



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutaí
Programa de Pós-Graduação em Conservação de
Recursos Naturais do Cerrado

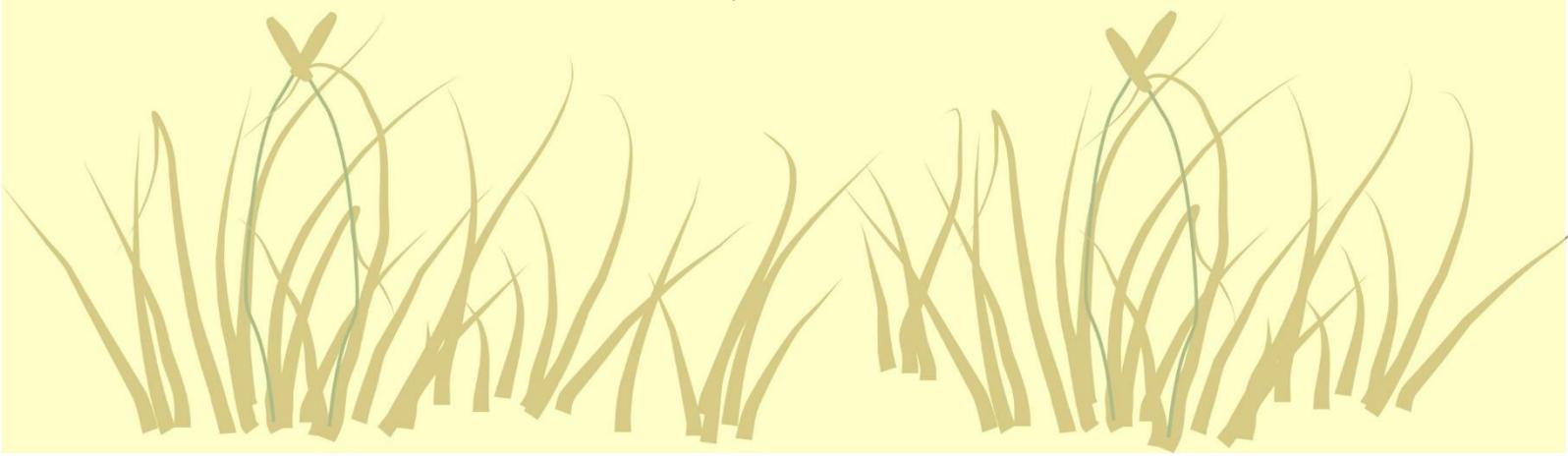
QUALIDADE DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO EM RIACHO FRIO, PLAUÍ

RÔMULO VARGAS LUSTOSA

Orientador: Prof. Dr. Leandro Caixeta Salomão

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Bruna de Freitas Iwata

Urutaí, fevereiro de 2020





Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano

Reitor

Prof. Dr. Elias de Pádua Monteiro

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação e Inovação

Prof. Dr. Alan Carlos da Costa

Campus Urutaí

Diretor Geral

Prof. Dr. Paulo César Ribeiro da Cunha

Diretor de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva

Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado

Coordenador

Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva

Urutaí, fevereiro de 2020

RÔMULO VARGAS LUSTOSA

**QUALIDADE DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO EM
RIACHO FRIO, PIAUÍ**

Orientador

Prof. Dr. Leandro Caixeta Salomão

Coorientadora

Prof.^a Dr.^a Bruna de Freitas Iwata

Dissertação apresentada ao Instituto Federal Goiano –
Campus Urutaí, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais
do Cerrado para obtenção do título de Mestre.

Urutaí (GO)
2020

Os direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

LL972q Lustosa, Rômulo Vargas
Qualidade de água para consumo humano em Riacho Frio,
Piauí / Rômulo Vargas Lustosa; orientador Leandro Caixeta
Salomão; coorientadora Bruna de Freitas Iwata. -- Urutaí, 2020.
38 p.

Dissertação (Mestrado Profissional em Conservação
de Recursos Naturais do Cerrado) -- Instituto Federal
Goiano, Campus Urutaí, 2020.

1. Padrão de potabilidade. 2. Índice de Qualidade de Água
(IQA). 3. Utilização de isótopos estáveis. 4. Qualidade de água
subsuperficial. I. Caixeta Salomão, Leandro, orient. II. de Freitas
Iwata, Bruna, coorient. III. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 n°2376

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: **Rômulo Vargas Lustosa**

Matrícula: **2018101330940234**

Título do Trabalho: **Qualidade de água para consumo humano em Riacho Frio, Piauí.**

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: __/__/__

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Urutaí-GO, 28 de fevereiro de 2020.

Local

Data



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)



ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO N.º 046 DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS DO CERRADO DO INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS URUTAÍ.

Aos vinte e oito dias do mês de fevereiro de 2020, às 09:00h, reuniram-se no Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, a Banca Examinadora composta pelos membros **Ana Paula Silva Siqueira**, **Yoná Serpa Mascarenhas** e **Leandro Caixeta Salomão** (orientador do trabalho), sob a presidência deste último, para avaliação da apresentação do mestrando **Rômulo Vargas Lustosa** e de sua dissertação intitulada **“Avaliação qualidade e monitoramento de riscos de contaminação de água subsuperficial para consumo humano em Riacho Frio, Piauí.”** Aberta a sessão, coube ao mestrando, na forma regimental, realizar a exposição de seu trabalho, dentro do tempo regulamentar, sendo em seguida questionado pelos membros da banca examinadora, tendo dado as explicações que foram necessárias. A banca examinadora, em caráter sigiloso, após análise e julgamento final, concluiu por:

() **Aprovar a dissertação sem alterações.**

Aprovar a dissertação com modificações (vide verso em caso de alteração do título).

() **Reprovar a dissertação.**

A apresentação e aprovação da dissertação é requisito parcial para a concessão do título de Mestre em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado, tendo o mestrando ciência de que o título de Mestre só será concedido depois de atendidas as exigências feitas pela Banca Examinadora, bem como as demais exigências estabelecidas no Regulamento do PPG-CRENAC. A partir da presente data, o mestrando terá o prazo de 60 dias para efetuar as alterações exigidas pela banca, depositar a dissertação corrigida e assinada pela banca no Repositório Institucional do IFGOIANO e entregar a documentação pertinente à abertura do processo de solicitação de diploma à Secretaria do PPG-CRENAC. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada às 11:20, sendo lavrada a presente ata, que foi assinada por todos os membros da Banca Examinadora e pelo mestrando.

Urutaí-GO, 28 de fevereiro de 2020.

Prof. Dr. Leandro Caixeta Salomão

Prof.ª Dra. Ana Paula Silva Siqueira

Prof.ª Dra. Yoná Serpa Mascarenhas

Rômulo Vargas Lustosa

Por sugestão da Banca Examinadora, o novo título passa a ser:

Qualidade de água para consumo humano em
Riacho Iriz, Piauí



FICHA DE APROVAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Título da dissertação:	QUALIDADE DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO EM RIACHO PICO, PIAUÍ
Orientador:	Prof. Dr. Leandro Caixeta Salomão
Coorientadora:	Prof. ^a Dra. Bruna de Freitas Iwata
Autor:	Rômulo Vargas Lustosa

Dissertação de Mestrado **APROVADA** em **28 de fevereiro de 2020**, como parte das exigências para obtenção do Título de **MESTRE EM CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS DO CERRADO**, pela Banca Examinadora especificada a seguir:



Prof. Dr. Leandro Caixeta Salomão
Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí



Prof.ª Dra. Ana Paula Silva Siqueira
Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí



Prof.ª Dra. Yoná Serpa Mascarenhas
Instituto Federal do Piauí – Campus Oeiras

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos
não é senão uma gota de água no mar.
Mas o mar seria menor se lhe
faltasse uma gota”.*
(Madre Teresa de Calcutá)

AGRADECIMENTOS

Agradecer neste momento vai além de reconhecer as contribuições que tenho recebido direta e indiretamente no decorrer desta caminhada, mas uma forma de estender minha alegria em forma de gratidão.

Agradeço então a tudo e a todos, que deram força e entusiasmo para seguir em frente. Rendo graças a Deus primeiramente pelo Dom da Vida e pela oportunidade de seguir vivendo-a; pela intercessão dos meus santos e anjos protetores.

Agradeço a minha mãe, Maria, e meu pai, Pedrinho, por darem luz ao meu caminho; a minha irmã, Aline, pela cumplicidade e partilha que vivemos desde que nasci e, pelos presentes especiais que, junto com meu cunhado, Paulo Davi, nos deram: meu príncipe lindo Vitor Luan e minha princesa Maria Isis que têm irradiado nosso lar com um amor inexplicável; e meus avós, pelas palavras ternas e suaves, pelo calor dos abraços e pelo colo sempre aconchegante que recebi e recebo de vocês.

A meus tios, padrinhos, primos; enfim, meus amigos que a vida teve a doçura de me presentear e que juntos pudemos compartilhar grandes momentos.

