



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA EM AMBIENTES
FLUVIAIS SEMIÁRIDOS EM SÃO JOÃO DO TIGRE/PB

GILSANDRO SANTOS COSTA

João Pessoa - PB
Novembro de 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA AMBIENTAL

GILSANDRO SANTOS COSTA

**Análise da Qualidade da Água em Ambientes Fluviais
Semiáridos em São João do Tigre/PB**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para a conclusão do Curso de Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr.
Jonas Otaviano Praça de Souza

João Pessoa - PB
Novembro de 2017

C837a Costa, Gilsandro Santos

Análise da Qualidade da Água em Ambientes Fluviais Semiáridos em São João do Tigre/PB./
Gilsandro Santos Costa. – João Pessoa, 2017.

70f. il.:

Orientador: Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza.
Coorientadora: Prof. Dra. Carmem Lúcia Moreira Gadelha

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Ambiental) Campus I - UFPB / Universidade
Federal da Paraíba.

1. Ambiente fluvial semiárido 2. Qualidade da água 3. Poços amazonas 4. Salinidade I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed. 628.16 (043)

FOLHA DE APROVAÇÃO

GILSANDRO SANTOS COSTA

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA EM AMBIENTES FLUVIAIS SEMIÁRIDOS EM SÃO JOÃO DO TIGRE/PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 29/11/17, perante a seguinte Comissão Julgadora:

Jonas Otávio Praça de Souza

Prof. Dr. Jonas Otávio Praça de Souza
Departamento de Geociências do CCEN/UFPB

APROVADO

Carmem Lúcia Moreira Gadelha

Prof.ª Dra. Carmem Lúcia Moreira Gadelha
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

Vinicius Ferreira de Lima

Me. Vinicius Ferreira de Lima
Departamento de Geociências do CCEN/UFPB

APROVADO

Prof. Adriano Rolim da Paz

Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Ao homem e mulher do sertão que, apesar das adversidades, perseveram na luta diária pela sobrevivência. Às famílias de São João do Tigre pela hospitalidade, cordialidade e alegria, típicos do sertanejo, que sempre dá muito mais do que recebe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por estar presente em todos os momentos da minha vida.

Agradeço, especialmente, a minha família, minha esposa, filhos, pais e irmãos, pela confiança e compreensão nos momentos de ausência que o estudo requer.

Agradeço a Prefeitura Municipal de São João do Tigre e a toda sua comunidade pela hospitalidade e pelo apoio irrestrito à pesquisa do semiárido paraibano.

Agradeço aos amigos do curso, das diversas turmas que tive a satisfação de conhecer e partilhar experiências; aos amigos do trabalho e da vida, que sempre tiveram uma palavra de incentivo diante dos obstáculos.

Agradeço aos funcionários da Coordenação de Engenharia Ambiental, aos técnicos do Laboratório de Saneamento Ambiental e a todos os professores que abraçaram essa difícil, mas gloriosa, missão de colaborar para o conhecimento, em especial aqueles que compõem o corpo docente do Curso de Engenharia Ambiental.

Agradeço especialmente a meu orientador, Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza, pela dedicação, confiança, sabedoria, compromisso, seriedade, estímulo, amizade e profissionalismo desempenhado em todas as atividades que participa, incentivando a pesquisa e a atualização do saber.

Agradeço às Profas. Dras. Carmem Gadelha e Cláudia Coutinho pelo reencontro, pela recepção calorosa, pela oportunidade de participação em projetos de iniciação científica e em grupos de pesquisa, e pelas diversas orientações durante o curso.

Agradeço a todos integrantes do Grupo de Estudos em Ambientes Fluviais Semiáridos, pela solidariedade, amizade, carinho e pelo exemplo de dedicação e êxito nos trabalhos desempenhados.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste curso.

*“Sou matuto sertanejo,
Daquele matuto pobre
Que não tem gado nem quêjo,
Nem ôro, prata, nem cobre.
Sou sertanejo rocero,
Eu trabaio o dia intêro,
Que seja inverno ou verão.
Minhas mão é calejada,
Minha péia é bronzeada
Da quintura do sertão.”*

Patativa do Assaré: Vida Sertaneja

RESUMO

A convivência com a seca tem sido tema recorrente nos últimos anos, principalmente quando se constatou que o combate a esse fenômeno vinha sendo perdido ao longo do tempo, expondo ao risco milhares de pessoas. Dentre as grandes adversidades impostas ao semiárido, a escassez de água é a principal. As altas taxas de evapotranspiração, a grande irregularidade espacial e temporal dos eventos chuvosos, somados às características litológicas, contribuem para que a água não satisfaça as necessidades nos períodos de estiagem prolongada. Uma gestão eficiente dos escassos recursos hídricos no semiárido, pressupõe o conhecimento e caracterização de suas fontes. Sabendo que a geologia cristalina abrange quase a totalidade do semiárido nordestino, buscou-se avaliar, de forma sistêmica, a qualidade da água em dois de seus principais aquíferos, os aluviais e os fissurais. Para isso, escolheram-se os principais canais de drenagem da bacia hidrográfica do Riacho do Tigre, em São João do Tigre, semiárido paraibano, e analisaram-se amostras de água de poços amazonas ou cacimbões e de poços profundos localizados ao longo desses canais. As análises de água foram efetuadas através de uma sonda multiparamétrica e também em laboratório. Os principais parâmetros analisados foram pH, salinidade, condutividade, sólidos totais dissolvidos, cloretos e dureza. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que a totalidade das amostras extraídas de aquíferos fissurais e aluviais apresentaram águas salobras, conforme classificação do Conselho Nacional do Meio Ambiente, enquanto que outras 5, de um total de 9, foram classificadas como impróprias para o consumo, pelos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde, quando se avaliou a concentração de sólidos totais dissolvidos. Na análise dos demais parâmetros, também se identificaram amostras em desacordo com os padrões estabelecidos.

Palavras-chave: ambiente fluvial semiárido; qualidade da água; poços amazonas; salinidade.

ABSTRACT

Coexistence with drought has been a recurrent theme in recent years, especially when it was found that combating this phenomenon had been lost over time, exposing thousands of people to the risk. Among the great adversities imposed on the semi-arid region, water scarcity is the main one. The high evapotranspiration rates, the great spatial and temporal irregularity of the rainy events, added to the lithological characteristics, contribute to the fact that the water does not meet the needs in the periods of prolonged drought. An efficient management of the scarce water resources in the semi-arid region presupposes the knowledge and characterization of its sources. Knowing that the crystalline geology covers almost the entire northeastern semi-arid region, the water quality was evaluated in two of its main alluvial and fissural aquifers. For this, the main drainage channels of the Tigre's creek basin, in São João do Tigre, semi-arid region of Paraíba, were selected and samples of water from amazon or shallow wells and deep wells were analyzed along these channels. The water analyzes were performed through a multiparameter probe and also in the laboratory. The main parameters analyzed were Ph, salinity, conductivity, total dissolved solids, chlorides and hardness. Based on the results obtained, it was concluded that all the samples extracted from fissural and alluvial aquifers presented brackish waters, according to the classification of the National Environmental Council, while another 5, out of a total of 9, were classified as unsuitable for the consumption, by the standards of potability established by the Ministry of Health, when the total dissolved solids concentration was evaluated. In the analysis of the other parameters, samples were also identified in disagreement with the established standards.

Keywords: semi-arid river environment; water quality; amazon wells; salinity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Distribuição das rochas sedimentares e cristalinas no Brasil.....	29
Figura 2: Unidade Demonstrativa do Programa Água Doce.....	35
Figura 3 Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Riacho Do Tigre, São João do Tigre-PB.	37
Figura 4: Imagem com a delimitação da bacia hidrográfica, rede de drenagem e localização dos pontos de coleta.....	40
Figura 5: Ilustrações da sonda multiparamétrica HANNA HI 9829.....	42
Figura 6: Detalhe da localização e fotografias dos pontos de coleta 1 e 2, no Riacho Cacimbinha.	44
Figura 7: Detalhe da localização e fotografias dos pontos de coleta no Riacho Santa Maria.....	45
Figura 8: Detalhe da localização e fotografias dos pontos de coleta no Riacho do Tigre.....	47
Figura 9: Resultados de pH apresentados nas amostras.....	50
Figura 10: Análise de turbidez das amostras.....	51
Figura 11: Análise de cloreto nas amostras de água.....	52
Figura 12: Teor de dureza da água nos pontos analisados.....	53
Figura 13: Gráfico de variação de parâmetros de qualidade de água em pontos do Riacho Cacimbinha.....	54
Figura 14: Gráfico de variação de parâmetros de qualidade de água em pontos do Riacho Santa Maria.....	55
Figura 15: Gráfico de variação de parâmetros de qualidade de água em pontos do Riacho do Tigre.	56
Figura 16: Análise do parâmetro cloreto e sua adequação aos padrões da Res. 396/08 – CONAMA.	61
Figura 17: Análise do parâmetro Sólidos totais Dissolvidos e sua adequação aos padrões da Res. 396/08 – CONAMA.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição e coordenadas de localização dos pontos de coleta.	41
Tabela 2: Resultados das análises através da sonda multiparamétrica e em laboratório.....	49
Tabela 3: Classificação da água de acordo com a salinidade e sólidos totais dissolvidos, conforme o CONAMA e MS.	58

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBGE	Instituto Brasileiro de geografia e Estatística
LABSAM	Laboratório de saneamento Ambiental
LEGAT	Laboratório de Estudos em Gestão de Águas e Território
MDE	Modelo Digital de Elevação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MS	Ministério da Saúde
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
PAD	Programa água Doce
RAS	Razão de adsorção de sódio
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRTM	Missão Topográfica Radar Shuttle

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVOS.....	16
3.	FUNDAMENTAÇÃO	17
3.1.	Sistema Ambiental Dinâmico	17
3.2.	Considerações sobre Escala	19
3.3.	Sistemas Ambientais Semiáridos.....	20
3.3.1.	Sistemas fluviais semiáridos, processos fluviais e aquíferos aluviais em terras secas	
	23	
3.3.2.	Uso e cobertura da terra no semiárido	25
3.3.3.	Intervenções de convivência com o semiárido	27
3.4.	Qualidade de água e aquíferos	28
3.4.1.	Elementos ambientais que influenciam a qualidade da água	31
3.4.2.	Elementos antrópicos que influenciam a qualidade da água	32
3.4.3.	Métodos/práticas para conservação e melhoria da qualidade da água	33
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1.	Caracterização da área	37
4.2.	Escolha dos pontos.....	39
4.3.	Coleta e análise da água.....	41
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
7.	REFERÊNCIAS	65

1. INTRODUÇÃO

A crise hídrica, que hoje já assola os grandes centros urbanos, há muito tempo, atinge a região semiárida brasileira. Nessas regiões, normalmente, os períodos chuvosos são restritos a poucos meses por ano, fazendo com que o volume precipitado não seja suficiente para repor as perdas, nem tampouco, garantir reservas para suportar a estiagem seguinte. Além disso, os prognósticos são desanimadores, apontando para o aumento da intensidade e frequência com que ocorrerão os eventos extremos (GRANDELLE, 2017) e, entre esses, encontra-se a seca. De fato, as secas têm se tornado cada vez mais duradouras, nessas regiões semiáridas, contribuindo para que o uso e gestão dos seus escassos recursos hídricos se tornem ainda mais conflituosos.

Os efeitos evaporativos do calor intenso fazem com que seja reduzida boa parte das reservas hídricas disponíveis, iniciando por aquelas que deixam expostas suas superfícies, como açudes, lagos, lagoas, canais fluviais e outros. Nesse sentido, reconhece-se que aqueles aquíferos, cujas superfícies hídricas não se encontram expostas ao calor, estão mais protegidos, conservando suas águas por mais tempo. Nessa categoria, encontram-se os aquíferos fissurais e aluviais, comuns no ambiente semiárido.

Os aquíferos fissurais são explorados através de poços tubulares profundos, que retiram água confinada em fraturas do substrato rochoso. Essas águas armazenadas provem da infiltração e percolação através das fissuras desse substrato. No caso do semiárido nordestino, a geologia cristalina abrange quase sua totalidade.

Já os aquíferos aluviais são formados a partir dos processos da dinâmica hidrossedimentológica que, erodindo as encostas, transporta os sedimentos e os deposita em cotas inferiores, em geral, no leito dos canais e planícies de inundação. No semiárido brasileiro, boa parte dos rios é intermitente, cessando seu fluxo em pouco tempo após o término dos eventos de precipitação mais intensa. Essa dinâmica acaba por formar leitos fluviais com expressiva camada de sedimento inconsolidado, útil, portanto, na proteção da água que matem seu fluxo subsuperficialmente. A exploração da reserva de água dos aquíferos aluviais se faz, em geral, através dos poços amazonas ou cacimbões, por meio de escavações realizadas nesse leito arenoso até que se atinja o nível da água.

Dessa forma, o semiárido conta com essas duas importantes fontes de recursos hídricos, que, contudo, em geral, pode apresentar sérias restrições ao uso, em virtude do elevado teor de

salinidade. Torna-se, então, necessário, a fim de garantir o uso adequado, avaliar a qualidade dessas águas, buscando identificar os elementos que podem interferir nesse parâmetro. Trabalhos dessa natureza podem contribuir, dentro de uma perspectiva de integração de conhecimentos, para que a gestão dos recursos hídricos, no semiárido, evolua e atinja um patamar de multiescalaridade, que caracterizará as diversas fontes de água disponíveis e, proporcionalmente, adequará seus usos, evitando perdas e mitigando impactos.

Com esse objetivo, tendo como base a análise ambiental sistêmica, busca-se compreender as inter-relações entre os elementos constituintes, controladores e forças de distúrbio que possam vir a interferir na caracterização dessas águas.

Definir-se-á a bacia hidrográfica como unidade de estudo e delimitação espacial, acreditando que essa reúna os atributos necessários à identificação e caracterização dos principais elementos constituintes/modificadores e dos impactos gerados nos ambientes fluviais. A bacia hidrográfica escolhida se encontra no semiárido paraibano, trata-se da bacia do Riacho do Tigre, no município de São João do Tigre.

Partindo-se, então, do conhecimento prévio da bacia hidrográfica, de sua rede de drenagem e dos demais elementos ambientais intervenientes, busca-se identificar os pontos de coleta de água para análise. Esses pontos, necessariamente, localizam-se em ambientes fluviais, e são compostos por poços amazonas ou cacimbões e por poços profundos, que exploram água dos aquíferos aluvial e fissural, respectivamente. As análises de parâmetros físico-químicos de qualidade da água são feitas por dois meios distintos, um, no próprio local, através de uma sonda multiparamétrica, e o segundo, em laboratório.

O estudo está assim estruturado: inicialmente, a título de preparação e revisão, faz-se uma abordagem teórica dos principais conceitos utilizados, a fim de subsidiar as discussões acerca dos resultados, trata-se da teoria sistêmica de forma mais geral e, em seguida, mais especificamente, dos sistemas ambientais fluviais, processos fluviais, aquíferos em ambientes semiáridos e uso e cobertura do solo. Ainda, nessa parte, de forma mais específica, aborda-se o tema relacionado à qualidade da água em ambientes semiáridos, sua caracterização, principais fontes, principais elementos, impactos e formas de conservação. Só então, descreve-se a metodologia utilizada, partindo-se da caracterização da área de estudo, da escolha dos pontos, dos instrumentos e técnicas de análise e, por fim, da própria coleta das amostras. Nesse momento, são apresentados os resultados obtidos e as respectivas conclusões. Para uma melhor organização, o conteúdo desse

estudo foi distribuído capítulos, da seguinte forma: fundamentação, materiais e métodos, resultados e discussão e considerações finais.

2. OBJETIVOS

Avaliar a qualidade da água dos aquíferos na bacia hidrográfica riacho do Tigre e sua relação com as características ambientais.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os ambientes fluviais semiáridos da bacia hidrográfica do Riacho do Tigre, São João do Tigre-Pb;
- Identificar os principais elementos controladores atuantes nos processos de formação dos aquíferos em sistemas fluviais semiáridos;
- Avaliar a influência de características ambientais na qualidade da água das amostras selecionadas.

3. FUNDAMENTAÇÃO

3.1. Sistema Ambiental Dinâmico

As questões ambientais despertam a curiosidade de estudiosos desde a antiguidade oriental, e a tentativa de explicação dos fenômenos ambientais foi postulada desde a Antiguidade Clássica pelos filósofos gregos e romanos, estendendo-se até o período moderno (AMORIM, 2011).

Antes, pretendia-se explicar os fenômenos através da sistematização racional e analítica, dividindo o todo em suas partes constituintes, acreditando ser possível, como na mecânica, reconstituir o processo a partir das suas menores partes. Foi na Biologia que, primeiro, se percebeu que o estudo das partes não era suficiente para compreensão da totalidade que representa o organismo vivo. Mais tarde, surgiria a expressão dos teóricos sistêmicos: o todo é mais que a soma das partes. Isso neutralizou a tentativa do movimento positivista de transpor as regras lógico-formais da perspectiva mecanicista para as ciências humanas.

Não foi apenas nas ciências biológicas que se percebeu a inviabilidade da uniformidade, ciclicidade, linearidade e previsibilidade do pensamento mecanicista. A sociedade, por exemplo, sempre se interpôs a esses conceitos, pois a análise de seus elementos separadamente não era capaz de demonstrar o funcionamento do todo, esbarrando no contexto de uma realidade complexa, integrada e, por vezes, caótica, características da compreensão sistêmica dos elementos.

