



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

RAQUEL MORAIS SILVA

PARQUES EÓLICOS, VULNERABILIDADE E QUALIDADE DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NAS ÁREAS DO ENTORNO DA COMUNIDADE DA PRAIA DE
XAVIER, CAMOCIM – CE

FORTALEZA

2020

RAQUEL MORAIS SILVA

PARQUES EÓLICOS, VULNERABILIDADE E QUALIDADE DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NAS ÁREAS DO ENTORNO DA COMUNIDADE DA PRAIA DE
XAVIER, CAMOCIM – CE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Adryane Gorayeb Nogueira Caetano.

Coorientadora: Profa. Dra. Maria da Conceição Rabelo Gomes.

Coorientador: Prof. Dr. Luis Glauber Rodrigues.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

-
- S583p Silva, Raquel Morais.
Parques eólicos, vulnerabilidade e qualidade das águas subterrâneas nas áreas do entorno da comunidade da Praia de Xavier, Camocim – CE / Raquel Morais Silva. – 2020.
108 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2020.
Orientação: Profa. Dra. Adryane Gorayeb Nogueira Caetano.
Coorientação: Profa. Dra. Maria da Conceição Rabelo Gomes.
1. Energia eólica. 2. Aquíferos. 3. Aerogeradores. 4. Impactos negativos. 5. Obras inadequadas de engenharia. I. Título.

CDD 910

RAQUEL MORAIS SILVA

PARQUES EÓLICOS, VULNERABILIDADE E QUALIDADE DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NAS ÁREAS DO ENTORNO DA COMUNIDADE DA PRAIA DE
XAVIER, CAMOCIM – CE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Geografia.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Adryane Gorayeb (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Luís Glauber Rodrigues. (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Maria Elisa Zanella
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça
Universidade Federal do Cariri (UFCA)

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo seu infinito amor, por suas providências e misericórdias ao longo desta caminhada. Pude ver seu agir e sentir sua presença dia após dia guiando meus passos, acalmando meu coração e iluminando meus caminhos para tomar as melhores decisões. Agradeço por aliviar as dores nas costas, nos ombros e no pescoço, as enxaquecas, por me ajudar a dormir nas noites marcadas pela insônia e pelos pensamentos acelerados, por renovar minhas forças e não me deixar desistir diante do cansaço mental, do barulho dos vizinhos e da rua agitada. Obrigada por estar comigo em todo o tempo!

Aos meus pais pela compreensão e paciência quando estava ocupada em meio aos estudos, nas atividades de campo e na rotina da universidade. Foram tantos “nãos” e passeios rejeitados para ficar em casa estudando, lendo, escrevendo, digitando, pesquisando, mas os frutos estão sendo colhidos. Valeu a pena! Depois eu tiro férias!

À Profa. Dra. Adryane Gorayeb, pela orientação, pelo sorriso e apoio quando descobri que minha coorientadora, Profa. Conceição Rabelo, foi embora para Salvador – BA, por ter sido aprovada na seleção de professor do departamento de Geologia da UFBA e em todos os outros momentos do mestrado que precisei de sua ajuda, geralmente por e-mail ou Whatsapp devido sua rotina agitada com as demandas da universidade.

À Profa. Dra. Maria da Conceição Rabelo Gomes, minha coorientadora, que foi uma grande dádiva de Deus na minha vida ao longo desta caminhada, sempre presente (apesar da ausência e distância) e acessível, pronta para me auxiliar em tudo e tirar minhas dúvidas com as análises de água, os gráficos e tabelas no Excel. Obrigada por tudo mesmo! Que Deus continue te abençoando em tudo! O WhatsApp altas horas da noite, madrugada e os e-mails amenizaram as dificuldades ocasionadas pela sua ausência e distanciamento devido sua nova vida em Salvador – Bahia.

Aos professores participantes da banca avaliadora, Prof. Luis Glauber Rodrigues, Profa. Maria Elisa Zanella, Profa. Lidriana de Souza Pinheiro, Prof. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça e Profa. Adryane Gorayeb pelo tempo, pelas valiosas contribuições e sugestões.

Ao Dimas Brito, colega de laboratório por me acompanhar nas atividades de campo, nas medições do nível de água dos poços debaixo de sol forte e escaldante em Xavier para obtermos as informações necessárias para atualização do cadastro de poços. Não foi fácil, mas conseguimos! Ainda hoje trago as marcas do bronze pelo corpo.

Ao Ms. Davy Rabelo que tirou minhas dúvidas com os mapas, o Geoprocessamento e o Sensoriamento Remoto. Posso considerá-lo “o mago dos mapas”! Obrigada pelas conversas no Whatsapp, além dos e-mails cheios de artigos e outros materiais cartográficos!

À GEOMAPS, nas pessoas da Ruth, Borges, Eliomara, Letícia, Samantha, Giovanna e tantos outros, que promoveram o treinamento em Geoprocessamento em dezembro de 2018 para me aproximar da elaboração de mapas necessários à minha pesquisa, bem como uso do tão famoso QGIS e suas inúmeras ferramentas que abrem infinitas possibilidades no mundo geotecnológico. É necessário quase uma vida inteira para ganhar prática e desvendar as funcionalidades das Geotecnologias!

À Profa. Dra. Jocicléa Mendes que me ajudou com informações sobre a comunidade de Xavier. Obrigada pelas conversas no Whatsapp e sugestões de como eu deveria conduzir a vida no mestrado.

Ao Prof. Jota Jr. do curso de Química – UFC, ex-colega de trabalho, ótimo amigo, que também me ajudou muito nas interpretações das análises físico-químicas e microbiológicas de água. Sua contribuição foi valiosa!

Ao Erandi Canafístula, secretário do curso de Pós-Graduação em Geografia. Obrigada pela assessoria em tudo, nas documentações, nas disciplinas, nos créditos, no sistema SIGAA, nas dúvidas e nas conversas pelo WhatsApp. Nunca vou esquecer suas orientações administrativas, seu sorriso tímido e amizade! Meu porto seguro nos assuntos burocráticos, meu ponto de referência na UFC! Sua assinatura, sua vida e suas orientações valem ouro!

À dona Denise e seu filho, Jhon, pelas “caronas” na volta para casa e as conversas durante o caminho. Que Deus abençoe com muita saúde e disposição para continuar ajudando e fazendo o bem sempre!

Aos moradores da comunidade de Xavier e áreas do entorno. À Eunice, agente comunitária de saúde pelas informações gentilmente cedidas; à dona Jesus, em especial, e seu Domingos pela recepção, o acolhimento e as refeições maravilhosas e dignas! Dona Jesus foi abençoada por Deus com um dom maravilhoso na cozinha! Nunca vou esquecer seu tempero, o baião de dois com coco delicioso, o peixe assado crocante com pimenta divino, a farofa de sururu maravilhosa e aquela lagosta perfeita! Seu sorriso e sua simplicidade são encantadores! Desejo muita saúde à senhora e sua família!

Ao Prof. Ms. Wanderson, meu colega do doutorado, a primeira amizade que fiz no mestrado! Trocamos muitas informações, conversas, desabafos e preocupações. Que Deus te abençoe muito e ilumine teus caminhos!

À Profa. Ms. Flávia Ingrid pela amizade, apoio e incentivo para ingressar no mestrado e por não me deixar desistir de tentar novamente a seleção! Obrigada pela ajuda no projeto e que Deus te abençoe grandemente!

Ao Prof. Dr. Rodolfo Anderson Damasceno Gois por me substituir à altura quando tive que sair da escola onde trabalhava na cidade de Maranguape para assumir o mestrado. Convivemos durante uma semana com uma breve “formação” sobre os alunos e as atividades docentes e você me trouxe grandes conselhos e experiências sobre a pós-graduação. Tornamo-nos amigos em tão pouco tempo! Agradeço pela amizade, pelos conselhos, pelas confidências, pelas fotos e simplicidade em tudo! Obrigada!

Aos colegas da turma de mestrado, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas, em especial, ao Anderson Freitas pela companhia na elaboração do artigo da disciplina de Temas Internacionais de Geografia. Pense num sofrimento, numa impaciência, num trabalho para escrever e raciocinar com poucas informações disponíveis, mas deu certo no final! Graças a Deus! Muita saúde e paciência para você! Obrigada!

À Dra. Isabel Granjeiro, minha primeira fonoaudióloga que, apesar dos poucos minutos de fonoterapia quase toda semana (coisas do plano de saúde) começou a trabalhar no processo de fechamento da fenda triangular médio posterior nas minhas cordas vocais. Obrigada por ter ouvido minha história com muita paciência para entender meu caso, por ter me aconselhado a procurar ajuda psicológica para tratar os focos de tensão na minha fala; obrigada pelos momentos de conversas, desabafos e algumas lágrimas que serviram para regar e cultivar uma linda relação de confiança, respeito e amizade. Foi por meio dos seus conselhos que conheci a psicóloga Alice Kelma, depois de tanto procurar profissionais que pudessem me atender sem maiores dificuldades e desculpas, como a agenda lotada e sem possibilidade de encaixe nem para uma avaliação inicial!

À minha psicóloga, Alice Kelma, por ouvir minhas angústias, medos, ansiedades, traumas, conflitos e me ajudar a superar o nervosismo também (ainda em processo). Não é fácil lutar contra o próprio “eu” e tentar reeditar o inconsciente; não é fácil conhecer a si mesmo, reconhecer e se deparar com as limitações, fragilidades, dificuldades que precisam ser superadas e enfrentadas para que a vida siga em frente de forma mais leve e tranquila, mas com a ajuda de Deus e suas orientações, obtive grandes avanços e melhoras. Ganhei liberdade e coragem para conhecer o Território da Emoção e geri-lo com inteligência, paciência e sabedoria. Gratidão resume!

Ao Dr. Flávio Carneiro, meu segundo fonoaudiólogo, que trabalhou paralelamente com a Dra. Isabel Granjeiro, apesar de não se conhecerem pessoalmente, intensificou o

tratamento da fenda nas minhas cordas vocais, com mais frequência e disponibilidade, sem depender das exigências e restrições do plano de saúde. Obrigada pelos exercícios de respiração, fluência e relaxamento para superar as tensões e bloqueios na fala! Obrigada por ouvir minha história e conhecer meu caso, pelos desabafos, conselhos, pelas risadas, atenção e paciência, sem me julgar ou condenar, mas por simplesmente me ouvir e me encorajar a vencer minhas limitações. A formação em Psicopedagogia ajudou muito no tratamento!

Ao Anderson e à Ana Maria, alunos do curso de Energias Renováveis - UFC, que me apresentaram ao Prof. Luis Glauber Rodrigues com o objetivo de elaborar a modelagem do aquífero e compreender as possíveis interferências do parque eólico instalado na comunidade de Xavier.

Ao Prof. Dr. Luis Glauber Rodrigues, Subchefe do Departamento de Engenharia Química da UFC e meu segundo coorientador, que foi fundamental para a elaboração da modelagem do aquífero. Obrigada pela calma, paciência, compreensão, conversas e risadas nas nossas reuniões ao meio dia! Nunca vou esquecer do “dossiê” que o senhor montou com as informações impressas e digitais da minha área de estudo. Se duvidar, dá pra fazer outra dissertação com base nos dados arquivados!

Ao mestrando em Engenharia Química, Thiago Henrique da Silva Barbosa, do Centro de Excelência em Geofísica do Petróleo, vinculado ao Laboratório de Interpretação Sísmica (LIS), que ficou responsável pela elaboração do modelo geológico do aquífero juntamente com o Prof. Luis Glauber. Vocês foram decisivos para que esta etapa da pesquisa fosse realizada com sucesso. Gratidão!

Ao Cláudio, aluno da graduação em Geografia e companheiro do Laboratório de Geoprocessamento e Cartografia Social – LABOCART, pelo apoio nas atividades de campo durante a coleta de águas e medições dos poços. Sua disposição, disponibilidade e proatividade são inspiradoras e admiráveis!

À Mairla Brasileiro, colega de mestrado e vinculada ao Laboratório de Climatologia. Obrigada pelas informações sobre temperatura e umidade da comunidade de Xavier que permitiram a elaboração dos gráficos comparativos. Só você tinha esses dados!

À irmã Maria Luiza pela companhia nas viagens à Xavier e Amarelas para coletar os materiais de campo. Obrigada pelas conversas, risadas e reflexões sobre as comunidades, a atuação das empresas (muitas vezes, arbitrárias e abusivas), experiências de vida. Desejo à senhora muitas histórias pra contar, muitas estradas a percorrer, muitos lugares a conhecer! Paz, saúde e prosperidade!

Ao meu ex-aluno do Ensino Médio, Antônio Patrick, hoje, aluno do curso de Agronomia da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB, pela parceria em eventos e publicações de artigos ao longo do mestrado. Obrigada pelas conversas e orientações pelo WhatsApp e por me apresentar ao Ítalo Magno. A vida e o mundo dão voltas, por isso é bom plantarmos boas sementes para colhermos bons frutos no futuro. A vida é cheia de surpresas!! Ontem, professora e aluno. Hoje, colegas do Ensino Superior. Grande alegria revê-lo!!

Ao Ítalo Magno, novo colega do curso de Energias Renováveis da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB, que me ajudou também com os novos mapas de localização, vulnerabilidade, unidades geológicas, dos aquíferos / hidrogeológicos e dos poços da comunidade de Xavier e seu entorno. Obrigada pela presteza, disponibilidade e paciência nessa árdua tarefa! Parceria que deu muito certo!

Ao Régis Barbosa, aluno do curso de Licenciatura em Geografia da UFC e ex-integrante do LABOCART, novo amigo enviado por Deus para me auxiliar na formatação deste trabalho, mais precisamente na numeração das páginas, nas listas de figuras, gráficos e quadros, além do sumário automático. Seu apoio foi essencial na finalização deste trabalho. Uma labuta quase sem fim, mas recompensada no final. Obrigada demais!

A todos os docentes do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará, que contribuíram com minha formação acadêmica.

À Funcap, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio que ajudou a pagar as despesas que surgiram ao longo da caminhada pelas estradas do mestrado.

Finalmente, agradecemos aos financiamentos dos projetos CAPES PGPSE Proc. 88887.123947/2016-00: Sistemas Ambientais costeiros e ocupação econômica do Nordeste; CAPES PRINT Proc. 88887.312019/2018-00: Integrated socio-environmental technologies and methods for territorial sustainability: alternatives for local communities in the context of climate change; PRONEM/CAPES/FUNCAP, “Análise socioambiental da implantação de parques eólicos no Nordeste: perspectivas para a sustentabilidade da geração de energia renovável no Brasil” (Processo PNE-0112-00068.01.00/16) e ao Projeto CNPq/ Nexus I Proc. nº 441489/2017-6, “Tecnologias sociais e ações integradas de sustentabilidade para a garantia da segurança hídrica, energética e alimentar em nível comunitário no semiárido cearense.

“Que bons ventos tragam novos ares!

Que a peleja sirva de aprendizado.

E que a gente não deixe de ser GRATA nunca”.

(Fernanda Mello)

RESUMO

As fontes energéticas renováveis têm grande papel na mitigação dos impactos negativos oriundos das fontes tradicionais de energia. O Brasil tem investido amplamente no setor de energia eólica, flexibilizado leis e estudos ambientais para atrair investidores e expandido a instalação de novos parques eólicos. A região Nordeste se destaca nesse processo, tendo o litoral cearense como um dos destinos principais para a instalação desses empreendimentos que se avolumam de forma rápida e pouco planejada ao desconsiderar, muitas vezes, aspectos hidrogeológicos, geomorfológicos e socioambientais. É nesse contexto que se insere a comunidade tradicional de pescadores da Praia de Xavier e seu entorno, que dista 370 km da capital do estado, Fortaleza, situa-se no extremo oeste da região costeira cearense, no município de Camocim e integra a zona rural de um dos três distritos do município, Amarelas. Esta pesquisa objetivou estudar a interferência do parque eólico sobre o aquífero sedimentar da Praia de Xavier e seu entorno, bem como a vulnerabilidade e qualidade das águas subterrâneas. Atualizou-se o cadastro dos poços e as análises das águas subterrâneas, bem como elaborou-se o mapa de vulnerabilidade pelo método GOD, fluxo subterrâneo, caracterização das fundações das torres eólicas para verificar suas interferências sobre o aquífero Dunas, as vibrações e a modelagem com o auxílio do *software* Petrel e simuladores IMEX da CMG. Os resultados da pesquisa são demonstrados por meio de (1) alterações da qualidade da água subterrânea, (2) predomínio de moderada à alta vulnerabilidade natural do aquífero à poluição nas áreas do entorno do parque eólico, (3) não constatação da presença de intrusão salina nas amostras de águas subterrâneas analisadas, (4) as águas subterrâneas são classificadas como bicarbonatadas (70%) e magnesianas (60%), (5) as análises bacteriológicas indicaram a contaminação das águas dos poços por coliformes totais e termotolerantes em índices muito acima do exigido pelo Ministério da Saúde, (6) as obras inadequadas de engenharia promoveram perturbações sobre o campo de dunas, o aquífero e sua zona de recarga, (7) a modelagem verificou a variação da permeabilidade do terreno, depleção natural do aquífero e relação com os poços produtores. Constatou-se que o parque eólico foi construído numa área de vulnerabilidade elevada que abrange a zona de recarga do aquífero, o que, juntamente com as demais intervenções das obras de engenharia, como compactação, impermeabilização das dunas, reduz a renovação de suas reservas no período chuvoso, afetando seu nível estático e a recarga das lagoas interdunares.

Palavras-chave: Energia eólica. Aquíferos. Aerogeradores. Impactos negativos. Obras inadequadas de engenharia.

ABSTRACT

Renewable energy sources have a great role in mitigating negative impacts from traditional energy sources. Brazil has invested extensively in the wind energy sector, eased environmental laws and studies to attract investors and expanded the installation of new wind farms. The Northeast region stands out in this process, with the coast of Ceará as one of the main destinations for the installation of these developments that swell quickly and poorly planned, often disregarding hydrogeological, geomorphological, and socio-environmental aspects. It is in this context that the traditional fishing community of Praia de Xavier and its surroundings, which is 370 km from the state capital, Fortaleza, is located at the western end of the Ceará coastal region, in the municipality of Camocim and integrates the rural area. Of one of the three districts of the municipality, Amarelas. This research aimed to study the interference of the wind farm on sedimentary aquifers around the community of Praia de Xavier, as well as the vulnerability and quality of groundwater. The well registration and groundwater analyzes were updated, as well as the vulnerability map was elaborated by the GOD method, underground flow, characterization of the foundations of the wind towers to verify their interference on the dune aquifer, vibrations and modeling with the help of Petrel software and CMEX IMEX simulators. The results of the research are demonstrated through (1) changes in the quality of groundwater, (2) a predominance of moderate to high natural vulnerability of the aquifer to pollution in the areas surrounding the wind farm, (3) not finding the presence of intrusion saline in the analyzed groundwater samples, (4) groundwater is classified as bicarbonated (70%) and magnesian (60%), (5) bacteriological analyzes indicated the contamination of well water by total and thermotolerant coliforms at very high rates above that required by the Ministry of Health, (6) inadequate engineering works caused disturbances on the dune field, the aquifer and its recharge zone, (7) the modeling verified the variation in the permeability of the land, natural depletion of the aquifer and relationship with producing wells. It was found that the wind farm was built in an area of high vulnerability that covers the aquifer recharge zone, which, together with other engineering works interventions, such as compaction, waterproofing the dunes, reduces the renewal of its reserves in the rainy season, affecting its static level and the recharge of the interdunar lagoons.

Keywords: Wind energy. Aquifers. Wind turbines. Negative impacts. Inadequate engineering works.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Mapa de Situação da Comunidade de Xavier e sua Área de Entorno. Camocim, Ceará, Brasil.....	25
Figura 2 -	Mapa das Unidades Geoecológicas de Xavier e Entorno, Camocim, Ceará, Brasil	27
Figura 3 -	Mapa de Situação dos Poços da Comunidade de Xavier e Entorno, Camocim, Ceará, Brasil.....	35
Figura 4 -	Coleta de água com o bailer em Xavier	41
Figura 5 -	Caixa de isopor e garrafas pet.....	42
Figura 6 -	Caixa térmica, frascos e corantes.....	42
Figura 7 -	Caixa de isopor, álcool, luvas, coletores e outros.....	42
Figura 8 -	Medição do Nível Estático dos Poços em Xavier.....	45
Figura 9 -	Croqui da metodologia “GOD” para o cálculo do índice de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos.....	46
Figura 10 -	Logotipo do <i>software</i> Petrel usado na modelagem geológica	49
Figura 11 -	Interface inicial da plataforma Petrel	49
Figura 12 -	Mapa SRTM de Ziu até a Praia de Xavier	52
Figura 13 -	Mapa Hidrogeológico da Comunidade de Xavier e seu Entorno, Camocim, Ceará, Brasil.....	57
Figura 14 -	Mapa Hidrogeológico da Comunidade de Xavier e seu Entorno, Camocim, Ceará, Brasil.....	60
Figura 15 -	Diagrama de Piper.....	65
Figura 16 -	Fluxo subterrâneo do entorno do Parque Eólico na Praia de Xavier e no Distrito de Amarelas, Camocim, Ceará, Brasil (Fevereiro/2018).....	83
Figura 17 -	Modelo Tridimensional da Praia de Xavier.....	87
Figura 18 -	Perfil Representativo do Aquífero Traçado da Região de Ziu ao Oceano Atlântico	97

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Pluviosidade do município de Camocim	29
Gráfico 2 -	Temperatura e Umidade no Período Seco (Ponto 1 – localizado a leste do parque eólico).....	31
Gráfico 3 -	Temperatura e Umidade no Período Seco (Ponto 2 – oeste da comunidade, mais longe do parque eólico)	31
Gráfico 4 -	Temperatura e Umidade no Período Chuvoso (Ponto 1 - a leste do parque eólico)	32
Gráfico 5 -	Temperatura e Umidade no Período Chuvoso (Ponto 2 - oeste da comunidade, mais longe do parque eólico)	33
Gráfico 6 -	Medição do Nível Estático (NE) dos 15 poços de Xavier	58
Gráfico 7 -	Condutividade Elétrica (CE).....	68
Gráfico 8 -	Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	70
Gráfico 9 -	pH.....	71
Gráfico 10 -	Alcalinidade	72
Gráfico 11 -	Dureza Total	73
Gráfico 12 -	Nitrato.....	75
Gráfico 13 -	Turbidez.....	77
Gráfico 14 -	Coliformes Totais	79
Gráfico 15 -	<i>Escherichia coli</i>	80
Gráfico 16 -	Queda da Pressão Média do Reservatório dos casos base e de 1 a 3	89
Gráfico 17 -	Queda da Pressão Média do Reservatório dos casos 6 a 9	90
Gráfico 18 -	Queda da Pressão Média do Reservatório dos casos 9 e 10	90
Gráfico 19 -	Vazão de Água dos casos base e dos casos de 1 ao 3	91
Gráfico 20 -	Vazão de Água dos Poços Produtores nos casos 6 ao 9	91
Gráfico 21 -	Vazão de Água dos Poços Produtores nos casos 9 e 10	92
Gráfico 22 -	BHP dos casos base e do 1 ao 3 avaliado em três poços	92
Gráfico 23 -	Pressão Média do Reservatório ($K = 0,1$) e Diferentes Modos de Injeção ..	93
Gráfico 24 -	Análise de Incertezas na Pressão Média do Aquífero	93
Gráfico 25 -	Análise Probabilística de Ocorrência da Pressão Média do Reservatório....	94
Gráfico 26 -	Estimativa dos Efeitos da Vazão e Permeabilidade no Comportamento da Pressão Média do Aquífero	95

Gráfico 27 - Pressão Média do Reservatório de Água de Camocim, Comportamento Estimado com e sem efeitos da Vibração dos Aerogeradores	96
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Etapas de Campo e Objetivos	40
Quadro 2 -	Quadro Síntese dos Poços Cadastrados	44
Quadro 3 -	Classes de significância de vulnerabilidade do aquífero	47
Quadro 4 -	Índice de Vulnerabilidade GOD dos 25 poços de Xavier e seu entorno	59
Quadro 5 -	Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas das amostras de águas captadas de 10 poços no distrito de Amarelas, na zona costeira de Camocim - CE (Março/2018)	62
Quadro 6 -	Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas das amostras de águas captadas de 10 poços no distrito de Amarelas, na zona costeira de Camocim - CE (Junho/2019)	64
Quadro 7 -	Ferro Total	74
Quadro 8 -	Dados utilizados na Modelagem do Aquífero.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BHP	<i>Bottom-hole pressure</i> (pressão de fundo do poço)
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
Ca ⁺²	Cálcio
CO ₂	Dióxido de Carbono
CE	Condutividade Elétrica
CMG	<i>Computer Measurement Group</i>
CONAMA	Ministério da Saúde e o Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Cl ⁻	Cloreto
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
Fe	Ferro
F ⁻	Fluoreto
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GOD	<i>Groundwater occurrence, Overall aquifer class, Depth to groundwater table</i>
GPS	Sistema de Posicionamento Global
HCO ₃ ⁻	Bicarbonato
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
K ⁺	Potássio
LABOCART	Laboratório de Geoprocessamento e Cartografia Social
LI	Linhas de Instabilidade
MDT	<i>Digital Elevation Model</i>
Mg ⁺²	Magnésio
mg/L	Miligramas por litro
MS	Ministério da Saúde
MW	<i>Megawatt</i>
Na ⁺	Sódio

NA	Não Analisados
NE	Nível Estático
NH ₃	Amônia
N-NO ₃ ⁻	Nitrato
N-NH _{3,4}	Nitrogênio Amoniacal Total
N-NO ₂ ⁻	Nitrito
NUTEC	Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará
OD	Oxigênio Dissolvido
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PCR	Portaria de Consolidação
RAS	Relatório Ambiental Simplificado
RESEX	Reserva Extrativista
SEINFRA	Secretaria de Infraestrutura
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SiO ₂	Sílica
SO ₄ ⁻²	Sulfatos
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
STW	<i>Production flow of producing</i> (vazão de produção dos poços produtores)
STWI	<i>Injection of injections wells</i> (injeção dos poços injetores)
μC	Micrômetros
μS/cm	Microsiemens por centímetro
UFC	Universidade Federal do Ceará
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
VMP	Valor Máximo Permitido
WGS 84	<i>World Geodetic System 1984</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	Caracterização da Área.....	23
1.2	Aspectos Climáticos.....	28
1.3	Dinâmica Socioambiental da Comunidade de Xavier e seu Entorno: o uso das águas subterrâneas através dos poços e chegada do parque eólico.....	33
2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA	36
2.1	Referencial Teórico	36
2.2	Etapas de Campo: Cadastro dos Poços e Análise da Qualidade da Água.....	40
2.3	Tratamento de Dados: Aplicação do Método GOD	45
2.4	Elaboração da Modelagem do Aquífero	48
2.5	Dados Climatológicos Locais e do Relatório Ambiental Simplificado - RAS.	51
2.6	Perfil Representativo do Aquífero	52
3	CARACTERÍSTICAS E VULNERABILIDADES DO AQUÍFERO SEDIMENTAR DO ENTORNO DA PRAIA DE XAVIER, AMARELAS, CAMOCIM.....	54
3.1	Características dos Aquíferos	54
3.2	Nível de Vulnerabilidade do Aquífero	58
3.3	Qualidade das Águas Subterrâneas	61
3.3.1	<i>Análises das Amostras das Águas Subterrâneas.....</i>	<i>65</i>
3.3.2	<i>Análises Microbiológicas.....</i>	<i>77</i>
4	IMPACTOS DA IMPLANTAÇÃO DO PARQUE EÓLICO NA PRAIA DE XAVIER SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	82
4.1	Mapa de Fluxo da Água Subterrânea.....	82
4.2	Análise do Aquífero por meio da Modelagem	84
4.2.1	<i>Dados Estimados</i>	<i>84</i>
4.2.2	<i>Dados de Produção.....</i>	<i>86</i>
4.2.3	<i>Análise da Recarga.....</i>	<i>86</i>
4.2.4	<i>Geologia</i>	<i>86</i>
4.2.5	<i>Queda da Pressão Média do Reservatório</i>	<i>89</i>
4.2.6	<i>Vazão de Água.....</i>	<i>90</i>
4.2.7	<i>Pressão de Fundo de Poço.....</i>	<i>92</i>
4.2.8	<i>Vibração das Torres</i>	<i>95</i>

4.3	Características Gerais das Fundações das Torres.....	96
5	CONCLUSÕES	100
	REFERÊNCIAS	102
	APÊNDICE A - CADASTRO DE POÇOS DA COMUNIDADE DE XAVIER E SEU ENTORNO – PARTE I.....	107
	APÊNDICE B - CADASTRO DE POÇOS DA COMUNIDADE DE XAVIER E SEU ENTORNO – PARTE II	108
	APÊNDICE C - CADASTRO DE POÇOS DA COMUNIDADE DE XAVIER E SEU ENTORNO – PARTE III.....	109

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a matriz energética de vários países do mundo é pautada no uso dos combustíveis fósseis que tem sido um dos maiores responsáveis pela degradação ambiental que afeta a atmosfera, os recursos hídricos, os solos, as rochas e demais componentes da Biosfera.

Uma das justificativas mais atuais e urgentes para a ampliação do uso das fontes alternativas de energia pelo mundo é a descarbonização do setor elétrico com a implementação em larga escala da energia fotovoltaica e eólica (JACOBSON *et al.*, 2017). Assim, até o ano de 2050, principalmente, ocorreria o barateamento da produção energética, redução das emissões dos gases GEE e proteção das condições climáticas globais.

A Agência Internacional de Energia – IEA em seu relatório sobre as Perspectivas de Tecnologia de Energia 2020, ratifica a necessidade de mais países investirem no setor energético com o desenvolvimento de tecnologias e infraestruturas que visem a redução das emissões globais de CO₂ por meio das modalidades de energia limpa existentes, como biocombustíveis, fotovoltaica e solar, dentre outras.

A disseminação das fontes energéticas renováveis no mundo tem ganhado maior expressividade nas últimas décadas e se configura como uma das medidas para mitigar os impactos negativos decorrentes da larga utilização das fontes tradicionais de energia devido à redução da degradação ambiental, a maior conservação dos recursos naturais, a melhoria da qualidade de vida da sociedade e a perspectiva de promover o desenvolvimento sustentável ao gerar eletricidade por meio de uma fonte “limpa” proveniente dos ventos, principalmente.

Salienta-se que a expressão “energia limpa” se refere ao fato de que as energias renováveis, como a eólica, não emitem gases poluentes, mas sua implementação pode envolver diversos problemas socioambientais. No Brasil e, especialmente, no litoral nordestino, esses problemas podem ser expressos pela emissão de ruídos, desmonte de dunas e falésias, destruição do patrimônio histórico e arqueológico, expropriação de terras e geração de conflitos em comunidades tradicionais, descaracterização das paisagens litorâneas, extinção de lagoas interdunares e rebaixamento do lençol freático (BRANNSTROM *et al.* 2017; GORAYEB *et al.* 2016; 2018).

Apesar das intervenções ocasionadas nos ecossistemas litorâneos e nas comunidades tradicionais, o Brasil tem investido amplamente no setor de energia eólica nos últimos anos, tem flexibilizado as leis e os estudos ambientais como forma de atrair investidores estrangeiros do ramo para desenvolverem projetos e estudos de viabilidade para instalação de

novos parques eólicos no país. Uma das razões pelas quais o Brasil despertou para a necessidade e urgência de diversificar sua matriz energética foi o problema de abastecimento elétrico em 2001 que conduziu a um programa de racionamento elétrico que durou até 2002 (GORAYEB *et al.* 2016).

Neste contexto, a região Nordeste teve destaque na implantação de inúmeros projetos de instalação de parques eólicos no seu litoral devido à extensão da zona costeira, a velocidade, intensidade e perenidade dos ventos, localização e posição geográficas, além de incentivos fiscais diversos do governo que atraíram os empresários do setor e despertaram interesses de investimentos na região (MEIRELES *et al.* 2015).

Meireles (2008) afirma ainda que os primeiros estudos sobre o potencial eólico nacional, com o apoio da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e realizado pelo Centro Brasileiro de Energia Eólica, foram feitos na região Nordeste, especialmente no Ceará e em Pernambuco.

O estado do Ceará se insere no cenário nacional com um grande potencial para geração dessa modalidade energética e atrai ainda mais investimentos de empresários do setor com intenções de implementar novos projetos na zona costeira e, mais recentemente, no interior do Estado, como nas chapadas sedimentares, mais precisamente, Chapada do Araripe, ao sul do Ceará e Serra da Ibiapaba, a oeste.

Meireles *et al.* (2015) afirmam que o Estado do Ceará, devido sua posição geográfica, que caracteriza um regime de ventos constantes com velocidade média de 5 a 9 m/s, e seu relevo favorável, constitui-se como um dos Estados brasileiros com melhores condições para o aproveitamento da energia eólica.

Para Loureiro; Gorayeb & Brannstrom (2015), torna-se necessário avaliar a sensibilidade dos locais para a instalação dos parques eólicos observando a incidência real dessa atividade sobre o meio, ou seja, estimando as perdas ambientais frente à atividade, bem como sua possível interferência no modo de vida das populações locais.

