



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS COCAL
CURSO TECNOLOGIA EM AGROECOLOGIA

GEOREFERENCIAMENTO E ANÁLISE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DAS
NASCENTES DO RIO PIRANGI, USANDO FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS
MULTIVARIADAS

BRENO ERIQUE ALMEIDA DE BRITO

COCAL – PI

2023

BRENO ERIQUE ALMEIDA DE BRITO

GEOREFERENCIAMENTO E ANÁLISE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DAS
NASCENTES DO RIO PIRANGI, USANDO FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS
MULTIVARIADAS

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Tecnologia em
Agroecologia do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Cocal.

Orientador: Prof. Dr. Hernandes de Oliveira
Feitosa

COCAL

2023

Cocal-PI

2023

GEOREFERENCIAMENTO E ANÁLISE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DAS NASCENTES DO RIO PIRANGI, USANDO FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS MULTIVARIADAS

Breno Erique Almeida de Brito¹
Hernandes de Oliveira Feitosa²

RESUMO

O município de Cocal possui muitas nascentes, na qual algumas abastecem rio Pirangi, nesse sentido como muitas pessoas vivem próximas as nascentes ou do rio acabam utilizando a água no seu dia-dia para beber, cozinhar, para realizar suas atividades diárias. Desse modo, o objetivo geral dessa pesquisa é compreender a evolução espacial de atributos físico-químicos de águas subterrâneas das nascentes do rio Pirangi, dando ênfase a qualidade para o consumo humano e agrícola, tendo como ferramenta, técnicas de análise estatística multivariada. A localização e coletas das nascentes foi realizada junto com a Secretária de meio Ambiente da cidade de Cocal, após demarcação dos pontos e coleta de água de dez nascentes as garrafas plásticas com água foram encaminhadas para o Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada, setor Geoquímica Ambiental, do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará para realização das análises físico-química. Em seguida realizado georreferenciamento da área estudada, uso da estatística descritiva e multivariada, índice de qualidade de água a fim de ter uma compreensão dos dados e variabilidade. Os resultados demonstram que a maioria das nascentes apresentam vulnerabilidade, afetando o índice de qualidade da água, e a variabilidade espacial dos elementos e suas correlações são explicados pela técnica multivariada. As técnicas de tratamento estatístico multivariado nos permitiram a compreender o estado atual da qualidade da água para o consumo humano, bem como identificar os fatores que influenciam na química das águas das nascentes na área estudada.

¹Graduando no curso de Tecnologia em Agroecologia. Instituto Federal do Piauí, Campus Cocal. brenoerique0@gmail.com.

²Dr. Engenharia Agrícola. Instituto Federal do Piauí, Campus Cocal. hernandes.feitosa@ifpi.edu.br.

Palavras-chave: Georreferenciamento; Nascentes; Rio Pirangi; Técnica multivariada.

ABSTRACT

The municipality of Cocal has many springs, some of which supply the Pirangi River, in this sense, as many people live near the springs or the river, they end up using the water in their daily lives to drink, cook and carry out their daily activities. Thus, the general objective of this research is to understand the spatial evolution of physical-chemical attributes of groundwater from the sources of the Pirangi River, emphasizing quality for human and agricultural consumption, using multivariate statistical analysis techniques as a tool. The location and collection of the springs was carried out together with the Environment Secretary of the city of Cocal, after demarcating the points and collecting water from ten springs, the plastic bottles with water were sent to the Laboratory of Marine and Applied Geology, Environmental Geochemistry sector, from the Department of Geology at the Federal University of Ceará to carry out the physical-chemical analyses. Then, georeferencing of the studied area was carried out, use of descriptive and multivariate statistics, water quality index in order to have an understanding of the data and variability. The results demonstrate that most of the springs are vulnerable, affecting the water quality index, and the spatial variability of the elements and their correlations are explained by the multivariate technique. The multivariate statistical treatment techniques allowed us to understand the current state of water quality for human consumption, as well as to identify the factors that influence the chemistry of the spring waters in the studied area.

Keywords: Georeferencing; Springs; Pirangi River; Multivariate technique.

Aprovado em: 14/07/2023

1 INTRODUÇÃO

A qualidade da água é um dos maiores desafios em todo mundo e, nesse sentido, ela tem um grande impacto na produção doméstica e agrícola e no padrão de vida dos seres humanos. O consumo de água contaminada leva a muitos problemas relacionados à saúde, por isso, a água subterrânea exige atenção especial, pois serve como o principal recurso para atender às necessidades globais de água potável.

A água é de fundamental relevância para toda diversidade biológica, sendo considerada um recurso indispensável aos seres vivos. Portanto, a sociedade tem deteriorado esse recurso de tal maneira que já não se pode consumi-lo em seu perfeito estado natural. Historicamente, é de conhecimento de todos que desde a colonização do Brasil a ocupação do território vem acontecendo de maneira predatória. (ANDREOLI et al, 2019).

BARBOSA (2015) traz que a qualidade das águas naturais é representada por um conjunto de características, normalmente mensuráveis, de natureza química, física e biológica. Sendo um recurso comum a todos, é preciso, para a proteção dos corpos d'água colocar restrições legais de uso. Portanto, as características físicas e químicas da água devem ser mantidas e para são propostos valores orientadores da qualidade de água e dos sedimentos, especificados no Brasil pelas Resoluções Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA nº 357/2005.

Assim, a exploração desordenada desse recurso vem causando inúmeros danos ambientais, principalmente em áreas de recarga de nascentes, acarretando alterações na qualidade e na quantidade de água drenada. Como resultado, a água potável de fácil acesso será um dos principais obstáculos a serem superados pela população mundial nas próximas décadas. Para que se tenha o uso sustentável da água é necessário entender como acontece os processos que promovem a recarga subterrânea e os fatores que influenciam para uma melhor gestão desse recurso. (OLIVEIRA, 2020).

É notório por todos que a destruição das matas ciliares e a prática do desmatamento com grande vigor para a expansão da agricultura e urbanização sem nenhum planejamento, sem os devidos cuidados de proteção ao solo, aliadas ao uso de insumos químicos em larga escala, entre outros fatores, vêm crescendo a degradação dos recursos hídricos, diminuindo assim, a qualidade e quantidade da água nas bacias hidrográficas (MARTINS et al, 2020).

Nesse sentido MARTELLI (2019) relata que se torna essencial para melhor proteção das nascentes a fiscalização eficiente e práticas de educação ambiental para a recuperação e ampliação da métodos que possam buscar o equilíbrio do meio ambiente com ênfase em curso d'água e nascentes. No qual áreas de preservação permanente e matas ciliares tem a função ambiental de manter a estabilidade geológica e da biodiversidade; protege o solo e assegura a qualidade de vida das populações e conserva os recursos hídricos, como as nascentes e córregos (VESSONI, 2019).

Com o intuito de melhor proteção as nascentes a lei de Nº 12615 conhecida como novo código florestal declara que as nascentes deverão estarem estão localizadas em área de preservação permanente tem que ter um raio de 50 metros ao seu redor, sem atividade exploratória, produção, construção que possam ser construídas próximas as nascentes (BRASIL, 2012).

A cidade de Cocal dispõe de várias nascentes que a partir delas são abastecidos lagos, riachos e o rio Pirangi, no qual algumas comunidades que ficam próximas ao rio e das nascentes acabam utilizando para beber, cozinhar, banhar, sedentação animal, uso na agricultura. Assim, surge como hipóteses saber se as águas das nascentes do rio Pirangi apresentam boas características química, física, biológica ou não, além, do estado de conservação das mesmas.