A perspectiva holística, conhecida como sistêmica, tem como prerrogativas o comportamento evolutivo e não linear (CAPRA e LUISI, 2014), e sua formulação é comumente atribuída ao biólogo austríaco Ludwig von Bertalanffy, que publicou, em 1968, a Teoria Geral dos Sistemas.

Inaugura-se, então, uma nova maneira de pensar, baseada em termos como conexidade, relações, padrões e contexto. Um sistema apresenta padrões de auto-organização, e as relações entre suas partes constituem propriedades essenciais à compreensão de um fenômeno no contexto de uma totalidade integrada. Esses padrões de auto-organização foram compreendidos através da percepção de que o *input* ou causa inicial atuante em um ponto dessa conexão exerce efeito sobre os demais e retorna ao inicial como em um ciclo. Isso foi chamado de *feedback* ou retroalimentação. Esses mecanismos de autorregulação permitem aos sistemas manterem-se em equilíbrio dinâmico. Sobre seus efeitos, nem sempre a retroalimentação ocorre no sentido de prover equilíbrio ao

sistema, há casos em que o *feedback* pode ser amplificado e, por isso, distingue-se retroalimentação positiva ou negativa. Após estudos aprofundados, concluiu-se que a retroalimentação não era um conceito modelador apenas dos organismos vivos, mas também dos sistemas sociais (CAPRA e LUISI, 2014).

Sobre essas mudanças na forma de pensar, sobretudo quando se relacionam ao meio ambiente, Leff (2010) diz que a crise ambiental problematiza o pensamento metafísico e a racionalidade científica, abrindo novas vias de transformação do conhecimento através do diálogo e da hibridização dos saberes, para apreender a complexidade ambiental.

As Ciências Ambientais, fundamentadas na abordagem e compreensão do meio ambiente como um todo complexo, reflexo da relação entre sociedade e natureza, passam a ser estudadas sob essa nova perspectiva em que a sociedade e suas interações constituem elementos com forte influência sobre as mudanças e evolução dos sistemas.

A questão ambiental surge nesse período de rápido desenvolvimento tecnológico e científico, proporcionando à humanidade uma nova perspectiva do mundo, através da constatação da finitude dos recursos naturais e da sua direta relação com o comprometimento da própria sobrevivência humana. O modo de produção instrumentaliza a natureza, “desnaturalizando-a”, substituindo-a por uma natureza inteiramente humanizada. (MILTON SANTOS, 1996; apud CUNHA e GUERRA, 2015).

Sales (2004) destaca que a abordagem sistêmica não elimina a necessidade do estabelecimento de procedimentos metodológicos de caracterização dos elementos constituintes e esclarece que, a partir do conhecimento de elementos do relevo, do clima, do solo, da vegetação, busca-se a compreensão da importância que eles assumem na dinâmica do meio como um todo integrado.

Nesse trabalho, buscar-se-á aplicar os conceitos da teoria sistêmica na análise de aspectos ambientais de uma região com características bem singulares: o semiárido paraibano. Para tanto, faz-se necessário estabelecer, inicialmente, o grau de abrangência espaço-temporal do estudo, a fim de melhor caracterizá-lo. Isso é determinado através da escala de trabalho, sobre a qual, faz-se uma breve fundamentação.

3.2. Considerações sobre Escala

A escala é um conceito fundamental em qualquer estudo ambiental, pois define a amplitude temporal e espacial de abrangência e especificidade dos estudos. Uma boa definição da escala espacial é apresentada por Castro (1996), apud Marques e Galo (2009), descrevendo-a como “a escolha da forma de dividir o espaço, que define uma realidade percebida/concebida, uma figuração, uma representação, um ponto de vista que modifica a percepção da natureza deste espaço, representações coerentes e lógicas que substituem o espaço observado”. A abrangência espacial do fenômeno se relaciona de forma direta a sua escala temporal, princípio espaço/tempo.

É importante, em estudos ambientais, que a escala escolhida possibilite estabelecer, dentro de uma perspectiva sistêmica, as relações e conectividades dos fenômenos, estudando o comportamento dos elementos bióticos da paisagem integrados e conectados ao ambiente, processos naturais e atividades humanas e, assim, melhor subsidiar atividades de projeto, planejamento, conservação, manejo e recuperação. Portanto, a escolha da escala de estudo deve ser criteriosa, para possibilitar uma melhor compreensão dos elementos e suas inter-relações.

Nas últimas décadas, nos estudos ambientais, as bacias hidrográficas têm se confirmado como unidades de gestão ambiental. No Brasil, já se encontra positivado, através da Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação de sua Política Nacional de Recursos Hídricos, por reunir as características ecossistêmicas e morfológicas úteis ao planejamento ambiental.

Mesmo pensada, inicialmente, como unidade de gestão de recursos hídricos, a bacia hidrográfica é, sobretudo, uma integralidade dinâmica de processos, um ente sistêmico, onde se realizam os balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água através do exutório, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos. A bacia hidrográfica é o palco unitário de interação das águas com o meio físico, o meio biótico, o meio social, econômico e cultural (PORTO e PORTO, 2008).

Nesse trabalho, também se define, como unidade de estudo e delimitação espacial, uma bacia hidrográfica, acreditando que essa reúna os atributos necessários à identificação e caracterização dos principais elementos constituintes/modificadores e dos impactos gerados nos ambientes fluviais. Trata-se da bacia do Riacho do Tigre, no município de São João do Tigre – PB, localizada no semiárido nordestino. Inserida em um ambiente bem peculiar, o semiárido, ela

apresenta aspectos de clima, relevo, pedológicos, sedimentológicos, geomorfológicos, de uso e ocupação característicos, que possibilitam inferências sobre a gestão de seus recursos hídricos.

3.3. Sistemas Ambientais Semiáridos

A aridez está ligada à existência ou escassez de água. A escassez de água, ou seja, a diferença entre sua demanda e oferta, é maior nas terras áridas e cresce à medida que a aridez aumenta. As terras secas podem ser entendidas como aquelas que apresentam climas hiperárido, árido, semiárido e subúmido seco. Esses climas são classificados de acordo com seu grau de aridez, que depende da quantidade de água advinda da chuva e da perda máxima possível de água por meio de evaporação e transpiração - evapotranspiração potencial (SCHENKEL; JÚNIOR, 2003).

A influência da topografia se dá pelo efeito de sombra de precipitação, onde o obstáculo orográfico, interposto às correntes de ar, faz com que a precipitação ocorra, em sua maior parte, a barlavento, restando, a sotavento, um ar mais frio e seco, sem potencial de produzir chuva significativa. Ab'saber (2003) explica que a massa de ar equatorial continental (EC) e a formação de células de alta pressão que agem nas depressões intraplanálticas durante o inverno austral, aliados a baixa capacidade de penetração, de leste para oeste, da massa de ar tropical atlântica, são determinantes na instauração do “império da aridez sazonal”.

Tratando mais especificamente da região semiárida brasileira, onde se insere objeto de estudo deste trabalho, pode-se dizer que, de maneira geral, é definida como aquela que apresenta escassez de água agravada por déficit hídrico anual crônico do balanço de umidade, que envolve a pluviosidade e a evaporação (MACEDO, 1996). Silva (2007) acrescenta, a essa caracterização, a insuficiência de matéria orgânica nos solos semiáridos que se agrava com as secas.

Outro atributo das regiões semiáridas, que se deve destacar, é a irregularidade temporal e espacial das chuvas no semiárido, concentradas, muitas vezes, em apenas quatro meses do ano ou, não raro, em poucos dias, chovendo todo o volume previsto para o mês. Espacialmente, também não se verifica uniformidade na precipitação, que é influenciada por fatores diversos, em especial, a altitude. Sobre essa irregularidade temporal das chuvas no semiárido nordestino, Macedo (1996) faz uma análise interessante, afirmando ser essa irregularidade algo benéfico, uma vez que, apenas através da concentração dos eventos chuvosos, é possível superar a média de evapotranspiração do

período e, assim, proporcionar o necessário escoamento superficial capaz de abastecer rios e reservatórios.

A delimitação da região semiárida é, sobretudo atualmente, uma questão político-econômica e social, pois subsidia o planejamento com a adoção de estratégias de investimento e incentivo ao desenvolvimento local, através do conhecimento das potencialidades e da redução das vulnerabilidades e desigualdades regionais, que possibilite a convivência com as adversidades ambientais impostas. Os municípios, regularmente inclusos na região semiárida do Brasil, gozam de tratamento diferenciado nas políticas de crédito e benefícios fiscais.

Nesse sentido, no Brasil, a delimitação da área de abrangência do semiárido está descrita em instrumento normativo, que avalia, além da precipitação anual, o índice de aridez e o risco de seca. Em 2017, considerando os efeitos da última seca, foi proposta a inclusão de novos municípios, e a nova delimitação do semiárido passou a abranger 1189 municípios em nove estados, concentrando uma população superior a 25 milhões de habitantes. Isso faz do semiárido brasileiro uma das regiões semiáridas mais populosas do mundo.

Com relação à temperatura no semiárido, sabe-se que é elevada, com médias anuais variando entre 26° e 28° C, mas, de maneira geral, a amplitude térmica anual é baixa, com variações entre 2° e 5° C (TROLEIS e SANTOS, 2011). A umidade relativa fica em torno dos 60%, com valores mais elevados em cidades situadas em maiores altitudes (CIRILO, 2007). Com essa relativa estabilidade térmica, as grandes diferenciações climáticas regionais do Nordeste são provocadas, sobretudo, pelas precipitações pluviais que dependem das massas de ar ou da diferença de altitude.

Todas essas restrições de natureza climática condicionaram o surgimento de um bioma diverso e adaptado à aridez, a caatinga. Reconhecendo a importância desse bioma, Ab'sáber (2003) defende que não existe melhor parâmetro para delimitar o Nordeste seco do que os extremos da própria vegetação da caatinga: “até onde vão os diferentes fácies de caatingas de modo relativamente contínuo, estaremos na presença de ambientes semiáridos”.

Diante desse panorama, constata-se quão conflituoso é o uso e gestão dos escassos recursos hídricos na região semiárida, principalmente quando assolada pelas, cada vez mais frequentes e prolongadas, secas. Dentro da perspectiva de se promover a “convivência com o semiárido” e não mais o “combate à seca”, destaca-se a importância da análise sistêmica na compreensão ampla dos fatores intervenientes e elementos componentes da paisagem, na busca de estratégias de adaptação às condições ambientais, para proposição de técnicas mais eficientes de gestão dos recursos

hídricos. Daí a necessidade de compreensão dos peculiares processos a que está submetido o sistema fluvial semiárido.

As altas taxas de evapotranspiração do semiárido, aproximadamente 2000 mm anuais, causam o colapso de boa parte dos reservatórios superficiais de pequeno porte durante o período de estiagem. Segundo dados do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres, a estiagem e seca é o desastre que mais afeta a população brasileira. Atualmente, após cinco anos seguidos de volume de chuvas abaixo da média histórica, a seca do semiárido já é considerada a maior do século. Grandes reservatórios do Nordeste, com potencial de armazenar mais de 10 bilhões de litros de água, operam, em média, com 16,3% da capacidade, porcentual que era de 46,3%, há cinco anos e, dos 533 reservatórios da região monitorados pela Agência Nacional de Águas (ANA), 142 estão secos (SILVA, 2017).

Um dos efeitos inéditos da seca atual é a ameaça sobre os grandes centros urbanos. Cidades de médio porte, como Campina Grande, na Paraíba, estão sob risco de colapso de abastecimento, amenizado apenas com a chegada das águas da transposição do Rio São Francisco.

Pensando nas altas taxas de evapotranspiração incidentes no semiárido, as águas subterrâneas e subsuperficiais levariam vantagem, por estarem protegidas dos efeitos evaporativos da radiação solar. Contudo, o embasamento cristalino de rochas predominantemente metamórficas e magmáticas, sobre o qual repousa grande parte do Nordeste semiárido, confere-lhe um baixo potencial hidrogeológico. Isso porque esses fatores geológicos condicionarão a circulação e o armazenamento de água à ocorrência de corpos rochosos com propriedades favoráveis (CABRAL; SANTOS, 2007). Nesses aquíferos fissurais, a circulação da água se dá entre as falhas ou fraturas do embasamento, restringindo-se à presença de descontinuidades e, por isso, apresentam capacidade limitada de acúmulo de água e, quando explotados, geralmente apresentam limitações: baixas vazões, em geral, inferiores a 2m³/h; teor de sais, na maioria dos poços, superior ao recomendado para consumo humano; e alto índice de poços secos, pelas imprevisibilidades da própria estrutura geológica (CIRILO, 2013).

Outro tipo de aquífero do semiárido são os aquíferos aluviais que ocorrem nos sedimentos inconsolidados dos canais de drenagem intermitentes do semiárido, mas esses também têm potencial limitado. De maneira geral, os aquíferos fissurais e de aluviões do semiárido nordestino se encontram qualitativa e quantitativamente comprometidos, devido à baixa taxa de recarga e alto teor de sais, diferentemente daqueles aquíferos formados em bacias sedimentares.

3.3.1. Sistemas fluviais semiáridos, processos fluviais e aquíferos aluviais em terras secas

A bacia hidrográfica representa o recorte espacial de suporte à análise integrada dos diferentes elementos que compõem o ambiente fluvial, incluindo seus processos, sua estrutura e seus elementos. Nesse sentido, o sistema fluvial, constituído pela zona fonte de sedimentos, a rede de transporte e os sítios de deposição, com destaque à rede de drenagem e seu fluxo, que determinam o balanço sedimentológico, representa importante ferramenta de subsídio à gestão integrada dos recursos hídricos (SOUZA, 2013).

Os cursos d'água do semiárido nordestino são, em sua maioria, intermitentes ou temporários, permanecendo secos durante boa parte do ano, uma vez que a geologia cristalina que, por vezes, aflora, evidencia a tenuidade do solo e sua baixa capacidade de infiltração que não favorece o fluxo de base capaz de manter a recarga do canal por mais tempo após o término das chuvas e do escoamento superficial. Dessa forma, verifica-se que o escoamento superficial, quando da ocorrência dos eventos chuvosos de maior intensidade, tem efeito modificador predominante da paisagem semiárida (SANTOS, SRINIVASAN e SILVA, 2013).

A irregularidade espaço-temporal das chuvas no semiárido faz com que as precipitações intensas originem um escoamento superficial difuso com grande energia, capaz de transportar quantidade significativa de sedimentos, exaurindo o solo já escasso e assoreando os vales dos rios. A carga total de sedimentos transportados, seja por arrasto ou por suspensão, depende de vários fatores: uns relativos às características hidráulicas do fluxo; outros, relacionados às características dos sedimentos, como tamanho e densidade relativa, que determinarão a resistência ao cisalhamento (SOUZA, et al 2013).

Souza e Almeida (2015) alertam que, além do conhecimento dos processos de erosão, transporte e deposição, é importante considerar os fatores condicionantes/controladores, como fatores climáticos e geológicos, que estão envolvidos no suprimento de água e sedimento ao sistema fluvial, que por sua vez, assumem o papel de agentes modificadores da superfície, por sua dinâmica, transportando fluxo de água e sedimentos em constante interação entre o canal e a encosta. Dentro dessa perspectiva de análise sistêmica, Souza (2011), considerando os processos modificadores da paisagem em um sistema fluvial, esclarece uma propriedade importante, a sensitividade da paisagem, entendida como a capacidade de mudança do sistema ou de absorver mudanças. Esse estudo de sensitividade baseia-se em informações como: resistência e força;

frequência, magnitude e duração das perturbações; estabilidade/resiliência das paisagens; e os controles temporais e espaciais das características do sistema. Logo, a sensitividade de um sistema estaria relacionada a sua propensão à mudança e sua habilidade para absorver as forças desestabilizadoras.

É comum perceberem-se encostas com leito excessivamente pedregoso, onde o escoamento superficial, não canalizado, já desagregou e transportou boa parte dos componentes finos do solo. Essas diferentes unidades estão nitidamente limitadas pelos canais ou planícies de inundação, formados de sedimentos predominantemente arenosos. Esse é, simplificadamente, o processo de formação dos vales aluviais, ou dos Neossolos Flúvicos (MOTENEGRO et al., 2007). Souza e Almeida (2015) destacam ainda outra forma comum nas terras secas, os pedimentos, definindo-os como uma delgada cobertura detritica colúvio-aluvial, mal selecionada e não estratificada, que, nesse caso, dá-se o nome de pedimento detritico.

Para modelagem do processo hidrossedimentológico, é preciso estimar ou determinar algumas das propriedades da bacia, como dados de precipitação, vazão e erosão. Com esse objetivo, em 1997, foi montada, em São João do Cariri, semiárido paraibano, uma bacia experimental, que coletou informações por, pelo menos, dez anos. Os resultados comprovaram a irregularidade temporal das chuvas no semiárido, detectando valores de 80 mm diárias em eventos de maior intensidade, que provocaram uma lâmina escoada de até 60 mm e produção de sedimentos da ordem de 2.000,00 kg/ha.dia (BRITO et al., 2013).

Os depósitos aluviais são decorrentes dos processos de erosão, transporte e deposição do material constituinte da superfície da bacia hidrográfica em decorrência dos fatores climáticos intemperizadores. São normalmente constituídos por cascalhos, areias, silte e argila, que ocupam os próprios canais e as planícies de inundação. Fatores hidrodinâmicos diversos e características específicas do solo estão envolvidos nesse fenômeno erosivo, tais como o volume e velocidade de escoamento, a erodibilidade do solo e seu teor de umidade antecedente, a cobertura vegetal, o uso do solo e fatores topográficos (BRITO et al., 2013).

