



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

ALANA TICIANE ALVES DO RÊGO

**MODELAGEM ESPACIAL DA QUALIDADE DA ÁGUA NAS COMUNIDADES
RURAIS DA CHAPADA DO APODI/RN**

PAU DOS FERROS/RN

2020

ALANA TICIANE ALVES DO RÊGO

**MODELAGEM ESPACIAL DA QUALIDADE DA ÁGUA NAS COMUNIDADES
RURAIS DA CHAPADA DO APODI/RN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Centro Multidisciplinar de Pau dos
Feros como requisito para obtenção do título
de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Joel Medeiros Bezerra

PAU DOS FERROS/RN

2020

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Sector de Informação e Referência (SIR)

R343m Rêgo, Alana.
MODELAGEM ESPACIAL DA QUALIDADE DA ÁGUA NAS
COMUNIDADES RURAIS DA CHAPADA DO APODI/RN / Alana
Rêgo. - 2020.
79 f. : il.

Orientador: Joel Bezerra.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária, 2020.

1. Geoestatística. 2. Águas subterrâneas. 3.
Krigagem ordinária. 4. Conservação dos recursos
hídricos. I. Bezerra, Joel, orient. II. Título.

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

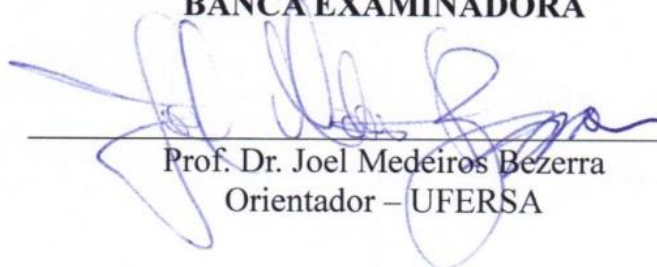
ALANA TICIANE ALVES DO RÊGO

**MODELAGEM ESPACIAL DA QUALIDADE DA ÁGUA NAS COMUNIDADES
RURAIS DA CHAPADA DO APODI/RN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Centro Multidisciplinar de Pau dos
Ferreiros como requisito para obtenção do título
de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Defendida em: 14 / 01 / 2020.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Joel Medeiros Bezerra
Orientador – UFERSA



Prof. Dr. Alex Pinheiro Feitosa
Membro Examinador – UFERSA



Prof. Dr. Franklin Roberto da Costa
Membro Examinador – UERN

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos pais, Francisca Lúcia Alves do Rêgo e Expedito Alves do Rêgo, que mesmo diante dos problemas pessoais e de comunicação, sempre colocaram os meus estudos em primeiro plano. Sou eternamente grata por todos os incentivos e auxílios diários. Espero um dia ser capaz de retribuir tudo isso!

Ao meu porto seguro e companheiro de todos os dias, Rafael Silva de Souza, por ser essa pessoa incrível, paciente e sincera. Obrigada por acreditar em todos os meus sonhos, e me incentivar a procurar o melhor que há em mim. Esses anos seriam bem mais difíceis sem você.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Joel Medeiros Bezerra, por ser uma grande inspiração profissional e por sua contribuição essencial. Assim como, por todos os ensinamentos e paciência. Não poderia desejar um orientador mais capacitado e dedicado em sua função.

Ao Prof. Dr. Jorge Luis de Oliveira Pinto Filho pela disponibilização dos dados para realização desse trabalho e pelos inúmeros conselhos e orientações durante toda a jornada acadêmica.

Aos professores participantes da banca examinadora, Dr. Alex Pinheiro Feitosa e Dr. Franklin Roberto da Costa pela disponibilidade e pelas contribuições que certamente irão enriquecer esse trabalho.

Por fim, à instituição que fez tudo isso possível, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), assim como o corpo docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, que contribuíram repassando conhecimentos de diferentes áreas.

A todos o meu sincero e profundo: **Muito Obrigada!**

“Eu desejo às estrelas que meus sonhos se
tornem realidade [...]”

Saturnus

RESUMO

A diminuição da disponibilidade hídrica vivenciada em regiões do semiárido nordestino, associada à degradação da qualidade da água justificam a necessidade de ações gerenciais que visem a conservação dos recursos hídricos. Nesse sentido, o presente estudo objetiva realizar a modelagem espacial da qualidade da água nas comunidades rurais da Chapada do Apodi/RN, caracterizando a variabilidade espacial da qualidade da água do abastecimento hídrico, por meio de técnicas da geoestatística que permitam mensurar resultados em locais não monitorados da região e riscos de contaminação associados. Para avaliação do cenário da qualidade das águas para abastecimento utilizou-se dos parâmetros de potencial Hidrogeniônico (pH), turbidez, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), salinidade, potencial de oxirredução (ORP), coliformes totais, coliformes termotolerantes do tipo *E. coli*, fazendo emprego, a princípio, da análise estatística descritiva, mediante análise dos padrões de qualidade da água conforme legislação vigente. Em seguida, utilizou-se da correlação linear de Pearson para fins de verificação de dependência entre as variáveis em estudo. Verificou-se, ainda, a normalidade dos dados mediante análise de distribuição por histogramas. Por fim, realizou-se a espacialização dos dados com emprego da geoestatística, sendo realizada a interpolação por krigagem ordinária, acompanhada da determinação dos semivariogramas experimentais. Com isso, constatou-se que os parâmetros pH, turbidez, OD, STD, coliformes totais e os coliformes do tipo *E. coli*, apresentaram resultados desconformes se comparados com a legislação vigente. Por meio da correlação linear de Pearson, evidenciou-se uma moderada correlação entre os STD e temperatura, STD e pH, salinidade e pH, além de OD e turbidez. Verificou-se, ainda, que todos os parâmetros não apresentaram normalidade, em decorrência de pontos discrepantes na distribuição de dados, e por esse motivo, precisaram ser adequados quanto a sua transformação logarítmica. Além disso, o semivariograma experimental para a temperatura que melhor se ajustou foi o modelo Gaussiano, o pH ajustou-se ao modelo exponencial e as variáveis turbidez, OD e *E. coli* apresentaram modelo esférico. Já os demais parâmetros apresentaram efeito pepita puro. Por fim, por meio das cartas temáticas para visualização da variabilidade espacial dos parâmetros analisados, através da interpolação por krigagem ordinária, que as maiores concentrações estimadas tenderam a ocorrer nas proximidades do perímetro urbano do município. Dessa forma, comprovou-se um cenário de alerta na saúde pública e necessidade de atenção especial do poder público municipal, monitoramento constante da qualidade da água nas comunidades usuárias de fontes possivelmente contaminadas e adoção de medidas corretivas quanto ao saneamento básico dessas áreas.

Palavras-chave: Geoestatística. Águas subterrâneas. Krigagem ordinária. Conservação dos recursos hídricos.

ABSTRACT

The decrease in water availability experienced in regions of the northeastern semiarid, associated with the degradation of water quality justifies the need for management actions aimed at the conservation of water resources. In this sense, the present study aims to perform spatial modeling of water quality in rural communities of Chapada do Apodi / RN, characterizing the spatial variability of water quality in water supply, using geostatistics techniques that allow measuring results in non-local areas. monitored in the region and associated contamination risks. To evaluate the water quality scenario for supply, the parameters of hydrogen potential (pH), turbidity, temperature, dissolved oxygen (OD), electrical conductivity (EC), total dissolved solids (STD), salinity, oxidation potential were used (ORP), total coliforms, E. coli type thermotolerant coliforms, making use, at first, of descriptive statistical analysis, through analysis of water quality standards according to current legislation. Then, Pearson's linear correlation was used for the purpose of verifying dependency between the variables under study. The normality of the data was also verified through analysis of distribution by histograms. Finally, data spatialization was performed using geostatistics, with interpolation by ordinary kriging, followed by the determination of experimental semivariograms. Thus, it was found that the parameters pH, turbidity, OD, STD, total coliforms and E. coli type coliforms, presented non-conforming results when compared with the current legislation. Through Pearson's linear correlation, there was a moderate correlation between STD and temperature, STD and pH, salinity and pH, in addition to OD and turbidity. It was also verified that all parameters did not present normality, due to different points in the data distribution, and for this reason, they needed to be adequate regarding their logarithmic transformation. In addition, the experimental semivariogram for the temperature that best fit was the Gaussian model, the pH adjusted to the exponential model and the variables turbidity, OD and E. coli presented a spherical model. The other parameters showed a pure nugget effect. Finally, through thematic charts to visualize the spatial variability of the analyzed parameters, through ordinary kriging interpolation, that the highest estimated concentrations tended to occur in the vicinity of the municipality's urban perimeter. In this way, a scenario of public health alert and the need for special attention from the municipal public power, constant monitoring of water quality in communities that use potentially contaminated sources and the adoption of corrective measures regarding the basic sanitation of these areas was proven.

Keywords: Geostatistics. Groundwater. Ordinary Kriging. Conservation of water resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de um semivariograma experimental	28
Figura 2: Modelos de semivariogramas teóricos	29
Figura 3: Localização da área de estudo.....	36
Figura 4: Localização das comunidades rurais da Chapada do Apodi/RN.....	41
Figura 5: Distribuição de frequência dos dados com transformação logarítmica: A) temperatura; B) potencial Hidrogeniônico; C) potencial de oxirredução; D) condutividade elétrica; E) turbidez; F) oxigênio dissolvido; G) sólidos totais dissolvidos; H) salinidade; I) coliformes totais; J) <i>E. coli</i>	50
Figura 6: Semivariogramas das variáveis analisadas: A) temperatura; B) potencial Hidrogeniônico; C) potencial de oxirredução; D) condutividade elétrica; E) turbidez; F) oxigênio dissolvido; G) sólidos totais dissolvidos; H) salinidade; I) coliformes totais; J) <i>E. coli</i>	53
Figura 7: Variabilidade espacial dos parâmetros analisados: A) temperatura; B) potencial Hidrogeniônico; C) potencial de oxirredução; D) condutividade elétrica; E) turbidez; F) oxigênio dissolvido; G) sólidos totais dissolvidos; H) salinidade; I) coliformes totais; J) <i>E. coli</i>	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estatística descritiva das variáveis físico-químicas e biológicas das amostras de água nas comunidades rurais da Chapada do Apodi em 2018	45
Tabela 2: Correlação linear de Pearson das variáveis físico-químicas e biológicas das amostras de água.....	48
Tabela 3: Valores considerados outliers mascarados da amostra.....	56
Tabela 4: Parâmetros ajustados do semivariograma para os parâmetros analisados	57