Meireles (2011) afirma que é possível evidenciar que as usinas eólicas estão se avolumando de forma descontrolada, sem monitoramento integrado e definição dos impactos cumulativos. Muitas vezes, as intervenções são realizadas em área de preservação permanente, abrangendo campo de dunas fixas e móveis, lagoas interdunares (sazonais), planície de aspersão eólica, manguezais e faixa de praia. E são impactados ecossistemas associados às matas de dunas e tabuleiros e, possivelmente, a dinâmica do lençol freático.

Este último, conforme o autor, corresponde a outro impacto socioambiental decorrente da instalação dos parques eólicos. A pressão sobre os aquíferos compromete a

disponibilidade das águas subterrâneas e intensifica sua vulnerabilidade, o que pode afetar o equilíbrio seu fluxo, sua recarga e a subsistência humana.

É nesse contexto que se insere esta pesquisa que tem como *locus* de análise a comunidade da Praia de Xavier e seu entorno. É uma comunidade tradicional de pescadores que dista 370 km da capital do estado, Fortaleza, situa-se no extremo oeste da região costeira cearense, no município de Camocim, e integra a zona rural de um dos três distritos do município, Amarelas.

Diante da problemática exposta, chegou-se aos seguintes questionamentos: - Quais as possíveis interferências dos parques eólicos sobre as águas subterrâneas? - Como os parques eólicos podem interferir na vulnerabilidade das águas subterrâneas? - Há rebaixamento do lençol freático, especialmente em ambientes dunares? - A qualidade da água pode ser afetada? Como? - Quais fontes contaminantes existentes na área de estudo podem comprometer a qualidade das águas subterrâneas?

A proposta desta pesquisa se fundamentou na hipótese de que moradores da comunidade fizeram registros orais em relação à percepção da diminuição da vazão dos poços e de uma possível intrusão salina nos aquíferos após a instalação do empreendimento.

Assim, esta pesquisa teve como objetivo analisar a interferência do parque eólico sobre o aquífero sedimentar da Praia de Xavier e seu entorno, bem como a vulnerabilidade e qualidade das águas subterrâneas. Como objetivos específicos tem-se: a) Identificar o nível de interferência do parque eólico na recarga do lençol freático; b) Realizar análises físico-químicas e bacteriológicas das águas subterrâneas para verificar sua qualidade; c) Avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas da comunidade de Xavier e seu entorno; d) Identificar possíveis fontes contaminantes que podem comprometer a qualidade das águas subterrâneas na comunidade de Xavier e adjacências; e) Verificar a existência de uma possível intrusão salina que pode estar afetando a qualidade das águas do aquífero que abastece a área estudada.

O método GOD (*Groundwater occurrence, Overall aquifer class, Depth to groundwater table*) (Foster & Hirata, 1988) foi escolhido para realizar os estudos de vulnerabilidade natural do aquífero devido sua facilidade na determinação de seus parâmetros e pela boa espacialização dos dados em ambiente SIG - Sistema de Informações Geográficas.

Pensou-se também na elaboração de uma modelagem do aquífero sedimentar livre que abastece a comunidade da Praia de Xavier. Este procedimento foi realizado por meio do *software* Petrel E & P que é muito usado no setor de exploração e produção da indústria do petróleo, e consistiu na construção de um modelo para simular o fluxo das águas subterrâneas, auxiliar a compreensão do direcionamento desses fluidos e a estrutura do reservatório.

Outra etapa importante desta pesquisa foi a avaliação atual e comparativa dos parâmetros da qualidade da água por meio de análises físico-químicas e microbiológicas no período chuvoso na região (de janeiro a abril) (IPECE, 2017). No entanto, há registros de acumulados pluviométricos bastante volumosos nos meses de maio e junho, tendo em vista que a quadra chuvosa apresenta certas irregularidades no decorrer dos anos. As amostras coletadas para análises laboratoriais referiram-se aos anos de 2018 (março) e 2019 (junho), em que se pode verificar o nível de enquadramento nos padrões de potabilidade vigentes.

Este trabalho foi estruturado em cinco capítulos, sendo que o segundo capítulo traz os procedimentos metodológicos detalhados da pesquisa, o referencial teórico, as etapas de campo e relata o tratamento de dados necessários para obtenção dos resultados.

O capítulo três destaca as características e a vulnerabilidade do aquífero da Praia de Xavier e seu entorno, além de expor as análises da qualidade das águas subterrâneas.

O capítulo quatro traz o mapa de fluxo das águas subterrâneas, a modelagem do aquífero e a caracterização das fundações das torres eólicas na identificação e compreensão dos impactos da implantação do parque eólico na Praia de Xavier sobre o aquífero Dunas.

Por fim, o capítulo cinco traz as principais conclusões desta pesquisa, aponta sugestões e recomendações referentes à gestão dos poços cadastrados, à qualidade e ao uso das águas subterrâneas, bem como considerações sobre a instalação dos futuros parques eólicos na zona costeira, seus impactos e importância do monitoramento durante e depois das obras de engenharia que deve ser registrado nos estudos ambientais.

Sabe-se que este trabalho não esgotará todas as inquietações referentes à questão energética atual e suas implicações, mas traz contribuições relevantes com análises e reflexões na perspectiva da Geografia das Energias. Este novo campo de estudos da ciência geográfica abre caminhos que possibilitam o desenvolvimento de inúmeras pesquisas voltadas para as fontes energéticas, seus usos, impactos socioambientais, novas tecnologias que implementam fontes menos poluentes e mais sustentáveis ao possibilitar a descarbonização do setor energético pela redução da emissão de CO₂ na atmosfera.

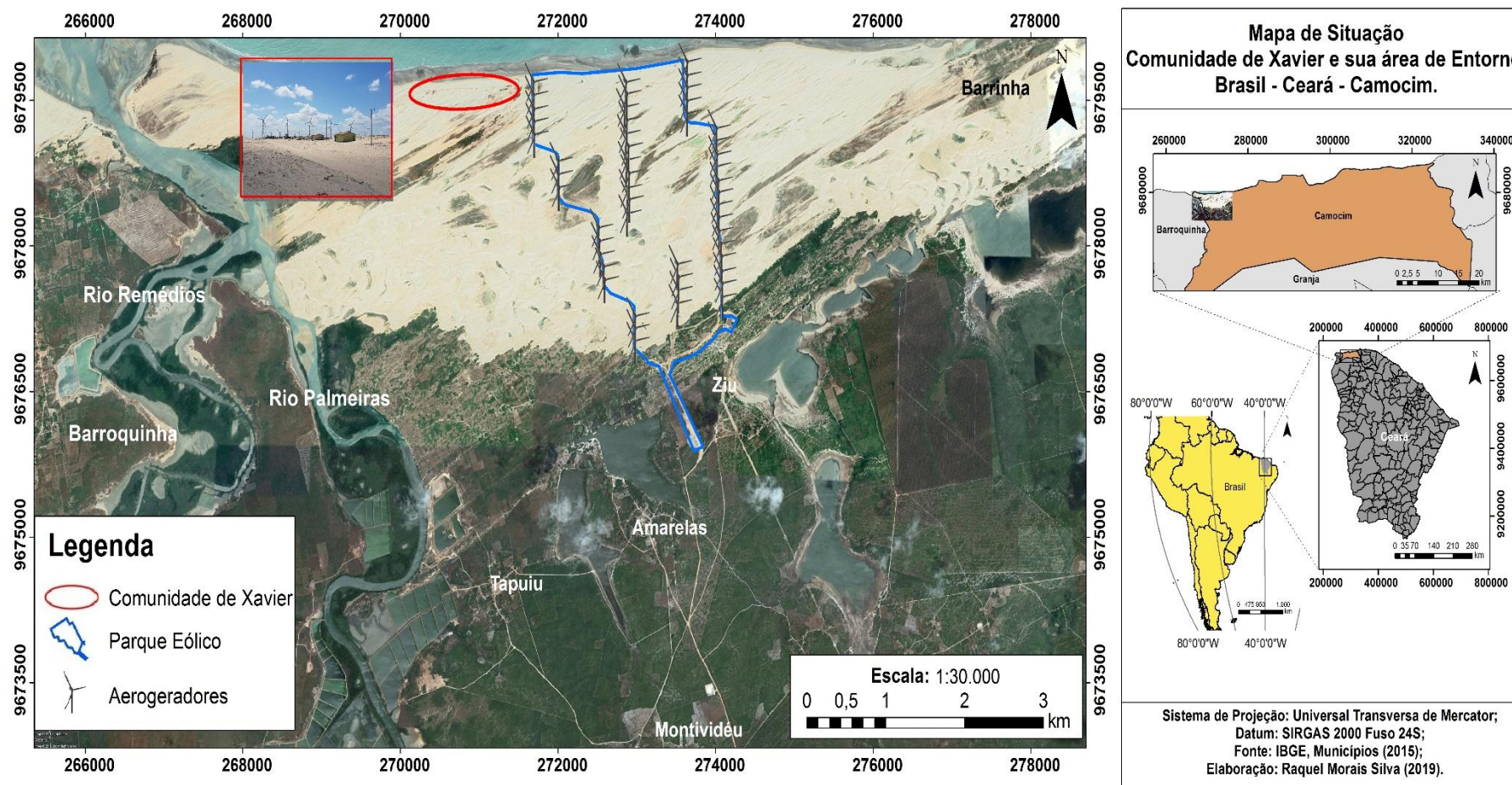
1.1 Caracterização da Área

O município de Camocim é formado pelos distritos de Camocim (criado em 1879), Guriú (criado em 1890) e Amarelas (criado em 1963) (IPECE, 2017).

A comunidade da Praia de Xavier se localiza no distrito de Amarelas, na zona rural do município de Camocim que dista 370 km da capital do estado, Fortaleza, e situa-se no

extremo oeste da zona costeira cearense. É uma comunidade tradicional de pescadores que possui 24 famílias e 65 habitantes que vivem basicamente da agricultura de subsistência, pesca marítima, extração de moluscos e crustáceos do manguezal (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de Situação da Comunidade de Xavier e sua Área de Entorno. Camocim, Ceará, Brasil



Elaboração: Raquel Morais Silva, 2019.

O acesso rodoviário pode ser realizado pelas rodovias estaduais CE-085 e CE-364 que possibilitam chegar à sede do município de Camocim e suas praias.

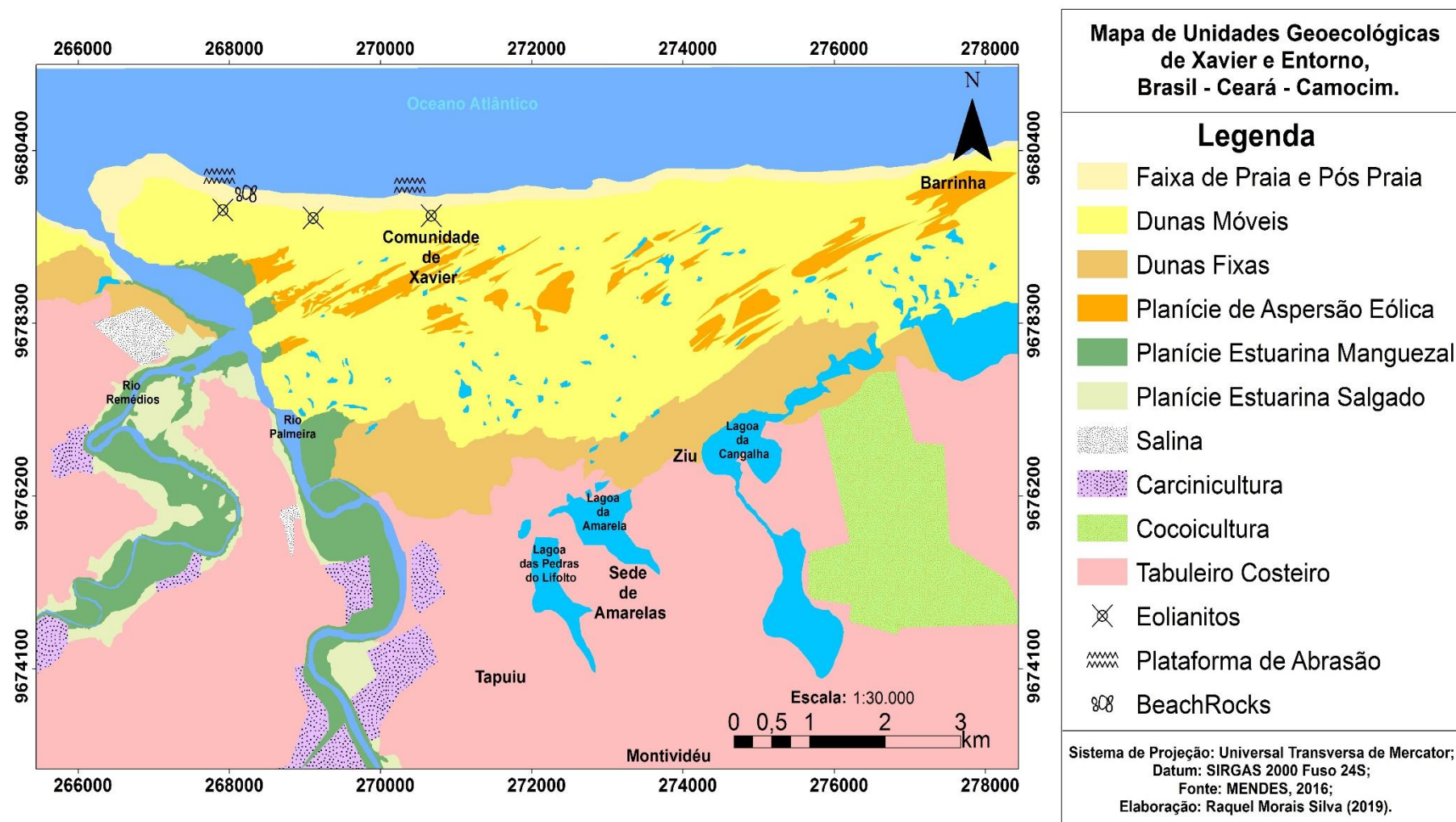
É uma área dotada de grande beleza cênica que apresenta potencialidades para diversas atividades socioeconômicas, como turismo e lazer, mas seu patrimônio histórico e cultural encontram-se ameaçados com a chegada de grandes empreendimentos característicos do circuito econômico produtivo globalizado (parque eólico e carcinicultura) que colocam em risco o modo de vida tradicional, a riqueza natural local, prioriza o uso e a ocupação desordenada do território gerando graves problemas socioambientais (MENDES, 2016).

Vale salientar que a carcinicultura afeta o desenvolvimento dos solos e a qualidade das águas superficiais e subterrâneas pelo despejo de águas contaminadas por produtos químicos ricos em enxofre, fósforo, ferro, zinco, manganês e magnésio, que são oriundas dos tanques de criação de camarões. Esta atividade é bastante presente próximo à área de estudo, à oeste, mais precisamente na planície estuarina recoberta por manguezais às margens dos rios Remédios e Palmeiras.

Destaca-se que é nesta área onde as mulheres das comunidades próximas, principalmente Xavier, se deslocam para catar mariscos, sururu e caranguejos que são destinados à alimentação das famílias.

Seus componentes ambientais são marcados por um relevo formado predominantemente pela planície litorânea e tabuleiros pré-litorâneos (Figura 2) (IPECE, 2017). A planície litorânea é caracterizada pelo campo de dunas que se compartimenta em dunas móveis, dunas fixas e semifixas, e eolianitos que correspondem a terrenos arenosos cuja ocupação ocorre pelo uso residencial, turismo, lazer, agricultura de subsistência, pecuária extensiva e extrativismo vegetal (MENDES, 2016; RABELO, 2018).

Figura 2 - Mapa das Unidades Geoecológicas de Xavier e Entorno, Camocim, Ceará, Brasil



Elaboração: Raquel Morais Silva, 2019.

Outras unidades geoecológicas da área estudada referem-se à faixa de praia e pós-praia, planícies estuarinas, planície de aspersão eólica e planícies lacustres cujos usos e formas de ocupação são o turismo, moradia, o extrativismo vegetal e animal, os quintais produtivos, a criação de animais de pequeno porte, carcinicultura, as salinas, mariscagem, catação de caranguejos, pecuária e pesca artesanal continental (MENDES, 2016).

1.2 Aspectos Climáticos

Neste tópico destaca-se a importância de analisar os aspectos climáticos e suas influências na área de estudo, uma vez que os períodos de estiagem e os períodos chuvosos interferem diretamente no nível do lençol freático, sua recarga e, consequentemente, nos níveis dos poços que abastecem a comunidade de Xavier e seu entorno.

O clima e suas variações são regidos por fatores geoambientais, componentes e elementos atmosféricos, como ventos, temperatura, umidade, além da influência das brisas marítimas, radiação solar e outros.

Para Meireles (2011), o setor norte do nordeste brasileiro concentra seu período chuvoso entre os meses de fevereiro e maio. Durante esta época o principal sistema responsável pelas chuvas é a chamada Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Outros sistemas secundários, como os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), as Linhas de Instabilidade (LI) e as brisas marinhas (estas duas últimas atuam principalmente ao longo da zona costeira), são também responsáveis pelos episódios de precipitações sobre a região.

O referido autor ainda afirma que depois do período chuvoso, a ZCIT se desloca até o hemisfério norte e as chuvas sobre a região cessam, iniciando-se um longo período de estiagem. Dessa forma, a sazonalidade climática bem definida e a qualidade da estação de chuvas (invernos regulares) dependem das condições atmosféricas e oceânicas, à grande escala, que modulam a intensidade, a fase e o movimento da ZCIT (MEIRELES, 2011).

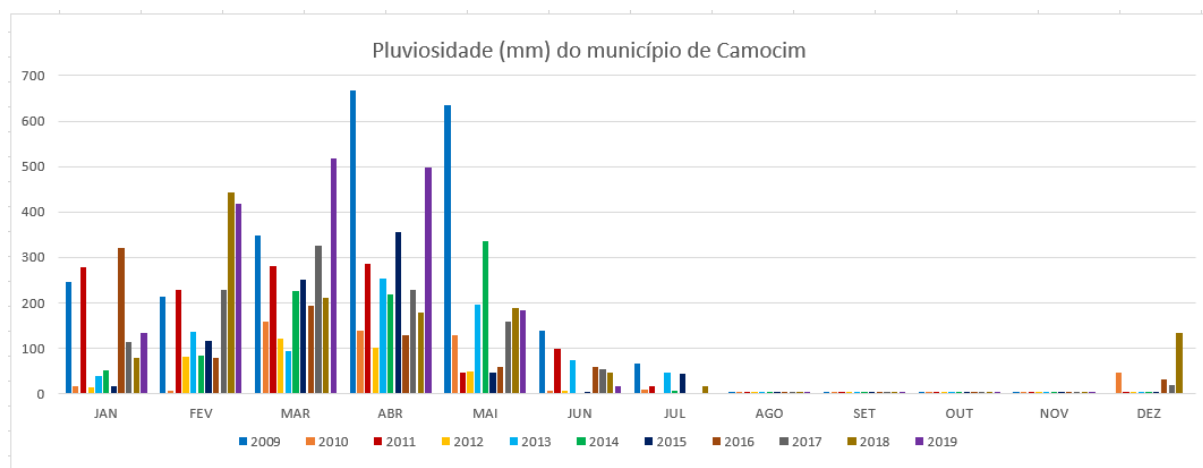
Ferreira *et al.* (2005) afirmam que os ventos no Ceará são mais intensos durante o dia, em virtude do aquecimento desigual das superfícies (mar litorâneo x continente) e possuem influência das brisas marinhas alinhadas com os ventos alísios de E-SE. A sua localização geográfica, a cerca de 3 graus ao sul do Equador, dá uma amplitude de variação anual de temperatura relativamente pequena, no entanto as flutuações diurnas de temperatura entre o continente e o oceano contribuem na ampliação da sazonalidade dos ventos (GORAYEB *et al.*, 2019).

Para Meireles (2011), os ventos apresentam-se no litoral como um importante componente da dinâmica da paisagem. As direções predominantes no litoral cearense são de SE, ESE, E e NE. As médias de velocidade chegam a superar os 4,5 m/s nos meses mais secos. No período de estiagem (segundo semestre) procede-se um predomínio dos ventos de SE (são os ventos mais intensos). No início da estação chuvosa, com a chegada da ZCIT, registram-se mudanças na direção dos ventos, passando a predominar os de nordeste.

No tocante aos aspectos climáticos da área de estudo, o distrito de Amarelas e suas comunidades, inseridos no município de Camocim estão sob influência do clima local predominante Tropical Quente Semiárido Brando, com pluviosidade em torno de 1.032,3 mm e temperaturas médias entre 26°C e 28°C. O período chuvoso é irregular, tendo suas chuvas concentradas no período de janeiro a abril (IPECE, 2017).

Dados da pluviosidade de Camocim foram obtidos no *site* da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME a partir dos registros do Posto Pluviométrico localizado na sede do município de Camocim, em julho de 2019, e compreendem os anos de 2009 - 2019. Os registros pluviométricos que caracterizam o microclima local podem ser vistos no gráfico 1.

Gráfico 1 - Pluviosidade do município de Camocim



Fonte: FUNCEME, 2019.

É possível perceber um considerável aporte pluviométrico ao longo do período chuvoso, sendo que os maiores índices se concentram nos meses de fevereiro, março, abril e maio, apresentando redução das precipitações a partir dos meses de junho e julho quando se inicia o período seco que perdura até o mês de dezembro, dando início às chuvas de pré-estação.

Os anos mais chuvosos foram 2009, 2011, 2014, 2015 e 2019, sendo que as médias pluviométricas ficaram em torno de 1011,75 mm.

Vale salientar que grande parte das águas oriundas das chuvas são armazenadas nas dunas e na Formação Barreiras e renovam o aporte dos aquíferos, além de elevar os níveis das lagoas interdunares ainda existentes e dos rios locais.

É durante o período em que ocorrem as maiores precipitações pluviométricas que se eleva o aporte de água doce para o aquífero e, conseqüentemente, é repassado para o estuário (MEIRELES *et al.*, 2007). Assim, todo o ecossistema e seus componentes são renovados e retroalimentados durante o período chuvoso.

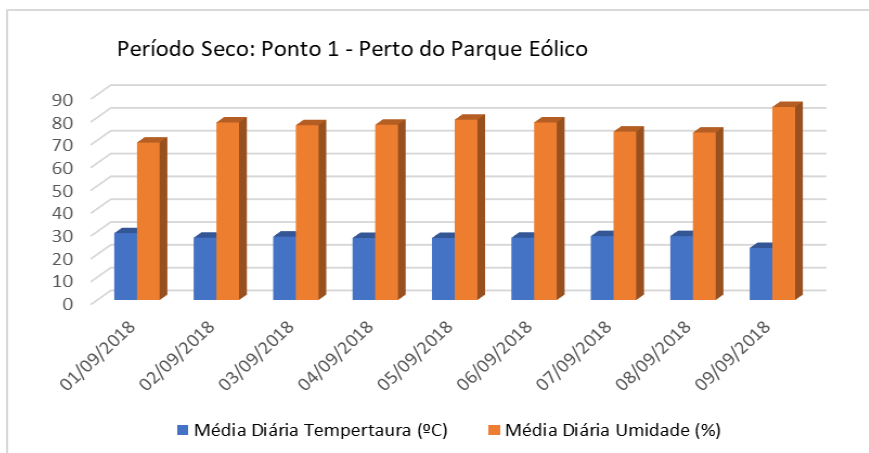
No tocante à umidade e às temperaturas locais, a comunidade de Xavier se localiza sobre o campo de dunas, e sua porção leste, desde a instalação do parque eólico em 2009, apresenta alterações referentes a estes elementos climáticos.

Na dissertação de Brasileiro (2019) foram realizadas medições de temperaturas e umidades locais onde dois pontos específicos serviram de apoio nas coletas. O ponto 1 refere-se à casa mais próxima da usina eólica (leste) e o ponto 2 refere-se à residência mais distante do parque (oeste da comunidade).

Os registros das temperaturas e umidade foram diários e realizados nos períodos chuvoso (final de abril e começo de maio/2018) e seco (setembro/2018). Nessa pesquisa, os dados diários das temperaturas e umidade foram originados das médias diárias e semanais para comparar o comportamento destes elementos climáticos em períodos distintos do ano, como se pode ver nos gráficos a seguir.

No gráfico 2, as medições de temperatura e umidade foram registradas no mês de setembro/2018 no ponto 1 mais próximo ao parque eólico e mostram que as temperaturas variam entre 22 °C e 29 °C. Já a umidade varia entre 69% e 84%.

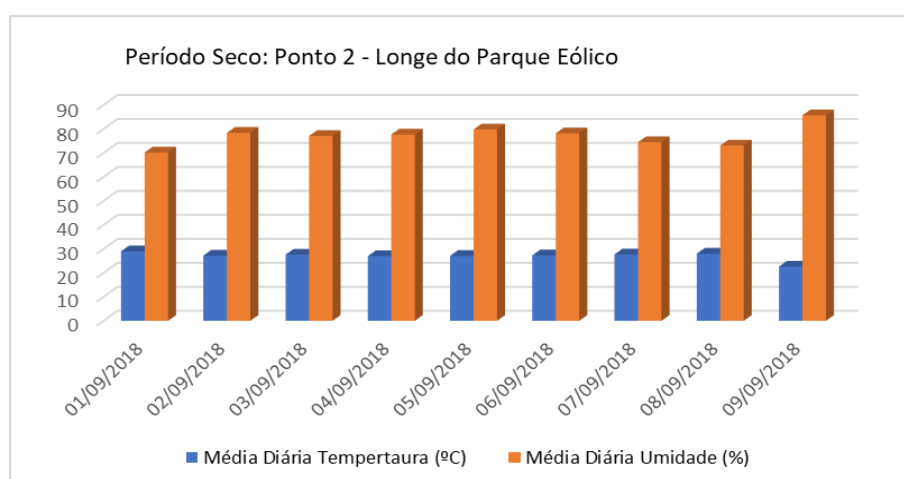
Gráfico 2 - Temperatura e Umidade no Período Seco (Ponto 1 – localizado a leste do parque eólico)



Fonte: BRASILEIRO, 2019.

O gráfico 3 demonstra que as temperaturas registradas no ano de 2018 estão entre 22 °C e 29 °C. Os dados de umidade que foram marcados expressam valores entre 70% e 85%. Este é o ponto 2 que corresponde à residência mais distante do parque eólico a oeste da comunidade de Xavier. As medições também foram realizadas no mesmo período.

Gráfico 3 - Temperatura e Umidade no Período Seco (Ponto 2 – oeste da comunidade, mais longe do parque eólico)



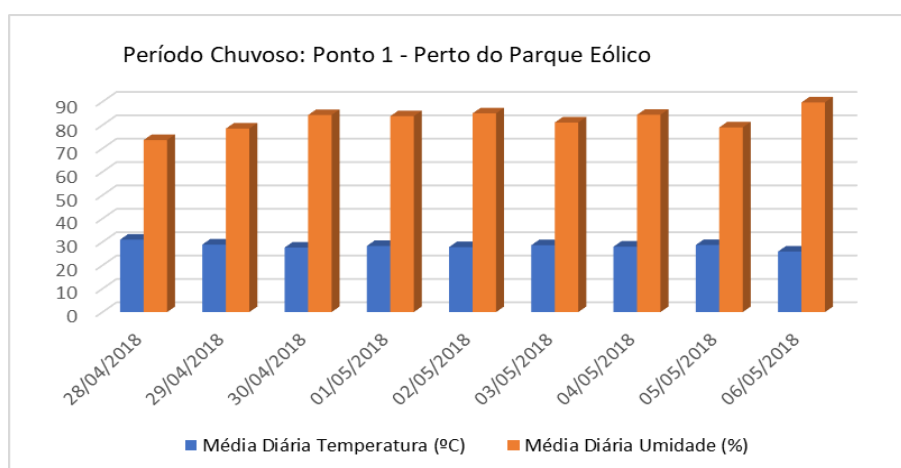
Fonte: BRASILEIRO, 2019.

Comparando ambos os pontos no período seco, 1 e 2, que correspondem aos gráficos acima 2 e 3, respectivamente, nota-se que as temperaturas registradas em 2018 foram homogêneas, apesar da distância entre ambas e o parque eólico. Já os dados referentes à

umidade apresentaram sensíveis diferenças, mas muito mínimas, o que permite afirmar que este elemento climático pode sofrer alterações resultantes do uso e da ocupação da superfície tornando o ar mais seco ou com maior presença de vapor de água em suspensão, tornando-o mais úmido.

Quanto ao período chuvoso, o gráfico 4 refere-se ao ponto 1 que está mais próximo do parque eólico, revelou temperaturas que variam entre 25 °C e 31 °C. Os dados de umidade, por sua vez, variaram entre 73% e 89%. As informações coletadas são dos meses de abril e maio de 2018.

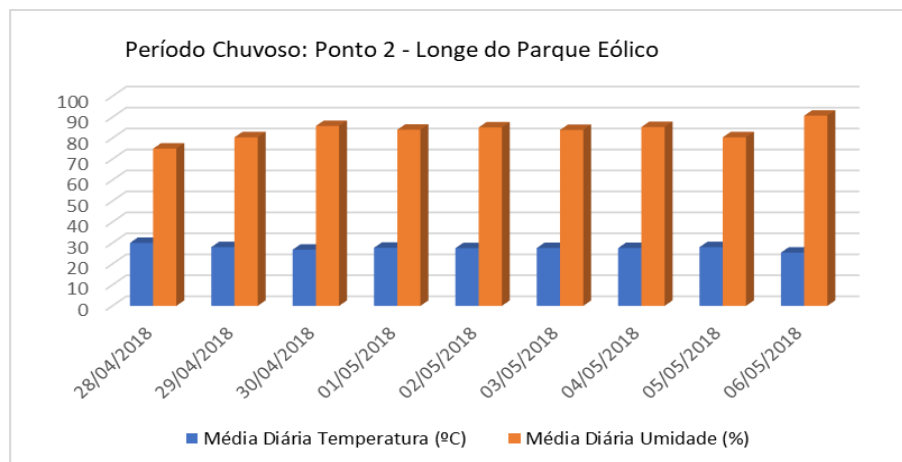
Gráfico 4 - Temperatura e Umidade no Período Chuvoso (Ponto 1 - a leste do parque eólico)



Fonte: BRASILEIRO, 2019.

Ainda no período chuvoso, o gráfico 5 revela em relação ao ponto 2 mais distante da usina eólica, temperaturas que variam entre 25 °C e 30 °C. Quanto aos registros de umidade, estes estão entre 75% e 90%.

Gráfico 5 - Temperatura e Umidade no Período Chuvoso (Ponto 2 - oeste da comunidade, mais longe do parque eólico)



Fonte: BRASILEIRO, 2019.

Comparando ambos os pontos no período chuvoso, 1 e 2, os gráficos 4 e 5 acima, respectivamente, apresentam as temperaturas sem grandes variações, mas em relação ao período seco, demonstraram uma sensível redução devido à maior umidade registrada no ambiente que ficou entre 75% e 90%, enquanto no período seco fica em torno de 70% a 85%.

A maior umidade presente na atmosfera deve-se à circulação dos ventos úmidos vindos do mar, proximidade com corpos hídricos, dentre outros fatores reguladores do microclima local.

1.3 Dinâmica Socioambiental da Comunidade de Xavier e seu Entorno: o uso das águas subterrâneas através dos poços e chegada do parque eólico

Outro aspecto importante a ser destacado refere-se à dinâmica socioambiental da área estudada que passou por intensas mudanças a partir da chegada da usina eólica.

A dinâmica socioambiental de Xavier e suas áreas adjacentes foi alterada quando, em 2008, as obras de instalação do parque eólico foram iniciadas e, em 2009, o empreendimento foi implantado, a cerca de 200 metros do extremo leste do adensamento das casas, considerado até então, o maior centro de geração de energia eólica do Ceará com capacidade de 104,4 MW e 50 aerogeradores numa área de aproximadamente 1.040 ha, ocasionando diversos problemas socioambientais na área (MENDES; GORAYEB & BRANNSTROM, 2016).

A chegada da fazenda eólica e suas obras de grande porte comprometeram a pesca continental nas lagoas interdunares devido ao soterramento e supressão desses corpos hídricos

que moveram grande quantidade de areia e sedimentos durante a abertura de vias de acesso e cortes nas dunas para fixar as fundações e hastes dos aerogeradores (TAVARES, 2018).

Salienta-se que os procedimentos de manutenção das turbinas, a construção de postos de transformação, instalação de cabos subterrâneos e equipamentos complementares necessários ao funcionamento do parque também interferiram no ecossistema dunar e no transporte de sedimentos que alimentavam as lagoas, o que alterou o aporte sedimentológico, assoreando esses corpos hídricos e as nascentes que as abasteciam, extinguiu espécies animais lacustres e comprometeu uma das fontes de subsistência da comunidade.