Esse depósito de sedimentos inconsolidados pode assumir profundidades variadas ao longo dos canais, superando uma dezena de metros, fazendo com que, mesmo cessando o escoamento em superfície, o fluxo continue em zona subsuperficial, constituindo-se em importante reserva hídrica, mesmo que de uso limitado. Esse fluxo hiporreico, apesar de mais lento que o superficial, é contínuo à jusante, seguindo para cotas inferiores. Há casos, contudo, em que obstáculos naturais

ou artificiais se interpõem a esse fluxo, reservando por mais tempo a água nos aquíferos aluviais, a exemplo das barragens subterrâneas.

Os vales aluviais do semiárido nordestino tem se constituído a principal fonte de água de pequenas propriedades, seja para a dessedentação animal ou para pequena agricultura, através da construção de poços rasos ou cacimbas e cacimbões, também conhecidos como poços amazonas (MONTENEGRO et al, 2007).

O processo de erosão, apesar de natural, pode se intensificar pelo uso inadequado do solo e sua ocupação desordenada, vindo a causar impactos significativos, entre eles, a inviabilidade do solo para agricultura, redução da capacidade de retenção dos reservatórios ou comprometimento da qualidade de sua água (MONTENEGRO et al, 2007).

3.3.2. Uso e cobertura da terra no semiárido

O uso da terra está, normalmente, relacionado às atividades conduzidas pelo homem na obtenção dos produtos e benefícios, advindos da utilização dos recursos naturais ou, em outras palavras, constitui a atividade do homem diretamente vinculada com a terra. Logo, tem estrita relação com a função socioeconômica (agricultura, habitação, proteção ambiental) da superfície (IBGE, 2013).

A cobertura da terra é definida pelos elementos naturais ou artificiais que recobrem a superfície. Pode ser vegetação (natural e plantada), água, gelo, rocha nua, areia, entre outros, como também as construções artificiais criadas pelo homem. Vê-se que os conceitos de cobertura e uso da terra guardam, entre si, uma estreita relação, pois, em geral, as atividades humanas estão diretamente relacionadas com o tipo de revestimento do solo, seja ele florestal, agrícola, residencial ou industrial (IBGE, 2013).

Dados censitários também contribuem para uma melhor compreensão dos usos do solo na área de estudo. O último Censo Agropecuário do município de São João do Tigre, onde está inscrita a bacia hidrográfica objeto desse estudo, disponível no sítio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na rede de computadores, é de 2006. Da análise desse documento, constata-se que, na época, havia 680 unidades agropecuárias de propriedade individual que abrangiam uma área de 47.997 ha. Quase a metade dessa área é coberta por pastagem natural, com uso agropastoril

e cerca de 1.500 ha são utilizados para o plantio de forrageiras. Entre as principais lavouras, estavam o milho e o feijão. Na pecuária, destacava-se a criação de caprinos e ovinos com mais de 30.000 cabeças, seguida por bovinos, com quase 8.000 cabeças. O Censo também constatou a existência de mais de 3.000 ha de terras degradadas (erodidas, desertificadas ou salinizadas) e inaproveitáveis para a agricultura ou pecuária (BRASIL, 2006). O Produto Interno Bruto *per capita* desse município, não ultrapassou os R\$ 5.500,00, deixando-o entre os últimos na comparação com os demais municípios do estado.

Essas informações podem ser utilizadas como complementares aos dados de sensoriamento remoto, como fotografias aéreas e imagens de satélite, auxiliando na interpretação das atividades de uso da terra correlacionadas à cobertura, a fim de se mapear o tema com maior exatidão. Pode-se inferir, por exemplo, das informações censitárias acima, que se trata de uma região pouco desenvolvida, em que a base da economia e subsistência de sua comunidade é a atividade agropecuária, e que boa parte dos recursos movimentados tem fontes externas ao município. Daí concluir-se também que as atividades desenvolvidas, nas áreas mais isoladas dessa região, não se utilizam de aportes tecnológicos mais atualizados, tornando o homem ainda mais dependente das condições naturais.

Dessa forma, tanto em outras regiões, mas principalmente no semiárido, a água e o relevo constituem elementos condicionantes fundamentais das atividades antrópicas. Em estudo realizado na região de São João do Tigre- PB, Gomes e Souza (2017) buscaram, através dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), fazer essa correlação, e concluíram, comparando os mapas gerados, que, 67,85% da superfície da bacia apresentava cobertura classificada como solo exposto e vegetação esparsa, que se localizava nas áreas mais planas, portanto, com maior interferência antrópica capaz de desestabilizar e impactar o sistema. As áreas cobertas com caatinga arbustiva e arbórea fechada ficaram restritas a menos de 4% do total, e se localizavam nas regiões de maior declividade e altitude, uma vez que possuem o acesso e uso mais restritos.

O uso e cobertura do solo, como em outras regiões, mas, principalmente, no semiárido, terá sempre um forte fator condicionante, os recursos hídricos. Nesse sentido, é preciso conhecer a forma como o homem tem enfrentado a crônica escassez de água nessas regiões semiáridas.

3.3.3. Intervenções de convivência com o semiárido

A necessidade de armazenamento da água, devido à escassez e irregularidade das chuvas no semiárido nordestino, fez com que, desde séculos passados, esforços fossem envidados na construção de obras com esse objetivo. Era a época dos grandes açudes públicos, de maior porte, que priorizavam, sobretudo, o abastecimento humano dos aglomerados urbanos, mas, na seca, eram utilizados para culturas de vazante, piscicultura e outras atividades econômicas realizadas em seu entorno. Ainda na segunda metade do século passado, teve início programas de perfuração de poços, e construção de barreiros, para atender a demanda nas áreas mais isoladas, para dessedentação humana e animal e suporte à pequena agricultura (CAMPOS, 1994).

O uso da água, em geral, deve satisfazer aspectos quantitativos e qualitativos, e sua gestão deveria prever a justa alocação dos recursos entre os diversos usos competitivos, como a irrigação, geração de energia elétrica, abastecimento humano nas zonas urbana e rural e manutenção dos ecossistemas com uma vazão ecológica mínima. No semiárido nordestino, onde não se dispõe, na maioria dos casos, de água em quantidade e qualidade satisfatórias, a gestão desse recurso deve ser ainda mais priorizada, a fim de garantir a sobrevivência de sua população (SILVA, 2007). Se essa gestão não ocorre de forma integrada, terá pouca eficiência, pois, ao priorizar apenas um uso, condenará o habitante do semiárido a abandonar seu local ou, o que não seria menos prejudicial, a estar perpetuamente dependente das ações “benevolentes” do governo.

Na segunda fase da política de incentivo à acumulação de água, impulsionada a partir dos anos noventa do século passado, com apoio governamental e não-governamental, priorizou-se investimento em tecnologias alternativas, voltadas, principalmente, para o atendimento das populações rurais difusas. Dentre essas, tem-se as cisternas de telhados ou de calçadão que recolhem e armazenam água das chuvas. Construídas para acumular entre 7 e 15 m³, as cisternas podem garantir uma oferta diária de 50L por 140 a 300 dias. É, pois, fundamental no atendimento das necessidades essenciais da população rural difusa. Apesar de se estimar a construção de 500.000 cisternas, atendendo mais de 2,5 milhões de pessoas, ainda se calcula um déficit aproximado de 1.300.000 cisternas (CIRILO, 2013).

Além do uso para abastecimento, deve-se prever o uso de água para a dessedentação animal e irrigação, a fim de garantir o sustento do produtor familiar. Para isso, tem-se, cada vez mais, feito uso dos aquíferos aluviais, buscando melhorar sua eficiência no armazenamento da água durante

os períodos de estiagem, através de barramentos, sejam de assoreamento ou subterrâneos. Os primeiros visam à retenção gradativa de uma camada porosa de sedimentos e água, no período chuvoso. Já, as barragens subterrâneas são construídas em canais que já dispõem de camada porosa e, por isso, interpõe-se uma barreira impermeável escavada transversalmente ao fluxo do canal, a fim de reter a água. Cabral e Santos (2007) relatam exemplos de barramentos desse tipo construídos com pneus, preenchidos com agregados variados e estruturados com varões metálicos, que demonstraram boa eficiência.

Esses barramentos estão entre as principais atividades antrópicas causadoras de impactos nos rios de terras secas, com influências à montante e a jusante do barramento. A montante, ele induz a mudança do nível de base, que fica ajustado ao novo nível da água do reservatório. Isso modifica a velocidade do fluxo, diminuindo-a e gerando sedimentação a montante (SOUZA; ALMEIDA, 2015). A jusante, as mudanças no regime do rio são drásticas, com redução do volume de fluxo e de sedimentos transportados. Isso pode provocar um aumento na capacidade erosiva a jusante da barragem (GRAF, 1988).

De toda forma, nesses casos, o acúmulo de água a montante, muitas vezes sob leito arenoso, pode ser explotado por poços rasos, que requerem menos recursos para sua execução, a exemplo dos cacimbões ou poços amazonas e cacimbas escavadas. Gusmão (2016) diferencia essas duas técnicas, explicando que os cacimbões são poços construídos no leito seco do rio, em formato cilíndrico, com diâmetro variando entre 0,5 e 3,0 m e paredes estruturadas em concreto armado ou alvenaria, com ou sem fechamento superior; já, as cacimbas escavadas, também executadas nos leitos secos dos canais, não possuem qualquer contenção lateral, por isso, tem formas e profundidades variáveis.

3.4. Qualidade de água e aquíferos

O exíguo desenvolvimento econômico, nas regiões semiáridas, está diretamente relacionado às restrições de acesso à água. Como se a quantidade já não fosse insuficiente, acrescente-se, ainda, os diversos problemas relativos à qualidade das águas no semiárido (NETTO, COSTA e CABRAL, 2007).

O nordeste brasileiro possui boa parte de seu território repousando sobre o embasamento Cristalino Pré-Cambriano, conforme se observa no mapa de sua distribuição no território brasileiro, apresentado na figura 1. Afirma-se que esse embasamento foi afetado por tectonismo ruptural, e apresenta falhas e fraturas, que, quando abertas, podem acumular água. As aberturas podem também ser causadas por processos físico-químicos. Essas zonas aquíferas subterrâneas têm características muito peculiares: são descontínuas e heterogêneas, tornando sua exploração bastante imprevisível (DEMETRIO, FEITOSA E SARAIVA, 2007).

Figura 1: Distribuição das rochas sedimentares e cristalinas no Brasil.



Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/364746/>.

As águas subterrâneas, normalmente, estão mais protegidas e, por isso, menos vulneráveis aos agentes poluidores do que os aquíferos superficiais. No entanto, em especial no semiárido, onde a taxa de evaporação é elevada, o processo de infiltração da água, no período chuvoso, para camadas mais profundas, acaba por carrear elementos dissolvidos que podem alterar sua qualidade e restringir seu uso.

Segundo Leitão, Montenegro e Almeida (2007), os problemas mais frequentes de poluição, no semiárido, são causados pela poluição por sais e pesticidas, destacando que as atividades antrópicas, como práticas agrícolas deficientes, atividades de criação de animais, e má disposição de fossas sépticas e resíduos são fontes poluidoras frequentes. Destaque-se, contudo, que o grau de

vulnerabilidade, aferido por suas características intrínsecas, pode fazer com que a qualidade da água sofra alteração de forma mais ou menos intensa quando cargas poluidoras estiverem atuando.

A salinidade constitui, portanto, um importante parâmetro indicador de alteração na qualidade da água. No semiárido nordestino, os aquíferos fissurais, geralmente, apresentam salinidade mais elevada que os aquíferos porosos, como nas aluviões, que tem melhor qualidade da água (CABRAL; SANTOS, 2007). Pereira et al. (2006) relatam que, no cristalino do semiárido cearense, que representa 75% da base geológica daquele estado, as águas são, em geral, de elevada salinidade e de uso restrito.

Demétrio, Feitosa e Saraiva (2007) avaliaram aspectos diversos em quase 20.000 poços, em sete estados nordestinos, verificando que, na Paraíba, os 6.037 poços analisados apresentaram uma média de sólidos totais dissolvidos igual a 2298,74 mg/L. Considerando que o Ministério da Saúde fixa em 1000 mg/L (Portaria MS 2914/2004) o limite máximo de sólidos totais dissolvidos para a água destinada ao consumo humano, boa parte dos poços analisados apresentam água imprópria para o consumo. O estudo também calculou que, na Paraíba, a probabilidade de se encontrar um poço, com características que impeça o uso de sua água para consumo, é de 61,85%.

Corroborando esse panorama, em 2005, foi executado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, o cadastro das fontes de abastecimento por água subterrânea do estado de Paraíba, onde consta o diagnóstico do município de São João do Tigre. Foram cadastrados, no projeto, 66 poços tubulares, desses, apenas 32 estavam em operação, e os demais se encontravam abandonados, paralisados ou não haviam sido instalados. Com relação ao uso da água, menos de 10% são destinados ao uso doméstico primário (água de consumo humano para beber); 38% são utilizados para o uso doméstico secundário (água de consumo humano para uso geral); 4%, para agricultura; e 49%, para desidratação animal. Isso porque, dos 31 poços em operação, 25 apresentaram águas salinas, 5 apresentaram águas salobras e apenas 1 apresentou água doce.

Além da definição de potabilidade pelo Ministério da Saúde, que considera o teor de sólidos totais dissolvidos, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução N° 357/ 2005, classifica as águas em doces, salobras e salinas, a partir de seu índice de salinidade. Dessa forma, serão consideradas águas doces, aquelas que apresentem salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰; águas salobras, quando a salinidade for superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰; e águas salinas, águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰.

Tradicionalmente, a salinidade é medida em partes por mil (‰), ou seja, é medida a quantidade de sal por litro de água, mas existe também a possibilidade de se medir salinidade usando a condutividade, a temperatura e a pressão. Nessa última hipótese, define-se a salinidade na forma de uma razão entre medidas de condutividade, e essa escala foi chamada de "Practical Salinity Scale" ou Escala de Salinidade Prática, identificada pela sigla "psu".

Parâmetros de qualidade da água como condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e salinidade estão diretamente relacionados, podendo os últimos serem calculados em função do primeiro, por aplicação de algoritmos. Sendo assim, pode-se determinar, primeiramente, a condutividade elétrica, por ser de mais fácil aferição, por instrumentos simples que podem ser levados ao campo, inclusive, e, posteriormente, em função dessa, calcularem-se os demais parâmetros correlacionados (OLIVEIRA et al, 2000).

De maneira geral, a qualidade da água estará diretamente relacionada aos fatores ambientais e antrópicos que compõem o sistema da bacia hidrográfica, que interferem na vulnerabilidade dos aquíferos. As características geológicas, condições geomorfológicas e climáticas, cobertura do solo, bem como o uso que se faz dos recursos, terão forte influência na qualidade da água do local.

3.4.1. Elementos ambientais que influenciam a qualidade da água

Os sais dissolvidos nas águas armazenadas em reservatórios superficiais e nas águas subterrâneas podem ter origens diferentes, como também, a salinidade destas águas pode ser decorrente de diferentes processos. Segundo Pereira et al. (2006), que estudaram a química das águas em açudes e cacimbas do semiárido cearense, existem basicamente três processos controladores: intemperismo, precipitação atmosférica e evaporação/cristalização e, para eles, a diferente concentração de determinados íons caracterizará o processo predominante. Na aluvião, predominam sais provenientes da interação água/rocha, ou seja, do processo de intemperismo. Nas cacimbas, então, o processo de evaporação terá menos influência que nos reservatórios superficiais, que certamente apresentarão uma variação sazonal na concentração de sais.

De forma geral, as perdas de água provocadas pelas altas demandas evaporimétricas do semiárido tanto reduzem a disponibilidade hídrica como contribuem para o aumento do teor de sais na água e no solo. A alta evaporação consome água seja dos reservatórios superficiais expostos,

seja do solo e, nos locais em que o lençol é pouco profundo, por capilaridade, perde-se água e aumenta-se a concentração de sais antes nela dissolvidos. Ciclicamente, os elementos químicos acumulados no solo são transportados, dissolvidos ou em suspensão, para os reservatórios de superfície ou lixiviados em direção aos reservatórios freáticos, quando da ocorrência de eventos chuvosos (LEITÃO; MONTENEGRO E ALMEIDA, 2007).

Gusmão (2016) chegou a verificar que, no Alto Capiberibe, em Pernambuco, a seca prolongada tem provocado uma redução constante nos níveis de água das cacimbas ou cacimbões ou, até mesmo, levando-os a secarem completamente. A redução no volume de água disponível nesses reservatórios tem reflexo direto em sua qualidade, pois provoca o aumento na concentração de sólidos dissolvidos e, consequentemente, na salinidade, tornando a água salobra e imprópria para determinados usos. Demonstrou ainda que o oposto também se verifica, pois análises realizadas em amostras de água de aluviões de cacimbas ou cacimbões, em períodos posteriores aos eventos chuvosos, resultaram teores de sais inferiores ou, até mesmo, nulos.