Esse conhecimento é importante, pois a água subterrânea possui um processo mais tardio comparado a água superficial, porém, mais bem distribuída no seu espaço temporal. E,

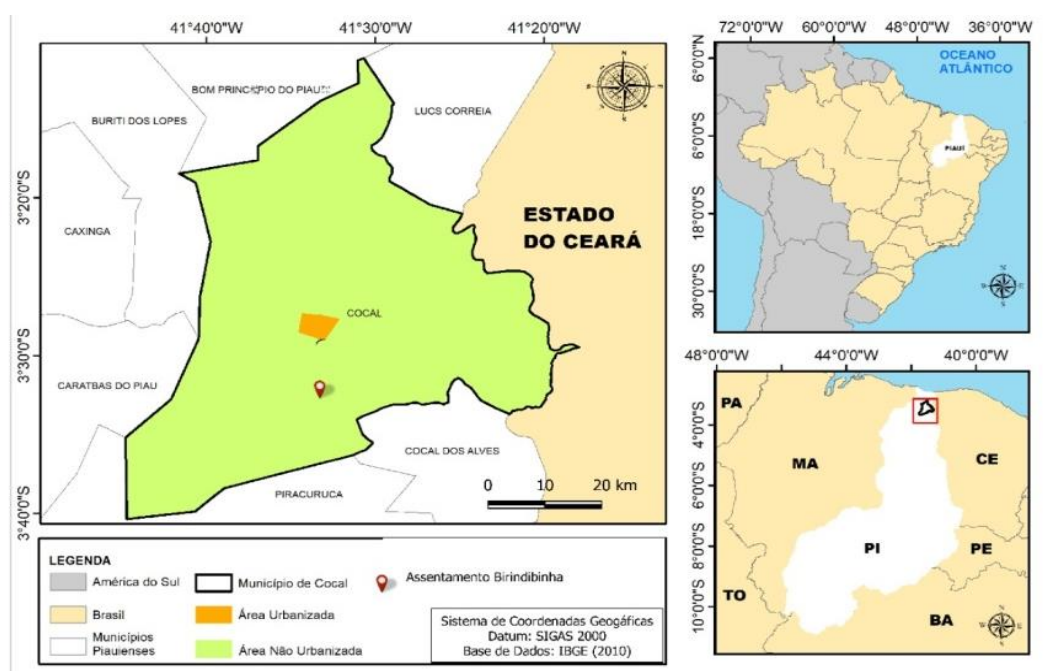
chegando aos aquíferos, as águas são gradativamente redistribuídas a superfície por fluxos subterrâneo, atingindo em sua exfiltração. Muitos desses fluxos não interrompem nem mesmo em estiagens prolongadas, tendo em vista que são alimentadas pelas águas armazenadas nos aquíferos. Já no período de baixa precipitação pluviométrica a exfiltração pode ser mantida originando os rios perenes.

O objetivo geral dessa pesquisa é compreender a evolução espacial de atributos físico-químicos de águas subterrâneas das nascentes do rio Pirangi, dando ênfase a qualidade para o consumo humano e agrícola, tendo como ferramenta, técnicas de análise estatística multivariada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no período de Janeiro a Junho de 2023 no município de Cocal – PI, localizado na microrregião do Litoral Piauiense (Figura 1), tendo como limites ao norte os municípios de Luís Correia e Bom Princípio do Piauí, ao sul Piracuruca e Cocal dos Alves, a leste Cocal dos Alves e a Região em litígio Piauí-Ceará, e a oeste Bom Princípio do Piauí, Buriti dos Lopes e Caraúbas do Piauí. A sede municipal tem as coordenadas geográficas de 03° 28' 15" de latitude sul e 41° 33' 18" de longitude oeste de Greenwich e distância de 268 km de Teresina (AQUIAR, GOMES, 2004).

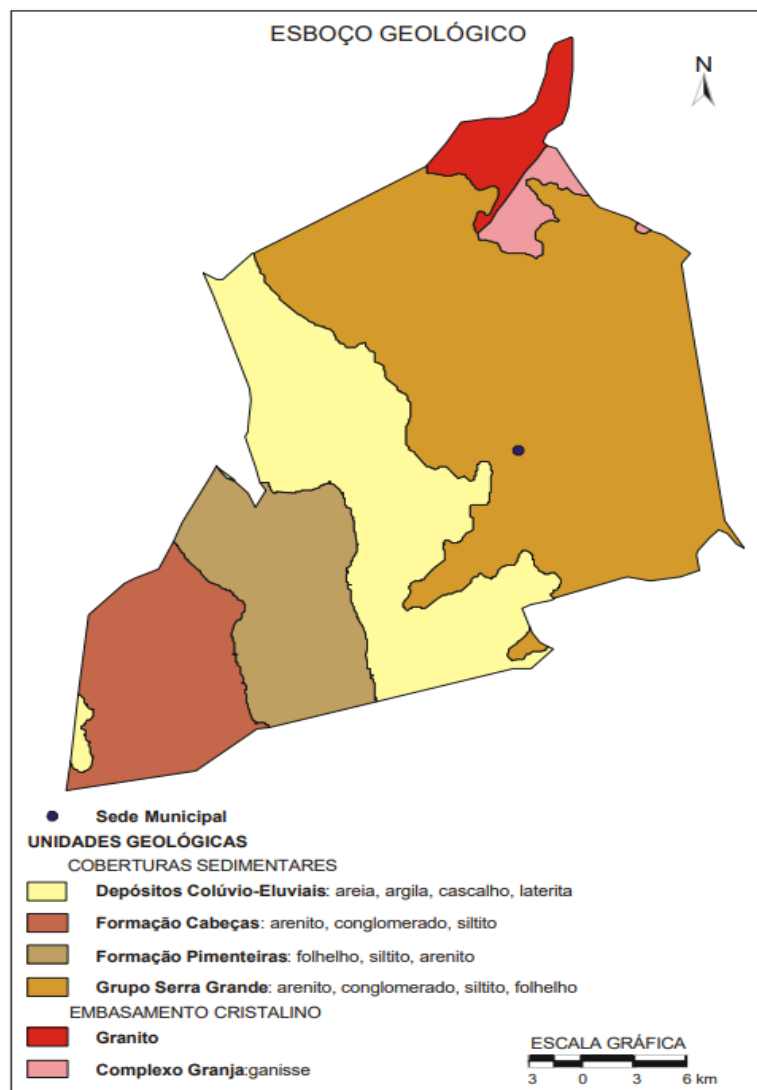
Figura 1 – Mapa da localização da área do município de Cocal -PI



Fonte: LIMA, 2019

A Figura 2 mostra que em cerca de 95% da área do município estão distribuídas com litologias pertencentes às coberturas sedimentares relacionadas a seguir. Os Depósitos Colúvio Eluviais reúnem areia, argila, cascalho e laterito. O Grupo Barreiras está representado por arenito, conglomerado e argilito. A Formação Cabeças engloba arenito, conglomerado e siltito. A Formação Pimenteiras é constituída de arenito, siltito e folhelho. Repousando no final da sequência encontra-se o denominado Grupo Serra Grande, constando de conglomerado, arenito, intercalações de siltito e folhelho (AQUIAR, GOMES, 2004).

