cape Verde Islands: Petrochemical e geochemical evidence. **Earth planet. Sci. Lett**, n. 23: 1974, p. 347-54.

HERAS, R. **Hidrología y Recursos Hidraulicos**. Direccion General de Obras Hidraulicas, nº 120, 1976, 1839 p.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA - INE. **Recenseamento geral da população e habitação de Cabo verde**. 1976

LANGMUIR, D. **Aqueous Environmental Geochemistry**. Prentice Hall, New Jersey, 1997, 600 p.

LAFUENTE, J. C. **Química del agua**. Bellisco, Madrid, 1981, 423 p.

LEBAS, M. J. Alkaline magmatism and uplift of continental crust. **Proc. Geol. Assoc.** London, n. 91, 1980, p. 33-38.

LERNER, D. N.; ISSAR, A. S.; SIMMERS, I. **Groundwater Recharge: a Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge**. International Contributions to Hydrogeology, I. A. H., Verlag Heinz Heise, 1990, 345 p.

LOBO PINA. A. F. **Cálculo da disponibilidade hídrica nas ilhas de Santiago e de São Nicolau**. Alveiro: Editora Universidade de Alveiro, 2018.

OPPENHEIMER, J. EATON, A. D. Quality Control in Mineral Analysis. **Anais**. Proc. Water Quality Technology Conference (Houston, Texas, December 8-11, 1985). American Water Works Association, Denver, Colorado, p. 15 - 33, 1986.

PIM, J.; PEIRCE, C.; WATTS, A. B.; GREVEMEYER, I.; KRABBENHOEFT, A. Crustal Structure and Origin of the Cape Verde Rise. **Earth and Planetary Science Letters**, n. 272: p. 422-428. 2008.

PINA, A. Evolução dos compostos azotados na qualidade da água na Ilha de Santiago. Cabo Verde. **Revista científica, Tecnologia de Ambiente**, n. 34, p. 23 – 35, 2005.

_____. O semiárido Cabo-verdiano e a sua experiência. **Anais**. VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Gravata, Pernambuco – Brasil. 2006. P. 132 - 145

_____. Conservação e o uso sustentável dos aquíferos costeiros na ilha de Santiago – Cabo Verde. **Anais**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e no 8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos países de Língua Oficial Portuguesa – São Paulo Brasil. 2007. p. 67-75.

_____. Fundamentos Hidrogeoquímicos aplicados na bacia hidrografica de Santa Cruz, ilha de Santiago – Cabo Verde, como instrumento para a gestão de recursos hídricos. 2011. **Dissertação**. (Mestrado em Geologia) Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

_____. As águas subterrâneas e a vulnerabilidade aquífera da Ilha de Santiago – Cabo Verde. 2014. **Tese** (Doutorado em Geologia) Universidade Federal do Ceará -Brasil. Fortaleza, 2014.

REBOUÇAS, A. O Paradoxo brasileiro. **Cadernos Le Monde Diplomatique**, Paris, v. 3, 2003. p. 38-41.

SCHOLLER, H. **Les eaux souterraines**. Masson, Paris, 1962. 642 p.

SERRALHEIRO, A. **A Geologia da ilha de Santiago**. Lisboa: Universidade Lisboa, 1976. 218 p.

SILVA, L. C. **Alguns aspectos da geologia das ilhas de Cabo Verde**. Seminários. Departamento de Geologia Marinha/ INETI, (Alfragide), Lisboa, 2008.

AUTORES

Adjuto Rangel Júnior é doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestre em Bioprospecção Molecular (2015-2017) pela Universidade Regional do Cariri (URCA). Especialista em Ensino de Biologia (2018-2019) pela Faculdade de Ciências Administrativas e Tecnologia (FATEC). Bacharel em Ciências Biológicas (2011-2015) e Licenciado em Biologia (2016-2018), ambos pela URCA.

Adriano de Lima Troleis é Professor dos Programas de Pós-Graduação em Geografia (Acadêmico) e Ensino de Geografia (Profissional). Tem experiência em projetos na área de Geografia Física, atuando com as temáticas: poluição hídrica superficial e subterrânea, sistema de tratamento e abastecimento de água, saúde ambiental e problemas ambientais e sociais urbanos. Atualmente é professor Associado II do Departamento de Geografia da UFRN.

Alfredo Marcelo Grigio é Professor Adjunto do Departamento de Gestão Ambiental e dos Programas de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) e em Ciências Naturais (PPGCN) da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN). Doutor em Geodinâmica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Coordenador do Núcleo de Estudos Sociedade, Ambiente e Território (NESAT).

Amanda Nogueira Medeiros possui Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (2017) e mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2018-2020). Doutorado em andamento em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Associação Plena em Rede (UFRN).