O aumento na concentração total de sais no solo e na água atua alterando o potencial osmótico da água, que prejudica a absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas. Isso tem implicações diretas na produtividade das culturas, que devem, pois, ser escolhidas de acordo com sua maior adaptação e resistência a esses ambientes. É comum utilizar-se do gráfico que relaciona a Razão de Adsorção de Sódio (RAS) com a condutividade da água disponível para irrigação, pois fornece informações sobre quais culturas estariam mais aptas a serem irrigadas com essa água. A RAS tem correspondência com a alcalinidade da água, pois corresponde a uma relação entre as concentrações de íons de sódio, de cálcio e de magnésio. Essa taxa tem influência direta na estrutura do solo, aumentando sua erodibilidade e diminuindo a capacidade de infiltração (LEITÃO, MONTENEGRO e ALMEIDA, 2007).

3.4.2. Elementos antrópicos que influenciam a qualidade da água

No semiárido, a irrigação inadequada pode provocar o aumento da salinidade no solo ou nas águas subterrâneas. Áreas irrigadas, com drenagem deficiente, provocarão o incremento de sais no solo em decorrência da evaporação da água excedente e, com o passar do tempo, o solo pode ter sua produtividade reduzida em virtude do acréscimo de salinidade e inadaptação de muitas

culturas a esse tipo de substrato. Há casos, contudo, em que a lâmina de água excedente provoca a lixiviação do solo na zona radicular, com a atenuação do transporte ascendente de sais da zona não saturada, mas os conduz aos reservatórios subterrâneos (MONTENEGRO et al., 2007).

Boa parte das áreas agricultáveis se aproveita dos solos marginais aos canais, áreas de várzeas, vazantes ou da própria planície de inundação, quando assoreada natural ou artificialmente, por serem mais férteis e mais úmidos, estando mais próximos dos recursos hídricos. Dada à irregularidade das chuvas, a ocorrência de chuvas intensas, em período subsequente a fertilização do solo, por exemplo, pode fazer com que esses compostos sejam drenados aos reservatórios e comprometam sua qualidade.

Da mesma forma, na pecuária, onde os animais se alimentam das forrageiras cultivadas nas proximidades dos canais de drenagem, os dejetos são todos carreados por escoamento superficial ou mesmo infiltram quando da ocorrência dos eventos chuvosos.

Outra prática que parece comum, no semiárido nordestino, é a limpeza do terreno, desmatando-o por completo, removendo árvores e arbustos que cobriam a área. Não se sabe se para aproveitamento da madeira ou para abertura de espaço para criação ou plantação, estranha-se apenas o fato de essa prática se dar inclusive nas encostas, onde o solo já é naturalmente pobre, e o desmatamento apenas expõe ainda mais a sua fragilidade. Acredita-se que tal prática cause um incremento dos processos erosivos na área.

3.4.3. Métodos/práticas para conservação e melhoria da qualidade da água

A base de planejamento para convivência com o semiárido sempre teve como eixo principal a disponibilidade de recursos hídricos e estes sempre foram restritos quantitativa e qualitativamente. De forma que, às vezes, dispõe-se de água, mas com sérias restrições ao uso, devido a sua qualidade inferior. A qualidade da água é definida por sua composição e pelo conhecimento dos efeitos que seus constituintes podem causar ao ambiente e, em especial, à saúde do homem. Para consumo humano, a legislação brasileira, por meio do Ministério da Saúde, dispõe que toda água deve obedecer ao padrão de potabilidade, dispendo que água potável é aquela cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendem aos limites fixados, sem risco à saúde.

No tocante a práticas para conservação ou melhora da qualidade, pode-se atuar de forma preventiva ou corretiva. Diante das causas naturais que favorecem o aumento da salinidade da água no semiárido, pode-se agir de forma mitigatória, reduzindo os efeitos da forte evapotranspiração, que faz aumentar a concentração de sais no solo. Pode-se também, de outra forma, buscar reduzir os impactos da erosão e dos agentes intempéricos.

Uma prática, relacionada a redução da salinidade, visa à pesquisa de espécies vegetais halófitas, que apresentem melhor adaptação a ambientes com maior teor de sais, como é o caso da *Atriplex nummularia*, planta com grande capacidade de absorção de sais. Esse vegetal, original da Austrália, comprovou ser uma excelente forrageira em cultivos no Chile (CIRILO, 2013), e já está sendo utilizada no Brasil, em programas do Governo Federal, como o Programa Água Doce.

A produção de água doce a partir da água salgada ou salobra pode ser feita através de processos de dessalinização, que promovem a remoção de íons da solução. Projetos de dessalinização já operam em larga escala em mais de 125 países, tratando principalmente a água do mar. Entre os processos de dessalinização mais utilizados, destaca-se a osmose reversa, que se utiliza de membranas semipermeáveis para, sob pressão, promover a remoção dos íons da solução. Outro processo de dessalinização é a destilação térmica, que promove a evaporação da água salina ou salobra e sua posterior condensação livre de sais. Alguns desses projetos operam juntamente com instalações de geração de energia térmica (BAIRD, CANN, 2014).

O uso de dessalinizadores, apesar de crescer a cada ano em todo mundo, com melhoria progressiva de sua eficiência e redução dos custos totais, não apresenta, no Brasil, maior incentivo a sua utilização. Inicialmente, a não aplicação desse método se justificava pelo alto custo de instalação e manutenção desses equipamentos, deixando ao abandono muitos deles instalados, às vezes, por falta de simples correções.

De qualquer forma, a opção por dessalinizadores deve ser precedida de estudos criteriosos que a justifique, bem como, já se deve incorporar ao projeto a opção de tratamento de seu rejeito, para que não se crie um passivo de difícil solução. Nessa perspectiva, mesmo que ainda de forma incipiente, o Governo Federal, em parceria com instituições federais, estaduais, municipais e da sociedade civil, sob a coordenação do Ministério do Meio Ambiente, tem implementando o Programa Água Doce (PAD). Esse programa visa ao estabelecimento de uma política pública permanente de acesso à água de boa qualidade para o consumo humano, promovendo e disciplinando a implantação, a recuperação e a gestão de sistemas de dessalinização para atender,

prioritariamente, as populações de baixa renda em comunidades difusas do semiárido (BRASIL, 2017).

A estratégica central é a implantação ou recuperação de equipamentos de dessalinização em poços tubulares e, onde as condições o permitirem, associá-los à implantação de sistemas produtivos locais, baseados no aproveitamento dos rejeitos para utilização na aquicultura, na irrigação de plantas halófitas (que absorvem sal), além da construção de leitos de evaporação para separação e produção de sal, entre outros usos.

Na figura 2, apresenta-se um esquema de funcionamento de uma unidade demonstrativa, usada para replicação do programa. Esse sistema de produção integrado foi desenvolvido pela Embrapa Semiárido e apresenta uma alternativa de uso adequado do efluente (concentrado) do sistema de dessalinização, minimizando impactos ambientais e contribuindo para a segurança alimentar.

Figura 2: Unidade Demonstrativa do Programa Água Doce.



Fonte: <http://www.mma.gov.br/agua/agua-doce/unidades-demostrativas>.

Águas pluviais também são coletadas para o consumo humano nas localidades difusas do semiárido, geralmente armazenadas em cisternas. Mesmo essas águas também devem observar os padrões de qualidade para consumo humano. Para uma melhor garantia da qualidade da água, no caso das cisternas, recomenda-se um manejo adequado: lavando-as e desinfetando-as, pelo menos uma vez por ano, sempre antes do início das novas chuvas, de forma que não ocorra mistura da água antiga com a nova. Porém, é importante não as deixar sem água, para não provocar rachaduras

e possíveis infiltrações. Além disso, deve-se ter cuidado com as primeiras águas, que devem ser eliminadas, pois estas lavam a superfície de captação e podem conter impurezas, como, fezes de pequenos animais, poeira, folhas secas, restos animais, que podem contaminar todo o reservatório.

As formas de tratamento da água de beber mais utilizada, no meio rural do semiárido brasileiro, são a filtração e cloração, principalmente, das águas de chuva armazenadas em cisternas. O cloro, utilizado no processo de desinfecção da água, pode ser na forma de hipoclorito de sódio ou de cálcio, gasoso ou em pó. A escolha do produto e de sua dosagem depende de algumas características e do volume da água, alertando-se para a recomendação de aguardar, no mínimo, 30 minutos após a aplicação do produto, para poder consumir a água. Além disso, a eficácia do processo de desinfecção depende também de parâmetros com turbidez e pH no momento da desinfecção.

Outra forma de melhorar a qualidade da água, para o consumo humano, é através da filtração. Em áreas rurais e urbanas, que não dispõem de sistema de tratamento e abastecimento de água, é comum a utilização de filtros, já que a água tem fontes diversas, como barreiros, cacimbas e cisternas.

Outra técnica, já bastante difundida em alguns países de reconhecida escassez hídrica, mas pouco utilizada no semiárido brasileiro, que indiretamente atua na melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis, é o reuso planejado de águas residuárias ou esgoto doméstico tratado. Quando utilizado na irrigação, o reuso pode proporcionar um aumento na produtividade, bem como a redução de danos ambientais, da poluição hídrica dos mananciais e melhor controle de erosão que seriam causados pela disposição inadequada desses efluentes. As águas servidas de origem doméstica são ricas em nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, e, assim, as culturas prescindirão da suplementação com fertilizantes químicos (MONTENEGRO, et al, 2007). Países como Austrália, Israel e EUA vem utilizando com sucesso a fertirrigação com efluente de esgoto tratado (NETTO; COSTA; CABRAL, 2007). No que pese todas as vantagens, há que se considerar a minimização de riscos potenciais, como, a toxicidade de alguns elementos para as plantas e para a saúde humana; e o potencial de poluição da água e do solo.

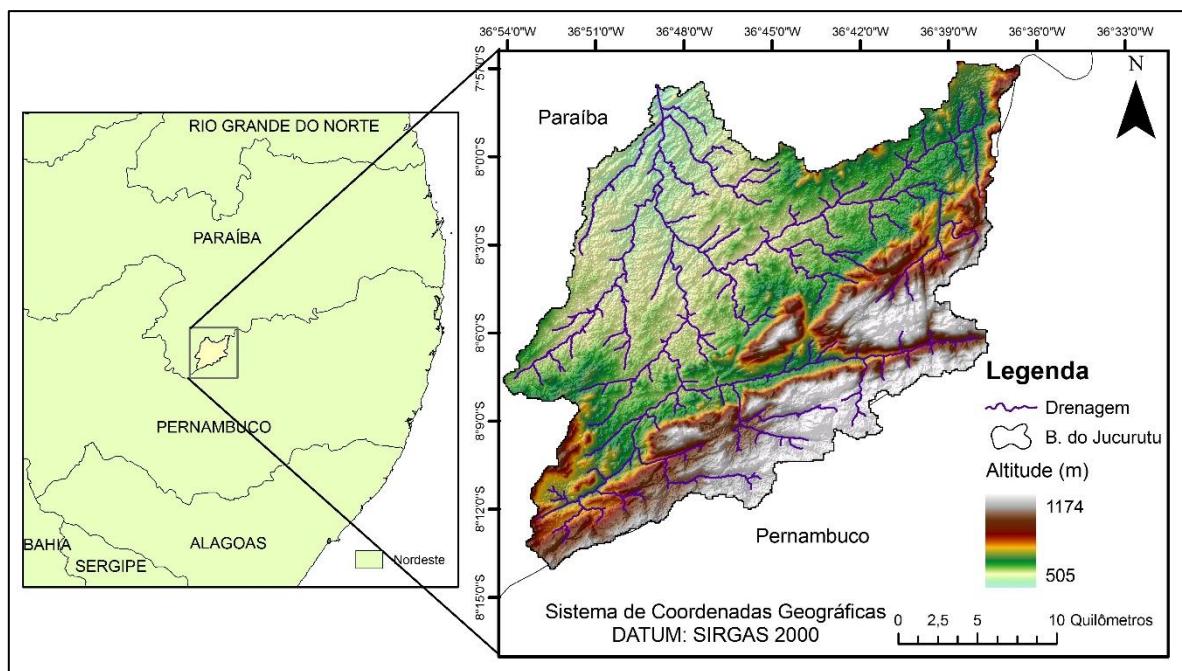
A preservação da qualidade da água, em particular a qualidade microbiológica, é fundamental à saúde do homem e, se não for adequada, pode ocasionar doenças e causar sérias epidemias (BRITO; MOURA; GAMA, 2007).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área

A área de estudo está localizada no semiárido nordestino, bacia hidrográfica do Riacho do Tigre, no município de São João do Tigre, Paraíba. Na figura 3, representam-se a localização da área de estudo, seu sistema de drenagem e o respectivo Modelo Digital de Elevação (MDE). A rede de drenagem e o MDE foram extraídos em estudos antecedentes, tendo como base pontos de controle obtidos em visitas de exploração e dados da Missão SRTM, tratados em ambiente SIG.

Figura 3 Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Riacho Do Tigre, São João do Tigre-PB.



Fonte: Próprio autor (2016).

A amplitude altimétrica, como se vê, é de aproximadamente 669m, com o ponto mais baixo a 505 m, e, o mais alto, a 1174 m de altitude. O limite sul da bacia hidrográfica estudada coincide com a divisa entre os estados da Paraíba e Pernambuco. Esses pontos correspondem às cotas mais elevadas e que, por isso, interpõem-se à passagem de umidade vinda do sul, como uma barreira orográfica, provocando um déficit pluviométrico significativo na porção paraibana. Isso é

responsável por impor forte contraste na configuração das paisagens de um e outro estado. Na face pernambucana da elevação, a vegetação apresenta-se mais densa e diversificada, o solo mais úmido e a temperatura mais amena e, quando se transpõe a divisa na direção Sul-Norte, alguns quilômetros são suficientes para se constatar a mudança na paisagem, a caatinga mais esparsa e seca, e o solo pedregoso.

Da observação do MDE da área de estudo, verifica-se quão representativa pode ser a influência dos atributos geomorfológicos, geológicos e topográficos nos estudos ambientais da região. A nítida amplitude altimétrica divide a bacia em duas áreas: uma de maior declividade e outra mais plana, ao norte, e isso constitui um significativo fator de influência, pois condiciona o uso, a cobertura e vários outros processos, como o escoamento superficial, drenagem, produção de sedimentos e, consequentemente, a própria disponibilidade hídrica.

Essa subdivisão da superfície da bacia é melhor esclarecida através dos estudos da morfogênese da principal unidade do relevo nordestino brasileiro, o Planalto da Borborema, em que Corrêa et al. (2010), sob a ótica da importância dos mecanismos endogenéticos atuantes na hierarquização regional dos compartimentos do relevo, propôs a adoção de um modelo conceitual de compartimentação morfoestrutural, dividindo o Planalto da Borborema em oito subcompartimentos distintos, quais sejam, Cimeira Estrutural São José do Campestre, Cimeira Estrutural Pernambuco-Alagoas, Depressão Intraplanáltica do Pajeú, Depressão Intraplanáltica do Ipanema, Depressão Intraplanáltica Paraibana, Depressão Intraplanáltica Pernambucana, Maciços Remobilizados Pernambuco-Alagoas e Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal.

Com base nesse estudo, a bacia do riacho do Tigre estaria inscrita em dois desses subcompartimentos, o primeiro, da Depressão Intraplanáltica Paraibana, e o segundo, dos Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal, explicando o porquê da diferenciação entre os setores mais rebaixados e planos e os de maior altitude e declividade acentuada encontrados na bacia objeto do estudo.

A Depressão Intraplanáltica Paraibana, na porção central da Borborema Paraibana, encontra-se delimitada a leste e oeste pelos compartimentos de encostas. Corrêa et al. (2010) justificam que a falta de uma perturbação tectônica mais intensa permitiu o desenvolvimento de feições bastante planas, bem como, o clima semiárido severo reinante não permite o desenvolvimento de regolito, expondo os gnaisses e migmatitos diretamente à superfície.