LISTA DE QUADRO

Quadro 1: Localização em coordenadas UTM das comunidades rurais da Chapada do Apodi/RN	
.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APHA	American Public Health Association
BHRAM	Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEMA	Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte
MS	Ministério da Saúde
OD	Oxigênio Dissolvido
OMS	Organização Mundial da Saúde
ORP	Potencial de Oxirredução
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNQA	Portal Nacional da Qualidade das Águas
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
STTRA	Sindicato dos Trabalhadores e Trabalhadoras Rurais de Apodi
UBS	Unidade Básica de Saúde
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-árido
UTM	Universal Transversa de Mercator
VMP	Valores Máximos Permitidos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA	17
3.2 IMPORTÂNCIA DA QUANTIDADE E QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO HÍDRICO PARA CONSUMO HUMANO.....	18
3.3 CONFLITOS ASSOCIADOS COM A QUALIDADE DA ÁGUA	19
3.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA	21
3.5 MODELAGEM GEOESTATÍSTICA.....	25
3.5.1 Variáveis regionalizadas	26
3.5.2 Métodos geoestatísticos.....	26
3.5.3 Semivariograma.....	27
3.5.4 Modelos teóricos de semivariogramas	29
3.5.5 Krigagem	30
3.6 ESTUDOS UTILIZANDO GEOESTATÍSTICA APLICADA A RECURSOS HÍDRICOS	33
4. METODOLOGIA	35
4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	35
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	35
4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	38
4.3.1 Coleta das amostras.....	39
4.3.2 Análise da qualidade da água	42
4.3.3 Tratamento estatístico.....	42
4.3.4 Tratamento geoestatístico.....	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 TRATAMENTO ESTATÍSTICO	45
5.2 TRATAMENTO GEOESTATÍSTICO	52
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
REFERÊNCIAS	64

1. INTRODUÇÃO

A água constitui-se um dos elementos indispensáveis para manter os ciclos da vida, a biodiversidade e a sobrevivência dos seres vivos. O abastecimento de água doce, em quantidade e qualidade adequadas, é essencial para o desenvolvimento econômico, e para manter a sustentabilidade e a qualidade de vida de populações urbanas e rurais (TUNSIDI, 2006).

Nas últimas décadas a preocupação do ser humano com os recursos hídricos cresceu, principalmente em função das ações indevidas e do uso irracional da água, que resultou em uma série de prejuízos à sociedade, comprometendo as distintas finalidades que o recurso apresenta (DELFES et al., 2015). De acordo com Tunsidi (2006), o uso irracional e a poluição de fontes importantes de abastecimento público têm efeitos diretos e indiretos na economia, na saúde humana, no abastecimento público e na qualidade de vida das populações e na biodiversidade.

Esse recurso natural torna-se relevante, principalmente, para regiões semiáridas, onde os prognósticos de mudanças climáticas se apresentam alarmantes diante da sua escassez, a elevada evaporação e pouca água disponível (GIONGO, 2019). Inserida nesse contexto, a microrregião da Chapada do Apodi/RN, localizada na mesorregião Oeste Potiguar do Rio Grande do Norte, na divisa com o estado do Ceará, apresenta uma paisagem típica da caatinga semiárida, com características naturais de grande importância econômica para as atividades rurais, como solos férteis, geologia cárstica, mananciais hídricos abundantes e relevo suave ondulado (SANTANA JÚNIOR, 2010).

Na Chapada do Apodi/RN, as condições geológicas não favorecem a formação de reservatórios superficiais. Portanto, estes tornam-se escassos na região (FERNANDES et al., 2002). A principal fonte de água na região é de origem subterrânea, cuja captação é feita no Arenito Açu, em poços com cerca de 800 m de profundidade, e do Calcário da Formação Jandaíra, sendo considerado o mais explorado, com profundidade em torno de 100 m (SILVA et al., 2011). Sendo assim, a maioria dos moradores da região estão condicionados a captação de água por meio de poços artesianos.

A diminuição da disponibilidade hídrica proveniente do consumo desordenado, combinado aos períodos prolongados de estiagem no semiárido, associada à degradação da qualidade da água, em decorrência da expansão da urbanização acelerada e desordenada, como também a presença de atividades econômicas com processos industriais e agrícolas na região da Chapada do Apodi/RN, passíveis de desencadear possíveis impactos ambientais adversos, são fatores determinantes para contribuir com a necessidade de processos de gerenciamento integrado dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Recentemente, tem-se adotado a integração de dados pontuais com informações de natureza espacial, aplicada ao entendimento da variabilidade espacial de parâmetros da qualidade de água, de forma a visualizar uma melhor espacialização das variáveis, como também, possibilitar no auxílio de tomadas de decisões de processos de gestão ambiental pública e a sustentabilidade da utilização dos recursos naturais (BAGNARA, 2010; OLIVEIRA JÚNIOR, 2016a).

Sendo assim, para mapear e representar variáveis, métodos geoestatísticos estão sendo utilizados para correlacionar informações no espaço e/ou no tempo. Esta ferramenta utiliza procedimentos estatísticos aplicados a situações cujos dados estão relacionados a fenômenos espacialmente distribuídos e correlacionados (LEONARDI, 2018). Segundo Vicente (2018a), a distribuição espacial das concentrações de parâmetros de qualidade de água permite a identificação das localidades onde determinados parâmetros assumem valores mais críticos. Corroborando com essa informação, Rizo-Decelis et al. (2017) afirmam que a abordagem da geoestatística caracteriza padrões regionais de qualidade da água e otimizar redes de monitoramento, como também explorar completamente os resultados dos dados de monitoramento disponíveis e inferir condições de qualidade da água em locais não monitorados.

Diante dessa premissa, verifica-se a relevância de analisar a variabilidade espacial dos parâmetros relacionados a qualidade da água do abastecimento hídrico para consumo humano nas comunidades rurais da Chapada do Apodi/RN, por meio da modelagem geoestatística, através das quais é possível identificar, em caráter preliminar, os fatores que comprometem a qualidade da água na área de estudo, tendo em vista que a análise espacial que emprega o uso de ferramentas de geoestatística possibilita mensurar variáveis e padrões espaciais que se correlacionam, como também fornecer subsídios para elaboração de ações gerenciais que visem o controle e conservação dos recursos hídricos.

Ressalta-se o interesse de investigação da área em apreço, uma vez que os moradores locais se utilizam dos recursos hídricos para seu abastecimento, e por ser uma zona rural no semiárido brasileiro, sofre pressão de cenários de intervenção antrópica. Este fator pode resultar em deficiências nas condições de saneamento ambiental, diminuição na qualidade da água e degradação dos mananciais.

Dessa forma, a fim de avaliar a utilização de ferramentas de modelagem ambiental, como bem identificar e controlar as fontes potencialmente poluidoras das águas subterrâneas na zona rural da Chapada do Apodi/RN, fez-se necessário a aplicação da geoestatística para caracterização da distribuição espacial dos parâmetros de qualidade de água, além de permitir a elaboração de estratégias para conservação dos recursos hídricos.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar a modelagem espacial da qualidade da água do abastecimento hídrico das comunidades rurais da Chapada do Apodi/RN, localizados no município de Apodi/RN.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos do presente trabalho, tem-se:

- Caracterizar, por meio do emprego de parâmetros físico-químicos e biológicos, a qualidade da água das comunidades rurais da Chapada do Apodi/RN, localizadas no município de Apodi/RN;
- Avaliar a qualidade da água para consumo humano das comunidades rurais da Chapada do Apodi/RN, com base na legislação vigente.
- Elaborar cartas temáticas com a regionalização dos parâmetros de qualidade das águas na área de estudo;
- Verificar a dependência espacial dos parâmetros de qualidade da água, tal como associar a presença de fatores antrópicos e/ou naturais;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2018), a água é um bem essencial à vida, ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar social, do qual possui usos múltiplos e está presente em todas as atividades antrópicas e naturais. A Lei nº 9.433/1997 conceitua a água como um bem de domínio público, considerada um recurso natural limitado, dotado de valor econômico (BRASIL, 1997). Corroborando com essas informações, Tundisi (2003) afirma que a água funciona como um fator de desenvolvimento, empregada em meios relacionados a economia (regional, nacional e internacional) e utilizada para diversos usos (doméstico, irrigação, uso industrial e hidroeletricidade). Dessa forma, os recursos hídricos têm sido objeto de conflitos pelos múltiplos usuários, frente ao aumento da demanda e à escassez da oferta (SIMPLÍCIO; FARIA, 2016).

Com isso, o enquadramento dos corpos hídricos surgiu como um instrumento de planejamento ambiental instituída pela Política Nacional dos Recursos Hídricos, a partir da Lei nº 9.433/1997, conhecida como Lei das Águas, afim de estabelecer parâmetros com limites aceitáveis, considerando os diferentes usos. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu e ratificou a Resolução nº 357/2005, que classificou os cursos d'água em função de usos preponderantes da água. Este enquadramento, conforme o Portal da Qualidade das Águas (PNQA, 2019), visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição, mediante ações preventivas permanente. Além disso, objetivando o enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas, criou-se a Resolução CONAMA nº 396/2008. Ambas resoluções tem como objetivo assegurar que o recurso natural possa ser controlado e utilizado em padrões de qualidade satisfatórios por seus usuários atuais e pelas gerações futuras em todo o território brasileiro.

Guimarães et al. (2007) indicam os principais usos da água como sendo abastecimento doméstico e industrial, irrigação, dessedentação de animais, aquicultura, preservação da flora e da fauna, recreação e lazer, harmonia paisagística, geração de energia elétrica, navegação e diluição de despejos. Considerando que o enquadramento dos corpos de água deve estar baseado não somente em seu estado atual, mas também observar os níveis de qualidade para atender às necessidades da população. Vale Junior (2018) complementa afirmando que o uso específico da água para consumo humano, por ser considerado mais nobre e prioritário, deve

exibir condições toxicológicas e sanitárias adequadas, além de ser isento de substâncias tóxicas e organismos patogênicos para preservar o bem-estar e evitar danos à saúde pública. Corroborando com essa informação, Silva e Albuquerque (2018) afirmam que o enquadramento é balizado pela qualidade de água desejada mediante as atividades que se pretende executar, estando relacionadas aos parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade, resguardando-se os valores máximos permitidos para cada classe de enquadramento.

Para Saldanha et al. (2016), a necessidade de uso da água foi se tornando crescente, diversificada e exigente, em termos de quantidade e qualidade, ao longo da história da humanidade. Dessa forma, o homem tem necessidade de água de qualidade adequada e em quantidade suficiente, não somente para proteção de sua saúde, como também para seu desenvolvimento econômico (PRAXEDES et al., 2012). Além disso, Morais et al. (2016) acrescentam que as águas de má qualidade apresentam grande preocupação a dirigentes, gestores e população, tanto com a disponibilidade quanto à qualidade para o consumo humano.

3.2 IMPORTÂNCIA DA QUANTIDADE E QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO HÍDRICO PARA CONSUMO HUMANO

A água é um bem comum e um recurso natural essencial a manutenção da vida. Por esse motivo, deve estar presente no ambiente em quantidade e qualidade adequadas (NORETE et al., 2018). Tsutiya (2006) corrobora afirmando que a principal preocupação com as cidades deve ser com a água para abastecimento público em quantidade e qualidade suficientes para manutenção de uma vida saudável. Para Braga et al. (2005), essas duas características estão intimamente interligadas, tendo em vista que, a qualidade da água depende da quantidade de água para dissolver, diluir e transportar substâncias benéficas e maléficas para os seres que dela fazem uso.