O parque eólico implantado e em funcionamento na comunidade de Xavier localiza-se na faixa litorânea próximo aos campos de dunas móveis e sobre áreas de grande potencial de armazenamento de águas subterrâneas em aquíferos livres, ambientes instáveis e que estão facilmente sujeitos aos impactos adversos devido à sua vulnerabilidade natural.

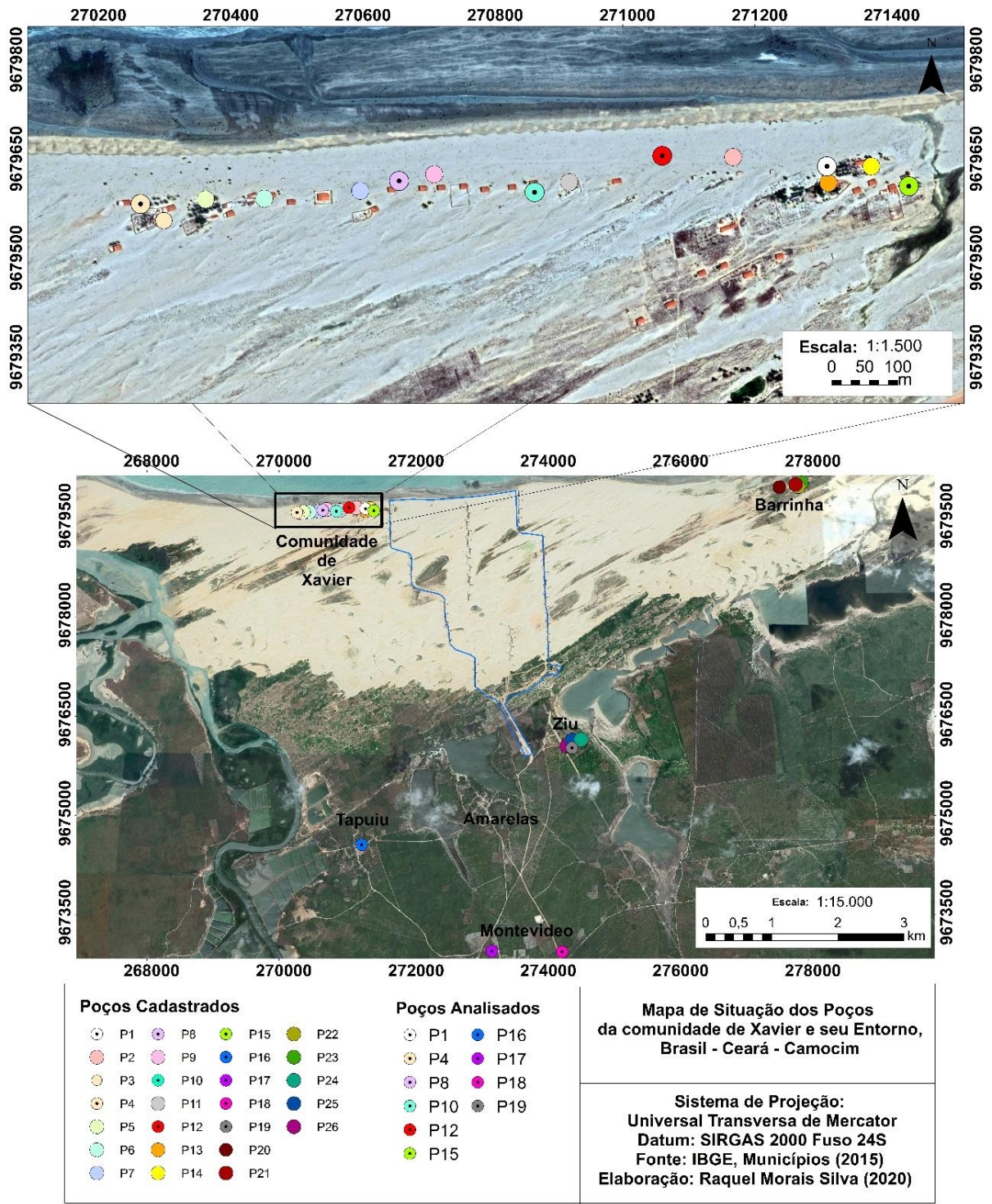
A identificação dos tipos de solos, caracterização do terreno e sua localização, bem como a verificação da eventual presença de níveis freáticos que possam condicionar os trabalhos de instalação de um parque eólico são essenciais nos projetos desse tipo de empreendimento e podem ser obtidos por meio de estudos geotécnicos (SILVA, 2014), principalmente no tocante à presença de água subterrânea, tipo de aquífero e demais aspectos que são relevantes tanto para a obra, como para o meio ambiente, seus componentes e a sociedade.

A comunidade de pescadores e seu entorno dependem diretamente do uso das águas subterrâneas para exercer atividades cotidianas e de subsistência, tendo em vista a ausência de sistema de água tratada e esgotamento sanitário para atender a demanda local, o que torna as reservas hídricas subsuperficiais mais vulneráveis a possíveis agentes contaminantes devido à construção de várias fossas nas proximidades dos poços rasos.

Na figura 3 é possível visualizar a distribuição dos 26 poços cadastrados, mensurados e analisados ao longo desta pesquisa. Toda esta área compreende adensamentos de casas encontradas entre o tabuleiro pré-litorâneo e a faixa de praia com seus campos de dunas, locais dotados por um alto índice de instabilidade ambiental. Vale ressaltar que a influência antrópica interfere na qualidade da água do aquífero.

A Figura 3 traz em maior destaque a comunidade de Xavier e os 15 poços que são utilizados para atender as demandas dos moradores. Estes, por sua vez, precisam entender a dinâmica que as águas subterrâneas possuem com a finalidade de manter sua conservação e potabilidade adequadas para consumo humano.

Figura 3 - Mapa de Situação dos Poços da Comunidade de Xavier e Entorno, Camocim, Ceará, Brasil



Elaboração: Raquel Morais Silva, 2019.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

2.1 Referencial Teórico

Os parques eólicos são espaços terrestres (*onshore*) ou marítimos (*offshore*) onde estão concentrados vários aerogeradores (a partir de cinco) destinados a transformar energia eólica em energia elétrica (SILVA & VIEIRA, 2016).

Esses megaempreendimentos também podem ser caracterizados e analisados de forma mais abrangente. Segundo Gorayeb & Brannstrom (2016), um parque eólico é um conjunto de turbinas dispostas ordenadamente numa mesma área, considerando-se a velocidade do vento, as condições de operação, a rugosidade do terreno, e a estabilidade térmica vertical da atmosfera.

Tais instalações possuem vantagens, como aponta Silva (2006) e Sousa (2010). Para eles, a proximidade geográfica das turbinas tem a vantagem econômica da redução dos custos, relacionado ao arrendamento da área, aluguel de maquinário para a construção das estruturas e gerenciamento da manutenção.

A energia eólica é responsável por mover os parques ou usinas eólicas e gerar energia elétrica para o abastecimento da população. É uma energia limpa, amigável ao meio ambiente em termos tecnológicos, é compatível para a geração de energia elétrica em grande escala, tem reduzida poluição ambiental e baixo consumo de água, não produz CO₂ (SAIDUR *et al.*, 2011 apud GORAYEB *et al.*, 2016), além do risco de insegurança no fornecimento ser pequeno (VRIES *et al.*, 2007 apud GORAYEB *et al.*, 2016).

Esta modalidade energética, apesar de possuir inúmeros pontos positivos também apresenta impactos socioambientais adversos significativos, principalmente se os parques forem instalados próximos às comunidades sem os devidos cuidados técnicos necessários para evitar ou mitigar possíveis transtornos que afetem os meios físico e socioeconômico.

Em 2009, a comunidade tradicional de Xavier foi alvo da implementação de uma das maiores centrais de geração de energia eólica do Ceará e do Nordeste. A partir de então, a comunidade tem enfrentado sérios transtornos socioambientais que ameaçam seu modo de vida, suas atividades extrativistas e cotidianas, sua segurança alimentar e hídrica.

De acordo com o Inciso I, do art. 3º, do Decreto Nº 6.040 de 7 de fevereiro de 2007, define-se como comunidades tradicionais os grupos culturalmente diferenciados e que se reconhecem como tais, que possuem formas próprias de organização social, que ocupam e usam

territórios e recursos naturais como condição para sua reprodução cultural, social, religiosa, ancestral e econômica, utilizando conhecimentos, inovações e práticas gerados e transmitidos pela tradição.

O uso dos recursos naturais pelos grupos tradicionais é feito de forma sustentável e equilibrada no sentido de conservar os ecossistemas e a sobrevivência dos membros da comunidade. No entanto, é preciso que as atividades locais desenvolvidas não comprometam o equilíbrio desses recursos, o que pode colocar em risco as reservas de água superficiais e subterrâneas, a vegetação, a fauna e a flora.

A implantação dos parques eólicos no litoral é bastante delicada e polêmica, e tem se intensificado ao longo dos anos na costa cearense, o que pode comprometer seriamente a recarga das reservas hídricas subterrâneas que, muitas vezes, são estratégicas no abastecimento das comunidades tradicionais situadas ao longo da zona costeira, como a comunidade de Xavier e seu entorno.

Um dos recursos naturais mais essenciais para a comunidade é a água subterrânea captada dos poços rasos construídos pelos próprios moradores, uma vez que não existe sistema de água tratada e encanada, e de esgotamento sanitário nas residências, o que compromete seriamente a qualidade da água dos aquíferos, tornando-os mais vulneráveis à contaminação oriunda de fontes pontuais, como as fossas próximas aos poços artesianos.

Os aquíferos referem-se às reservas de água abaixo do solo que são abastecidos pela chuva e funcionam como caixas d'água que alimentam os rios e as lagoas. No período das chuvas, a água percola no solo e se deposita nesses reservatórios. Nos períodos de seca, a água subterrânea que abastece os rios aflora a superfície e é evaporada.

Para Grotzinger & Jordan (2013), a água subterrânea pode fluir em aquíferos não confinados e confinados. Em aquíferos não confinados ou livres, a água percola, passa lentamente, ou através de camadas de permeabilidade mais ou menos uniforme, que se estendem até a superfície. O nível do reservatório num aquífero não confinado corresponde à altura da superfície freática.

Na presente pesquisa é dada maior ênfase aos aquíferos livres, freáticos ou não confinados, porosos e rasos como os que abastecem a comunidade de Xavier e seu entorno.

Os aquíferos livres porosos alimentam diretamente os rios, são mais sensíveis à poluição, por estarem mais próximos à superfície, onde a zona saturada tem contato direto com a zona não saturada, ficando submetido à pressão atmosférica. Sua recarga é feita pela percolação da água que atravessa a zona não saturada e reabastece diretamente o aquífero nos períodos de chuva, renovando suas reservas e elevando seu nível (REBOUÇAS; FEITOSA &

DEMÉTRIO, 2013). Eles também são fortemente marcados por duas características que facilitam a percolação, o armazenamento e fluxo hídrico: a porosidade e permeabilidade.

Para Karmann (2009), o principal fator que determina a disponibilidade de água subterrânea não é a quantidade de água que os materiais armazenam, mas sim a sua capacidade em permitir o fluxo de água através dos poros. Assim, a permeabilidade depende do tamanho dos poros e da conexão entre eles.

A presente área de estudo é marcada pela ocorrência de lagoas e rios que afloram ao longo do campo de dunas devido, principalmente, à baixa profundidade do nível freático e à permoporosidade do terreno, o que se configura como um território dotado de vários pontos de descarga do aquífero que apresenta entrada e saída de fluidos com considerável frequência, o que destaca a dinâmica do balanço hídrico e a renovação das águas dos reservatórios que abastecem os poços utilizados pelos moradores.

A análise do fluxo hídrico subterrâneo é um dos alicerces que auxiliam o entendimento da vulnerabilidade dos sistemas hídricos e permite visualizar o direcionamento tomado pela água subterrânea numa determinada unidade geológica e geomorfológica, como o campo de dunas onde se encontra a comunidade de Xavier e seu entorno que se estende até a Formação Barreiras.

Para avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas é pertinente destacar o conceito de vulnerabilidade que pode ser entendido como a suscetibilidade dos aquíferos serem afetados por cargas contaminantes de origem antrópica (FEITOSA *et al.*, 2008). Dá-se basicamente em função da facilidade de os contaminantes transporem a zona não-saturada do solo, cujas características de ordem física e química, associadas às características do contaminante, resultarão na capacidade de atenuá-los, retê-los ou eliminá-los antes de atingirem os aquíferos.

Para Hirata *et al.* (2009) as águas subterrâneas, embora mais bem protegidas e em maior volume que as superficiais, são também passíveis de serem afetadas pela má exploração ou pela contaminação causada por atividades antrópicas.

A exploração excessiva por meio de extração da água realizada de forma a não respeitar as características do aquífero, pode exauri-lo, fazer com que a extração hídrica não seja mais economicamente viável ou mesmo causar impactos aos sistemas ecológicos dependentes das águas subterrâneas. Esse fato é chamado de superexploração (HIRATA; HIRATA & LIMA, 2009) e intensifica sobremaneira a vulnerabilidade das reservas hídricas subterrâneas.

No caso da comunidade de Xavier, o uso das águas subsuperficiais é realizado por meio dos poços rasos construídos pelos próprios moradores sem nenhum conhecimento referente às normas de segurança deste tipo de construção, sendo que alguns, mais a leste, estão localizados nas proximidades do parque eólico.

Tais fatores também ameaçam a qualidade das águas subterrâneas e aumentam sua vulnerabilidade a possíveis fontes contaminantes provenientes dos usos dos moradores.

Para Hirata *et al.* (2009), o problema de contaminação das águas subsuperficiais está associado às atividades em superfície que lançam substâncias que degradam as águas subterrâneas ou mesmo à má construção de captações subterrâneas, que permite o ingresso de contaminantes no poço ou na fonte ou até no aquífero.

A qualidade das águas está intimamente relacionada aos parâmetros físicos, químicos e biológicos que caracterizam as amostras coletadas e analisadas, como cor, turbidez, íons dissolvidos (cloreto, sódio), dureza, índice de coliformes fecais e totais, pH, alcalinidade, nitratos, dentre outros.

A qualidade das águas superficiais e subterrâneas pode ser afetada inviabilizando seus usos múltiplos, com destaque para o consumo humano, devido às alterações nos seus parâmetros. Essas alterações são oriundas de cargas poluentes ou contaminantes e comprometem a potabilidade. Deste modo, torna-se necessário abordar outros conceitos relevantes nesta pesquisa, como contaminação e poluição.

O conceito de contaminação refere-se à transmissão de substâncias ou microrganismos nocivos à saúde pela água. A ocorrência de contaminação não implica necessariamente um desequilíbrio ecológico. Assim, a presença na água de organismos patogênicos prejudiciais ao homem não significa que o meio ambiente aquático esteja ecologicamente desequilibrado. Analogicamente, a poluição não implica necessariamente riscos à saúde de todos os organismos que fazem uso dos recursos hídricos afetados (BRAGA *et al.*, 2005).

Corroborando com esta análise, Manoel Filho (2008), afirma que toda água contaminada é poluída, mas nem toda água poluída (não afete a saúde do homem) é contaminada.

As análises laboratoriais são imprescindíveis nesse aspecto para indicar se os parâmetros de qualidade da água estão dentro da normalidade e não oferecem nenhum risco à saúde humana, segundo o que estabelece o Ministério da Saúde por meio da Portaria Nº 2914/2011 que foi revogada e substituída pela PRC - Portaria de Consolidação Nº 5 de 28 de setembro de 2017 e seu Anexo XX e a Resolução Nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio

Ambiente - CONAMA que tratam da potabilidade, classificação e enquadramento dos corpos hídricos.

2.2 Etapas de Campo: Cadastro dos Poços e Análise da Qualidade da Água

Para esta pesquisa foram realizadas cinco atividades de campo, sendo julho/2017, março/2018, setembro/2018, fevereiro/2019 e junho/2019 para medições in situ do nível d'água dos poços e amostragem da água subterrânea para análises físico-químicas e bacteriológicas com o objetivo de determinar a situação atual da vulnerabilidade do aquífero na área e avaliar a qualidade das águas subterrâneas, além de comparar com os resultados já alcançados em setembro de 2017 pelo grupo de pesquisa do LABOCART/UFC no projeto PRONEM/CAPES/FUNCAP, “Análise socioambiental da implantação de parques eólicos no Nordeste: perspectivas para a sustentabilidade da geração de energia renovável no Brasil” (Processo PNE-0112-00068.01.00/16).

Quadro 1 - Etapas de Campo e Objetivos

Datas das Etapas de Campo	Objetivos
Julho/2017 (período seco; realizado pelo grupo de pesquisa)	<ul style="list-style-type: none"> • Medir Nível Estático da água dos poços da área de estudo, em especial dos 15 poços de Xavier; • Identificar possíveis fontes contaminantes.
Março/2018 (período chuvoso; realizado pelo grupo de pesquisa)	<ul style="list-style-type: none"> • Coletar amostras de água de 10 poços da área de estudo (seis poços em Xavier, dois em Montevideu, um em Tapuiú e um em Ziu); • Analisar e avaliar a qualidade das águas subterrâneas.
Setembro/2018 (período seco)	<ul style="list-style-type: none"> • Atualizar o cadastro de poços; • Medir o Nível Estático dos 15 poços da comunidade de Xavier; • Identificar possíveis cargas contaminantes.
Fevereiro/2019 (início do período chuvoso)	<ul style="list-style-type: none"> • Atualizar o cadastro de poços com a inserção de sete novos pontos, suas coordenadas geográficas, profundidade e medição do nível estático; • Identificar possíveis cargas contaminantes.
Junho/2019 (final do período chuvoso)	<ul style="list-style-type: none"> • Coletar amostras de água de 10 poços da área de estudo (seis poços em Xavier, dois em Montevideu, um em Tapuiú e um em Ziu); • Avaliar a qualidade das águas subterrâneas e comparar com resultados de análises anteriores.

Fonte: Raquel Morais Silva, 2020.

Vale ressaltar que na quarta etapa de campo, fevereiro/2019, foram incluídos sete novos poços, sendo quatro na comunidade da Barrinha, que se encontra a leste do parque eólico, e três na comunidade de Ziu, que se localiza ao sul do empreendimento. Esses pontos de captação foram incluídos no cadastro de poços e ajudaram a ampliar a compreensão sobre possíveis interferências do parque eólico na sua área de influência.

Os dados coletados em campo foram registrados no cadastro de poços que está nos Apêndices A, B, C.

Para realizar as coletas de água foi utilizado o bailer, que é um amostrador ideal para captar águas subterrâneas (Figura 4), fornecido pelo Laboratório de Geoquímica, do Departamento de Geologia - UFC.

Figura 4 - Coleta de água com o bailer em Xavier



Fonte: Equipe de campo, 2019.

Na extremidade superior do bailer existe um fio nylon para segurar, enquanto o equipamento é inserido no poço. No seu interior existe uma pequena esfera de plástico que sobe quando o líquido é coletado. Esta tende a descer quando o tubo enche para impedir que a água escoe. Na extremidade inferior do bailer é introduzido um canudo plástico sob medida que empurra a esfera para cima e permite a passagem da água para dentro das garrafas ou frascos de análises.

Para esterilizar os materiais utilizados nas coletas das amostras de água foram necessários algodão, álcool e luvas. Quanto ao armazenamento das amostras foram utilizadas caixas de isopor, caixa térmica, gelo, coletores universais de 80 ml com tampa, garrafas plásticas pet esterilizadas de 1000 ml, fita gomada para identificar as amostras com as canetas

permanentes, além de frascos com corantes e reagentes para conservar as amostras coletadas (Figuras 5, 6 e 7).

Figura 5 - Caixa de isopor e garrafas pet



Fonte: Raquel Morais Silva, 2019.

Figura 6 - Caixa térmica, frascos e corantes



Fonte: Raquel Morais Silva, 2019

Figura 7 - Caixa de isopor, álcool, luvas, coletores e outros



Fonte: Raquel Morais Silva, 2019

Após a coleta, as garrafas e os coletores foram mantidos refrigerados e posteriormente foram encaminhados ao Laboratório de Geologia da Universidade Federal do Ceará – UFC e ao Laboratório da NUTEC (Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará), localizados em Fortaleza/CE para a realização dos procedimentos laboratoriais. A metodologia utilizada nas análises físico-químicas e bacteriológicas foi baseada no *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Ressalta-se a relevância da inserção do Laboratório de Geoquímica Ambiental, do Departamento de Geologia nas análises das amostras coletadas no campo de junho de 2019, que possibilitou a ampliação da gama de parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas, o que permitiu atualizar os estudos hidrogeoquímicos da área com mais detalhes e realizar um

monitoramento mais completo das variáveis que contribuem para uma boa potabilidade das reservas hídricas subterrâneas.

Nas análises físico-químicas foram avaliados os seguintes íons e parâmetros: Cloreto (mg/L Cl^-), Dureza Total (mg/L CaCO_3), Ferro Total (Fe), Nitrato (N-NO_3^-), Nitrito (N-NO_2^-), pH, Sódio (Na^+), Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L STD), Sulfatos (SO_4^{2-}), Amônia (NH_3), Cor Aparente (μC), Fósforo Total (mg/L P), Turbidez (UNT), Condutividade Elétrica ($\mu\text{S/cm}$), Alcalinidade Total (mg/L CaCO_3), Bicarbonato (mg/L HCO_3^-), Nitrogênio Amoniacal Total ($\text{mg/L N-NH}_{3,4}$), Cálcio (mg/L Ca^{+2}), Magnésio (mg/L Mg^{+2}), Potássio (mg/L K^+), Sílica (mg/L SiO_2), Fluoreto (mg/L F^-) e Alumínio (mg/L Al).

Os parâmetros bacteriológicos analisados foram os Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes ou Fecais, principalmente as bactérias do grupo *Escherichia coli*.

A análise das concentrações de Cloreto, Sódio e da Condutividade Elétrica das águas foi utilizada na avaliação de uma possível intrusão salina no aquífero, devido à redução da carga freática produzida por uma possível interferência das fundações dos aerogeradores.

Os dados obtidos nas análises laboratoriais foram tratados no programa QualiGraf, desenvolvido pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME no ano de 2001, atualizado em 2002 e 2014 que permite a elaboração de vários tipos de diagramas hidroquímicos, incluindo o Diagrama de Piper, que faz a classificação iônica das amostras de água. Esta ferramenta representa graficamente os resultados das análises químicas e constitui-se por dois triângulos cujos vértices estão os íons principais, em porcentagem. Nesta pesquisa foi utilizado o Diagrama de Piper para tais análises.

A avaliação da qualidade da água corresponde às amostras coletadas nos períodos chuvosos de março/2018 (equipe de campo/pesquisa) e junho/2019. Nesta etapa utilizou-se uma metodologia qualitativa, justamente por ser executada em comunidades pequenas.

Para realização das coletas das amostras de água, do universo de 26 poços cadastrados (Quadro 2), foram escolhidos 10 poços (em destaque na cor azul clara), bem espacializados e distribuídos no distrito de Amarelas, tendo como critérios a proximidade das residências com o parque eólico e com possíveis fontes contaminantes emissoras de efluentes, além do embasamento geológico e geomorfológico onde se encontram as cacimbas e as comunidades.

Quadro 2 - Quadro Síntese dos Poços Cadastrados

Ordem	X	Y	Comunidade	Prof. (m)	Situação atual	Tipo de bomba	Fonte de Poluição
P1	271309	9679642	Praia Xavier	N.A.	Ativo	Não tem	Fossa
P2	271167	9679656	Praia Xavier	N.A.	Ativo	Não tem	Fossa
P3	270306	9679560	Praia Xavier	N.A.	Ativo	Submersa	Fossa
P4	270271	9679585	Praia Xavier	N.A.	Ativo	Não tem	Fossa
P5	270369	9679592	Praia Xavier	N.A.	Ativo	Submersa	Fossa
P6	270458	9679593	Praia Xavier	N.A.	Ativo	Submersa	Fossa
P7	270603	9679605	Praia Xavier	N.A.	Ativo	Não tem	Fossa
P8	270662	9679620	Praia Xavier	N.A.	Ativo	Não tem	Fossa
P9	270715	9679630	Praia Xavier	N.A.	Ativo	Não tem	Fossa
P10	270867	9679603	Praia Xavier	N.A.	Ativo	Não tem	Fossa
P11	270919	9679618	Praia Xavier	N.A.	Ativo	Não tem	Fossa
P12	271060	9679658	Praia Xavier	N.A.	Ativo	Não tem	Fossa
P13	271311	9679617	Praia Xavier	N.A.	Ativo	Submersa	Fossa
P14	271376	9679642	Praia Xavier	N.A.	Ativo	Submersa	Fossa
P15	271433	9679612	Praia Xavier	N.A.	Ativo	Submersa	Fossa
P16	271247	9674556	Tapuiú	52,00	Ativo	Submersa	Fossa
P17	273219	9672947	Montevidéu	40,00	Ativo	Submersa	Fossa
P18	274280	9672937	Amarelas	43,00	Ativo	Submersa	Fossa
P19	274429	9676023	Ziu	N.A.	Ativo	Submersa	Fossa
P20	277565	9679969	Barrinha	3,00	Ativo	Submersa	Fossa
P21	277811	9680011	Barrinha	3,0	Ativo	Submersa	Fossa
P22	277847	9679978	Barrinha	N.A.	Ativo	Submersa	Fossa
P23	277896	9680032	Barrinha	4,0	Ativo	Submersa	Fossa
P24	274568	9676147	Ziu	N.A.	Inativo	Não tem	Fossa
P25	274431	9676141	Ziu	14,29	Inativo	Não tem	Fossa
P26	274352	9676052	Ziu	N.A.	Inativo	Não tem	Não tem

Elaboração: Raquel Moraes Silva, 2020. NA – Não Analisados.

Deste modo, na comunidade de Xavier foram escolhidos seis poços, sendo que alguns estão nas proximidades dos aerogeradores (leste) e outros mais distantes (nos extremos, oeste), com o intuito de abranger maior parte da área e fazer comparativos entre as amostras. Um poço profundo foi escolhido na comunidade de Ziu, que fica ao sul dos aerogeradores, além de dois poços situados na localidade de Montevidéu, que também fica ao sul da usina eólica e outro ponto de captação na localidade de Tapuiú.

A medição do nível estático dos poços foi realizada com o medidor eletro-sonoro Jaciri de 100 metros. Ao tocar no nível da água, o sensor emite um som/alarme que indica a distância do espelho d'água até a superfície. Este pode ser verificado pelas marcações ao longo

do cabo graduado do sensor. Na figura 8 pode-se verificar uma das medições realizadas na comunidade de Xavier.

Figura 8 - Medição do Nível Estático dos Poços em Xavier



Fonte: Equipe de campo, 2017.

A seleção dos poços para a pesquisa foi feita com base no uso da água e na distribuição espacial dos poços, buscando a melhor caracterização e espacialização da área, resultando em informações mais representativas do meio físico.

2.3 Tratamento de Dados: Aplicação do Método GOD

O principal método utilizado para o estudo da vulnerabilidade do aquífero foi o índice GOD, que analisa a vulnerabilidade das águas subterrâneas a possíveis impactos das atividades antrópicas, como a instalação do parque eólico na comunidade de Xavier sobre o campo de dunas e o despejo de efluentes que, por sua vez, se configuram como cargas contaminantes pontuais, em sua maioria, que podem atingir o lençol freático e alterar a potabilidade das águas do aquífero.

O método GOD foi empregado para avaliação da vulnerabilidade do aquífero e sua nomenclatura tem três parâmetros fundamentais:

1. Ocorrência de água subterrânea (*Groundwater occurrence*), onde os valores são obtidos dentro de um intervalo de 0 a 1;
2. Classificação dos estratos acima da zona saturada do aquífero em termos do grau de consolidação e caráter litológico (*Overall aquifer class*) - esta propriedade conduz a um segundo ponto na escala de 0,3 a 1,0;

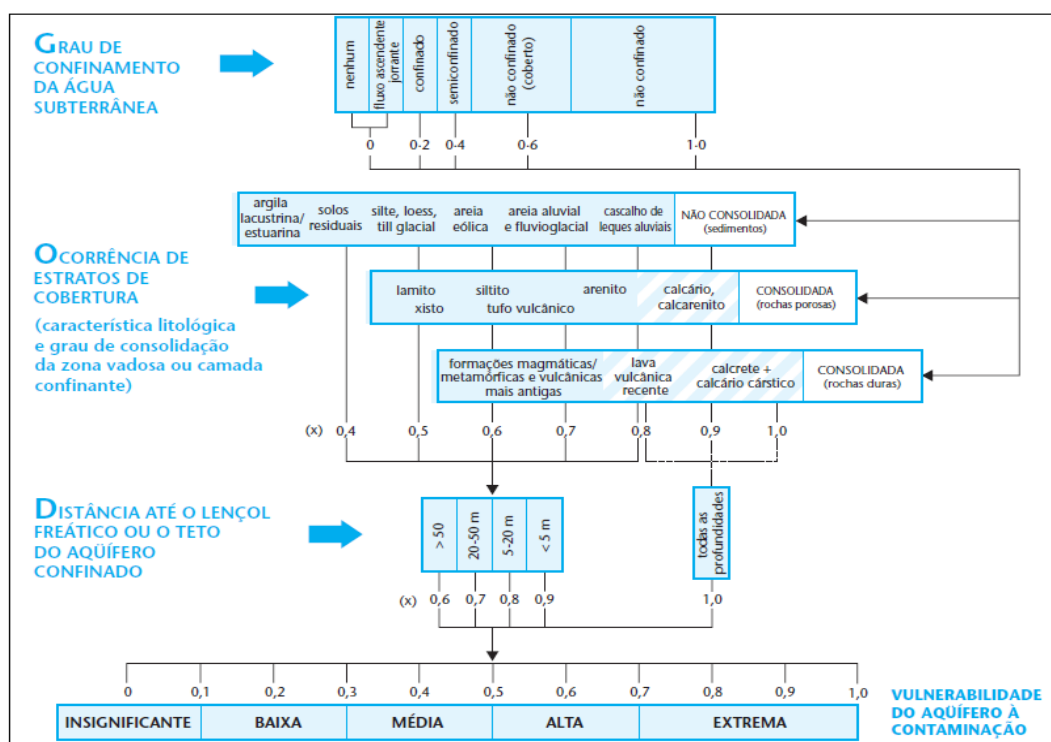
3. Profundidade do topo do aquífero (*Depth to groundwater table*), que define o terceiro ponto, na escala de 0,4 a 0,9 (FOSTER & HIRATA, 1988; FOSTER et. al. 2006).

Destarte, **G** corresponde ao grau de confinamento do aquífero (a predominância, neste estudo, é livre ou não confinado), **O** corresponde à litologia, natureza do material de origem (areia eólica ou arenito) e **D** corresponde ao nível de água.

Portanto, este método permite classificar a vulnerabilidade dos aquíferos por meio do grau de confinamento desses corpos hídricos subterrâneos, a ocorrência de estratos de coberturas (litologia) e a profundidade do nível estático da água (obtido em campo), com a finalidade de produzir mapas hidrológicos da área, considerando períodos diferentes do ano, seco e chuvoso.

Pelo sistema GOD (Figura 9), quanto mais confinado for o aquífero, menor será sua vulnerabilidade, enquanto aquíferos livres e não confinados apresentam maior vulnerabilidade. Aquíferos formados por materiais de maior permeabilidade possuem maior vulnerabilidade em relação aos aquíferos menos permeáveis, assim como seus graus de consolidação. A profundidade do lençol freático está relacionada a maiores ou menores graus de vulnerabilidade, considerando que lençóis mais superficiais seriam contaminados mais rapidamente do que lençóis mais profundos (MANZIONE, 2015a).

Figura 9 - Croqui da metodologia “GOD” para o cálculo do índice de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos



Fonte: Foster et al. (2006).

Os componentes recebem valores entre 0 a 1,0 a partir das interpretações que resultam em mapas com índices gerados a partir de mapas geológicos e/ou pedológicos e alturas de nível freático. Os valores atribuídos são multiplicados entre si em ambiente de sistema de informação geográfica – SIG e os planos de informação G, O, D geram um mapa final contendo os índices de vulnerabilidade do aquífero à contaminação, de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3 - Classes de significância de vulnerabilidade do aquífero

Intervalo	Classe	Características
0 – 0,1	Desprezível	Desconsidera as camadas confinantes com fluxos verticais descendentes não significativos.
0,1 – 0,3	Baixo	Vulnerável aos contaminantes conservativos em longo prazo, quando continuamente e amplamente lançados.
0,3 – 0,5	Médio	Vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançados.
0,5 – 0,7	Alto	Vulnerável a muitos poluentes, exceto aqueles pouco móveis e pouco persistentes.
0,7 – 1,0	Extremo	Vulnerável a muitos poluentes, com rápido impacto em muitos cenários de contaminação.

Fonte: Modificada de Hirata (2006).

Os valores obtidos podem ser interpolados e atribuídos para cada poço utilizando a ferramenta *GeoStatistic Wizard* do *ArcGis 13.0* (ESRI, 2016). Outra ferramenta que também pode ser utilizada para esta finalidade é o QGIS. Para isto, foi utilizada a *krigagem* que consiste num método comum de regressão, muito utilizado em Geoestatística para realizar a interpolação espacial de dados.