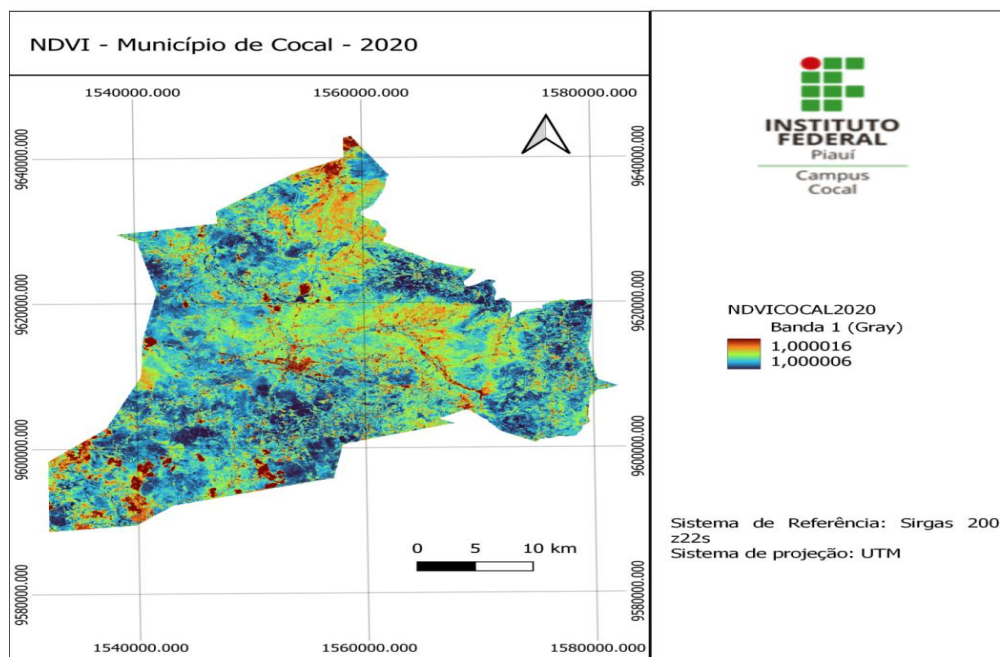
Figura 2 – Esboço geológico do município de Cocal – PI.



Fonte: CPRM, 2004

Na figura 3 demonstra a área que compreende o mapa de uso e ocupação do solo no município de Cocal no ano de 2020, revelando que as áreas tendendo ao vermelho intenso com valores próximo de -1 caracterizada por corpos d'água, perímetro urbano, áreas do setor agropecuário, e valores tendo a 1, como cores azul e verde caracterizando áreas vegetadas e de floresta mais densa. O espaço geográfico representado com valores de NDVI próximo de 1 representam regiões com vegetação estressada ou área degradada pela ação antrópica, enquanto as áreas com NDVI maior que 0,44, são regiões de vegetação em vigor (SANTOS; 2020).

Figura 3 - Carta georreferenciada de NDVI no município de Cocal no ano de 2020.



Fonte: SANTOS, 2020

O rio Pirangi nasce no município de Viçosa no Estado de Ceará e, entra no estado do Piauí pelo município de Cocal passando em seguida pelo município de Buriti dos Lopes, onde finalmente chega à sua foz no rio Parnaíba (Figura 4). Do lado piauiense, percorre intensos 120 km, marcado por cachoeiras, barragem de Algodões, sítios arqueológicos.

Figura 4 – Percurso do rio Pirangi após entrar no estado do Piauí até a foz no Rio Parnaíba.



Fonte: MENEZES; 2020

Para a presente pesquisa foi realizada análise físico-química de amostras de água de 10 nascentes que contribui para recarga do rio Pirangi, sendo uma amostra de água em cada ponto distribuídos no trecho localizado na área de estudo. A metodologia foi realizada em seis etapas: Definição dos pontos de coleta; coleta de amostras de água e demarcação dos pontos; análises laboratoriais; Balanço iônico e Índice de qualidade da água e Análise estatística.

A definição dos pontos foi realizada com o objetivo de que as águas das nascentes analisadas chegassem até o rio Pirangi.

As coletas foram realizadas no período de 25 de março e 18 de abril de 2023. Os pontos de amostragem definidos na etapa anterior foram localizados com auxílio de GPS e, nas coletas foram utilizados recipientes selecionados para armazenar amostras, dependendo do tipo de análise, até sua chegada ao laboratório. Para preservar as amostras, as garrafas plásticas de 500 ml foram lavadas com água corrente e colocadas para secar em temperatura ambiente e manipuladas sempre com a tampa fechada antes de se realizar as coletas e colocadas em um isopor de modo a evitar a contaminação de sua superfície interna, principalmente próximo ao gargalo e à tampa.

As análises físico-químicas das amostras de águas das nascentes foram realizadas no Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada, setor Geoquímica Ambiental, do Departamento de Geologia da UFC. Os procedimentos analíticos estão descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). A Tabela 1 apresenta os métodos usados em cada análise, com os respectivos códigos dos parâmetros analisados.

Tabela 1 – Métodos analíticos aplicados de acordo com APHA (Associação Americana de Saúde Pública) (2012).

Alcalinidade Carbonato	Titulométrico	2320B
Alcalinidade Bicarbonato	Titulométrico	2320B
Alcalinidade Hidróxido	Titulométrico	2320B
Alumínio	Eriocromo Cianina	3500B
Cloreto	Argentométrico	4500B
Dureza Total	Titulométrico com EDTA	2340C
Ferro Total	Fenantrolina	3500B
Amônia	Fenato	4500F
Nitrito	Espectrofotométrico	4500B
Nitrato	Coluna redutora de cádmio	4500E
Oxigenio dissolvido	Oxiômetro	DBO5
Manganês	Titulométrico com EDTA	2340C
Fluorômetro	Eletrodo de Íon Seletivo	4500C
Cálcio	Titulométrico com EDTA	3500B
Condutividade	Medidor multiparâmetros	2510A
pH	Eletrométrico	4500H
Magnésio	Titulométrico com EDTA	2340C
Fósforo	Digestão Ácida	4500 B.
Turbidez	Nefelométrico	2130B
Demanda Bioquímica de Oxigênio	Oxítóp	DBO5
Coliformes Totais	Índice colilert	
Escherichia Coli	Índice colilert	

Fonte: Adaptado pelo autor de APHA, 2012.

Os resultados foram comparados aos padrões estabelecidos pela *STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER*, Portaria GM/MS, Nº 888 de 24 de maio de 2021 e Resolução CONAMA 357/05 em seu artigo 15, o qual classifica os cursos d'água doce para usos múltiplos como: i) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, ii) proteção das comunidades aquáticas, iii) recreação de contato primário, iv) irrigação de hortaliças e outros com os quais o público possa vir a ter contato direto, e v) aquicultura e atividade de pesca.

Após obtenção dos dados laboratoriais foi realizada uma estatística descritiva a fim de ter uma compreensão dos dados e variabilidade. Como também o índice de qualidade de água (IQA), na qual constitui em agregar as notas dos diferentes parâmetros utilizando um modelo multiplicativo, semelhante ao empregado pelo Índice de Qualidade da Água proposto pela Companhia Ambiental de São Paulo (IQA – CETESB), baseado no produtório das notas (q_i), elevado ao peso atribuído a cada parâmetro (w_i), conforme a equação abaixo:

$$IQASUR = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Sendo:

IQASUR = Índice de qualidade de água subterrânea para uso rural;

qi = Nota de qualidade do parâmetro i;

wi = peso atribuído ao parâmetro;

n = número de parâmetros;

A ponderação dos parâmetros componentes do IQASUR resulta em um valor que varia entre 0 e 100, que corresponde aos níveis de qualidade. Tendo em vista que em geral está água é consumida sem nenhum tipo de tratamento, buscou-se elaborar uma escala mais rigorosa (comparado ao IQA) em relação aos níveis de qualidade (Tabela 2).

Tabela 2 - Escala do IQASUR, com os diferentes níveis de qualidade e escala de cores para facilitar a identificação cartográfica. Elaborado pelo autor, (2023).

