



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

EMANUELLY KELLY GOMES DE OLIVEIRA

**PERCEPÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DECORRENTE AS
ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO *ONSHORE* EM COMUNIDADES RURAIS**

MOSSORÓ

2024

EMANUELLY KELLY GOMES DE OLIVEIRA

**PERCEPÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DECORRENTE AS
ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO *ONSHORE* EM COMUNIDADES RURAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Modelagem ambiental e Manejo do Solo e Água.

Orientador: Joel Medeiros Bezerra, Prof. Dr.

Coorientador: Jardel Dantas da Cunha, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

048p Oliveira, Emanuelly Kelly Gomes de.
 Percepção da qualidade das águas subterrâneas
 decorrente as atividades de exploração onshore em
 comunidades rurais / Emanuelly Kelly Gomes de
 Oliveira. - 2024.
 54 f. : il.

 Orientador: Joel Medeiros Bezerra.
 Coorientador: Jardel Dantas da Cunha.
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
 Manejo de Solo e Água, 2024.

 1. Campo Petrolífero. 2. Rio Grande do Norte.
 3. Riscos Ambientais. 4. Recursos Hídricos. I.
 Bezerra, Joel Medeiros, orient. II. Cunha, Jardel
 Dantas da, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

EMANUELLY KELLY GOMES DE OLIVEIRA

**PERCEPÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DECORRENTE AS
ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO *ONSHORE* EM COMUNIDADES RURAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Modelagem ambiental e Manejo do Solo e Água.

Defendida em: 26 / 07 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Joel Medeiros Bezerra, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Jardel Danta da Cunha, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Iane Maiara Soares de Souza, Profª. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Rafael Oliveira Batista, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Jean Leite Tavares, Prof. Dr. (IFRN)
Membro Examinador

RESUMO

A poluição derivada da indústria petrolífera é considerada um dos mais graves e problemáticos acidentes ambientais. Os hidrocarbonetos derivados do petróleo são considerados os compostos contidos no petróleo mais tóxicos para a biota e para o homem, devido ao seu caráter carcinogênico e mutagênico. Quando esses hidrocarbonetos degradam as águas subterrâneas, podem restringir ou até mesmo impedir o uso desse recurso natural. Diante dessa situação, verifica-se a relevância de avaliar a ocorrência de contaminação de águas subterrâneas nas comunidades rurais pertencentes ao Campo Petrolífero Canto do Amaro (CPCA). O presente trabalho foi executado em duas etapas principais: caracterização das condições de uso e percepção da qualidade das águas subterrâneas existentes nas comunidades rurais; e avaliação da ocorrência de indício de contaminação de águas subterrâneas existentes nas comunidades rurais. Os procedimentos metodológicos basearam-se na aplicação de questionários fechados e na utilização de parâmetros físico-químicos. Assim, foram utilizados como indicadores para o diagnóstico os parâmetros: pH, condutividade elétrica, teor de óleos e graxas e hidrocarbonetos (BTX e HAPs). Através da percepção ambiental dos moradores, foi possível determinar os usos múltiplos das águas subterrâneas das comunidades rurais do CPCA, assim como, informações imprescindíveis acerca da qualidade da água. Os usos predominantes relatados referem-se ao doméstico, irrigação e dessedentação de animais. Com relação a qualidade da água, 45% consideram a água boa, no entanto 70% já observaram alguma alteração na qualidade da água (atrelada à presença de produtos de corrosão e hidrocarbonetos). Com relação aos parâmetros físico-químicos analisados, para o pH, no período seco ou de estiagem e no período chuvoso, os resultados variaram, respectivamente, de 4,71 a 5,98 e de 4,88 a 6,01. Já a condutividade elétrica, oscilou entre 474,5 e 8.175 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 440,0 e 10.140 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os valores de turbidez ficaram compreendidos entre 0 e 1 NTU e 0 e 21,8 NTU. As concentrações do teor de óleos e graxas e dos hidrocarbonetos ficaram abaixo do limite de detecção. Apesar de não terem sido detectados hidrocarbonetos derivados do petróleo, diante dos procedimentos analíticos e laboratoriais empregados, não se pode descartar uma possível contaminação oriunda da exploração petrolífera, a partir da percepção ambiental dos moradores. Assim, recomenda-se que novas investigações sejam realizadas, por meio de um programa de monitoramento da qualidade da água dessas comunidades, a fim de se obter informações a cerca da contaminação por hidrocarbonetos derivado do petróleo e a possível restrição de seus usos para consumo humano e para agricultura.

Palavras-chave: Campo Petrolífero. Rio Grande do Norte. Riscos Ambientais. Recursos Hídricos.

ABSTRACT

Pollution from the oil industry is considered one of the most serious and problematic environmental accidents. Hydrocarbons derived from petroleum are considered the most toxic compounds contained in petroleum for biota and humans, due to their carcinogenic and mutagenic nature. When these hydrocarbons degrade groundwater, they can restrict or even prevent the use of this natural resource. Given this situation, it is important to evaluate the occurrence of groundwater contamination in rural communities belonging to the Canto do Amaro Oil Field (CAOF). This study was carried out in two main stages: characterization of the conditions of use and perception of the quality of groundwater in rural communities; and evaluation of the occurrence of signs of groundwater contamination in rural communities. The methodological procedures were based on the application of closed questionnaires and the use of physical-chemical parameters. Thus, the following parameters were used as indicators for diagnosis: pH, electrical conductivity, oil and grease content, and hydrocarbons (BTEX and PAHs). Through the environmental perception of the residents, it was possible to determine the multiple uses of groundwater in the rural communities of the CAOF, as well as essential information about water quality. The predominant uses reported are domestic, irrigation and watering animals. Regarding water quality, 45% consider the water to be good, however 70% have already observed some change in water quality (associated with the presence of corrosion products and hydrocarbons). Regarding the physical-chemical parameters analyzed, for pH, in the dry season or drought and in the rainy season, the results varied, respectively, from 4.71 to 5.98 and from 4.88 to 6.01. Electrical conductivity, on the other hand, ranged between 474.5 and 8,175 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 440.0 and 10,140 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Turbidity values ranged from 0 to 1 NTU and 0 to 21.8 NTU. Oil and grease and hydrocarbon concentrations were below the detection limit. Although no petroleum-derived hydrocarbons were detected, based on the analytical and laboratory procedures used, possible contamination from oil exploration cannot be ruled out, based on the environmental perception of residents. Therefore, it is recommended that further investigations be carried out through a water quality monitoring program in these communities, in order to obtain information about contamination by petroleum-derived hydrocarbons and the possible restriction of their use for human consumption and agriculture.

Keywords: Oil Field. Rio Grande do Norte. Environmental Risks. Water resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Mapa de localização das comunidades rurais nas imediações do CPCA	23
Figura 2	–	Localização dos poços tubulares e dos pontos de amostragem de água subterrânea no CPCA	26
Figura 3	–	Frascos empregados nas campanhas de amostragem: a) etiquetados; b) selados; c) acondicionados para preservação	27
Figura 4	–	Poço utilizado para abastecimento das comunidades rurais Melancias, Carmo e Sussuarana	29
Figura 5	–	Percepção proveniente da comunidade rural Melancias: a) usos múltiplos da água ofertada; b) qualidade da água ofertada; c) observância na alteração da qualidade da água ofertada; e d) observância da presença de óleo ou graxa na água ofertada	30
Figura 6	–	Percepção proveniente da comunidade rural Carmo: a) usos múltiplos da água ofertada; b) qualidade da água ofertada; c) observância na alteração da qualidade da água ofertada; e d) observância da presença de óleo ou graxa na água ofertada	30
Figura 7	–	Percepção proveniente da comunidade rural Sussuarana: a) usos múltiplos da água ofertada; b) qualidade da água ofertada; c) observância na alteração da qualidade da água ofertada; e d) observância da presença de óleo ou graxa na água ofertada	31
Figura 8	–	Poço utilizado para abastecimento da comunidade rural Piquiri I e II	32
Figura 9	–	Percepção proveniente da comunidade rural Piquiri I e II: a) usos múltiplos da água ofertada; b) qualidade da água ofertada; c) observância na alteração da qualidade da água ofertada; e d) observância da presença de óleo ou graxa na água ofertada	33
Figura 10	–	Poço utilizado para abastecimento das comunidades rurais Canto do Amaro e Serra Vermelha.....	33
Figura 11	–	Percepção proveniente da comunidade rural Canto do Amaro: a) usos múltiplos da água ofertada; b) qualidade da água ofertada; c) observância na alteração da qualidade da água ofertada; e d) observância da presença de óleo ou graxa na água ofertada	34

Figura 12	–	Percepção proveniente da comunidade rural Serra Vermelha: a) usos múltiplos da água ofertada; b) qualidade da água ofertada; c) observância na alteração da qualidade da água ofertada; e d) observância da presença de óleo ou graxa na água ofertada	35
Figura 13	–	Oscilação do parâmetro pH nas águas subterrâneas do CPCA durante a variação sazonal	38
Figura 14	–	Oscilação do parâmetro CE nas águas subterrâneas do CPCA durante a variação sazonal	40
Figura 15	–	Oscilação do parâmetro turbidez nas águas subterrâneas do CPCA durante a variação sazonal	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Comunidades rurais nas imediações do CPCA e informações acerca do fornecimento de água	23
Tabela 2	– Distribuição do quantitativo de famílias a serem aplicados os questionários por comunidades rurais do CPCA.....	24
Tabela 3	– Informações acerca dos poços selecionados para amostragem de água subterrânea no CPCA	25
Tabela 4	– Procedimentos adotados para realização das coletas de água subterrânea no CPCA	26
Tabela 5	– Procedimentos adotados para determinações analíticas dos parâmetros físico-químicos.....	28
Tabela 6	– Resultados dos parâmetros físico-químicos observados no período seco ou de estiagem e no período chuvoso no CPCA.....	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	11
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	14
2	ARTIGO I: PERCEPÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DECORRENTE AS ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO <i>ONSHORE</i> EM COMUNIDADES RURAIS	18
	RESUMO	18
	ABSTRACT	19
	INTRODUÇÃO	20
	MATERIAL E MÉTODOS	22
	Área do estudo	22
	Procedimentos metodológicos	24
	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
	Caracterização das condições de uso e percepção da qualidade das águas subterrâneas existentes nas comunidades rurais	28
	Avaliação da ocorrência de indício de contaminação de águas subterrâneas nas comunidades rurais	36
	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
3	CONCLUSÕES GERAIS	51
	APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE USO E QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EXISTENTES NAS COMUNIDADES RURAIS EM ESTUDO	53

1. INTRODUÇÃO GERAL

A água subterrânea é um recurso global essencial e fornece uma das maiores reservas de água doce do mundo. Em 2021, sua captação representava 26% da retirada total de água, fornecendo quase metade de toda a água potável e 43% do uso consuntivo na irrigação. A sua importância é também notória para a indústria e como fonte de energia. Nas regiões áridas e semiáridas, as águas subterrâneas caracterizam-se como o único recurso hídrico confiável (WWQA, 2021).

Segundo a Resolução do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos (CNRH) nº 15, de 11 de janeiro de 2001 (Brasil, 2001), e a do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 396, de 3 de abril de 2008 (Brasil, 2008), as águas subterrâneas são aquelas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo. No mesmo sentido, representam a parcela da hidrosfera que se encontram sob a superfície terrestre, preenchendo completamente os poros, fraturas, fissuras e outras formas de vazios das rochas e dos sedimentos, constituindo, assim, os chamados aquíferos (Giampá; Gonçalves, 2013; Hirata *et al.*, 2019).

Apresentam geralmente excelente qualidade natural e, na maioria das vezes, dispensa o tratamento pré-existente (Hirata *et al.*, 2019). Sua qualidade química e microbiológica naturalmente elevada tem sido primordial para a sobrevivência humana, o seu bem-estar e desenvolvimento (IAH, 2016).

Contudo, nas últimas décadas, devido ao desenvolvimento humano e aos impactos das alterações climáticas, têm-se notado que a qualidade das águas subterrâneas está sob elevada pressão. Este fato representa riscos para o consumo humano e afeta, em grande medida, grupos vulneráveis e desfavoráveis da sociedade. Tornando-se necessária uma avaliação global da qualidade das águas subterrâneas, visando proteger a saúde humana, manter o abastecimento alimentar e conservar os ecossistemas (WWQA, 2021).

Pode-se dizer que a qualidade das águas subterrâneas é determinada pela qualidade inicial da água que se infiltra no subsolo, pela sua interação com o ambiente subterrâneo e pelo impacto das atividades antropogênicas à superfície (agricultura) ou no subsolo (por exemplo, a exploração de petróleo e gás). Portanto, os fatores que determinam as ameaças potenciais à qualidade das águas subterrâneas são a composição e a reatividade dos estratos subterrâneos (contaminação geogênica) e as fontes contaminantes provenientes do uso da terra e de outras atividades humanas (contaminação antropogênica) (WWQA, 2021).

Giampá e Gonçalves (2013), IAH (2016), e Magalhães Júnior e Lopes (2022), apresentam contribuições acerca das atividades potencialmente impactantes para a qualidade das águas

subterrâneas. Os autores citam o uso agrícola da terra; produtos químicos industriais e combustíveis de hidrocarbonetos; e a eliminação e reutilização de águas residuais, como as principais ameaças às águas subterrâneas.

Além disso, IAH (2016) acentua que os contaminantes industriais têm uma vasta gama de propriedades que resultam em um comportamento complexo de migração em sedimentos e rochas. Dentre os mais comuns nas águas subterrâneas têm-se os hidrocarbonetos derivados do petróleo. Em que a limitada solubilidade em água destes compostos significa que as acumulações subterrâneas persistem durante décadas ou séculos. A sua mobilidade representa uma ameaça a longo prazo para a qualidade das águas subterrâneas, com fontes pontuais criando plumas longas e definíveis. Apresentam um amplo espectro de toxicidade e muitos são considerados carcinogênico para humanos por ingestão, inalação ou contato dérmico.

A migração dos hidrocarbonetos passa por fases de contaminação. A fase residual ocorre em consequência da descida vertical dos hidrocarbonetos. É caracterizada pela retenção do contaminante na superfície dos grãos ou interstícios do corpo geológico, devido a processos de sorção, adsorção química, absorção e ligações fracas, podendo ser encontrado na zona não saturada e saturada. Assim, as flutuações verticais do nível de água subterrânea provocam um espalhamento do contaminante. Na fase livre, deposita-se nos poros das camadas geológicas, ficando sobrenadante à franja capilar. O deslocamento na fase livre é vertical e horizontal, seguindo as flutuações naturais do nível d'água. A advecção é o processo predominante na formação e mobilização da fase livre dos hidrocarbonetos. A fase dissolvida é caracterizada pela solubilização dos hidrocarbonetos na água subterrânea, dependendo de seus constituintes. A difusão molecular é o principal processo formador da fase dissolvida, responsável pela maior mobilidade dos contaminantes. Já a fase vaporizada é caracterizada pela presença da fase gasosa dos componentes voláteis, ocupando os vazios do solo ou das rochas (Ribeiro; Bezerra, 2011).