O método GOD (FOSTER & HIRATA, 1988) é um dos métodos mais difundidos na América Latina e Caribe (HIRATA & FERNANDES, 2008) e foi escolhido para realizar os estudos de vulnerabilidade natural do aquífero devido sua facilidade na determinação de seus parâmetros e pela boa espacialização dos dados em ambiente SIG.

Os parâmetros do método GOD foram identificados levando em conta os dados geológicos e hidrogeológicos contidos nos relatórios técnicos do IPECE (2010) e perfis construtivos dos poços a partir dos dados coletados em campo. A definição dos valores para cada parâmetro foi baseada na interpretação desses dados.

Assim, o método GOD possibilitou a elaboração de um mapa de vulnerabilidade por meio de isolinhas e o zoneamento das unidades geológicas que foram gerados em ambiente SIG.

No mapeamento de fluxo desenvolveu-se um mapa de isolinhas de carga hidráulica e vetores de fluxo para o período de 2018, considerando-se a profundidade do nível estático medidos *in situ* de 18 poços. A base altimétrica utilizada neste mapeamento constou de uma carta topográfica com isolinhas de 5 metros, desenvolvida pelo IPECE.

Foi realizado um tratamento geoestatístico, mediante *krigagem* dos dados, utilizando o *software Surfer* (versão 8). Este método de interpolação está baseado no princípio de que pontos próximos no espaço tendem a apresentar valores semelhantes, se comparados com os pontos mais afastados.

O objetivo do mapa de fluxo é conhecer a direção do fluxo hídrico subterrâneo na área de pesquisa e, conseqüentemente, mostrar o possível impacto do parque eólico instalado em ambiente de dunas, causando o rebaixamento do nível estático da água subterrânea.

2.4 Elaboração da Modelagem do Aquífero

Outro método adotado neste trabalho foi a elaboração da modelagem do aquífero livre que abastece a comunidade de Xavier¹ que objetivou a representação virtual e matemática do sistema dunas-aquífero de modo que fosse possível simular em etapas posteriores eventuais modificações nas condições de subsuperfície, via estudo do fluxo de fluidos em meios porosos.

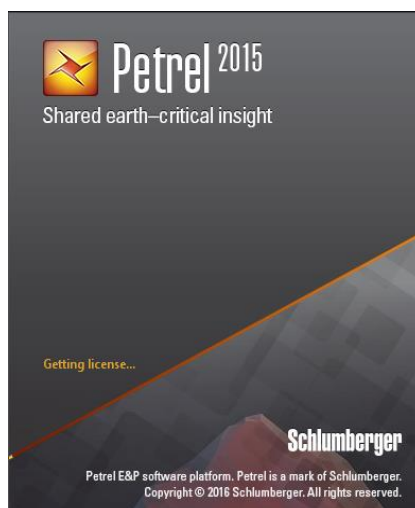
Tais alterações podem incorporar variáveis como a porosidade e permeabilidade do solo quando submetidos a diferentes esforços e condições de compactação, analisando a influência desses controles na vazão de determinado reservatório.

Para a realização da modelagem foi necessário a importação de dados que possam representar a geometria do reservatório em estudo. Nesta análise, foi utilizada aquisição MDT a partir da base altimétrica do IPECE (2010) com cartas topográficas constituídas de isolinhas de 5 metros que podem traduzir a topografia do sistema de dunas.

Assim, sob a utilização da plataforma computacional *E&P Schlumberger Petrel* (Figura 10) tornou-se possível, além de gerar o mapa de topo (superfície) do ambiente deposicional eólico, a realização de operações de posse deste produto, tais como espessura, base e número de camadas.

¹ Esta etapa foi realizada com o apoio do Prof. Dr. Luis Glauber Rodrigues, Subchefe do Departamento de Engenharia Química da UFC, juntamente com o mestrando em Engenharia Química, Thiago Henrique da Silva Barbosa, do Centro de Excelência em Geofísica do Petróleo, vinculado ao Laboratório de Interpretação Sísmica (LIS), que ficou responsável pela elaboração do modelo geológico do aquífero.

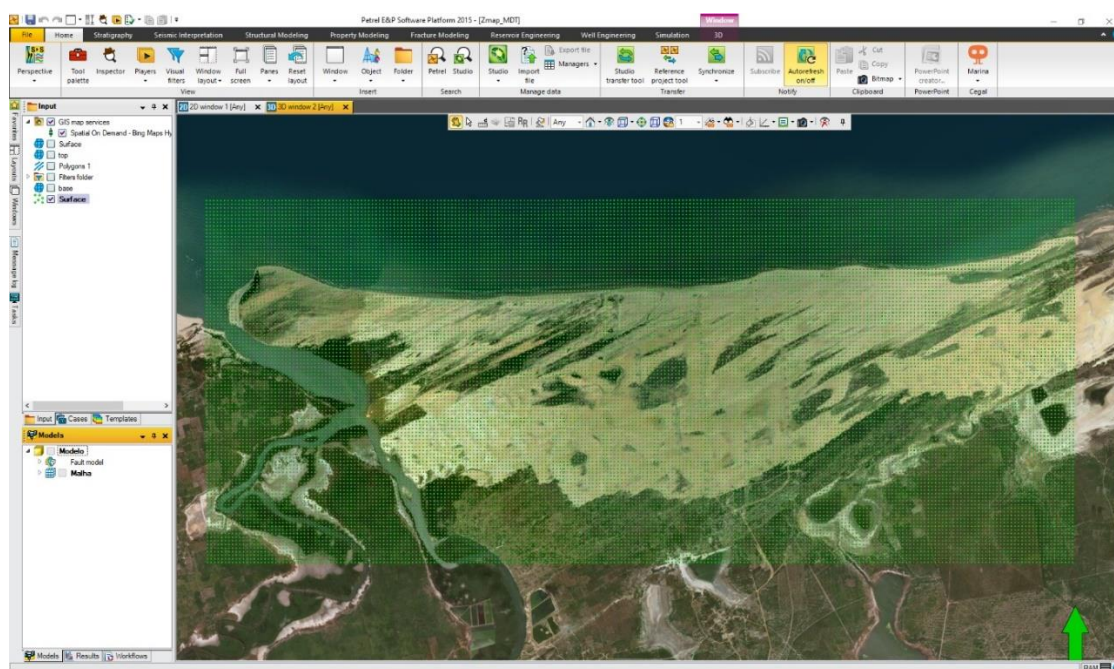
Figura 10 - Logotipo do software Petrel usado na modelagem geológica



Fonte: Raquel Morais Silva, 2020.

Logo abaixo pode-se visualizar a Figura 11 que destaca a interface inicial da plataforma *Petrel* utilizada nesta etapa da pesquisa.

Figura 11 - Interface inicial da plataforma Petrel



Fonte: Raquel Morais Silva, 2020.

Posteriormente foi convencionado a superfície de base do reservatório. Aqui está a principal limitação quanto a falta de dados, pois não se conhece a geologia de subsuperfície, só a de superfície. A base foi inserida em posição fixa de 44 m por ser possível modelar a produção de água, mas não se sabe muito sobre a regularidade conformacional desse patamar.

Assim, cada poço possui as seguintes limitações: pressão mínima de fundo de 100 KPa e produção de 240 m³/d ou 10 m³/h constante e dano de 10. Foi necessário produzir a partir de 38 m de profundidade.

As principais ferramentas utilizadas no *software* em tela correspondem às destinadas à criação de superfícies a partir de métodos de interpolação convergente com entrada de pontos georreferenciados no espaço referentes aos poços da comunidade de Xavier (P1 ao P15).

A criação de *grids* foi realizada a partir de limites estruturais do reservatório sedimentar livre que abastece a comunidade de Xavier (superfícies de topo, base e contorno) somado às regras para distribuição do número de células nas três direções.

As informações obtidas foram organizadas e lançadas no simulador IMEX do pacote da CMG, um simulador multifásico, mas adotando o modelo de fluido GASWATER.

Os resultados foram processados pelo *software Results*, também do pacote da CMG. O interesse principal foi avaliar a queda de pressão do reservatório, bem como parâmetros desencadeados por essa queda, como a taxa de produção de água (vazão de todos os poços produtores) e a produção de água acumulada. A queda da pressão de fundo também foi avaliada.

Para tanto, os dados obtidos das aquisições MDT no datum SIRGAS 2000 foram inseridos no *E&P Schlumberger Software Platform Petrel* compatibilizado ao sistema de coordenadas WGS 84.

Como o nível de resolução que a nuvem de pontos possui é alto, foi utilizado o algoritmo de interpolação convergente para gerar a superfície a partir dos dados pontuais. Em seguida, foi limitado via projeção de polígono criado para esta finalidade uma área contendo 10 km x 4 km. Já a base foi proposta em duas formas distintas. Na primeira delas possui geometria igual ao topo, sendo apenas uma translação de 44 metros deste. Já no segundo modo, um plano em posição -44 abaixo da referência foi criado como base.

Os grids referentes ao volume entre as superfícies (topo/base) foram sobrepostos, subdividindo o modelo em 199 células na direção i, 79 na direção j. Posteriormente, na direção k, foi subdividido em 22 *layers* proporcionais. Assim, o modelo foi definido com células de dimensões médias 50 m x 50 m x 2 m, totalizando 345.862 células.

O *software* de modelagem *Petrel* possui saída em formatos que podem imediatamente ser lidos pelo simulador de fluxo da mesma desenvolvedora (Eclipse), no entanto a saída desejada requeria compatibilização com os simuladores da CMG. Assim, foi exportado em arquivos binários universais pelo formato *rescue model* na versão 37.

Após exportação, o *grid* pode ser importado ao CMG no módulo *Buider* e exportado novamente em formato data, possibilitando assim as demais etapas do processo.

Portanto, o *software Petrel* foi usado na modelagem geológica e o CMG usou os dados do *Petrel* na obtenção dos resultados de comportamento de pressão e produção de fluidos (água subterrânea) da simulação.

2.5 Dados Climatológicos Locais e do Relatório Ambiental Simplificado - RAS

Apesar das limitações e escassez de informações, utilizaram-se dados de pluviosidade dos últimos dez anos (2009 – 2019) obtidos no site da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME para a aquisição de uma série histórica dos volumes de chuva no município de Camocim, dados estes coletados e disponibilizados pela estação pluviométrica do distrito de Camocim, sede. O cadastro dos poços também forneceu informações sobre a profundidade e o nível estático (NE) das cisternas construídas pelos moradores.

A topografia da área foi obtida por meio dos *shapes* das curvas de nível e do mapa de fluxo, as temperaturas e umidades de Xavier são referentes às medições do ano de 2018 (período seco e chuvoso) que foram registradas na dissertação de mestrado intitulada Análise da Influência dos Parques Eólicos na Modificação das Condições Climáticas Locais em Áreas Piloto no Ceará e no Rio Grande do Norte (BRASILEIRO, 2019).

Para tanto, a coleta de campo foi realizada com dois *dataloggers* da marca Impac. Os equipamentos foram colocados em dois locais distintos da comunidade a 1,50 m de altura. Um *datalogger* ficou na residência mais próxima ao parque eólico (leste) e o outro ficou na residência mais distante do parque (oeste), ou seja, nos extremos da comunidade. Os aparelhos ficaram sete dias coletando dados de umidade e temperatura de forma simultânea.

Destaca-se que os dados coletados estão numa perspectiva microclimática, local e portam informações diferentes sobre o território em relação aos dados coletados por estações de órgãos climáticos como a FUNCEME, que estão numa escala mais abrangente, regional, macroclimática.

Os demais dados da área de estudo foram levantados mediante a análise do Relatório Ambiental Simplificado – RAS (GEOCONSULT, 2002) do empreendimento eólico e consultas a outros trabalhos acadêmicos desenvolvidos na mesma área de estudo e atividades de campo.

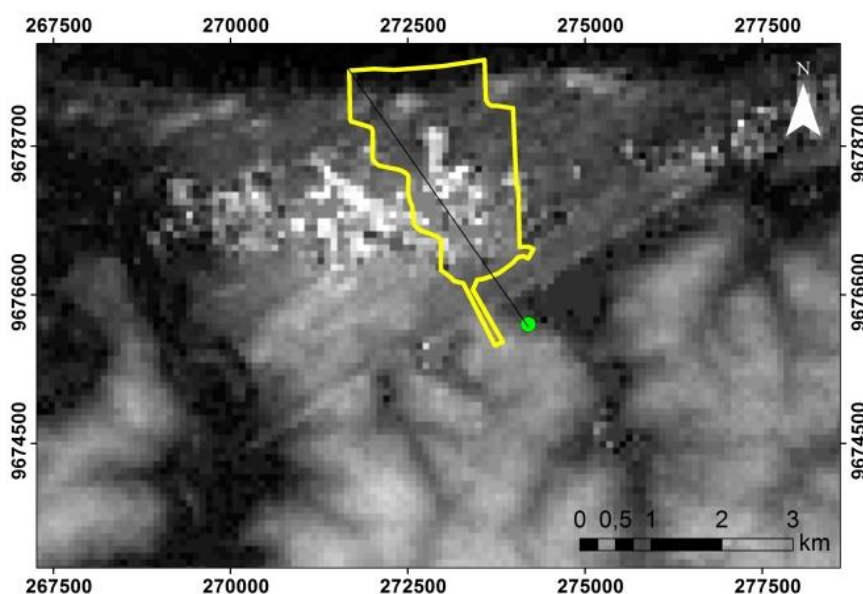
2.6 Perfil Representativo do Aquífero

Para confecção do perfil foi utilizada uma imagem SRTM (Missão Topográfica Radar *Shuttle*) da região disponibilizada gratuitamente no *site* do INPE. O SRTM foi uma missão espacial para obter um modelo digital do terreno da zona da Terra entre 56° S e 60° N, de modo a gerar uma base completa de cartas topográficas digitais terrestres de alta resolução e contribuiu para o estudo do Relevo do Brasil.

O parque eólico foi plotado juntamente com a comunidade de Ziu sobre a imagem do SRTM. Dessa forma, utilizou-se o ArcGIS para traçar o perfil da comunidade de Ziu até a praia passando por dentro do parque eólico para avaliar o fluxo das águas subterrâneas.

O mapa resultante segue abaixo (Figura 12).

Figura 12 - Mapa SRTM de Ziu até a Praia de Xavier



Fonte: Raquel Morais Silva, 2020.

Após a obtenção do perfil foi utilizado o mapa de unidades geológicas para identificar o tipo de formação presente em seu percurso.

A etapa seguinte foi traçar o perfil sobre o mapa de potencial hidráulico, já construído e que pode ser encontrado no Capítulo 4 desta pesquisa.

De posse dos dois perfis utilizou-se o ArcGIS para gerar o produto que é o Perfil Representativo do Aquífero que apresenta a variação do nível freático desde a praia até a comunidade de Ziu.

3 CARACTERÍSTICAS E VULNERABILIDADES DO AQUÍFERO SEDIMENTAR DO ENTORNO DA PRAIA DE XAVIER, AMARELAS, CAMOCIM

Neste capítulo foi feita a caracterização geral dos aquíferos que abastecem a comunidade de Xavier e seu entorno no distrito de Amarelas, conforme a localização e distribuição dos poços nas unidades geomorfológicas e hidrogeológicas que influenciam sobremaneira a vulnerabilidade desses reservatórios, bem como suas características, fluxo e a qualidade das águas.

3.1 Características dos Aquíferos

Para muitas comunidades que não dispõem de saneamento básico, como o abastecimento de água encanada e rede de esgoto tratado, a alternativa mais viável e imediata é a obtenção de água potável através da perfuração de poços destinados ao consumo humano. Esses poços captam água dos aquíferos que, por natureza, possuem boas qualidades para consumo, apesar de sua vulnerabilidade à contaminação, principalmente se forem aquíferos muito próximos à superfície.

Os aquíferos que drenam e abastecem a comunidade de Xavier e seu entorno correspondem à Formação Barreiras e às Dunas, ambos dotados por considerável porosidade e permeabilidade, além de portarem uma vulnerabilidade natural representada por um conjunto de características que determina o quanto o aquífero pode ser afetado por uma carga contaminante e, assim, gerar possíveis alterações na qualidade das águas subterrâneas.

O distrito de Amarelas (sede), as comunidades de Ziu, Montevideu e Tapuiú estão sobre a Formação Barreiras e se distribuem espacialmente pela unidade geomorfológica dos Tabuleiros Pré-Litorâneos que, por sua vez, correspondem aos sedimentos do Grupo Barreiras. Destaca-se que nessa formação geológica os poços possuem profundidades maiores que também captam água das dunas. Consiste num grupo litológico não confinado, mas marcado por uma camada sobreposta caracterizada pelas dunas. Logo, o aquífero é livre, mas coberto por campos de dunas.

Ressalta-se que a recarga desses reservatórios é feita de forma mais intensa no período chuvoso entre os meses de fevereiro e maio, quando seu nível se eleva e atinge facilmente a superfície devido à sua pouca profundidade, alta porosidade e permeabilidade, contribuindo para alimentar e originar rios, riachos, lagoas e estuários (MEIRELES, 2014).

Segundo a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (1998), o domínio representado pelos sedimentos da Formação Barreiras classifica-se nas coberturas sedimentares cenozoicas e caracteriza-se por uma expressiva variação faciológica, com intercalações de níveis mais e menos permeáveis, o que lhe confere parâmetros hidrogeológicos variáveis de acordo com o contexto local. Essas variações induzem potencialidades diferenciadas quanto à produtividade de água subterrânea. No município de Camocim esses sedimentos apresentam uma boa potencialidade, em função, principalmente, das espessuras apresentadas e, também, de suas características litológicas.

Outra unidade geológica essencial para o abastecimento de água na comunidade de Xavier e seu entorno é o Aquífero Dunas. As dunas estão sobrepostas ao Grupo Barreiras e correspondem à uma formação rasa no litoral, sendo que em alguns pontos atingem 10 m de profundidade ou menos.

Segundo Pereira (2012) o sistema hidrogeológico dunas possui características de aquífero livre com espessura saturada chegando a atingir até 10 metros, podendo funcionar como uma unidade aquífera principal e/ou de transferência, quando conduz água para os aquíferos sotopostos (Barreiras).

As comunidades de Xavier e da Barrinha se localizam sobre o aquífero livre, freático, poroso e permeável que se estende sob o campo de dunas com areias finas e homogêneas, onde a profundidade dos poços é bastante rasa e próxima da superfície.

O aquífero Dunas constitui-se numa excelente reserva de água doce para essas comunidades, pois originam corpos hídricos superficiais que desenvolvem a biodiversidade local que serve como fonte alimentar, além de abastecerem a população com água potável.

O fluxo de água subterrânea está associado ao aquífero e às áreas de dunas. Esse fluxo se intensifica nos períodos de maior precipitação pluviométrica, elevando o aporte de água doce para o aquífero e formando as lagoas e lagunas costeiras, além de fornecer água para os sistemas estuarinos, atua como reguladora das propriedades dos estuários (MEIRELES, 2012), bem como influencia na qualidade de vida da população que sobrevive da pesca, ao proporcionar a pesca continental em alguns períodos do ano (MENDES, 2016).

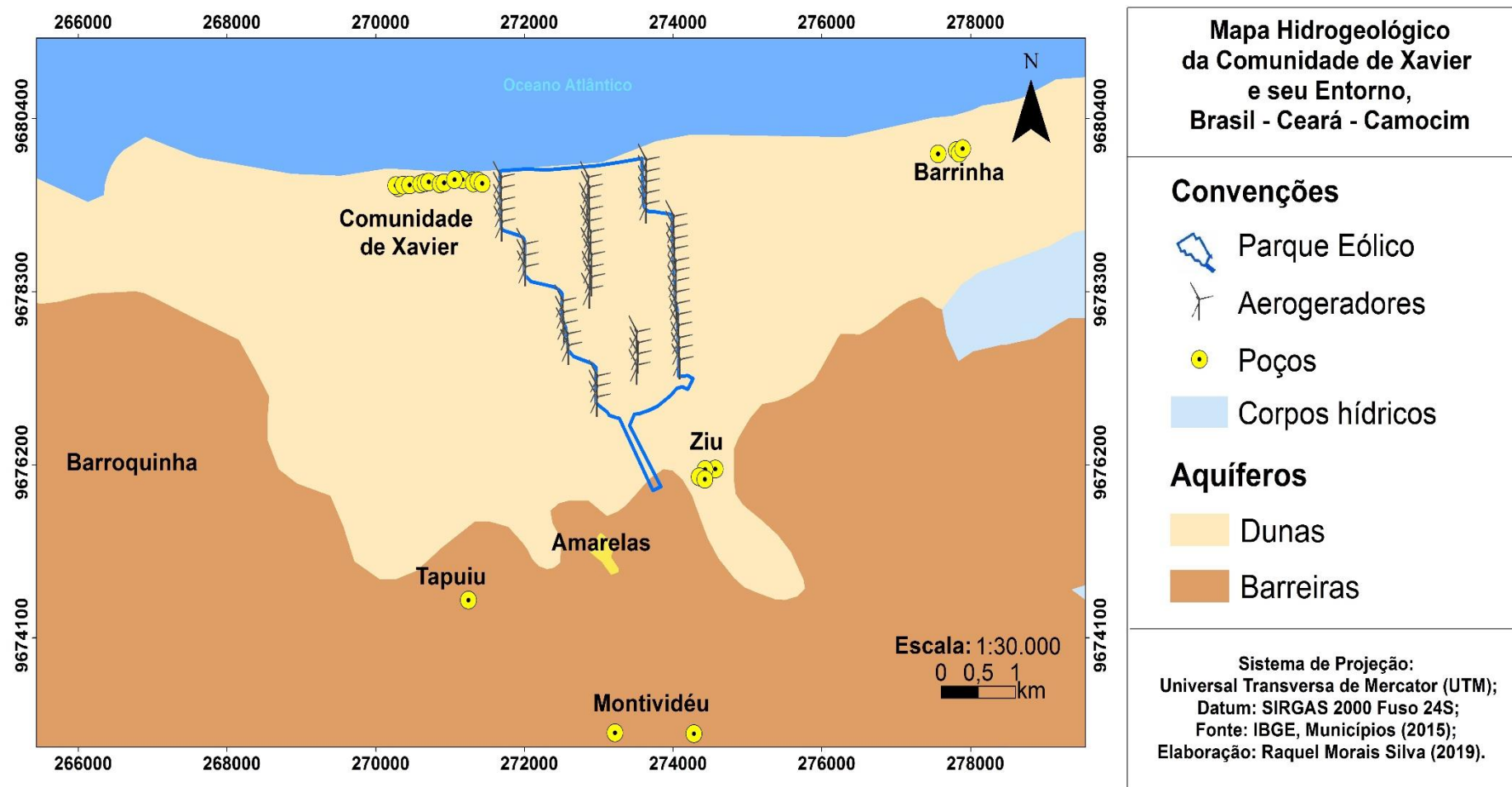
O aquífero dunas compõe a planície costeira, sendo dotada por grande fluxo hídrico superficial e subterrâneo, fluxo de matéria e energia, apresentando instabilidade e vulnerabilidade naturais acentuadas, o que requer estratégias adequadas no uso e na ocupação que evitem a degradação e promovam a conservação dos seus recursos, principalmente no tocante às águas subterrâneas.

Percebe-se a relevância das dunas no armazenamento das águas subterrâneas que, por sua vez, são captadas pelas condições hidrogeológicas favoráveis, como permeabilidade, porosidade, elevada precipitação no período chuvoso, infiltração, absorção e percolação ao longo do campo de dunas, além dos aspectos topográficos e morfológicos.

É consenso que o sistema Dunas - Barreiras se comporta em geral como um sistema do tipo livre, não confinado. O seu nível potenciométrico flutua com as variações sazonais, ou seja, suas potencialidades estão condicionadas à infiltração direta das precipitações sobre as dunas, cujo volume efetivamente infiltrado e percolado repõe os volumes líquidos de água subterrânea que são retirados pela exploração dos poços e dos fluxos subsuperficiais.

Esta unidade hidrogeológica, dunas, é bastante predominante na zona costeira da área de estudo, assim como a Formação Barreiras. Ambas as formações se interligam originando o sistema de aquíferos Dunas – Barreiras (Figura 13) e favorecem uma maior fluidez e transmissividade das águas subterrâneas ao longo de sua extensão.

Figura 13 - Mapa Hidrogeológico da Comunidade de Xavier e seu Entorno, Camocim, Ceará, Brasil



Elaboração: Raquel Morais Silva, 2019.

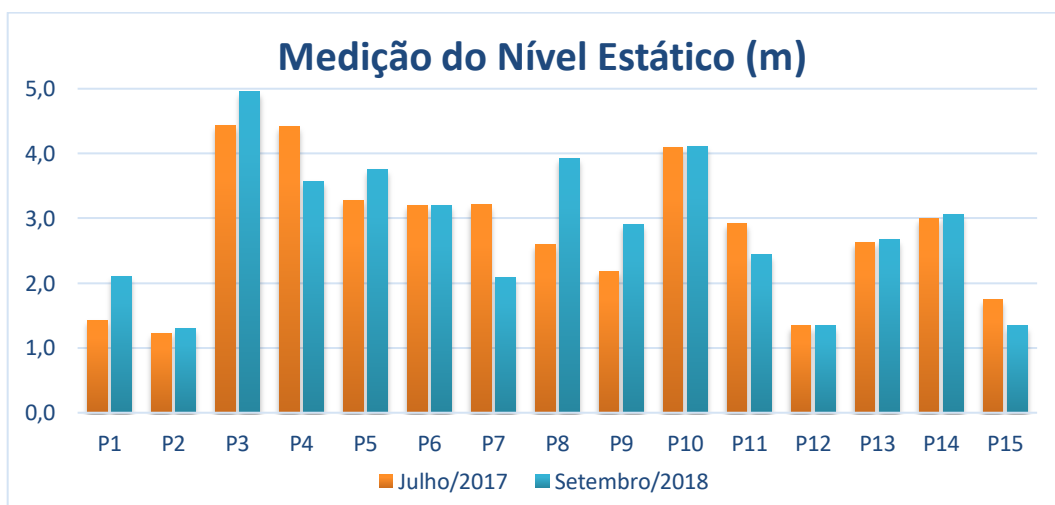
3.2 Nível de Vulnerabilidade do Aquífero

As águas subterrâneas representam um recurso natural dotado de múltiplos usos e de importância estratégica, portanto a avaliação de sua vulnerabilidade e risco de contaminação é fundamental para a gestão dos recursos hídricos de uma determinada região.

Foster & Hirata (1988 apud MOURA; SABADIA & CAVALCANTE, 2016) definiram que a vulnerabilidade natural de aquíferos representa sua sensibilidade para ser adversamente impactado por uma carga de contaminantes. Ocorre em função, sobretudo, da profundidade das águas subterrâneas e do tipo de aquífero, no que diz respeito ao confinamento e litologia; das características físicas e litológicas da zona vadosa e de fatores geoambientais.

Os parâmetros G e O foram obtidos de perfis construtivos/litológicos dos poços adquiridos no SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas) e o parâmetro D obtido através das medidas de nível d'água dos 15 poços *in situ* (julho/2017 e setembro/2018) da comunidade de Xavier (Gráfico 6).

Gráfico 6 - Medição do Nível Estático (NE) dos 15 poços de Xavier



Fonte: Raquel Moraes Silva, 2020.

É possível perceber que o nível estático (NE) dos 15 poços de Xavier apresentou sensíveis variações entre os períodos chuvoso (julho/2017) e seco (setembro/2018), com média de 2,8 m a 2,9 m, respectivamente, ressaltando o seu reabastecimento decorrente do regime de chuvas no primeiro semestre, apesar de suas irregularidades.

Vale ressaltar que o monitoramento dos 15 poços de Xavier foi possível e priorizado devido às condições de acesso fácil para medições do nível estático (NE), já que estão abertos,

desobstruídos e o medidor de NE pode ser utilizado sem dificuldades. Por sua vez, os poços das demais comunidades são dotados de sistema de bombeamento e estão lacrados, o que dificultou o acesso e uso do medidor eletro-sonoro Jaciri nesse procedimento.

No tocante à vulnerabilidade do aquífero foram usados os dados de campo e do cadastramento já existente, e não o monitoramento periódico.

Para o estudo da vulnerabilidade do aquífero foram medidos 25 poços na área em questão (Quadro 4) cuja distribuição foi a seguinte: na comunidade da Praia de Xavier (15), Tapuiú (1), Montevideu (1), Amarelas (1), Barrinha (4) e Ziu (3), sendo que um dos poços da comunidade de Xavier é o mais raso apresentando 1,23 metros de profundidade (ambiente de praia), e o poço localizado na comunidade de Montevideu é o mais profundo e possui 22 metros de profundidade (Formação Barreiras).

Quadro 4 - Índice de Vulnerabilidade GOD dos 25 poços de Xavier e seu entorno

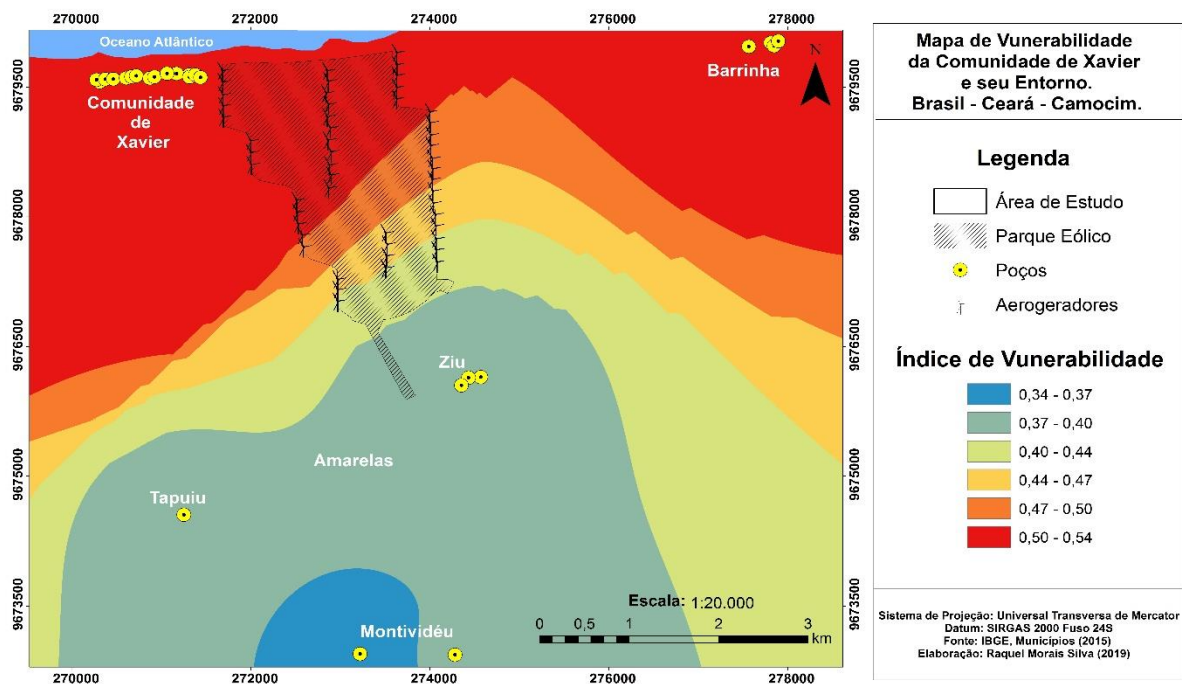
Ordem	Comunidades	NE (m)	G	O	D	GOD
P1	Praia Xavier	1,43	1,0	0,6	0,9	0,54
P2	Praia Xavier	1,23	1,0	0,6	0,9	0,54
P3	Praia Xavier	4,44	1,0	0,6	0,9	0,54
P4	Praia Xavier	4,42	1,0	0,6	0,9	0,54
P5	Praia Xavier	3,28	1,0	0,6	0,9	0,54
P6	Praia Xavier	3,20	1,0	0,6	0,9	0,54
P7	Praia Xavier	3,21	1,0	0,6	0,9	0,54
P8	Praia Xavier	2,60	1,0	0,6	0,9	0,54
P9	Praia Xavier	2,18	1,0	0,6	0,9	0,54
P10	Praia Xavier	4,10	1,0	0,6	0,9	0,54
P11	Praia Xavier	2,92	1,0	0,6	0,9	0,54
P12	Praia Xavier	1,34	1,0	0,6	0,9	0,54
P13	Praia Xavier	2,63	1,0	0,6	0,9	0,54
P14	Praia Xavier	3,00	1,0	0,6	0,9	0,54
P15	Praia Xavier	1,74	1,0	0,6	0,9	0,54
P16	Tapuiú	12,00	0,6	0,8	0,8	0,38
P17	Montevideu	22,00	0,6	0,8	0,7	0,34
P18	Amarelas	18,00	0,6	0,8	0,8	0,38
P19	Barrinha	1,60	1,0	0,6	0,9	0,54
P20	Barrinha	2,43	1,0	0,6	0,9	0,54
P21	Barrinha	2,40	1,0	0,6	0,9	0,54
P22	Barrinha	2,84	1,0	0,6	0,9	0,54
P23	Ziu	11,00	0,6	0,8	0,8	0,38
P24	Ziu	13,00	0,6	0,8	0,8	0,38
P25	Ziu	14,40	0,6	0,8	0,8	0,38

Fonte: Raquel Morais Silva, 2019.