Nível de qualidade da água	IQASUR
Excelente	90 < IQA ≤ 100
Bom	70 < IQA ≤ 90
Médio	50 < IQA ≤ 70
Ruim	25 < IQA ≤ 50
Muito Ruim	0 < IQA ≤ 25

As técnicas estatísticas multivariadas são amplamente utilizadas, pois são muito úteis para desenvolver uma compreensão dos processos geogênicos e antropogênicos responsáveis por diferentes problemas ambientais. Certas técnicas analíticas multivariadas, como matriz de correlação de Pearson, análise de componentes principais (PCA) foram adotadas por muitos pesquisadores (AHADA; SUTHAR, 2017), para obter informações profundas através de seus métodos analíticos imparciais.

Uma matriz de correlação foi construída para entender a relação dentro dos parâmetros físico-químicos. A correlação entre os parâmetros físico-químicos das variáveis de qualidade da água permite compreender os principais processos hidrogeoquímicos. O valor de R>0,7 indica uma correlação forte e significativa, enquanto o valor de R entre 0,5 e 0,7 indica uma correlação moderada entre os parâmetros.

As análises foram determinadas com o auxílio Excel e do programa R versão 5.0, tanto para o PCA como para a análise de correlação linear entre os pares de variáveis. Antes dos dados serem processados, foi realizada uma padronização dos dados - devido às diferentes escalas - uma vez que as dimensões usadas para computar distância entre objetos devem ser de magnitudes semelhantes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As avaliações hidrogeoquímicas juntamente com a modelagem geoquímica são as ferramentas mais eficazes para determinar a composição química da água e entender suas interações com os minerais do aquífero. Nesse sentido, conhecer a localização e altitude do

local é extremamente importante para entender a dinâmica do processo geoquímico da água. Isso está representado na tabela 3 e figura 5.

Na Tabela 3 encontram-se as coordenadas geográficas e as respectivas localidades dos pontos de amostragem das águas no trecho estudado. Observa-se que os pontos de coleta estão localizados nas comunidades do Franco, Saco São Francisco e Segundo Campo, todas nas proximidades do rio Pirangi. Também se verifica que a maior altitude está na nascente do Saco São Francisco.

Tabela 3 – Localização dos pontos amostrados (P: ponto de coleta nas nascentes. Elaborado pelo autor, (2023).

Ponto de amostragem	Localidade	Coord UTM S	Coord UTM E	Altitude (m)
P1	Franco	9613230,02	229519,99	221
P2	Franco	9613324,99	229514,03	207
P3	Franco	9613413,03	229514,03	202
P4	Franco	9613813,83	229037,09	197
P5	Franco	9613813,85	229040,10	202
P6	Franco	9613745,86	228928,81	202
P7	Franco	9713816,29	229065,15	195
P8	Gemeleira dos docas	9614605,61	227844,02	242
P9	Saco São Francisco	9626271,85	225959,66	316
P10	Segundo Campo	9616911,69	222261,92	182

A Figura 5 mostra os pontos de coleta em imagem de satélite da área de estudo. Ela auxiliará no entendimento das condições de uso e ocupação do solo nas proximidades de onde foram amostradas as águas das nascentes. Os marcadores amarelos representam os pontos de coleta no trecho analisado do rio Pirangi e suas respectivas numerações correspondentes.

Figura 5– Georreferenciamento das nascentes estudadas ao longo do rio Pirangi, Cocal, PI. Elaborado pelo autor, (2023).



Esses tipos de investigações são necessários para avaliar as fontes de contaminação e a qualidade da água para explorar sua adequação para diferentes usos (PAI KARAY; CHANDER, 2022; SATHEESKUMAR et al., 2021). Assim, é necessário entender os mecanismos que afetam a qualidade das águas subterrâneas para gerenciar sua sustentabilidade.

A Figura 6 apresenta um maior detalhamento das condições ambientais das nascentes analisadas na presente pesquisa. Observa-se que em todas as nascentes estudadas suas condições de conservação estão bastante afetadas com áreas desmatadas no seu entorno e, além disso percebe-se o avanço de moradias praticamente em todas as nascentes, com exceção da nascente localizada no Saco São Francisco. Isso contribui para a vulnerabilidade das nascentes diminuindo o nível de conservação das mesmas.

Figura 6 – Detalhamento das condições ambientais no entorno das nascentes estudadas. Elaborado pelo autor, (2023).



A Tabela 4 apresenta o resultado das análises físico-químicas dos 20 parâmetros avaliados, das 10 nascentes, sendo realizado uma coleta por cada nascente. Observa-se que em todos os pontos analisados apresenta ausência de coliformes totais e de *Escherichia coli*, Hidróxido, alumínio, amônia e flúor. Verifica-se ainda que na nascente 3 e 8 apresentaram valores de nitrato de 12,8 e 10,3 mg L⁻¹, respectivamente, e segundo a resolução n° 357 do CONAMA, o limite deverá ser de 10 mg L⁻¹. Observa-se ainda que no ponto de coleta 9 (Nascente da comunidade Saco São Francisco) apresenta um pH de 7,74 (básico).

Os valores mínimos e máximos de CE nas amostras de teste variaram de 446 a 5257 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O limite permitido de CE na água potável é de 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ com um valor médio de 1938 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O maior valor de condutividade elétrica em amostras de água pode ser devido à presença de ácidos inorgânicos, bases e sais.

Geralmente, atividades antrópicas como atividades agrícolas, descarga de esgoto e efluentes industriais contribuem para a concentração de nitrato nas águas subterrâneas (CGWB 2013; OMS 2011a, 2011b), mas aqui o sistema de drenagem inadequado do solo, pelo desmatamento no entorno das nascentes e presença de animais podem ser responsáveis por NO_3 contaminação em lençóis freáticos.

De acordo com o mapa geológico do município o solo do entorno do rio e em suas áreas adjacentes onde se localiza as nascentes apresenta-se com materiais como calcário, folhelhos com quartzitos, conglomerados, arenitos, granitos e gnaisses graníticos estão entre as formações litológicas pré-cambrianas a quaternárias que dominam esta área.

Assim, no sistema hidrogeológico, as águas subterrâneas geralmente ocorrem em horizontes articulados, fraturados e alterados de ambientes não confinados a semiconfinados e recebem a maior parte de seu reabastecimento da precipitação, causando impacto na disponibilidade e fluxo de água subterrânea da região (CGWB 2013; MISHRA et al. 2013).

A estatística descritiva dos teores e medidas dos parâmetros que apresentaram valores diferentes de zero, dos atributos físico-químicos analisados para esse trabalho pode ser conferida na Tabela 5. Analisando a mesma, observa-se que as maiores variações estatísticas estão nos parâmetros como: Bicarbonato (151,18%), ferro (191,21%), Nitrito (221,31%), nitrato (107,23%), manganês (129,09%), demonstrando que esses parâmetros apresentam alta variabilidade entre os valores mínimos e máximos. Já os parâmetros: pH (17,34%), Fósforo (38,42%), cálcio (37,17%) e dureza total (37,01) obtiveram menores variações, demonstrando menores variabilidades entre os valores máximos e mínimos.

Os bicarbonatos e, em menor extensão, os carbonatos, que são menos solúveis, desfazem na água devido à sua passagem pelo solo. Se este solo for rico em calcário, o gás carbônico da água o solubiliza, transformando-o em bicarbonato. Os carbonatos e hidróxidos podem aparecer em águas onde ocorrem florações de algas (eutrofizadas), sendo que em período de muita insolação o saldo da fotossíntese em relação à respiração é grande e a retirada de gás carbônico provoca elevação de pH para valores que chegam a atingir 10 unidades.

Para MOYEL e HUSSAIN (2016), o OD é essencial para a vida aquática, uma vez que é necessário para manter os organismos vivos. Entretanto, os autores observaram uma diminuição nas concentrações desse parâmetro em estações a jusante, que atribuem a um possível consumo elevado de microrganismos para mineralizar a matéria orgânica dissolvida, bem como à liberação de escoamento urbano e agrícola.