O setor de petróleo e gás têm lidado diariamente com problemas de vazamento, derrames e acidentes, em toda sua cadeia produtiva; da extração até o armazenamento final de seus derivados. A poluição derivada da indústria petrolífera é considerada uma das mais graves e problemáticas com relação aos acidentes ambientais (Maciel *et al.*, 2015).

De acordo com Vivian (2015), a contaminação de mananciais hídricos por hidrocarbonetos derivados do petróleo tem sido bastante discutida nas últimas décadas. Como os estudos conduzidos por Anjos (2012); Bacchi *et al.* (2019); Bastos *et al.* (2012); Batista, Barros e Bárbara (2021); Carvalho, Dantas Filho e Dantas (2019); Freitas *et al.* (2016); Guedes (2020); Lubi e Akinluyi (2022); Oborie e Abam (2019); Ramalho (2013); Ribeiro e Bezerra (2011); Vivian (2015); e Zhao *et al.* (2020).

O petróleo é, basicamente, composto de carbono e hidrogênio, com menores parcelas de enxofre, nitrogênio e oxigênio. Os hidrocarbonetos, compostos químicos orgânicos, representam cerca de 90% dos óleos crus (Corrêa, 2003). Os principais hidrocarbonetos derivados do petróleo são o benzeno, etilbenzeno, tolueno e xilenos, denominados BTEX, e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs). Esses contaminantes são considerados os compostos contidos no petróleo mais tóxicos à biota e ao homem, devido ao caráter carcinogênico e mutagênico (Cookson, 1995). Desse modo, ao degradar águas superficiais e subterrâneas podem restringir ou até mesmo impedir o uso desses recursos naturais, impactando a saúde física dos indivíduos envolvidos diretamente na exploração petrolífera e aqueles que residem nas adjacências de campos exploratórios (Euzébio; Rangel; Marques, 2019).

Como foi explanado, as águas subterrâneas podem ter sua qualidade alterada ou serem contaminadas. Assim, o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas é um instrumento imprescindível para o seu diagnóstico e gestão, visando à adoção de medidas preventivas e de controle aplicadas às fontes potencialmente poluidoras (CETESB, 2022). A sua qualidade deve ser avaliada por meio de comparação aos padrões de referência estabelecidos nas legislações vigentes, como a Resolução CONAMA nº 396/2008 (Brasil, 2008) e o Anexo da Portaria do Ministério da Saúde nº 888/2021 (Brasil, 2021).

O Campo Petrolífero Canto do Amaro (CPCA) é considerado o maior produtor de petróleo *onshore* nacional (ANP, 2023). Apresentando uma área de desenvolvimento de 362,79 km². Com 1.882 poços perfurados, sendo 886 poços produtores e 381 poços injetores (ANP, 2018). Compreendido entre os municípios de Mossoró e Areia Branca, o CPCA encontra-se localizado em uma área de significativa pressão antrópica e próximo a comunidades rurais que vivem em condições socioeconômicas e ambientais frágeis, tornando-se uma área vulnerável, expostas a riscos e ameaças (Pinto Filho, 2016).

A região possui aquíferos subterrâneos que têm grande relevância econômica e social, por permitirem a agricultura irrigada e o abastecimento de água. Apesar da existência deste recurso hídrico, o município caracteriza-se pela presença de petróleo em seu subsolo, constituindo-se em umas das principais reservas continental do país. Este fato causa uma situação adversa em relação à exploração de poços tubulares da região, uma vez que pode haver comprometimento da qualidade em função da presença de petróleo (Mossoró, 2010).

Uma vez que a exploração convencional e não convencional de hidrocarbonetos (petróleo e gás) pode representar um risco significativo para a qualidade das águas subterrâneas (IAH, 2015), uma maior atenção à água, e especificamente à qualidade das águas subterrâneas, é de extrema importância para a consecução dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

(ODS), especialmente relacionados com a segurança hídrica (ODS 6), a saúde (ODS 3) e a produção de alimentos (ODS 2) (WWQA, 2021).

Diante dessa situação, verifica-se a relevância de se avaliar a ocorrência de contaminação das águas subterrâneas utilizadas para consumo humano e irrigação nas comunidades rurais do CPCA, que são constituídas de agricultores familiares. Posto que, a contaminação das águas subterrâneas restringe seu uso para fins agrícolas e para consumo humano. Neste caso, sua utilização fica condicionada ao manejo da água para irrigação e outros usos menos restritivos. Assim, o presente trabalho foi executado em duas etapas principais: caracterização das condições de uso e percepção da qualidade das águas subterrâneas existentes nas comunidades rurais; e avaliação da ocorrência de indício de contaminação de águas subterrâneas existentes nas comunidades rurais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Canto do Amaro**. Plano de Desenvolvimento Aprovado. Reunião de Diretoria nº 942 de 15/08/2018. Resolução nº 496/2018. 2018. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/gestao-de-contratos-de-e-p/fase-de-producao/pd/canto_do_amaro.pdf. Acesso em: 07 jul. 2024.

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Encarte de consolidação da produção 2023**. Boletim da produção de petróleo e gás natural. Superintendência de Desenvolvimento e Produção (SDP). 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/boletins/arquivos-bmppgn/2023/encarte-boletim-dezembro.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2024.

ANJOS, R. B. dos. **Avaliação de HPA e BTEX no solo e água subterrânea, em postos de revenda de combustíveis: estudo de caso na cidade de Natal-RN**. 2012. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/12978/1/AvaliacaoHPABTEX_Anjos_2012.pdf. Acesso em: 07 jul. 2024.

BACCHI, C. G. V. *et al.* Controle da contaminação do solo e água subterrânea em postos de combustível. In: Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, IV, 2019. **Anais [...]** ABAS, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v0i0.29657>.

BASTOS, A. G. L. *et al.* Avaliação espacial da contaminação das águas subterrâneas provenientes dos pontos de revenda de combustíveis no município de Juazeiro do Norte-CE. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, XVII, 2012. **Anais [...]** ABAS, 2012. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27621/17878>. Acesso em: 07 jul. 2024.

BATISTA, F. V.; BARROS, R. G.; BÁRBARA, V. F. Contaminação da água subterrânea e do solo por hidrocarbonetos oriundos de postos de serviços de Brasília, Distrito Federal, Brasil. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 82, p. 256-272, ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG228256023>.

Brasil. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR). Conselho Nacional de Recurso Hídricos (CNRH). **Resolução nº 15, de 11 de janeiro de 2001**. Estabelece diretrizes gerais para gestão de águas subterrâneas. 2001. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2018/02/Resolu%C3%A7%C3%A3o-n%C2%BA-15-de-11-de-Janeiro-de-2001-CNRH.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2024.

Brasil. Ministério da Saúde (MS). **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_24_05_2021_rep.html1. Acesso em: 07 jul. 2024.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. 2008. Disponível em: <https://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2024.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 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. 2005. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 07 jul. 2024.

CARVALHO, F. I. M.; DANTAS FILHO, H. A.; DANTAS, K. das G. F. Simultaneous determination of 16 polycyclic hydrocarbons in groundwater by GC-FID after solid-phase extraction. **SN Applied Sciences**, v. 1, n. 804, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0839-z>.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas subterrâneas no estado de São Paulo: 2019 – 2021**. São Paulo: CETESB, 2022. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2023/06/QualidadeAguasSubterraneas-2019-2021_F.pdf. Acesso em: 07 jul. 2024.

COOKSON, T. **Bioremediation engineering: design and application**. New York: McGraw Hill, 1995.

CORRÊA, O. L. S. **Petróleo: noções sobre exploração, perfuração, produção e microbiologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

EUZEBIO, C. S. RANGEL, G. da S.; MARQUES, R. C. Derramamento de petróleo e seus impactos no ambiente e na saúde humana. **RBCIAMB**, n. 52, p. 79-98, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820190472>.

FREITAS, E. V. C. de *et al.* Avaliação do uso da cromatografia gasosa para detecção de hidrocarbonetos monoaromáticos na água subterrânea na região norte do município de Fortaleza (CE). **Águas Subterrâneas**, v. 30, n. 2, p. 289-305, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v30i2.28609>.

GIAMPÁ; C. E. Q.; GONÇALES, V. G. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

GUEDES, P. A. P. **Avaliação dos valores orientadores de investigação para os hidrocarbonetos totais de petróleo em solos e água subterrânea de Minas Gerais**. 2020. 78 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: https://www.dcta.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/21/2021/01/201422080161_Pedro-Augusto.pdf. Acesso em: 07 jul. 2024.

HIRATA, R. *et al.* **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil**: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2019. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002928658>. Acesso em: 07 jul. 2024.

IAH. International Association of Hydrogeologists. Strategic overview series. **Human health & groundwater**. 2016. Disponível em: https://iah.org/wp-content/uploads/2016/04/IAH_HumanHealthGdwtr.pdf. Acesso em: 07 jul. 2024.

IAH. International Association of Hydrogeologists. Strategic overview series. **Energy generation & groundwater**. 2015. Disponível em: <https://iah.org/wp-content/uploads/2015/11/IAH-Energy-Generation-Groundwater-Nov-2015.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2024.

LUBI, S. P.; AKINLUYI, F. O. Groundwater hydrocarbon contamination spatial pattern in Opuama, Western Niger-Delta, Nigeria. **Environmental Earth Sciences**, v. 81, n. 121, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10250-x>.

MACIEL, A. G. P. C. *et al.* Contaminação do subsolo por hidrocarbonetos do petróleo. **Ciências exatas e tecnológicas**, Maceió, v. 3, n.1, p. 57-64, nov. 2015. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/2639/1529>. Acesso em: 07 jul. 2024.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; LOPES, F. W. de A. **Recursos hídricos**: as águas na interface sociedade-natureza. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2022.

MOSSORÓ. Prefeitura Municipal de Mossoró. Secretária de Desenvolvimento Territorial e Ambiental. **Plano de desenvolvimento para o sistema de saneamento básico do município de Mossoró**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: https://docplayer.com.br/31817847-Plano-de-desenvolvimento-para-o-sistema-de-saneamento-basico-do-municipio-de-mossoro.html#google_vignette. Acesso em: 07 jul. 2024.

OBORIE, E. ABAM, T. K. S. Characterization of soil and groundwater for project development in Ekakpamre, Delta State, Nigeria. **International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology**, v. 4, n. 7, p. 285-291, 2019. DOI: 10.33564/ijeast.2019.v04i07.048.

PINTO FILHO, J. L. de O. **Avaliação socioeconômica e ambiental da atividade petrolífera na região do Campo Canto do Amaro, RN, Brasil**. 2016. 264 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/22239/1/JorgeLuisDeOliveiraPintoFilho_TES E.pdf. Acesso em: 07 jul. 2024.

RAMALHO, A. M. Z. **Investigação e gerenciamento de áreas contaminadas por postos revendedores de combustíveis em Natal/RN**. 2013. 230 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/13028>. Acesso em: 07 jul. 2024.

RIBEIRO, H. M. C.; BEZERRA, G. do R. Avaliação de BTEX em poços tubulares de captação de água para consumo humano nas proximidades de um posto de combustível de Belém – Pará – Brasil. In: World Water Congress, 2011, Pernambuco. **Anais [...]** Pernambuco: IWRA, 2011. Disponível em: <https://iwra.org/proceedings/congress/resource/PAP00-5743.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2024.

VIVIAN, R. B. **Análise de contaminação em solo e água subterrânea por hidrocarbonetos derivados de petróleo**. 2015. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7649>. Acesso em: 07 jul. 2024.

WWQA. World Water Quality Alliance. **Assessing groundwater quality: a global perspective**. Importance, methods and potential data sources. A report by the friends of groundwater in the world water quality alliance. Information document annex for display at the 5 th session of the united nations environment assembly, Nairobi, 2021. Disponível em: https://groundwater-quality.org/sites/default/files/2021-01/Assessing%20Groundwater%20Quality_A%20Global%20Perspective.pdf. Acesso em 07 jul. 2024.

ZHAO, B.; HUANG, F.; ZHANG, C.; HUANG, G.; XUE, Q.; LIU, F. Pollution characteristics of aromatic hydrocarbons in the groundwater of China. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 233, ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2020.103676>.

2. ARTIGO 1: PERCEPÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DECORRENTE AS ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO *ONSHORE* EM COMUNIDADES RURAIS

RESUMO

A cadeia produtiva do petróleo, diante da sua infraestrutura de exploração e processamento, provoca impactos negativos aos ecossistemas naturais e a qualidade de vida das comunidades locais, incluindo à contaminação química de corpos hídricos, alterando a sua potabilidade. Hidrocarbonetos derivados do petróleo compõe o grupo das substâncias mais preocupantes, pois apresentam maior mobilidade e persistência no meio natural e são tóxicos para diversos organismos. Decorrente desse fato, o presente trabalho propõe avaliar a ocorrência de contaminação de águas subterrâneas nas comunidades rurais do Campo Petrolífero Canto do Amaro (CPCA), conseqüente a presença de atividades de exploração *onshore*. A execução da presente pesquisa foi mediante a: caracterização das condições de uso e percepção da qualidade das águas subterrâneas existentes nas comunidades rurais; e avaliação da ocorrência de indício de contaminação de águas subterrâneas existentes nas comunidades rurais. A obtenção de informações baseou-se na aplicação de questionário fechado nas comunidades rurais em estudo. De modo a diagnosticar a qualidade das águas subterrâneas foram utilizados como indicadores os parâmetros: pH, condutividade elétrica, turbidez, teor de óleos e graxas e concentrações de hidrocarbonetos (BTEX e HPAs). As concentrações obtidas foram comparadas aos valores de referências das legislações vigentes (Resolução CONAMA nº 396/2008 e Portaria do Ministério da Saúde nº 888/2021). Diante do processo de aplicação dos questionários junto as famílias entrevistadas, entre os distintos usos múltiplos da água fornecida, constatou-se a predominância das atividades de uso doméstico, irrigação e dessedentação de animais. Apesar de cerca de 45% dos entrevistados consideram a água boa, 70% já observaram alteração na qualidade da água ofertada, relativa à presença de produtos de corrosão e hidrocarbonetos. Arelado a isso, 68% consomem a água sem nenhum tratamento prévio. Com relação aos parâmetros físico-químicos analisados, para o pH, no período seco ou de estiagem e no período chuvoso, os resultados variaram, respectivamente, de 4,71 a 5,98 e de 4,88 a 6,01. Já a condutividade elétrica, oscilou entre 474,5 e 8.175 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 440,0 e 10.140 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os valores de turbidez ficaram compreendidos entre 0 e 1 NTU e 0 e 21,8 NTU. As concentrações do teor de óleos e graxas e dos hidrocarbonetos ficaram abaixo do limite de detecção do aparelho analítico. Assim, diante dos procedimentos analíticos e laboratoriais empregados não foi possível constatar valores detectáveis que indicassem contaminação do aquífero local decorrente da atividade petrolífera. No entanto, ao se deparar com a percepção dos moradores, recomenda-se que novas investigações acerca da qualidade da água sejam realizadas, empregando distintos equipamentos de amostragem e análise laboratorial, por meio de um programa de monitoramento.

Palavras-chaves: CPCA. Poluição ambiental. Aquíferos. Hidrocarbonetos. Usos múltiplos da água.