Estima-se que 97,5% da água existente no mundo é salgada e inadequada para consumo direto. Os 2,5% restantes são de água doce. Entretanto, 69% desta encontra-se em geleiras, sendo de difícil acesso, 30% são água subterrâneas armazenadas em aquíferos e apenas 1% encontra-se em corpos d'água superficiais (ANA, 2019a). Inúmeras atividades econômicas utilizam as águas subterrâneas para suprir suas necessidades pelo país, sendo o seu uso distribuído entre atendimento doméstico (30%), agropecuário (24%), abastecimento público urbano (18%) e abastecimento múltiplo (14%), no qual o destino da água é, em grande parte, diversificado para a prestação de serviços urbanos (HIRATA et al., 2019).

A qualidade da água é representada por um conjunto de características, geralmente mensuráveis, de natureza química, física e biológica (ANDRADE et al., 2017). De maneira geral, sua qualidade tem grande impacto na saúde pública, sendo essencial para o equilíbrio e o funcionamento dos ecossistemas (MORAES et al., 2018). Assim, é de vital importância para a saúde pública que a comunidade conte com um abastecimento hídrico seguro que satisfaça as necessidades domésticas tais como o consumo, à preparação de alimentos e à higiene pessoal (PRAXEDES et al., 2012).

Entretanto, mesmo que a água doce seja um recurso renovável e limitado, à medida em que há um maior crescimento econômico e populacional, menos se respeita o ciclo natural da água e conseqüentemente aumenta-se a degradação, tornando-a um recurso hídrico impróprio para consumo (BARROS; AMIN, 2008). O aumento da população produz um incremento na industrialização, no uso de agrotóxicos na agricultura e no uso inadequado do solo e da água (BICUDO et al., 2010). Para Braga e Tundisi (2006), a informação sobre a qualidade da água é necessária para que se conheça a situação dos corpos hídricos com relação aos impactos antrópicos e é essencial para que se planeje sua ocupação e seja exercido o necessário controle dos impactos.

Portanto, deve-se comprovar que a água para consumo humano esteja dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente no que tange ao padrão de potabilidade da água. Além disso, também é necessário a compreensão de suas vulnerabilidades e dos potenciais pontos e situações de risco à saúde humana para as águas com suas qualidades comprometidas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

3.3 CONFLITOS ASSOCIADOS COM A QUALIDADE DA ÁGUA

Conforme Tundisi (2009), a limitação de acesso a água de boa qualidade pode gerar diversos conflitos sociais e sua possibilidade de escassez. Para Ribeiro et al. (2018), a concepção de conflito pela água, portanto, assume diferentes perspectivas em função do ponto de vista dos diferentes aspectos sociais, ambientais e econômicos. Assis (2010) aponta alguns fatores identificados como conflitos em relação ao uso da água relacionados com a sociedade: escassez, disputa e múltiplos usos da água, gestão dos recursos hídricos, degradação e aparecimento de doenças de veiculação hídrica.

Em áreas com maior dinamismo econômico e produtivo, o desafio do abastecimento está relacionado com a frequente utilização da mesma fonte hídrica para diferentes usos, o que resulta em conflitos ligados à quantidade e à qualidade da água (ANA, 2019b). Na Região

Nordeste do Brasil, onde grande parte está submetida ao clima semiárido, a disponibilidade hídrica frequentemente é diretamente afetada pelas secas, que se configuram em períodos de tempo em que a precipitação hídrica é muito baixa, afetando as reservas hídricas e o uso pela população (MARTINS et al., 2017).

Associado ao cenário de períodos de seca prolongadas, tem-se a ideia de crise hídrica, a qual vai além do problema da escassez da água e abarca também a problemática da superexploração que rebaixa os níveis hídricos, diminui a capacidade de armazenamento do aquífero, compromete a qualidade da água pela intrusão salina ou de contaminantes presentes em aquíferos rasos, causa subsidência, reduz a disponibilidade hídrica superficial e provoca a perda de ecossistemas (VILLAR, 2016). Além disso, a contaminação hídrica, que envolve as múltiplas fontes de poluição relacionadas, principalmente, pelas descargas de efluentes orgânicos, provenientes de parques industriais (SILVA et al., 2015).

Assim, em determinadas regiões, os recursos hídricos já são considerados insuficientes para o atendimento das demandas sociais (RIBEIRO et al., 2018), diante do comprometimento da qualidade dos recursos hídricos, cujas águas se tornam inadequadas para irrigação, consumo humano e animal, e para uso industrial. E os principais atingidos pelo comprometimento da qualidade das águas e pela escassez são comunidades de pequenos produtores, agricultores familiares e de subsistência (ROSSI; SANTOS, 2018).

Além disso, a deficiência de serviços voltados para o saneamento e saúde gera a contaminação dos mananciais superficiais e subterrâneos, com implicações na saúde da população pelo surgimento de doenças de veiculação hídrica (CARNEIRO et al., 2017). Dessa forma, o Ministério da Saúde (2006) afirma que a água supõe ser uma fonte de veiculação de um elevado número de enfermidades e essas transmissões podem ocorrer por meio da situação em que a água se encontra no meio físico. Segundo Paiva e Souza (2018), no ano de 2015, segundo dados do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), doenças como cólera, febres tifoide e paratifoide, amebíase, diarreia e gastroenterite, esquistossomose e outras doenças infecciosas intestinais, foram responsáveis por 2,35% das internações totais no Brasil. Quando considerada a distribuição regional desses casos, tem-se que a maior concentração das internações ocorreu na Região Nordeste, onde foram registrados 49,1%.

A qualidade da saúde pública e o comprometimento dos recursos hídricos podem estar relacionados a diversos fatores como a sazonalidade decorrente das condições climáticas em regiões tropicais (GUEDES et al., 2017), inconformidades nas unidades de reservatórios e tratamentos ineficientes (ABUBAKAR, 2018), poluição por efluentes domésticos, industriais

e deflúvio superficial urbano e agrícola (STOLF; MOLZ, 2017), e até mesmo questões mais específicas como a geologia, solo, temperatura e outros elementos naturais (BRAGA et al., 2018).

Por ser considerada um recurso natural de domínio público com valoração econômica, é necessário a existência de um modelo de gestão integrada dos recursos hídricos no sentido de estabelecer a segurança hídrica como meio de satisfazer as necessidades básicas e reconhecer que o acesso à água em quantidade e qualidade são necessidades básicas essenciais à saúde e ao bem-estar do indivíduo (SILVA et al., 2011). Dessa forma, com uma gestão de recursos hídricos competente, é possível fornecer uma segurança hídrica e atender a todos os usos e usuários sem comprometer a disponibilidade e a qualidade da água (RODRIGUES, 2019).

Portanto, sabendo que água impacta diretamente na qualidade de vida e a saúde da população, esta deve apresentar características sanitárias e toxicológicas adequadas (BRAGA et al., 2005; GUEDES et al., 2017). Dessa forma, para avaliar e monitorar a qualidade das águas, é de extrema importância a utilização de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, que servem tanto para mensurar sua sadia qualidade quanto as interferências antrópicas no meio que acarretam em sua contaminação (GOMES et al., 2018).

3.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA

A qualidade da água para consumo humano necessita atender ao padrão de potabilidade, que são as quantidades limites que são definidas geralmente por decretos, regulamentos ou especificações (RIGOBELLO et al., 2009). A Portaria do Ministério da Saúde (MS), nº 5/2017, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade avaliado e classificado a partir da comparação de dados disponíveis de análises físico-químicas e microbiológicas, sendo designados Valores Máximos Permitidos (VMP) para cada parâmetro de qualidade da água de consumo humano (BRASIL, 2017). Além disso, tem-se a Resolução CONAMA nº 357/2005, no caso da captação de água de manancial superficial, e a Resolução CONAMA nº 396/2008, para captação de água de manancial subterrâneo.

Habitualmente, para realização de um diagnóstico da qualidade da água, faz-se necessário o emprego de determinados parâmetros, entre estes a temperatura, sendo que é expressa pela medida da intensidade de calor em uma determinada escala, sendo o grau centígrado ou grau Celsius (°C), consideradas as escalas mais utilizadas (PINTO, 2007). Conforme a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2018), sua variação

ocorre de forma natural com o regime climático normal, acompanhamento de variações sazonais e diurnas. Porém, sua elevação em um corpo hídrico geralmente é provocada por fontes antropogênicas, como despejos industriais e usinas termoeletricas. Em relação às águas para consumo humano, de acordo com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2014), temperaturas elevadas aumentam as perspectivas de rejeição ao uso.

A temperatura pode ser analisada junto com outros parâmetros e influencia as reações desse meio (NOGUEIRA et al., 2015). Para a CETESB (2018), esse parâmetro condiciona as influências de uma série de variáveis físico-químicas. Em corpos hídricos, não existe uma legislação específica que estabeleça limites aceitáveis para esse parâmetro.

Tem-se o uso do potencial Hidrogeniônico (pH), o qual é uma grandeza que varia de 0 a 14 e indica a intensidade da acidez ($\text{pH} < 7$), neutralidade ($\text{pH} = 7$) ou ainda alcalinidade ($\text{pH} > 7$) de uma solução aquosa (PARRON et al., 2011). Algumas localidades a água de mananciais subterrâneos ou superficiais apresentam pH fora da faixa recomendada, o que não significa que essa água seja imprópria para consumo humano (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012). Para Sperling (2005), somente águas extremamente ácidas ou básicas, poderiam causar algum tipo de irritação na pele e nos olhos.

Segundo a Portaria MS nº 5/2017, recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 para que a mesma mantenha sua condição de qualidade. A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece um padrão de pH de 6,0 a 9,0 para as águas doces.

Já o potencial de oxirredução (ORP) remete a tendência de uma substância a receber elétrons, permitindo avaliar o processo de oxirredução da matéria orgânica, determinando quais microrganismos se desenvolvem em um determinado meio (DOURADO et al., 2018). Dessa forma, define-se condições de deficiência de elétrons (meio redutor) ou transferência de elétrons (meio oxidante) (CETESB, 2018).

Não há uma legislação específica que disponha de padrões do potencial redox para as classes de água doce. Porém, de acordo com Fiorucci e Benedetti Filho (2005), valores de ORP entre 200 mV e 600 mV indicam um meio fortemente oxidante, e diferenças de potencial entre -100 mV e -200 mV revelam meios redutores.

Já a Condutividade Elétrica (CE) da água indica a sua capacidade de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas, que se dissociam em ânions e cátions (FUNASA, 2014). Corrêa (2016) acrescenta que altos valores pressupõem estar associados às características corrosivas da água ou lançamentos de efluentes. Para Andrade et al. (2018), embora não causem dano imediato ao ser humano, indicam tanto uma contaminação

do meio aquático por efluentes industriais como o assoreamento acelerado de rios por destruição da mata ciliar.