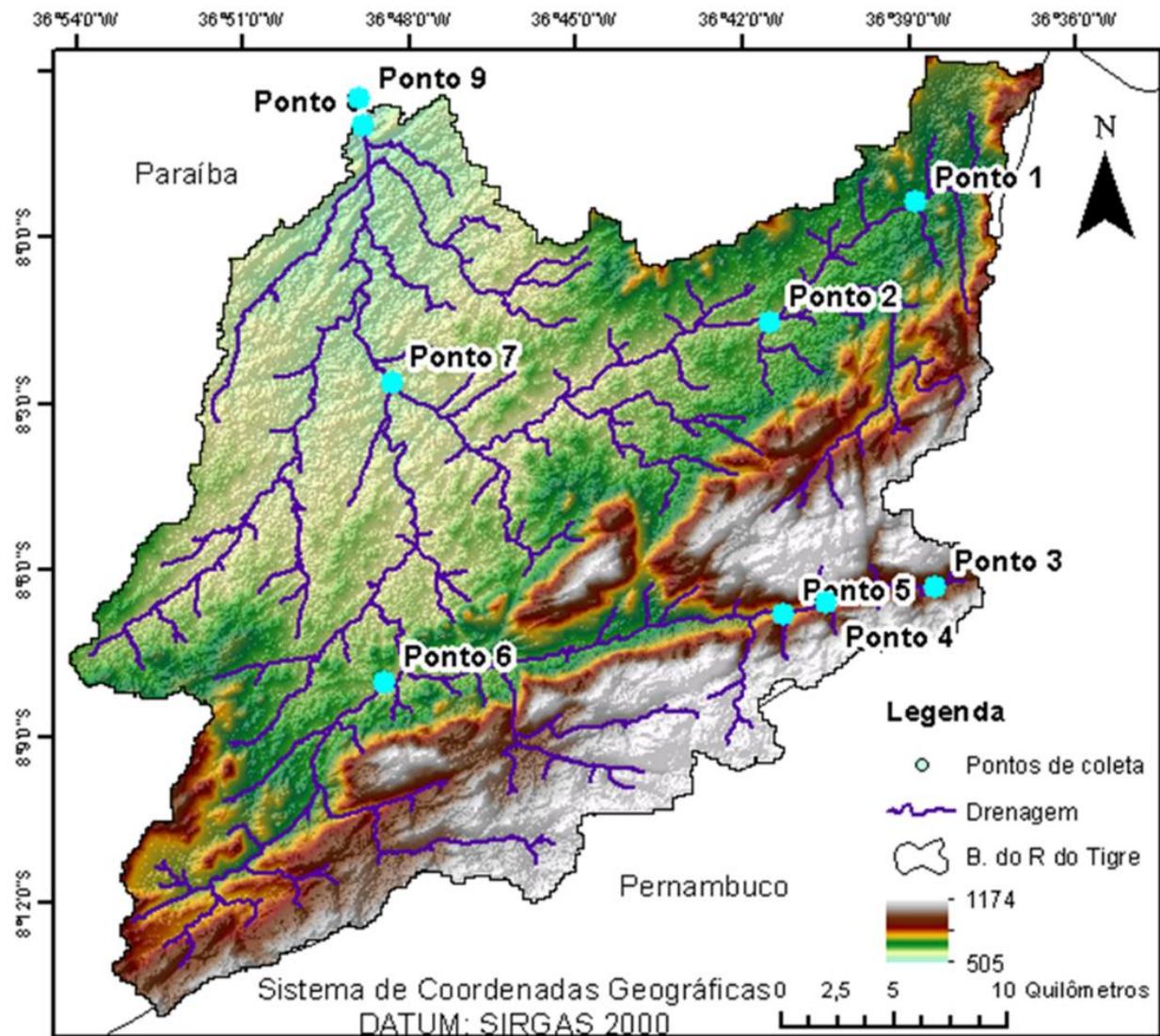
Os Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal correspondem à área morfologicamente mais afetada pelos arqueamentos que atuaram sobre o planalto, exibindo as cimeiras mais elevadas e os relevos mais vigorosos (COORRÊA et al., 2010). Situam-se na faixa divisória dos estados de Pernambuco e Paraíba, coincidindo com o setor sul da área de estudo.

4.2. Escolha dos pontos

A escolha dos pontos de coleta de água para análise obedeceu aos seguintes critérios: inicialmente, com base no conhecimento da rede de drenagem da bacia hidrográfica, identificaram-se os principais canais. Ao longo de cada um desses canais, buscou-se efetuar as análises em, pelo menos, dois pontos que se localizassem em ambientes diferentes, como cabeceiras, curso médio e foz. Para determinação desses pontos, fez-se necessário um levantamento prévio da área, a partir de estudos dos dados coletados em visitas de campo de reconhecimento, onde se identificaram os possíveis poços. Posteriormente, em campo para análise e coleta, com o uso de um GPS, localizaram-se os poços, dentro dos requisitos estabelecidos, e verificava-se a facilidade de acesso e a existência de água para análise.

Os principais canais identificados foram os riachos Cacimbinha, Santa Maria e do Tigre. O Riacho do Tigre é o canal principal, e os riachos Cacimbinha e Santa Maria, seus afluentes. A figura 5 mostra a delimitação da bacia hidrográfica, objeto do estudo, com a respectiva rede de drenagem, e traz ainda a identificação dos canais principais, previamente selecionados, e a identificação e localização dos pontos de coleta. No total, foram 9 pontos visitados e, em todos, foi utilizada a sonda multiparamétrica, bem como, coletaram-se amostras da água para análise em laboratório.

Figura 4: Imagem com a delimitação da bacia hidrográfica, rede de drenagem e localização dos pontos de coleta.



Fonte: Próprio autor, 2017.

Na tabela 1, são apresentados os pontos de coletas, sua descrição abreviada, que será utilizada na demonstração dos resultados, e as coordenadas geográficas de cada ponto.

Tabela 1: Descrição e coordenadas de localização dos pontos de coleta.

PONTOS	DESCRIÇÃO	LOCALIZAÇÃO
1	CACIMB-CAB (Cabeceira do Riacho Cacimbinha)	S 7°59.383' W36°38.844'
2	CACIMB-FOZ (Foz do Riacho Cacimbinha)	S 8°01.540' W36°41.510'
3	SANTA-CAB (Cabeceira do Riacho Santa Maria)	S 8°06.311' W36°38.511'
4	SANTA-OLHO (Olho d'Água no Riacho Santa Maria)	S 8°06.611' W36°40.473'
5	SANTA-FOZ (Foz do Riacho Santa Maria)	S 8°06.820' W36°41.256'
6	TIGRE-CAB (Cabeceira do riacho do Tigre)	S 8°08.019' W36°48.444'
7	TIGRE-CONFL (Confluência no Riacho do Tigre)	S 8°02.629' W36°48.328'
8	TIGRE-FOZ (Foz no riacho do Tigre)	S 7°58.014' W36°48.851'
9	ESPIN-CONF (Confluência do Riacho do Espinho)	S 7°57.518' W36°48.916'

4.3. Coleta e análise da água

A análise da água dos poços e cacimbões foi feita de duas maneiras: uma, *in loco*, utilizando uma sonda multiparamétrica; e a outra, em laboratório. A sonda multiparamétrica foi cedida pelo Laboratório de Estudos em Gestão de Águas e Território (LEGAT) do Departamento de Geociências da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Alguns parâmetros de análises físico-químicas foram determinados no Laboratório de Saneamento Ambiental (LABSAM), credenciado ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UFPB.

A sonda multiparamétrica utilizada é um equipamento importado, fabricado pela Hanna Instruments, modelo HI 9829, idêntico ao mostrado na figura 4. Este equipamento é resistente à água e possui um cabo de 10 m. Equipado com GPS, pode fornecer, dependendo da configuração e sensores adotados, a leitura de até 14 parâmetros. Nesse trabalho, consideraram-se os seguintes parâmetros: turbidez, salinidade, sólidos totais dissolvidos, condutividade e pH. Apesar de

também ser possível analisar os compostos nitrogenados, como amônia e nitrato, e cloretos, a sonda não estava configurada com esses sensores específicos.

Figura 5: Ilustrações da sonda multiparamétrica HANNA HI 9829.



Fonte: Manual do equipamento disponível em <https://hannainst.com.br/wp-content/descargas/folletos/Folleto%20HI9829.pdf>

Como a sonda está equipada com um cabo de 10 m, é possível fazer a leitura em reservatórios que apresentem o nível da água até essa profundidade. Nos casos em que isso não seja exequível, coleta-se a amostra e se faz a leitura na superfície.

A calibração do instrumento seguiu as instruções do fabricante e foi executada com auxílio do quite de calibração rápida fornecido com o instrumento, após verificação de sua validade. Com o aparelho calibrado e pontos de análise previamente definidos, deslocava-se até o cacimba ou reservatório, para realização dos testes, através da sonda. Uma vez configurada, posicionava-se a sonda dentro do líquido a ser analisado e iniciava-se a leitura. A sonda tem capacidade de armazenamento própria e grava, para cada ponto, uma leitura por segundo de todos os parâmetros configurados.

Além dessas medidas realizadas *in loco*, optou-se por também coletar amostras das águas analisadas pela sonda, e proceder a análises em laboratório. Essa medida visava a, principalmente, obter valores de comparação aos fornecidos pelo equipamento, bem como maior segurança na

execução do trabalho, disponibilizando duas fontes de análise de resultados. A coleta das amostras foi feita em recipientes estéreis de 1 L, identificados e armazenados em caixa térmica.

Em laboratório, foram analisados os seguintes parâmetros: condutividade, salinidade, cloreto e dureza. As análises de cloreto e dureza seguiram o procedimento descrito no Manual de Análises Físico-químicas de Águas de Abastecimento e Residuárias de Silva e Oliveira (2001).

Para determinação do teor de cloreto, seguiu-se o Método Argentométrico ou Método de Mohr, com preparação da amostra e posterior titulação com solução padrão de nitrato de prata, tendo como solução indicadora o cromato de potássio. Na análise da dureza das amostras, também por método titulométrico, após preparação das amostras, procedeu-se a titulação com EDTA, tendo como indicador a solução Preto de Eriocromo T.

Para determinação da condutividade, também seguindo o manual, antes, fez-se necessário resfriar as amostras, para que a condutividade fosse medida a, exatamente, 15 °C, através de um condutivímetro de bancada. A partir desse valor obtido para condutividade, determinaram-se os respectivos teores de salinidade através de algoritmos próprios.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pontos 1 e 2 foram denominados, respectivamente, por CACIMB-CAB e CACIMB-FOZ, em referência aos ambientes de cabeceira e foz do Riacho Cacimbinha. A figura 6 ilustra as localizações desses pontos a nordeste da bacia. Ambos os pontos correspondem a cacimbões construídos no leito do canal, que, portanto, extraem água do aquífero aluvial. Nos detalhes das fotografias, no momento da coleta, constatam-se os modelos construtivos que formam as estruturas cilíndricas de contenção lateral, feita pela sobreposição de anéis pré-moldados de concreto armado. No ponto 1, o cacimbão não apresenta fechamento superior, nem tampouco equipamento elétrico ou mecânico de recalque da água, que era feito de forma manual com baldes e corda. No ponto 2, além de fechamento superior, o cacimbão era dotado de tubulação para recalque da água através de conjunto motor-bomba. Isso seria um indicativo de que esse ponto possui uma maior reserva de água, com vazão suficiente para compensar o funcionamento de uma bomba hidráulica.

Figura 6: Detalhe da localização e fotografias dos pontos de coleta 1 e 2, no Riacho Cacimbinha.

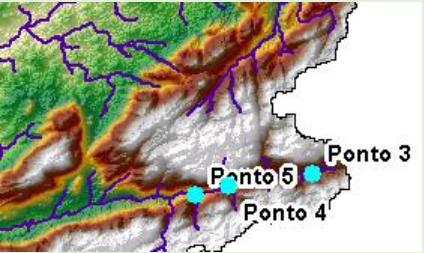
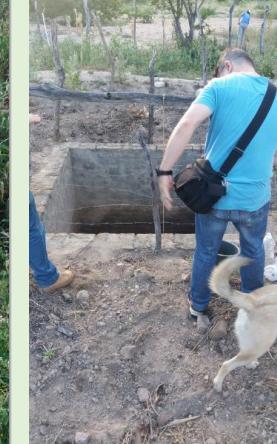
Localização	Ponto 1	Ponto 2
		

Na imagem de localização do canal, constata-se que ele está, desde a cabeceira, inserido naquele subcompartimento de terras mais rebaixadas, que se identificou como Depressão Intraplanáltica Paraibana, apresentando um relevo mais plano e uma cobertura vegetal mais esparsa. Percebe-se, também, através das escavações para construção dos cacimbões, quão arenoso

pode ser os leitos dos canais intermitentes nesses compartimentos semiáridos, permitindo a reserva de água nos aquíferos aluviais. Mesmo assim, com essa potencial capacidade de reserva de água no leito arenoso, foram visitados vários outros poços, a jusante do canal, que, porém, encontravam-se secos. Nesses casos, caberia uma investigação na busca de justificativas sobre quais fatores intervieram de maneira mais forte para o abandono do poço, se o prolongamento do período seco, alguma interferência antrópica ou natural que barrasse o fluxo de água, ou, até mesmo, falha construtiva ou de manutenção.

Os pontos 3, 4 e 5 foram denominados, respectivamente, por SANTA-CAB, SANTA-OLHO e SANTA-FOZ, em referência aos ambientes de Cabeceira, Olho d'Água e Foz do Riacho Santa Maria. A figura 7 ilustra as localizações desses pontos a sudeste da bacia. Nesses, diferentemente dos anteriores, apenas o ponto 5 corresponde a um cacimbão, que tem a forma prismática, com contenção lateral em alvenaria argamassada. O ponto 4 corresponde a um reservatório que armazena água proveniente de um olho d'água que aflora em uma encosta próxima. O ponto 3, na cabeceira, corresponde a um reservatório para armazenamento e distribuição de água advinda de um poço tubular profundo. Nesse, portanto, a água é extraída do aquífero fissural e, necessariamente, deve dispor de equipamentos para recalque da água.

Figura 7: Detalhe da localização e fotografias dos pontos de coleta no Riacho Santa Maria.

Localização	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
			

Nos detalhes das fotografias, no momento da coleta, mesmo que de forma limitada, percebe-se a marcante diferença entre a cobertura desses pontos e dos anteriores, pontos 1 e 2, apresentando uma cobertura vegetal mais densa e de maior porte. Isso leva a induzir que essa região possua uma

maior pluviosidade. O fato que pode justificar tal suposição é que os pontos 3, 4 e 5 estão a uma altitude superior aos 730 m (tabela 2), no subcompartimento dos Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal, presente na divisa dos estados Paraíba e Pernambuco.

O Riacho Santa Maria se encontra encaixado em uma falha geológica desse subcompartimento e isso explica seu curso quase retilíneo. Nesse canal, principalmente, próximo às nascentes, os aquíferos aluviais não possuem reservas significativas, uma vez que os processos de transporte de sedimentos, durante os eventos de precipitação, atuantes nesses pontos, devido à declividade acentuada, tem maior energia, carreando os sedimentos para regiões mais a jusante.

Isso justificaria o fato de o ponto 3 apresentar um poço tubular profundo e não um cacimbão. Da mesma forma, a existência de um olho d'água, no ponto 4, só é possível pela ocorrência de um relevo mais acentuado, cujas falhas permitem a infiltração da água que aflora em algum ponto da encosta. Da mesma forma, aqui, também foram encontrados poços profundos e, mais a jusante, poços amazonas inutilizados por abandono ou por estarem secos, cabendo o mesmo comentário sobre a necessidade de investigação das causas. Como os acessos a esses pontos são restritos, nem sempre é possível o contato com os responsáveis, a fim de se obter maiores informações

Os pontos 6, 7 e 8 foram denominados, respectivamente, por TIGRE-CAB, TIGRE-CONFL, TIGRE-FOZ, correspondendo aos ambientes de Cabeceira, Confluência, e Foz do Riacho do Tigre; o ponto 9, ESPIN-CONF, encontra-se no Riacho do Espinho, próximo à confluência com seu afluente, o Riacho do Tigre. A figura 8 ilustra as localizações desses pontos, que, no caso dos primeiros, seguem o curso do canal em direção ao exutório da bacia.

Figura 8: Detalhe da localização e fotografias dos pontos de coleta no Riacho do Tigre.

Localização	Ponto 6	Ponto 7
		
	Ponto 8	Ponto 9
		

Apesar de todos esses pontos estarem localizados em canais da Depressão Intraplanáltica Paraibana, com elevações variando entre 528m e 620m, o ponto 6, na região de cabeceira, ainda apresenta forte influência da proximidade do Maciço Remobilizado. Nesse ponto, analisou-se a água obtida de um poço tubular profundo, que produzia água em uma vazão mínima, e cujo equipamento de recalque da água era movido por energia eólica, um cata-vento. Os demais cacimbões escavados naquelas proximidades estavam secos.

Os pontos 7 e 8 correspondem a cacimbões cilíndricos, ambos dotados de tubulação para recalque e condução da água. O ponto 9, no Riacho do Espinho, despertou o interesse de análise em virtude de sua proximidade à confluência com o Riacho do Tigre e por se tratar de uma área irrigada, que se destacava das propriedades vizinhas. Nele, verificou-se que a água usada na

irrigação é obtida também de um poço amazonas de maior vazão, portanto, também abastecido pelo aquífero aluvial.

Na tabela 2, estão descritos os parâmetros analisados *in loco*, através da sonda e, logo abaixo, os parâmetros analisados em laboratório. Dos parâmetros examinados pela sonda, consideraram-se os seguintes: turbidez, condutividade absoluta, condutividade, salinidade, sólidos totais dissolvidos e pH. No laboratório, foram analisados os seguintes: Condutividade, Salinidade, Cloretos e Dureza. Receberam o devido destaque aqueles parâmetros correlatos que estão relacionados à salinidade da água, mas também serão tratados isoladamente, por sua relevância, alguns dos demais parâmetros.

Tabela 2: Resultados das análises através da sonda multiparamétrica e em laboratório.