PAPER 1: PERCEPTION OF GROUNDWATER QUALITY RESULTING FROM ONSHORE EXPLORATION ACTIVITIES IN RURAL COMMUNITIES

ABSTRACT

The oil production chain, given its exploration and processing infrastructure, causes negative impacts on natural ecosystems and the quality of life of local communities, including chemical contamination of water bodies, altering their potability. Hydrocarbons derived from petroleum are among the most worrisome substances, as they are more mobile and persistent in the natural environment and are toxic to several organisms. As a result of this fact, this study aims to evaluate the occurrence of groundwater contamination in rural communities in the Canto do Amaro Oil Field (CAOF), resulting from the presence of onshore exploration activities. This research was carried out through: characterization of the conditions of use and perception of the quality of groundwater in rural communities; and evaluation of the occurrence of evidence of groundwater contamination in rural communities. Information was obtained based on the application of a closed questionnaire in the rural communities under study. In order to diagnose the quality of groundwater, the following parameters were used as indicators: pH, electrical conductivity, turbidity, oil and grease content, and hydrocarbon concentrations (BTEX and HPAs). The concentrations obtained were compared to the reference values of current legislation (CONAMA Resolution N° 396/2008 and Ministry of Health Ordinance N° 888/2021). In the process of applying the questionnaires to the interviewed families, among the different multiple uses of the water supplied, the predominance of domestic use, irrigation, and watering of animals was found. Although approximately 45% of the interviewees consider the water to be good, 70% have already observed changes in the quality of the water supplied, related to the presence of corrosion products and hydrocarbons. Linked to this, 68% consume the water without any prior treatment. Regarding the physical-chemical parameters analyzed, for pH, in the dry season and in the rainy season, the results varied, respectively, from 4.71 to 5.98 and from 4.88 to 6.01. The electrical conductivity ranged from 474.5 to 8,175 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and from 440.0 to 10,140 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The turbidity values ranged from 0 to 1 NTU and from 0 to 21.8 NTU. The concentrations of oil and grease content and hydrocarbons were below the detection limit of the analytical device. Therefore, given the analytical and laboratory procedures employed, it was not possible to find detectable values that would indicate contamination of the local aquifer resulting from oil activity. However, when faced with the residents' perception, it is recommended that new investigations into water quality be carried out, using different sampling and laboratory analysis equipment, through a monitoring program.

Keywords: CAOF. Environment pollution. Aquifers. Hydrocarbons. Multiple uses of water.

INTRODUÇÃO

A exploração e produção petrolífera será por muito tempo um dos vetores mais importantes da economia mundial, ocasionando reflexos nas mais diversas áreas da sociedade (Costa; Martins; Pegado, 2010). Não obstante seus aspectos econômicos e estratégicos de suma importância para a gestão e política mundial, a indústria do petróleo enfrenta diversas restrições para sua expansão, sendo a questão ambiental, na atualidade, um dos fatores de maior relevância nesse contexto (Goldemberg *et al.*, 2014).

A dependência energética mundial, pautada nos produtos e subprodutos do petróleo, causa uma maior exposição a desastres ambientais nas áreas exploradas (Euzébio; Rangel; Marques, 2019). Tradicionalmente, a exploração desse recurso mineral envolve atividades com alto índice poluidor. Desde a fase de prospecção até o seu descomissionamento, estão presentes aspectos associados a diversos impactos ambientais aos ecossistemas naturais e a qualidade de vida das comunidades locais, incluindo à contaminação química de corpos hídricos, alterando a sua potabilidade (Frases; Ellis, 2019; IFC, 2007; Magrini; Botelho, 2011; Sobral; Silva, 2015).

O petróleo bruto é uma mistura extremamente complexa de muitos compostos orgânicos, sendo os hidrocarbonetos os mais importantes (Andrade; Augusto; Jardim, 2010). As preocupações relacionadas ao potencial de contaminação de águas subterrâneas por estes compostos tem sido destaque nas últimas décadas, principalmente em função da periodicidade com que episódios de contaminação são verificados e da gravidade com que o meio ambiente é afetado (Ribeiro; Bezerra, 2011), comprometendo principalmente os recursos hídricos subterrâneos.

As águas subterrâneas são essenciais para a vida. Além do abastecimento público nas sedes urbanas, o uso desse recurso é importante nas atividades industriais e de serviços, ao passo que nas áreas rurais, o seu uso se estende não somente para o consumo humano, como também para dessedentação de animais, irrigação e na agroindústria (CETESB, 2022). Em uma análise global, a presença de águas subterrâneas de qualidade adequada pode proporcionar um abastecimento de água muito mais barato e mais confiável do que as fontes de águas superficiais, e torna mais fácil a tarefa de fornecer um serviço mínimo conveniente às comunidades mais pobres e dispersas. Estas, atendem plenamente aos critérios dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, particularmente aqueles relacionados aos ODS 6 (segurança hídrica), ODS 3 (saúde) e ODS 2 (produção de alimentos) (IAH, 2022a).

Mais de 50% da população mundial e um grande número de atividades econômicas (notavelmente a agricultura) dependem das águas subterrâneas (IAH, 2022b). No entanto, por

meio de processos de contaminação, essa água pode sofrer alterações em suas características físico-químicas e biológicas, ocasionando consequências de ordem social, econômica, política, ambiental, ecológica e de saúde (Pinto Filho; Souza; Petta, 2018), atribuindo uma importante parcela dessa contaminação às atividades de exploração petrolífera.

Um dos maiores problemas de contaminação das águas subterrâneas são atribuídos aos hidrocarbonetos derivados do petróleo, onde uma quantidade significativa desses poluentes pode ser emitida devido a vazamentos durante a exploração de poços petrolíferos (Baimatova *et al.*, 2016; Pascale *et al.*, 2018). Os hidrocarbonetos monoaromáticos, tais como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), compõem o grupo das substâncias ambientalmente mais preocupantes, pois apresentam maior mobilidade e persistência no meio natural e são tóxicas para diversos organismos. Por serem lipossolúveis, agem como depressores do sistema nervoso central, podendo propiciar o desenvolvimento de câncer, mutações e o envenenamento severo de populações expostas (Adeyeme *et al.*, 2009; Bodelão *et al.*, 2017; Granziera; Rei, 2015).

No solo, estes compostos são capazes de acompanhar o fluxo de água através de seus poros migrando até o lençol freático, dependendo significativamente de sua densidade comparada à densidade da água. Os hidrocarbonetos menos densos formam uma massa que flutuam sobre a parte superior do lençol freático refletindo as condições de dispersão dos poluentes, denominadas plumas de contaminação (Beal, 2015). Esses, ao entrarem em contato com o solo, podem situar-se em quatro fases distintas: residual, livre, dissolvida e vaporizada (Ribeiro; Bezerra, 2011). A quantidade dos contaminantes que atinge o lençol freático depende da sua quantidade inicial, da distância vertical que separa o ponto de vazamento ou derramamento do lençol freático e da quantidade residual do produto que ficará retida no solo, além de sua conjunção ser determinante para que o produto atinja ou não a zona saturada (Oliveira, 1992).

O Campo Petrolífero Canto do Amaro (CPCA) é a região de maior produção nacional de petróleo *onshore* (ANP, 2023), com sua respectiva infraestrutura de exploração, perfuração e produção de petróleo e gás situada em comunidades rurais dos municípios de Mossoró e Areia Branca, no estado do Rio Grande do Norte (Pinto Filho; Souza; Petta, 2018). De acordo com os autores, apesar dessa dinâmica econômica, essa área encontra-se em situação de vulnerabilidade socioambiental, podendo se caracterizar como uma grande ameaça às águas subterrâneas da região.

Nesse sentido, considerando a importância do tema, o presente trabalho objetiva avaliar a ocorrência de contaminação de águas subterrâneas nas comunidades rurais do CPCA,

decorrente a presença de atividades de exploração *onshore*.

MATERIAL E MÉTODOS

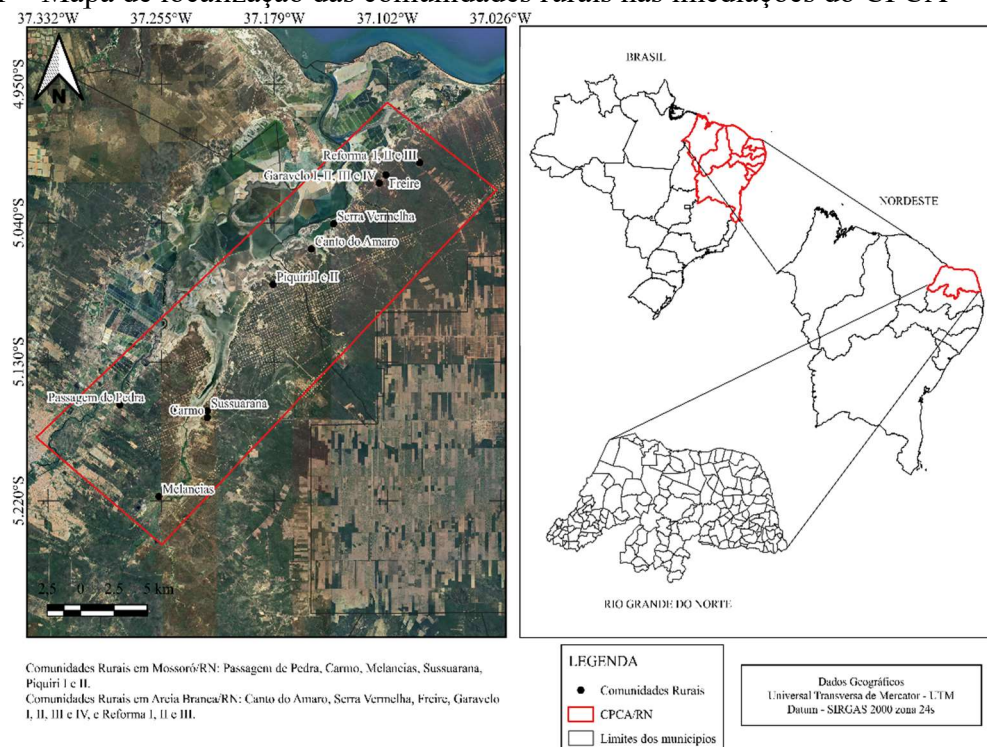
Área do estudo

O estudo foi desenvolvido nas comunidades rurais nas imediações do Campo Petrolífero Canto do Amaro (CPCA), o qual está localizado na porção emersa da Bacia Potiguar (representada pela disposição geológica do aquífero Jandaíra e Açu), a cerca de 260 km da cidade de Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte (ANP, 2018; Barbosa *et al.*, 2017).

O CPCA compreende uma área de aproximadamente 363,79 km², concentrando mais de 1.882 poços de petróleo perfurados, sendo 886 poços produtores e 381 injetores. O atual sistema de produção da concessão é composto por 24 estações coletoras, 129 tanques de produção e teste, 01 estação de tratamento de água produzida e 03 estações de injeção de água (ANP, 2018). Em 2023, o CPCA foi responsável pela maior produção nacional de petróleo *onshore* (8.593 Mbbl/dia), correspondendo a 8,23% da produção total (bbl/dia) (ANP, 2023). O principal reservatório produtor de óleo do campo pertence à Formação Geológica Açu (Petta *et al.*, 2007). O CPCA está operando desde 1986, e prevê-se seu término de produção em 2052 (ANP, 2018).

Sendo o CPCA formado por comunidades rurais pertencentes aos municípios de Mossoró e Areia Branca, locais objeto desse estudo (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização das comunidades rurais nas imediações do CPCA



Fonte: Adaptado de Pinto Filho; Souza; Petta (2018).

A captação e o fornecimento de água a essas comunidades apresentam certas limitações e ocorrem de forma heterogênea, por meio de poços tubulares e carros-pipas (Tabela 1).

Tabela 1 – Comunidades rurais nas imediações do CPCA e informações acerca do fornecimento de água

Comunidade rural	Município	Fornecimento de água
Melancias	Mossoró	Poço tubular
Carmo	Mossoró	Poço tubular
Sussuarana	Mossoró	Poço tubular
Passagem de Pedra	Mossoró	Carro-pipa
Piquiri I e II	Mossoró	Poço tubular
Canto do Amaro	Areia Branca	Poço tubular
Serra Vermelha	Areia Branca	Poço tubular
Garavelo I, II, III e IV	Areia Branca	Carro-pipa
Freire	Areia Branca	Carro-pipa
Reforma I, II e III	Areia Branca	Carro-pipa

Fonte: Adaptada de Pinto Filho; Souza; Petta (2018).

Além da atividade petrolífera existente, o uso e ocupação do solo nessas comunidades é caracterizado por outras atividades econômicas (como: salineira, pesqueira, carcinicultura e produção de energia eólica). Atividades que podem impactar o solo e as águas superficiais e subterrâneas presentes.

Procedimentos metodológicos

O presente estudo foi executado em duas etapas principais: caracterização das condições de uso e percepção da qualidade das águas subterrâneas existentes nas comunidades rurais; e avaliação da ocorrência de índice de contaminação de águas subterrâneas existentes nas comunidades rurais.

Para caracterização das condições de uso e qualidade das águas subterrâneas existentes nas comunidades rurais em estudo foram realizadas visitas *in loco*, assim como, entrevistas com a população das comunidades rurais, nos meses de outubro e novembro de 2023, para obtenção do histórico de uso e ocupação do solo, tal como elencar os usos da água e suas condições de manejo, por meio da estruturação e aplicação de questionário fechado (Apêndice A).

Como fonte de dados referentes ao número de residências das comunidades rurais pertencentes à região do CPCA foram utilizados os dados obtidos por Pinto Filho, Souza e Petta (2018). Para definição do tamanho da amostra seguiu o proposto por Bolfarine e Bussad (2005).

Com isso, o tamanho da amostra para uma população de 750 (N=750), com margem de erro de 10%, confiança de 90% e variabilidade máxima, foi:

$$n = \frac{N}{4(N-1) \left(\frac{E}{Z_{\infty/2}} \right)^2} = \frac{750}{4(750-1) \left(\frac{0,10}{1,645} \right)^2} = 68$$

Nota: N = tamanho da amostra; $Z_{\infty/2}$ = valor crítico da distribuição de probabilidade normal (para 90% de confiança, $Z = 1,645$); E = margem de erro (em percentual).

A amostra definida foi de 68 questionários, distribuídos de forma proporcional à população de cada comunidade em estudo (Tabela 2).

Tabela 2 – Distribuição do quantitativo de famílias a serem aplicados os questionários por comunidades rurais do CPCA

Comunidade rural	Domicílios	Amostragem
Melancias	40	4
Carmo	40	4
Sussuarana	110	10
Passagem de Pedra	80	7
Piquiri I e II	160	14
Canto do Amaro	70	6
Serra Vermelha	100	9
Garavelo I, II, III e IV	20	2
Freire	30	3
Reforma I, II e III	100	9
Total	750	68

Fonte: Adaptada de Pinto Filho; Souza; Petta (2018).