Enquanto que as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (FUNASA, 2014; CETESB, 2018). Na legislação brasileira não existe um limite superior deste parâmetro tido como aceitável.

A turbidez define-se como uma medida associada as partículas sólidas em suspensão, que diminuem a claridade e reduzem a transmissão de luz do meio (FUNASA, 2014). Sofrem influência na presença de detritos orgânicos e outras substâncias como o zinco, ferro, compostos de manganês e areia, resultantes do processo natural de escoamento superficial ou da ação antrópica, como lançamentos de esgotos e efluentes das atividades industriais (CARVALHO et al., 2017). Dessa forma, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas e afetar adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional de uma água (MARCELINO et al., 2015).

Segundo a Portaria MS nº 5/2017, para que os resultados desse parâmetro sejam considerados aceitáveis para consumo humano, recomenda-se um VMP de até 5 UNT. Caso contrário, a água necessitaria de tratamento prévio para consumo.

O oxigênio dissolvido (OD) é proveniente da diferença de pressão parcial entre a atmosfera e as águas naturais, e define a concentração de saturação de um gás na água (CETESB, 2018). É considerado um componente essencial para o metabolismo dos microrganismos aeróbicos e se correlaciona diretamente com outros parâmetros, como temperatura, pressão e salinidade (PARRON et al., 2011).

Segundo Parron et al. (2011), seu decréscimo pode estar associado a fontes de lançamentos de efluentes como, por exemplo, quando a temperatura das águas se eleva ou quando ocorre o crescimento excessivo de algas, causando, dessa forma, a eutrofização do corpo hídrico.

Na Resolução CONAMA nº 357/2005, a quantidade de OD não deve ser inferior a 6 mg/L para as águas doces de classe 1, sendo variável a concentração em função da classe determinada pelo enquadramento. Não é possível estabelecer comparação desse parâmetro com valores estabelecidos pela Portaria MS nº 5/2017.

Já os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) remetem a soma de todos os constituintes químicos dissolvidos na água, sendo importante a determinação da qualidade organoléptica da água potável e como um indicador agregado da presença de produtos químicos contaminantes (PARRON et al., 2011). Sua entrada pode ocorrer de forma natural (processos erosivos,

organismos e detritos orgânicos) ou antropogênica (lançamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos) (FUNASA, 2014).

Esse parâmetro define as condições ambientais baseadas nas premissas de que os sólidos podem causar danos à vida aquática, tendo em vista que sua presença associa-se a existência de matéria dissolvida e interferência na passagem de luz do corpo d'água ou ainda atuar na sedimentação do leito dos rios (NOGUEIRA et al., 2015; CETESB, 2018).

A Resolução CONAMA nº 357/2005, que trata do enquadramento dos corpos hídricos, considerando o uso preponderante da água para consumo humano, obtém-se um VMP de até 1.000.000 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Na Portaria MS nº 5/2017, segundo o anexo 10 do anexo XX que apresenta uma tabela de padrões organolépticos de potabilidade, esse parâmetro deve possuir um VMP de até 1.000 mg.L^{-1} ou 1.000.000 $\mu\text{g.L}^{-1}$, já que esta parcela reflete a influência de lançamento de esgotos, além de afetar a qualidade organoléptica da água.

A salinidade é a medida da concentração total de íons dissolvidos na água, com influência das condições naturais de solo, clima da região e antrópica (PALÁCIO et al., 2011). Segundo Azevedo et al. (2017), o aumento da quantidade de sais solúveis pode ser provocado pelo manejo inadequado do solo e da água da irrigação, bem como a ação de fertilizantes utilizados na atividade agrícola, entre outras fontes dispersas de poluição. Além disso, o efeito da salinidade é mais nítido em regiões áridas e semiáridas, em decorrência da elevada evapotranspiração.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 e a Portaria MS nº 5/2017 não atribuem valores específicos para a salinidade em relação a potabilidade, que se refere à medida dos teores de sais dissolvidos na água. Entretanto, esse indicativo associa-se a divisão de classes de uso preponderante proposto pela CONAMA.

Tem-se ainda os coliformes fecais, os quais são bactérias do grupo coliforme que possui como principal característica a fermentação de lactose com produção de ácidos, aldeídos e gás a 35°C entre 24 e 48 horas. Coliformes fecais ou coliformes termotolerantes são bactérias de um subgrupo de coliformes totais que possuem a capacidade de fermentar lactose a 44-45°C ($\pm 0,2$) em 24 horas. A principal espécie dentro desse grupo é a *Escherichia coli* (*E. coli*), possuindo origem exclusivamente fecal (ALVES et al., 2018), e considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente em águas doces e de eventual presença de organismos patogênicos (FUNASA, 2014).

De acordo com Camargo et al. (2009), a detecção de coliformes totais em amostras de águas não é necessariamente um indicativo de contaminação fecal, pois o grupo designado como coliformes totais engloba um grande número de bactérias. Dessa forma, o grupo dos

coliformes também inclui bactérias não exclusivamente de origem fecal, mas de origem natural do solo, na água e em plantas (FUNASA, 2014).

Na legislação brasileira, os coliformes fecais são utilizados como padrão para qualidade microbiológica de águas superficiais destinada a abastecimento, recreação, irrigação e piscicultura (WACHINSKI, 2013). Segundo a Portaria MS nº 5/2017 e a Resolução CONAMA 396/2008, a água adequada ao consumo humano deve estar ausente de *E. coli* e de bactérias do grupo dos coliformes totais em 100 ml de amostragem. Para a Funasa (2014), sua presença pode indicar falhas no tratamento, uma possível contaminação após o tratamento ou ainda a presença de nutrientes em excesso, por exemplo, nos reservatórios ou nas redes de distribuição.

3.5 MODELAGEM GEOESTATÍSTICA

A geoestatística nasceu na década de 1950 em um contexto geológico proposto pelo engenheiro de minas Daniel Gerhardus Krige e o estatístico Herbert Simon Sichel, que iniciaram a publicação de resultados de seus estudos experimentais sobre dados relativos às atividades desenvolvidas em minas de ouro para avaliação dos depósitos de reservas minerais, e perceberam que havia uma relação íntima entre a localização geográfica e a dependência espacial. Mas foi somente na década de 1960 que o conceito da geoestatística, até então empírico, foi adequado e formalizado pelo matemático e engenheiro George Matheron com o desenvolvimento da teoria das variáveis regionalizadas, através de fundamentos teóricos da variabilidade de amostragem associada ao tamanho das amostras, bem como a formulação de uma teoria completa dos erros de estimativas (ANDRIOTTI, 2004).

Sendo assim, a geoestatística define-se como um ramo da estatística aplicada que tem por objetivo a caracterização espacial de uma variável de interesse por meio do estudo de sua distribuição e variabilidade espacial, com determinação das incertezas. Em outras palavras, é definida como uma subárea da estatística que estuda variáveis regionalizadas (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Suas técnicas normalmente são usadas para descrever e modelizar padrões espaciais (análise estrutural), para prever valores em locais não amostrados a partir de amostras vizinhas (análise inferencial), para obter a incerteza associada a um valor estimado em locais não amostrados e para otimizar malhas de amostragem (simulação estocástica) (ANDRIOTTI, 2004).

Desde então, o ramo evoluiu consideravelmente e atualmente sua aplicação abrange diversas áreas, como por exemplo, climatologia, geologia ambiental, geotecnia, hidrogeologia, hidrologia, pedologia e saúde, dentre outros (NASCIMENTO, 2014).

3.5.1 Variáveis regionalizadas

A teoria das variáveis regionalizadas refere-se ao estudo de funções que variam de um lugar para outro no espaço com certa aparência de continuidade. Em outras palavras, são variáveis cujos valores estão relacionados de algum modo com a posição espacial que ocupam (LUDEWIG, 2015).

No ponto de vista matemático, uma variável regionalizada é uma função irregular $f(x)$ do ponto x do espaço, na qual se têm dois aspectos: um aspecto aleatório, atribuído às variações altamente irregulares e imprevisíveis de um ponto a outro; e um aspecto estruturado, que reflete as características estruturais (feições particulares) do fenômeno regionalizado (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). Segundo os autores, a teoria das variáveis regionalizadas tem dois objetivos: teoricamente, descrever a correlação espacial; na prática, resolver problemas de estimativa de uma variável regionalizada com base em uma amostra.

Segundo Yamamoto (2001), existem algumas características das variáveis regionalizadas em que os métodos estatísticos convencionais não conseguem compreender, são elas:

- Localização: a posição relativa das amostras e a sua distribuição espacial exercem influência sobre a correlação espacial da variável regionalizada;
- Suporte: corresponde a uma unidade amostral básica sobre a qual a variável é medida;
- Continuidade: a variação espacial de uma variável regionalizada deve existir uma certa continuidade ponto a ponto;
- Anisotropia: corresponde à diferença de variações entre as diferentes direções estudadas.

Diante disso, os métodos geoestatísticos fornecem um conjunto de técnicas necessárias para entender a aleatoriedade dos dados, os quais apresentam uma possível estruturação espacial, estabelecendo, desse modo, uma função de correlação espacial (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

3.5.2 Métodos geoestatísticos

Com o intuito de compreender e modelar o componente aleatório e espacialmente correlacionado, utilizam-se algumas medidas de estimativa e interpolação, dentre elas, cita-se o semivariograma e a krigagem (BATISTA et al., 2018). Landim (1998) corrobora destacando a importância dessas duas ferramentas para o estudo do comportamento das variáveis regionalizadas para os métodos geoestatísticos.

Sendo assim, a geoestatística busca dois objetivos principais: detectar a estrutura da variabilidade espacial associada a uma medida de correlação entre os dados, por meio do semivariogramas experimentais. Como também, obter uma estimativa contínua da área amostrada por meio de um processo discreto de amostragem, pela técnica de krigagem (TEIXEIRA, 2013).

3.5.3 Semivariograma

A função variograma ($2\gamma(h)$) define-se como sendo a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço, separados por uma distância h (Equação 1). A metade da função variograma é denominada semivariograma ($\gamma(h)$), e é a função efetivamente utilizada para a investigação da continuidade espacial de uma variável regionalizada (PEREIRA, 2017). Conforme o mesmo autor, o termo variograma é amplamente utilizado para se referir ao que é, tecnicamente, o semivariograma.

$$2\gamma(h) = E[(z(x_i) - z(x_i - h))^2] \quad (1)$$

Onde, tem-se que: $2\gamma(h)$ é o variograma para uma determinada distância h ; E é o valor amostrado esperado (média) e Z é o valor da variável aleatória definida por um ponto qualquer no espaço.