Aos colegas de barco, que juntos remamos e sem os quais a travessia não teria a importância que teve, em especial a minha prima e parceira de caminhada, Anaian, com quem dividi todas as angústias com cobranças e prazos e a quem pedia socorro para desenrolar parte da metodologia em sua cota institucional, ao meu grande amigo e irmão Têmis (Temístocles) que, de longas datas, tem sido presença constante e importante em minha vida; ao irmão que ganhei desde a especialização, Ítalo Rômulo. Com certeza, serão pessoas que guardarei com carinho e levarei para sempre comigo. Em nome dos quais estendo meu agradecimento a todos os colegas e amigos, que conquistei durante este curso, pela amizade, pelos momentos alegres, pelo companheirismo, incentivo, compreensão e aprendizado que pudemos compartilhar nesse período, a todos vocês do grupo “Amigos do Piauí no CRENAC”.

À professora Bruna Iwata, minha coorientadora e parceira de todas as horas e momentos. Uma pessoa que consegue despertar os sentimentos mais sublimes de todos que tem a oportunidade de conviver e aprender com ela, exemplo de profissional, a quem devo muito para construção desse trabalho e de quem guardarei muitos exemplos de incentivo e confiança, sem dúvida alguma, você foi determinando para esse resultado.

Ao meu orientador, professor Dr. Leandro Caixeta, pela parceria, cumplicidade e palavras confortantes, especialmente nos momentos pré-qualificação e pré-defesa de dissertação e em nome do qual estendo meus agradecimentos a todos os professores, técnicos e demais colegas do Programa de Pós-graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado do Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí, pelas experiências, inspirações, conhecimento, amizade e companheirismo durante esses 24 meses.

As professoras, Ana Paula Siqueira e Yoná Mascarenhas (membros da banca) e ao professor Israel, pela disponibilidade, contribuição/sugestões e cooperação. Sou muito grato a vocês.

A todos vocês, o meu muito obrigado! Tenho certeza que tudo se tornou possível ao sentir que vocês estavam sempre ao meu lado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE TABELAS	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUÇÃO	17
2. MATERIAL E MÉTODOS	19
2.1 Área de estudo	19
2.2 Procedimentos metodológicos	21
2.2.1 Identificação dos pontos de coleta das amostras	21
2.2.2 Avaliação da qualidade da água para consumo humano	21
2.2.3 Índice de Qualidade de Água	23
2.2.4 Marcação isotópica sobre qualidade de água	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
3.1 Qualidade de água para consumo humano	26
3.2 Índice de Qualidade de Água (IQA)	30
3.3 Marcação isotópica sobre qualidade de água	31
4. CONCLUSÃO	32
5. REFERÊNCIAS	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização do município de Riacho Frio, Piauí.....	20
Figura 2. Chuva acumulada mensal (ano 2019)	22
Figura 3. Curvas médias de variação de qualidades das águas	24
Figura 4. Valores de nitrogênio total e fósforo total do período chuvoso	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Identificação e localização dos pontos de coleta de amostra de água	21
Tabela 2. Unidades de medida e equipamentos adotados para a análise dos parâmetros físico-químico, bioquímico e microbiológico.....	28
Tabela 3. Classificação do Índice de Qualidade de Água (IQA).....	25
Tabela 4. Atributos físico-químico, bioquímico e microbiológico aferidos nas amostras dos períodos seco e chuvoso	26
Tabela 5. Valores de IQA dos pontos amostrais.....	30
Tabela 6. Comportamento isotópico de pontos de análise	31

QUALIDADE DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO EM RIACHO FRIO, PIAUÍ

RESUMO

Lustosa, Rômulo Vargas. **Qualidade de água para consumo humano em Riacho Frio, Piauí**. Urutaí-GO, 2020. Dissertação (Mestrado em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado) - Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, Urutaí-GO, 2020.

O Brasil é um país privilegiado pelo manancial que dispõe. As águas subterrâneas são fundamentais para o abastecimento público no Brasil, muitas regiões dependem dos mananciais subterrâneos, mais da metade dos municípios brasileiros (53%), no entanto, a distribuição natural desse recurso não é equilibrada. O estado do Piauí está inserido nesta realidade: sofre há anos com falta ou insuficiência de água até mesmo para o consumo humano, em algumas regiões, sendo as fontes subterrâneas de abastecimentos os recursos naturais utilizados tradicionalmente para abastecer essas regiões. Muito embora as águas subsuperficiais estejam mais protegidas de contaminação, pela dificuldade de acesso, a perfuração de poços com locação inadequada coloca em risco a qualidade destas, uma vez que gera uma conexão entre as águas mais rasas. O presente trabalho buscou avaliar a qualidade da água subsuperficial utilizada no sistema de abastecimento humano da cidade de Riacho Frio, Estado do Piauí. O sistema de captação e distribuição de água do município é composto por dois poços tubulares e uma estação elevatória de onde prossegue a distribuição da água pelo sistema de abastecimento da cidade. Foram realizadas campanhas de coleta de amostras em períodos secos e chuvosos. Para cada amostra coletada foram analisados parâmetros físico-químicos, bioquímicos e microbiológicos da água e prosseguiu-se com o enquadramento ao padrão definido pelas resoluções do CONAMA 357/2005 e 396/2008 e portaria do MS 05/2017, bem como construção do Índice de Qualidade de Água (IQA) e marcação isotópica com os isótopos naturais $\delta^{18}\text{O}$ e δD , para monitoramento de riscos de contaminação. Em todos os pontos, em ambos os períodos de coleta, o IQA foi enquadrado como nível “bom” ou “ótimo”, sendo a qualidade da água considerada satisfatória. Nos dados do período seco, todas as amostras de OD, 75% das amostras de coliformes termotolerantes, não estão adequadas conforme o padrão, já no período chuvoso, em 75% das amostras de nitrogênio total e 100% das amostras de fósforo total estão em desconformidade com o padrão determinado em legislação. A marcação isotópica apontou que não há diferença entre os valores amostrais encontrados e os esperados, descartando a possibilidade de contaminação por qualquer mecanismo de recarga do manancial subsuperficial.

Palavras-chave: Padrão de potabilidade, Índice de Qualidade de Água (IQA), utilização de isótopos estáveis, qualidade de água subsuperficial.

QUALITY OF WATER FOR HUMAN CONSUMPTION IN RIACHO FRIO, PIAUÍ

ABSTRACT

Lustosa, Rômulo Vargas. **Qualidade de água para consumo humano em Riacho Frio, Piauí**. Urutaí-GO, 2020. Dissertação (Mestrado em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado) - Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, Urutaí-GO, 2020.

Brazil is a privileged country due to the wealth it has. Groundwater is essential for public supply in Brazil, many regions depend on groundwater sources, more than half of Brazilian municipalities (53%), however, the natural distribution of this resource is not balanced. The state of Piauí is inserted in this reality: it has suffered for years with a lack or insufficiency of water even for human consumption, in some regions, with underground sources of supply being the natural resources traditionally used to supply these regions. Even though subsurface waters are more protected from contamination, due to the difficulty of access, drilling wells with inadequate location puts their quality at risk, since it generates a connection between the shallower waters. The present work sought to evaluate the quality of subsurface water used in the human supply system in the city of Riacho Frio, State of Piauí. The municipality's water collection and distribution system consists of two tubular wells and a lifting station from which water distribution continues through the city's water supply system. Sampling campaigns were carried out in dry and rainy periods. For each sample collected, physical-chemical, biochemical and microbiological parameters of the water were analyzed and the framework continued with the standard defined by the resolutions of the CONAMA 357/2005 y 396/2008 and ordinance of MS 05/2017, as well as construction of the Water Quality Index (IQA) and isotopic marking with natural isotopes $\delta^{18}\text{O}$ y δD , for monitoring contamination risks. At all points, in both collection periods, the IQA was classified as a “good” or “excellent” level, with water quality considered satisfactory. In the dry period data, all OD samples, 75% of the thermotolerant coliform samples, are not adequate according to the standard, while in the rainy season, 75% of the total nitrogen samples and 100% of the total phosphorus samples are in non-compliance with the standard determined by legislation. The isotopic marking showed that there is no difference between the sample values found and those expected, discarding the possibility of contamination by any recharge mechanism of the subsurface source.

Keywords: Potability standard, Water Quality Index (AQI), use of stable isotopes, subsurface water quality.

1. INTRODUÇÃO

A garantia da disponibilidade hídrica para as próximas gerações é uma preocupação que alcança toda a sociedade. Especialmente nos fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), onde a água é defendida como sendo um bem de domínio público, bem como, um recurso natural limitado, dotado de valor econômico (BRASIL, 1997) e, desse modo, considerando ainda essas especificidades, o cuidado e a utilização racional devem ser prioridades.

O Brasil é um país privilegiado pelo manancial (superficial e subsuperficial) que dispõe. Não obstante, as políticas públicas de preservação e conservação deste bem devem acompanhar as proporções do seu potencial hidrológico. Outro ponto, não menos importante que a proteção dos mananciais, é a garantia de consumo humano de água segundo padrões de potabilidade adequados e relevantes para a saúde pública (SILVA; ARAÚJO, 2003; BRASIL, 2006).