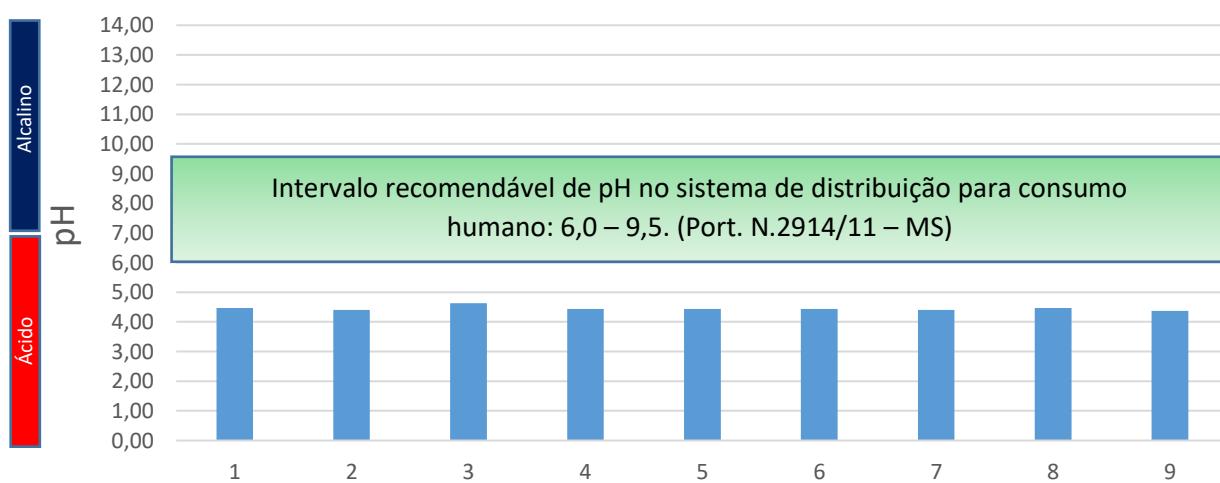
PONTOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
DESCRIÇÃO	CACIMB-CAB	CACIMB-FOZ	SANTA-CAB	SANTA-OLHO	SANTA-FOZ	TIGRE-CAB	TIGRE-CONFL	TIGRE-FOZ	ESPIN-CONF	
LOCALIZAÇÃO	S 7°59.383' W36°38.844'	S 8°01.540' W36°41.510'	S 8°06.311' W36°38.511'	S 8°06.611' W36°40.473'	S 8°06.820' W36°41.256'	S 8°08.019' W36°48.444'	S 8°02.629' W36°48.328'	S 7°58.014' W36°48.851'	S 7°57.518' W36°48.916'	
ELEVAÇÃO (m)	645	613	859	764	732	620	539	524	528	
PARÂMETROS - SONDA	Unid..									
TEMPERATURA	°C	22,42	24,07	22,37	24,72	24,49	25,72	24,22	28,67	29,35
pH	pH	4,47	4,40	4,63	4,44	4,44	4,44	4,40	4,47	4,37
TURBIDEZ	FNU	7,31	78,25	0,83	1,78	3,83	64,39	4,13	24,44	5,95
CONDUTIVIDADE ABSOLUTA	µS/cm(A)	3.207,64	1.186,81	3.473,50	281,19	760,92	9.743,53	1.099,72	2.612,32	2.486,08
CONDUTIVIDADE	µS/cm	3.372,66	1.208,02	3.656,27	282,98	768,30	9.611,27	1.116,34	2.442,15	2.296,39
SALINIDADE	PSU	1,77	0,60	1,93	0,13	0,37	5,39	0,55	1,25	1,17
SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS	ppmTds	1.686,16	603,97	1.828,14	141,06	384,07	4.805,58	558,12	1.221,07	1.148,21
PARÂMETROS - LABORATÓRIO										
CONDUTIVIDADE	µS/cm	3180,00	1164,00	3410,00	284,00	735,00	8980,00	1074,00	2320,00	2170,00
SALINIDADE	0/00	3,505	1,209	3,77	0,278	0,746	10,701	1,111	2,506	2,334
CLORETOS	mg/L	544,32	231,34	884,52	43,74	171,07	2663,28	229,39	670,68	729
DUREZA	mgCaCO ₃ /L	1120	216	1100	48	544	2560	232	640	520

Inicie-se pela verificação dos resultados do Potencial Hidrogeniônico (pH). O pH indica se uma água é ácida, neutra ou básica. O controle do pH tem grande importância durante as etapas do tratamento e do abastecimento de água, pois seu controle é fundamental para a eficiência das reações químicas necessárias no tratamento da água, podendo, a depender do grau de acidez, ter o pH corrigido previamente. O pH da água pode ainda estar relacionado a danos causados às tubulações de distribuição, reservatórios e equipamentos, uma vez que a acidez pode causar corrosão, enquanto que a alta alcalinidade provoca formação de crostas (BRASIL, 2014).

A portaria nº. 2914/2011 do Ministério da Saúde, que trata dos parâmetros de potabilidade da água, recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5. Verifica-se, portanto, na figura 9, que, em todos os pontos analisados, a água apresentou um pH ácido, média de 4,45. As alterações de pH podem ter origem natural, como na dissolução de rochas, por exemplo, ou antropogênia, por despejos de efluentes domésticos ou industriais. A visível uniformidade dos resultados apresentados, apesar de se tratar de pontos distintos, pode ser indicativo de que a causa principal está relacionada à pedologia e geologia da região que proporcionam um ambiente mais ácido para as águas que infiltram.

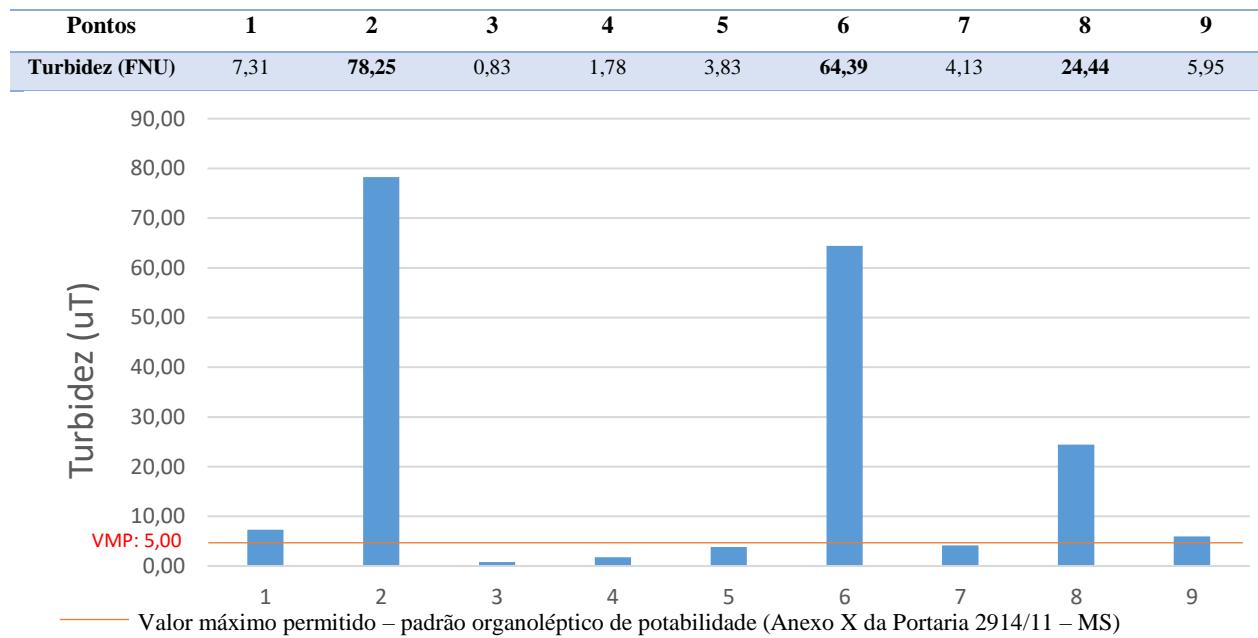
Figura 9: Resultados de pH apresentados nas amostras.

Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH	4,47	4,40	4,63	4,44	4,44	4,44	4,40	4,47	4,37



A Turbidez é um outro parâmetro de qualidade da água, que representa a alteração em sua aparência e é causada pela presença de sólidos em suspensão. A presença desses materiais faz com que a água fique menos transparente ou turva. Além da aparência desagradável, os sólidos em suspensão podem causar danos à saúde ou servirem de abrigo para microrganismos (bactérias, vírus e outros) se protegerem dos produtos usados na desinfecção da água. A Portaria 2914/11, do Ministério da Saúde, estabelece que a água produzida e distribuída para o consumo humano, apresente, no máximo, 5 NTU de turbidez (BRASIL, 2014). Os resultados de turbidez apresentados pela sonda são dados em Unidade Nefelométrica de Formazine (FNU), que representa a mesma Unidade de Turbidez Nefelométrica (NTU), conforme manual do instrumento. Dessa forma, como se vê na figura 10, dos 9 pontos analisados, apenas 4 se apresentam adequados aos padrões de potabilidade. Alguns, inclusive, apresentaram turbidez superior a dez vezes o máximo recomendado. No ponto 6, talvez o motivo que justifique a elevada turbidez esteja relacionado ao esgotamento das reservas, além disso, sua água era armazenada em um reservatório, sem muitos cuidados e a conta gotas, mal servindo para a dessedentação animal. Já, no ponto 2, o motivo que possa justificar o resultado elevado se deva ao método de coleta que, possivelmente, pôs em suspensão sedimentos de fundo. Sendo necessária, portanto, novas coletas para confirmação do resultado.

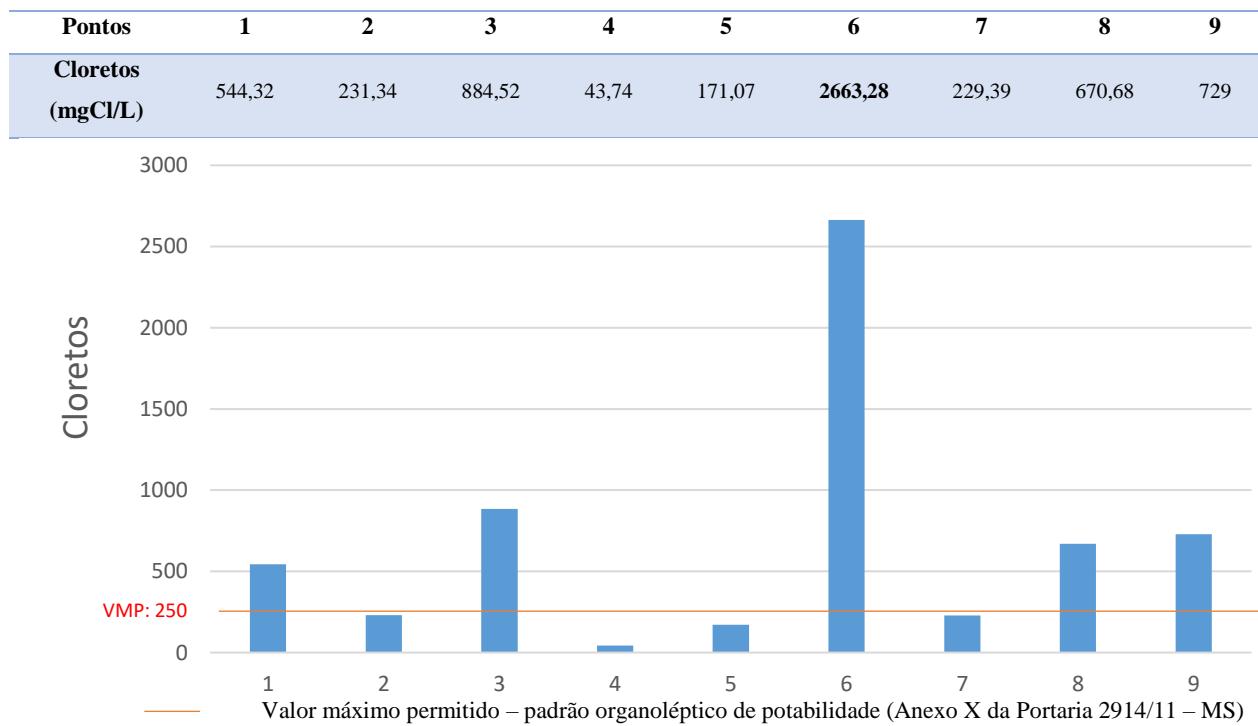
Figura 10: Análise de turbidez das amostras.



A análise de cloretos foi efetuada apenas em laboratório, a partir das amostras coletadas. A presença de cloretos na água pode ter causas variadas: pode estar relacionada à contaminação por esgotos domésticos ou industriais, ou ainda à intrusão de água do mar (BRASIL, 2014), mas o mais provável, nessa região semiárida, é que seja proveniente da dissolução de minerais. Isso, contudo, não pode descartar, em casos de valores extremos, a devida investigação quanto a uma possível contaminação, haja vista alguns poços ficarem abertos, como também ser comum, no semiárido, o uso um tanto displicente quanto a proteção, bem como a proximidade da criação de animais que podem vir a contaminar a água.

O padrão de aceitação de cloretos na água para consumo humano, conforme Port. 2914 do Ministério da Saúde é de 250 mg/L. Verificando os resultados das análises, figura 11, constata-se que 4 dos 9 pontos analisados apresentaram índice inferior ao limite, e o Ponto 6 apresentou um valor extremamente alto, de 2663,28 mg/L. Nesse caso, deve-se proceder uma melhor investigação para descobrir as causas da distorção apresentada no resultado, ressaltando-se o fato de que, nesse ponto, o aquífero fissural produzia uma vazão irrigária de água, podendo, por isso, fazer elevar a concentração dos elementos dissolvidos. Da mesma forma, devido a correlação existente, a condutividade também se apresentou elevada.

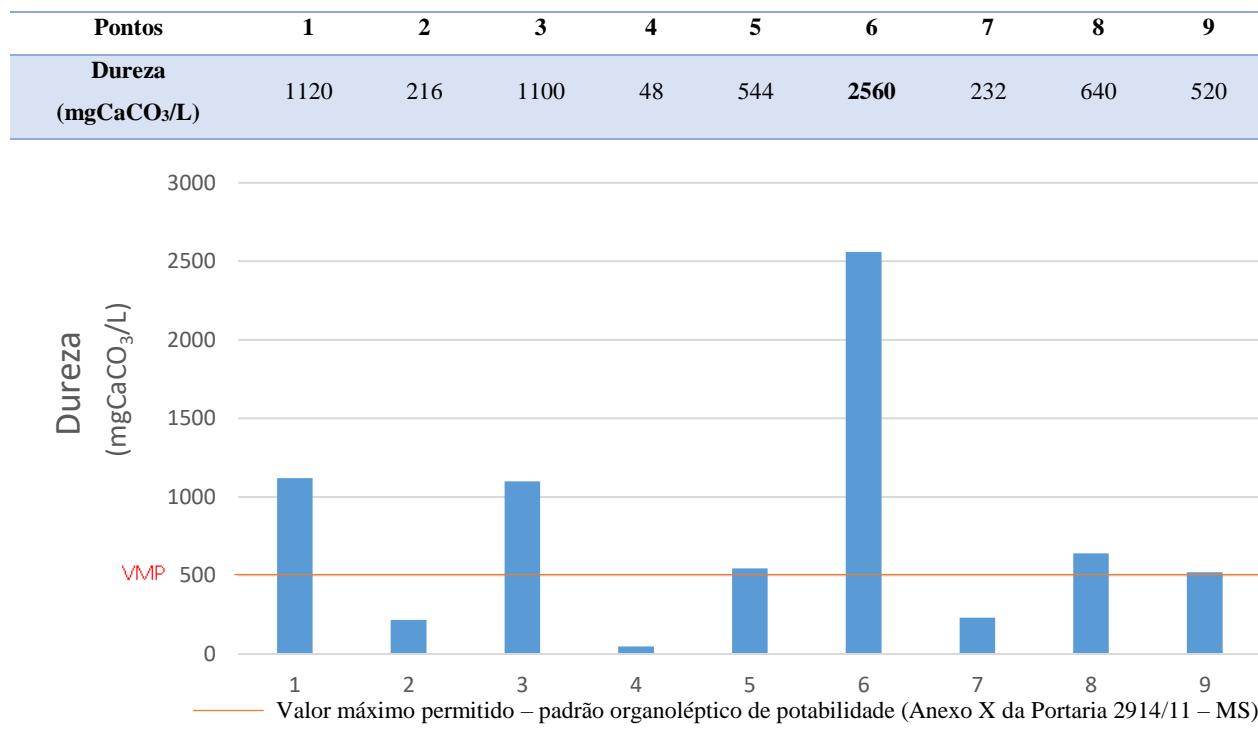
Figura 11: Análise de cloretos nas amostras de água.



A dureza foi também outro parâmetro analisado apenas em laboratório. Geralmente, está relacionada à presença de sais de metais alcalino terrosos, como Cálcio, Magnésio (BRASIL, 2014), mas pode haver Fe e Al também. Uma das características da água que tem dureza elevada é a não formação de espuma quando está em contato com o sabão, criando assim inconvenientes à higiene.

A dureza pode ter causa natural, como a dissolução de rochas, mas também pode estar relacionada a causas antropogênicas de lançamento de efluentes industriais (BRASIL, 2014). O padrão de aceitação de dureza para água de consumo humano, conforme Port. 2914 do Ministério da Saúde é de 500 mg/L. Nas análises realizadas, descritas na figura 12, apenas 3 pontos apresentaram índices inferiores ao padrão estabelecido. Da mesma forma que no anterior, o ponto 6 apresentou um teor bastante elevado. Nesse ponto, a quase inexistência de água no poço pode ter contribuído para elevar a concentração dos cátions dissolvidos na água e que são indicativos da dureza da água.

Figura 12: Teor de dureza da água nos pontos analisados.



Para os resultados das análises relativos aos parâmetros de salinidade (sonda e laboratório), condutividade (sonda e laboratório), sólidos totais dissolvidos, cloretos e dureza, diante da evidente

correlação, plotaram-se esses resultados em gráficos, sendo um gráfico para o Riacho Cacimbinha e outros dois para os Riachos Santa Maria e do Tigre.

Para os pontos 1 e 2, localizados no Riacho Cacimbinha, o gráfico está representado na figura 13. É importante destacar que, para melhor visualização, ajustou-se a escala do gráfico, dividindo-se alguns dos valores, obtidos nas análises, por 1000.

Figura 13: Gráfico de variação de parâmetros de qualidade de água em pontos do Riacho Cacimbinha.