A área de pesquisa foi caracterizada com a ocorrência da água subterrânea de forma não confinada (aquíferos livres), com valores do Índice G 0,6 e 1,0. Quanto aos estratos de cobertura, constata-se a predominância de areias eólicas sobrepostas por arenitos com Índice Q entre 0,6 e 0,8. Com relação ao nível da água subterrânea, os Índices D foram 0,7, 0,8 e 0,9.

De acordo com o método GOD, a vulnerabilidade dos aquíferos na área de pesquisa varia de 0,38 (baixa) a 0,54 (alta), com predomínio de vulnerabilidade média a alta (Figura 14).

Figura 14 - Mapa Hidrogeológico da Comunidade de Xavier e seu Entorno, Camocim, Ceará, Brasil



Elaboração: Raquel Morais Silva, 2019.

Foi possível observar que a área da comunidade de Xavier e da Barrinha apresentaram alto grau de vulnerabilidade, ou seja, vulnerável a muitos poluentes, exceto aqueles pouco móveis e pouco persistentes. Esse valor pode ser explicado por essa área estar localizada nos sedimentos arenosos (dunas) onde o nível d'água pode ser encontrado próximo à superfície que vai de 1,23 metros até 2,84 metros de profundidade.

Já mais ao sul do distrito de Amarelas (sede), onde se encontram as comunidades de Ziu, Tapuiú e Montevideú apresentaram um índice médio de vulnerabilidade, o que indica que essa área é susceptível a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançados. Ressalta-se também que o distrito de Amarelas é caracterizado por arenitos argilosos com leitos

conglomeráticos, com intercalações de níveis mais ou menos permeáveis e está predominantemente sobre a Formação Barreiras.

Gomes *et al.* (2019) corroboram ao afirmar que as áreas de vulnerabilidade moderada e baixa ocorrem nas porções centro e sul, associadas principalmente aos terrenos da Formação Barreiras (arenitos e conglomerados). Esses índices (moderado e baixo) sofreram influência de níveis estáticos mais profundos (> 10 metros de profundidade) e da litologia (níveis arenosos).

Para os autores, o grau de confinamento e a profundidade do nível estático foram determinantes na diferenciação da vulnerabilidade na área entre os índices alto, moderado e baixo (GOMES *et al.*, 2019).

Assim, a localização do parque eólico sobre o campo de dunas (ambiente de vulnerabilidade naturalmente alta) torna-se um agravante na instabilidade dessa formação hidrogeológica, principalmente por suas interferências no lençol freático raso, nível, fluxo e recarga, o que destaca a necessidade de haver maior detalhamento nas informações contidas nos estudos ambientais que considerem tais aspectos.

3.3 Qualidade das Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas oriundas dos aquíferos sempre foram vistas como reservas estratégicas de abastecimento humano devido às suas características naturais. Tal importância tem se acentuado nas últimas décadas em decorrência dos problemas de escassez, deficiência e insuficiência de saneamento básico, além do aumento da demanda.

Apesar de sua relevância, as águas subterrâneas possuem grande vulnerabilidade devido às características intrínsecas do aquífero, o que as tornam mais susceptíveis às cargas poluentes que podem alterar os padrões de potabilidade e inviabilizar seus usos múltiplos.

Diante de sua essencialidade foi necessário realizar análises físico-químicas e microbiológicas para verificar se a potabilidade está dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente, principalmente aquela estabelecida pelo Ministério da Saúde, com o objetivo de prevenir a disseminação de patologias de veiculação hídrica que afetem sobremaneira a saúde da população.

Assim, foram realizadas práticas de campo para coletas de amostras das águas de 10 poços do distrito de Amarelas. Logo abaixo pode-se observar o Quadro 5 com os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas de março/2018.

Quadro 5 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas das amostras de águas captadas de 10 poços no distrito de Amarelas, na zona costeira de Camocim - CE (Março/2018)

Identificação da Amostra	pH	Condutividade Elétrica (µS/cm)	Alcalinidade Total (mg/L CaCO ₃)	Bicarbonato (mg/L HCO ₃ ⁻)	Cloreto (mg/L Cl ⁻)	Cálcio (mg/L Ca ⁺²)	Magnésio (mg/L Mg ⁺²)	Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	Sulfato (mg/L SO ₄ ⁻²)	Sódio (mg/L Na ⁺)	Potássio (mg/L K ⁺)	Nitrato (mg/L N-NO ₃ ⁻)	Nitrito (mg/L N-NO ₂ ⁻)	Nitrogênio Amoniacal Total (mg/L N-NH _{3,4})	Amônia (mg/L NH ₃)	Silica (mg/L SiO ₂)	Turbidez (UNT)	Ferro Total (mg/L Fe)	Fluoreto (mg/L F ⁻)	Cor Aparente (µC)	Fósforo Total (mg/L P)	Alumínio (mg/L)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L STD)	Coliformes Totais	<i>Escherichia coli</i>
P ₁ - 1	7,87	N A	N A	N A	18,0	N A	N A	164,4	8,5	19,6	N A	0,06	0,01	N A	0,05	N A	1,4	0,05	N A	1,0	0,01	N A	322,1	23,00	23,00
P ₂ - 2	7,91	N A	N A	N A	28,0	N A	N A	184,5	10,6	2,7	N A	0,7	0,01	N A	0,05	N A	1,0	0,05	N A	1,0	0,01	N A	279,3	5,10	1,10
P ₃ - 3	7,91	N A	N A	N A	24,0	N A	N A	196,5	11,3	15,8	N A	0,4	0,01	N A	0,05	N A	1,3	0,05	N A	1,0	0,01	N A	351,9	23,00	23,00
P ₄ - 4	7,73	N A	N A	N A	25,0	N A	N A	212,5	8,8	13,4	N A	0,06	0,2	N A	0,05	N A	1,2	0,5	N A	1,0	0,01	N A	367,9	23,00	6,90
P ₅ - 5	7,96	N A	N A	N A	32,0	N A	N A	134,3	12,3	37,5	N A	0,3	0,3	N A	0,05	N A	4,5	0,05	N A	4,0	0,01	N A	330,4	23,00	3,60
P ₆ - 6	7,58	N A	N A	N A	12,0	N A	N A	178,4	7,7	8,3	N A	0,06	0,01	N A	0,05	N A	1,1	0,05	N A	1,0	0,01	N A	306,7	23,00	1,10
P ₇ - 7	7,31	N A	N A	N A	149,2	N A	N A	236,6	7,1	24,7	N A	0,08	0,01	N A	0,05	N A	1,0	0,05	N A	1,0	0,9	N A	344,5	3,60	1,10
P ₈ - 8	7,51	N A	N A	N A	135,2	N A	N A	180,5	5,4	47,5	N A	0,06	0,01	N A	0,05	N A	1,0	0,05	N A	1,0	0,01	N A	355,7	23,00	1,10
P ₉ - 9	6,55	N A	N A	N A	34,1	N A	N A	104,3	5,1	4,0	N A	0,06	0,01	N A	0,05	N A	6,09	0,05	N A	5,0	0,01	N A	151,7	16,00	1,10
P ₁₀ - 10	7,88	N A	N A	N A	129,2	N A	N A	202,2	8,6	45,2	N A	0,06	0,01	N A	0,05	N A	1,0	0,05	N A	1,0	0,01	N A	386,5	23,00	1,10

Fonte: SOUSA, 2018. NA – Não Analisado.

No Quadro 6 é possível observar os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas feitas em junho de 2019 em que foram analisados 24 parâmetros, mas apenas serão destacados aqueles que apresentaram concentrações significativas maiores que zero e que podem afetar substancialmente a potabilidade das águas subterrâneas. Assim é possível avaliar o comportamento dos parâmetros por meio do monitoramento.

Os resultados dos íons maiores (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , Cl^- , CO_2^- , HCO_3^- e SO_4^-) foram sistematizados e processados em termos do conteúdo iônico dominante utilizando-se a ferramenta Diagrama de Piper, no *software* Qualigraf, desenvolvido pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME.

Os parâmetros com baixos valores que se aproximam de zero significam que foram analisados, mas não apresentaram concentrações relevantes. São eles: Amônia (NH_3), Nitrito (N-NO_2^-), Nitrogênio Amoniacal Total ($\text{mg/L N-NH}_{3,4}$), Alumínio (mg/L), Fósforo Total (mg/L P) e Sulfato (SO_4^{2-}) (Quadro 6).

Quadro 6 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas das amostras de águas captadas de 10 poços no distrito de Amarelas, na zona costeira de Camocim - CE (Junho/2019)

Identificação da Amostra	pH	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Alcalinidade Total ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	Bicarbonato ($\text{mg}/\text{L HCO}_3^-$)	Cloreto ($\text{mg}/\text{L Cl}^-$)	Cálcio ($\text{mg}/\text{L Ca}^{+2}$)	Magnésio ($\text{mg}/\text{L Mg}^{+2}$)	Dureza Total ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	Sulfato ($\text{mg}/\text{L SO}_4^{-2}$)	Sódio ($\text{mg}/\text{L Na}^+$)	Potássio ($\text{mg}/\text{L K}^+$)	Nitrato ($\text{mg}/\text{L N-NO}_3$)	Nitrito ($\text{mg}/\text{L N-NO}_2$)	Nitrogênio Amoniacal Total ($\text{mg}/\text{L N-NH}_{3,4}$)	Amônia ($\text{mg}/\text{L NH}_3$)	Sílica ($\text{mg}/\text{L SiO}_2$)	Turbidez (UNT)	Ferro Total ($\text{mg}/\text{L Fe}$)	Fluoreto ($\text{mg}/\text{L F}^-$)	Cor Aparente (μC)	Fósforo Total ($\text{mg}/\text{L P}$)	Alumínio (mg/L)	Sólidos Totais Dissolvidos ($\text{mg}/\text{L STD}$)	Coliformes Totais	<i>Escherichia coli</i>
P1 - 1	6,34	241,1	58,6	71,5	34,0	14,4	9,6	76,0	<0,5	21,2	4,6	0,4	<0,001	<0,1	<0,1	18,0	0,3	0,07	0,3	0,5	0,01	<0,02	175	2419,6	7,4
P2 - 2	4,64	533,7	6,1	7,4	140,0	4,0	8,2	44,0	<0,5	78,5	5,9	4,9	<0,001	<0,1	<0,1	10,9	0,7	0,09	0,3	0,5	<0,01	0,05	276	2419,6	579,4
P3 - 3	7,09	796,8	74,7	91,2	183,9	35,2	27,4	202,0	<0,5	73,9	11,3	1,6	<0,001	<0,1	<0,1	16,1	0,7	0,07	0,3	0,8	0,11	<0,02	446	2419,6	17,3
P4 - 4	7,22	1.056	107,1	130,6	247,9	25,6	46,6	258,0	<0,5	99,7	13,7	0,8	<0,001	<0,1	<0,1	20,9	1,0	0,06	0,3	0,8	<0,01	<0,02	589	980,4	71,7
P5 - 5	7,83	319,9	141,4	172,5	10,0	4,8	32,2	146,0	<0,5	12,6	3,0	0,3	<0,001	<0,1	<0,1	7,7	1,9	0,09	0,4	0,7	0,01	<0,02	244	2419,6	58,9
P6 - 6	7,76	457,8	198,0	241,5	18,0	7,2	43,7	200,0	<0,5	22,0	6,2	0,7	<0,001	<0,1	<0,1	14,9	1,2	0,06	0,4	4,8	0,06	<0,02	357	686,7	59,1
P7 - 7	7,72	454,3	210,1	256,3	16,0	5,6	47,5	212,0	<0,5	14,3	3,8	0,1	<0,001	<0,1	<0,1	8,3	0,5	0,07	0,3	0,8	0,01	<0,02	352	547,5	2,0
P8 - 8	7,82	408,8	189,9	231,7	10,0	2,4	46,1	198,0	<0,5	10,0	4,6	0,2	<0,001	<0,1	<0,1	7,3	3,2	0,09	0,3	1,2	0,01	0,06	313	2419,6	1,0
P9 - 9	7,78	414,0	193,9	236,6	12,0	3,2	45,1	196,0	<0,5	10,0	4,6	0,1	<0,001	<0,1	<0,1	9,4	0,6	0,12	0,4	1,9	0,01	0,05	321	686,7	1,0
P10 - 10	7,60	371,5	169,7	207,0	10,0	6,4	37,9	174,0	<0,5	12,6	3,8	0,1	<0,001	<0,1	<0,1	9,7	1,0	0,14	0,3	1,4	0,03	0,06	288	461,1	1,0

Metodologia: Foram seguidas as diretrizes gerais do Standard methods for the examination of water and wastewater 22nd Edition (APHA, 2012); <0,1: inferior ao limite de detecção.

Fonte: Raquel Moraes Silva, 2019.

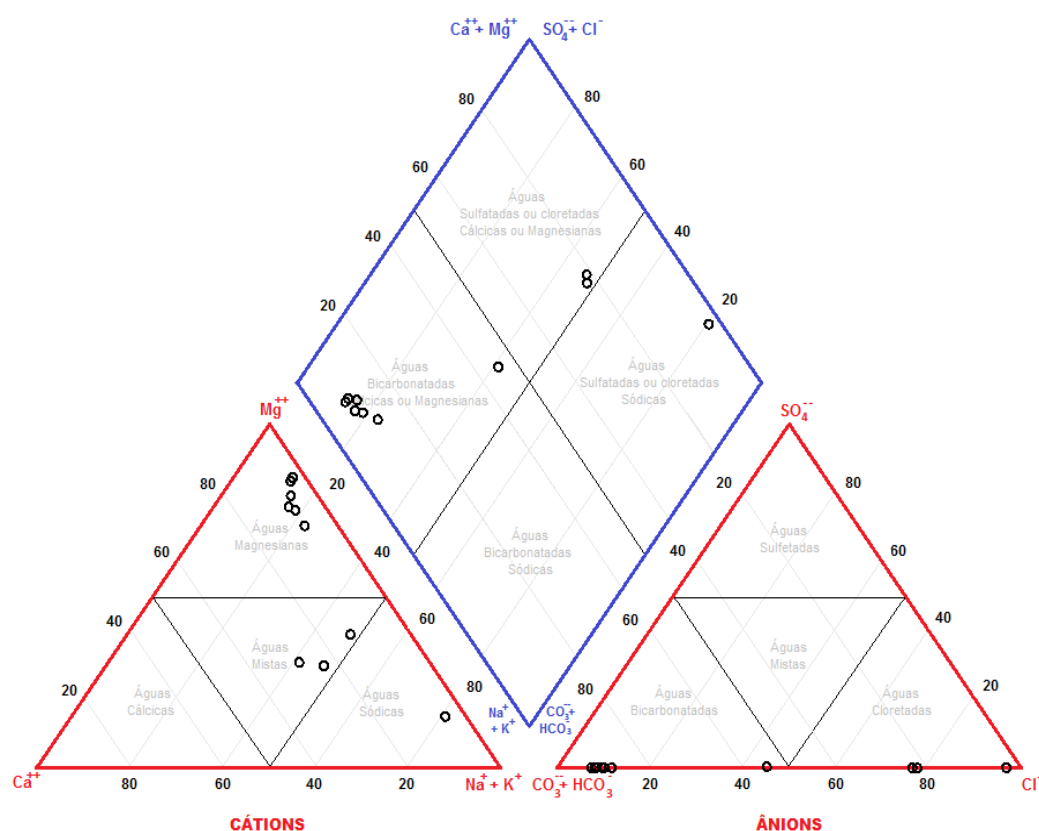
3.3.1 Análises das Amostras das Águas Subterrâneas

Aqui são abordadas as análises das águas subterrâneas realizadas em março de 2018 e junho de 2019, ambas no período chuvoso, início e término, respectivamente, com resultados, suas interpretações, comparações e representações por meio de tabelas e gráficos que permitem uma caracterização do comportamento das reservas hídricas subsuperficiais da área estudada.

Levando-se em consideração os resultados físico-químicos foi gerado um Diagrama de Piper, onde as águas foram classificadas segundo a predominância dos íons cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) e ânions (Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- e SO_4^{2-}).

O Diagrama de Piper (Figura 15) é feito dentro de três campos onde são colocados a porcentagem dos valores das concentrações dos constituintes iônicos para cátions e os ânions, identificando assim a hidroquímica. O cruzamento do prolongamento dos pontos na área do losango mostra sua posição e classifica a amostragem de acordo com fácies.

Figura 15 - Diagrama de Piper



Fonte: Raquel Morais Silva, 2019.

O diagrama (Figura 15) mostra que as águas subterrâneas são classificadas predominantemente como bicarbonatadas (70% das amostras), magnesianas (60% das amostras), seguidas de cloretadas (30%), mistas (30%) e sódicas (10%).

As águas bicarbonatadas (70%) e magnesianas (60%) são representadas pelos poços localizados em Xavier (P12 e P15), Tapuiú (P16), Montevideu (P17), Amarelas (P18) e Ziu (P19), com profundidade mínima do nível estático de 1,34 metros (P12) e profundidade máxima de 22 metros (P17). Estas águas possuem um tempo de residência relativamente curto, com recarga relacionada às precipitações pluviométricas, durante o período chuvoso, através de solos arenosos caracterizados por elevada permeabilidade e porosidade que facilitam a recarga dos aquíferos freáticos e renovação de suas reservas.

As águas cloretadas (30%) são representadas pelos poços localizados em Xavier (P4, P8 e P10), com profundidade mínima do nível estático de 2,60 metros (P8) e profundidade máxima de 4,42 metros (P4). Segundo Gomes & Cavalcante (2015), a ocorrência de maiores concentrações de águas cloretadas está potencialmente relacionada às águas marinhas e pluviais ou fonte de poluição que favorece a concentração de cloretos nas águas subterrâneas.

• **Potássio, Cálcio, Magnésio e Sulfato**

O potássio variou pontualmente de 3 mg/L (P4 - Xavier) a 13,7 mg/L (P19 - Ziu); o cálcio variou de 2,4 mg/L (P12 - Xavier) a 35,2 mg/L (P18 - Montevideu). Já o magnésio, apresentou o menor valor de 8,2 mg/L (P4 - Xavier) e 47,5 mg/L (P16 - Tapuiú) ficou com a maior concentração.

O potássio tem a tendência de estar sempre presente nos sedimentos argilosos em proporções maiores do que nas rochas ígneas. O cálcio em águas subterrâneas, em contato com rochas sedimentares de origem marinha são provenientes da dissolução da calcita, dolomita e gipsita, enquanto o magnésio apresenta propriedades semelhantes às do cálcio, porém é mais solúvel e mais difícil de precipitar e geralmente é encontrado em águas naturais, mas em concentrações menores do que o cálcio (GOMES & CAVALCANTE, 2015).

É fulcral frisar que a PRC Nº 5 de 28/09/2017 do Ministério da Saúde não estabelece um valor máximo permitido (VMP) para as concentrações de potássio, cálcio e magnésio nas águas subterrâneas.

Para os sulfatos, todas as amostras apresentaram qualitativamente valores menores que 0,5 mg/L de SO_4 , estando de acordo com o estabelecido pela PRC Nº 5 de 28/09/2017 do Ministério da Saúde que aponta como valor máximo permitido 250 mg/L.

- **Cloreto e Sódio**

Os cloretos estão presentes em todas as águas naturais, com valores situados entre 10 mg/L a 250 mg/L nas águas doces. As águas subterrâneas apresentam, geralmente, teores de cloretos inferiores a 100 mg/L (SANTOS, 2008).

A Portaria Nº 5 de 28/09/2017 do Ministério da Saúde estabelece que a concentração máxima de cloretos nas águas é de 250 mg/L. As análises realizadas em junho de 2019 revelaram concentrações que variam de 10 mg/L até 247,9 mg/L Cl⁻, sendo que os poços 4, 12 e 15, localizados na praia de Xavier, apresentaram as menores concentrações, e os poços 17, 18 e 19, situados nas comunidades de Montevideu, Amarelas e Ziu, respectivamente, revelaram os maiores teores desses íons, 140,0 mg/L, 183,9 mg/L e 247,9 mg/L, respectivamente. Assim sendo, percebe-se que as concentrações de cloretos estão dentro dos padrões estabelecidos pela Portaria Nº 5 de 28/09/2017 do Ministério da Saúde.

Entretanto, deve-se chamar atenção para o alto teor de cloreto (247,9 mg/L) registrado no poço 19 da comunidade de Ziu que fica ao sul do parque eólico, o que promove uma elevação da salinidade das águas subterrâneas captadas para abastecimento da população, e eleva os teores dos sais dissolvidos, a condutividade elétrica (371,5 µS/cm) e os sólidos totais dissolvidos (288 mg/L).

A Resolução Nº 357 de 18/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA dispõe sobre classificação, enquadramento, condições e padrões de lançamentos de efluentes nos corpos hídricos e estabelece que as águas doces devem apresentar de 0 a 500 mg/L de STD, as águas salobras devem possuir de 500 a 1500 mg/L de STD e as águas salgadas devem ter valores iguais ou superiores a 1500 mg/L de STD.

Nos resultados constatados acima referentes ao poço 19 da comunidade de Ziu, onde as concentrações de STD são de 288 mg/L é possível concluir que as águas subterrâneas desse ponto de captação, especificamente, estão bem abaixo dos estabelecidos pela resolução supracitada e classificam-se como águas doces. Portanto, não existe intrusão salina neste ponto de coleta, apesar dos teores de cloretos e sólidos totais dissolvidos serem bastante expressivos em relação aos parâmetros estabelecidos pela PRC Nº 5 de 28/09/2017 do Ministério da Saúde e a Resolução Nº 357/2005 do CONAMA.

A origem desse elemento nas águas subterrâneas da área pode estar ligada à proximidade do mar, visto que a área está localizada na zona litorânea, ou ainda, está sendo causado por poluição antrópica proveniente de efluentes líquidos e resíduos sólidos dispostos de maneira inadequada.

Em relação ao sódio, a Portaria Nº 5 de 28/09/2017 do Ministério da Saúde estabelece que a concentração máxima nas águas é de 200 mg/L. As análises realizadas em junho de 2019 apontaram que as concentrações de sódio nas 10 amostras variaram de 10 mg/L a 99,7 mg/L, sendo que os poços 17 (Montevidéu) e 18 (Amarelas) apresentaram as menores concentrações e o poço 10 (Xavier) mostrou o maior teor desse íon.

É possível constatar que os valores de sódio resultantes nas análises das amostras estão bem abaixo do limite estabelecido pela Portaria Nº 5 do Ministério da Saúde que é de 200 mg/L e não indicam a presença de intrusão salina na área em questão.

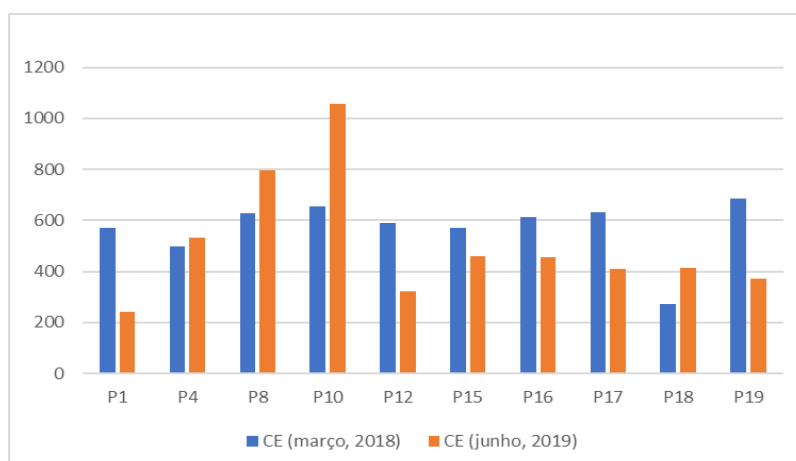
• Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica (CE) é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água. (GOMES, 2006).

Para as análises das águas coletadas dos 10 poços realizadas em março de 2018, a condutividade elétrica ficou entre 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P18, situado em Amarelas) e 687 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P19, localizado em Ziu). Já nas análises realizadas em junho de 2019, os resultados apontaram que a CE variou de 241,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P1, em Xavier) e 1.056,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P10, também encontrado em Xavier).

As variações deste parâmetro podem ser vistas no Gráfico 7, onde aparecem os comparativos das análises de ambos os períodos.

Gráfico 7 - Condutividade Elétrica - CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)



Fonte: Raquel Morais Silva, 2019.

É possível perceber que os poços 8 e 10, ambos na comunidade de Xavier, apresentaram maiores índices relativos à CE em junho de 2019, no final da quadra chuvosa, o que indica um maior acúmulo de sais dissolvidos nas águas subterrâneas. Em comparação ao período das análises feitas em março de 2018, nota-se um aumento significativo da condutividade elétrica nestes mesmos pontos de captação.

Destaca-se que 60% das 10 amostras demonstraram uma redução na condutividade elétrica em junho de 2019, em relação às análises realizadas em março de 2018, sendo que os poços P1, P12, P15 (localizados em Xavier), P16 (Tapuiú), P17 (Montevidéu) e P19 (Ziu) foram os que tiveram decréscimo neste parâmetro.

As águas subterrâneas apresentaram condutividade devido aos sais dissolvidos na sua forma iônica (cátion). Estes sais são oriundos das águas das chuvas que infiltram no solo e percolam no aquífero, da proximidade das águas do mar, além de efluentes químicos descartados de forma inadequada.

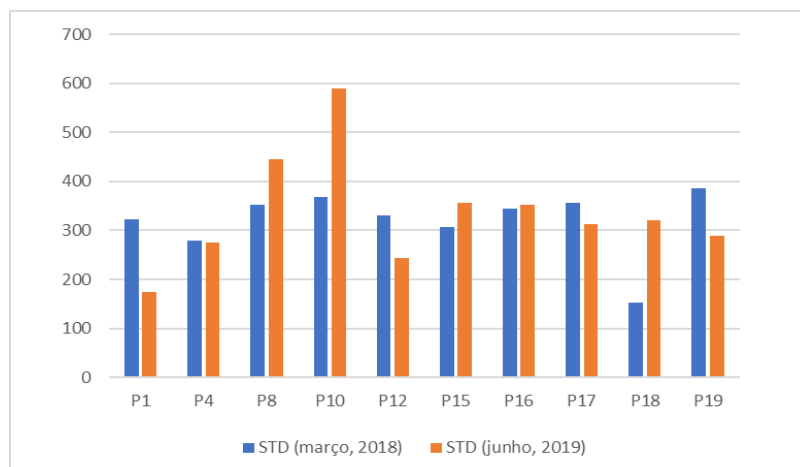
- **Sólidos Totais Dissolvidos**

Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) representam o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. A Portaria Nº 5 de 28/09/2017 do Ministério da Saúde determina que o limite de STD na água é de 1.000 mg/L.

Segundo os resultados obtidos com as análises realizadas em março de 2018 é possível observar que o menor teor foi de 151,7 mg/L (P18, localizado na sede de Amarelas) e o maior índice foi de 386,5 mg/L (P19, localizado em Ziu). Com isso, foi constatado que as águas coletadas estão dentro do que o Ministério da Saúde recomenda.

Em termos comparativos, os dados obtidos nas análises realizadas em junho de 2019, o poço 1, localizado em Xavier, ficou com o menor valor de STD, 175 mg/L, e o poço 10, na mesma comunidade, registrou 589 mg/L (Gráfico 8). Assim, a área em estudo apresenta baixas concentrações de STD nas águas subterrâneas.

Gráfico 8 - Sólidos Totais Dissolvidos – STD (mg/L)



Fonte: Raquel Morais Silva, 2019.

É possível ainda visualizar os poços 8 e 10, situados em Xavier, com as concentrações mais expressivas de STD, o que implica no aumento da CE e nos teores de sais dissolvidos. Assim, os poços que possuem mais STD possuem maior CE.

- **pH e Alcalinidade**

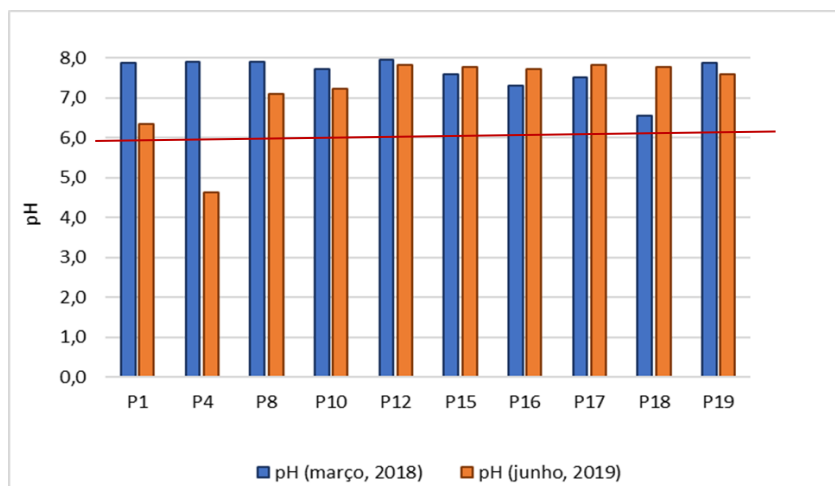
O pH é a medida da concentração de íons H^+ na água. A Portaria Nº 5 de 28/09/2017 do Ministério da Saúde aponta que o valor máximo permitido (VMP) de tolerância para o consumo humano oscila de 6,0 e 9,5.

Os resultados das análises realizadas em março de 2018 permitiram observar que todas as amostras se encontram dentro do que é recomendado, tendo como menor valor 6,55 (P18, situado na sede de Amarelas) e o maior sendo 7,96 (P12, situado na comunidade de Xavier), sendo aceitáveis como água para consumo humano.

Em termos comparativos, as coletas realizadas em junho de 2019, no final da quadra invernal, apontaram que o menor pH é 4,6 (P17, situado na comunidade de Montevideu) e o maior pH é 7,8 (P1, P4, P8, P12, todos encontrados em Xavier), sendo predominante nas análises.

Os resultados das análises de ambos os períodos podem ser verificados no Gráfico 9.

Gráfico 9 - pH



Fonte: Raquel Morais Silva, 2019.

Assim, o poço 4, localizado na comunidade de Xavier tem suas águas classificadas com acidez elevada (pH 4,6), potencial corrosivo por ter pH abaixo de 7, podendo ser esse ácido mineral oriundo de despejo doméstico. As águas analisadas deste poço apresentaram valores abaixo do recomendável pelo MS, necessitando de correções para consumo humano, pois águas muito ácidas podem contribuir com o desenvolvimento de doenças gástricas.

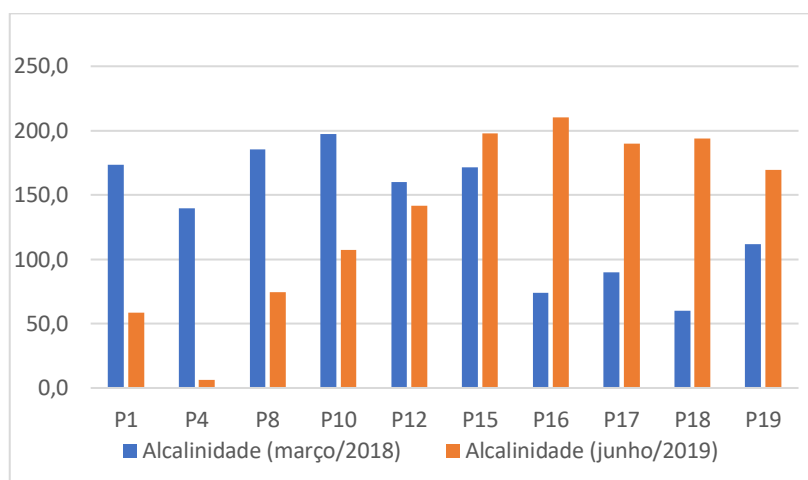
As demais amostras apresentaram classificação de acidez carbônica estando dentro do intervalo estabelecido pelo Ministério da Saúde, entre 6,0 e 9,5. No entanto, ainda podem causar a formação de incrustações nas tubulações e componentes de abastecimento devido a possibilidade de existência de íons de cálcio e sódio ou água bicarbonatada.

Para Gomes; Mendonça & Cavalcante *et al.* (2018), as águas subterrâneas da área de estudo são caracterizadas também por águas básicas e estão dentro do limite permitido (pH 6,0 a 9,5) pela Portaria de Consolidação – PRC N° 5 de 28/09/2017 do Ministério da Saúde.

O pH possui uma estreita ligação com a alcalinidade da água. Esta, por sua vez, é definida como a capacidade de uma água neutralizar ácidos, sendo uma consequência direta da presença e/ou ausência de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos (SANTOS, 2008).