No Brasil, onde muitas regiões dependem dos mananciais subterrâneos, mais da metade dos municípios brasileiros (53%) dependem de fontes hídricas subsuperficiais para o abastecimento (ARID, 2019). Desse modo, indispensável à sobrevivência humana, existência de vida e manutenção do equilíbrio global, a água deve sempre transpor as discussões, especialmente ambientais.

As águas subterrâneas são fundamentais para o abastecimento público no Brasil (ANA, 2010). Programas e instituições nacionais e internacionais propõem identificar os principais problemas de poluição dessas águas e preparar subsídios tecnológicos para avaliação e prevenção, a fim de garantir a saúde pública (ARID, 2019).

Por mais que o Brasil possua importante potencial hídrico, em comparação com outras regiões do planeta, a distribuição natural desse recurso não é equilibrada (ANA, 2007). O Nordeste, por exemplo, é a região do país que apresenta maior déficit hídrico, sendo caracterizada por reduzidas precipitações, elevada evaporação e pouca disponibilidade de águas superficiais, dessa forma, as reservas hídricas subterrâneas constituem uma alternativa para o abastecimento humano (NANES, 2012).

A exploração desordenada e as frequentes intervenções humanas sobre a Natureza, incluindo o avanço das diferentes formas de poluição e de degradação do meio ambiente, vêm impactando seriamente os recursos existentes, tornando sua utilização cada dia mais difícil e onerosa (BOMTEMPO, 1999; JACOBI, 2003; CUNHA; AUGUSTIN, 2014).

O estado do Piauí está inserido nesta realidade. Sofre há anos com falta ou insuficiência de água até mesmo para o consumo humano, em algumas regiões, sendo as fontes subterrâneas

de abastecimentos os recursos naturais utilizados tradicionalmente para abastecer essas regiões. Entretanto, o crescimento deste modo de abastecimento foi acompanhado da proliferação de poços construídos, sem levar em conta critérios técnicos adequados que permitissem condições qualitativas básicas de potabilidade (CAPP et al., 2012).

A magnitude e a toxicidade das águas efluentes, contudo, muitas vezes supera a capacidade depurativa dos ecossistemas, acabando por degradar a qualidade da água, local e regionalmente (ANA, 2011a). Portanto, a qualidade da água está se deteriorando em muitos pontos do curso d'água.

É o que acontece com as águas subsuperficiais que, embora, teoricamente, estejam mais protegidas de contaminação, pela dificuldade de acesso, a perfuração de poços com locação inadequada coloca em risco a qualidade destas, uma vez que gera uma conexão entre as águas mais rasas, e, portanto, mais suscetíveis à contaminação, com águas mais profundas menos vulneráveis (ANA, 2007; 2011a).

Atualmente, além dos requisitos bacteriológicos, devem ser determinados também os contaminantes físico-químicos para definir a potabilidade da água, inclusive de água subsuperficial, quando esta é destinada para o consumo humano (ARID, 2019). Nesse contexto surge a importância de se estimar o Índice de Qualidade da Água (IQA) destinada para consumo humano, uma vez que este índice foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são indicadores de contaminação (BRASIL, 1997; ANA, 2011b).

As soluções para o problema de degradação da qualidade de águas de superfícies têm sido encontradas na implementação de uma legislação efetiva para interromper as emissões de contaminantes (CELLIGOI, 1999; ARAÚJO, 2009). Infelizmente, os problemas de degradação da qualidade das águas subterrâneas são mais difíceis de serem superados. Uma vez que heterogeneidades são inerentes aos sistemas de subsuperfície, as zonas de águas subterrâneas degradadas são muito difíceis de se detectar (FREEZE; CHERRY, 1979; STROHSCHOEN et al., 2006).

Os estudos isotópicos figuram como uma importante ferramenta de enfrentamento desses problemas de degradação da qualidade de águas subsuperficiais. No contexto hidrológico e hidrogeológico os isótopos ambientais são utilizados como traçadores (de águas

superficiais e subterrâneas), em estudos de proveniência, de recarga e de idade de um aquífero (CLARK; FRITZ, 1997; BOMTEMPO, 1999; STROHSCHOEN et al., 2006).

A Hidrologia isotópica corresponde a uma técnica nuclear utilizada para rastrear os movimentos da água no ciclo hidrológico (IAEA, 1983). Esses estudos na região Nordeste do Brasil iniciaram-se com a preocupação de caracterizar e compreender os mecanismos de recarga dos principais aquíferos da região para fins de abastecimento (GAT et al., 1968).

No presente trabalho, atenção especial foi dada à aplicação dos isótopos estáveis: oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$) e deutério (δD) quanto à origem, condições e mecanismos de recarga, interrelação entre reservatórios superficiais e subterrâneos, interconexões entre aquíferos, riscos e origem da salinização e contaminação dos recursos hídricos (BARBOSA et al., 2018).

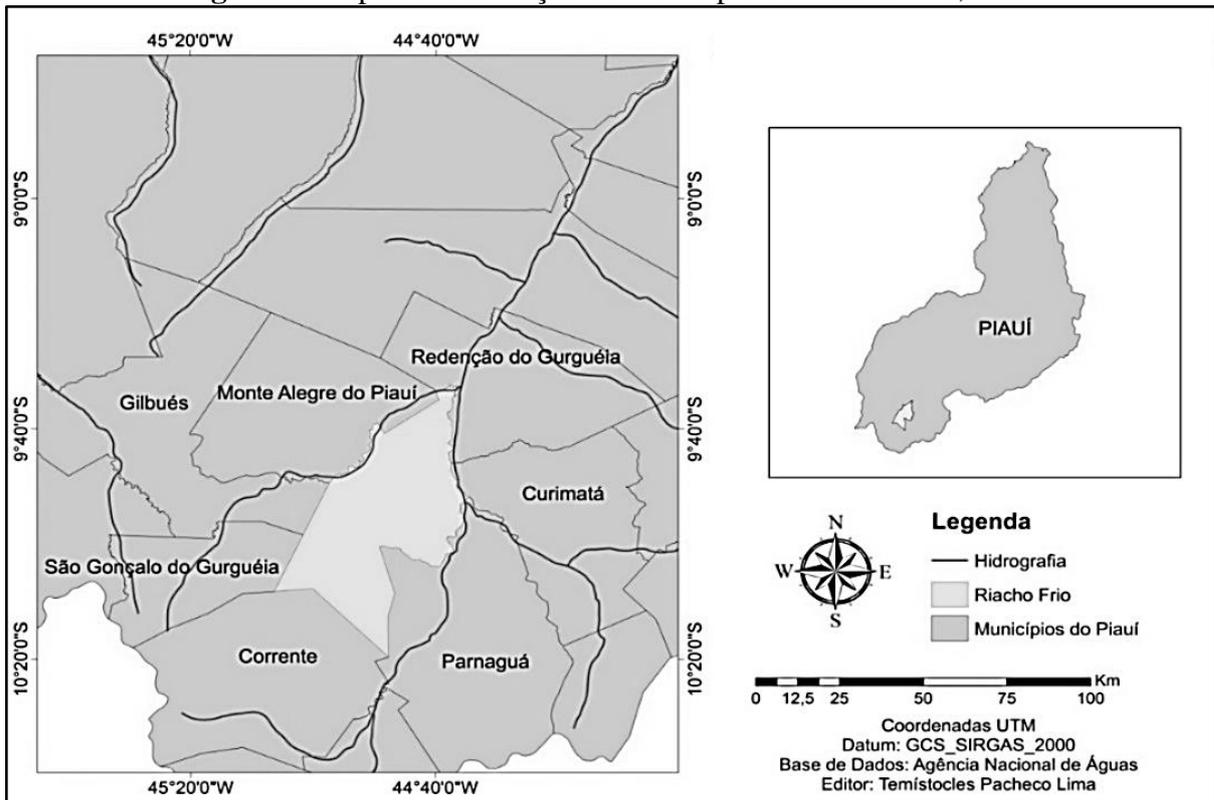
O município de Riacho Frio, estado do Piauí é exemplo desta realidade exposta anteriormente: quase a totalidade da população consome água subsuperficial, boa parte oriunda de poços artesianos. Considerando toda essa situação exposta, o presente trabalho buscou avaliar a qualidade da água subsuperficial utilizada no sistema de abastecimento humano da cidade de Riacho Frio, Estado do Piauí.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O município de Riacho Frio, Estado do Piauí, possui uma área total aproximada de 2.221 quilômetros quadrados. O município está situado na Microrregião das Chapadas do Extremo Sul Piauiense, fazendo fronteira com 7 (sete) municípios piauienses, a saber: Parnaguá, Curimatá, Redenção do Gurgueia, Monte Alegre do Piauí, Gilbués, São Gonçalo do Gurgueia e Corrente, conforme mostra a figura 1. Dista, em média, 800 km da capital do estado, Teresina. Dados do último levantamento censitário apontam uma população de 4.241 habitantes (IBGE, 2010).