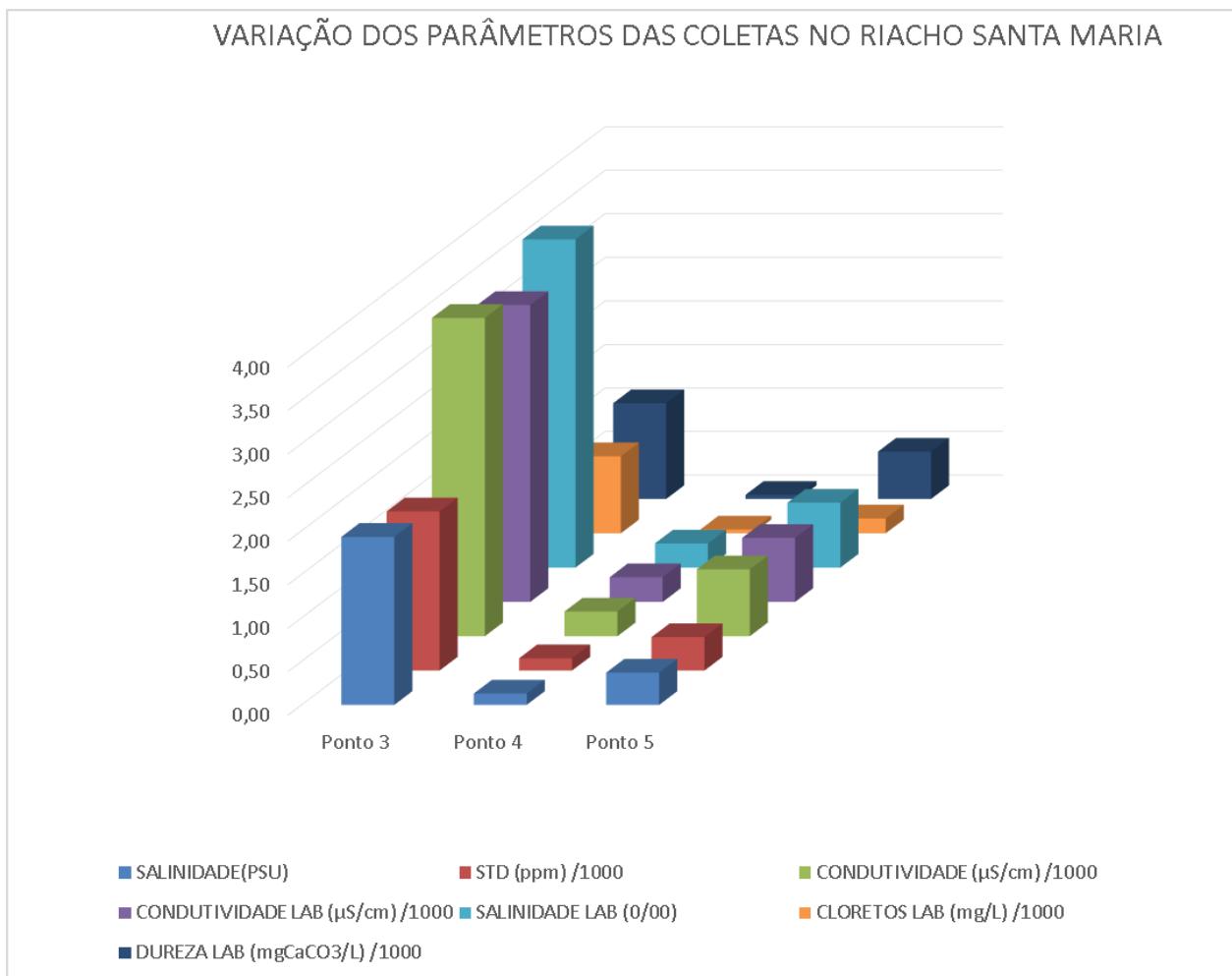


Da observação do gráfico acima, verifica-se que os índices apresentados no ponto referente à cabeceira são superiores àqueles analisados no ponto referente à foz. Seria, no entanto, presumível que, em se tratando de poços com as mesmas características, o poço subsequente, a jusante, mostrasse índices mais elevados, haja vista o fluxo no aquífero aluvial, de maneira lenta,

incorporar mais sais. Porém, isso pode ser justificado pelo fato do ponto, a montante, apresentar uma reserva de água bem inferior àquele a jusante, elevando a concentração dos elementos dissolvidos e em suspensão.

Na figura 14, plotaram-se os resultados das análises dos pontos 3,4 e 5, todos referentes ao Riacho Santa Maria, cabeceira, olho d'água e foz. Nesse gráfico, no entanto, as variações são explicáveis, porque o ponto de análise na cabeceira corresponde a um poço profundo, que extrai água do aquífero fissural e, portanto, apresenta teores de sólidos, condutividade, salinidade naturalmente mais elevados. O ponto 4 corresponde à única fonte proveniente de um olho d'água, e a comparação dos resultados das análises desse ponto com os resultados das análises dos pontos adjacentes mostrou-se bastante útil, na medida em que deixa claro como os processos erosivos, de transporte, de sedimentação e aqueles que compõem o próprio ciclo hidrológico atuam de forma diferente na formação dos aquíferos fissurais e aluviais, alterando a qualidade de suas reservas.

Figura 14: Gráfico de variação de parâmetros de qualidade de água em pontos do Riacho Santa Maria.



Na figura 15, foram dispostos os resultados dos pontos localizados no Riacho do Tigre e no do Espinho, pontos 6, 7, 8 e 9. O ponto 6, como verificado nos resultados apresentados dos demais parâmetros, demonstra elevados índices também de salinidade, condutividade e sólidos totais dissolvidos. A justificativa, nesse caso, deve-se ao fato de, como abordado anteriormente, esse ponto referir-se a um poço profundo de vazão ínfima, praticamente seco, fazendo com que a concentração de sólidos e sais aumente significativamente.

Figura 15: Gráfico de variação de parâmetros de qualidade de água em pontos do Riacho do Tigre.



Nos pontos 7 e 8, observa-se uma tendência crescente dos índices, no sentido do fluxo do canal, fato compatível com a hipótese de que a água do aquífero aluvial, à medida que segue lentamente seu fluxo hiporreico, aumenta a concentração dos sólidos e sais dissolvidos, como também passa a receber a descarga de outras superfícies e seus afluentes.

O ponto 9, localizado no Riacho do Espinho, próximo à confluência de seu afluente, o Riacho do Tigre, apresentou índices um pouco inferiores ao ponto 8. Nesse ponto, a salinidade apresentou teor inferior aquele encontrado para o ponto 8, no seu afluente, Riacho do Tigre. Esses dois pontos, 8 e 9, tem as mesmas características, são poços amazonas instalados no leito do rio, que, portanto, tiram água do aquífero aluvial. Ao que se constatou, mesmo com essa sensível redução no teor de salinidade, esse reservatório permitia o uso da água para irrigação com boa produtividade, merecendo, pois, uma averiguação mais aprofundada sobre as possíveis causas dessa maior vazão e melhor qualidade da água em um ponto a jusante de outro que apresentou resultados menos satisfatórios. Uma hipótese para tal constatação pode estar relacionada ao fato do Riacho do Tigre ser um afluente do Riacho do Espinho, tendo este uma área de contribuição superior a daquele, e isso poderia fazer com que o ponto 9 dispusesse de uma maior vazão e, por conseguinte, essa discreta melhora nos parâmetros analisados.

Na tabela 3, fazem-se as especificações do meio utilizado para captação da reserva hídrica, se por poço amazonas/cacimbão ou poço profundo, em seguida descreve-se o aquífero fonte, se aluvial, olho d'água ou fissural, para depois classificar as águas analisadas, a partir de sua salinidade e do teor de sólidos totais dissolvidos. A Resolução N° 357/05 do CONAMA, conforme descrito na página 33. Já, a Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde, estabelece, entre vários outros parâmetros, que o valor máximo permitido de sólidos dissolvidos totais na água para consumo humano deve ser de 1.000 mg/L.

Tabela 3: Classificação da água de acordo com a salinidade e sólidos totais dissolvidos, conforme o CONAMA e MS.

PONTOS	MEIO DE CAPTAÇÃO	AQUÍFERO	SALINIDADE (‰)	Classificação Salinidade CONAMA (Res. 357/05)	STD VMP: 1000 mg/L	Classificação STD MS (Port. 2914/11)
1	Cacimbão	Aluvial	3,505	SALOBRA	1.686,16	IMPRÓPRIA
2	Cacimbão	Aluvial	1,209	SALOBRA	603,97	PRÓPRIA
3	Poço	Fissural	3,77	SALOBRA	1.828,14	IMPRÓPRIA
4	Reservatório	Olho D'água	0,278	DOCE	141,06	PRÓPRIA
5	Cacimbão	Aluvial	0,746	SALOBRA	384,07	PRÓPRIA
6	Poço	Fissural	10,701	SALOBRA	4.805,58	IMPRÓPRIA
7	Cacimbão	Aluvial	1,111	SALOBRA	558,12	PRÓPRIA
8	Cacimbão	Aluvial	2,506	SALOBRA	1.221,07	IMPRÓPRIA
9	Cacimbão	Aluvial	2,334	SALOBRA	1.148,21	IMPRÓPRIA

Alguns dos pontos analisados, apesar de apresentarem conformidade com relação ao teor de sólidos totais dissolvidos, possuem salinidade que tornam sua água salobra, prejudicando seu consumo sem um tratamento prévio.

Considerando os aquíferos fissurais, pode-se verificar, por meios dos parâmetros analisados, como a percolação da água, através das fissuras do substrato rochoso, contribui para a dissolução e concentração de íons e sólidos, tornando o uso dessa reserva bastante restrito, devido à sua elevada salinidade. Dos pontos analisados, todos apresentaram águas impróprias para o consumo humano, considerando o padrão de potabilidade que verifica o teor total de sólidos dissolvidos, bem como, apresentaram os maiores teores de salinidade. O ponto 6 merece especial destaque, pois apresentou salinidade e STD em teores muito mais elevados que os demais, inclusive, quando comparado ao ponto 3, também corresponde à aquífero fissural, deixando claro que, para algumas propriedades difusas no semiárido, a restrição ao uso da água, pela sua quantidade e qualidade, é severíssima. Além disso, a análise de outros parâmetros aponta para possibilidade de contaminação que, confirmando-se, pode ser de difícil mitigação.

Quanto aos aquíferos aluviais, explorados através dos poços amazonas ou cacimbões, dispersos ao longo dos leitos secos e arenosos dos canais intermitentes semiáridos, estes apresentaram características um tanto melhores, com três, das seis amostras, classificadas como próprias para o consumo humano, isso, quando se considerou unicamente o teor de sólidos totais dissolvidos, uma vez que, quanto a salinidade, todas foram classificadas como salobras. Não se pode, portanto, garantir que essas águas, consideradas próprias, sejam adequadas ao consumo humano em sua integralidade, pois uma série de outros parâmetros deve ser analisada para se aferir sua potabilidade. Além disso, verifica-se da análise dos demais parâmetros, como turbidez, dureza e cloretos, especialmente dos pontos 1, 8 e 9, a necessidade de se investigar a razão de seus parâmetros superarem os padrões admissíveis. Contudo, há se considerar que a escassez de água, provocada pela seca, reduz as reservas e prejudica a qualidade, pela maior concentração de elementos dissolvidos e em suspensão.

O ponto 4 merece especial atenção, mesmo não se relacionando diretamente aos aquíferos fissural e aluvial, configura-se uma fonte de água doce e com características que a tornaria apropriada ao consumo humano, ressalvada a análise de outros parâmetros não avaliados nessa pesquisa. De qualquer forma, este olho d'água também se localiza em ambiente fluvial semiárido, devendo ser preservado de forma integral, com vistas à manutenção de sua qualidade.

Ressalte-se que a Portaria Nº 2914/11 do Ministério da Saúde estabelece diversos outros índices a serem analisados com relação a potabilidade da água, são diversas as substâncias químicas orgânicas, inorgânicas, agrotóxicos, cianotoxinas, desinfetantes, além dos vários parâmetros físico-químicos. A realização de análises de parâmetros biológicos também é fundamental, a fim de se avaliar a contaminação em reservatórios, que pode trazer sérias consequências à saúde.

Destaque-se também um outro instrumento normativo, a Resolução CONAMA nº 396/2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Através da fixação de padrões de qualidade, de acordo com o uso que se faz do aquífero, essa norma classifica as águas subterrâneas em classes especial, 1, 2, 3, 4 e 5. Os requisitos, procedimentos e frequência do monitoramento, para o enquadramento do aquífero, também estão descritos nessa resolução. A seleção dos parâmetros a serem analisados deve levar em consideração características hidrogeológicas, hidrogeoquímicas, as características das fontes de poluição e outros critérios técnicos a serem definidos pelo órgão competente.

Em seu anexo I, essa resolução apresenta uma lista de parâmetros com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas e seus respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP) de acordo com o uso preponderante. Um extrato desse anexo, contendo as informações relativas aos parâmetros considerados nesse trabalho, está representado na tabela 4.

Tabela 4: Parâmetros e valores máximos permitidos, por usos preponderantes.

Parâmetros	Usos preponderantes da água			
	Consumo humano	Dessedentação de animais	Irrigação	Recreação
Cloreto (mg/L)	250	---	100 - 700	400
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	1000	---	---	---

Fonte: Anexo I da Resolução CONAMA nº 396/2008.

Com base nos valores descritos acima, é possível fazer uma nova análise dos parâmetros cloretos e sólidos totais dissolvidos, agora, verificando-se a adequabilidade ao uso. Inicia-se pela verificação do parâmetro cloretos. Na figura 16, apresentam-se os resultados das análises de cloretos nos nove pontos e, abaixo, um gráfico com esses resultados e a sobreposição dos intervalos permitidos de acordo com o uso preponderante.

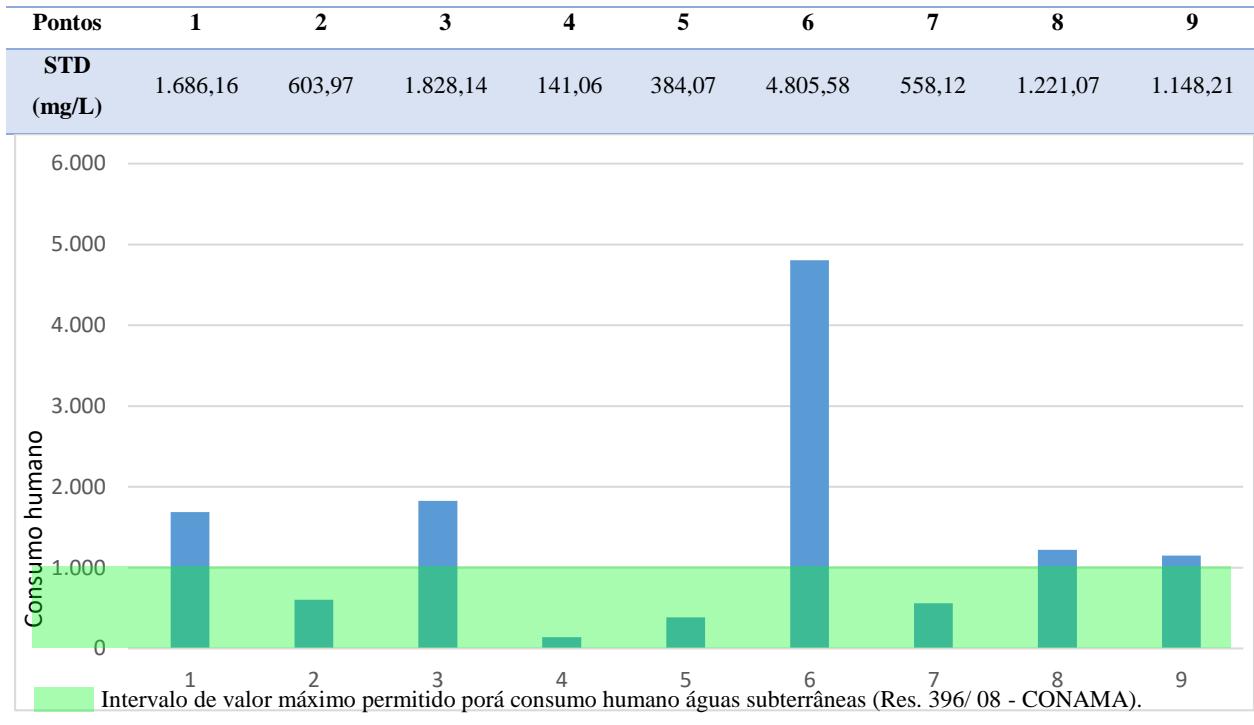
Figura 16: Análise do parâmetro cloretos e sua adequação aos padrões da Res. 396/08 – CONAMA.



Com relação ao parâmetro cloretos, o anexo da resolução não fixa intervalo de valores para o uso da água subterrânea para dessedentação animal, mas apenas para recreação, irrigação e consumo humano. Para consumo humano, o valor máximo permitido é idêntico ao anterior já analisado, 250 mg/L, com base na Portaria 2914/11 – MS. Já, para irrigação, o intervalo é determinado entre 100 e 700 mg/L, onde se enquadram cinco dos nove pontos analisados.

Na figura 17, apresentam-se os resultados das análises referentes a concentração de sólidos totais dissolvidos nas amostras dos pontos e, abaixo, um gráfico com a indicação do valor máximo permitido desse parâmetro para uso da água subterrânea para consumo humano, conforme Resolução nº 396/08 da CONAMA. Para esse parâmetro, essa norma não fixou limites para os demais usos.