A alcalinidade encontrada nas 10 amostras coletadas e analisadas em março de 2018 variam de 59,9 mg/L (P18, situado na sede de Amarelas) a 197,5 mg/L (P10, localizado na comunidade de Xavier). Já as análises realizadas em junho de 2019 indicaram valores entre 6,1 mg/L (P4, em Xavier) e 210,1 mg/L (P16, na comunidade de Tapuiú) referentes à alcalinidade (Gráfico 10).

Gráfico 10 - Alcalinidade (mg/L)



Fonte: Raquel Moraes Silva, 2019.

É possível verificar também que a alcalinidade dos poços P1, P4, P8, P10 e P12, todos em Xavier, teve uma redução na segunda análise. Já os poços P15 (em Xavier), P16 (em Tapuiú), P17 e P18 (ambos em Montevideú), e P19 (em Ziú) sofreram aumento nos níveis de alcalinidade na segunda análise.

• Dureza Total

Sobre este parâmetro, Manzione (2015b) afirma que a dureza das águas é uma característica associada à presença de sais nas águas devido aos íons de magnésio e cálcio que se combinam com sulfatos, cloretos, nitratos e outros elementos originando compostos solúveis.

Águas com dureza total na faixa de 0 a 60 mg/L são denominadas moles; de 60 a 120 mg/L são moderadamente duras; de 120 a 180 mg/L são duras; e acima de 180 mg/L são muito duras (PEREIRA, 2012).

Os resultados referentes a março de 2018 indicaram que as 10 amostras ficaram entre 104,3 mg/L CaCO_3 a 236,6 mg/L CaCO_3 que para a Portaria N° 5 de 28/09/2017 do Ministério da Saúde está dentro do limite aceitável, pois o máximo corresponde a 500 mg/L.

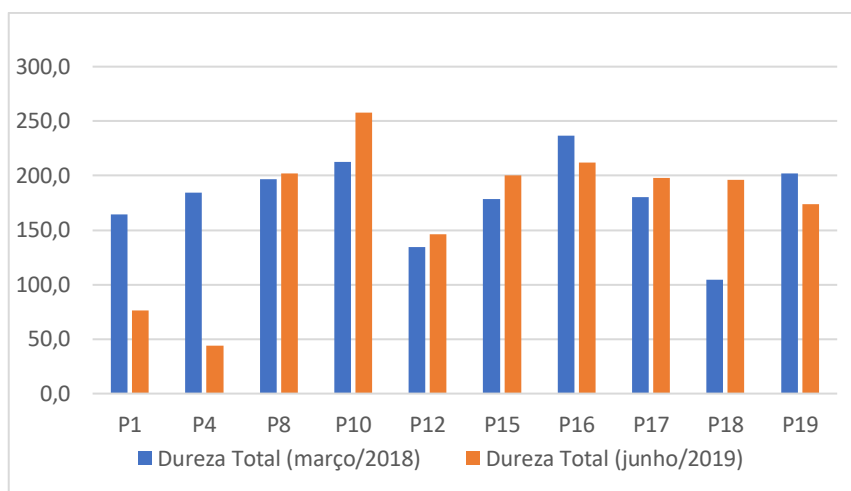
Assim, as amostras obtidas variaram entre 104,3 mg/L CaCO_3 (P18, localizado na sede de Amarelas) como menor resultado e, 236,6 mg/L CaCO_3 (P16, situado na comunidade de Tapuiú) como maior resultado.

Já nas análises realizadas em junho de 2019, os resultados mostraram concentrações entre 44,0 mg/L CaCO_3 e 258,0 mg/L CaCO_3 , sendo que o poço 4, situado em Xavier,

apresentou a menor dureza das águas e se classifica em águas brandas. Já o poço 1 também localizado em Xavier tem suas águas classificadas em pouco duras. Os poços P12, P15 (ambos em Xavier), P17 (Montevidéu), P18 (Amarelas) e P19 (Ziu) tem suas águas consideradas como duras, e os poços P8, P10 (ambos em Xavier) e P16 (Tapuiú) apresentam suas águas como sendo muito duras.

Os resultados de ambas análises e períodos podem ser vistos no Gráfico 11.

Gráfico 11 - Dureza Total (mg/L CaCO_3)



Fonte: Raquel Morais Silva, 2019.

Deste modo, é possível afirmar que todas as amostras apresentaram teores abaixo de 500 mg/L de CaCO_3 (carbonato de cálcio) cuja predominância varia de águas duras (P10, P12, P15, em Xavier; P17, em Montevidéu; P18, em Amarelas e P19, em Ziu; 60% das amostras) a muito duras (P16, em Tapuiú; 10% das amostras). Em menores proporções estão as águas brandas (P4 - Xavier) e pouco duras (P1 e P8 - Xavier).

• Ferro Total

O ferro está presente com baixos teores em quase todas as águas, ocorre sob diversas formas químicas e frequentemente vem associado ao manganês. O ferro contido na água causa incrustações nas tubulações, nos filtros dos poços e no sistema de bombeamento (GOMES, 2006).

As amostras coletadas e analisadas em março de 2018 oscilam entre 0,05 mg/L a 0,5 mg/L (P10, em Xavier), sendo que este último ultrapassa o limite permitido pela Portaria Nº 5 de 28/09/2017 do Ministério da Saúde que é de 0,3 mg/L.

Os resultados das análises realizadas em junho de 2019 apontam que os teores de ferro variam de 0,06 mg/L (P10 e P15, ambos em Xavier) até 0,14 mg/L (P19, na comunidade de Ziu). Assim, percebe-se que as águas deste último ponto de captação em Ziu indicam uma leve alteração nas concentrações desse íon.

De forma mais detalhada, os poços P1, P8 (ambos em Xavier), P16 (em Tapuiú) indicam teor de ferro de 0,07 mg/L; P4, P12 (ambos em Xavier) e P17 (em Montevideú) mostram concentrações de 0,09 mg/L; P18, aponta teor de 0,12 mg/L, configurando um dos valores mais expressivos, porém de pouca relevância se comparado com o teor estabelecido pelo MS. Assim, verifica-se em todos os poços leves variações neste parâmetro, mas ainda dentro do aceitável.

Os resultados de ambas as análises podem ser vistos no Quadro 7, logo abaixo.

Quadro 7 - Ferro Total (mg/L)

Ordem	Ferro Total (março, 2018)	Ferro Total (junho, 2019)
P1	0,05	0,07
P4	0,05	0,09
P8	0,05	0,07
P10	0,5	0,06
P12	0,05	0,09
P15	0,05	0,06
P16	0,05	0,07
P17	0,05	0,09
P18	0,05	0,12
P19	0,05	0,14

Fonte: Raquel Morais Silva, 2019.

Para Santos (2008) o ferro ocorre geralmente associado ao manganês e confere à água um sabor amargo adstringente e coloração amarelada e turva, decorrente de sua precipitação quando oxidado. O ferro pode estar presente em baixos teores (menores que 0,3 mg/L) em quase todas as águas, ocorrendo sob diversas formas químicas, como hidróxido férrico (Fe^{+3}) ou hidróxido ferroso (Fe^{+2}).

• Nitratos

O Nitrato representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica proveniente de resíduos da atividade humana (GOMES, 2006).

Nas 10 amostras coletadas e analisadas em março de 2018 foram encontrados valores de 0,06 mg/L a 0,7 mg/L de nitrato. De acordo com a Portaria Nº 5 de 28/09/2017 do Ministério da Saúde, o valor máximo tolerável de nitrato (NO_3) é de 10 mg/L. Desta forma, os resultados das análises estão dentro do valor máximo permitido.

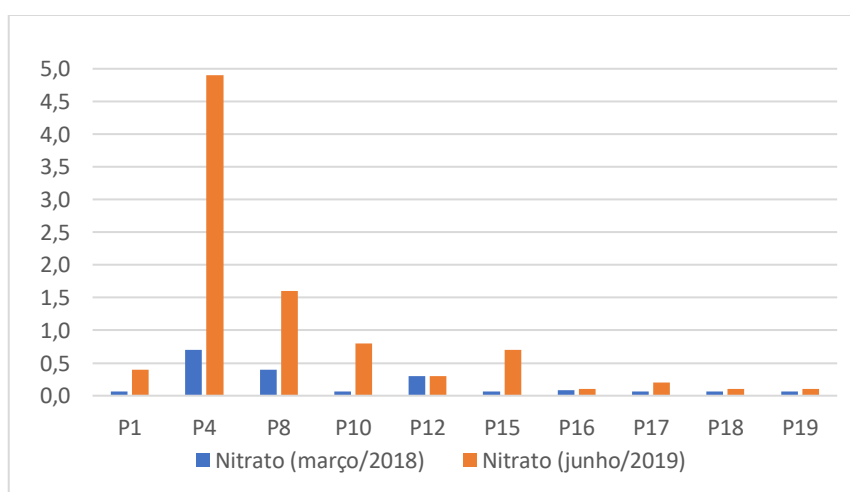
As análises feitas em junho de 2019 revelam resultados que variam entre 0,1 mg/L (P16, em Tapuiú; P18, em Amarelas e P19, em Ziu) e 4,9 mg/L (P4, em Xavier).

Em ambas as análises é possível observar que todos os poços tiveram aumento nas concentrações de nitrato em junho de 2019 com destaque os poços P4 (4,9 mg/L), P8 (1,6 mg/L), P10 (0,8 mg/L) e P15 (0,7 mg/L), todos em Xavier. Este fato se deve à existência de fossas construídas bem próximas aos poços que abastecem as residências, uma vez que o sistema de saneamento básico é inexistente.

Destaca-se uma exceção na comunidade de Xavier que é o P12. Este ponto de captação manteve uma estabilidade no teor de nitratos com 0,3 mg/L em ambos os períodos.

O gráfico 12 mostra as análises realizadas, seus comparativos e a tendência de aumento do nitrato ao longo do tempo.

Gráfico 12 – Nitrato (mg/L)



Fonte: Raquel Morais Silva, 2019.

A análise e o monitoramento deste parâmetro são fundamentais para a área em estudo, uma vez que a presença de fossas nas proximidades dos poços rasos em ambiente dunar, muito permeável, favorece a descarga de efluentes que contaminam as reservas hídricas subterrâneas dotando-as de matéria orgânica composta por diversas partículas, sais, metais e compostos nitrogenados, como os nitratos que, em elevadas concentrações comprometem a potabilidade.

Importante saber que o nitrato é uma espécie química persistente, móvel e que não degrada com facilidade em meios aeróbicos subterrâneos, podendo migrar por grandes distâncias a partir do local de origem (PEREIRA, 2012).

O nitrato, devido a sua grande capacidade de lixiviação, é comumente encontrado em águas subterrâneas. A análise de nitrato nos corpos de água fornece informações importantes sobre o nível de contaminação dessas águas, e devem ser incluídos em todos os programas básicos de monitoramento.

- **Turbidez**

Para Gomes (2006) a turbidez é definida como a dificuldade de a água transmitir a luz e está associada à sólidos em suspensão, ou seja, é a presença de partículas de sujeira, barro e areia, que retiram o aspecto cristalino da água, deixando-a com uma aparência túrbida e opaca.

A Portaria Nº 5 de 28/09/2017 do Ministério da Saúde estabelece que o limite de turbidez nas águas é de 5 UNT - Unidade Nefelométrica de Turbidez (NTU – *Nephelometric Turbidity Unity*). As amostras analisadas em março de 2018 apresentam baixo teor de turbidez e indicam 1 UNT no P4 (em Xavier), P16 (em Tapuiú), P17 (em Montevideu) e P19 (em Ziu).

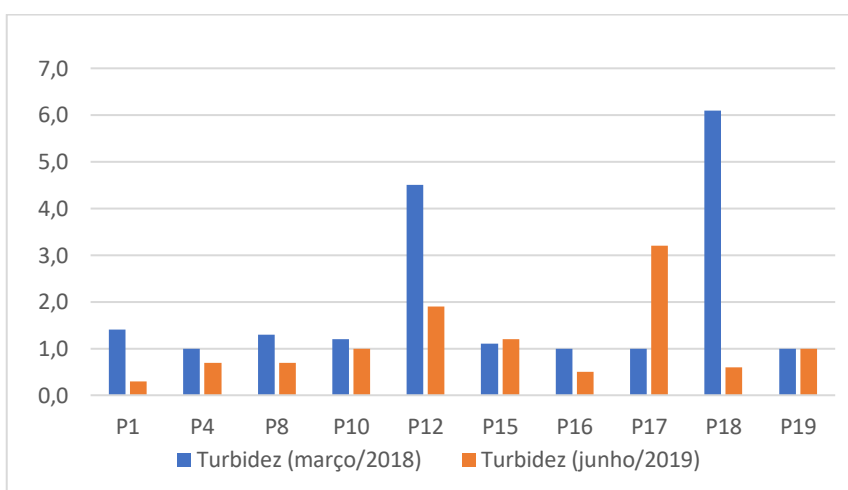
No entanto, tem-se como exceções P12 (4,5 UNT, em Xavier) e P18 (6,09 UNT, em Amarelas). Esses resultados apontam grande quantidade de materiais em suspensão nas águas de ambos os poços, o que implica alterações na turbidez. Nos demais poços é possível perceber a baixa turbidez das águas e consequentemente maior cristalinidade e limpidez.

Nas coletas realizadas em junho de 2019 foi possível observar valores que variam de 0,3 UNT até 3,2 UNT. Assim, a distribuição dos níveis de turbidez encontrados foi a seguinte: para P1 (0,3 UNT), P4 e P8, ambos com 0,7 UNT, todos localizados em Xavier; P16, em Tapuiú, tem 0,5 UNT, o que não difere muito do P18, em Amarelas que apresenta teor de 0,6 UNT. Já P10, em Xavier e P19, em Ziu revelam 1,0 UNT; P12 e P15, ambos em Xavier, registram 1,2 UNT e 1,9 UNT, respectivamente, e P17, em Montevideu, indicou o maior valor de turbidez, 3,2 UNT.

Percebe-se que os poços com maiores valores de turbidez foram P12 (em Xavier) e P18 (em Amarelas), na primeira coleta realizada no início do período chuvoso, em março/2018, as águas estavam mais turvas devido à presença de poeira, areias e demais sedimentos transportados pelas chuvas e depositados nos poços escavados (cacimbas).

A segunda análise realizada no final da quadra invernos, em junho/2019, registra um aumento na turbidez do poço P17, em Montevideu, que se destaca com o maior valor entre as demais amostras. Os outros não apresentam variações muito bruscas, o que indica que as águas estão com menos partículas em suspensão. Os resultados podem ser vistos no gráfico 13, logo abaixo.

Gráfico 13 - Turbidez (UNT)



Fonte: Raquel Moraes Silva, 2019.

Para Santos (2008), as águas subterrâneas, na sua maioria, praticamente não apresentam sólidos em suspensão, excetuando-se as águas que circulam em poços mal desenvolvidos com produção de areias e outros materiais, como é o caso da maioria dos poços da área em questão, como os de Xavier que foram construídos pelos próprios moradores sobre as dunas sem nenhum rigor técnico, proteção e gestão.

3.3.2 Análises Microbiológicas

A qualidade bacteriológica de uma água está relacionada a ausência de microrganismos patogênicos (principalmente bactérias, protozoários e vírus) e esta é avaliada através de análises bacteriológicas destas águas (PEREIRA, 2012).

Na primeira coleta realizada em março de 2018 foram analisadas 10 amostras de águas subterrâneas, utilizando-se como indicador as bactérias do grupo coliforme (totais e fecais), tendo como representante dos coliformes fecais, ou termotolerantes, a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal. Tais bactérias são indicadores biológicos de contaminação fecal, que alteram os padrões de potabilidade das águas destinadas ao consumo humano e afetam a saúde ao ocasionar problemas gastrintestinais e complicações, caso não sejam devidamente tratadas.

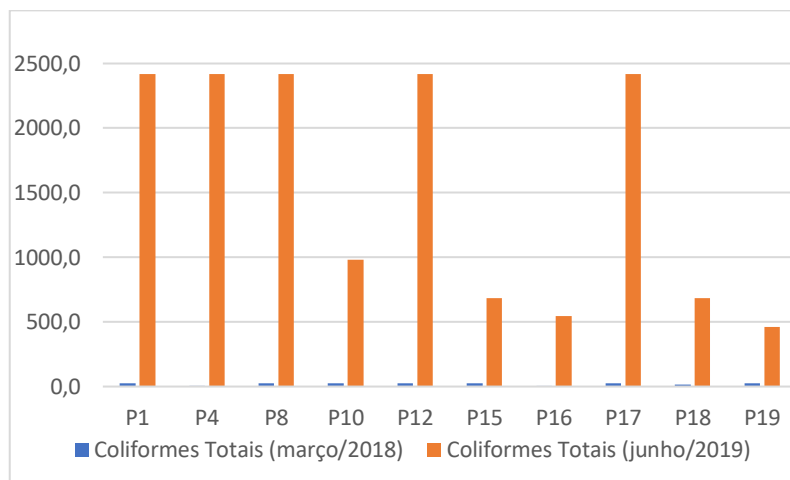
Segundo o padrão de potabilidade adotado pelo Ministério da Saúde, em sua Portaria Nº 5 de 28/09/2017, as águas utilizadas para consumo humano, sejam elas provenientes do abastecimento público ou de fontes alternativas como os poços, devem apresentar ausência (em 100 ml da amostra) para o grupo dos coliformes fecais (Termotolerantes), bem como os coliformes totais.

As análises realizadas em março de 2018 apresentam resultados bem expressivos que indicam 3,60 NMP/100 mL a 23 NMP/100 mL para os coliformes totais. De forma mais detalhada, P16, em Tapuiú, indicou 3,60 NMP/100 mL e P4, em Xavier, apresentou 5,10 NMP/100 mL; P18, em Montevidéu, mostrou 16,0 NMP/100 mL. Os demais poços apresentaram 23,0 NMP/100 mL.

As análises realizadas em junho de 2019 apresentam teores bem acima do esperado e estabelecido na Portaria Nº 5 do Ministério da Saúde e, se comparado com as análises anteriores, tiveram um crescimento alarmante. Assim, os valores registrados foram 461,1 NMP/100 mL (P19, em Ziu), 547,5 NMP/100 mL (P16, em Tapuiú), 686,7 NMP/100 mL (P15, em Xavier; P18, em Montevidéu), 980,4 NMP/100 mL (P10, em Xavier) e 2419,6 NMP/100 mL (P1, P4, P8, P12, todos em Xavier; P17, em Montevidéu).

Os resultados foram plotados no gráfico 14.

Gráfico 14 - Coliformes Totais (NMP/100 mL)



Fonte: Raquel Moraes Silva, 2019.

A presença de coliformes totais nas águas dos poços analisados não implica ação patogênica, mas a PRC N° 5 do Ministério da Saúde aponta que a simples presença de bactérias desse grupo nas águas destinadas ao consumo humano descarta esses recursos e os classificam como não potáveis, ou seja, essas águas não podem ser ingeridas por apresentar riscos à saúde.

Do grupo dos coliformes totais destaca-se a bactéria *Escherichia coli* que é a mais utilizada como indicador biológico de contaminação das águas.

Para Santos (2008), a *Escherichia coli* é um coliforme de origem exclusiva fecal. É uma bactéria não patogênica, que normalmente habita os intestinos dos animais superiores. A sua presença não representa risco para a saúde pública, mas indica que poderão estar presentes microrganismos causadores ou transmissores de doenças (patogênicos). São, assim, indicadores microbiológicos de contaminação fecal da água, mundialmente utilizados, indicando eventuais perigos para a saúde. Portanto, nem toda água que contenha coliformes é contaminada por microrganismos patogênicos.

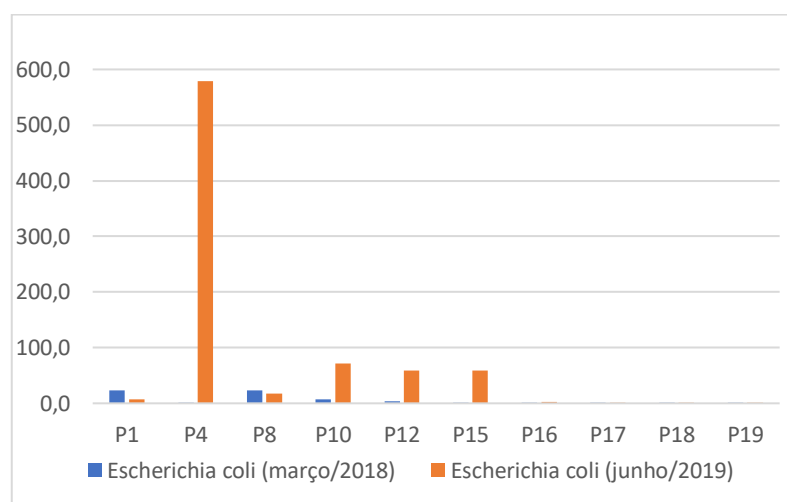
As análises feitas em março/2018 apontam valores que variam de 1,10 NMP/100 mL a 23 NMP/100 mL para *Escherichia coli*. De forma mais detalhada tem-se que P4, P15 (ambos em Xavier), P16 (Tapuiú), P17 e P18 (ambos em Montevidéu) e P19 (em Ziu) possuem concentrações de 1,10 NMP/100 mL; P12, em Xavier, apresenta 3,60 NMP/100 mL; P10, em Xavier, indica 6,90 NMP/100 mL. Os dois poços que expressam maiores teores de *Escherichia coli* são P1 e P8, ambos em Xavier, com 23 NMP/100 mL.

Já as análises realizadas em junho/2019 demonstram concentrações que variam de 1,0 NMP/100 mL a 579,4 NMP/100 mL para *Escherichia coli*. De forma mais precisa, as

concentrações deste parâmetro podem ser distribuídas por P17 e P18 (ambos em Montevidéu) e P19 (em Ziu) que indicam 1,0 NMP/100 mL; P16, em Tapuiú possui teor de 2,0 NMP/100 mL; P1, P8, P12, P15 e P10, todos em Xavier, apresentam concentrações 7,4 NMP/100 mL, 17,3 NMP/100 mL, 58,9 NMP/100 mL, 59,1 NMP/100 mL, 71,7 NMP/100 mL, respectivamente. A maior concentração de todos os poços analisados é o P4, localizado em Xavier, com 579,4 NMP/100 mL.

Os resultados foram plotados no gráfico 15, logo abaixo. Vale ressaltar que as concentrações dos poços P16, P17, P18 e P19 não são visíveis no gráfico por serem muito baixas e variam de 1,0 NMP/100 mL a 2,0 NMP/100 mL.

Gráfico 15 - *Escherichia coli* (NMP/100 mL)



Fonte: Raquel Moraes Silva, 2019.

As análises microbiológicas indicam que as águas dos poços estão contaminadas por coliformes totais e fecais. Essa contaminação é oriunda das fossas sépticas próximas aos poços e não das instalações do parque eólico. Assim é possível concluir que as águas subterrâneas da área em questão estão impróprias para o consumo humano.

As fossas sépticas e despejos domésticos consistem em fontes contaminantes pontuais bastante presentes na área estudada que comprometem a potabilidade das águas subterrâneas que servem para consumo humano.

Portanto, destaca-se a necessidade do monitoramento das águas subterrâneas da comunidade de Xavier e seu entorno, bem como a sensibilização da própria população nos cuidados com a água consumida, manutenção de higiene em suas atividades corriqueiras, bem

como a atuação da prefeitura na implementação do sistema de saneamento básico suficiente e eficaz para dar melhor qualidade de vida e resguardar a saúde dos habitantes.

Diante do exposto, verifica-se que a vulnerabilidade natural do aquífero livre pode favorecer a presença maior de cargas contaminantes nas águas subterrâneas, afetar substancialmente a potabilidade desses recursos hídricos ao inviabilizar seu consumo devido à alteração de seus critérios de qualidade.

4 IMPACTOS DA IMPLANTAÇÃO DO PARQUE EÓLICO NA PRAIA DE XAVIER SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Neste capítulo são tratados os impactos que afetam as águas subterrâneas que abastecem a Praia de Xavier em decorrência das intervenções realizadas para implantação do parque eólico.

Tal abordagem é de extrema relevância, pois está relacionada à principal fonte de água potável disponível na comunidade de pescadores, sua segurança hídrica e alimentar.

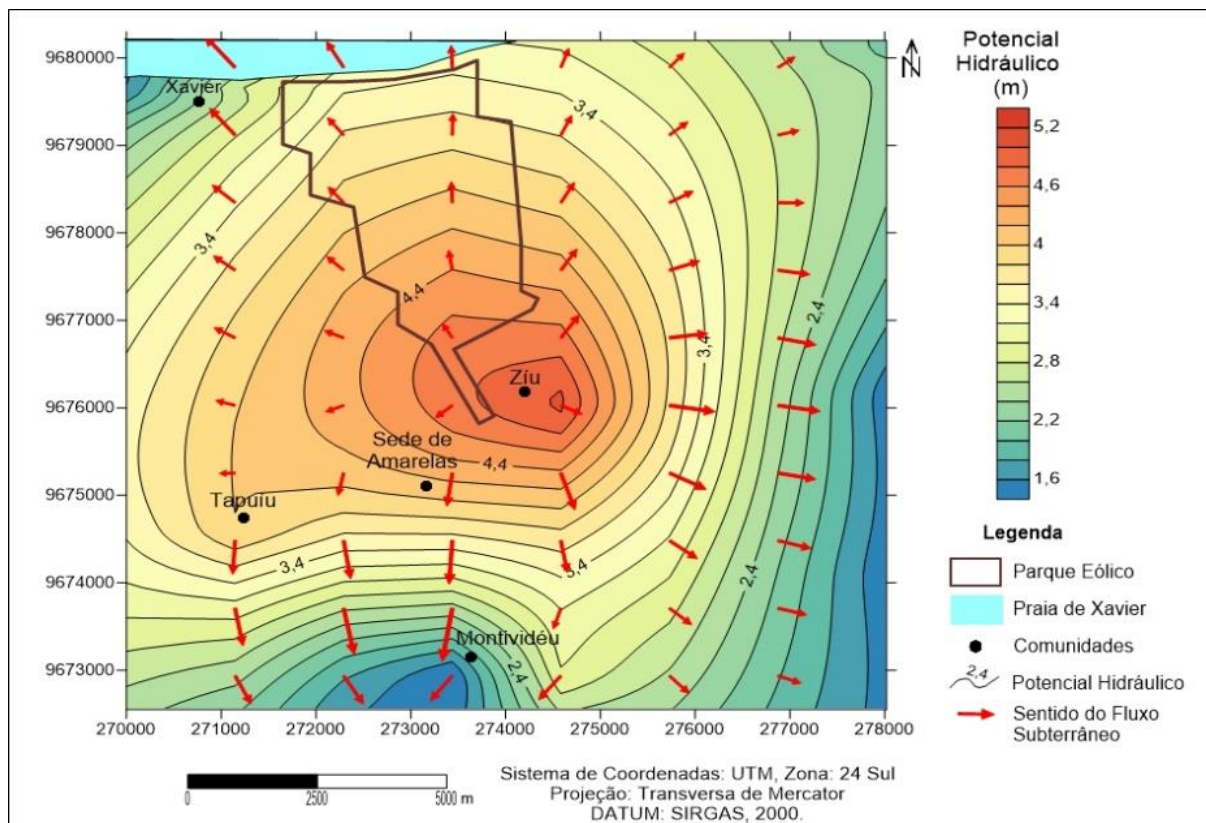
Para tanto foram analisados o fluxo subterrâneo, a modelagem do aquífero, as características das fundações dos aerogeradores, bem como as vibrações das torres que podem interferir na dinâmica das águas subterrâneas.

4.1 Mapa de Fluxo da Água Subterrânea

O conhecimento da superfície potenciométrica é importante no entendimento da dinâmica do fluxo subterrâneo, definindo a direção e o sentido do escoamento, bem como determinando possíveis localizações de áreas de recarga e de descarga dos aquíferos (LÖBLER; TERRA & SILVA, 2014). Este conhecimento também auxilia nos estudos de vulnerabilidade natural de aquíferos.

Observando a superfície potenciométrica e a orientação do fluxo hídrico subterrâneo da Figura 16, constata-se que as maiores cargas hidráulicas se encontram no centro da área (terreno onde foi implantado o Parque Eólico, Ziu e sede de Amarelas) que, de acordo com a Figura 14, corresponde à uma região com índices de vulnerabilidade natural variando de moderado a alto (0,34 a 0,54). Já as menores cargas hidráulicas ($< 1,6$ m) encontram-se fora dos limites da área. Segundo Gomes; Mendonça & Cavalcante (2018), as prováveis áreas de recarga ocorrem nos maiores potenciais hidráulicos e a descarga, no menor potencial hidráulico dos recursos hídricos subterrâneos.

Figura 16 - Fluxo subterrâneo do entorno do Parque Eólico na Praia de Xavier e no Distrito de Amarelas, Camocim, Ceará, Brasil (Fevereiro/2018)



Fonte: GOMES, 2019

Os vetores direcionais de fluxo estão com sentido para a praia de Xavier (vulnerabilidade alta – 0,54), sede de Amarelas e Tapuiú (vulnerabilidade moderada – 0,38) e Montividiú (vulnerabilidades baixas – 0,34), significando que o parque eólico instalado nas dunas, pode ter um potencial impacto no rebaixamento do lençol freático, corroborando assim com os resultados de Meireles (2011), que evidenciou alterações morfológicas no campo de dunas decorrentes de reflexos no nível hidrostático, alterações no leito sazonal das lagoas interdunares e novas ocorrências sobre o campo de dunas. Para Gomes *et al.* (2019), estas alterações estão relacionadas diretamente às etapas de construção civil que ocorreram durante a instalação do parque eólico, em 2007.

Os autores destacam ainda que tais modificações nas dunas podem ser visualizadas no *site* da empresa responsável pelo projeto de engenharia (Lamacon), que dispõe as fotos de terraplanagem, cortes, pavimentação das dunas em seu portfólio para ampla divulgação (GOMES *et al.*, 2019).

As armações de concreto e aço, o peso dos aerogeradores, as obras de terraplanagem e compactação do solo, além do recorte das dunas e transporte de areia de forma indiscriminada

atingem o nível do aquífero freático e seu fluxo, uma vez que tais intervenções são realizadas num ambiente bastante arenoso e instável onde se encontra água a poucos metros de profundidade.

A estrutura do parque encontra-se numa área de potencial recarga do aquífero, o que destaca a importância da realização do monitoramento constante que deve ser feito e exigido nos estudos ambientais referentes a esses empreendimentos.

4.2 Análise do Aquífero por meio da Modelagem

A modelagem e simulação de reservatórios tem por finalidade avaliar casos pouco concretos, com dados limitados e com a vantagem de se poder simular vários cenários até que se encontre uma aproximação com o real. No caso apresentado, ocorreu reclamação de queda da produção de água em um aquífero na cidade de Camocim, litoral oeste do estado do Ceará, podendo ter relação com a instalação de um parque eólico na região.

Um parque eólico ou complexo eólico é composto basicamente por torres contendo turbinas eólicas, rede de transmissão e unidade de elevação de tensão. O objetivo desse trabalho de modelagem e simulação é avaliar se a queda de produção de água tem relação com a instalação do parque eólico, devido às intervenções de instalação do empreendimento realizadas no solo, ou a causa é por questões de baixa pluviometria por um longo período de seca, ou se é por causa da depleção natural do aquífero.

4.2.1 Dados Estimados

Para a elaboração da modelagem do aquífero foram utilizados dados aproximados no que se refere à permeabilidade, recarga máxima e vazão. As demais informações foram obtidas pela análise do Relatório Ambiental Simplificado - RAS e trabalhos de campo.

Os dados necessários ao modelo do aquífero estão representados no Quadro 8.

Quadro 8 - Dados utilizados na Modelagem do Aquífero

Dados utilizados na Modelagem do Aquífero	
Área do empreendimento	1040 ha
Altura dos aerogeradores	80 m
Total de aerogeradores	50
Área da Fundação das Torres	15,0 m x 15,0 m = 225 m ² (região com efetiva permeabilidade vertical nula)
Aerogeradores em fila dupla	Espaçamento de 100 m
Pelo mapa	Área de 2 km x 3 km de aerogeradores
Profundidade máxima dos aquíferos	60 m
Litologia eólica	Permeabilidade = 1D (valor mais provável)
Lençol Freático Estático	1 m
Tempo mínimo de operação	15 anos
Recarga máxima	0,09 m ³ /d/m ² = vazão máxima do poço injetor
Vazão de produção na base das Dunas	10 m ³ /h

Fonte: Raquel Moraes Silva, 2020.

Dos 19 poços visitados na área do parque eólico, 18 tiveram o nível estático medido *in situ* (julho/2017 e fevereiro/2018), onde 15 têm profundidades inferiores a 5 m (nível raso ou freático) e 3 têm valores superiores a 10 m, variando de 12 m a 22 m.

Os níveis estáticos inferiores a 5 m refletem o comportamento das águas captando o aquífero Dunas (Praia de Xavier), onde o nível estático nesse meio teve uma média de 2,7 m (julho/2017) e 3,0 m (fevereiro/2018), diferença de 0,3 m (30 cm). Houve queda do nível estático.