Andreza T Feliz Carvalho é Professora Adjunta do Departamento de Geografia do Campus Avançado Pau dos Ferros da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (CAPF/UERN) e da Pós-graduação em Geografia da UERN. Bacharel em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (2008), Mestre (2013) e Doutora (2018) em Engenharia Civil na área de Recursos Hídricos e Tecnologia Ambiental pela UFPE. Atualmente possui como áreas de estudo: (i) Hidrogeografia (ênfase em escoamento superficial e eventos extremos de chuvas; (ii) Avaliação de Impacto hidroambiental e (iii) Planejamento e saneamento ambiental.

Anny Catarina Nobre de Souza é Licenciada em Geografia, Mestranda em Planejamento e Dinâmicas Territoriais do Semiárido (PLANDITES) da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) e Bolsista da Fundação de Apoio à Pesquisa do Rio Grande do Norte (FAPERN)/ Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

António Pedro Said Aly de Pina, licenciado em engenharia Química pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra – Portugal, Mestre e Doutorado em Geologia pela Universidade Federal do Ceará – Brasil. É Presidente do Comité do Programa Hidrológico Internacional da UNESCO, foi Administrador Executivo na ANAS, professor convidado na UniCV e UniPiaget de Cabo Verde, investigador Sênior

com dezenas de artigos publicados e apresentados em congressos internacionais, privilegiando as águas subterrâneas (vulnerabilidade, poluição, disponibilidade hídrica, hidroquímica e salinização costeira)

Bruno Lopes da Silva possui Graduação em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN, 2012). É Mestre em Demografia (Programa de Pós-Graduação em Demografia/UFRN, 2013), e atualmente é aluno de Doutorado do Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia da UFRN. Tem experiência nas áreas de Geografia (Urbanização, Recursos Hídrico, e Sistemas de Abastecimento de água), Demografia (Desempenho Escolar); e ensino de questões relacionadas ao Semiárido Nordeste e Educação Ambiental no âmbito da EAD.

Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto Melo é Bacharel em Geografia (UEM), com mestrado em Sensoriamento Remoto (INPE) e doutorado em Geologia (IGEO/UFBA). Professor Adjunto III da Universidade Federal da Bahia, ministrando disciplinas de geoprocessamento e geoestatística. Experiência na área de Geociências, com ênfase Gestão Ambiental, atuando principalmente em sistema de informação geográfica, sensoriamento remoto, inferência geográfica e banco de dados geográfico.

Filipe da Silva Peixoto é Geógrafo, Mestre e Doutor em Hidrogeologia e Gestão de Recursos Hídricos (UFC). É professor do Departamento de Geografia da UERN e professor permanente dos Programas de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) e em Ciências Naturais (PPGCN) da UERN. Tem experiência em estudos integrados em Hidrogeografia e Hidrogeologia, atuando principalmente nos seguintes temas: gestão de recursos hídricos no semiárido, águas urbanas, geoprocessamento aplicado aos recursos hídricos e à qualidade sanitária, segurança hídrica e conflitos pelo uso da água.

Gutemberg Henrique Dias é Graduado em Geografia é Mestre em Ciências Naturais e Técnico em Geologia. Atualmente é Professor do Departamento de Geografia (UERN). Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em geologia e geografia, atuando principalmente nos seguintes temas: meio ambiente, geologia, geoprocessamento, geomorfologia e geografia da saúde.

Itabaraci Nazareno Cavalcante é atualmente Professor Titular, Classe Única, da Universidade Federal do Ceará, Docente dos Programas de Graduação e Pós-Graduação do Departamento de Geologia, Coordenador do Laboratório de Hidrogeologia - LABHI/CC/DEGEO/UFC. Membro do Corpo de Avaliadores da Revista de Geologia (DEGEO/UFC, Fortaleza). Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Hidrogeologia, atuando principalmente nas seguintes linhas: Gestão de Aquíferos, Poluição das Águas Subterrâneas, Qualidade das Águas Subterrâneas e Locação de Poços Tubulares.

Jacimária Fonseca de Medeiros Graduada em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2002), Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (2005) e Doutora em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2016). Compõe o quadro docente do Curso de Geografia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Campus de Pau dos Ferros, como professora adjunta IV. Atualmente é líder do Núcleo de Estudos Geoambientais e Cartográficos-NEGECART. Tem experiência na área de Geografia Física, com ênfase em Análise Sistêmica, Sistemas Ambientais, Climatologia e Brejos de Altitude.

João Paulo Silva dos Santos é Mestre em Ciências Naturais pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN). Possui graduação em Geografia pela mesma Universidade. Doutorando em Estudos Urbanos e Regionais na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Atualmente é Professor nível IV da rede municipal de ensino do município de Mossoró (RN).