A realização da avaliação do índice da ocorrência de contaminação de águas subterrâneas existentes nas comunidades rurais em estudo compreendeu quatro etapas:

Inicialmente a definição das estações de amostragem foi pautada no levantamento de poços tubulares existentes na área do estudo por meio de visitas *in loco*. As estações de amostragem foram selecionadas de acordo com os seguintes critérios: situar-se espacialmente distribuída de forma a compor uma rede amostral abrangente; se localizarem em regiões com elevada concentração de pessoas potencialmente expostas e próximas as possíveis fontes poluidoras; e estarem em operação sendo utilizadas para abastecimento urbano/domiciliar ou irrigação. Assim, a fim de se avaliar a contaminação da água subterrânea, foram definidos cinco poços para amostragem de água (Tabela 3).

Tabela 3 – Informações acerca dos poços selecionados para amostragem de água subterrânea no CPCA

Poço	Comunidade Rural	Localização	Profundidade	Possíveis fontes poluidoras	Usos múltiplos
Poço 1	Melancias	5°13'19''S 37°14'56''W	2000 m	Atividade petrolífera	Abastecimento urbano e irrigação das comunidades rurais Melancias, Carmo e Sussuarana
Poço 2	Carmo	5°10'55''S 37°13'38''W	150 m	Atividade petrolífera	Abastecimento domiciliar e irrigação da Fazenda Chiola
Poço 3	Carmo	5°10'57''S 37°13'35''W	100 m	Atividade petrolífera	Abastecimento domiciliar e irrigação da Fazenda Chiola
Poço 4	Piquiri I	5°05'23''S 37°09'45''W	1041 m	Atividade petrolífera, salineira e pesqueira	Abastecimento urbano e irrigação da comunidade rural Piquiri I e II
Poço 5	Canto do Amaro	5°04'37''S 37°08'56'' W	1000 m	Atividade petrolífera, salineira e pesqueira	Abastecimento urbano e irrigação das comunidades rurais Canto do Amaro e Serra Vermelha

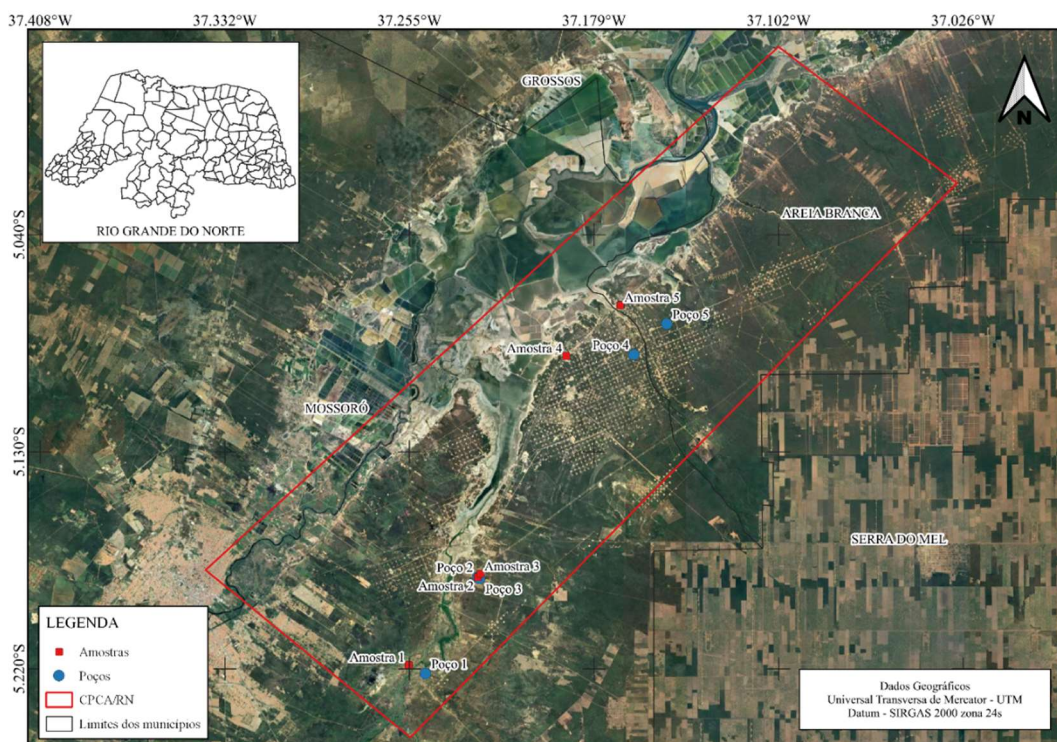
Nota: Possíveis fontes poluidoras e usos múltiplos da água obtidos através de visitas *in loco* nas comunidades rurais com aplicação de questionário fechado (Apêndice A).

Fonte: Autora (2024).

Quanto aos procedimentos de coleta de águas subterrâneas nas estações de amostragem foram realizadas mediante a determinação de campanhas de amostragem, as quais foram executadas em dois períodos sazonais distintos, dezembro de 2023 (período seco ou de estiagem na região de estudo) e março de 2024 (período chuvoso). As amostras foram obtidas em pontos de saída de água (torneiras) mais próximos aos poços tubulares pré-existent selecionados (Figura 2). As torneiras foram abertas, para que se pudesse sair a água estagnada da tubulação,

em seguida foram efetuadas as coletas com posterior acondicionamento e direcionamento a laboratório credenciado para realização das análises.

Figura 2 – Localização dos poços tubulares e dos pontos de amostragem de água subterrânea no CPCA



Fonte: Autora (2024).

Visando a preservação dos analitos de interesse, os seguintes procedimentos foram adotados para a realização das coletas (Tabela 4):

Tabela 4 – Procedimentos adotados para realização das coletas de água subterrânea no CPCA

Parâmetro	Frasco/ Volume	Preservação	Observações em campo
Potencial hidrogeniônico (pH)	Plástico/ 250 mL	-	-
Condutividade elétrica (CE)	Plástico/ 250 mL	-	-
Turbidez	Plástico/ 250 mL	Refrigerada a $\leq 6^{\circ}\text{C}$	-
Teor de óleos e graxas (TOG)	Vidro boca larga/ 1000 mL	Preservada com HCL 1:1 até pH < 2 e refrigerada a $\leq 6^{\circ}\text{C}$	A amostra foi coletada sem a presença de bolhas e espaços vazios
Hidrocarbonetos monoaromáticos (BTEX)	Vidro vial/40 mL	Preservada com HCL 1:1 até pH < 2 e refrigerada de 0°C a 6°C e envolta com papel alumínio	A tampa do vial apresentava septo de silicone com teflon e a amostra foi coletada sem a presença de bolhas e espaços vazios
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs)	Vidro âmbar/ 1000 mL	Refrigerada de 0°C a 6°C	A amostra foi coletada sem a presença de bolhas e espaços vazios

Fonte: Adaptado de USEPA (2018).

Todas as amostras foram coletadas em duplicatas. Cada frasco foi devidamente etiquetado, identificado e georreferenciado (Figura 3A). Frascos replicados de um único ponto de amostragem foram selados juntos em um único saco plástico (Figura 3B). As amostras foram preservadas, como especificado acima, até o momento do preparo para posteriores análises (Figura 3C). Todos os frascos utilizados na coleta foram devidamente higienizados e enxaguados com água destilada deionizada. Após a limpeza minuciosa foram colocados em estufa e secos a 100 °C por aproximadamente uma hora.

Figura 3 – Frascos empregados nas campanhas de amostragem: a) etiquetados; b) selados; e c) acondicionados para preservação.



Fonte: Autora (2024).

Por conseguinte, foram determinados e quantificados em amostras de água subterrânea os seguintes parâmetros físico-químicos: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), turbidez, teor de óleos e graxas (TOG) e as concentrações de BTEX (benzeno, etilbenzeno, tolueno e xilenos) e HPAs (acenafteno, acenaftileno, antraceno, benz[a]antraceno, benzo[a]pireno, benzo[b]fluoranteno, benzo[g,h,i]perileno, benzo[k]fluoranteno, criseno, dibenzo[a,h]antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, indeno[1,2,3cd]pireno, naftaleno e pireno).

As metodologias analíticas que foram adotadas para determinação dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água foram descritas na Tabela 5:

Tabela 5 – Procedimentos adotados para determinações analíticas dos parâmetros físico-químicos

Parâmetro	Local da análise	Descrição da análise	Norma e/ou procedimento
Potencial hidrogeniônico (pH)	<i>In loco</i>	Determinação por sonda portátil	-
Condutividade elétrica (CE)	<i>In loco</i>	Determinação por sonda portátil	-
Turbidez	Laboratório de Engenharia de Poços	Determinação pela técnica Nefelométrica	SMWW 2130B
Teor de óleos e graxas (TOG)	NUPPRAR / LABPROBIO	Determinação por Espectroscopia a Laser de Infravermelho Médio	ASTM D7678-11
Hidrocarbonetos monoaromáticos (BTEX)	NUPPRAR / LABPROBIO	Determinação por Cromatografia Gasosa – Espectrometria de Massas (GC-MS)	USEPA 8260C
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs)	NUPPRAR / LABPROBIO	Determinação por Cromatografia Gasosa – Espectrometria de Massas (GC-MS)	USEPA 8270D

Nota: Laboratório de Engenharia de Poços localizado na UFERSA; Laboratório de Análises Físico-Químicas localizado na UFRN (NUPPRAR/ LABPROBIO).

Fonte: SMWW (1995); USEPA (2006, 2014).

Para a avaliação dos aspectos técnicos e legais, diante dos valores das concentrações obtidas foram comparados aos valores de referência das legislações vigentes, Resolução CONAMA nº 396/2008 (Brasil, 2008) e a Portaria do Ministério da Saúde nº 888/2021 (Brasil, 2021).

A Resolução CONAMA nº 396/2008 (Brasil, 2008) dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Já a Portaria do Ministério da Saúde nº 888/2021 (Brasil, 2021), dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização das condições de uso e percepção da qualidade das águas subterrâneas existentes nas comunidades rurais

Diante do processo de aplicação dos questionários junto as famílias entrevistadas nas comunidades rurais do CPCA, realizou-se análise setorizada por comunidade rural de forma isolada, desta forma, possibilitando compreender a percepção local dos moradores.

As comunidades rurais Melancias, Carmo e Sussuarana são abastecidas por poço tubular cedido pela Petrobras (Poço 1: Figura 2 e Figura 4).

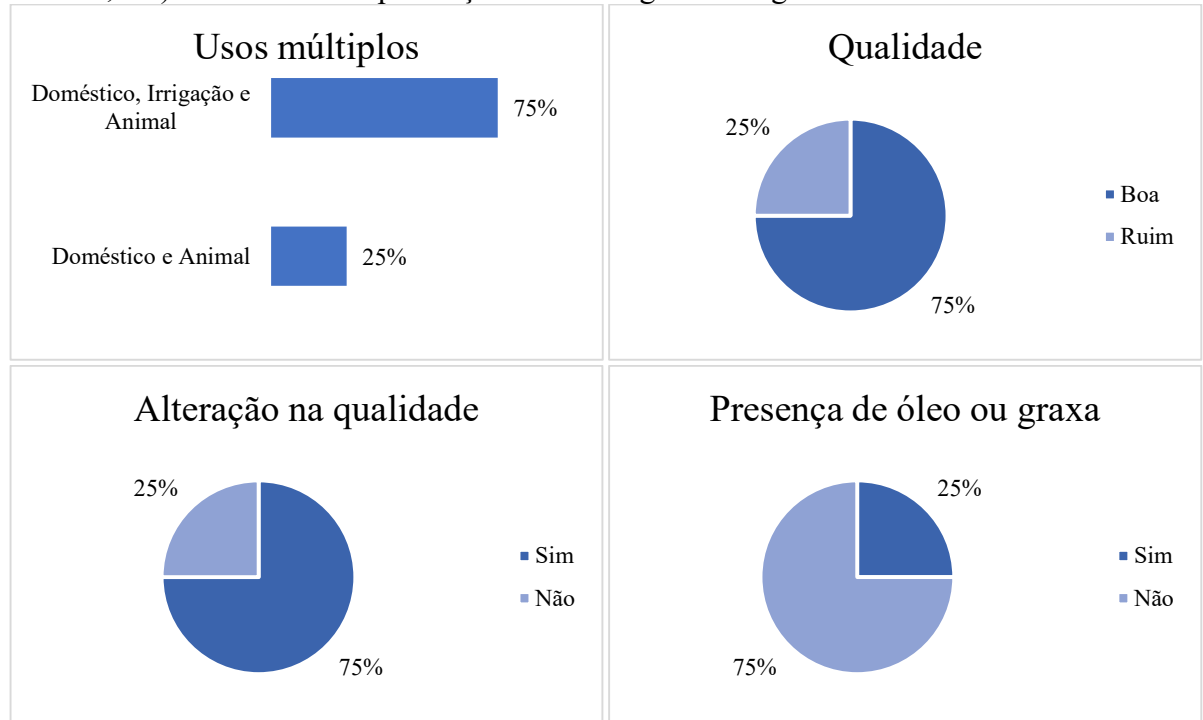
Figura 4 – Poço utilizado para abastecimento das comunidades rurais Melancias, Carmo e Sussuarana



Fonte: Autora (2024).

Na comunidade rural Melancias, dentre os domicílios questionados, todos consomem a água fornecida sem nenhum tratamento. Ademais, quanto a alteração na qualidade da água, a porcentagem que já notou (75%), relacionou a presença de “ferrugem” e de óleo (hidrocarbonetos). Nas imediações da comunidade há exploração *onshore* da atividade petrolífera, o que pode influenciar no aparecimento de hidrocarbonetos na água, relatados pela população. A geologia local é rica em óxidos férricos, esses levam ao surgimento da chamada “capa rosa”, que é associada a percepção de ferrugem na água. Ademais, a rede de distribuição de água é dutoviária, confeccionada em aço, podendo justificar a presença de produtos de corrosão (Figura 5). O uso de águas subterrâneas sem tratamento e sem monitoramento, desconhecendo, assim, sua qualidade, pode se tornar um fator de risco para seus consumidores, devido à potencialidade de transmissão de doenças de veiculação hídrica. Além disso, indícios de contaminação da água pode restringir seus usos múltiplos (doméstico, irrigação e dessedentação de animais).