Para CARVALHO et al. (2016) e MOYEL e HUSSAIN (2016), a DBO está relacionada à quantidade de oxigênio que é usada por micro-organismos na oxidação de substâncias orgânicas biodegradáveis. Dessa forma, quando analisados os pontos que estiveram acima do permitido pela legislação, identifica-se que algumas amostras apresentaram contaminação por matéria orgânica biodegradável, entretanto, para Ramos et al. (2016), altos valores de DBO estão relacionados com áreas densamente povoadas e que recebem altas cargas de matéria orgânica e inorgânica. Também podem estar relacionados ao fato da alteração geológica/urbana decorrentes do rompimento da barragem de algodões, uma vez que em alguns pontos isso pode ter afetado alguns destas nascentes permanentemente.

Tabela 5 - Estatística descritiva das concentrações e medidas dos atributos físico-químicos analisados para 10 amostras. Elaborado pelo autor, (2023).

Estatística Descritiva					
Parâmetros	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	CV%
Alc. Carbonato (mg/L)	8,6	6	13	2,37	27,52
Alc. Bicarbonato (mg/L)	0,05	0	0,2	0,0755	151,18
Cloreto (mg/L)	18,6	8	29	7,50	40,32
Dureza Total (mg/L)	16,2	8	26	16,2	37,01
Ferro (mg/L)	0,276	0	1,5	0,52	191,21
N. Nitrito (mg/L)	0,028	0	0,18	0,062	221,31
N. Nitrato (mg/L)	4,32	1	12,8	4,63	107,23
Oxig. Consumido (mg/L)	0,802	0,1	2	0,64	79,86
Manganês (mg/L)	0,008	0	0,03	0,01	129,09
Cálcio (mg/L)	1,01	0,3	1,4	0,37	37,17
CE (ds/m)	0,265	0,09	0,77	0,200	75,58
Magnésio (mg/L)	1,49	0,3	2,4	0,67	45,23
pH	5,78	4,25	7,74	1,00	17,34
Fósforo (mg/L)	0,023	0,01	0,03	0,009	38,42
Turbidez (UT)	2,72	1,2	5,3	1,40	51,63
DBO (mg/L)	1,15	0,3	3,1	0,74	64,32

Um dos fatores que interfere na qualidade da água é a dureza, decorrente do cálcio associado ao bicarbonato (HCO_3^-), o qual se transforma em carbonato de cálcio (pouco solúvel), por aquecimento ou elevação do pH (PÁDUA, 2001). As águas subterrâneas, geralmente, são ricas em ferro em diferentes formas químicas, cujas concentrações relativas dependem do grau de oxidação que o meio circundante se encontra. Formas oxidadas (féricas) são menos solúveis e mais frequentes em águas oxigenadas, formando locais que amarelam a água. Em águas com falta de oxigênio as formas reduzidas (ferrosas) são mais altas que as féricas e são predominantemente solúveis e menos aparentes na água, sendo essa a forma metabolizada e mais absorvida pela maioria dos organismos (SIQUEIRA, ALMEIDA, ARRUDA, 2006). Isso também foi observado variabilidade na aparência da cor da água nas nascentes.

O nitrato das águas subterrâneas é originado principalmente da aplicação de fertilizantes nitrogenados, tanto inorgânicos, como proveniente de esterco animal, deposição atmosférica, esgoto doméstico, bem como lixiviação de áreas agrícolas e lixões (FRANCA, 2006). Na nascente 8, o alto valor do nitrato tem intrínseca relação com o acesso de suínos a nascentes e no decorrer do córrego, principalmente com dejetos de animais próximos a nascente.

O nitrato é predominante em aquíferos rasos e atinge facilmente as águas subterrâneas a partir da superfície devido à sua alta solubilidade em água (ADI MALLA e QIAN 2021). O nitrato é, portanto, em grande parte de natureza antropogênica e principalmente proveniente de agroquímicos, despejo a céu aberto, resíduos domésticos, animais e manufaturados (DUVVA et al. 2022; PANNEERSELVAM et al. 2022).

Na Tabela 6 mostra que em ambos as nascentes o IQASUR pouco variou no período analisado. As nascentes (N2 e N3) apresentaram uma classificação ruim com IQASUR (47 e 49) respectivamente. As demais nascentes apresentaram o IQASUR médio demonstrando uma evolução espacial desse índice pouco estável. Essas duas nascentes com classificação ruim

concidentemente foram as que apresentaram maior estado de vulnerabilidade por não ser cercada, receber água superficial, trânsito de animais.

Tabela 6 – Índice de qualidade da água das nascentes estudadas do rio Pirangi, Cocal, PI. Elaborado pelo autor, (2023).

Ponto de amostragem	Localidade	IQASUR	Classificação
N1	Franco	51	Médio
N2	Franco	47	Ruim
N3	Franco	49	Ruim
N4	Franco	53	Médio
N5	Franco	64	Médio
N6	Franco	60	Médio
N7	Franco	61	Médio
N8	Gameleira dos docas	51	Médio
N9	Saco São Francisco	58	Médio
N10	Segundo Campo	53	Médio

Os métodos de determinação do IQA refletem com precisão as variações espaciais e temporais da qualidade da água. Dessa forma, um método de avaliação de qualidade da água deve ser amplamente utilizado na gestão ambiental, devendo ser de fácil domínio, cálculo e interpretação. Essa medida de um único valor é amplamente adotada por departamentos de proteção ambiental (LI; ZOU; AN, 2016).

GELTING e BALOCH (2013) observam que além das variáveis escolhidas para o monitoramento das análises, também é necessário realizar uma avaliação ambiental num conjunto de atividades, de modo que vise a qualidade da água, a microbiologia, a segurança alimentar, a saúde ambiental, a irrigação, o manejo e a gestão das bacias hidrográficas. Desta forma, o monitoramento das águas permite uma visão holística e multidisciplinar.

A garantia da água de qualidade é um dos desafios mais difíceis encontrados pelos gestores dos recursos hídricos, uma vez que existe dificuldade em garantir água sem contaminação nas fontes próximas aos grandes centros urbanos. O Índice de Qualidade da Água (IQA) é uma ferramenta que apresenta de forma clara as condições acerca de um corpo hídrico em forma de ranking, sendo essencial para que se possam tomar medidas preventivas pontuais ou generalizadas (FERNANDES; SCALIZE, 2015).

A matriz de correlação permitiu identificar a associação entre as variáveis estudadas, mostrando uma visão geral dos dados, como também apontando as variáveis de maior significância para o estudo. A correlação entre as 16 variáveis utilizadas para definir a qualidade de água das nascentes estudadas do rio Pirangi, é mostrada na Tabela 7. Adotando-se um nível de significância de 5%, temos que dos 16 pares de dados entre as variáveis, de acordo com o Coeficiente de Pearson, somente aqueles com correlações, em módulo, iguais ou superiores a $r = 0,50$ são significantes (TRIOLA, 1999).

Tabela 7 - Matriz de correlação das variáveis de qualidade de água das Nascentes do Rio Pirangi no município de Cocal - PI. Elaborado pelo autor (2023).