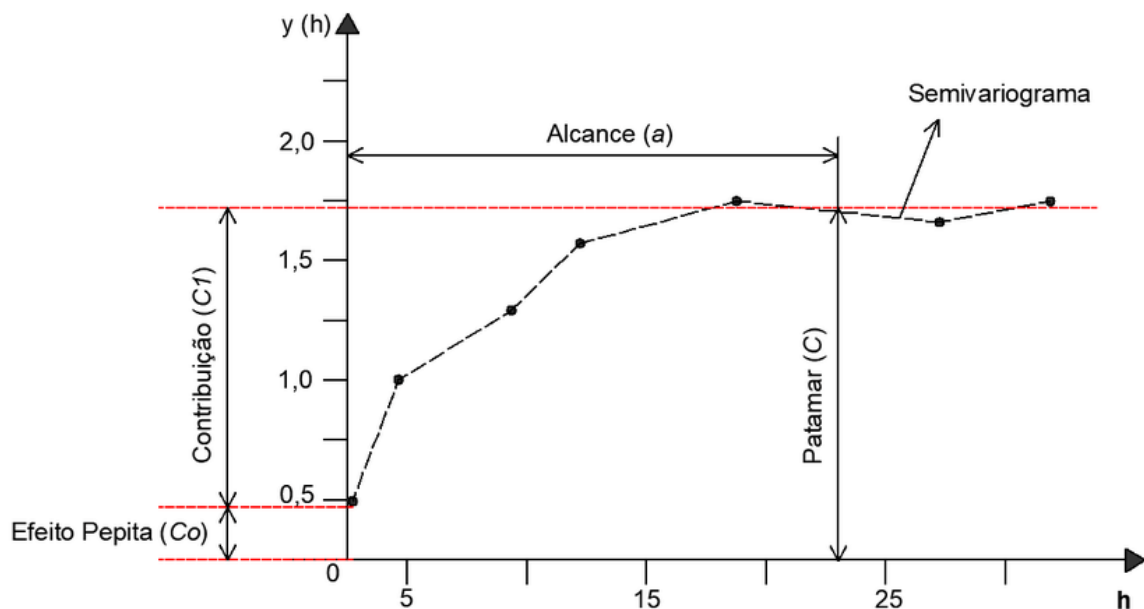
Na etapa de análise estrutural, os dados amostrados são analisados a fim de estabelecer a previsibilidade dos valores ponto a ponto na área de estudo. Este estudo resulta em um gráfico denominado semivariograma, o qual modela a diferença entre o valor da variável em um ponto e o valor em outro ponto, de acordo com a distância entre eles e a orientação dos pontos (BAGNARA, 2010). Em síntese, o semivariograma é uma ferramenta que permite analisar e quantificar a variabilidade espacial do fenômeno em estudo, fornecendo, dessa forma, um significado preciso do conceito de zona de influência de uma amostra (LANDIM, 1998).

Em um estudo que se deseja averiguar a dependência espacial de amostras georreferenciadas por meio do semivariograma têm-se três tipos de situações: semivariograma

observado, semivariograma verdadeiro e o semivariograma teórico. O semivariograma observado ou experimental é proveniente do conjunto de dados da pesquisa realizada, originados de um processo de amostragem sobre coordenadas geográficas, antes de qualquer ajuste de modelos. Enquanto o semivariograma verdadeiro é aquele que representa a situação real da amostra, sendo sempre desconhecido. Assim, na análise estrutural, o objetivo é analisar qual o semivariograma teórico melhor se ajusta ao semivariograma observado; de forma que é possível realizar inferências sobre o semivariograma verdadeiro (SANTOS, 2013).

Com base na Figura 1, é possível observar as principais características ou parâmetros de um semivariograma, dos quais estão relacionados com a continuidade ou dependência espacial da variável analisada. O alcance ou amplitude (a) é o valor da distância a partir da qual, naquela direção, os pares de valores amostrados apresentam correlação espacial, sendo assim, as medições realizadas em distâncias maiores que o alcance, são consideradas independentes entre si. O patamar (C) é o valor no qual o semivariograma se estabiliza, ou seja, o valor onde a correlação entre as amostras é nula. Contribuição (C_1) é a diferença entre o patamar e o efeito pepita. Efeito pepita (C_0) é o valor do semivariograma na origem, sua ocorrência é atribuída a erros de amostragem e/ou análises (PEREIRA, 2017; TEIXEIRA, 2013).

Figura 1: Esquema de um semivariograma experimental



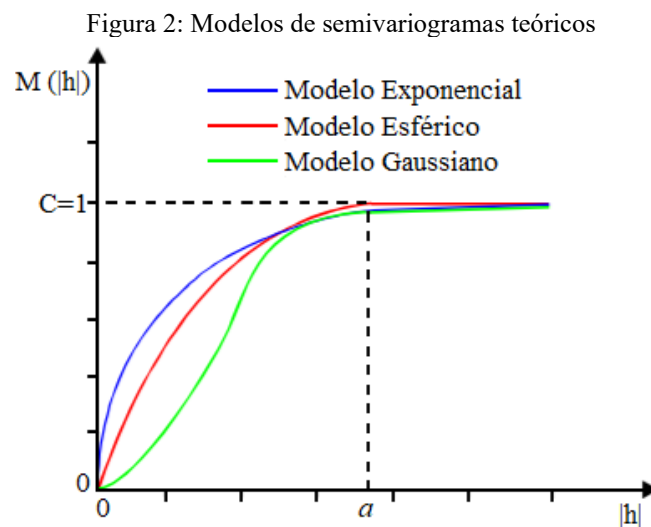
Fonte: Camargo (1998)

O conjunto de dados que compõem o semivariograma experimental não são, de fato, utilizados para os cálculos subsequentes de estimativa, sendo necessário serem ajustados por modelos matemáticos contínuos por duas razões principais: cálculos geoestatísticos de

estimativa e de simulação requerem valores de semivariogramas para todas as distâncias e direções possíveis, o que não obtêm-se com semivariogramas experimentais, que possuem valores de semivariograma atribuídos apenas a distâncias específicas, e a segunda razão é que os semivariogramas devem ser positivos, definidos para que as equações de estimativa sejam resolvidas (ROSSI; DEUTSCH, 2014).

3.5.4 Modelos teóricos de semivariogramas

O ajuste semivariográfico pode ser feito de maneira interativa, em programas computacionais, onde o profissional fornece o tipo de modelo e os parâmetros de ajuste, traçando a curva contínua da função matemática juntamente com o conjunto de pontos do semivariograma experimental (PEREIRA, 2017). O ajuste teórico pode ser realizado por uma variedade de modelos matemáticos, dentre eles cita-se o esférico, exponencial e gaussiano (Figura 2), amplamente utilizados em estudos científicos e capazes de explicar a variabilidade da grande maioria dos fenômenos espaciais (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). Além desses modelos, há uma outra classificação denominada de modelo aleatório ou efeito pepita puro (*nugget effect*) (STURARO, 2015).



Fonte: Camargo (1998)

O modelo esférico ou de Matheron é o mais comumente utilizado nas variáveis em geociências. Apresentando um crescimento rápido na origem, onde possui um comportamento linear (ANDRIOTTI, 2004). Sua fórmula matemática é representada pela Equação 2.

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0, & \text{se } h = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & \quad \text{se } 0 < h \leq a \\ C_0 + C_1 & \quad \text{se } h > a \end{aligned}$$

Onde, tem-se que: $\gamma(h)$ é a semivariância para um determinado h ; C_0 é o efeito pepita; C_1 é a contribuição; a é o alcance; h são os valores das distâncias.

Já o modelo exponencial ou de Formery apresenta o patamar atingido pela função assintoticamente, ou seja, quando h tende a infinito (ANDRIOTTI, 2004). Sua fórmula matemática é representada pela Equação 3.

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0, & \text{se } h = 0 \\ [1 - e^{-3(h/a)}]C_0 + C_1 & \text{se } h \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

Enquanto o modelo gaussiano ou de Gauss: é utilizado frequentemente para modelar fenômenos extremamente contínuos (ANDRIOTTI, 2004). Sua fórmula matemática é representada pela Equação 4.

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0, & \text{se } h = 0 \\ [1 - e^{-3(h/a)^2}]C_0 + C_1 & \text{se } h \neq 0 \end{cases} \quad (4)$$

Tem-se ainda o modelo aleatório ou efeito pepita puro, também denominado como um modelo sem dependência espacial, onde a variável não apresenta estrutura espacial ou um semivariograma bem definido (OLIVEIRA et al., 2015). Ramírez (2009) corrobora afirmando que esse efeito é representativo de fenômenos naturais de elevada descontinuidade e possui um gráfico apresentado por uma reta paralela ao eixo das abcissas cortando o eixo da semivariância.

O modelo semivariográfico resultante do ajuste ao conjunto de pontos experimentais é adequado e representa a interpretação da estrutura de correlação espacial, sendo necessário para a realização de procedimentos inferenciais da krigagem, ou seja, a estimativa do valor da variável regionalizada em locais não amostrados, seja pontual ou em um dado volume (YAMAMOTO, 2001; DALL'AGNOL et al., 2018).

3.5.5 Krigagem

Na fase da inferência, a estimativa dos valores da variável em pontos não amostrados é feita por um processo de interpolação linear, não tendencioso e de variância mínima, genericamente conhecido como krigagem, a qual utiliza uma média ponderada dos valores na vizinhança para estimar o valor “desconhecido” em uma dada posição. Os pesos são otimizados usando o semivariograma, considerando a localização dos pontos amostrais, bem como a interrelação relevante entre os valores conhecidos e não conhecidos da variável (BAGNARA, 2010). Em outras palavras, segundo Pereira (2017), um estimador pode ser uma fórmula ou procedimento, utilizando-se dos dados amostrais conhecidos, encontra um valor representativo (estimado) em um local não amostrado. Esse procedimento de estimativa, de forma geral, baseia-se na combinação linear de amostras disponíveis.

Um outro conceito, mais técnico, abordado por Mello e Oliveira (2016), retratam a krigagem como método univariado de inferência espacial que usa a dependência no espaço expressa no semivariograma entre amostras vizinhas para estimar valores em qualquer posição da área de estudo, sem tendência e com variância mínima, tornando-se um ótimo estimador. Dessa forma, segundo Dall’Agnol et al. (2018), o desempenho de krigagem pode ser influenciado pela variabilidade e estrutura espacial dos dados e pela escolha do modelo de semivariograma, o raio de busca e o número dos pontos vizinhos mais próximos que são utilizados nas estimativas.

A krigagem é um termo genérico associado a um conjunto de métodos de estimação, cujo os mais usuais incluem a krigagem simples e ordinária, e entre os métodos não lineares destaca-se a krigagem indicativa (LANDIM, STURARO, 2002). Suas principais diferenças estão no tipo de variável modelada e nas hipóteses subjacentes ao modelo conceitual (LANDIM, 2003).

A krigagem simples utilizada quando a média é assumida como estatisticamente constante para toda a área (LANDIM, STURARO, 2002). Dessa forma, a média das variáveis regionalizadas são conhecidas e a média da população é utilizada para cada estimação local, em conjunto com os pontos vizinhos estabelecidos como necessários para a estimação (ANDRIOTTI, 2002).