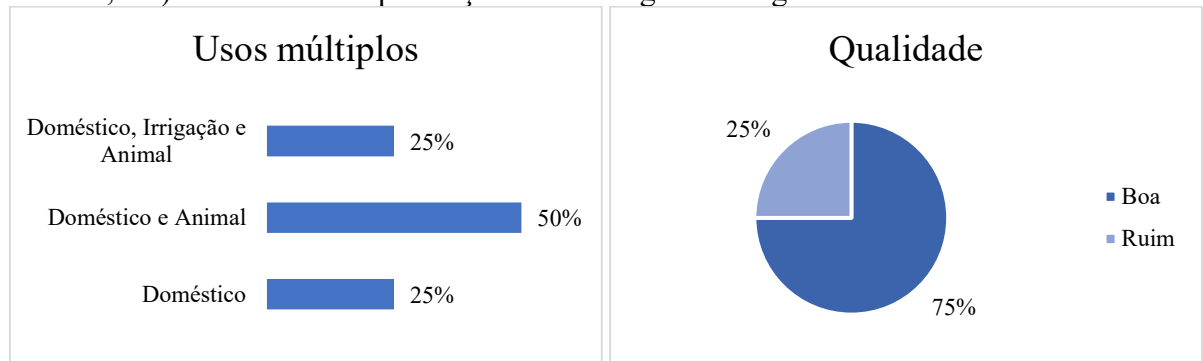
Figura 5 – Percepção proveniente da comunidade rural Melancias: a) usos múltiplos da água ofertada; b) qualidade da água ofertada; c) observância na alteração da qualidade da água ofertada; e d) observância da presença de óleo ou graxa na água ofertada

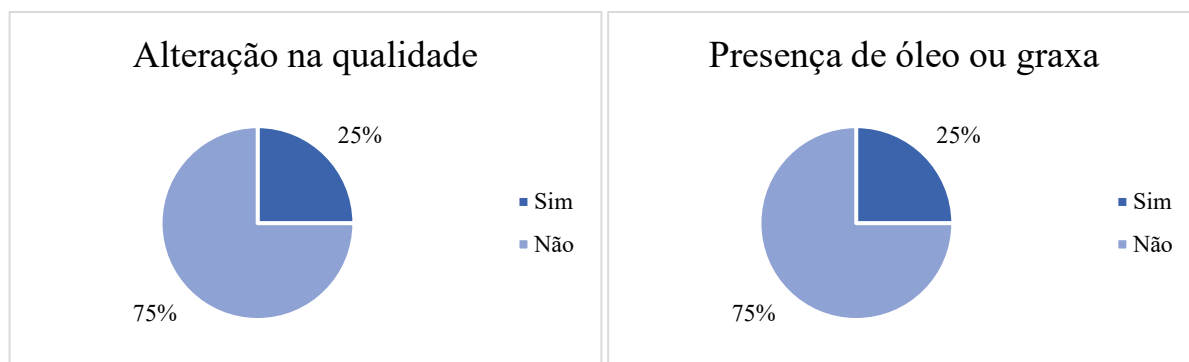


Fonte: Autora (2024).

Assim como na comunidade Melancias, os moradores da comunidade Carmo (Figura 6) consomem a água sem nenhum tratamento, diretamente do lençol freático. A parcela da população que já notou alguma alteração na qualidade da água (25%) foi referente a presença de óleo (hidrocarbonetos). Quanto ao uso e ocupação do solo, na comunidade, há apenas a existência da atividade petrolífera nas suas imediações, o que pode justificar os resultados encontrados na Figura 6D.

Figura 6 – Percepção proveniente da comunidade rural Carmo: a) usos múltiplos da água ofertada; b) qualidade da água ofertada; c) observância na alteração da qualidade da água ofertada; e d) observância da presença de óleo ou graxa na água ofertada

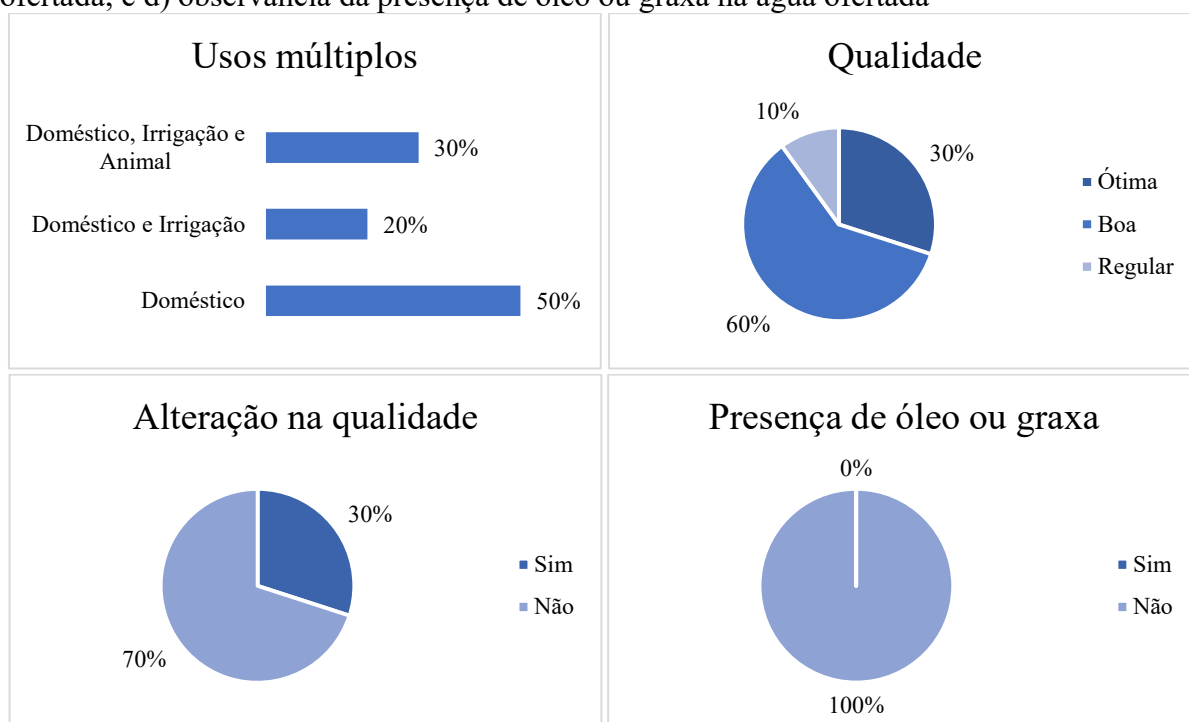




Fonte: Autora (2024).

Na comunidade rural Sussuarana (Figura 7), da água fornecida a população, 20% realiza tratamento antes de consumi-la (adição de hipoclorito de sódio), já o restante (80%), consomem a água sem nenhum tratamento prévio. Dos 30% que já notaram alteração na qualidade da água, essa referia-se a “ferrugem”. Assim, a percepção dessa alteração pode estar relacionada com a geologia local rica em óxidos férricos. Além disso, a rede de distribuição de água é a mesma da comunidade Melancias, podendo-se justificar a presença de produtos de corrosão na água que chega até a população. A comunidade está propensa a sofrer interferência de certas atividades econômicas: atividade petrolífera, salineira e pesqueira.

Figura 7 – Percepção proveniente da comunidade rural Sussuarana: a) usos múltiplos da água ofertada; b) qualidade da água ofertada; c) observância na alteração da qualidade da água ofertada; e d) observância da presença de óleo ou graxa na água ofertada



Fonte: Autora (2024).

A comunidade rural Passagem de Pedra é abastecida por carro-pipa fornecido pela Prefeitura de Mossoró, por esse motivo os resultados não são apresentados, por não ser objeto desse estudo. Uma vez que o abastecimento dos carros-pipas ocorre em locais variados, não sendo possível mensurar as interferências sofridas.

A comunidade rural Piquiri I e II é abastecida também por poço doado pela Petrobras (Poço 4: Figura 2 e Figura 8).

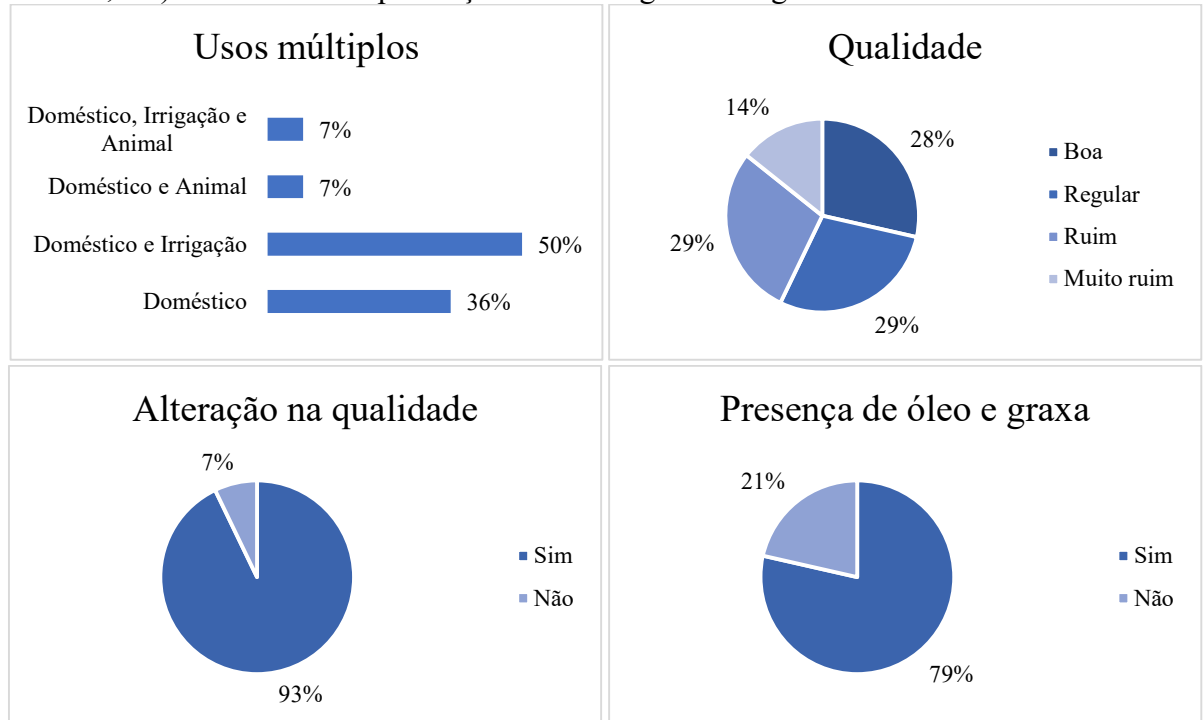
Figura 8 – Poço utilizado para abastecimento da comunidade rural Piquiri I e II



Fonte: Autora (2024).

Da mesma forma que a comunidade Sussuarana, na comunidade rural Piquiri I e II há presença da atividade petrolífera, salinaria e pesqueira. Na Figura 9B verifica-se a opinião da população com relação a qualidade da água ofertada, sendo predominantemente regular e ruim, o que pode vir a comprometer ou ainda limitar as condições de aplicação deste recurso natural, frente as exigências de seus usos preponderantes. Apenas 21% dos moradores realizam algum tratamento na água para consumo, como a adição de cloro e a decantação (de modo a se retirar os hidrocarbonetos presentes na água). A alteração na qualidade da água observada referiu-se a presença de “ferrugem” e óleo (hidrocarbonetos). Ressaltando-se que esse poço pode vir a sofrer interferência direta da exploração *onshore*. Devido a sua localização, próxima de um poço produtor de petróleo, pode estar sendo contaminado pelo mesmo. Dessa forma, podendo causar impactos negativos na saúde da população, e restringindo seus usos múltiplos (doméstico, irrigação e dessedentação de animais). Os resultados oriundos dessa comunidade são exposto na Figura 9.

Figura 9 – Percepção proveniente da comunidade rural Piquiri I e II: a) usos múltiplos da água ofertada; b) qualidade da água ofertada; c) observância na alteração da qualidade da água ofertada; e d) observância da presença de óleo ou graxa na água ofertada



Fonte: Autora (2024).

As comunidades rurais Canto do Amaro e Serra Vermelha são abastecidas pelo Poço 5 (Figura 2 e Figura 10), igualmente cedido pela Petrobras.

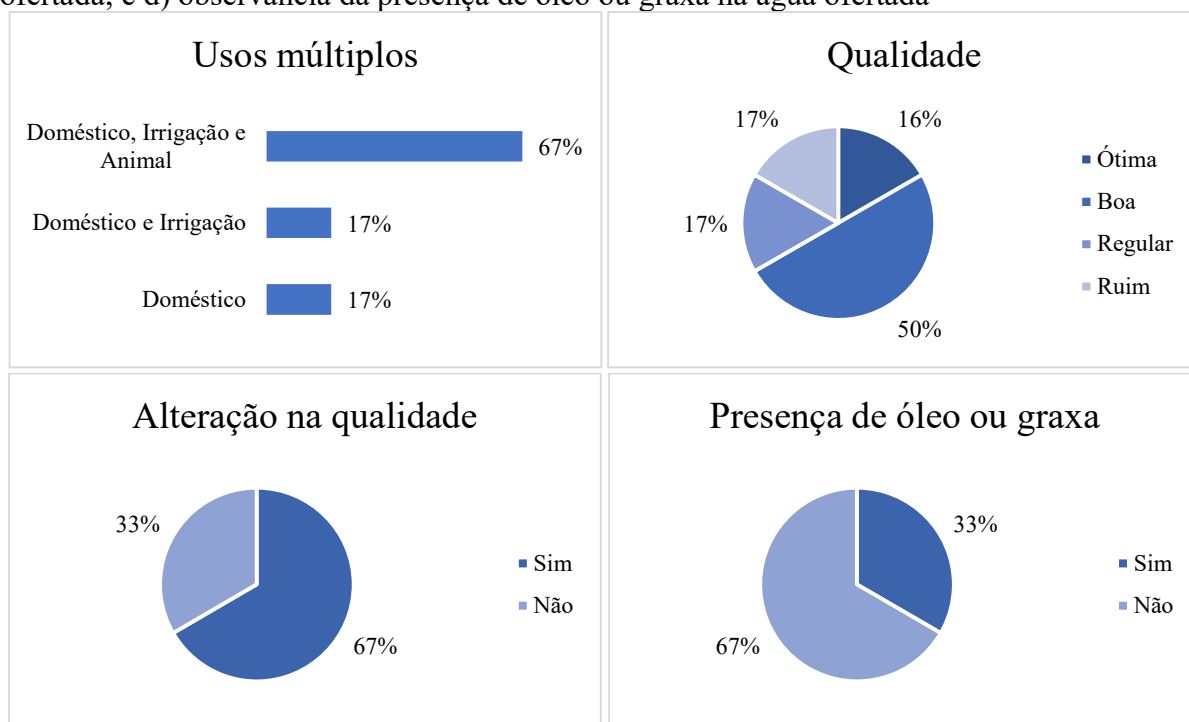
Figura 10 – Poço utilizado para abastecimento das comunidades rurais Canto do Amaro e Serra Vermelha



Fonte: Autora (2024).

O uso e ocupação do solo na comunidade rural Canto do Amaro é caracterizado por atividades econômicas (petrolífera, salineira e pesqueira). 50% dos moradores da comunidade realizam aplicação de cloro e hipoclorito de sódio antes de consumirem a água, enquanto os outros consomem a água sem nenhum tratamento. No tocante a alteração na qualidade da água, os relatos indicam a presença de “ferrugem”, óleo e gás (hidrocarbonetos). A percepção da presença de “ferrugem” na água pode estar relacionada a fatores naturais e/ou antrópicas. Atrelada a geologia local (rica em óxidos férricos), a rede de distribuição de água é dutoviária confeccionada em aço. Além disso, o poço sofre influência direta da exploração petrolífera (podendo-se justificar a presença de hidrocarbonetos). A Figura 11 apresenta os resultados provenientes dessa comunidade.