Variável	AC	AB	Cl	DT	Fe	Nitrito	Nitrato	Oxi. Cons.	Mg	Ca	CE	Mn	pH	P	Turbidez	DBO
AC	1,000															
AB	-0,363	1,000														
Cl	0,234	0,013	1,000													
DT	0,390	-0,392	-0,119	1,000												
Fe	-0,183	0,475	0,679*	-0,382	1,000											
Nitrito	0,039	-0,287	-0,399	0,569	-0,256	1,000										
Nitrato	0,166	-0,443	-0,342	0,872**	-0,393	0,601	1,000									
Oxi. Cons.	0,269	-0,473	-0,149	0,528	-0,289	0,010	0,516	1,000								
Mg	0,327	0,431	-0,055	-0,405	0,119	-0,389	-0,505	0,048	1,000							
Ca	0,055	0,449	0,029	0,053	0,325	0,139	-0,175	0,223	0,579	1,000						
CE	-0,302	0,849**	-0,204	-0,172	0,050	-0,224	-0,243	-0,346	0,365	0,335	1,000					
Mn	-0,093	0,740*	0,263	-0,230	0,557	-0,381	-0,297	-0,150	0,396	0,444	0,692*	1,000				
pH	0,103	-0,286	0,279	-0,474	-0,172	-0,540	-0,549	-0,225	0,052	-0,489	-0,314	-0,455	1,000			
P	0,249	0,350	-0,060	0,156	-0,236	-0,068	-0,017	-0,117	0,401	0,266	0,710*	0,459	-0,208	1,000		
Turbidez	-0,278	0,511	0,288	-0,345	0,795**	-0,188	-0,201	-0,140	0,164	0,311	0,263	0,788**	-0,510	-0,048	1,000	
DBO	0,279	-0,258	0,080	0,779**	-0,192	-0,010	0,701*	0,730*	-0,247	-0,006	-0,105	-0,035	-0,276	0,076	-0,181	1,000

Consideraram-se uma forte correlação entre: Fe e Cl ($r=0,67$), DT e NO_3 ($r=0,87$), CE e HCO_3^- ($r=0,84$), HCO_3^- e Mn ($r=0,74$), Mn e CE ($r=0,69$), P e CE ($r=0,71$), Mn e Turbidez ($r=0,78$), DBO e DT ($r=0,77$), DBO e NO_3 ($r=0,70$) e DBO e Oxig. Consumido ($r=0,73$).

A variabilidade desses valores nas amostras é devido a vários tipos de minerais e matéria orgânica dissolvidos na água. Vários sais, por exemplo, sódio, potássio, cálcio, magnésio, bicarbonatos, carbonatos, cloretos, matéria orgânica, fosfato e outras partículas podem ser dissolvidos na água, culminando nessa correlação. Esses parâmetros afetam a osmorregulação dos orgânicos de água doce devido ao aumento da densidade da água (KUMAR, 2017; SALEEM et al., 2018).

Para Jacinto Junior e Barbosa (2016), a quantidade de turbidez estabelecida nas amostras está diretamente ligada à matéria sólida em suspensão na água, seja de origem orgânica ou inorgânica. Nesse caso, em algumas coletas as quantidades de sólidos nas amostras encontradas aumentaram a turbidez. MOYEL e HUSSAIN (2016) afirmam que altas concentrações de turbidez estimulam o crescimento de fitoplâncton e macrófitas quando a penetração da luz dentro da coluna d'água é restrita.

Além disso, é possível acreditar que a aplicação de fertilizantes nos campos agrícolas pode fazer com que o escoamento agrícola vaze pelo solo e contamine as águas subterrâneas. A relação inversa entre pH e HCO_3^- na tabela acima onde apresentaram correlação negativa isso pode ser devido à dissolução do HCO_3^- que pode aumentar a alcalinidade, produzindo carga negativa para o pH (AVTAR et al. 2013).

Essas fortes correlações indicam que a química dos íons principais nas amostras de água subterrânea é influenciada pela dissolução de materiais aquíferos, interações rocha-água e infiltração de águas residuais domésticas (SNOUSY et al. 2022). Isso também fica evidente até na correlação negativa entre NO_3^- com o pH, o que também é relatado em STYLIANOUDAKI et al. (2022).

Uma etapa seguinte para análise dos dados foi estabelecida a análise de PCA com a finalidade de reduzir o número de variáveis em fatores independentes. Um resultado composto por dois componentes, que são possíveis de explicação de 79,89% da variância dos dados originais, conforme na Tabela 8.

Tabela 8 - Matriz de peso fatorial das variáveis da qualidade de água nos dois componentes principais selecionados. Elaborado pelo autor (2023).

Atributos	CP1	CP2
Alcalinidade Bicarbonato	0,50	0,27
Manganês	0,48	0,43
Dureza Total	-0,46	0,48
Demanda Bioquímica de Oxigênio	-0,36	0,63
Ferro	0,48	0,22
Autovalor	5,80	3,65
% variância explicada	58,34	21,55
% variância acumulada	58,34	79,89

CP – Componente principal

A primeira componente (CP-1) explica 58,34% da variabilidade dos dados e está associada como fator de qualidade de conservação da nascente, pois o íon bicarbonato não se oxida nem se reduz em águas naturais, porém pode precipitar com muita facilidade como

carbonato de cálcio (CaCO_3). Quando sua concentração é inferior a $91,5 \text{ mg L}^{-1}$, é benéfico aos vegetais, principalmente na forma de bicarbonato de cálcio $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Isso são fatos pelos pesos maiores nas variáveis Bicarbonato (0,50), dureza total (-0,46) e ferro (0,48). A dureza de uma água se refere à quantidade de bicarbonatos, carbonatos, sulfatos ou cloretos de cálcio e magnésio dissolvidos nela. Ou seja, quanto maior a quantidade desses sais dissolvidos na água, mais dura ela é considerada.

A segunda componente (CP-2) explica 21,55% da variabilidade dos dados, e essa componente foi associada à carga orgânica que o ecossistema está sujeito, observado pelos pesos obtidos nas variáveis DBO (0,63), Dureza Total (0,48) e Mn (0,48), mostrando assim o impacto ocasionado ao corpo hídrico pelo aporte de matéria orgânica que provoca uma depleção significativa do oxigênio dissolvido da água, podendo trazer sérios problemas ambientais.

Com base em níveis de carregamento absolutos de 58,34% e 21,55% respectivamente, Principal Cargas de componentes (PC) podem ser caracterizadas como fortes, moderado (LIU et al. 2020).

O bicarbonato é derivado principalmente da zona do solo por dióxido de carbono (CO_2), dissolução de carbonatos e minerais de silicatos (TIWARI, 2018). A correlação iônica mostra que HCO_3^- é um dos principais ânions na área de estudo. Seus níveis tendem a aumentar ao longo do tempo devido à decomposição das rochas durante chuvas fortes e movimento das águas subterrâneas (MISHRA et al., 2016).

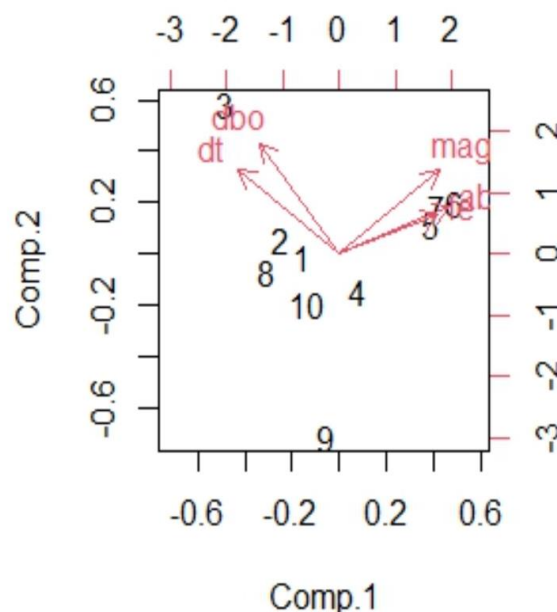
Quando se tem condições de aerobiose os íons ferrosos são oxidados e íons férricos que podem formar hidróxidos que são insolúveis e precipitam, o que ocorre geralmente em condições de pH entre 7 e 8. O manganês também pode ser oxidado a óxido de manganês, sendo que esta transformação geralmente ocorre em valores de pH maiores que 8 (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Isso pode ser explicado pelas altas cargas nos valores do manganês e ferro nas componentes principais.