Para sua estimativa, utiliza-se a Equação 4:

$$z^*(x_0) = m + \sum_{i=1}^n \lambda_i [z(x_i) - m] \quad (4)$$

Sendo z^* , o valor a ser estimado no ponto não amostrado x_0 ; m é a média que supõe-se que é conhecida; n , o número de valores medidos $z(x_i)$ envolvidos na estimativa e λ_i os pesos associados a cada valor medido $z(x_i)$ (VICENTE et al., 2018; HORNBURG, 2015).

Enquanto, a krigagem ordinária viabiliza a predição e os erros padrões da predição para os pontos não amostrados, e não requer o prévio conhecimento da média (OLIVEIRA et al., 2015). Para Pereira (2017), a krigagem ordinária é mais precisa que a krigagem simples quando não se tem uma grande disponibilidade de informações amostrais. Sausen et al. (2018) corroboram afirmando que a krigagem ordinária utiliza médias locais ou tendências locais estimadas a partir dos elementos amostrais vizinhos, ao invés de uma única média estacionária.

Para sua estimativa, é necessária a aplicação da Equação 5:

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (5)$$

A krigagem ordinária é considerada por Sturaro (1988) como o melhor estimador linear sem viés, em função das seguintes características: linear (as estimativas são feitas através de uma combinação linear dos dados), sem viés (o método objetiva que o erro residual médio seja igual a zero) e melhor estimador (o método objetiva minimizar a variância dos erros).

Por sua vez, a krigagem indicativa é um procedimento de estimativa aplicado a variáveis binárias, onde os valores das variáveis situam abaixo ou acima de um determinado nível de corte (PITOMBO, 2016), definindo áreas para que um determinado evento ocorra. Para Oliveira et al. (2015), uma vantagem importante deste método é a possibilidade de se modelar dados temáticos qualitativos, além dos dados de natureza numérica.

O primeiro passo na krigagem indicativa é transformar os dados originais em indicadores, ou seja, transformar os valores que estão acima de um determinado nível de corte em 0 e os que estão abaixo em 1, ou vice-versa (LANDIM, 2003). Para sua estimativa, é necessária a aplicação da Equação 6:

$$I[z(x_i); z_k] = \begin{cases} 1, & \text{se } z(x_i) \leq z_k \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (6)$$

Segundo Landim e Sturaro (2002), a krigagem indicativa é um dos mais simples e amigáveis, visto que os semivariogramas indicativos são os mais fáceis de modelar.

3.6 ESTUDOS UTILIZANDO GEOESTATÍSTICA APLICADA A RECURSOS HÍDRICOS

A importância da geoestatística consiste no conjunto de modelos desenvolvidos para a solução de cenários problemáticos reais, relacionados com a caracterização de processos espaciais, tanto naturais como desencadeados pela ação antrópica, e a sua aplicação tem tido grande êxito em razão da solução de diferentes problemas práticos, bem como da valorização e planejamento de recursos naturais (BAGNARA, 2010).

A análise da distribuição e dependência espacial têm permitido identificar áreas de maiores riscos de concentração de contaminantes associadas aos recursos hídricos. Por meio da integração de modelos geoestatísticos, é possível propor políticas públicas mais eficientes, e apoiar de forma mais efetiva a gestão desses recursos. Sendo assim, diversos estudos têm demonstrado a aplicação da geoestatística em pesquisas ambientais.

Vicente et al. (2018) propuseram, em seu estudo, a variabilidade espaciais e temporais das concentrações do nitrogênio nitrato (N-NO_3) e do cloreto (Cl^-) na área de abrangência do Sistema Aquífero Bauru, no estado de São Paulo, diante da possibilidade de contaminação por diferentes tipos de poluentes. Constatou-se uma presença de N-NO_3 acima do valor limite estabelecido pelo MS e um real indicativo de possíveis problemas com poluição.

Já Moraes e Araújo (2015) realizaram uma análise espacial da concentração de STD em águas subterrâneas da região norte do Piauí, destinadas ao abastecimento público. Em seu estudo, os autores constataam uma elevada concentração de STD associadas as características geológicas e regiões litorâneas. A utilização de técnicas de estimação espacial utilizadas neste estudo pode auxiliar no processo de regulamentação da abertura de novos poços.

Estudos recentes com essa temática também foram abordados em regiões fora do Brasil. Dessa forma, refere-se a pesquisa realizada por Kayode et al. (2018), em que realizaram análise geoestatística da qualidade da água subterrânea em torno de um lixão municipal localizado na área de Oke-Afa, no estado de Lagos, na Nigéria. As amostras consistiram em parâmetros de pH, turbidez, salinidade, condutividade, hidrocarboneto total, STD, oxigênio dissolvido, cloreto, sulfato, nitrato e fosfato, e foram comparadas com o padrão de água potável da Organização Mundial da Saúde (OMS). Como resultados, obtiveram que a turbidez, STD, cloreto e condutividade de algumas das amostras estavam acima dos limites aceitáveis da OMS.

Outro exemplo, é o trabalho realizado por Kavurmaci (2016), onde realizou-se na cidade de Aksaray na Turquia, por meio de métodos geoestatísticos, o desenvolvimento de um modelo

para estimar a qualidade da água e identificar as regiões mais adequadas com base na boa qualidade da água. O estudo forneceu, além da determinação da distribuição espacial da qualidade das águas subterrâneas, uma identificação das possíveis situações que afetam a qualidade dos mananciais subterrâneos na região.

4. METODOLOGIA

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A abordagem da pesquisa classifica-se como sendo quali-quantitativa. A pesquisa qualitativa atribui significado aos dados obtidos e interpreta os fenômenos envolvidos. Já, a pesquisa quantitativa, requer o uso de recursos e técnicas de estatística, procurando traduzir em números os conhecimentos gerados pelo pesquisador (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Quanto aos objetivos, classifica-se como explicativo, uma vez que busca a identificação de fatores que contribuem para a ocorrência de riscos de contaminação que possibilitem o comprometimento da qualidade da água subterrânea na área de estudo. Para Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa explicativa visa identificar o porquê da ocorrência dos fenômenos.

Quanto aos seus procedimentos, a pesquisa classifica-se como um levantamento de campo (*survey*), visto que por meio dos dados obtidos é possível a realização de uma análise estatística do fenômeno estudado, como também classifica-se como um estudo de caso, tendo em vista que utiliza ferramentas de modelagem geoestatística para a caracterização da variabilidade espacial da qualidade da água subterrânea destinada para fins de consumo humano das comunidades rurais da Chapada do Apodi/RN. Segundo Gil (2008), o estudo de caso permite o conhecimento amplo e detalhado de um determinado fenômeno dentro do seu contexto real.

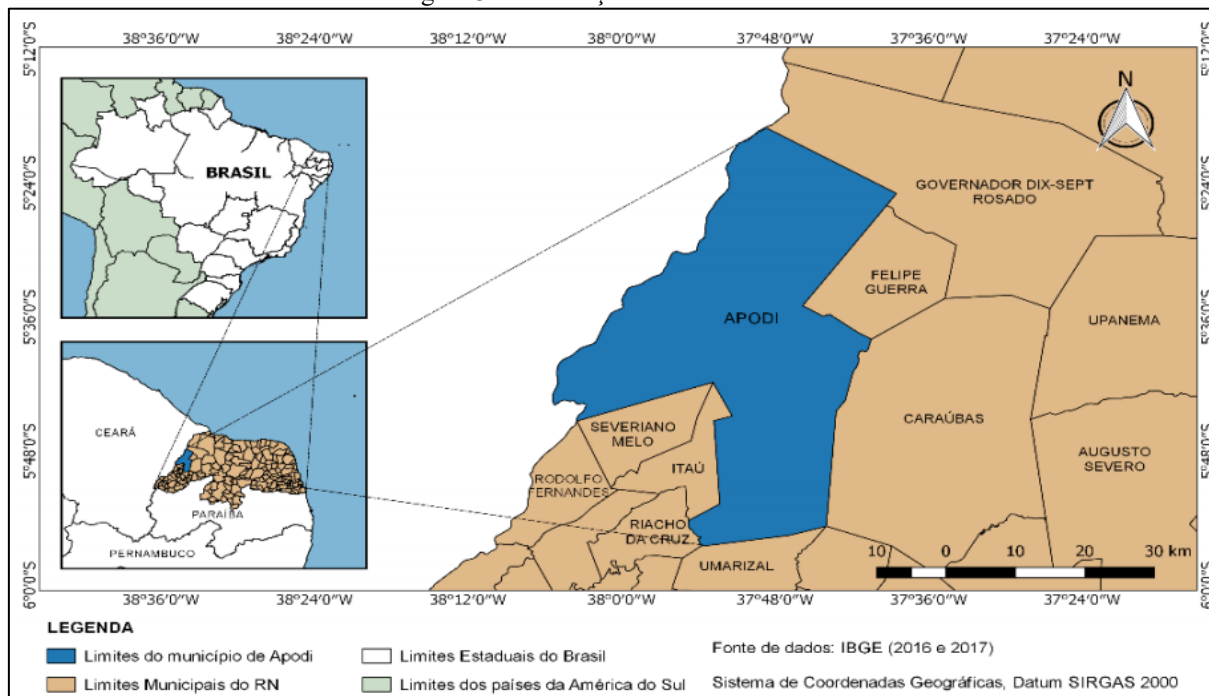
Quanto aos métodos utilizados para a coleta de dados, se baseiam nas análises físico-químicas e biológicas, observação dos fenômenos na área de estudo e levantamento de fontes secundárias por meio de fundamentação teórica (GUILHOTO, 2002).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A microrregião da Chapada do Apodi situa-se na mesorregião do Oeste Potiguar, e compreende os municípios de Apodi, Baraúna, Felipe Guerra e Governador Dix-Sept Rosado pertencente ao estado do Rio Grande do Norte, como também os municípios do estado do Ceará, sendo eles, Alto Santo, Jaguaruana, Limoeiro do Norte, Quixeré e Tabuleiro do Norte. No entanto, para o presente trabalho se restringe apenas a microrregião da Chapada do Apodi no estado do RN (Figura 3), especificamente as comunidades rurais do município de Apodi/RN, tendo em vista que nessa área há um conflito socioambiental representado pelos modelos de produção agrícola do agronegócio e da agricultura familiar pelos recursos naturais existentes

no território, o que pode favorecer em impactos socioambientais nas comunidades e entorno (PINTO, 2018).

Figura 3: Localização da área de estudo



Fonte: Pinto Filho, Gonçalves e Lunes (2019)

Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019a), o município em questão possui uma população estimada em 35.845 habitantes para o ano de 2019, distribuída em uma área territorial de 1.602,477 km², dos quais 52% dos indivíduos encontram-se na zona rural. As projeções elaboradas pelo IBGE (2019a) mostram um crescimento moderado, se comparado com a população dos demais municípios do RN.

Segundo dados do Sindicato dos Trabalhadores e Trabalhadoras Rurais de Apodi (STTRA, 2013), na área habitam um total de 1.649 famílias, distribuídas em 55 comunidades que possuem aspectos culturais, históricos e socioeconômicos distintos (PONTES et al., 2013), que se encontram próximas a zona urbana do município de Apodi/RN. Metade da população do município reside no campo, fator proveniente, principalmente, do processo histórico protagonizado pelos familiares agricultores através da luta pela reforma agrária (PINTO, 2018).