Figura 11 – Percepção proveniente da comunidade rural Canto do Amaro: a) usos múltiplos da água ofertada; b) qualidade da água ofertada; c) observância na alteração da qualidade da água ofertada; e d) observância da presença de óleo ou graxa na água ofertada

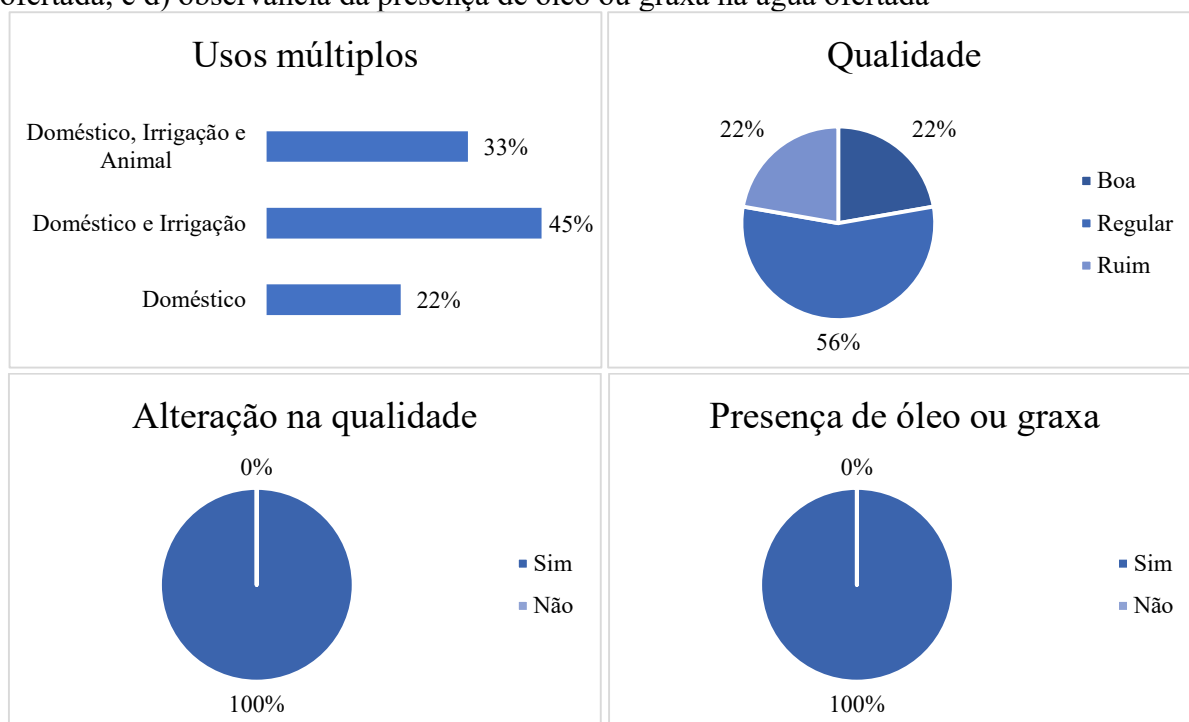


Fonte: Autora (2024).

Na comunidade Serra Vermelha também há exploração da atividade petrolífera, salineira e pesqueira nas suas imediações. 78% dos moradores dessa comunidade realizam tratamento na água antes do seu consumo: aplicação de cloro, hipoclorito de sódio e decantação (para se retirar os hidrocarbonetos presentes na água). Toda a população entrevistada já notou alguma alteração na qualidade da água atrelada a presença de óleo (hidrocarbonetos) (Figura

12). O resultado observado causa preocupação em relação a saúde da população, uma vez que o petróleo é formado por hidrocarbonetos considerados tóxicos e cancerígenos.

Figura 12 – Percepção proveniente da comunidade rural Serra Vermelha: a) usos múltiplos da água ofertada; b) qualidade da água ofertada; c) observância na alteração da qualidade da água ofertada; e d) observância da presença de óleo ou graxa na água ofertada



Fonte: Autora (2024).

As comunidade rurais Garavelo I, II, III e IV, Freire e Reforma I, II e III também não são finalidade desse estudo, uma vez que são abastecidas por carro-pipa cedido pela Prefeitura de Areia Branca/RN.

O consumo da água sem tratamento prévio nas maiorias das residências constitui um grave problema, podendo oferecer riscos à saúde. Segundo a Portaria do Ministério da Saúde nº 888/2021 (Brasil, 2021), toda água destinada para consumo humano, fornecida coletivamente, deverá passar por processo de desinfecção ou adição de desinfetante. E devem ser objeto de controle e vigilância da sua qualidade. A falta de um monitoramento da qualidade das águas subterrâneas dessas comunidades prejudica a preservação e conservação dos recursos hídricos subterrâneos e podem gerar riscos a saúde pública.

Ademais, de maneira geral, a percepção de produtos de corrosão na água subterrânea pode ser justificada pela presença de óxidos férricos oriundos da geologia local e pelo fato das redes de distribuições serem confeccionadas em aço, e estarem oxidadas. Já o óleo ou o gás (hidrocarbonetos) existente, pode sofrer a influência da exploração petrolífera, nas imediações

dos poços utilizados para abastecimento fornecido a essas comunidades. Dentre os constituintes do petróleo, podem ser citados, em maiores quantidades, os hidrocarbonetos. Os compostos orgânicos, BTEX e HPAs, são os principais hidrocarbonetos derivados do petróleo. Estes são apontados como carcinogênicos e mutagênicos, considerados, assim, os compostos contidos no petróleo mais tóxicos à biota e ao homem. Ao contaminarem as águas subterrâneas podem restringir ou até mesmo impedir o uso desse recurso, impactando na saúde dos indivíduos que residem nas imediações de campos petrolíferos (Cookson, 1995; Euzébio; Rangel; Marques, 2019). Sendo necessárias avaliações acerca da presença desses constituintes.

Devido às suas propriedades físico-químicas, os hidrocarbonetos podem ser absorvidos pelas plantas e se bioacumularem, adentrando no corpo humano. Alguns estudos relatam a absorção desses compostos nos corpos de plantas (Bakker *et al.*, 2000; Mubeen *et al.*, 2022; Pi *et al.*, 2017). Assim, é importante retratar o impacto da contaminação da água utilizada para irrigação, tal como consequentemente para pecuária, podendo desencadear um cenário de bioacumulação, biomagnificação ou amplificação trófica, uma vez que os BTEX ou HPAs entram na cadeia alimentar ou organismos. Além de causar a degradação gradativa da qualidade do solo, afetando as propriedades químicas e de fertilidade deste compartimento, resultando na restrição quanto ao desenvolvimento de novas atividades sob tais áreas degradadas e contaminadas. Nas plantas, segundo Hussain *et al.* (2019), os hidrocarbonetos provocam efeitos adversos nos processos fisiológicos na germinação, alongamento de raízes, translocação de água e nutrientes, floração, frutificação e maturação.

Avaliação da ocorrência de indício de contaminação de águas subterrâneas existentes nas comunidades rurais

A Tabela 6 apresenta os resultados observados em amostras de água subterrânea no período seco ou de estiagem e no período chuvoso em poços no CPCA.

Tabela 6 – Resultados dos parâmetros físico-químicos observados no período seco ou de estiagem e no período chuvoso no CPCA

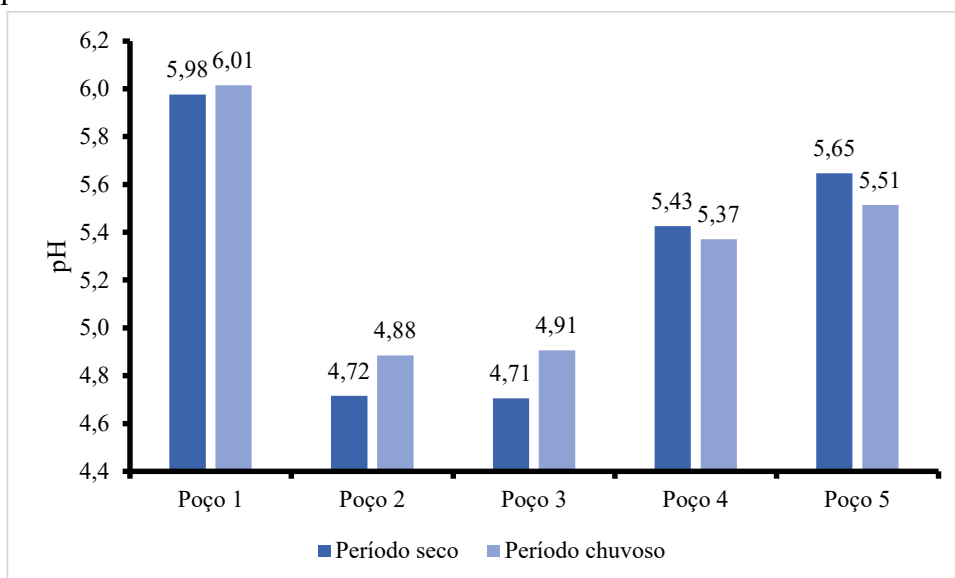
Variação sazonal: período seco ou de estiagem					
Parâmetro	Poço 1	Poço 2	Poço 3	Poço 4	Poço 5
pH	5,98	4,72	4,71	5,43	5,65
CE	474,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$	4.590 $\mu\text{S}/\text{cm}$	8.175 $\mu\text{S}/\text{cm}$	821 $\mu\text{S}/\text{cm}$	590 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Turbidez	0 NTU	0 NTU	0 NTU	1 NTU	1 NTU
TOG	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Benzeno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Etilbenzeno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Toluenos	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Xilenos	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Acenafteno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Acenaftileno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Antraceno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Benzo(a)antraceno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Benzo(a)pireno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Benzo(b)fluoranteno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Benzo(g,h,i)perileno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Benzo(k)fluoranteno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Criseno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Dibenzo(a,h)antraceno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Fenantreno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Fluoranteno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Fluoreno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Indeno(1,2,3cd)pireno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Naftaleno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Pireno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Variação sazonal: período chuvoso					
Parâmetro	Poço 1	Poço 2	Poço 3	Poço 4	Poço 5
pH	6,01	4,88	4,91	5,37	5,51
CE	440,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$	10.140 $\mu\text{S}/\text{cm}$	8.535 $\mu\text{S}/\text{cm}$	820 $\mu\text{S}/\text{cm}$	665,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Turbidez	0 NTU	0,1 NTU	0,1 NTU	21,8 NTU	0,1 NTU
TOG	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Benzeno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Etilbenzeno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Toluenos	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Xilenos	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Acenafteno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Acenaftileno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Antraceno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Benzo(a)antraceno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Benzo(a)pireno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Benzo(b)fluoranteno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Benzo(g,h,i)perileno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Benzo(k)fluoranteno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Criseno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Dibenzo(a,h)antraceno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Fenantreno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Fluoranteno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Fluoreno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Indeno(1,2,3cd)pireno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Naftaleno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Pireno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD

Nota: LD = Limite de Detecção; LD para TOG = 8,0 mg/L; LD para BTEX = 1,5 $\mu\text{g}/\text{L}$; LD para HPAs = 0,03 $\mu\text{g}/\text{L}$.
 Fonte: Autora (2024).

O parâmetro pH, atributo químico da água, é caracterizado como o logaritmo negativo da concentração de íons de hidrogênio (H^+) na água, decorrente do equilíbrio químico das reações, indicando a acidez, neutralidade ou alcalinidade da água, abrangendo uma faixa de 0 a 14 (Baumgarten; Pozza, 2021; Giampá; Gonçalves, 2013). O valor do pH influi na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, além de contribuir para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e de definir o potencial de toxicidade de vários elementos. As alterações desse parâmetro podem ter origem natural (dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica, fotossíntese) ou antropogênica (despejos domésticos e industriais) (Brasil, 2014; Sperling, 1996). Para águas subterrâneas, este parâmetro varia, normalmente, entre 5,5 e 8,5 (Freddo Filho, 2018).

De acordo com a Portaria do Ministério da Saúde nº 888 (Brasil, 2021), recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5. Dessa forma, no período seco ou de estiagem, os resultados variaram de 4,71 (Poço 3) a 5,98 (Poço 5). Todos abaixo do recomendado pela legislação vigente. Já no período chuvoso, os resultados variaram de 4,88 (Poço 2) a 6,01 (Poço 1). Apenas o Poço 1 estava de acordo com o preconizado pela legislação. A partir dos dados observou-se inexpressiva interferência do aumento pluviométrico (Figura 13), sendo registrado no período um regime acumulado de precipitação pluvial da ordem de 663,4 mm (EMPARN, 2024).

Figura 13 – Oscilação do parâmetro pH nas águas subterrâneas do CPCA durante a variação sazonal



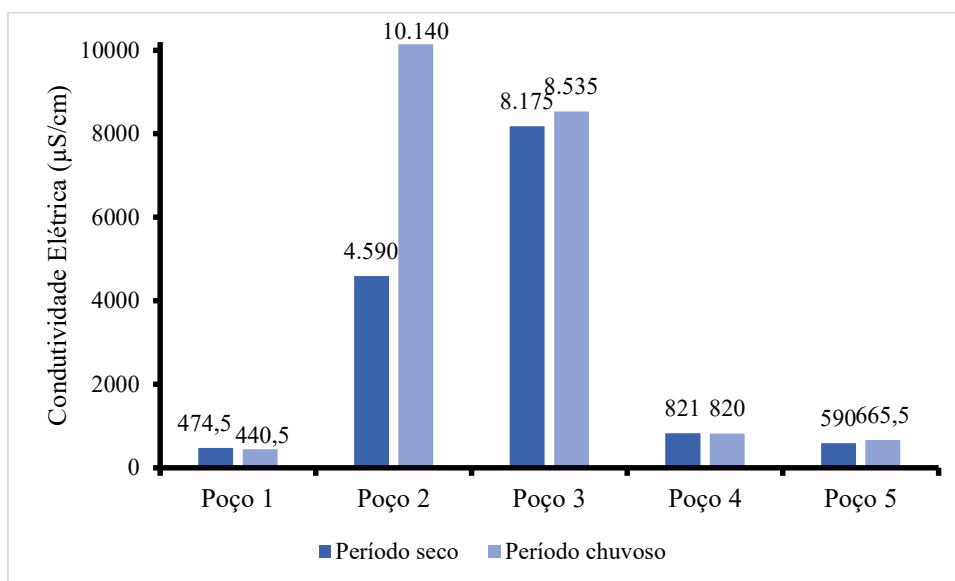
Fonte: Autora (2024).

Os resultados demonstram uma condição de acidez da água analisada ($\text{pH} < 7$). De acordo com Baumgarten e Pozza (2021), a acidez no meio é causada principalmente pela presença de CO_2 , ácidos minerais e sais hidrolisados. A acidificação das águas pode ser um fenômeno derivado da poluição atmosférica, mediante complexação de gases poluentes com o vapor d'água, provocando o predomínio de precipitações (Brasil, 2014).

O parâmetro CE, atributo físico da água, é definido como a capacidade de transmissão de corrente elétrica por meio das substâncias dissolvidas. Depende do tipo, concentração, valência e mobilidade da espécie iônica e da temperatura. Sendo considerado um importante parâmetro em estudos hidroquímicos, pois está relacionada ao tipo de material em contato com a água (Giampá; Gonçalves, 2013). De acordo com Beal (2015), este parâmetro é um bom indicador da presença de contaminantes na água subterrânea, devido ao fato de que o menor traço de uma impureza iônica eleva consideravelmente a sua concentração.