Segundo CAJAZEIRAS (2007), a qualidade das águas subterrâneas varia vagarosamente em sua condição natural, mas podem apresentar teores elevados de elementos químicos como ferro, manganês, fluoreto, carbonatos, entre outros, dependendo das formações geológicas em que se encontram os aquíferos. A geologia da área de estudo apresenta em seu material primário elemento como os citados acima.

Os Componentes Principais (CP) como técnica capaz de agrupar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de tamanho semelhante, agrupando indivíduos de acordo com a oscilação de suas características. Na figura 7 estão representados os biplots dos loadings e dos scores das duas primeiras componentes principais. É possível observar que os elementos apresentam fatores comuns e a relação é apresentada entre eles e os dados originais, reduzindo as análises físico-químicas e julgando as mais importantes.

O componente 1 explica 58,34% da variância total, na qual as variáveis que apresentaram componentes de carga mais significativos para o componente 1, foram: Bicarbonato, manganês e Ferro. Na componente 2 que explica 21,55 da variabilidade dos dados, mostra que os elementos de maiores scores ou cargas são: DBO e dureza total.

Figura 7 - Representação gráfica (biplot) dos loadings e dos scores das duas primeiras componentes principais, nos dois principais eixos (CP1 e CP2). Elaborado pelo autor (2023).



O estudo de GOMES (2013) avaliou a existência de relação entre a composição química da água subterrânea e as formações geológicas, bem como, identificou o que distinguia cada uma das formações geológicas na cidade de Lisboa.

BARROS; SOUZA (2013), investigando possíveis relações entre a qualidade da água e o uso do solo, verificaram que o uso do solo e o índice de qualidade de água (IQA), contribuem para menores teores de DBO na estação chuvosa, sendo justificado que, devido ao maior fluxo de água nesse período, a capacidade de decomposição de poluentes dos corpos hídricos é favorecida.

Já SILVA (2018) analisando questões física, química e biológica da qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do igarapé, no município de Ji-Paraná-Ro, obteve concentrações de OD e DBO maiores no período seco. Analisando os valores de forma descrente, o valor de DBO é destaque no período seco, seus valores distanciaram com alto grau nas concentrações em relação ao período chuvoso.

O ferro, que normalmente ocorre associado ao manganês, é um elemento refratário e siderófilo muito comum na superfície terrestre e seus maiores valores podem estar relacionados à presença de minerais ferromagnesianos componentes das rochas. Se manifesta sob diversas formas químicas e frequentemente aparece associado ao manganês (PINHEIRO, 2021).

A dureza total de uma água representa a presença de sais de metais alcalino-terrosos (cálcio, magnésio, estrôncio) e de sais de metais pesados (ferro, alumínio e magnésio), notadamente os sais de cálcio e magnésio, que podem causar inconvenientes para o consumidor ou organismos que dependem da água para sua sobrevivência (VAITSMAN, 2001). Um dos fatores que interfere na qualidade da água é a dureza, decorrente do cálcio associado ao bicarbonato (HCO_3^-), o qual se transforma em carbonato de cálcio (pouco solúvel), por aquecimento ou elevação do pH (PÁDUA, 2001).

4 CONCLUSÃO

As técnicas de tratamento estatístico multivariado nos permitiram a compreender o estado atual da qualidade da água para o consumo humano, bem como identificar os fatores que influenciam na química das águas das nascentes na área estudada.

Os resultados da investigação demonstram que as atividades humanas e geológicas juntas contribuíram para a diminuição do índice de qualidade da água subterrânea no entorno do rio Pirangi. Isso fica mais evidente no georreferenciamento das nascentes onde percebe ações antrópicas.

Este estudo pode contribuir significativamente para a compreensão da hidrogeoquímica, processos hidrológicos e geoquímicos que afetam as águas subterrâneas das nascentes do rio Pirangi.

REFERÊNCIAS

- AHADA, C. P. S., & SUTHAR, S. (2017). **Hydrochemistry of groundwater in North Rajasthan, India: chemical and multivariate analysis**. *Environmental Earth Sciences*, 76(5), 203. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-017-6496-x>.
- ANDREOLI, E, Z, O; SILVA, F, L; LÓPEZ, F, M, A; MACHADO, R.; TEODORO, C, C; JÚNIOR, I, B; SANTINO, M, B, C; FUSHITA, A, T; CRESTANA, S. **Importância do planejamento regional para a manutenção dos usos múltiplos da água nas bacias hidrográficas**. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)* Rio de Janeiro, n. 52, pág. 16–27, 2019. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/584 . Acesso em: 31 jan. 2023.
- ADIMALLA, N., QIAN, H. 2021. Assessment of heavy metal (HM) contamination in agricultural soil lands in Northern Telangana, India: An approach of spatial distribution and multivariate statistical analysis. *Environ Monit Assess*, 191–246, 15.
- APHA, (2012) E.W. Rice (Ed.), **Standard methods for the examination of water and wastewater**, Vol. 10, American public health association, Washington, DC.
- AVTAR, R., KUMAR, P., SINGH, CK *et al.* **Avaliação Hidrogeoquímica da Qualidade da Água Subterrânea de Bundelkhand, Índia Usando Abordagem Estatística**. *Water Qual Expo Health* 5 , 105–115 (2013). <https://doi.org/10.1007/s12403-013-0094-2>.
- BARBOSA, I, S. **Análise dos parâmetros físico-químicos e metais presentes nas nascentes do rio meia ponte**. Dissertação (Mestrado Ecologia e Produção Sustentável) área de Mestrado Ecologia e Produção Sustentável, Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2015.
- BARROS, L. R. **O índice do estado trófico e sua adaptação para os sistemas lênticos do semiárido cearense**. 2013. 85 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

BARROS, R. V.; SOUZA, C. A. **Uso do Solo da Sub-bacia do Córrego André e Qualidade da Água em Mirassol D'Oeste-MT.** *Revista de Geografia*, v. 30, n. 1, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228945/23355>. Acesso em 5 de jun/2023.

BRASIL. **Lei Federal nº 4.771, de 15.09.65.** Institui o novo Código Florestal - Já alterada pela Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012 – Lei de Proteção da Vegetação Nativa. Brasília, 2012.

CAJAZEIRAS (2007), CAJAZEIRAS, C, C, A. **Qualidade e uso das águas subterrâneas e a relação com doenças de veiculação hídrica, Região de CRAJUBAR–CE.** Universidade Federal do Ceará. Departamento de Geologia, Fortaleza, 2007.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente.

CARVALHO, A. P.; BALDUINO, A. R.; MACIEL, G. F.; PICANÇO, A. P. **Avaliação da poluição em rios utilizando índices de qualidade da água: um estudo de caso no ribeirão São João em Porto Nacional – TO.** *Geociências*, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 472-484, 2016.

CGWB (Central Ground Water Board) (2013) North central region. **District Groundwater Brochure, Satna District, Madhya Pradesh.**

CPRM. **Mapa Geológico do município de Cocal-PI.** 2004.

DUVVA LK, PANGA KK, DHAKATE R, HIMABINDU V (2022) **Health risk assessment of nitrate and fluoride toxicity in groundwater contamination in the semi-arid area of Medchal, South India.** *Appl Water Sci* 12(1). <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01557-4>.

DI BERNARDO, L e DANTAS, A, D, B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**, 2005, São Carlos. Acesso em: 17 de ju/. 2023.

FRANCA, R. M.; FRISCHKORN, H.; SANTOS, M. R. P; MENDONÇA, L. A. R.; BESERRA, M. C., **Contaminação de poços tubulares em Juazeiro do Norte/CE.** *REVISTA Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v.11, n.1, p. 92-102. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/47wp4TqBLSTXpG34vTgSTTx/abstract/?lang=pt>. Acesso 24 de maio/2023.