Figura 17: Análise do parâmetro Sólidos totais Dissolvidos e sua adequação aos padrões da Res. 396/08 – CONAMA



Aqui também cabem as mesmas observações anteriores, mesmo com quatro pontos apresentando concentrações de sólidos dissolvidos inferiores ao padrão estabelecido, faz-se necessária uma investigação para se aferir outros parâmetros além desses, a fim de se obter uma caracterização mais ampla desses aquíferos e suas possíveis fontes de poluição.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Reconhece-se que seria necessária uma maior frequência de análises, para se obter uma melhor percepção e garantia dos resultados, contudo, pelo que se avaliou, não só, a salinidade da água nos ambientes fluviais semiáridos, mas outros parâmetros de igual importância, permitem montar um quadro da situação crítica das águas dos poços profundos e cacimbões dessas regiões, pois, além da quantidade ser insuficiente, a qualidade é insatisfatória, restringindo sobremaneira o uso de suas águas. Torna-se, então, fundamental a análise dos diversos elementos ambientais intervenientes no processo de circulação da água e formação dos aquíferos aluviais. Tais elementos, como geologia, características físicas do depósito aluvial, a localização do poço no canal, o grau de intervenções antrópicas, a área de drenagem da bacia, a topografia, entre outros, estão diretamente relacionados à qualidade da água nesses aquíferos, permitindo montar-se um quadro representativo das capacidades de cada aquífero.

Entre os pontos analisados, uma única exceção aos parâmetros desconformes de qualidade da água não obtinha sua reserva dos aquíferos fissural e aluvial, mas sim, de uma nascente ou olho d'água, próxima à cabeceira de um dos canais. Logo, essa fonte de água é advinda do escoamento superficial e subsuperficial que segue acompanhando a topografia do cristalino, aflorando em uma encosta. Nesse único ponto, a água foi capaz de conservar a qualidade dentro de patamares aceitáveis, configurando-se excelente comparativo dos processos atuantes na formação das demais reservas de águas.

Dada à relevância que esse olho d'água assume, uma vez que é capaz de fornecer água doce e, a princípio, potável, é fundamental que se adotem medidas de proteção e conservação de toda a área que contribui para sua formação, evitando que interferências desastrosas em sua cobertura, por exemplo, venha a interferir na qualidade e quantidade da água ofertada. Pode-se ainda, analisando as características ambientais que propiciaram a ocorrência desse olho d'água, buscar encontrar outros pontos possíveis de ocorrência de fenômeno similar.

Da análise dos demais parâmetros, sejam aqueles medidos através da sonda ou determinados em laboratório, há que se investigar também a possibilidade de contaminação da água em alguns pontos. Com base nos resultados dessa pesquisa, pode-se sugerir uma avaliação mais aprofundada através da ampliação da série de parâmetros analisados, de forma a contemplar, por exemplo, parâmetros biológicos e série nitrogenada.

O equipamento utilizado, sonda multiparamétrica, mostrou-se muito útil, permitindo a medição de diversos parâmetros de forma simples e rápida. Da comparação dos resultados obtidos pela sonda e em laboratório, não se verificou desvios significativos, confirmando a calibração adequada do equipamento. Seu uso, portanto, quando disponível, deve ser estimulado, a fim de tornar mais frequente levantamentos desse tipo, além de ampliarem-se a quantidade de pontos analisados ao longo do perfil longitudinal do canal, que permita uma caracterização mais abrangente de seus elementos. Pode-se, por exemplo, avaliar a influência da frequência e intensidade dos eventos de precipitação pluviométrica, das alterações do uso e cobertura do solo e da interferência do fluxo de canais afluentes na qualidade da água.

Com suas fontes, quer sejam fissurais ou aluviais, salinizadas, para garantir sua sobrevivência, resta ao morador da região esperar por dias mais chuvosos, que enchem as cisternas, possibilitando o consumo durante a próxima estiagem, e, se a cisterna esvaziar antes das próximas chuvas, resta-lhe a dependência do carro-pipa. Há, contudo, técnicas para dessalinização da água, que integram outros sistemas de produção, auxiliando a segurança alimentar e a renda, ao passo que minimizam os impactos ambientais. Isso, portanto, deveria ser ação prioritária entre aquelas que visão à convivência com o fenômeno da seca, contando com o investimento do governo, a fim de torná-las mais comuns e acessíveis. Não se verificou, em qualquer dos pontos visitados, a instalação de dessalinizadores, demonstrando a total falta de incentivo ao tratamento dessas águas salobras.

Por fim, visando ao melhor aproveitamento dessas fontes hídricas, bem como contribuir para uma melhor gestão dos recursos, fazem-se necessários estudos capazes de aferir previamente qual a capacidade de exploração das reservas hídricas disponíveis. A gestão eficaz deve, portanto, dar-se em nível multiescalar, abrangendo as diversas fontes, como cisternas de coleta de águas pluviais, açudes, poços amazonas, poços artesianos, barragens subterrâneas, carros-pipa, todos contribuindo na sua devida capacidade na tentativa de poder proporcionar uma melhor qualidade de vida aos moradores do semiárido nordestino.

7. REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, Aziz Nacib. OS DOMÍNIOS DA NATUREZA NO BRASIL. Potencialidades Paisagísticas, São Paulo. Ateliê Editorial, 2003.
- BAIRD, Colin; CANN, Michael. **Química ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. Tradução de: Marco Tadeu Grassi...[et al].
- BERTRAND, Georges. PAISAGEM E GEOGRAFIA FÍSICA GLOBAL. Esboço Metodológico. Editora UFPR, Curitiba, n. 8, p. 141-152., 2004.
- BOER, Dirk H. de. Hierarchies and spatial scale in process geomorphology: a review. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam. Department of Geography, University of Saskatchewan, Saskatoon, Sask., Canadá, 1991.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Governo Federal. **Censo Agropecuário 2006**. 2006. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php>>. Acesso em: 15 nov. 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de controle da qualidade de água para técnicos que trabalham em ETAS. Brasília: Funasa, 2014.
- BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - Snsa. Ministério das Cidades (Org.). **Abastecimento de água: Qualidade da água e padrões de potabilidade**. Brasília: ?, 2014.
- BRITO, Gracieli Louise M., et al. In: GALVÃO, Carlos de Oliveira et al (Org.). **Recursos hídricos para convivência com o semiárido: abordagens por pesquisadores no Brasil, Portugal, Cabo Verde, Estados Unidos e Argentina**. Porto Alegre: ABRH; Recife: Universitária da Ufpe, 2013. Cap. 3. p. 67-100.
- CABRAL, Jaime Joaquim da Silva Pereira; SANTOS, Sylvana Melo dos. Água subterrânea no nordeste brasileiro. In: CIRILO, José Almir et al (Org.). **O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semiáridas**. Recife: Universitária da Ufpe, 2007. Cap. 3. p. 65-104.
- CAMPOS, José Nilson Beserra. **Uma Estratégia de Desenvolvimento Sustentável para o Nordeste: Vulnerabilidade do Semiárido às Secas, sob o Ponto de Vista dos Recursos Hídricos**.

Brasília: Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação da Presidência da República, 1994.

CASTRO, I. E. Das dificuldades de pensar a escala numa perspectiva geográfica dos fenômenos. Trabalho apresentado no Colóquio “O discurso geográfico na aurora do século XXI”. Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFSC. Florianópolis: 1996.

CENTRO DE INFORMAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS RIO DE JANEIRO (Ed.). **As terras áridas são importantes. Por quê?** Disponível em: <<http://unicrio.org.br/as-terrass-aridas-sao-importantes-por-que/>>. Acesso em: 13 set. 2017.

CIRILO, José Almir; MONTENEGRO, Suzana M.g.l.; CAMPOS, José Nilson B.. **A QUESTÃO DA ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**. In: BICUDO, Carlos E. de M. et al (Ed.). **Águas no Brasil: Análises Estratégicas**. São Paulo: Academia Brasileira de Ciências, 2010. Cap. 5. p. 79-91. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/318778262_A_ questao_da_agua_no_Semiarido_brasileiro>. Acesso em: 28 set. 2017.

CIRILO, José Almir et al (Org.). **O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semiáridas**. Recife: Universitária da UFPE, 2007. 508 p.

CIRILO, José Almir. In: GALVÃO, Carlos de Oliveira et al (Org.). **Recursos hídricos para convivência com o semiárido: abordagens por pesquisadores no Brasil, Portugal, Cabo Verde, Estados Unidos e Argentina**. Porto Alegre: ABRH; Recife: Universitária da UFPE, 2013. Cap. 2. p. 49 - 65.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **396**: Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília: Dou, 2008. 11 p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

CORRÊA, Antônio Carlos de Barros et al. **MEGAGEOMORFOLOGIA E MORFOESTRUTURA DO PLANALTO DA BORBOREMA**. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 1, n. 31, p.35-52, 2010.

DEMETRIO, José Geilson Alves; FEITOSA, Edilton Carneiro; SARAIVA, Adrianne de Lima. Água aquíferos fissurais. In: CIRILO, José Almir et al (Org.). **O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semiáridas**. Recife: Universitária da UFPE, 2007. Cap. 4. p. 105-132.

GRANDELLE, Renato. Fenômenos climáticos extremos prosseguirão em 2017. **O Globo**. Rio de Janeiro, p. 1-2. 21 mar. 2017. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/sociedade/ciencia/meio-ambiente/fenomenos-climaticos-extremos-prosseguiro-em-2017-21091900>>. Acesso em: 30 nov. 2017.

GUERRA, Paulo de Brito. **A civilização da seca: o Nordeste é uma história mal contada**. Fortaleza. DNOCS, 1981.

GUSMÃO, Paulo Tadeu Ribeiro de. Qualidade das Águas Captadas nas Areias de Aluvião. In: BRAGA, Ricardo (Ed.). **Águas de Areia**. Recife: Publicações Ane, 2016. Cap. 4. p. 89-122.

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **MANUAIS TÉCNICOS EM GEOCIÊNCIAS**: Manual Técnico de Uso da Terra. 3ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2017.

LEAL, Inara Roberta; TABARELLI, Marcelo; SILVA, José Maria Cardoso da (Ed.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. 822 p.

LEITÃO, Teresa Eira; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima; ALMEIDA, Thaís Alcoforado de. In: CIRILO, José Almir et al (Org.). **O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semiáridas**. Recife: Universitária da UFPE, 2007. Cap. 8. p. 365-438.

MACEDO, Hypérides Pereira de. **A chuva e o chão na terra do sol**. São Paulo. Maltese, 1996.

MARQUES, Américo José; GALO, Maria de Lourdes Bueno Trindade. **ESCALA GEOGRÁFICA E ESCALA CARTOGRÁFICA: Distinção Necessária**. Bol. geogr., Maringá, v. 26/27, n. 1, p. 47-55, 2008/2009.

MONTENEGRO, Abelardo Antônio de Assunção et al. In: CIRILO, José Almir et al (Org.). **O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semiáridas**. Recife: Universitária da UFPE, 2007. Cap. 5. p. 133-166.

MORO, Rosemeri. ESCALAS NA ECOLOGIA DA PAISAGEM. *Terr@ Plural*, Ponta Grossa, v.9, n.1, p. 68-83, jan/jun. 2015.

NETTO, Manoel Sylvio Carneiro Campello; COSTA, Margarida Regueira da; CABRAL, Jaime Joaquim da Silva Pereira. In: CIRILO, José Almir et al (Org.). **O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semiáridas**. Recife: Universitária da UFPE, 2007. Cap. 10. p. 473 - 501.

NÓBREGA, Rodolfo Luiz Bezerra et al. Água de chuva para uso doméstico. In: GALVÃO, Carlos de Oliveira et al (Org.). **Recursos hídricos para convivência com o semiárido: abordagens por pesquisadores no Brasil, Cabo Verde, Portugal, Estados Unidos e Argentina**. Porto Alegre: Ed. Universitária da UFPE, 2011. Cap. 13. p. 377-394.

OLIVEIRA, Rui de et al. Relação Entre Condutividade E Sólidos Totais Dissolvidos Em Amostras De Esgoto Bruto E De Lagoas De Estabilização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Abes, 2000. p. 869 - 874. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/brasil20/i-156.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2017.

PEREIRA, Lucilene et al. A SALINIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NA BACIA DA GAMELEIRA, MUNICÍPIO DE AIUABA/CE. **Águas Subterrâneas**, Fortaleza, v. 20, n. 2, p.9-18, 10 out. 2006.

PORTE, Monica F. A.; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. **Estud. av.**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200004&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 19 Mai 2017.

SALAS, José D.. HIDROLOGIA DE ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS. **Ingeniería del Agua**, Colorado/USA, v. 7, n. 4, p.409-429, dez. 2000.

SALES, Vanda de Claudino. GEOGRAFIA, SISTEMAS E ANÁLISE AMBIENTAL: Abordagem Crítica. GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, Nº 16, pp. 125 - 141, 2004.

SANTOS, Celso Augusto Guimarães, SRINIVASAN, Vayapeyam S., SILVA, Richarde Marques. In: GALVÃO, Carlos de Oliveira et al (Org.). **Recursos hídricos para convivência com o**

semiárido: abordagens por pesquisadores no Brasil, Portugal, Cabo Verde, Estados Unidos e Argentina. Porto Alegre: ABRH; Recife: Universitária da UFPE, 2013. Cap. 10. p. 269-304.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. PROJETO CADASTRO DE FONTES DE ABASTECIMENTO POR ÁGUA SUBTERRÂNEA ESTADO DE PARAÍBA: DIAGNÓSTICO DO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DO TIGRE. Breno Augusto Beltrão et al. (Org.) Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

SCHENKEL, Celso Salatino; **MATALLO JÚNIOR**, Heitor (Org.). **Desertificação.** 2. ed. Brasília: Unesco, 2003. 82 p. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001298/129872porb.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2017.

SILVA, Vicente de Paula et al. Reuso de águas residuárias para fins hidroagrícolas. In: **GALVÃO**, Carlos de Oliveira et al (Org.). **Recursos hídricos para convivência com o semiárido:** abordagens por pesquisadores no Brasil, Cabo Verde, Portugal, Estados Unidos e Argentina. Porto Alegre: Ed. Universitária da UFPE, 2011. Cap. 12. p. 337-376.

SILVA, Cleide. Nordeste enfrenta maior seca em 100 anos: Reservatórios de água da região têm, em média, 16,3% da capacidade de armazenamento; rios e açudes estão secos. **Estadão: Economia e Negócios**, São Paulo, v. 1, n. 1, p.01-05, jan. 2017. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral/nordeste-enfrenta-maior-seca-em-100-anos,10000098878>>. Acesso em: 03 nov. 2017.

SILVA, Janaína. **1583/2012: Histórico de Secas no Nordeste do Brasil.** 2015. Disponível em: <<http://www.cepel.ufsc.br/historico-de-secas-no-nordeste-do-brasil/>>. Acesso em: 13 ago. 2015.

SILVA, Roberto Marinho Alves da. Entre o Combate à Seca e a Convivência com o Semiárido: políticas públicas e transição paradigmática. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 38, n. 3, p.466-485, jun. 2007. Trimestral.

SOUZA, Eduardo Soares, et al. In: **GALVÃO**, Carlos de Oliveira et al (Org.). **Recursos hídricos para convivência com o semiárido:** abordagens por pesquisadores no Brasil, Portugal, Cabo Verde, Estados Unidos e Argentina. Porto Alegre: ABRH; Recife: Universitária da Ufpe, 2013. Cap. 7. p.189- 218.

SOUZA, Jonas Otaviano Praça de. **SISTEMA FLUVIAL E AÇUDAGEM NO SEMI-ÁRIDO, RELAÇÃO ENTRE A CONECTIVIDADE DA PAISAGEM E DINÂMICA DA PRECIPITAÇÃO, NA BACIA DE DRENAGEM DO RIACHO DO SACO, SERRA TALHADA, PERNAMBUCO.** 2011. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Programa de Pós-graduação em Geografia – PPGEO, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

SOUZA, Jonas Otaviano Praça de. DOS SISTEMAS AMBIENTAIS AO SISTEMA FLUVIAL: uma revisão de conceitos. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 14, n. 46, p.224-233, set. 2013. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/>> ISSN 1678-6343>. Acesso em: 10 maio 2017.

SOUZA, Jonas Otaviano Praça de; ALMEIDA, Joana D'arc Matias de. PROCESSOS FLUVIAIS EM TERRAS SECAS: uma revisão. **Okara: Geografia em debate**, João Pessoa, v. 9, n. 1, p.108-122, out. 2015.

TROLEIS, Adriano Lima; SANTOS, Ana Claudia Ventura dos. **Estudos do semiárido**. 2. ed. Natal: Edufrn, 2011. 168 p.

TUCCI, C. E. M. 1997. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/ Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

UNESCO, 2010. “Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe”. Dentro del marco del proyecto “Elaboración del Mapa de Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas de América Latina y el Caribe”. CAZALAC. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°25.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS: 1991 A 2012** / Centro Universitário De Estudos E Pesquisas Sobre Desastres. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 126 p.

VICENTE, Luiz Eduardo; PEREZ FILHO, Archimedes. ABORDAGEM SISTÊMICA E GEOGRAFIA. **Geografia**, Rio Claro, v. 3, n. 28, p.323-344, 2003. Quadrimestral.

VITTE, Antonio Carlos (Org.). **Contribuições à história e à epistemologia da geografia**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 294 p.