Os valores encontrados variaram entre 474,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Poço 1) e 8.175 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Poço 3) no período seco ou de estiagem. Já no período chuvoso oscilaram entre 440,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Poço 1) e 10.140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Poço 2). As legislações vigentes não estabelecem valores para esse parâmetro, no entanto, para Brasil (2014), as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, já em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Para o Poço 2, a elevação da concentração, no período chuvoso, pode ter sido influenciada pela lixiviação de substâncias aniônicas e catiônicas durante a percolação da água no solo, aumentando a capacidade da água de transmitir corrente elétrica (Brasil, 2014). Ademais, os altos valores encontrados nos Poços 2 e 3, em comparação aos demais, pode estar relacionado a diferença de profundidade entre esses poços e ao tipo de formação geológica, respectivamente, formação Jandaíra e Açú. Isso explica a alta concentração de sais dissolvidos nos poços 2 e 3 (Figura 14).

Figura 14 – Oscilação do parâmetro CE nas águas subterrâneas do CPCA durante a variação sazonal

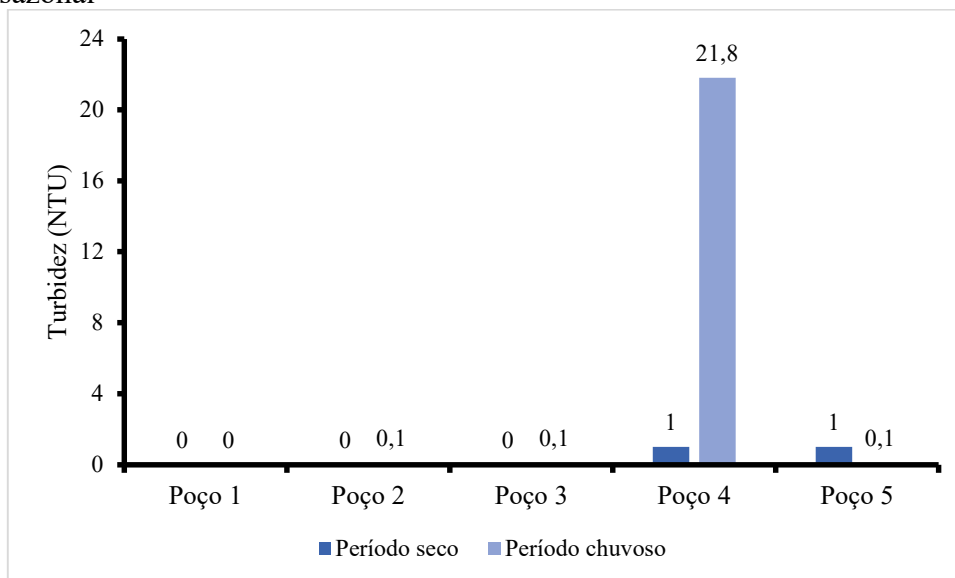


Fonte: Autora (2024).

A turbidez, parâmetro físico da água, representa a dificuldade de penetração da luz na água causada pelas partículas em suspensão (Giampá; Gonçalves, 2013). Os valores desse parâmetro estão associados a fatores naturais, como partículas de rocha, argila e silte, algas e outros microrganismos, e fatores antropogênicos, como despejos domésticos e industriais, microrganismos e erosão (Sperling, 1996).

A Portaria do Ministério da Saúde nº 888 (Brasil, 2021) estabelece que, para água subterrânea com desinfecção, o limite máximo para qualquer amostra pontual é de 5,0 NTU em todo o sistema de distribuição (reservatório e rede). No período seco ou de estiagem, os valores encontrados variaram de 0 NTU (Poço 1, 2 e 3) a 1 NTU (Poço 4 e 5). Ou seja, todas as amostras abaixo do recomendado pela legislação, o que remete a água com padrão aceitável. Já no período chuvoso, oscilaram entre 0 NTU (Poço 1) e 21,8 NTU (Poço 4). Apenas o Poço 4 apresentou valor superior ao estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 888. Esse aumento, no período chuvoso, pode ter sido influenciado pelo carreamento de partículas de argila, silte, areia, fragmentos de rochas e óxidos metálicos do solo (origem natural) ou lançamento de esgotos domésticos (origem antrópica), devido a precipitação pluvial (Figura 15).

Figura 15 – Oscilação do parâmetro Turbidez nas águas subterrâneas do CPCA durante a variação sazonal



Fonte: Autora (2024).

Filho, Souza e Petta (2018) avaliaram o sistema de abastecimento e a qualidade da água para consumo humano nas mesmas comunidades rurais do presente estudo, durante o período chuvoso. Sendo que os valores do pH das amostras analisadas variaram de 7,10 a 8,20. Quanto ao parâmetro CE, os resultados ficaram compreendidos entre 245,0 $\mu\text{s}/\text{cm}$ e 817,0 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Já a turbidez variou entre 0,17 e 6,61 NTU.

Bastos *et al.* (2012) avaliaram a contaminação das águas subterrâneas provenientes dos pontos de revenda de combustíveis no município de Juazeiro do Norte/CE, no período seco e chuvoso. Os valores obtidos de pH oscilaram entre 5,2 e 7,8, no período seco, e 5,1 a 8,5, no período chuvoso. A CE variou de 110 a 2.930 $\mu\text{s}/\text{cm}$ e de 90 a 3.500 $\mu\text{s}/\text{cm}$, no período seco e chuvoso, respectivamente. Os autores constataram que as águas subterrâneas são apropriadas para o consumo humano e para irrigação.

Já Gama, Silva e Milagres (2023) investigaram a qualidade da água de nove poços destinados ao consumo humano em um assentamento rural próximo a cidade de Buritis, Minas Gerais, no período seco e chuvoso. Analisando os resultados de pH das águas dos poços coletados, notou-se que no período seco os valores variaram de 6,93 a 8,07 e no período chuvoso de 6,81 a 7,74. Para a CE, no período seco, os resultados oscilaram de 108,5 $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 355,0 $\mu\text{s}/\text{cm}$, e no período chuvoso essa oscilação foi de 102,0 $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 295,3 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Nos resultados obtidos nas análises de turbidez das amostras de água no período seco, observou-se que ocorreu uma variação de 0,23 NTU a 17,65 NTU. Já no período chuvoso, os resultados apresentados foram de 0,41 NTU a 21,1 NTU.

A deterioração na qualidade da água pode comprometer, além do consumo humano, seu uso consuntivo na irrigação. À medida que o conteúdo de sais aumenta, agravam-se os problemas do solo e das culturas, sendo necessária a adoção de estratégias de manejo para alcançar produtividades aceitáveis (Brito; Andrade, 2010). Ayers e Westcot (1994) apresentam as diretrizes para avaliar a qualidade da água de irrigação. Enfatizando a influência, a longo prazo, da qualidade da água na produção agrícola, as condições e o manejo do solo agrícola. Para o parâmetro pH, a faixa recomendada para irrigação é de 6,5 a 8,4. Valores fora dessa faixa são indicadores de anormalidade na qualidade da água ou de presença de íons tóxicos podendo incidir negativamente na população microbiana no solo e danos ao sistema radicular das plantas (Almeida, 2010). Os resultados, em ambos os períodos sazonais, apresentaram valores abaixo do recomendado. Já a CE deve estar compreendida entre 0 e 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valores maiores do que o estabelecido restringe severamente o uso. A alta salinidade (relacionada aos valores de CE) dificultam a extração de água e nutrientes da solução do solo, resultando em um estresse hídrico. Se a absorção é consideravelmente reduzida, a planta diminui sua taxa de crescimento (Brito; Andrade, 2010). Para o Poço 2 e 3, durante o período seco ou de estiagem e o período chuvoso, os valores foram superiores ao recomendando. Dessa forma, restringindo o uso dessas águas para irrigação nessas comunidades.

A análise de TOG é amplamente utilizado como parâmetro de qualidade da água (Filho, Souza e Petta (2018). Uma vez que são substâncias orgânicas de origem natural, mineral ou vegetal. Incluem, além dos hidrocarbonetos, ácidos graxos, sabões, gorduras, ésteres, entre outros (Baumgarten; Pozza, 2021). Não costumam ser encontrados em águas naturais, sendo provenientes de ações antrópicas.

As legislações vigentes não estabelecem valores para esse parâmetro. Em todas as amostras, no período seco ou de estiagem e no período chuvoso, os resultados para o TOG foram inferiores ao LD (8,0 mg/L).

Corroborando com os resultados apresentados, Filho, Souza e Petta (2018) ao avaliarem a qualidade da água na mesma área do presente estudo, observaram concentrações de TOG variando de 0,36 a 6,10 mg/L. Sendo assim, os resultados mostram uma não conformidade, que resulta em uma área de vulnerabilidade ambiental, segundos os autores. Já Etchie, Etchie e Adewuyi (2011) ao analisarem 48 amostras de águas subterrâneas de um assentamento rural, encontraram concentrações médias de óleos e graxas nas águas subterrâneas de 380 mg/L, mostrando contaminação significativa.

Os compostos orgânicos compreendem, entre outros, os hidrocarbonetos aromáticos (BTEX e HPAs). Na sua maioria, são compostos persistentes e tóxicos. São indicadores de contaminação por atividades antrópicas no entorno do aquífero (Giampá; Gonçalves, 2013).

Para os BTEX (benzeno, etilbenzeno, toluenos e xilenos), a Resolução CONAMA nº 396 (Brasil, 2008), estabelece os valores de 5, 200, 170 e 300 µg/L, respectivamente. Já a Portaria do Ministério da Saúde nº 888 (Brasil, 2021) de 5, 200, 170 e 300 µg/L. Para esses parâmetros, no período seco ou de estiagem e no período chuvoso, os valores encontrados foram também inferiores ao LD (1,5 µg/L).

Os valores máximos permitidos para os HPAs benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, criseno, dibenzo(a,h)antraceno, indeno(1,2,3cd)pireno, de acordo com a Resolução CONAMA nº 396 (Brasil, 2008), é de 0,05 µg/L. Para os demais parâmetros orgânicos as legislações não estabelecem valores. Nos dois períodos amostrados (período seco ou de estiagem e período chuvoso) os valores ficaram abaixo do LD (0,03µg/L).

Por se tratarem de compostos orgânicos voláteis e semivoláteis, os resultados encontrados (< LD) podem ser justificados pela perda de analitos de interesse, devido ao bombeamento da água do poço; exposição da água ao oxigênio atmosférico; pressão da água no momento do preenchimento dos frascos; distância do poço e do local de amostragem; e tempo inadequado entre a coleta e a análise (USEPA, 2018; Giampá; Gonçalves, 2013).

As características físico-químicas desses contaminantes, assim como, as características hidrogeológicas e geoquímicas locais influem no transporte e dispersão desses em águas subterrâneas, podendo, dessa forma, interferir na presença desses poluentes nos poços utilizados para abastecimento das comunidades estudadas. Vários processos físicos, químicos e biológicos podem ocorrer através do encaminhamento dos contaminantes ao aquífero. Ao longo do percurso, suas concentrações podem ser gradualmente reduzidas. A interação solo-água-contaminantes envolve muitos fenômenos que podem ocorrer simultaneamente. O movimento de contaminantes não depende apenas do fluxo do fluido no qual essas substâncias estão dissolvidas, mas de todos os mecanismos aos quais são submetidas (tais como condições que favorecem a difusão e a dispersão), afirma Tavares (2014).

Além do que, a presença de hidrocarbonetos pode estar relacionada a intervenções periódicas realizadas nos poços petrolíferos nas proximidades dos poços tubulares. Assim, sua detecção fica condicionada a essas.

Os resultados de Bastos *et al.* (2012) não indicaram nenhum tipo de contaminação por derivados de petróleo. Os autores analisaram a influência de postos de revenda de combustíveis

em águas subterrâneas. Não foi constatada, para o período seco e para o período chuvoso, a presença de compostos de BTEX e HPAs em nenhuma das amostras analisadas, apesar do cenário de risco encontrado na região em estudo.

No trabalho de Oborie e Abam (2019) são encontrados resultados que corroboram com os do presente trabalho. Os autores objetivaram determinar a qualidade da água subterrânea dentro e ao redor da localidade de uma estação operacional de fluxo de petróleo em Ekakpamre, Nigéria. As concentrações de BTEX e HPAs estavam abaixo do limite de detecção do equipamento analítico. Assim, a qualidade das águas subterrâneas não constituiu qualquer risco para a saúde.

CONCLUSÕES

As águas subterrâneas utilizadas para abastecimento das comunidades rurais do CPCA estão sob forte influência da exploração *onshore*. Entre os distintos usos múltiplos da água fornecida constatou-se a predominância das atividades de uso doméstico, irrigação e dessedentação de animais. Apesar de cerca de 45% dos entrevistados consideram a água boa, 70% já observaram alteração na qualidade da água ofertada, relativa à presença de produtos de corrosão e hidrocarbonetos. Atrelado a isso, 68% consomem a água sem nenhum tratamento prévio.

Com relação a avaliação dos parâmetros físico-químicos da água para consumo humano, no período seco ou de estiagem, para o pH e a CE, respectivamente, todos os poços estavam em desconformidade com o estabelecido pela legislação vigente e pela literatura. Já para o parâmetro turbidez, as amostras apresentaram valores abaixo do crítico recomendado. Para o período chuvoso, os resultados demonstraram, para o pH, que apenas um poço (Poço 1) estava de acordo com os limites estipulados pela legislação, com relação a CE, todas as amostras apresentaram valores superiores aos recomendados pela literatura. Apenas o Poço 4 apresentou valores de turbidez superior ao indicado. Todas as amostras referentes aos parâmetros TOG, BTEX e HPAs estavam abaixo do limite de detecção, em ambos os períodos (período seco ou de estiagem e período chuvoso), dessa forma, a concentração não pôde ser determinada com confiabilidade.

Já para o uso consuntivo na irrigação, com relação ao parâmetro pH, em ambos os períodos sazonais, os resultados apresentaram valores abaixo do recomendado. Para o

parâmetro CE, os Poços 2 e 3, durante o período seco ou de estiagem e o período chuvoso, demonstraram valores superiores ao recomendado, restringindo o uso dessas águas.

A partir dos dados obtidos mediante investigação parte-se para o entendimento de que não há evidência conclusiva de contaminação por hidrocarbonetos derivados do petróleo na área analisada, no entanto, ao se deparar com a percepção dos moradores e usuários desta água verifica-se que existe ou já existiu a presença de algum fator que favoreceu a alteração nas propriedades não detectadas no momento da análise. Assim, recomenda-se que novas investigações acerca da qualidade da água sejam realizadas periodicamente, empregando distintos equipamentos de amostragem e análise laborar, por meio de um programa de monitoramento da qualidade da água dessas comunidades, tal como estudos de modo a se conhecer as condições hidrogeológicas e geoquímicas locais, a fim de se obter informações concludentes quanto a contaminação por hidrocarbonetos e como elas ocorrem e a restrição de seus usos para consumo humano e para agricultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEYEME, O. *et al.* Toxicological evaluation of the effect of water contaminated with lead, phenol and benzene on liver, kidney and colon of Albino rats. **Food and Chemical Toxicology**, v. 47, p. 885-887, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.01.023>.

ALMEIDA, O. A. de. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/26783/1/livro-qualidade-agua.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2024.

ANDRADE, J. de A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclética Química**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 17-43, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-46702010000300002>.