A economia do município tem como principal fonte de trabalho e renda as atividades do meio rural, como agricultura, pecuária e extrativismo, mas também possui um potencial para o turismo ecológico (MARTINS et al., 2006). Corroborando com essa informação, de acordo com Pinto Filho e Lunes (2019), atualmente a região vem consolidando o modelo de agronegócio baseado na agricultura irrigada, oportunizando o surgimento de impactos positivos, por meio

da geração de emprego e renda, desenvolvimento local e regional, como também projeção da região no cenário nacional.

Visando uma nova forma de convivência com o semiárido, outras atividades econômicas que merecem destaque e que são voltadas para a segurança alimentar das famílias camponesas e da população das cidades, a citar: a caprinocultura, os cultivos agroecológicos, a piscicultura e a pesca artesanal, a captação de recursos hídricos subterrâneos, a apicultura e outros arranjos produtivos (PINTO, 2018; GALINDO et al., 2017). Dessa forma, o dinamismo econômico na Chapada do Apodi favorece, além da difusão do agronegócio, o crescimento de atividades turísticas e agroindústrias, como também a expansão de comércios e serviços especializados.

A região onde estão inseridas as comunidades rurais apresenta classificação climática de Köppen-Geiger, do tipo BSw'h', isto é, muito quente e semiárido (ALVARES et al., 2013), com variações de temperatura entre 21 °C e 36 °C e umidade relativa média anual de 68% (IDEMA, 2008). Segundo Araujo et al. (2018), o município possui uma precipitação média anual de 920 mm, marcado por distribuições irregulares.

A vegetação típica da região é a caatinga hiperxerófila, que apesar dessa característica, apresenta dominância de espécies herbáceas e arbóreas de porte alto. Embora possua uma importância biológica considerável, diante da diversidade de recursos naturais presentes nessa área, a fragilidade é um fator presente em decorrência da elevada pressão antrópica por meio da agricultura, desmatamento e uso de agrotóxicos (GIULIETTI et al., 2004), impactos adversos que são evidenciados na região diante da expansão do modelo de agronegócio (PINTO FILHO; LUNES, 2019).

Com relação aos solos, constata-se as classes de solo de maiores expressões como sendo Cambissolo, Neossolo e Chernossolo, com presença também de solos como Latossolo, Luvisolo, Vertissolo e Argissolo (IBGE, 2019b). Segundo Gondim (2018), apesar da região destacar-se por ser considerada um polo de exploração agrícola, há poucos estudos realizados na região quanto à sua pedologia, mas sabe-se que há uma malha de solos que possuem características satisfatórias para cultivos agrícolas, que são eles: argissolos, cambissolos e latossolos. Corroborando com essa informação, Ferreira (2013) afirma que esses solos constituem uma das mais importantes áreas sedimentares e de terras cultiváveis, onde foi implementado o Projeto de Irrigação da Chapada do Apodi, constituído por empresas que produzem frutas tropicais.

Os solos da área de estudo são ideais para a exploração de cultivos de maior produtividade e rentabilidade e possuem características como boa drenagem, textura argilosa e alta fertilidade natural, com características físicas, químicas e mineralógicas bem distintas, o

que implica em manejos diferenciados (MOTA et al., 2007; ROCHA et al., 2009). Além da agricultura, principalmente de subsistência, segundo Galindo et al. (2017), a região destaca-se por apresentar atividades econômicas voltadas à mineração.

Seu relevo apresenta menos de 100 metros de altitude (GALINDO et al., 2017), destacando-se pelas formas de chapada do Apodi, depressão sertaneja setentrional e superfície rebaixada do vale do rio Açu (IBGE, 2019b). Depressão sertaneja são terrenos baixos situados entre as partes mais altas da chapada e caracterizam-se por apresentar ondulações suaves e baixa declividade. A Chapada do Apodi é uma formação predominantemente plana ou suavemente ondulada, estruturada em geologia cárstica, enquanto as superfícies rebaixadas são terrenos com declividade variando de plano a suavemente ondulada, sobrepostos à formação Arenito-Açu, com presença de vales associados às drenagens superficiais (SANTANA JÚNIOR, 2010).

Quanto a sua geologia, a região destaca-se pelo Grupo Apodi, representado pelas formações Açu, Quebradas e Jandaíra (OLIVEIRA et al., 2012).

A região está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró (BHRAM), sendo contemplada pelos aquíferos Arenito-Açu e Jandaíra, bem como dos reservatórios superficiais da Barragem de Santa Cruz e Lagoa do Apodi (SOARES et al., 2019). Ainda assim, a principal origem de água para as atividades antrópicas advém do aquífero Jandaíra (superior livre), explorado a partir de poços tubulares de profundidades relativamente baixas, fornecendo vazões em quantidade suficiente para atender à demanda (OLIVEIRA et al., 2012). Conforme Militão et al. (2016), hidrogeologicamente, a Formação Jandaíra possui caráter de um aquífero com elevado potencial e água de qualidade adequada, mas que devido à escassez provocada pela irregularidade pluviométrica na região e uma má gestão de recursos hídricos, o sistema vem sendo afetado.

4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para investigar a problemática da área de estudo, foi utilizada a aplicação de ferramentas de mapeamento e modelagem geoestatística para caracterização da distribuição espacial dos parâmetros de qualidade físico-químicos e biológicos da água de abastecimento hídrico para consumo humano nas comunidades rurais da Chapada do Apodi, especificamente no município de Apodi/RN, de forma a identificar áreas de potenciais riscos de contaminação desses recursos hídricos na localidade, para justificar a necessidade de ações gerenciais que visem a conservação dos recursos hídricos. A seguir, serão descritos os procedimentos metodológicos que serão utilizados na realização desse estudo.

4.3.1 Coleta das amostras

O processo de amostragem do presente estudo utilizou-se como fonte os dados referentes ao ano de 2018 da Unidade Básica de Saúde (UBS), que constatou um total de 1.649 domicílios nas comunidades rurais pertencentes à região investigada. Dessa forma, foi realizada, de forma aleatória, um sorteio de 10% das residências, ponderando que uma amostra igual ou superior a 25 residências será sempre considerada significativa (BOLFARINE; BUSSAB, 2005). Sendo assim, as amostras foram coletadas em 186 domicílios distribuídas proporcionalmente entre as comunidades rurais investigadas. Com isso estabeleceu-se uma amostragem não probabilística, representando mais de 10% do total da população local.

Optou-se por trabalhar com a espacialização das coordenadas de cada comunidade, considerando a proximidade entre as residências. Sendo assim, realizou-se uma média estatística para as 186 amostras de água, de forma a condensar os dados para as 55 comunidades da região.

No Quadro 1 e Figura 4 são apresentadas as coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM) em SIRGAS 2000 das comunidades rurais da Chapada do Apodi/RN para a realização desta pesquisa, que foram georreferenciados com um receptor *Global Positioning System* (GPS) de navegação da marca Garmin, modelo Etrex Vista, com erro médio de 03 metros, não comprometendo a validação dos produtos obtidos na escala cartográfica do trabalho.

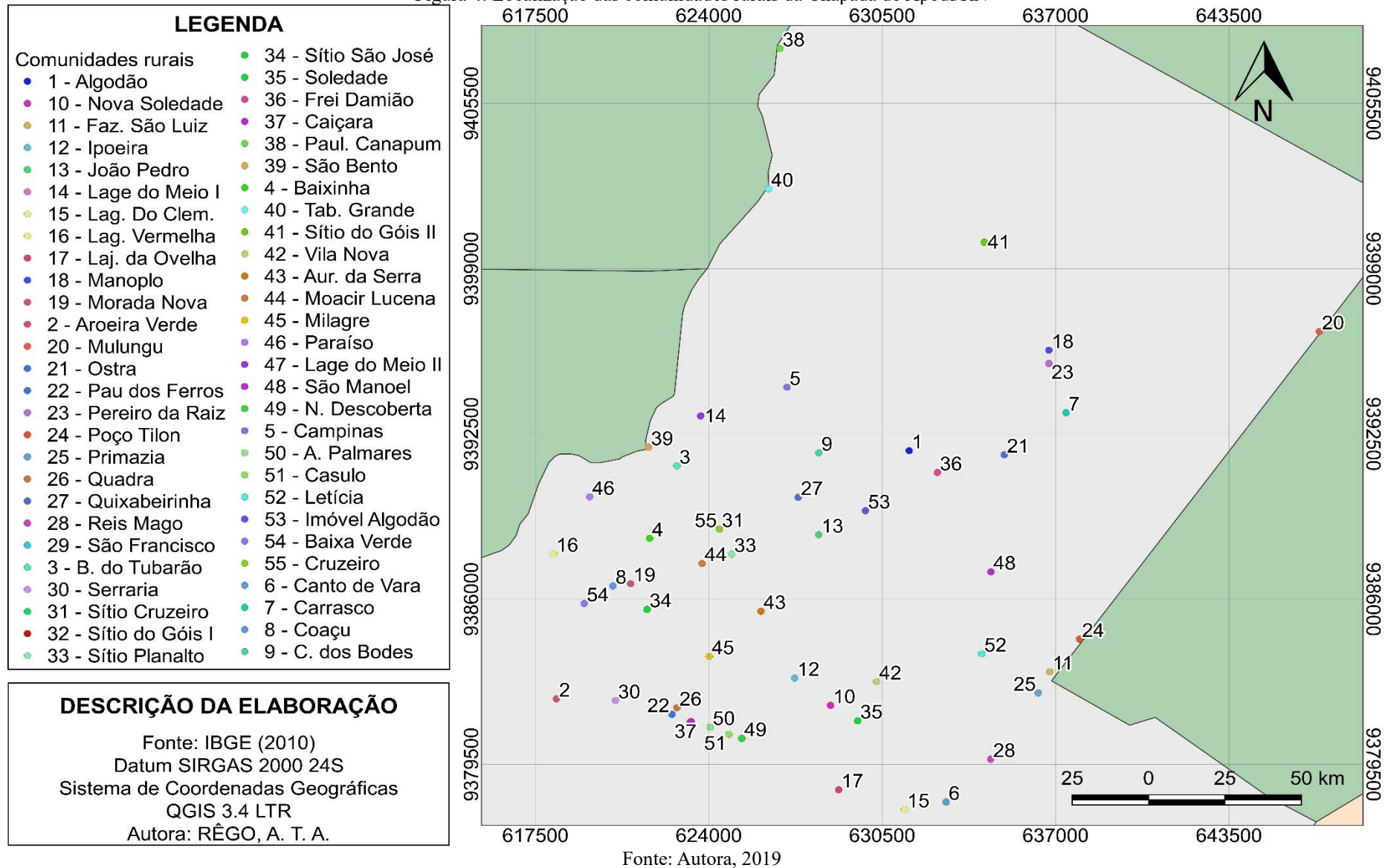
Quadro 1: Localização em coordenadas UTM das comunidades rurais da Chapada do Apodi/RN