José Ângelo Sebastião Araújo dos Anjos possui Graduação em Geologia pela Universidade Federal da Bahia, especialista em Planejamento e Administração dos Recursos Naturais, mestrado em Engenharia Mineral pela Universidade de São Paulo e doutorado em Engenharia Mineral pela Universidade de São Paulo. Professor Associado I da Universidade Federal da Bahia, lecionando na graduação e na pós-graduação em Geologia (Mestrado e Doutorado).

Josiel de Alencar Guedes é Licenciado e Bacharel em Geografia, Mestre em Geociências e Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente, todos pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Atua nas áreas de Hidrogeografia, com pesquisas direcionadas à reservatórios superficiais (açudes) e no Ensino de Cartografia e de Geografia Física.

Julio Alejandro Navoni é Professor no Programa de Pós-Graduação PRODEMA/ UFRN e no PPgUSRN/IFRN. É Vice-coordenador da Rede Radônio no Rio Grande do Norte (RnRN), do Laboratório de Radioatividade Natural do Rio Grande do Norte (LARANA) e Sócio Fundador da Sociedad Iberoamericana de Salud Ambiental (SIBSA). Tem ampla experiência nas áreas de Bioquímica, Toxicologia e Química analítica, com ênfase em contaminação ambiental e avaliação do risco.

Kleisson Eduardo Ferreira da Silva é graduando em Engenharia Florestal pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Possui curso-técnico-profissionalizante em Automação Industrial pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Rio Grande do Norte (SENAI/RN). Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geofísica.

Lucas Costa Rodrigues é graduado no curso de Geografia Bacharelado (2017) e Mestre em Geografia (2020) pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Atualmente, doutorando no Programa de Pós-graduação em Geografia da UFRN e pesquisador do LAPROTER - Laboratório de Processamento de Dados e Gestão Territorial da UFRN, atuando em pesquisas sobre planejamento, gestão e análise espacial e avaliação territorial de políticas públicas.

Manoel Cirício Pereira Neto é Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Ceará. Atualmente é Professor Adjunto no departamento de Geografia/CAA da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, colaborando como professor permanente no Programa de Pós-Graduação em Geografia dessa instituição. Atua no contexto da Geografia Física, com ênfase em estudos geoambientais e de desertificação no semiárido brasileiro.

Marco Antonio Diodato é Professor Associado da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Possui graduação em Engenharia Florestal; Mestrado em Ciências Florestais e Doutorado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Maria da Conceição Rabelo Gomes é Geóloga pela Universidade Federal do Ceará, especialista em Gestão Hídrica e Ambiental pela Universidade Federal do Pará, Mestrado e Doutora em Geologia (Linha de Pesquisa: Hidrogeologia e Gestão Hidroambiental) pela Universidade Federal do Ceará. Experiência na área de Geociências, com ênfase em Hidrogeologia. Professora da Universidade do Estado do Pará (UEPA) no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária.

Maria Losângela Martins de Sousa é Professora do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Dinâmicas Territoriais do Semiárido (PLANDITES) da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN).

Mirrayla Campos Feitosa Lacerda é Mestre em Geografia pelo programa de Mestrado Acadêmico em Geografia (PPGEO-UERN), Campus Central. Graduada em Geografia (UERN), Campus Avançado de Pau dos Ferros. Desenvolve pesquisas em Geografia Humana, com foco na geografia humanística cultural, geografia da percepção, fenomenologia aplicada à geografia e estudos sobre a produção do espaço através de elementos socioculturais.

Ramiro Gustavo Valera Camacho possui graduação em Engenharia Agrônômica pela ESAM; mestrado em Agronomia/Fitotecnia pela UFERSA e doutorado em Ciências pelo Instituto de Biociências – IB, da USP. Com pós-doutorado em Educação Ambiental pela UFMT. Atualmente é professor adjunto IV do Departamento de Ciências Biológicas – DECB e participa do Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais; Programa de Pós-Graduação em Geografia e do Mestrado Profissional em Ensino de Biologia (UERN).

Renata Nayara Miranda Câmara Silveira é Graduada em Engenharia Agrônômica, Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Ceará (2014), Doutora em Geologia (2020). Possui experiência na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Manejo de Bacias Hidrográficas, atuando principalmente nos seguintes temas: Hidrogeologia, manejo na irrigação, conservação de água e solo, desenvolvimento sustentável, conhecimentos agroecológicos, educação ambiental, horticultura e floricultura.

Sérgio Domiciano Gomes de Souza é Licenciado em Geografia, Mestrando em Planejamento e Dinâmicas Territoriais do Semiárido (PLANDITES) da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) e Bolsista da Fundação de Apoio à Pesquisa do Rio Grande do Norte (FAPERN)/ Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Vlândia Pinto Vidal de Oliveira é Professora titular do Departamento de Geografia e Profa. Permanente da Pós-Graduação (Mestrado e Doutorado) em Geografia e do Programa em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Ceará (UFC) e pesquisadora do CNPq na área de Geografia Física.