Esses valores correspondem a julho de 2017, final da época de chuva e início da estiagem, e fevereiro de 2018, época de chuva, o que pode indicar que esses valores têm mais relação com aspectos climáticos. Pode-se destacar também uma relação com o fato de que o ano de 2017 foi marcado por chuvas escassas e longo período de estiagem na região Nordeste, o que repercutiu numa escala local. Assim, as poucas chuvas não foram suficientes para recarregar o aquífero e, conseqüentemente, os poços da comunidade de Xavier e seu entorno mantiveram níveis estáticos baixos.

As imagens de satélite (TAVARES, 2018) mostram que a redução das lâminas de água nas lagoas interdunares em Camocim tem relação estreita com o nível freático. Em 2017, houve uma recarga menor do que o normal do aquífero, enquanto o ano 2018 representou uma

recuperação dos níveis médios de precipitação de acordo com a FUNCEME (2019) e que se constatarem nas imagens de satélite citadas.

Com relação ao nível da água subterrânea, destaca-se que 83% da área apresenta níveis menores que 5 m, 11% entre 5 m e 20 m e 6% entre 20 m e 50 m.

4.2.2 Dados de Produção

A alimentação dos aquíferos da região ocorre exclusivamente por infiltração pluvial direta onde as precipitações são da ordem de 1.260 mm/ano. Na região dos aerogeradores o escoamento preferencial se dá para as lagoas ao sul. As áreas impermeabilizadas no parque eólico são mínimas e não se considera que a permeabilidade fique nula nessa região, mas este caso foi destacado na metodologia.

4.2.3 Análise da Recarga

É esperada baixa recarga do aquífero de Xavier devido à forte evaporação e à presença das lagoas. No entanto foi considerado caso de recarga subterrânea proveniente do mar e do rio que ficam próximos.

4.2.4 Geologia

O terreno é bem permeável, devido à formação eólica, e arenoso com espessura variável entre 10 m a 40 m, pouco acima do nível do mar e existe muita intercalação com folhelhos, o que reduz bastante a permeabilidade tanto na direção horizontal quanto na vertical.

Assumiu-se que a interferência dos aerogeradores na região era por compactação do solo, ou seja, redução da permeabilidade da área. Os poços produtores foram simulados por poços perfurados até a zona de interesse, enumerados de 1 a 15 com completude variada de acordo com o caso especificado na Tabela 1. Os poços injetores foram adicionados para simular a recarga da região (a quantidade e vazão variaram em cada caso na Tabela 1). Os casos simulados foram baseados em uma malha desenvolvida no *software* Petrel conforme procedimento detalhado na metodologia desta pesquisa.

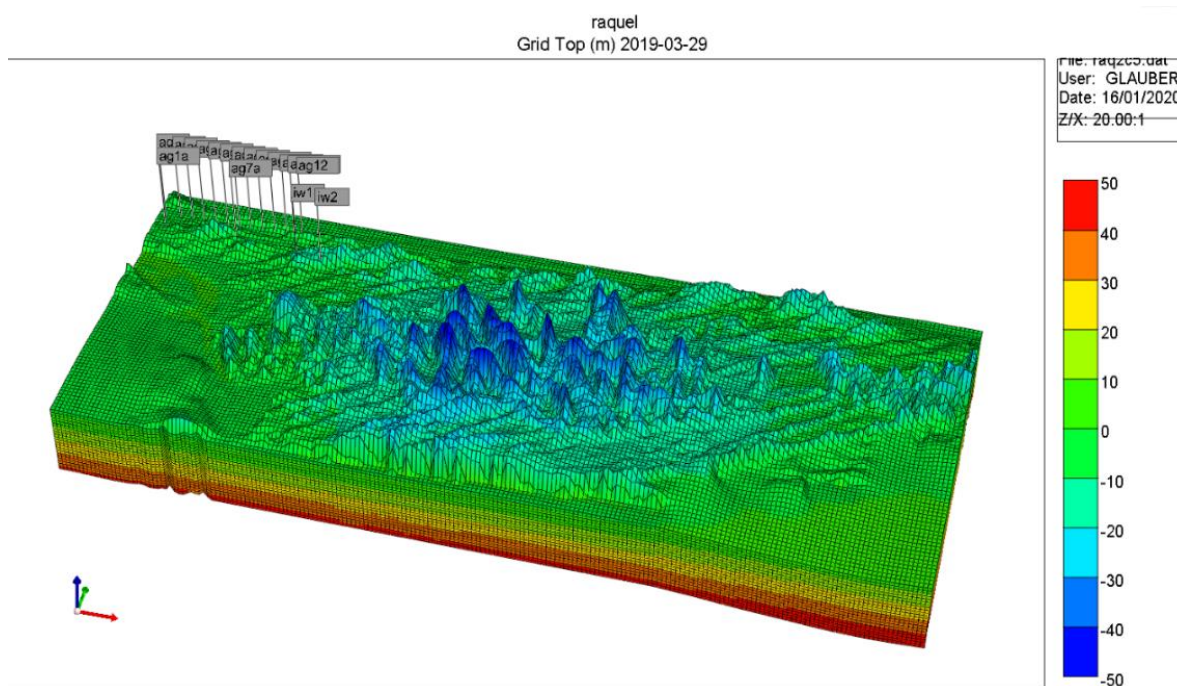
Para o reservatório os dados foram baseados em poucas informações da área de Xavier onde os valores e incertezas são as seguintes:

- a) porosidade constante e igual a 0,25;
- b) permeabilidade nas direções i e j constantes e iguais a 2000 mD, na direção k foi reduzida para 10% do valor sendo 200 mD, com exceção da região dos aerogeradores que foi alterada para valores específicos em cada caso;
- c) a compressibilidade dos poros (CPOR) é constante e igual a $4,55 \text{ E-5 kPa}^{-1}$.

Os casos simulados seguiram um padrão para melhor visualização dos resultados, onde se alteram a permeabilidade da área dos aerogeradores, BHP (bottom-hole pressure, isto é, pressão de fundo do poço), a vazão de produção dos poços produtores (STW) e de injeção (STWI) dos poços injetores.

Foi adicionado um poço injetor na região construída dos aerogeradores, sofrendo influência direta da possível compactação desencadeada. A posição de todos os poços no modelo segue na Figura 17 que representa um Modelo 200 x 80 x 22 e dimensões de 50 x 50 x 2 m.

Figura 17 - Modelo Tridimensional da Praia de Xavier



Fonte: Luís Glauber Rodrigues, 2020.

Após perfurados, todos os poços foram fechados, e depois abertos gradualmente ao longo do tempo, para uma simulação mais precisa do caso real. Em cada cenário simulado, as

permeabilidades da região dos aerogeradores foram alteradas, bem como parâmetros de reservatórios dos poços. Esses parâmetros podem ser considerados como chaves para a resolução problema desta dissertação, pois tem relação direta com o que se quer observar que é o nível dinâmico do aquífero. O objetivo dessas alterações é visualizar o impacto na produção. Os dados seguem na Tabela 1 em que o parâmetro K representa o multiplicador da permeabilidade na região dos aerogeradores.

Tabela 1 - Dados dos Poços na região dos Aerogeradores

	Caso Base	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9	Caso 10
K	0,0	1,0	0,1	0,5	0,5	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Produtor BHP	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Produtor STW	240	240	240	240	500	240	500	500	500	500	500
Injetor 1 BHP	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Injetor 1 STW	1104	1104	1104	1104	1104	1104	1104	1104	1104	1104	1104
Injetor 2 BHP	---	200	200	200	200	600	600	---	600	600	600
Injetor 2 STW	---	408	408	408	408	408	408	---	408	408	408
Injetor 3 BHP	---	---	---	---	---	---	---	---	600	600	600
Injetor 3 STW	---	---	---	---	---	---	---	---	408	1104	1104

Fonte: Luís Glauber Rodrigues, 2020.

Nos casos base (cenários) de 1 a 5, os poços produtores de água foram completados (perfurados) nas camadas 20 a 22 (última camada); o poço injetor 1, completado nas mesmas camadas para simular o modo de recarga, e o poço injetor 2, que simula a pluviometria na zona dos aerogeradores, foi completado nas camadas 1 e 2.

Nos demais casos, os poços foram completados nas camadas 10 a 22 nos poços produtores, e da camada 9 a 22 nos poços injetores. O poço injetor 2 simula a recarga no parque eólico, e os injetores 1 e 3 simulam a recarga local. Foram simulados um total de 11 casos, sendo o caso 10 uma comparação direta com o caso 9, que se espera que tenha melhor produção, pois têm maiores valores de injeção, porém com permeabilidade 0 (nula) no local abaixo ao parque eólico, ou seja, ter uma comparação direta da influência da possível compactação em um cenário extremo de permeabilidade.

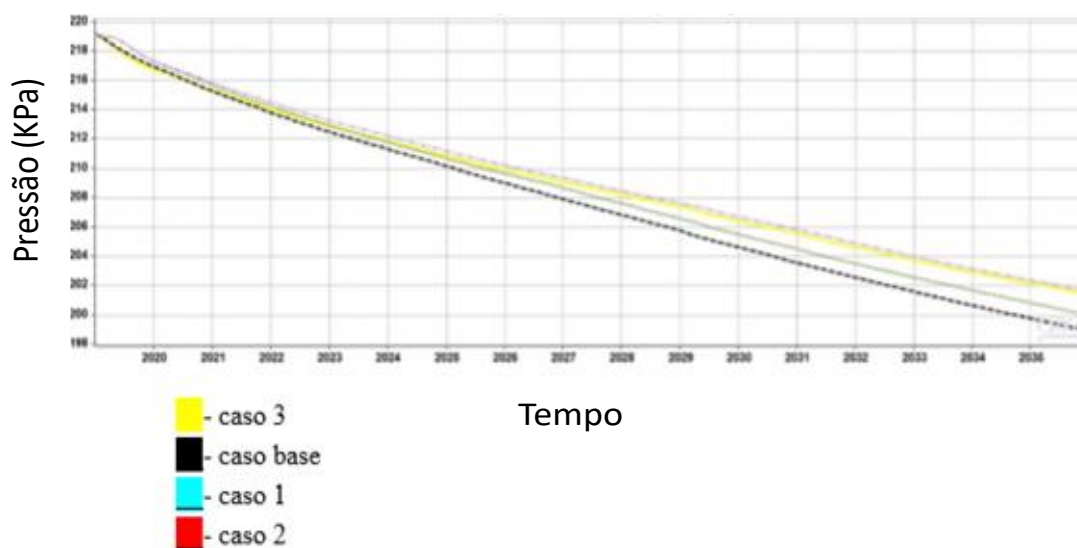
Como casos extras são mostrados, mais adiante, os gráficos 23 e 24, sendo um caso com variação da injeção de água a cada semestre e uma análise de incerteza, respectivamente.

Os resultados obtidos por meio das simulações estão demonstrados nos gráficos a seguir e servem de base para as interpretações e discussões expostas.

4.2.5 Queda da Pressão Média do Reservatório

O gráfico 16 demonstra a queda da pressão média do reservatório nos casos base de 1 a 3.

Gráfico 16 - Queda da Pressão Média do Reservatório dos casos base e de 1 a 3

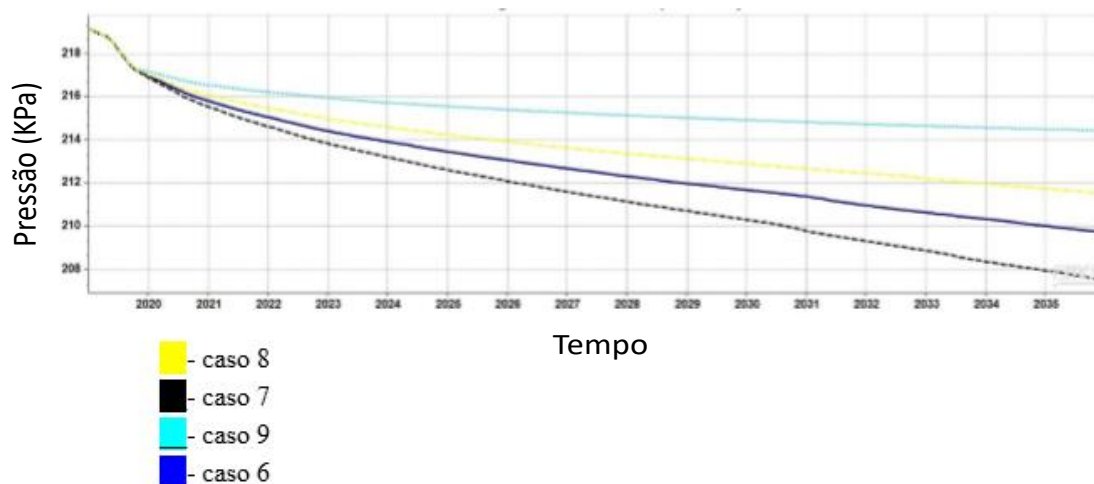


Fonte: Luís Glauber Rodrigues, 2019.

Os casos foram comparados no gráfico 16, pois apresentam mesma vazão de injeção, e mesmos parâmetros das condições dos poços (completação, máxima produção e mínimo BHP). No tempo final da simulação, o caso base ($K = 0$) apresentou depleção de aproximadamente 20 KPa (20 cm água), o caso 1 foi de 19 KPa, já nos casos 2 e 3 a depleção foi de aproximadamente 17 KPa em 15 anos de produção.

A comparação no gráfico 17, foi entre os casos com mesma permeabilidade na área dos aerogeradores, e poços completados entre as camadas 9 a 22. Os resultados mostram que a depleção em geral foi menor que nos outros casos.

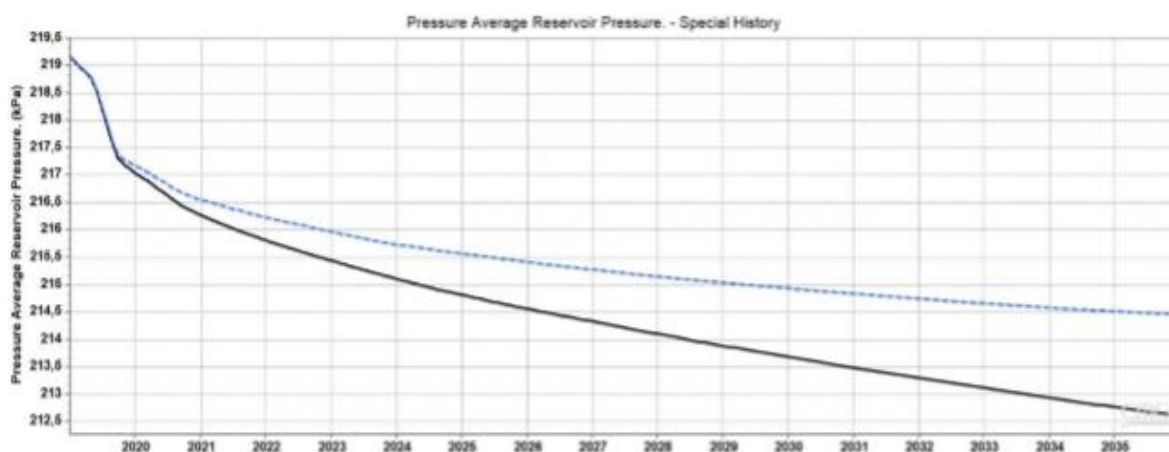
Gráfico 17 - Queda da Pressão Média do Reservatório dos casos 6 a 9



Fonte: Luís Glauber Rodrigues, 2019.

A amplitude de variação na pressão média dos casos 6 a 9 foi de 7 KPa e entre os casos 9 e 10 houve diferença de pressão em 15 anos de apenas 2 KPa (2 cm de água) (Gráfico18).

Gráfico 18 - Queda da Pressão Média do Reservatório dos casos 9 e 10

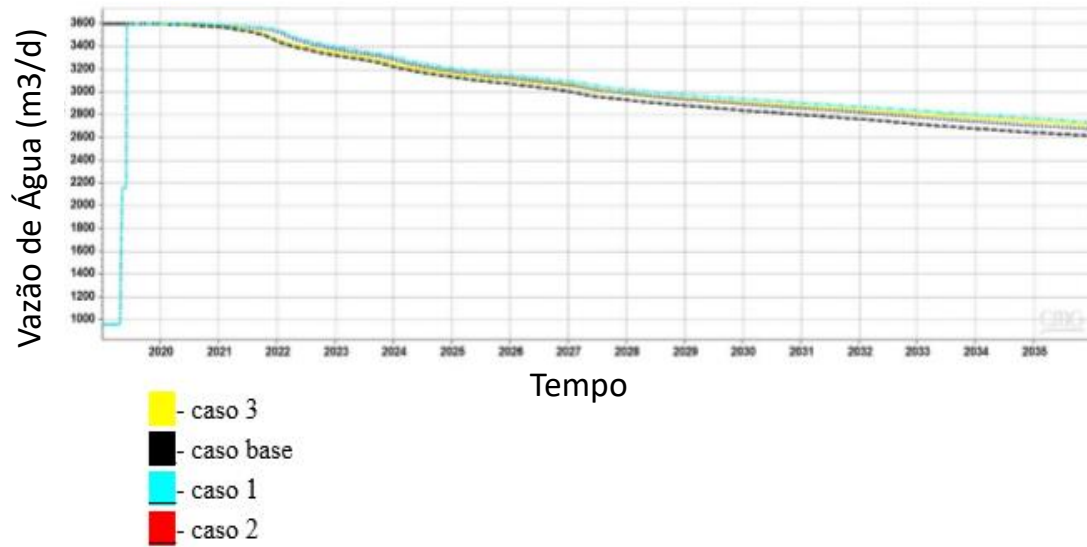


Fonte: Luís Glauber Rodrigues, 2019.

4.2.6 Vazão de Água

É observado resultado coerente ao apresentado pela queda de pressão demonstrado nos gráficos anteriores, onde o caso base indicou maior queda de vazão de água ao longo do tempo, e o caso 1 menor queda de vazão, com uma amplitude entre os resultados de aproximadamente 150 m³/dia (Gráfico 19).

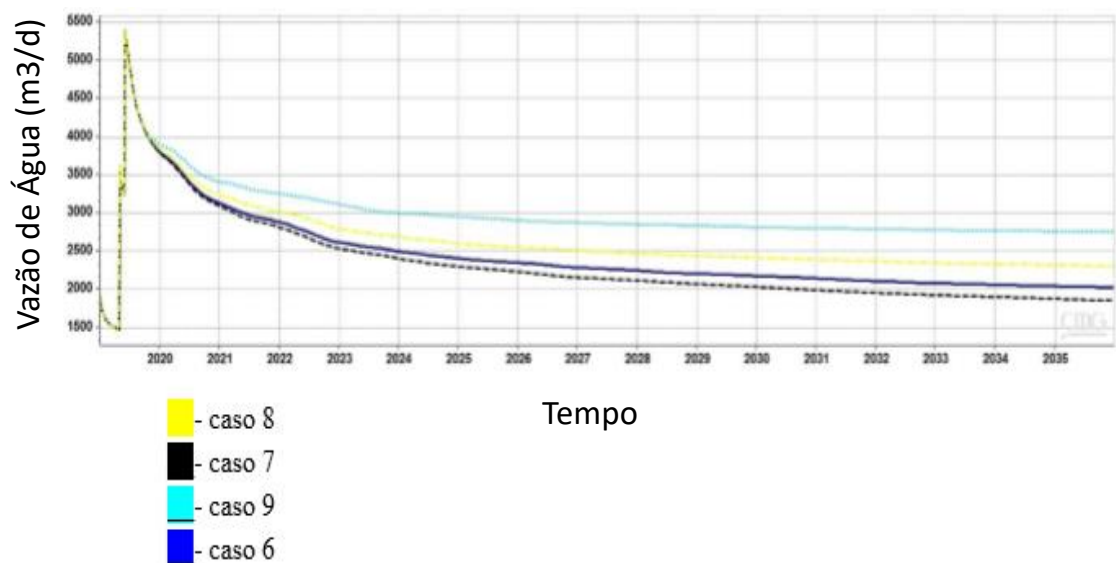
Gráfico 19 - Vazão de Água dos casos base e dos casos de 1 ao 3



Fonte: Luís Glauber Rodrigues, 2019.

O gráfico 20 apresenta elevada amplitude dos resultados de aproximadamente 900 m³/dia, com melhor resultado de vazão de água para o caso 9 (2750 m³/dia), e pior resultado de vazão de água para o caso 7 (1850 m³/dia). A variação foi considerável, porém no caso 9, como mostrado, considera-se recarga elevada (vazão máxima dos poços injetores de 1104 m³/d).

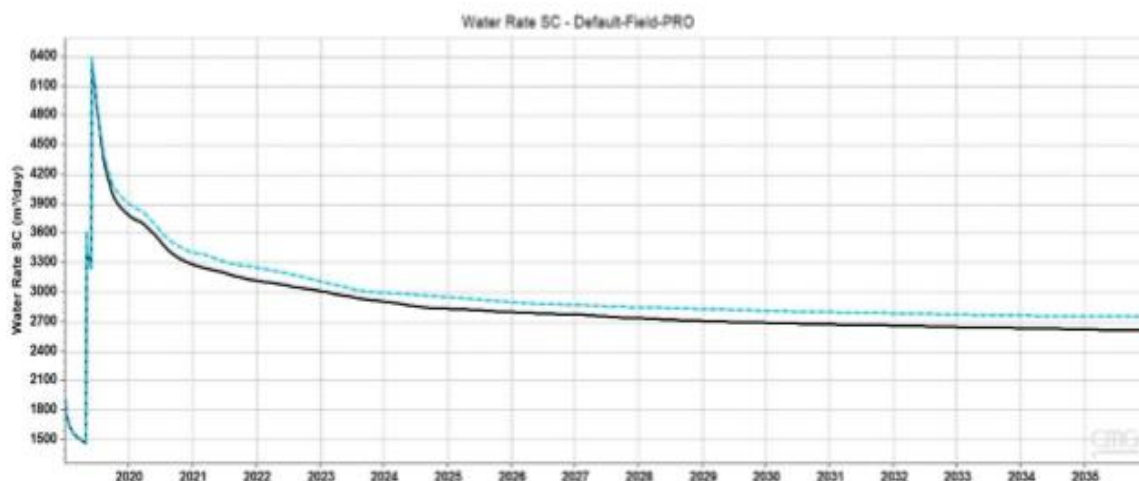
Gráfico 20 - Vazão de Água dos Poços Produtores nos casos 6 ao 9



Fonte: Luís Glauber Rodrigues, 2019.

O gráfico 21 mostra a alteração da vazão na produção dos poços de apenas 100 m³/dia ao final de 15 anos de produção considerando apenas a variação de permeabilidade supostamente desencadeada pelos aerogeradores.

Gráfico 21 - Vazão de Água dos Poços Produtores nos casos 9 e 10

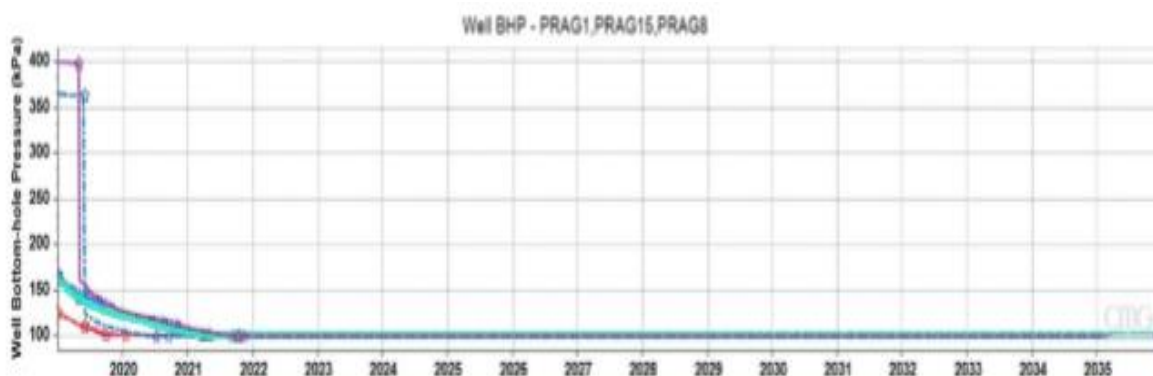


Fonte: Luís Glauber Rodrigues, 2019.

4.2.7 Pressão de Fundo de Poço

A análise da queda da pressão de fundo no gráfico 22 indica forte queda para determinada produção de água. Infelizmente não temos como validar, pois não há dados de nível dinâmico. A rapidez com que os poços atingem a pressão mínima atmosférica reflete que pode haver interferência de produção entre os poços.

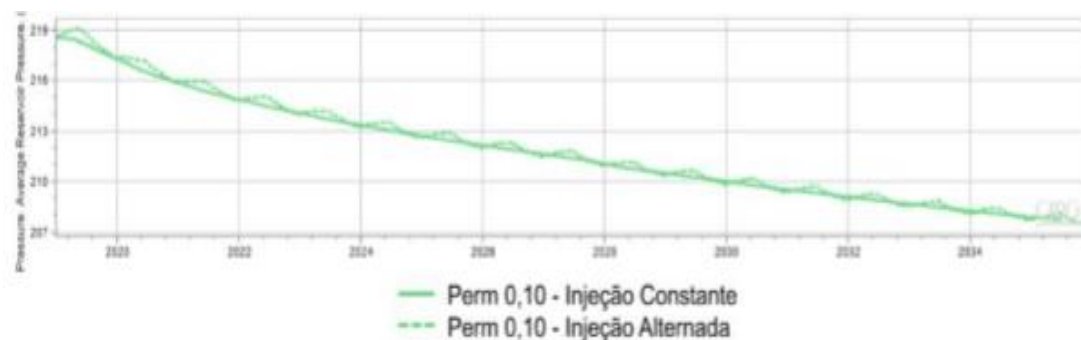
Gráfico 22 - BHP dos casos base e do 1 ao 3 avaliado em três poços



Fonte: Luís Glauber Rodrigues, 2019.

Salienta-se que no gráfico 23 a vazão é dobrada em relação aos casos anteriores, pois o valor injetado está somente no período das chuvas e nula no período de secas. Demonstra-se que não há diferença nos resultados devido aos diferentes modos de se injetar água.

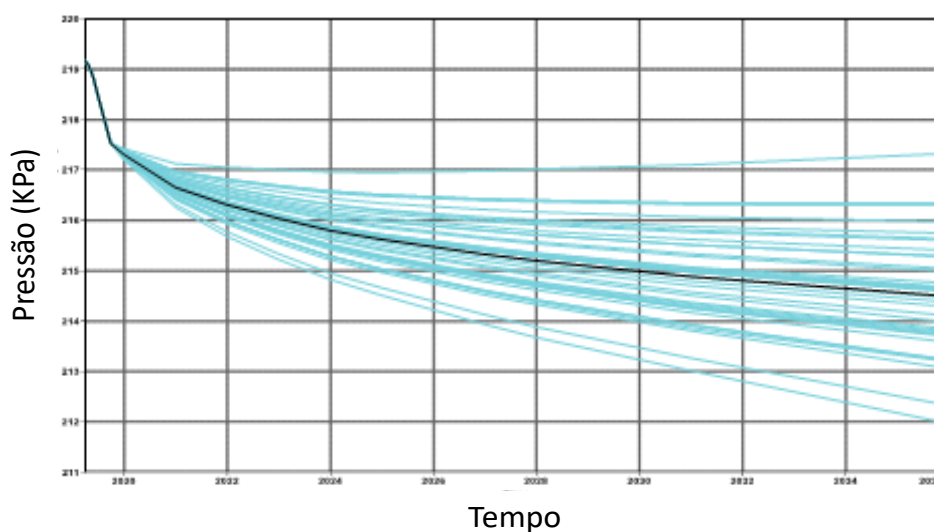
Gráfico 23 - Pressão Média do Reservatório ($K = 0,1$) e Diferentes Modos de Injeção



Fonte: Luís Glauber Rodrigues, 2019.

A seguir, foi realizada análise de sensibilidade do comportamento da pressão quando se variou a permeabilidade na área dos aerogeradores, e nas vazões dos poços de produção e injeção. Para isso foi utilizado o *software* CMOST da CMG de inteligência artificial. A superfície de resposta matemática gerada usou planejamento de experimentos usando processo hipercubo Latino e simulação Monte Carlo com opção RBF de rede neural para validação da superfície. Foram simulados 116 casos e o resultado está representado no gráfico 24.

Gráfico 24 - Análise de Incertezas na Pressão Média do Aquífero

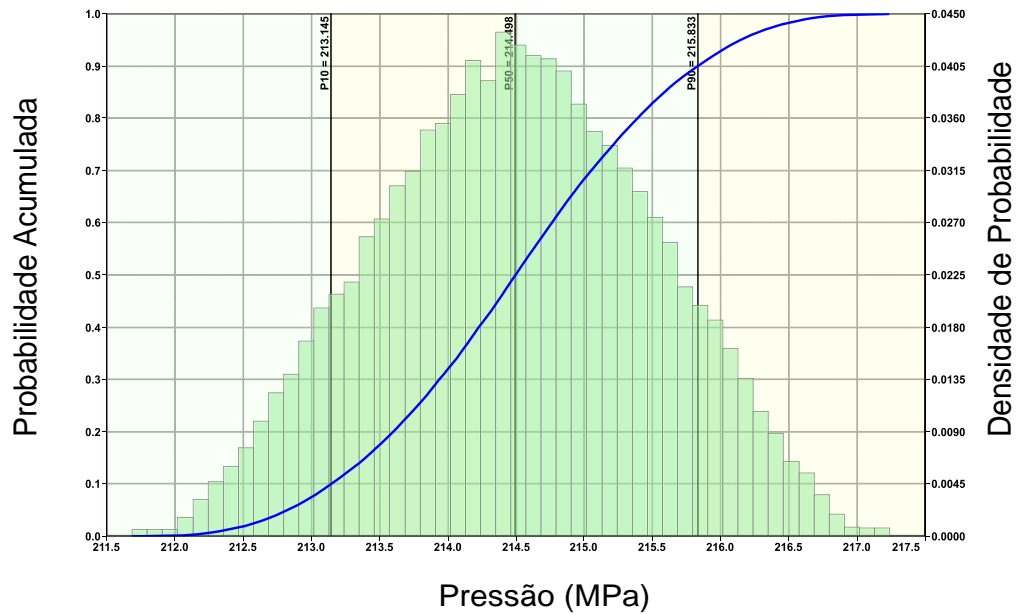


Fonte: Luís Glauber Rodrigues, 2019.

O gráfico acima mostra a pequena variação na pressão de no máximo 5 KPa, ou seja, 5 cm de água.

O gráfico 25 apresenta a probabilidade de ocorrência da pressão média usando a técnica de Monte Carlo. O valor de 214 KPa é o mais provável.

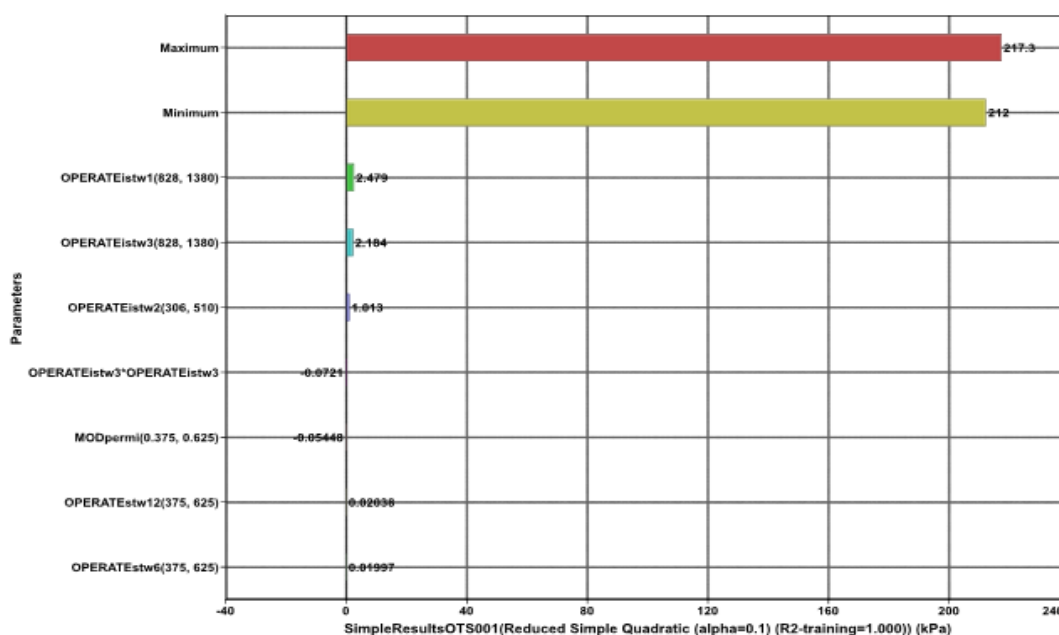
Gráfico 25 - Análise Probabilística de Ocorrência da Pressão Média do Reservatório



Fonte: Luís Glauber Rodrigues, 2019.