Figura 1. Mapa de localização do município de Riacho Frio, Piauí



Fonte: Lustosa et al. (2017)

No município, não há rio perene, apenas riachos, sendo os principais: o “Riacho Frio” e o “Rio Fundo”, ambos afluentes direto da lagoa de Parnaíba, possuindo, predominantemente, uma vegetação característica do bioma Cerrado (INFOSANBAS, 2017; MMA, 2019). O clima da região em estudo, conforme o IBGE (2002) e Fundação CEPRO (2011), é tropical semiúmido, possuindo verão chuvoso e inverno seco. Apresenta as temperaturas mínimas médias de 20°C e máximas de 36°C e, precipitação pluviométrica anual média de 900 mm (INMET, 2018).

O município integra a Sub-bacia Hidrográfica Uruçuí/Preto/Gurguéia, que compõem a Região Hidrográfica do Parnaíba. Todo o sistema de abastecimento de água do município é feito pela empresa Águas e Esgotos do Piauí Ltda. (AGESPISA). O sistema de captação e distribuição de água do município é composto por dois poços tubulares e uma estação elevatória de onde prossegue a distribuição da água pelo sistema de abastecimento da cidade (ANA, 2012). Ainda apresentando dados da Agência Nacional de Águas (ANA) para o município, a situação do abastecimento, segundo o último levantamento (2015) era considerada satisfatória e que a avaliação oferta/demanda de água até 2015 também era considerada satisfatória.

2.2. Delineamento experimental

2.2.1. Identificação dos pontos de coleta das amostras

Foram realizadas visitas *in loco* nos dois pontos de captação da água (poços artesianos) para definição de pontos de coletas, bem como, demais pontos para construção do delineamento experimental da área de estudo, totalizando 04 (quatro) pontos de coleta de amostras (Tabela 1). A identificação dos pontos amostrais se deu da seguinte forma: dois poços tubulares (pontos “P01” e “P02”, respectivamente) onde é feita a captação da água e posterior bombeamento para a estação elevatória; no ponto descrito como “P03” foi coletada amostra após a estação elevatória – após tratamento, teoricamente; o “P04” é amostra da água ao chegar a residência pelo sistema de abastecimento. A obtenção dos dados espaciais em campo (coordenadas) ocorreu com o uso de receptor GPS.

Tabela 1. Identificação dos pontos de coleta de amostras de água.

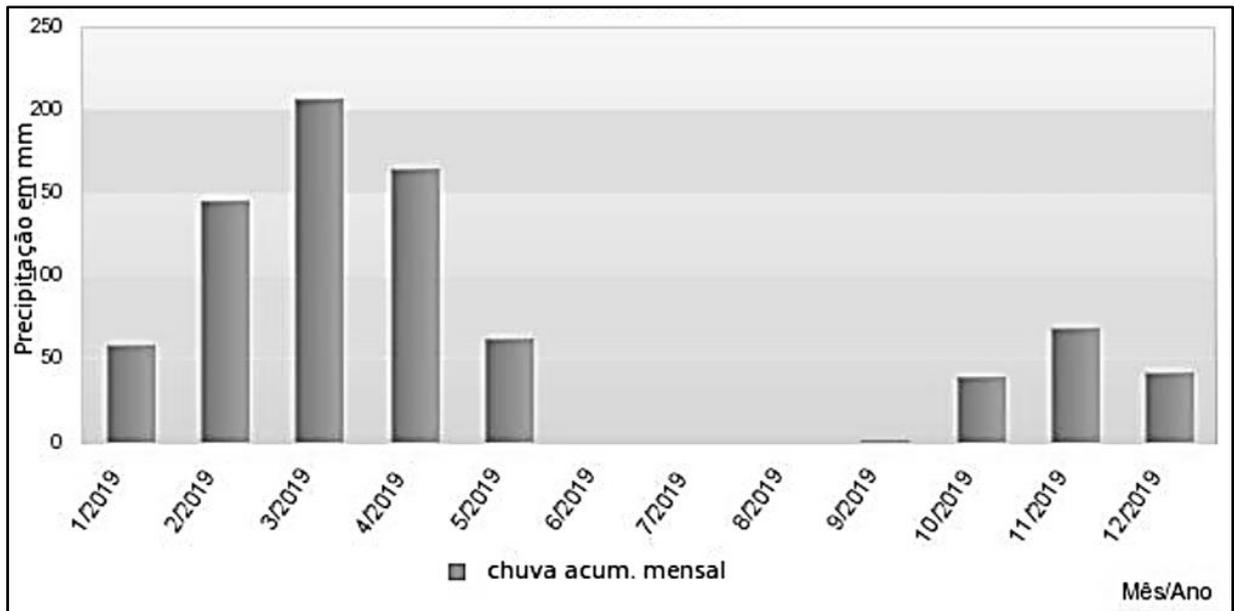
Ponto	Identificação	Coordenadas geográficas
P01	Poço tubular da praça	10°07'34.3" S / 44°57'06.1" O
P02	Poço tubular da caixa	10°07'45.8" S / 44°57'08.7" O
P03	Logo após a estação elevatória	10°07'45.6" S / 44°57'08.9" O
P04	Residência	10°07'33.6" S / 44°57'04.7" O

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

2.2.2 Avaliação da qualidade da água para consumo humano

As coletas de amostras de água dos pontos ocorreram nos períodos seco (junho de 2019) e chuvoso (dezembro de 2019). A variabilidade sazonal foi observada de acordo com informações pluviométricas disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com dados do ano de 2019 (Figura 2).

Figura 2. Chuva acumulada mensal (ano de 2019)



Fonte: INMET (2019).

Os parâmetros (físico-químicos, bioquímicos e microbiológicos da água) analisados foram os constituintes do IQA. O IQA é o principal indicador qualitativo usado no país (ANA, 2011b). Ele é calculado com base nos seguintes parâmetros: temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido (OD), resíduo total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total e turbidez; e os valores foram aferidos pelos equipamentos apresentados na tabela 2, a seguir, que apresentam metodologias próprias.

Tabela 2. Unidades de medida e equipamentos adotados para análise dos parâmetros físico-químico, bioquímico e microbiológico.

Parâmetro	Unidade de medida	Equipamento
Oxigênio dissolvido	mg/L	Oxímetro (Lutron) - DO-5519
Temperatura	°C	Termômetro digital - TE07
C. termotolerantes	NPM/100 mL	Meio cromogênio em DIP em papel - Colipaper
pH	-	pHmetro (Lutron) - PH 221
DBO	mg/L	Método volumétrico (Alfakit)
Nitrogênio total	mg/L	Fotocolorímetro (Alfakit)
Fosforo total	mg/L	Fotocolorímetro (Alfakit)
Turbidez	UNT	Turbidímetro microprocessado (Alfakit)
Resíduo total	mg/L	Método gravimétrico

Fonte: Rocha (2019), adaptado.

Os valores máximos permitidos, bem como os mínimos exigidos foram levantados na legislação brasileira. Pode-se citar: Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde (MS) nº 05/2017, para enquadrar os parâmetros pH, Fósforo Total e Turbidez; Resolução do CONAMA 396/2008 (águas subterrâneas), para enquadramento de Coliformes Termotolerantes, Sólidos Totais e Nitrogênio Total; e CONAMA 357/2005 (águas superficiais, mas também apresenta limites para consumo humano), para proceder com o enquadramento de Oxigênio Dissolvido (OD) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

As amostras foram coletadas, preservadas e transportadas conforme as recomendações do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras de Água (CETESB, 1987; ANA, 2011b) e encaminhadas para o laboratório de Água e Solos do Instituto Federal do Piauí – Campus Corrente e analisadas conforme método de referência “Standard Methods” (Tabela 4) da Associação Americana de Saúde Pública (APHA) (APHA, 2012; ROCHA, 2019).

2.2.3 Índice de Qualidade da Água

A partir de um estudo realizado em 1970 pela “National Sanitation Foundation” (NSF) dos Estados Unidos, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) adaptou e desenvolveu o Índice de Qualidade das Águas (IQA) que incorpora nove variáveis consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para abastecimento público (ANA, 2018; CETESB, 2017).

O IQA, em geral, é um número adimensional que exprime a qualidade da água para os diversos fins. Esse número é obtido da agregação de dados físico-químicos, bacteriológicos, químicos por meio de metodologias específicas. Ele é calculado pelo produto ponderado das notas atribuídas cada parâmetro de qualidade de água: (1) temperatura da amostra, (2) pH, (3) oxigênio dissolvido, (4) demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (5 dias, 20°C), (5) coliformes fecais, (6) nitrogênio total, (7) fósforo total, (8) resíduo total e (9) turbidez.