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Encarte de consolidação da produção 2023**. Boletim da produção de petróleo e gás natural. Superintendência de Desenvolvimento e Produção (SDP). 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/boletins/arquivos-bmppgn/2023/encarte-boletim-dezembro.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2024.

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Canto do Amaro**. Plano de Desenvolvimento Aprovado. Reunião de Diretoria nº 942 de 15/08/2018. Resolução nº 496/2018. 2018. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/gestao-de-contratos-de-e-p/fase-de-producao/pd/canto_do_amaro.pdf. Acesso em: 07 jul. 2024.

AYERS, S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. 3 ed. Rome: FAO, 1994.

BAIMATOVA, N. *et al.* Simple and accurate quantification of BTEX in ambient air by SPME and GC-MS. **Talanta**, v. 154, p. 46–52, jul. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.03.050>.

BAKKER, M. I. *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons in soil and plant samples from the vicinity of an oil refinery. **Science of The Total Environment**, v. 263, p. 91-100, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00669-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00669-0).

BARBOSA, C. C. *et al.* Água subterrânea e petróleo, uma avaliação no município de Mossoró-RN. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, XIX, 2017, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: ABAS, 2017. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28678>. Acesso em: 07 jul. 2024.

BASTOS, A. G. L. *et al.* Avaliação espacial da contaminação das águas subterrâneas provenientes dos pontos de revenda de combustíveis no município de Juazeiro do Norte-CE. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, XVII, 2012. **Anais [...]** ABAS, 2012. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27621/17878>. Acesso em: 07 jul. 2024.

BAUMGARTEN, M. da G. Z.; POZZA, S. A. **Qualidade de águas**: descrição de parâmetros referidos na legislação ambiental. Editora da FURG: Rio Grande, 2021. Disponível em: <https://repositorio.furg.br/handle/1/9571>. Acesso em: 07 jul. 2024.

BEAL, S. T. **Mapeamento da contaminação por derivados do petróleo em região da sub-bacia do Rio Cascavel/PR**. 2015. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo, 2015. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/1816/1/Simone%20Tolomeotti%20Beal.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2024.

BODELÃO, T. G. *et al.* Importância dos horizontes do solo na distribuição de gasolina com etanol na zona não saturada em solo tropical. **Águas Subterrâneas**, v.31, n.4, p.413-422, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v31i4.28924>.

BOLFARINE, H.; BUSSAD, W. **Elementos de amostragem**. São Paulo: Blucher, 2005.

Brasil. Ministério da Saúde (MS). Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: Funasa, 2014. Disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/bitstream/handle/123456789/491/06%20-%20Manual%20de%20controle%20da%20qualidade%20da%20%20c3%a1gua%20para%20t%20c3%a9cnicos%20que%20trabalham%20em%20ETAS%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 07 jul. 2024.

Brasil. Ministério da Saúde (MS). **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_24_05_2021_rep.html1. Acesso em: 07 jul. 2024.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. 2008. Disponível em: <https://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2024.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 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. 2005. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 07 jul. 2024.

BRITO, R. A. L.; ANDRADE, C. de L. T. de. Qualidade da água na agricultura e no ambiente. **Informe Agropecuário**, v. 31, n. 259, p. 50-57, 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/34978/1/Qualidade-agua.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2024.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas subterrâneas no estado de São Paulo: 2019 – 2021**. São Paulo: CETESB, 2022. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2023/06/QualidadeAguasSubterraneas-2019-2021_F.pdf. Acesso em: 07 jul. 2024.

COOKSON, T. **Bioremediation engineering: design and application**. New York: McGraw Hill, 1995.

COSTA, M. H. N.; MARTINS, R. A.; PEGADO, E. A. da C. Análise técnica de estudos ambientais da atividade petrolífera onshore no Rio Grande do Norte. **HOLOS**, v. 4, p. 144-152, 2010. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2009.357>.

EMPARN. Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. Relatórios. **Relatórios pluviométricos**. Relatório pluviométrico por posto. Município de Mossoró. Posto TELEPLU MOSSORÓ. 2024. Disponível em: <https://meteorologia.emparn.rn.gov.br/relatorios/relatorios-pluviometricos>. Acesso em: 08 jul. 2024.

ETCHIE, T. O.; ETCHIE, A. T. ADEWUYI, G. O. Source identification of chemical contaminants in environmental media of a rural settlement. **Research Journal of Environmental Sciences**, v. 5, n. 9, p. 730-740, 2011. DOI: 10.3923/rjes.2011.730.740.

EUZEBIO, C. S. RANGEL, G. da S.; MARQUES, R. C. Derramamento de petróleo e seus impactos no ambiente e na saúde humana. **RBCIAMB**, n. 52, p. 79-98, jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820190472>.

FRASER, G.S.; ELLIS, J. The Canada-Newfoundland Atlantic Accord Implementation Act: Transparency of the environmental management of the offshore oil and gas industry. **Marine Policy**, v.33, p. 312-316, mar. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2008.07.012>.

FREDDO FILHO, V. J. **Qualidade das águas subterrâneas rasas do aquífero barreiras: estudo de caso em Benevides – PA.** 2018. 113 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Pará. Belém, 2018. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/19641/1/dissertacao_freddo_filho.pdf. Acesso em: 07 jul. 2024.

GAMA, I. F. da; SILVA, T. E. P.; MILAGRES, B. S. **Segurança hídrica para comunidades rurais: análise da qualidade da água em poços de abastecimento de assentamentos agrícolas.** Relatório Final de Pesquisa de Iniciação Científica. Brasília, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5102/pic.n0.2022.9603>.

GIAMPÁ; C. E. Q.; GONÇALES, V. G. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos.** 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

GOLDEMBERG, J.; SCHAEFFER, R.; SZKLO, A.; LUCCHESI, R. Oil and natural gas prospects in South America: can the petroleum industry pave the way renewables in Brazil? **Energy Policy**, v. 54, p. 58-70, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.064>.

GRANZIERA, M. L. M; REI, F. **Energia e meio ambiente:** contribuições para o necessário diálogo. São Paulo: Universitária Leopoldianum, 2015. Disponível em: <https://www.unisantos.br/wp-content/uploads/2016/09/ENERGIA-E-MEIO-AMBIENTE.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2024.

HUSSAIN, I. *et al.* Differentiation between physical and Chemical effects of oil presence in freshly spiked soil during rhizoremediation trial. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 18, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-019-04819-6>.

IAH. International Association of Hydrogeologists. Strategic overview series. **Poverty reduction & groundwater.** 2022. Disponível em: <https://iah.org/wp-content/uploads/2022/03/IAH-Poverty-Reduction-Groundwater-23March22.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2024. (2022a).

IAH. International Association of Hydrogeologists. Strategic overview series. **River-basin agencies & groundwater.** 2022. Disponível em: <https://iah.org/wp-content/uploads/2022/06/IAH-river-basin-agencies-Groundwater.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2024. (2022b).

IFC. International Finance Corporation. World Bank Group. **Environmental, health and safety guidelines for offshore oil and gas development.** 2007.

MAGRINI, A; BOTELHO, T. Colaboração para o documento IBP/CNI Rio + 20. Setor Petróleo e Gás. **Programa de Planejamento Energético.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2011.

MUBEEN, I. *et al.* Urban contamination assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons released from an oil refinery in Rawalpindi. **Thermal Science**, v. 26, n. 1B, p. 401-410, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2298/TSCI200402055M>.

OBORIE, E. ABAM, T. K. S. Characterization of soil and groundwater for project development in Ekakpamre, Delta State, Nigeria. **International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology**, v. 4, n. 7, p. 285-291, 2019. DOI: 10.33564/ijeast.2019.v04i07.048.

OLIVEIRA, E. de. Contaminação de aquíferos por hidrocarbonetos provenientes de vazamentos de tanques de armazenamento subterrâneo. 1992. 123 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrologia) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-19112013-163218/publico/Oliveira_Mestrado.pdf. Acesso em: 03 set. 2024.

PASCALE, R. *et al.* Method development and optimization for the determination of benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes in water at trace levels by static headspace extraction coupled to gas chromatography–barrier ionization discharge detection. **Journal of Chromatography A**, v. 1548, p. 10-18, mai. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2018.03.018>.

PETTA, R. A. *et al.* Um sistema ambiental para avaliação das vulnerabilidades em áreas de exploração de petróleo no semi-árido. In: PEDPETRO, 4º, 2007, Campinas. **Anais [...]** Campinas: ABPG, 2007. Disponível em: http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_6_2_0289-1.pdf. Acesso em: 07 jul. 2024.

PI, N. *et al.* The uptake of mixed PAHs and PBDEs in wastewater by mangrove plants under different tidal flushing regimes. **Environmental Pollution**, v. 231, n. 1, p. 104-114, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.085>.

PINTO FILHO, J. L. de O.; SOUZA, R. F. de; PETTA, R. A. Avaliação da água para consumo humano nas comunidades rurais do Campo Petrolífero Canto do Amaro – CPCA, RN, Brasil. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 9, n. 2, p. 102-119, ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v9n2.2018.27829>.

RIBEIRO, H. M. C.; BEZERRA, G. do R. Avaliação de BTEX em poços tubulares de captação de água para consumo humano nas proximidades de um posto de combustível de Belém – Pará – Brasil. In: World Water Congress, 2011, Pernambuco. **Anais [...]** Pernambuco: IWRA, 2011. Disponível em: <https://iwra.org/proceedings/congress/resource/PAP00-5743.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2024.

SMWW. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. **Method 2130b**. Turbidity. Nephelometric Method Reference. 1995.

SOBRAL, I. S.; SILVA, G. M. da. Cartografia das implicações ambientais da produção de petróleo onshore no município de Carmópolis, Sergipe, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 35, n. 3, p. 437-451, set./dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.5216/bgg.v35i3.38835>.

SPERLING, M. V. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

TAVARES, J. L. Calibração da dispersividade longitudinal de aquíferos através do método iterativo do gradiente de concentração. 2014. 111 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2014. Disponível em:

https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/11521/1/2014_tese_jltavares.pdf. Acesso em: 03 set. 2024.

USEPA. U.S. Environmental Protection Agency. Chapter four. **Organic Analytes**. 2018. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-06/documents/chapter_four_update_vi_12-11-2018.pdf. Acesso em: 07 jul. 2024.

USEPA. U.S. Environmental Protection Agency. **Method 8260C**. Volatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). 2006. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-06/documents/method_8260c_rev_3_8-1-2006.pdf. Acesso em: 07 jul. 2024.

USEPA. U.S. Environmental Protection Agency. **Method 8270D**. Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry. 2014. Disponível em: <https://archive.epa.gov/epa/sites/production/files/2015-12/documents/8270d.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2024.

4. CONCLUSÕES GERAIS

Através da percepção ambiental dos moradores, foi possível determinar os usos múltiplos das águas subterrâneas das comunidades rurais do CPCA, assim como, informações imprescindíveis acerca da qualidade da água. Os usos predominantes relatados referem-se ao doméstico, irrigação e dessedentação de animais. Com relação a qualidade da água, 45% consideram a água boa, no entanto 70% já observaram alguma alteração na qualidade da água (atrelada à presença de produtos de corrosão e hidrocarbonetos).

Para consumo humano, os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos analisados, demonstraram que, no período seco ou de estiagem, o pH e a CE estavam em desconformidade com o estabelecido pela legislação vigente e pela literatura em todas as amostras investigadas. Contrastando com a turbidez, em que todas as amostras os resultados estavam abaixo do crítico estabelecido. No período chuvoso, os resultados revelaram, para o pH, que apenas um poço (Poço 1) estava de acordo com os limites estipulados pela legislação, com relação a CE, todas as amostras apresentaram valores superiores aos recomendados pela literatura. Já para o parâmetro turbidez, apenas o Poço 4 apresentou valores de turbidez superior ao indicado. Todas as amostras referentes aos parâmetros TOG, BTEX e HPAs estavam abaixo do limite de detecção, em ambos os períodos (período seco ou de estiagem e período chuvoso). Já para o uso consuntivo na irrigação, em ambos os períodos sazonais, para o parâmetro pH, todas as amostras estavam de acordo com o recomendado, já para o parâmetro CE, os Poços 2 e 3 apresentaram valores superiores ao indicado.

Apesar de não terem sido detectados, diante dos procedimentos analíticos e laboratoriais empregados, os parâmetros TOG, BTEX e HPAs nas águas subterrâneas utilizadas para abastecimento das comunidades rurais nas imediações do CPCA, 11%, 79% e 73%, dos moradores das comunidades rurais abastecidas pelos poços 1, 4 e 5, respectivamente, já notaram a presença de óleo ou graxa na água fornecida, dados possíveis de conclusão a partir da percepção ambiental dos moradores.

Assim, conclui-se que não se pode descartar uma possível contaminação dessas águas subterrâneas por hidrocarbonetos derivados do petróleo decorrente a presença da exploração *onshore*. A partir da percepção ambiental dos moradores, recomenda-se que novas investigações sejam realizadas, por meio de um programa de monitoramento da qualidade da água dessas comunidades, assim como, estudos referentes as condições hidrogeológicas e geoquímicas locais, a fim de se obter informações quanto a contaminação por hidrocarbonetos

derivado do petróleo e a possível restrição de seus usos para consumo humano e para agricultura.

**APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE USO E QUALIDADE
DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EXISTENTES NAS COMUNIDADES RURAIS EM
ESTUDO**

Comunidade:

Data de aplicação:

**QUESTIONÁRIO PARA CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE USO E
QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA**

Marque com “X” os questionamentos a seguir e comente o que achar necessário.

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Há quanto tempo reside na comunidade?

Quais atividades econômicas são desenvolvidas nas imediações da comunidade? () Atividade petrolífera () Atividade salineira () Atividade pesqueira () Atividade de carcinicultura () Outra. Qual?

Existe a presença da exploração de petróleo próximo a comunidade? () Sim () Não.

Você já presenciou algum acidente ambiental envolvendo essas atividades econômicas? () Sim () Não. Se **sim**, qual?

Você acha que essas atividades econômicas impactam negativamente no meio físico, biótico e antrópico? () Sim () Não. Se **sim**, como?

Você acha que essas atividades econômicas influenciam na qualidade da água ofertada a comunidade? () Sim () Não. Se **sim**, como?

USO E QUALIDADE DA ÁGUA

Qual a fonte de água utilizada para seu consumo? () Rede pública () Poço tubular () Carro pipa () Garrafão mineral () Outra. Qual?

Se a resposta anterior foi **poço tubular**, qual a profundidade do poço e a quanto tempo tem sido explorado?

Quais os usos múltiplos que se faz da água? () Doméstico () Irrigação () Animal () Industrial () Outro. Qual?

Qual sua opinião sobre a qualidade da água consumida? () Ótima () Boa () Regular () Ruim () Muito ruim () Indiferente.

Você realiza algum tratamento adicional na água? () Sim () Não. Se **sim**, qual?

Você já notou alguma alteração na qualidade da água? () Sim () Não. Se **sim**, qual?

Você já notou a presença de **óleo** ou **graxa** na água? () Sim () Não.

Você já desenvolveu alguma doença a qual tenha relação com a água? () Sim () Não. Se **sim**, qual?