O gráfico 26 representa o impacto das variáveis na resposta da função objetivo que, nesse trabalho, é a pressão média. Os parâmetros que mais impactam a resposta da função objetivo são as vazões de produção e injeção, e não a permeabilidade na área dos aerogeradores. Isso corrobora com o fato de que o balanço entre vazão de produção *versus* infiltração no solo é muito relevante para a área.

Gráfico 26 - Estimativa dos Efeitos da Vazão e Permeabilidade no Comportamento da Pressão Média do Aquífero



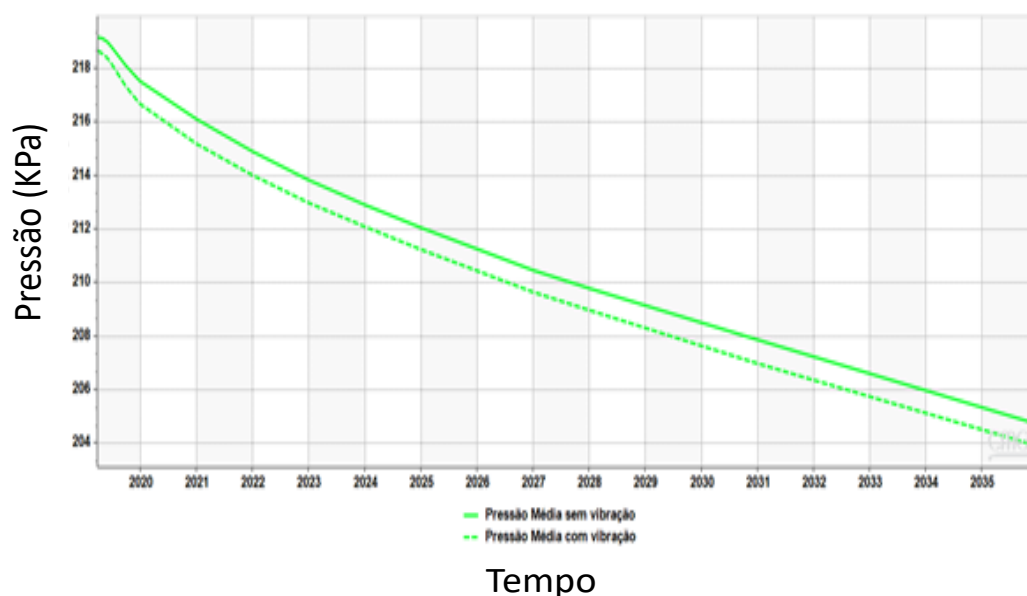
Fonte: Luís Glauber Rodrigues, 2019.

4.2.8 Vibração das Torres

Os efeitos da vibração nas praias do Ceará foram reportados por Moura (2009) e são bastante dispersos os valores obtidos (351 a 1529 rpm). Assumindo que seus efeitos, a partir da oscilação em ressonância da amplitude máxima, são essencialmente de aumento da permeabilidade e redução da compressibilidade, isso se a escala, a frequência e o tempo forem favoráveis. Efeitos semelhantes foram comprovados *in situ* por Zhang et. al. (1999) em campos de petróleo chineses.

No presente trabalho foram realizadas simulações comparativas de caso sem e com efeito da vibração. O caso com vibração apresentado no gráfico 27 apresentou uma redução na compressibilidade da rocha de aproximadamente 50%, devido, provavelmente, ao efeito esperado de redução das tensões confinantes; e um aumento na permeabilidade absoluta vertical de aproximadamente 50%, conforme se prevê quando a vibração atua favoravelmente. A permeabilidade absoluta horizontal já é bastante elevada (2000 mD).

Gráfico 27 - Pressão Média do Reservatório de Água de Camocim, Comportamento Estimado com e sem efeitos da Vibração dos Aerogeradores



Fonte: Luís Glauber Rodrigues, 2019.

Como os resultados práticos dos efeitos da vibração em subsuperfície são de difícil obtenção, esses dados foram estimados a título de análise preliminar. Ao se analisar o gráfico acima conclui-se que a influência na pressão e, em consequência, na altura da coluna de água é mínima, sendo de apenas 1 KPa ou $0,01 \text{ kg/cm}^2$ ou 0,1 m ou 10 cm. Esses valores estão dentro da margem de incerteza dos resultados da simulação conforme gráfico 25 e não alteram as conclusões anteriores.

4.3 Características Gerais das Fundações das Torres

O documento utilizado para caracterizar as fundações das torres do parque eólico foi o Relatório Ambiental Simplificado – RAS (GEOCONSULT, 2002) que traz informações gerais do empreendimento e seus componentes.

Para Pestana (2016), em geral, as torres eólicas são suportadas no terreno por um bloco circular, retangular ou octogonal de concreto que transfere as cargas para o subsolo.

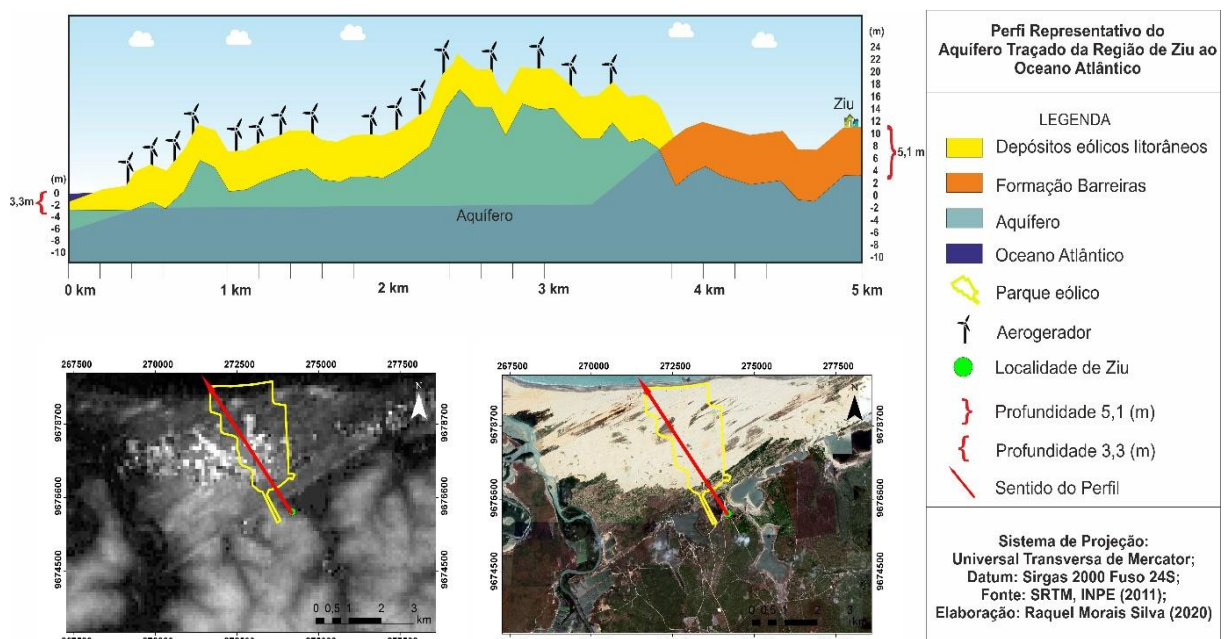
O autor também afirma que as fundações podem ser de laje, quando a superfície do solo é mais firme e suporta cargas descarregadas pela turbina, ou por estacas, onde a qualidade da superfície do solo é mais fraca e é necessário transferir as cargas para profundidades maiores, onde o solo é mais firme e capaz de absorvê-las. Outro aspecto a considerar quando é avaliado

a qualidade do solo é saber a cota que se situa o nível freático, principalmente se for realizada uma fundação por estacas (PESTANA, 2016).

Sabe-se que o parque eólico foi instalado sobre um campo de dunas móveis com instabilidade alta, solo poroso, permeável e drenado por águas subterrâneas aflorantes de pouca profundidade. Assim, é possível afirmar que as fundações dos aerogeradores foram construídas por estaqueamento devido às características do solo e que o aquífero e sua zona de recarga sofreram alterações consideráveis devido à proximidade com a superfície e as intervenções para instalação das bases das torres.

Na tentativa de visualizar o cenário em que se insere os aerogeradores e o aquífero foi desenvolvido um perfil representativo. De acordo com o mapa de potencial hidráulico na praia e nas proximidades do parque eólico temos uma profundidade de 3,3 m e em Ziu uma profundidade de 5,1 m. Esses são os valores necessários para escavar o local e encontrar água. Ao cruzar os dados da interpolação realizada no *Surfer* com os dados de elevação do SRTM obteve-se a configuração apresentada no perfil representativo (Figura 18).

Figura 18 - Perfil Representativo do Aquífero Traçado da Região de Ziu ao Oceano Atlântico



Fonte: Raquel Morais Silva, 2020.

O perfil correspondente ao SRTM tem uma elevação máxima de 24 metros de altura. Ressalta-se que na região a elevação máxima é formada por dunas móveis.

Não foi possível representar os aerogeradores em escala, tendo em vista sua altura (80 metros), o que inviabiliza observá-los nessa escala de perfil, ficando apenas como representação da situação real.

O RAS (GEOCONSULT, 2002) não apresenta a profundidade da fundação / base dos aerogeradores, apenas a altura das torres, a área quadrada de cada torre (15 x 15 m), o diâmetro das bases circulares (12 m) de concreto armado com um anel de aço de 3,5 m de diâmetros no centro para fixação da torre, o que limitou a obtenção de dados mais específicos acerca da profundidade das fundações e do cenário formado pela disposição dos aerogeradores, bem como suas interferências reais no aquífero e no fluxo das águas subterrâneas. Assim, a formação de uma suposta barreira subterrânea formada pela configuração das bases das torres e que interfira no fluxo e na direção das águas do aquífero não pode ser visualizada.

As imagens das fundações das torres que são apresentadas no RAS (GEOCONSULT, 2002) são de baixa qualidade, muito claras e de pouca nitidez, o que impossibilita a observação das obras de construção, o tipo de fundação utilizada, as escavações e demais aspectos técnicos.

O projeto do parque eólico foi efetivado em três fases, a saber: estudos e projetos, implantação e operação. A construção das fundações e a montagem das torres estão inseridas na fase de implantação do empreendimento.

As obras de engenharia, o peso dos aerogeradores, as intervenções nas dunas (os cortes, as escavações, o transporte de sedimentos para aberturas de vias de acesso), o fluxo de veículos pesados, o estaqueamento e a concretagem promoveram perturbações sobre o aquífero impermeabilizando-o, compactando vários trechos de sua superfície e alterando seu reabastecimento pleno. Destaca-se também que o parque foi construído numa zona de recarga que está inserida numa Área de Proteção Permanente – APP.

É possível perceber que as obras de engenharia, o planejamento, a logística e os procedimentos técnicos que perpassam a construção do parque eólico desconsideraram aspectos geotécnicos, geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos e socioambientais, uma vez que a presença do aquífero freático importante para o abastecimento do distrito de Amarelas e da comunidade de Xavier foi praticamente ignorada, afetando a segurança hídrica e alimentar da população local.

Portanto, realizar estudos prévios amplos e sérios antes da instalação dos empreendimentos eólicos é essencial para prevenir e mitigar impactos ao longo da execução das etapas do projeto. Os trabalhos de monitoramento surgem como estratégias importantes

neste cenário e devem ser realizados durante a instalação e o funcionamento dos parques eólicos sempre considerando seus inúmeros aspectos e componentes socioambientais.

5 CONCLUSÕES

O parque eólico ocupa área total de 1040 ha, sendo que a área impermeabilizada, conforme o Relatório Ambiental Simplificado (RAS), corresponde a 5%. Todavia, estudos de Meireles (2011) apontaram alteração geomorfológica na área durante a construção do parque, devido à mobilização intensa de sedimentos e aos processos de engenharia associados (cortes, aterramentos, compactação dos solos, entrada de materiais exógenos etc.). Portanto, apesar da empresa ter informado no RAS que pequena parcela da área seria afetada e impermeabilizada, esta pesquisa conclui que se deve considerar a obstrução parcial da área de recarga do aquífero pelo empreendimento.

Constatou-se que o parque eólico foi construído numa área de vulnerabilidade elevada que abrange a zona de recarga do aquífero, o que, juntamente com as demais intervenções das obras de engenharia, como pavimentação, compactação e impermeabilização no campo de dunas, reduz sensivelmente a renovação de suas reservas no período de chuvas, afetando também seu nível estático.

No entanto, a modelagem do aquífero permitiu verificar que o nível estático dos poços e renovação das águas do aquífero estão mais diretamente relacionados com os aspectos climáticos que interferem mais diretamente na recarga dos pontos de captação, notadamente os anos de 2017 (ano de estiagem e redução do nível estático dos poços) e 2018 (ano chuvoso com elevação do nível estático das cacimbas).

Outro ponto importante é o uso inadequado dos poços pelos moradores, o distanciamento entre eles e a retirada constante de água implicam no aprofundamento do cone de rebaixamento das cacimbas. Destaca-se também que a proximidade de muitas fossas sépticas compromete a potabilidade das águas subterrâneas, tornando-as impróprias para o consumo humano.

Assim, as interferências decorrentes da instalação da usina eólica sobre o reservatório são muito relevantes e influenciaram também a recarga das lagoas interdunares, muitas delas perenes antes da instalação do parque, mas após a implementação do empreendimento, esses corpos hídricos secaram, comprometendo a pesca continental e a subsistência dos moradores. Entretanto, as modificações mais representativas sobre o aquífero resultam dos aspectos climáticos e do uso inadequado dos moradores que afetam diretamente a disponibilidade e potabilidade das águas subterrâneas.

Neste sentido, as análises da qualidade das águas subterrâneas foram essenciais para verificar os níveis de coliformes totais e fecais, bem como de cloretos e nitratos que, por sua vez, apresentaram alterações significativas, o que comprometem sua potabilidade.

Tal procedimento fez parte da metodologia de avaliação da vulnerabilidade, tendo como foco principal a verificação dos impactos nas comunidades tradicionais e a constatação de que o maior problema é a gestão dos poços pelos moradores, além da falta de saneamento básico e de cuidado com a continuidade das perfurações dos pontos de captação. Observou-se também que os poços interferem uns nos outros devido à proximidade e que são influenciados pelas marés por serem escavados em zona de praia.

Esta pesquisa teve como impacto social o alerta à população para não escavar mais poços, pois existe uma situação-limite, ou seja, produzir em todos os poços pode levá-los à exaustão e aprofundamento do cone de rebaixamento em cada ponto de captação. Assim, a redução da quantidade de poços que abastece a comunidade pode ajudar na recuperação do nível dinâmico e regularização da produção e oferta de água.

Portanto, sugere-se que os moradores utilizem a metade dos poços e ampliem a distância entre eles, uma vez que, a proximidade influencia no nível estático, na vazão e aprofunda o cone de rebaixamento, o que reduz a produção.

Foi possível perceber durante as leituras e pesquisas de documentos técnicos que as análises ambientais foram insuficientes e desconsideradas no planejamento e na execução das obras de instalação da usina eólica em Xavier, uma vez que foi construída numa área de elevada instabilidade formada por ecossistemas dunares e lacustres com forte presença de lençol freático raso, além de ser classificada como uma área de proteção permanente.

Desta forma, sugere-se a realização de estudos futuros para analisar os efeitos da vibração dos aerogeradores sobre as dunas e aquíferos, tendo em vista a ausência dessas informações no RAS.

Destarte, sugere-se também a análise dos aquíferos nos estudos de impacto ambiental com a metodologia proposta nesta dissertação, antes da implantação do parque, e posterior monitoramento após esta etapa, para de fato avaliar os efeitos.

Por fim, destaca-se que os impactos cumulativos decorrentes das implantações de novos parques eólicos na zona costeira podem conduzir ao confinamento de aquíferos devido ao adensamento das torres eólicas e demais intervenções durante as obras de engenharia sobre os campos de dunas, o que produz relações ambientais negativas que atingem sobremaneira comunidades próximas às áreas de influência desses empreendimentos.

REFERÊNCIAS

- APHA. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: American Public Health Association, 2012.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L. de; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; MENDES, J. de S.; LOUREIRO, C.; MEIRELES, A. J. de A.; SILVA, E. V. da; FREITAS, A. L. R. de; OLIVEIRA, R. F. de. Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 67, p. 62-71, jan. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.047>. Acesso em: 07 out. 2019.
- BRASIL. **Decreto nº 6.040, de 7 de fevereiro de 2007**. Institui a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6040.htm. Acesso em: 07 out. 2018.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre padrões de potabilidade das águas para consumo humano. **Diário Oficial da União**, Brasília, 12 dez. 2011. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 9 ago. 2019.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 5 de 28 de setembro de 2017**. Dispõe sobre o controle de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seus padrões de potabilidade. Disponível em: <https://www.saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2018/12/Portaria-de-Consolidacao-5.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2019.
- BRASILEIRO, F. M. G. **Análise da influência dos parques eólicos na modificação das condições climáticas locais em áreas piloto no Ceará e no Rio Grande do Norte**. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Programa de recenseamento de fontes de abastecimento por água subterrânea no Estado do Ceará: diagnóstico do município de Camocim**, 1998. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/15855/Rel_Camocim.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Acesso em: 30 jul. 2019.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS Professional GIS for the desktop**. Version 9.2. Local: UFSM, 2016. 1 software
- FEITOSA, E. C.; FEITOSA, F. A. C. Metodologia básica de pesquisa de água subterrânea. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. revista. e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. p. 179-207.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 15-26, 2005.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea**: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. São Paulo: Servemar, 2006.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk assessment**: a methodology using available data. Lima: WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual, 1988.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **QualiGraf**. Disponível em: <http://www3.funceme.br/qualigraf/>. Acesso em: 08 ago. 2019.

GEOCONSULT CONSULTORIA GEOLOGIA E MEIO AMBIENTE. **Relatório Ambiental Simplificado - RAS da Central Eólica Praia Formosa, Camocim - CE**. Fortaleza: Geoconsult Geologia Consultoria e Meio Ambiente Ltda, 2002.

GOMES, M. da C. R. **Qualidade das águas subterrâneas e superficiais no Campus Universitário do Pici (Fortaleza, Ceará)**. 2006. 108 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

GOMES, M. da C. R.; MENDONÇA, L. A. R.; CAVALCANTE, I. N. Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas na porção leste da Bacia Sedimentar do Araripe, Ceará, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 41, n. 3, p. 252-259, 2018.

GOMES, M. C. R.; CAVALCANTE, I. N. Análise geoquímica das águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará - Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 42-59, 2015.

GOMES, M. C. R.; GORAYEB, A.; SOUZA, D. B.; SILVA, R. M. Analysis of the levels of alteration of aquifers caused by the installation of wind farms on dunes on the coast of Ceará, Brazil. **Revista Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 14, n. 6, p. 1-15, 30 out. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2430>. Acesso em: 21 set. 2019.

GORAYEB, A.; MENDES, J. de S.; MEIRELES, A. J. de A.; BRANNSTROM, C.; SILVA, E. V. da; FREITAS, A. L. R. de. Wind-Energy development causes social impacts in coastal Ceará state, Brazil: the case of the Xavier Community. **Journal of Coastal Research**, Coconut Creek, v. 75, n. 1, p. 383-387, 1 mar. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2112/si75-077.1>. Acesso em: 21 set. 2019.

GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; MEIRELES, A. J. de A.; MENDES, J. de S. Wind power gone bad: critiquing wind power planning processes in Northeastern Brazil. **Energy Research & Social Science**, [s. l.], v. 40, p. 82-88, jun. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2017.11.027>. Acesso em: 21 set. 2019.

GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C. Caminhos para uma gestão participativa dos recursos energéticos de matriz renovável (parques eólicos) no Nordeste do Brasil. **Mercator**, Fortaleza, v. 15, n. 1, p. 101-115, abr. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/mercator/v15n1/1984-2201-mercator-15-01-0101.pdf>. Acesso em: 07 out. 2018.

GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; LOUREIRO, C. V.; MENDES, J. S. Processos políticos e impactos socioambientais da energia eólica no litoral cearense. In: GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; MEIRELES, A. J. A. (org.). **Impactos socioambientais da implantação dos parques de energia eólica no Brasil**. Fortaleza: Edições UFC, 2019.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. O Ciclo hidrológico e a água subterrânea. In: GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Para Entender a Terra**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. p. 475.

HIRATA, R.; FERNANDES, A. J. Vulnerabilidade à Poluição de Aquíferos. In: FEITOSA, F. A. C. *et al.* **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. p. 405-424.

HIRATA, R.; HIRATA, H.; LIMA, J. B. V. A água como recurso. In: TEIXEIRA, W.; TAIOLI, F. (org.). **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. p. 459.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil Municipal de Camocim**, Fortaleza, 2017. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Camocim_2017.pdf. Acesso em: 25 jun. 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Technology Perspectives 2020**. Paris, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>. Acesso em: 19 set. 2020.

JACOBSON, Mark Z. *et al.* 100% Clean and renewable wind, water, and sunlight all-sector energy roadmaps for 139 countries of the world. **Joule**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 108-121, set. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joule.2017.07.005>. Acesso em: 25 jun. 2019.

KARMANN, I. Água: ciclo e ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; TAIOLI, F. (org.). **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. p. 197.

LOUREIRO, C. V.; GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C. Implantação de energia eólica e estimativa das perdas ambientais em um setor do litoral oeste do Ceará, Brasil. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 6, n. 1, p. 24-38, jul. 2015. Disponível em: <http://www.geosaberes.ufc.br/geosaberes/article/view/361>. Acesso em: 30 set. 2018.

LÖBLER, C. A.; TERRA, L. G.; SILVA, J. L. S. Dados da CPRM/SIAGAS e imagens STRM como base cartográfica na elaboração de mapeamento em recursos hídricos subterrâneos em escala municipal: o caso de Nova Palma, RS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 513-523, ago. 2014.

MANOEL FILHO, J. Contaminação das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C. *et al.* **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. p. 381-404.

MANZIONE, R. L. Recarga das águas subterrâneas. *In*: MANZIONE, R. L. **Águas subterrâneas: conceitos e aplicações sob uma visão multidisciplinar**. Jundiaí: Paco Editorial, 2015a. p. 194.

MANZIONE, R. L. Qualidade das águas subterrâneas. *In*: MANZIONE, R. L. **Águas subterrâneas: conceitos e aplicações sob uma visão multidisciplinar**. Jundiaí: Paco Editorial, 2015b. p. 213-214.

MEIRELES, A. J. de A.; CASSOLA, R. S.; TUPINAMBÁ, S. V.; QUEIROZ, L. de S. Impactos ambientais decorrentes das atividades da carcinicultura ao longo do litoral cearense, Nordeste do Brasil. **Mercator**, Fortaleza, v. 6, n. 12, p. 83-106, nov. 2008. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/48>. Acesso em: 30 jul. 2019.

MEIRELES, A. J. de A. Impactos ambientais em áreas de preservação permanente (APP's) promovidos no campo de dunas da Taíba pela Usina Eólica Taíba Albatroz – Bons Ventos Geradora de Energia S/A. **Parecer Técnico**, 2008. Disponível em: http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo10/006.pdf. Acesso em: 12 set. 2014.

MEIRELES, A. J. de A. Danos socioambientais originados pelas usinas eólicas nos campos de dunas do Nordeste Brasileiro e critérios para definição de alternativas locais. **Confins**, Paris, v. 11, p. 1-23, mar. 2011. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/6970?lang=pt>. Acesso em: 06 out. 2018.

MEIRELES, A. J. de A. **Geomorfologia Costeira: funções ambientais e sociais**. Fortaleza: Edições UFC, 2012.

MEIRELES, A. J. de A. **Geomorfologia Costeira: funções ambientais e sociais**. 2. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2014.

MEIRELES, A. J. de A.; GORAYEB, A.; LIMA, G. S.; SILVA, D. R. F. de. **Impactos socioambientais da energia eólica no litoral cearense: análise integrada do litoral cearense: contextualização socioambiental e evolução dos ambientes costeiros**. Fortaleza: FCPC, 2015.

MENDES, J. S.; GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C. Diagnóstico participativo e cartografia social aplicados aos estudos de impactos das usinas eólicas no litoral do Ceará: o caso da Praia de Xavier, Camocim. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 6, n. 3, p. 243-254, 2016.

MENDES, J. S. **Parques eólicos e comunidades tradicionais no Nordeste Brasileiro: estudo de caso da Comunidade de Xavier, Litoral Oeste do Ceará, por meio da abordagem ecológica/participativa**. 2016. 160 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

MOURA, P.; SABADIA, J. A. B.; CAVALCANTE, I. N. Mapeamento de vulnerabilidade dos Aquíferos Dunas, Barreiras e Fissural na porção norte do Complexo Industrial e Portuário do Pecém, Estado do Ceará. **Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 77-89, jan. 2016. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/8997>. Acesso em: 31 ago. 2019.

PEREIRA, S. **Qualidade e uso das águas subterrâneas na porção noroeste do município de Fortaleza – Ceará.** 2012. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

PESTANA, D. A. C. **Sistemas estruturais para torres eólicas.** 2016. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia, Universidade da Madeira, Funchal, 2016.

RABELO, F. D. B. **Geotecnologias como subsídio ao planejamento ambiental integrado no município de Barroquinha, Ceará – Brasil.** 2018. 131 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

REBOUÇAS, A. C.; FEITOSA, F. A. C.; DEMÉTRIO, J. G. A. Elementos de Hidrologia Subterrânea. In: GIAMPÁ, C. E. Q.; GONÇALVES, V. G. (org.). **Águas subterrâneas e poços tabulares profundos.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SANTOS, A. C. Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C. *et al.* **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. p. 325.

SILVA, A. M.; VIEIRA, R. M. F. Energia eólica: conceitos e características basilares para uma possível suplementação da matriz energética brasileira. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, Caxias do Sul, v. 6, n. 2, p. 53-76, 2016.

SILVA, K. F. **Controle e integração de centrais eólicas à rede elétrica com geradores de indução duplamente alimentados.** 2006. 270 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SILVA, M. D. **Tipificação de fundações de torres eólicas em parques industriais, para diversos tipos de solos.** 2014. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2014.

SOUZA, A. D. **Avaliação da energia eólica para o desenvolvimento sustentável diante das mudanças climáticas no Nordeste do Brasil.** 2010. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

TAVARES, G. U. **Impactos socioambientais na geração de energia eólica:** supressão de lagoas interdunares e insegurança alimentar na comunidade de Xavier, Camocim, Ceará. 2018. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

ZHANG, L. H., HO, P., LI, Y., HE, Low Frequency Vibration Recovery Enhancement Process Simulation. **SPE Reservoir Simulation Symposium**, Houston, p. 1-9, 1999.

APÊNDICE A - CADASTRO DE POÇOS DA COMUNIDADE DE XAVIER E SEU ENTORNO – PARTE I

Ordem	X	Y	Município	Comunidade	Proprietário/Responsável
P1	271309	9679642	Camocim	Praia Xavier	Grupo Escola José Lendengue da Costa
P2	271167	9679656	Camocim	Praia Xavier	
P3	270306	9679560	Camocim	Praia Xavier	
P4	270271	9679585	Camocim	Praia Xavier	Sr. Antônio Davi
P5	270369	9679592	Camocim	Praia Xavier	Sr. Domingos
P6	270458	9679593	Camocim	Praia Xavier	Sr. Francisco
P7	270603	9679605	Camocim	Praia Xavier	
P8	270662	9679620	Camocim	Praia Xavier	
P9	270715	9679630	Camocim	Praia Xavier	
P10	270867	9679603	Camocim	Praia Xavier	
P11	270919	9679618	Camocim	Praia Xavier	Sr. Francisca Gomes
P12	271060	9679658	Camocim	Praia Xavier	
P13	271311	9679617	Camocim	Praia Xavier	Sra. Francisca
P14	271376	9679642	Camocim	Praia Xavier	Sra. Francisca
P15	271433	9679612	Camocim	Praia Xavier	Barraca Praia Formosa
P16	271247	9674556	Camocim	Tapuiu	SAAE (Serviço de Abastecimento, Água e Esgoto)
P17	273219	9672947	Camocim	Montevidéu	SAAE (Serviço de Abastecimento, Água e Esgoto)
P18	274280	9672937	Camocim	Amarelas	SAAE (Serviço de Abastecimento, Água e Esgoto)
P19	274429	9676023	Camocim	Ziu	João Eldes Cavalcante
P20	277565	9679969	Camocim	Barrinha	Maria Araújo Torres de Aguiar
P21	277811	9680011	Camocim	Barrinha	Ricardo Maia
P22	277847	9679978	Camocim	Barrinha	Genésio Ivo da Silveira
P23	277896	9680032	Camocim	Barrinha	Socorro de Souza
P24	274568	9676147	Camocim	Ziu	Pedro Moreira
P25	274431	9676141	Camocim	Ziu	Pedro Vitorino
P26	274352	9676052	Camocim	Ziu	Francisco das Chagas da Conceição

Fonte: Raquel Moraes Silva, 2019.

**APÊNDICE B - CADASTRO DE POÇOS DA COMUNIDADE DE XAVIER E SEU
ENTORNO – PARTE II**

Ordem	Tipo de Poço	Prof. (m)	NE (m)	Altura boca (cm)	Diâmetro (cm)	Situação atual
P1	Escavado (Cacimba)		1,43	19,50	1,36	Ativo
P2	Escavado (Cacimba)		1,23	0,36	0,71	Ativo
P3	Escavado (Cacimba)		4,44	0,67	1,10	Ativo
P4	Escavado (Cacimba)		4,42	0,53	0,78	Ativo
P5	Escavado (Cacimba)		3,28	0,40	0,37	Ativo
P6	Escavado (Cacimba)		3,20	0,41	1,14	Ativo
P7	Escavado (Cacimba)		3,21	0,57	1,10	Ativo
P8	Escavado (Cacimba)		2,60	0,37	1,10	Ativo
P9	Escavado (Cacimba)		2,18	0,26	0,89	Ativo
P10	Escavado (Cacimba)		4,10	0,50	1,10	Ativo
P11	Escavado (Cacimba)		2,92	0,62	1,10	Ativo
P12	Escavado (Cacimba)		1,34	0,00	0,75	Ativo
P13	Escavado (Cacimba)		2,63	0,34	1,41	Ativo
P14	Escavado (Cacimba)		3,00	0,48	1,10	Ativo
P15	Escavado (Cacimba)		1,74	0,46	1,02	Ativo
P16	Tubular	52,00	12,00	0,00	15,24	Ativo
P17	Tubular	40,00	22,00	0,00	15,24	Ativo
P18	Tubular	43,00	18,00	0,00	15,24	Ativo
P19	Tubular					Ativo
P20	Escavado (Cacimba/anel)	3,00	1,60	0,64	1,11	Ativo
P21	Cacimba (anel)	3	2,43	0,40	0,68	Ativo
P22	Cacimba (anel)		2,40	0,18	1,46	Ativo
P23	Cacimba (anel)	4	2,84	0,40	1,04	Ativo
P24	Poço Profundo		11,00	0,68	1,65	Inativo
P25	Cacimba (anel)	14,29	13,00	0,55	1,71	Inativo
P26	Cacimba (anel)		14,40	0,05	1,80	Inativo

Fonte: Raquel Morais Silva, 2019.

APÊNDICE C - CADASTRO DE POÇOS DA COMUNIDADE DE XAVIER E SEU ENTORNO – PARTE III

Ordem	Uso da água	Idade do Poço	Revestimento	Tipo de bomba	Fonte de Poluição
P1	Consumo humano		Tijolo	Não tem	Fossa
P2	Consumo humano		Aneis	Não tem	Fossa
P3	Consumo humano	5 anos	Aneis	Submersa	Fossa
P4	Consumo humano	20 anos	Aneis	Não tem	Fossa
P5	Consumo humano		Aneis	Submersa	Fossa
P6	Consumo humano	5 meses	Aneis	Submersa	Fossa
P7	Consumo humano		Aneis	Não tem	Fossa
P8	Consumo humano		Aneis	Não tem	Fossa
P9	Consumo humano		Aneis	Não tem	Fossa
P10	Consumo humano		Aneis	Não tem	Fossa
P11	Consumo humano	3 anos	Aneis	Não tem	Fossa
P12	Consumo humano		Aneis	Não tem	Fossa
P13	Consumo humano	2 anos	Tijolo	Submersa	Fossa
P14	Consumo humano	30 anos	Aneis	Submersa	Fossa
P15	Consumo humano		Aneis	Submersa	Fossa
P16	Consumo humano		PVC	Submersa	Fossa
P17	Consumo humano		PVC	Submersa	Fossa
P18	Consumo humano		PVC	Submersa	Fossa
P19	Consumo humano		PVC	Submersa	Fossa
P20	Consumo humano	1 ano	6 aneis	Submersa	Fossa
P21	Consumo humano	5 anos	6 aneis	Submersa	Fossa
P22	Consumo humano	2 anos	3 anos	Submersa	Fossa
P23	Consumo humano	5 anos	8 aneis	Submersa	Fossa
P24	Não tem uso	8 anos	Cavado	Não tem	Fossa
P25	Não tem uso	8 anos	Cavado/5 aneis	Não tem	Fossa
P26	Não tem uso	20 anos	Cavado	Não tem	Não tem

Fonte: Raquel Morais Silva, 2019.