A seguinte equação é utilizada (CETESB, 1997; ANA, 2014) (Equação 1):

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad \text{Equação 1}$$

onde: IQA-NSF – Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100; q_i – qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida; e w_i – peso correspondente ao i -ésimo

parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que (Equação 2):

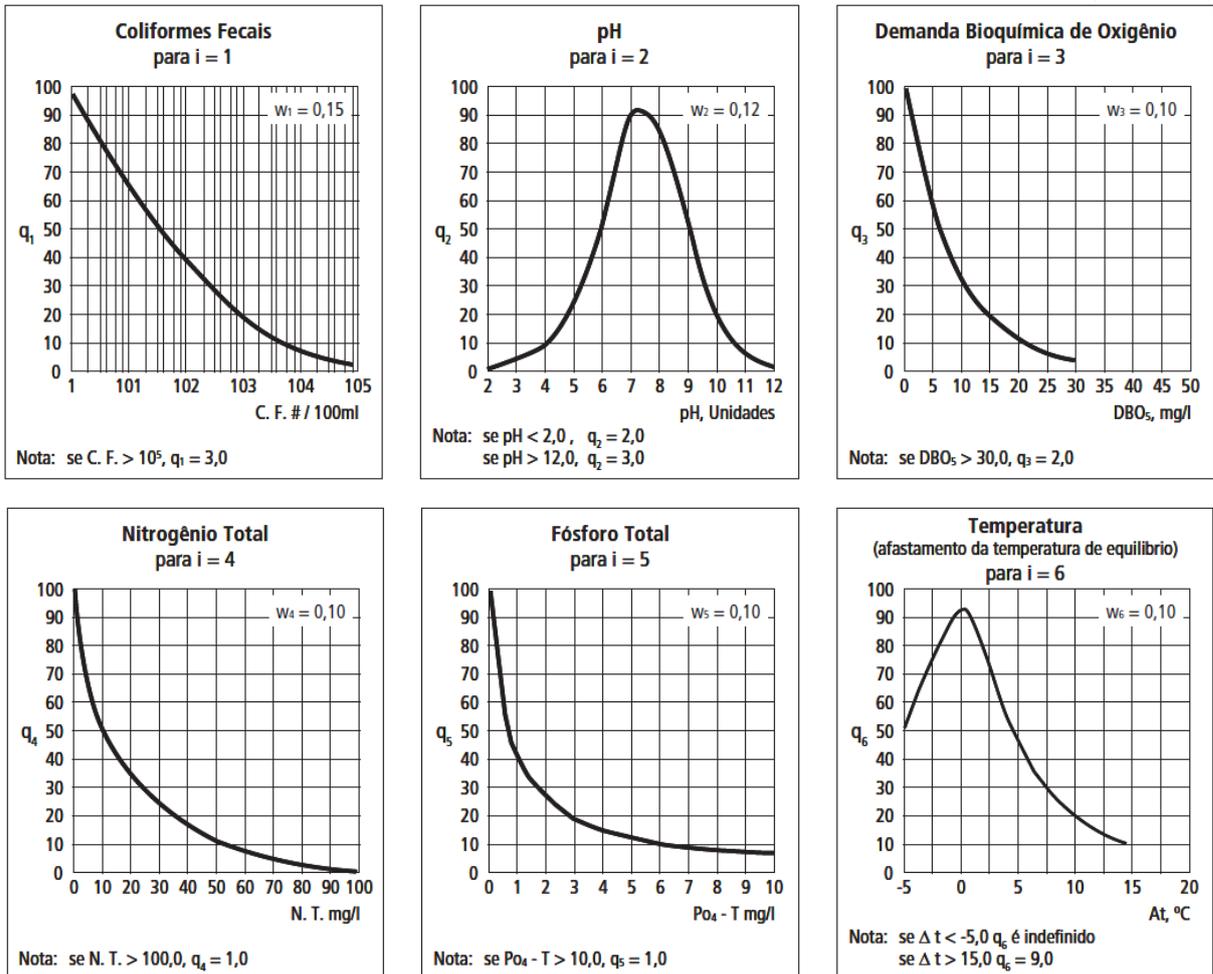
$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad \text{Equação 2}$$

em que n é 9 (número de parâmetros).

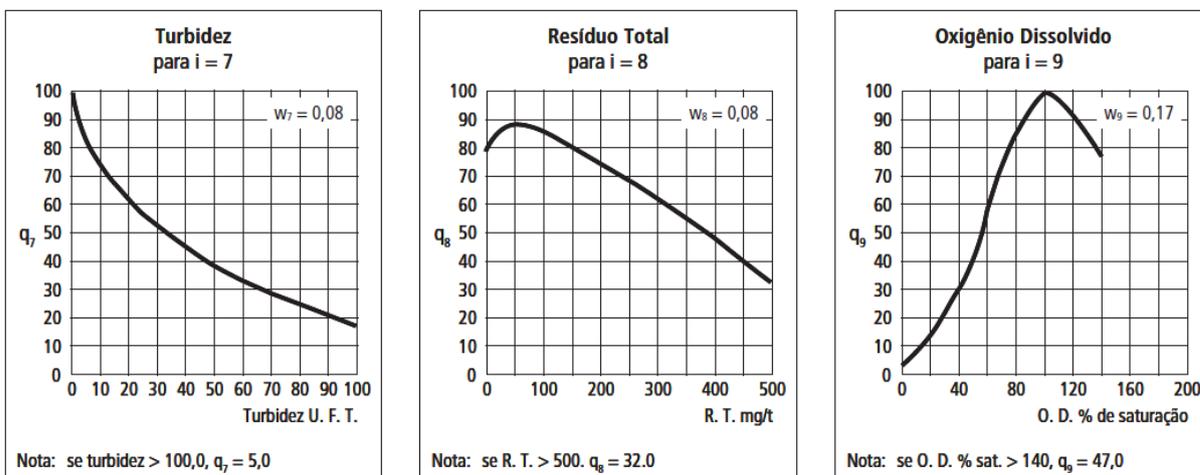
A criação do IQA baseou-se numa pesquisa de opinião junto a especialistas em qualidade de águas, que indicaram as variáveis a serem avaliadas, o peso relativo e a condição com que se apresenta cada parâmetro, segundo uma escala de valores “rating”. Para estes foram estabelecidas curvas de variação da qualidade das águas de acordo com o estado de cada parâmetro. Estas curvas de variação, sintetizadas em um conjunto de curvas médias para cada parâmetro, bem como seu peso relativo correspondente, são apresentados na figura 3.

Figura 3. Curvas médias de variação de qualidade das águas

(continua)



(conclusão)



Fonte: ANA (2004); CETESB (2018).

A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas, que é indicada pelo IQA, variando numa escala de 0 a 100, representado na tabela 3.

Tabela 3. Classificação do Índice de Qualidade de Água (IQA).

Categoria	Ponderação
ÓTIMA	$79 < IQA \leq 100$
BOA	$51 < IQA \leq 79$
REGULAR	$36 < IQA \leq 51$
RUIM	$19 < IQA \leq 36$
PÉSSIMA	$IQA \leq 19$

Fonte: CETESB (2018).

2.2.4 Marcação isotópica sobre qualidade de água

As técnicas isotópicas aplicadas na Hidrologia e na Sedimentologia fundamentam-se tanto na investigação da presença de isótopos de determinados elementos químicos nas águas e nos sedimentos por elas transportados, ou que constituem suas fronteiras de contenção, quanto na utilização de fontes radioativas seladas (BOMTEMPO, 1999).

O uso dos isótopos na Hidrologia é baseado no conceito geral de “rastreamento”. Os isótopos estáveis possuem uma vantagem sobre os traçadores artificiais pois facilitam o estudo de vários processos hidrológicos em escala temporal e espacial através de sua distribuição nas águas naturais (CLARK; FRITZ, 1997; BARBOSA et al., 2018).

Os procedimentos para a determinação do conteúdo isotópico da água empregados nesse trabalho foram aqueles recomendados pela IAEA – “International Atomic Energy Agency” (<http://www.iaea.org/water>), de maneira a garantir a obtenção de dados confiáveis e não alterar a composição isotópica. Assim, a metodologia de isótopos estáveis é única em estudos regionais de recursos hídricos para obtenção das características espaciais dos sistemas hidrológicos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Qualidade da água para consumo humano

O estudo evidenciou que as referidas amostras coletadas enquadraram como classe I em qualidade de “águas doces”. De acordo com a Resolução CONAMA 396 (2008), esse enquadramento é um requisito normativo onde os parâmetros de qualidade de água é o valor limite estabelecido com base nos valores de referência de qualidade e nos valores máximos permitidos (ou mínimos exigidos) para cada um dos usos preponderantes, que, neste caso, é a destinação para consumo humano.

Esse enquadramento possibilitou apontar que, no período seco, seus padrões seguiram um comportamento semelhante na maioria das amostras, com baixa variação do preconizado pelas legislações referenciais, como, por exemplo, o OD e coliformes termotolerantes e, no período chuvoso, as amostras que estão em desconformidade com o valor limite nitrogênio total, exceto no ponto “P02”, e fósforo total, em todos os pontos amostrais coletados, conforme pode ser observado na tabela 4, a seguir.

Tabela 4. Parâmetros físico-químico, bioquímico e microbiológico aferidos nas amostras dos períodos seco e chuvoso.