FERNANDES, N. C.; SCALIZE, P. S. Comparação entre dois métodos para determinação da qualidade da água tratada. *Ciência & Engenharia*, Uberlândia - MG, v. 24, n. 2, p. 85-39, 2015.

GOMES, V. S. P. S. **Análise estatística multivariada aplicada a dados hidrogeológicos.** Dissertação apresentada ao Departamento de Estatística e Investigação Operacional da Universidade de Lisboa. Lisboa, 2013.

GELTING, R. J.; BALOCH, M. Systems analysis of irrigation water quality in environmental assessments related to foodborne outbreaks. *Aquatic Procedia*, New York, v. 1, p. 130-137, 2013.

JACINTO JÚNIOR, J. J. F.; BARBOSA, E. C. A. **Avaliação da qualidade da água do rio Gramame ao longo do seu percurso no município de João Pessoa – PB.** *Revista Ambiental*, João Pessoa, v. 2, n. 1, p. 97-105, 2016.

KUMAR, A. (2017). **Evaluation of water quality available for direct use and in beverages in Agra (India).** *Journal of Applied Chemistry*, 6(6), 1229–1233. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815272-0.00006-4>.

LI P, WU J, QIAN H (2015) **Hydrochemical appraisal of groundwater quality for drinking and irrigation purposes and the major influencing factors: a case study in and around Hua County China.** *Arab J Geosci*. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2059-1>.

LIU F, WANG S, YEH T-CJ, ZHEN P, WANG L, SHI L (2020) **Using multivariate statistical techniques and geochemical modelling to identify factors controlling the evolution of groundwater chemistry in a typical transitional area between Taihang Mountains and North China Plain.** *Hydrol Process* 34:1888–1905.

LI, R.; ZOU, Z.; AN, Y. Water quality assessment in Qu river based on fuzzy water pollution index method. *Journal of Environmental Sciences*, Beijing, v. 3, n. 30, p. 1-6, 2016.

MARTINS, A, M; FILGUEIRA, H, J, A; FILHO, A, C, A; SILVA, T. C; JÚNIOR, M. H, S. **Análise de não homogeneidades de séries de vazão de captações de nascentes na bacia hidrográfica do rio Gramame, PB, Brasil.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.13, n.06 p 2896-2907. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/243667> . Acesso em 30 de jan/2023.

MENEZES, A, A, R. **Análise de indicadores qualitativos de potabilidade na água para consumo humano na cidade de uruçuí – pi.** 2020. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Uruçuí, Uruçuí, 2020.

MISHRA, A. (2018). **Correlates of rural development: A case study of Sadar development block of Pratapgarh District in Uttar Pradesh.** *India Environmental & Socio-Economic Studies*, 6(3), 19–23. <https://doi.org/10.2478/envir-on-2018-0019>.

MARTELLI, A. **Educação ambiental como forma de preservação de uma nascente modelo do município de Itapira –sp.** *Revista brasileira de interdisciplinaridade*, v. 5, n. 16 p.01-14. 2019. Disponível em: <https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/interespaco/article/view/8991/6395>. Acesso em 6 de dez/2022.

MOYEL, M. S.; HUSSAIN, N. A. **Water quality assessment of the Shatt al-Arab river. Southern Iraq.** *Journal of Coastal Life Medicine*, Basra, v. 3, n. 6, p. 459-465, 2016.

OLIVEIRA, A, S; SILVA, A, M; MELLO, C, R. **Dinâmica da água em áreas de recarga de nascentes em dois ambientes na Região Alto Rio Grande, Minas Gerais.** *Revista Eng Sanit Ambient*, v.25 n.1, p 59-67. 2020. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/esa/a/ywkRF5fb4Cyt4bpPMh6wmm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 21 de Jan/2023.

PAIKARAY, S., & CHANDER, S. (2022). **Geochemical variations in uranium and fluoride enriched saline groundwater around a semi-arid region of SW Punjab, India.** *Applied Geochemistry*, 136, 105167. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2021.105167>.

PANNEERSELVAM B, MUNIRAJ K, DURAISAMY K, PANDE C, KARUPPANNAN S, THOMAS M (2022) **An integrated approach to explore the suitability of nitrate-contaminated groundwater for drinking purposes in a semiarid region of India.** *Environ Geochem Health*. <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01237-5>.

PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021 Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

PÁDUA, H. B. Águas com dureza e alcalinidade elevadas conceitos e comportamentos ambientais observações iniciais na Região de Bonito/MS. registro de dados – 2001. Acesso em: 12 de jun/2023.

PINHEIRO, A, F, C. **ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS TÉCNICOS DE EXPLOTAÇÃO NA ALUVIÃO DO RIO JAGUARIBE EM SÃO JOÃO DO JAGUARIBE-CE NO CONTEXTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.** Dissertação (Mestre em Geologia) - Área de concentração: Geologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

RAMOS, M. A. G.; OLIVEIRA, E. S. B.; PIÃO, A. C. S.; LEITE, D. A. N. O.; ANGELIS, D. F. **Water quality index (WQI) of Jaguari and Atibaia Rivers in the region of Paulínia, São Paulo, Brazil.** *Environ Monit. Assess.*, São Carlos, v. 188, n. 263, p. 2-14, 2016.

SALEEM, F; MUSTAFA, A; KORI, J, SAAD, (2018) **Metagenomic Characterization of Bacterial Communities in Drinking Water Supply System of a Mega City.** *Microbial Ecology*; 76:899–910 <https://doi.org/10.1007/s00248-018-1192-2>.

SATHEESKUMAR, V., SUBRAMANI, T., LAKSHUMANAN, C., ROY, P. D., & KARUNANIDHI, D. (2021). **Groundwater chemistry and demarcation of seawater intrusion zones in the Thamirabarani delta of south India based on geochemical signatures.** *Environmental Geochemistry and Health*, 43(2), 757–770. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00536-z>.

SNOUSY MG, WU J, SU F, ABDELHALIM A, ISMAIL E (2022) **Groundwater quality and its regulating geochemical processes in Assiut Province.** *Egypt Expo Health* 14(2):305–323. <https://doi.org/10.1007/s12403-021-00445-1>.

STYLIANOUDAKI C, TRICHAKIS I, KARATZAS GP (2022) **Modeling groundwater nitrate contamination using artificial neural networks.** *Water* 14:1173. <https://doi.org/10.3390/w14071173>.

SIQUEIRA, E, M, A.; ALMEIDA, S, G.; ARRUDA, A. **Papel adverso do ferro no organismo**. *Comum. Ciênc. Saúde*. 17-229, 2006.

SILVA, S, M, A. **ANÁLISE FÍSICA, QUÍMICA E BIOLÓGICA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ DOIS DE ABRIL, NO MUNICÍPIO DE JI-PARANÁ/RO**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Rondônia - UNIR, Porto Velho, 2018.

TIWARI, A. K., SINGH, A. K., & MAHATO, M. K. (2018). **Assessment of groundwater quality of Pratapgarh district in India for suitability of drinking purpose using water quality index (WQI) and GIS technique**. *Sustainable Water Resources Management*, 4, (3), 601–616. <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0144-1>.

TRIOLA, M. F. 1999. *Introdução à Estatística*. Livros Técnicos e Científicos Editora S. A, Rio de Janeiro.

VESSONI, R, H. **Conservação de nascentes e a degradação ambiental por ocupação do solo no bairro nascente imperial em contagem (MG)**. Monografia (Curso de Especialização de Gerenciamento em Recursos Hídricos do Instituto de Ciências Biológicas)-Área de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2019.

VAITSMAN, D. S.; AFONSO, J. C.; DUTRA, P. B. **Para que servem os elementos químicos**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2001.