PARÂMETROS	VMP*	PONTOS DE COLETA			
		P01		P02	
		PS**	PC***	PS	PC
Oxigênio Dissolvido	≥ 5	4,10	7,30	4,20	7,40
Temperatura	–	28,00	29,80	29,00	31,20
C. termotolerantes	0	78,00	0,00	0,00	0,00
pH	< 6 ou $> 9,5$	6,13	6,87	7,11	6,59
DBO	5	0,20	2,50	0,10	2,90
Nitrogênio total	2,18	0,08	4,94	0,08	0,90
Fósforo total	$\leq 0,1$	0,02	2,72	0,01	3,66
Turbidez	5	1,20	0,00	1,10	0,00
Resíduo total	940	2,75	172,19	3,08	100,50

Tabela 4. Atributos físico-químico, bioquímico e microbiológico da água subsuperficial utilizada para consumo humano na cidade de Riacho Frio-PI.

(conclusão)

PARÂMETROS	VMP*	PONTOS DE COLETA			
		P03		P04	
		PS	PC	PS	PC
Oxigênio Dissolvido	≥ 5	4,80	7,20	4,89	7,20
Temperatura	–	30,00	30,80	29,00	32,10
C. termotolerantes	0	78,00	0,00	80,00	0,00
pH	< 6 ou $> 9,5$	6,92	7,47	6,83	7,17
DBO	5	0,15	3,60	0,20	3,30
Nitrogênio total	2,18	0,08	2,82	0,07	4,44
Fósforo total	$\leq 0,1$	0,01	1,16	0,01	1,03
Turbidez	5	1,25	0,00	1,20	0,00
Resíduo total	940	3,15	185,59	3,18	167,50

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

*Valor Máximo Permitido, conforme resoluções do CONAMA n° 396/08 (consumo humano) e CONAMA n° 357/05 (consumo humano) e portaria de consolidação do Ministério da Saúde (MS) n° 05/2017; **Período Seco; ***Período Chuvoso.

Para os valores encontrados de OD, todos os pontos no período seco apresentaram valores abaixo do mínimo permitido. Esse resultado já foi relatado na BDTD UFMG (2017) uma vez que, nas águas subterrâneas, o OD pode estar em pequena quantidade, especialmente no período seco, já que maior parte do ar dissolvido é consumido durante a percolação da água na zona de aeração.

O oxigênio dissolvido em águas naturais e degradadas depende das atividades químicas, físicas e bioquímicas do sistema. A análise de OD é um teste-chave em poluição de águas e o controle do processo de tratamento de lixo. Diminuindo-se a temperatura da água, aumenta-se a solubilidade de O₂, já em temperaturas elevadas, as reações químicas ocorrem mais rapidamente, havendo um consumo maior de oxigênio pela matéria orgânica como consequência (CELLIGOI, 1999; LINS, 2010; NASCENTES; COSTA, 2011).

Para os dados de coliformes termotolerantes, apenas o “P02” está em conformidade com o que determina a Resolução CONAMA 396/2008, ausência em 100 mL, já em todos os demais foram registrados dados de coliformes termotolerantes. Vale ressaltar que o ponto “P02” é identificado como um poço artesiano de uso suplementar, uma vez que dele só é captada água quando há algum problema para captação do poço artesiano identificado como “P01”. Desse modo, a priorização pela captação de água neste último fez com que as amostras coletadas nas etapas seguintes do abastecimento também apresentassem coliformes termotolerantes.

No universo amostral descrito, em ambos os períodos, seco e chuvoso, a temperatura da água *in loco* variou entre 28 e 32,1 °C. A temperatura é um dos parâmetros mais importantes da qualidade da água (OLIVEIRA et al., 2014). Influencia as taxas e os processos biogeoquímicos, além de controlar o consumo de nutrientes (WARD et al., 2013). Uma faixa de temperatura considerada ótima está entre 25 e 35 °C, uma vez que, acima disso, a concentração de saturação de OD diminui, favorecendo a atividade biológica (PESSOA; JORDÃO, 2009; LINS, 2010).

Em todas as amostras avaliadas, período seco e chuvoso, foi registrada a concentração de DBO abaixo do limite máximo estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/2005, isto é, em conformidade com o determinado pela resolução, que define que valores de DBO não poderá exceder 5 mg/L (BRASIL, 2005). O valor máximo encontrado nas amostras foi de 3,60 mg/L. Os valores de DBO tem relação direta com os valores de OD (AMORIM et al., 2016; CETESB, 2018; ANA, 2018). Os maiores aumentos em termos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica (LINS, 2010; NASCENTES; COSTA, 2011). A DBO indica o potencial de consumo de OD pela matéria orgânica presente na água (SPERLING, 2014), se houver.

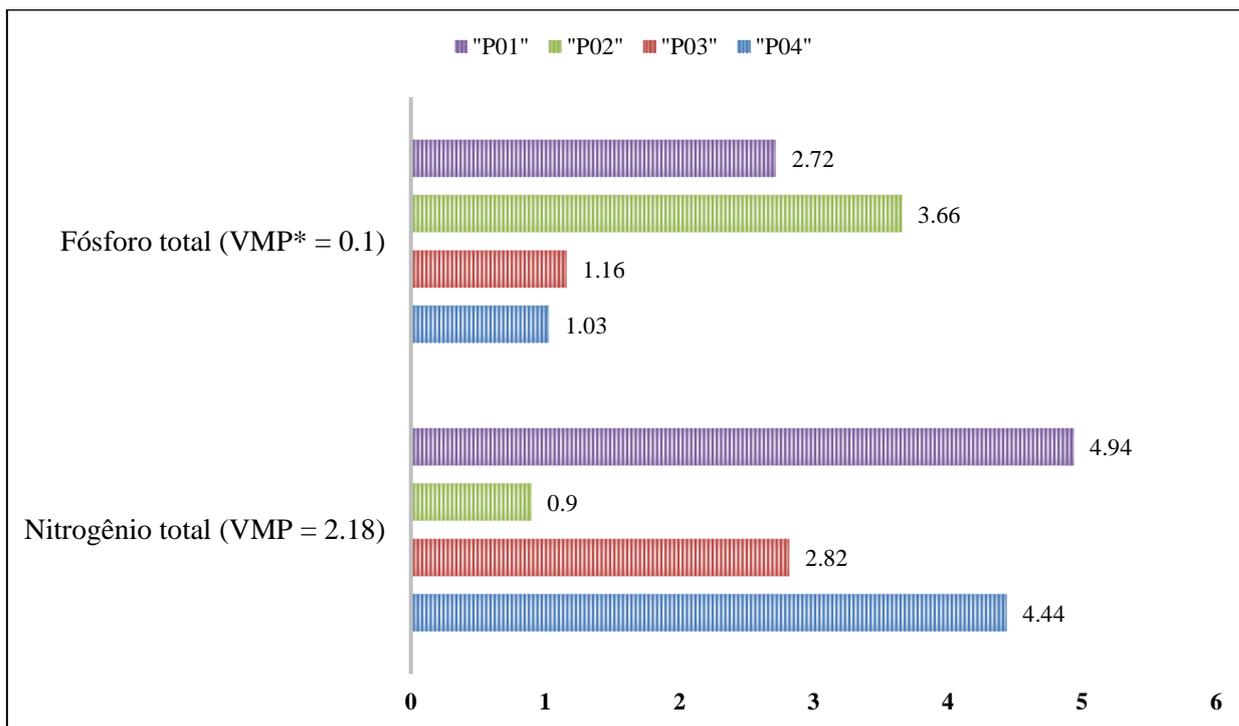
Apontado por Oliveira e Cunha (2014), o pH pode influir em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas, vindo a se tornar um parâmetro importante em muitos estudos no campo do saneamento ambiental e que, segundo a CETESB (2018), o valor do pH ideal para a proteção à vida se fixa entre 6 e 9, ratificado pela Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde (2017) na qual recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5. No presente estudo, os valores encontrados para pH oscilaram entre o valor mínimo de 6,13 e máximo de 7,47, desse modo, dentro do intervalo permitido.

Os parâmetros turbidez e resíduo total, nos dois períodos amostrados, estão em conformidade com a legislação. O valor mínimo e máximo de turbidez são 1,10 e 1,25 UNT, respectivamente, sendo que o valor máximo permitido pela Portaria de consolidação do Ministério da Saúde nº 05/2017 é de 5 UNT. Já os valores de turbidez são disciplinados pela Portaria CONAMA 396/2008, sendo o que valor máximo permitido é de 940 mg/L e o valor amostral máximo aferido foi de 185,59 mg/L.

No período seco, o parâmetro fósforo total se manteve dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente no que se refere a consumo humano, que preconiza o valor máximo permitido de 0,1 mg/L, sendo o maior valor encontrado nas amostras de 0,02 mg/L. O mesmo

se aplica aos valores de nitrogênio total, para os valores aferidos no período seco. Sendo que o valor máximo permitido é de 2,18 mg/L e as amostras aferidas pelas coletas variam entre 0,01 mg/L e 0,02 mg/L. Esses dois parâmetros se encontram em ligeira alteração no período chuvoso, resultado do período de recarga do lençol subterrâneo, nitrogênio total, exceto no ponto “P02”, e fósforo total, em todos os pontos amostrais coletados (Figura 4).

Figura 4. Valores de nitrogênio total e fósforo total do período chuvoso.



Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

*Valor máximo permitido

As fontes de nitrogênio são decomposição de proteínas e fonte antropogênica, como fezes de animais e fertilizantes (SPERLING, 2005). Em relação às fontes de fósforo, as principais são as de intemperismo das rochas e decomposição da matéria orgânica, fertilizantes (PESSOA; JORDÃO, 2010). A liberação excessiva de nitrogênio e fósforo pode provocar um aumento na população de organismos aquáticos, sendo que o crescimento destes tem como consequência a depleção de oxigênio (LINS, 2010).

A garantia do consumo humano de água potável, livre de microrganismos patogênicos, de substâncias e elementos químicos prejudiciais à saúde, constitui-se em ação eficaz de prevenção das doenças causadas pela água (SILVA; ARAÚJO, 2003; BRASIL, 2006; MESQUITA et al., 2014)). Os demais parâmetros analisados se mantêm enquadrados nos

valores máximo e/ou mínimos permitidos. Ressaltando que, considerando suas evidências, caracterizam água de boa a ótima qualidade.

A observação do enquadramento dos demais parâmetros ao determinado pela legislação vigente traz dados de conformidade da qualidade da água utilizada para consumo humano, da qual pode ser construído o IQA – Índice de Qualidade de Água para todos os pontos amostrais.

3.2 Índice de Qualidade da Água (IQA)

A apresentação dos índices calculados está organizada na tabela 4, a seguir. É possível observar que em todos os pontos a qualidade da água analisada é considerada “satisfatória” em ambos os períodos (seco e chuvoso), oscilando entre os níveis “Bom” e “Ótimo”.

Tabela 5. Valores de IQA dos pontos amostrais.

Ponto	Identificação	Valor do IQA _{PS} *	Nível de qualidade – CETESB	Valor do IQA _{PC} **	Nível de qualidade – CETESB
P01	Poço tubular da praça	70	Bom	82	Ótimo
P02	Poço tubular da caixa	93	Ótimo	82	Ótimo
P03	Logo após a estação elevatória	77	Bom	82	Ótimo
P04	Residência	77	Bom	90	Ótimo

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

* Índice de Qualidade de Água no Período Seco; ** Índice de Qualidade de Água no Período Chuvoso.

No período seco, em 3 (três) dos 4 (quatro) pontos, ou seja, 75%, foram enquadradas como nível “Bom”; enquanto, apenas o “P02” – local de captação da água para distribuição, foi enquadrado como nível “Ótimo”. Já no período chuvoso, embora os parâmetros destoantes do permitido pela legislação tenha aumentado – nitrogênio total e fósforo total –, o OD ficou dentro do permitido e 100% dos pontos foram enquadrados como IQA “Ótimo”.

Com o enquadramento do parâmetro OD e como este tem um peso maior ($w=0,17$) que nitrogênio ($w=0,10$) e fósforo ($w=0,10$) no cálculo do IQA, o aumento dos valores desses dois últimos no período chuvoso não influenciou no valor calculado do IQA para cada ponto, fato este que manteve os 4 (quatro) pontos com nível de IQA “Ótimo”, sendo influenciados diretamente pelo enquadramento do parâmetro OD, parâmetro com maior peso no cálculo do IQA.

3.3 Marcação isotópica sobre qualidade de água

Os valores observados apresentam que as razões isotópicas $\delta^{18}\text{O}$ variam de $-1,1\text{‰}$ a $-1,2 \text{‰} \pm 0,1\text{‰}$, enquanto que as razões δD situam-se entre $+0,8$ e $+1,0 \text{‰} \pm 1\text{‰}$, conforme tabela 6, a seguir, constatando que não houve diferença entre os valores encontrados e esperados. Comparando-se esses dados às referências científicas como Stradioto e Chang (2015) e Barbosa e colaboradores (2018), verifica-se que as amostras de água analisadas têm predominantemente razões isotópicas similares às da chuva, estação úmida, que demonstra que a recarga ocorre primordialmente no verão, descartando, portando, a possibilidade de origem de contaminantes advindos da recarga do lençol subterrâneo.

Tabela 6. Comportamento isotópico de pontos de análise.

Ponto	Identificação	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) $\pm 0,1\text{‰}$	δD (‰) $\pm 1\text{‰}$
P01	Poço tubular da praça	-1,2	1,0
P02	Poço tubular da caixa	-1,1	0,9
P03	Logo após a estação elevatória	-1,2	0,8
P04	Residência	-1,1	1,0
P05	Caixa d'água de residência	-1,1	1,0

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

A razão para a qual os isótopos estáveis são úteis nos estudos hidrológicos é que as reações físico-químicas entre as várias espécies causam um fracionamento dos isótopos do mesmo elemento entre os reagentes e produtos (BARBOSA et al., 2018). A base científica para o fracionamento isotópico foi inicialmente desenvolvida por Urey (1947).

O uso destes isótopos ambientais nos estudos das reservas hídricas é rotina nos países desenvolvidos. No Brasil intensifica-se o uso desta técnica não convencional que permite obter informações importantes, muitas vezes difíceis de serem obtidas pelos métodos convencionais. Destacamos, no Nordeste do Brasil, o uso de isótopos ambientais nos estudos da bacia Piauí - Maranhão (SANTIAGO et al., 1981; GEYH et al., 1991 e FRISCHKORN; SANTIAGO, 1992) e da bacia do Cariri (SANTIAGO et al., 1992, 1994, 1996 e 1997) e da bacia Potiguar (FRISCHKORN et al., 1988).

Os isótopos ambientais constituem uma importante ferramenta para os estudos sobre a origem da água subterrânea. A sua composição isotópica, especialmente as razões isotópicas O-18/O-16 e D/H, depende das chuvas que produzem as águas de recarga. Em águas

subterrâneas estas razões são parâmetros conservadores e em águas superficiais mudam por processos físico-químicos, tais como evaporação, o que faz de O-18 e D excelentes traçadores para esclarecer os mecanismos de recarga de um aquífero (CARNEIRO et al., 1998; BARBOSA et al., 2018).

4. CONCLUSÃO

Com o comparativo de sazonalidade, os dados observados não sofreram alteração que levasse a desconformidade da maioria dos parâmetros analisados conforme o padrão estabelecido pelas legislações utilizadas.

O IQA apresentou nível de qualidade entre bom e ótimo em todos os pontos amostrados e em ambos os períodos. Portanto, o sistema de abastecimento e distribuição apresenta qualidade satisfatória.

A marcação isotópica utilizando os isótopos naturais $\delta^{18}\text{O}$ e δD demonstrou a semelhança entre os valores esperados e alcançados caracterizando que a recarga do manancial subsuperficial é feita por água da chuva e que não há indicação de carreamento de contaminantes pelo processo de recarga do manancial subsuperficial.

5. REFERÊNCIAS

Amorim DG, Cavalcante PRS, Soares LS, Amorim PEC. Enquadramento e avaliação do índice de qualidade da água dos igarapés Rabo de Porco e Precuá, localizados na área da Refinaria Premium I, município de Bacabeira (MA). Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 251-259, abr. 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522017000200251&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12 jan. 2020.

ANA - Agência Nacional de Águas. (2011a). Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos / Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: ANA, 2011. Disponível em <http://www.planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias_hidrograficas/cuidando_das_aguas_final_baixa.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2019.

_____. (2011b). Indicadores de qualidade: índice de qualidade das águas (IQA). Brasília: ANA, 2011. Disponível em <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

_____. Atlas Brasil. Abastecimento Urbano de Água. Brasília: ANA, 2010. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>>. Acesso em: 17 dez. 2020.

_____. Indicadores de qualidade: índice de qualidade das águas (IQA). Disponível em <<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume1.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2019.

_____. Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012. Brasília: ANA, 2012.

_____. Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil. Brasília: ANA, 2007.

APHA - American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22st Ed. Washington, DC, 2012.

Araújo LE, Sousa FAS, Moraes Neto JM, Souto JS, Reinaldo LRLR. Bacias hidrográficas e impactos ambientais. UEPB, 2009. Disponível em: <<http://revista.uepb.edu.br/index.php/qualitas/article/viewFile/399/366>>. Acesso: 18 nov. 2019.

Arid, Fahad Moysés. Água subterrânea e saúde pública. Geologia, Meio Ambiente e Saúde – Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia%2C-Meio-Ambiente-e-Saude/Agua-Subterranea-e-Saude-Publica-%28Manancial-III%29-546.html>>. Acesso em: 17 dez. 2019.

Barbosa NS, Barbosa NS, Salles LQ. Métodos de avaliação de isótopos estáveis ($\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$) na Hidrologia: uma revisão. Terrae Didat. v.14 n.2. Campinas, SP. p. 157-172 jul./set. 2018.

BDTD UFMG. Hidroquímica. Cap. 5. 38 – 79p. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD). Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MPBB-6ZQERE/cap_tulo_05_hidroqu_mica.pdf?sequence=9>. Acesso em: 28 dez. 2017.

Bomtempo VL. Técnicas Isotópicas em Hidrologia e Sedimentologia. In: VII CGEN - Congresso Geral sobre Energia Nuclear, 1998, Belo Horizonte, MG, 1999. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/inac/1999/PDF/CG17AC.PDF>>. Acesso: 14 out. 2017.

Brasil. IBGE-2010 – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Área territorial oficial. Resolução da Presidência do IBGE de n.º 5 (R.PR-5/02). Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.sl>, Acesso: 15 out. 2017.

_____. Ministério da Casa Civil. Lei nº 9.433/1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso: 14 out. 2019.

_____. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <<https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida----o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>>. Acesso em: 2 out. 2019.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. Disponível em:

<http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf>. Acesso: 14 out. 2019.

_____. Resolução CONAMA n. 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União 2005; 18 mar.

_____. Resolução CONAMA no 396/2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da União 2008; 07 abr.

Capp N, Ayach LR, Santos TMB, Guimarães STL. Qualidade da água e fatores de contaminação de poços rasos na área urbana de Anastácio (MS). Geografia Ensino & Pesquisa, vol. 16, n. 3, set./ dez. 2012.

Carneiro CECD, Santiago MMF, Frischkorn H, Mendes Filho J, Forster M. Oxigênio-18, deutério e condutividade elétrica para caracterização da água subterrânea no Vale do Gurguéia. Revista Águas Subterrâneas. Ed. Suplementar. 1998. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/22258/14603>>. Acesso: 21 out. 2019.

Celligoi, A. Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas. Geografia, Londrina, V. 8, n. 1, p. 91-97, jan./jun. 1999. Disponível em <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/download/10207/9020>>. Acesso: 11 set. 2019.

CETESB - Companhia de Tecnologia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2017 [recurso eletrônico]. São Paulo: CETESB, 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2018/06/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Interiores-no-Estado-de-S%C3%A3o-Paulo-2017.pdf>>. Acesso: 19 jan. 2020.

_____. São Paulo. Guia de coleta e preservação de amostras de água. 1.ed. São Paulo: CETESB, 1987. 150p.

_____. Indicadores de Qualidade das Águas. São Paulo: CETESB, 1997.

_____. Guia de coleta e preservação de amostras de água. 1.ed. São Paulo: CETESB, 1987. 150p.

Clark I, Fritz P. Environmental Isotopes in Hydrogeology. New York, CRC Press, 1997. 328p. Cunha BP, Augustin S. Sustentabilidade ambiental [recurso eletrônico]: estudos jurídicos e sociais/ org. Belinda Pereira da Cunha, Sérgio Augustin. - Dados Eletrônicos. Caxias do Sul, RS: Educs, 2014. Disponível em: <https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/Sustentabilidade_ambiental_ebook.pdf>. Acesso: 15 out. 2019.

Frischkorn H, Santiago MF. The Paleoclimate of Northeast of Brazil According to Isotope Hydrology. In: Impacts of Climatic Variations and Sustainable Development in Semi-arid Regions (ICID), Fortaleza, 1992. 18p.

Frischkorn H, Santiago MF, Torquato JR. Dados isotópicos e hidroquímicos da porção oriental da Bacia Potiguar. Anais do 5º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo, 1988. p. 144-153.

Fundação CEPRO. Diagnóstico socioeconômico do município de Riacho Frio-PI. Fundação CEPRO, 2011. Disponível em: <http://www.cepro.pi.gov.br/download/201105/CEPRO03_6d449987a9.pdf>. Acesso: 12 fev. 2018.

Geyh MA, Stute M, Frischkorn H, Santiago MF. Contribuição para a história climática do Nordeste do Brasil. In: Base para o futuro: 20 anos de Cooperação Científica e Tecnológica. Ed. KFA, Julich, Alemanha, 1991. p. 159 – 165.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Área territorial oficial. Resolução da Presidência do IBGE de nº 5 (R.PR-5/02). IBGE, 2002. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/riacho-frio/pesquisa/23/22107?detalhes=true>>. Acesso: 12 fev. 2018.

INFOSANBAS. Cooperativa EITA, 2017. Disponível em: <<https://infosanbas.org.br/municipio/riacho-frio-pi/>>. Acesso: 12 fev. 2018.

Jacobi P. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. Cad. Pesqui. Nº.118. São Paulo: 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-15742003000100008>>. Acesso: 15 out. 2019.

Lins GA. Impactos ambientais em estações de tratamento de esgotos (ETEs): Rio de Janeiro, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

Lustosa RV, Lima TP, Souza, IRM; Rocha IL. Panorama do abastecimento de água no município de Riacho Frio, Piauí. In: Anais... XI CONNEPI – Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Maceió, AL, 2016. 10p.

Mesquita KFC, Santos MLS, Pereira JAR, Figueiredo BL. Avaliação da qualidade microbiológica da água consumida pela população da região amazônica um estudo de casos na ilha de Mosqueiro PA. Scientia Amazonia, v. 3, n.3, 27-31, 2014.

Moraes MS, Moreira DAS, Santos JTJA, Oliveira AP, Salgado RL. Qualidade microbiológica da água fornecida em escolas da cidade de Santa Rita (PB). Eng Sanit Ambient. v.23 n.3. maio/jun, 2018.

Nanes PLMF. Qualidade das águas subterrâneas de poços tipo cacimba: um estudo de caso da comunidade nascença – município de São Sebastião-AL. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais (IBEAS). Goiânia, GO: 2012.

Nascentes CC, Costa LM. Química Ambiental. Departamento de Química – Universidade Federal de Minas Gerais: UFMG, 2011. 155p.

Oliveira BSS, Cunha AC. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. *Rev. Ambient. Água*. vol. 9. nº 2. Taubaté Apr. /June 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1287>>. Acesso: 22 jan. 2020.

Pessoa CA, Jordão EP. Tratamento de esgotos domésticos. 4ª Ed. Rio de Janeiro: ABES, 2010.

Rocha ES, Rosico FS, Silva FL, Luz TCS, Fortuna JL. Análise microbiológica da água de cozinhas e/ou cantinas das Instituições de Ensino do município de Teixeira de Freitas (BA). *Revista Baiana Saúde Pública*, Salvador, v. 34, n. 3. Salvador-BA: 2010.

Rocha IL. Qualidade ambiental das nascentes do rio Paraim, extremo Sul do Piauí. Dissertação (Mestrado em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado) - Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, 2019. 43 p.

Santiago MF, Frischkorn H, Serejo AN, Mendes Filho J. Isotope composition of Cariri groundwater as indicator for the dynamics of aquifer recharge. I Congresso Hidrogeológico Latinoamericano. ALHSUD. Compendio de Ponencias. Merida, Venezuela, 1992. p.115 – 118.

Santiago MF, Mendes Filho J, Silva CMSV, Frischkorn H. Estudo Isotópico da Dinâmica dos Aquíferos do Cariri. In: Projeto de Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe, 101p. Recife, 1996. p.89-101.

Santiago MF, Råde H, Torquato JR, Garrett L. Idade e movimento das águas subterrâneas na região de Picos – Piauí (Bacia do Parnaíba) e sua evolução hidroquímica. In: Estudo Hidrológico do Nordeste. BNB. Série monografia, 3: 1981, 73-100.

Santiago MF, Silva CMSV, Mendes Filho J, Frischkorn H. Caracterização isotópica da água subterrânea na bacia sedimentar do Cariri. II Congresso Hidrogeológico Latinoamericano de Hidrologia Isotópica. Santiago do Chile, Vol. 2: 1994. P. 731-740.

_____. Characterization of groundwater in the Cariri (Ceará/Brasil) by environmental isotopes and electric conductivity. *Radiocarbon*, 39 (1): 1997. p. 49-60.

Silva RCA, Araújo TM. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). *Ciência & Saúde Coletiva*. 8(4):1019:1028, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.org/pdf/csc/v8n4/a23v8n4>> Acesso em: 11 out. 2017.

Sperling VM. Introdução a qualidade da água e ao tratamento de esgotos. 3ª ed. Depto. De Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte, MG. 2005.

Sperling MV. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4ª ed. Depto. De Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte, MG. 2014.

Stradioto MR, Chang HC. Composição isotópica – $\delta^{18}\text{O}$ e δD – das águas do sistema aquífero Bauru no estado de São Paulo. *Geociências*, v. 34, n. 3. São Paulo: UNESP, 2015. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/8987/8251>>. Acesso: 10 jan. 2020.

Strohschoen E, Eckardt RR, Diedrich VL, Rigelo EF. Diagnóstico da água subterrânea no município de Lajeado – RS. Revista Águas Subterrâneas. Ed. Suplementar. 2006. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/22563/14816>>. Acesso: 21 out. 2019.

Urey HC. As propriedades termodinâmicas das substâncias isotópicas. J. Chem. Soc., 1947:562-581. DOI: 10.1039/JR9470000562.

Ward ND, Keil RG, Medeiros P, Brito DC, Cunha AC, Dittmar T. Degradation of terrestrially derived macromolecules in the Amazon River. Nature Geoscience, v. 6, n. 6, p. 1-4, 19 maio 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1817>>. Acesso: 15 nov. 2019.



**INSTITUTO
FEDERAL**

Goiano

Campus
Urutaí