COMUNIDADES	COORDENADAS UTM		COMUNIDADES	COORDENADAS UTM	
	LONGITUDE	LATITUDE		LONGITUDE	LATITUDE
Algodão	631513,07	9391843,29	São Francisco	623306,98	9381171,47
Aroeira Verde	618291,46	9382079,70	Serraria	620506,1	9382014,22
B. do Tubarão	622802,77	9391245,79	Sítio Cruzeiro	624398,32	9388755,17
Baixinha	621781,97	9388391,52	Sítio do Gois I	634322,43	9400042,18
Campinas	626932,41	9394339,88	Sítio Planalto	624858,04	9387771,53
Canto de Vara	632900,65	9378019,90	Sítio São José	621684,47	9385596,97
Carrasco	637394,24	9393336,27	Soledade	629584,05	9381220,70
Coaçu	620407,94	9386522,20	Frei Damião	632569,08	9390982,15
C. dos Bodes	628127,68	9391757,79	Caiçara	623338,08	9381184,62
Nova Soledade	628567,99	9381822,21	Paul. Canapum	625585,92	9408152,52
Faz. São Luiz	636788,30	9383140,86	São Bento	621601,77	9392302,63
Ipoeira	627221,14	9382898,24	Tab. Grande	624771,36	9403263,52
João Pedro	628121,42	9388533,05	Sítio do Góis II	634322,43	9400042,18

Lage do Meio	623698,88	9393209,65	Vila Nova	630294,83	9382754,89
Lag. Do Clem.	631342,24	9377726,1	Aur. da Serra	625961,55	9385527,46
Lag. Vermelha	618180,52	9387783,87	Moacir Lucena	623749,55	9387405,08
Laj. da Ovelha	628868,80	9378503,17	Milagre	624019,58	9383749,90
Manoplo	636752,99	9395794,62	Paraíso	619538,55	9390023,32
Morada Nova	621070,92	9386611,58	Lage do Meio	623698,88	9393209,65
Mulungu	646895,01	9396531,66	São Manoel	634580,85	9387076,67
Ostra	635082,66	9391682,54	N. Descoberta	625237,73	9380522,22
Pau dos Ferros	622624,78	9381470,97	A. Palmares	624052,44	9380968,28
Pereiro da Raiz	636751,92	9395272,5	Casulo	624754,97	9380683,16
Poço Tilon	637898,79	9384428,47	Letícia	634235,74	9383852,55
Primazia	636355,77	9382312,52	Imóvel Algodão	629877,36	9389481,68
Quadra	622805,27	9381730,45	Baixa Verde	619327,22	9385828,26
Quixabeirinha	627354,94	9390008,7	Cruzeiro	624398,32	9388755,17
Reis Mago	634565,66	9379705,66			

Fonte: Autora, 2019

Figura 4: Localização das comunidades rurais da Chapada do Apodi/RN



A realização das análises da qualidade de água se deu com o emprego dos parâmetros físico-químicos e biológicos nos períodos que compreendem de janeiro à março de 2018, em sua maioria, por meio da captação de poços subterrâneos, e para aqueles em que houve restrições para coleta das amostras, foram retiradas de reservatórios das residências (cisternas e caixas-d'água) destinados para consumo humano. A metodologia de amostragem foi baseada na *American Public Health Association* (APHA, 1995), por meio da sonda de multiparâmetro modelo HORIBA U-50, que permitiu quantificar em tempo real o potencial Hidrogeniônico (pH), turbidez (NTU), temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg/L), condutividade elétrica (mS/cm), sólidos totais dissolvidos (mg/L), salinidade (ppt) e potencial de Oxirredução (mV). As análises dos parâmetros biológicos de coliformes totais (UFC/100mL), coliformes termotolerantes do tipo *E. coli* (UFC/100mL) foram realizadas em laboratório comercial.

4.3.2 Análise da qualidade da água

Os resultados das variáveis analisadas foram confrontados com os seguintes padrões normativos de referência para qualidade da água:

- Resolução CONAMA nº 357/2005, que “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”;
- Resolução CONAMA nº 396/2008, que “dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências”, e;
- Portaria MS nº 5/2017, que dispõe sobre a “consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.”.

As legislações têm como objetivo verificar se os valores obtidos se encontram nos limites estabelecidos. E para os parâmetros que não possuem faixa de valores definidos pelas regulamentações, procedeu-se comparação com a aspectos técnicos e científicos da literatura.

4.3.3 Tratamento estatístico

Com os resultados obtidos foi realizada análise descritiva, com o auxílio da estatística clássica simples, utilizando o programa Microsoft Excel versão 2016 e *Surface Mapping System Surfer* versão 11, onde foram determinadas as medidas estatísticas clássicas: média, mediana,

valores mínimo e máximo, desvio padrão, coeficientes de variação, de assimetria e de curtose, variância, quartil 1º e 3º.

Após o tratamento estatístico, com a finalidade de avaliar as interações entre os pares de parâmetros estudados, foi construída uma matriz de correção linear de Pearson, composta de 10 variáveis processadas por meio do programa Microsoft Excel versão 2016, de forma a identificar as correlações significativas de interesse (KAYODE, 2018). Para Rocha e Pereira (2016), a principal razão para se usar a matriz de correlação é a de eliminar o problema de escala e unidades diferenciadas em que as variáveis são medidas, uma vez que seu resultado é um número adimensional.

A importância linear das variáveis na correlação é determinada pelos intervalos dos coeficientes que variam de -1 a 1, sendo que o sinal, negativo ou positivo, indica a direção, enquanto que o valor indica a magnitude da correlação. Para a sua classificação quanto a sua magnitude consideram-se valores entre $0 \leq r < 0,10$ (nulos), entre $0,10 \leq r < 0,30$ (fracos); entre $0,4 \leq r < 0,6$ (moderados); e valores entre $0,7 \leq r \leq 1,0$ (fortes), sendo eles negativos ou positivos (OLIVEIRA et al., 2018).

Realizou-se também a construção de histogramas para verificar se a distribuição dos dados se ajusta a uma distribuição normal. Para Bruzzi (2019), os histogramas possuem caráter preliminar e auxiliam como um importante indicador de distribuição de dados, e a análise visual desses gráficos configuram-se como metodologias descritivas que testam a hipótese de normalidade.

De acordo com Rosa (2017), a verificação da normalidade dos dados não é uma etapa exigida para a geoestatística, mas é desejável que no gráfico de distribuição de frequências, o atributo investigado não apresente extremidades muito alongadas, o que poderia indicar a presença de dados discrepantes (*outliers*), comprometendo as análises. Paz-Gonzalez et al. (2001) afirmam que a estimação por krigagem apresenta melhores resultados quando a normalidade dos dados é satisfeita.

4.3.4 Tratamento geoestatístico

Foram avaliados diferentes modelos matemáticos de semivariogramas para cada um dos parâmetros de qualidade da água subterrânea. Para cada parâmetro foi analisado o modelo mais apropriado (esférico, exponencial e gaussiano) por tentativa e erro, com base no maior valor do coeficiente de determinação espacial (r^2) e na menor soma de quadrados dos desvios (MATIAS et al., 2015). Os semivariogramas de cada atributo obtidos mediante o programa *Gamma Design*

Software GS+ versão 10 e sua classificação de acordo com os intervalos propostos por Cambardella et al. (1994) que considera o grau de dependência espacial (GDE) utilizando a relação $(C_0/C_0+C_1)*100$, onde inferior a 25% (forte), entre 25 e 75% (moderada) e maior que 75% (fraco).

Com o ajuste do semivariograma e a escolha do modelo mais adequado, definiu-se os parâmetros de efeito pepita, alcance e patamar, necessários para a estimativa dos valores em posições não amostradas na área de estudo, por meio das técnicas de interpolação de krigagem ordinária, por se tratar de um método amplamente utilizado devido a sua simplicidade e os resultados que proporcionam. Para uma melhor visualização dos dados de cada atributo empregou-se o *software Surface Mapping System Surfer* versão 11 para criação de cartas temáticas de contorno (isolinhas).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Na Tabela 1 estão apresentados os valores para a análise da estatística descritiva das variáveis físico-químicas e biológicas das amostras de abastecimento hídrico para consumo humano nas comunidades rurais da Chapada do Apodi/RN, com a finalidade de observar a normalidade dos dados.

Tabela 1: Estatística descritiva das variáveis físico-químicas e biológicas das amostras de água nas comunidades rurais da Chapada do Apodi em 2018

Legenda	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	CV	DP	CA	Curtose	Quartil 1º	Quartil 3º
Temperatura (°C)	29,024	29,320	23,750	32,950	2,684	0,055	1,609	-0,354	1,459	28,000	29,920
pH	5,601	5,661	4,340	7,499	0,556	0,131	0,733	0,262	-0,647	4,920	6,119
ORP (mV)	288,272	288,636	200,000	360,000	1.036,420	0,110	31,613	-0,606	0,956	268,333	309,675
CE (mS/cm)	19,282	13,863	4,500	84,333	306,752	0,893	17,214	2,906	7,957	11,860	17,175
Turb (NTU)	15,052	6,194	0,000	150,000	776,305	1,819	27,385	3,261	11,943	0,125	13,450
OD (mg/L)	9,306	9,113	6,480	16,910	2,993	0,183	1,662	1,662	5,917	8,228	10,012
STD (mg/L)	0,288	0,151	0,029	1,247	0,086	1,004	0,289	1,634	1,953	0,100	0,399
Salinidade (ppt)	0,120	0,100	0,000	0,400	0,007	0,685	0,082	1,552	3,286	0,100	0,121
C. Totais (UFC/100 mL)	144,791	133,458	101,000	232,869	1.517,752	0,264	38,286	0,856	-0,456	112,607	174,554
E. coli (UFC/100 mL)	69,305	71,000	43,900	87,000	111,985	0,150	10,394	-0,448	-0,599	62,500	77,500

Fonte: Autora, 2019

Temp: temperatura; pH: potencial Hidrogeniônico; ORP: potencial de oxirredução; CE: condutividade elétrica; Turb: turbidez; OD: oxigênio dissolvido; STD: sólidos totais dissolvidos; C. totais: coliformes totais; CV: coeficiente de variação; DP: desvio padrão; CA: coeficiente de assimetria.

Como observa-se, os parâmetros de pH, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos, coliformes totais e coliformes do tipo *E. coli* apresentaram resultados médios alterados conforme prescreve os padrões normativos de referência para qualidade da água.

O pH médio das amostras coletadas das comunidades rurais da Chapada do Apodi/RN apresentou-se com condição ácida. O pH ácido pode ser resultante de uma característica própria da região, ou ainda do próprio manuseio da população local, visto que na localidade há significativa fragilidade na efetivação dos componentes de saneamento ambiental, no que diz respeito às fossas rudimentares e reservatórios próximos.

Para Sperling (2014), o pH da água pode ter origem natural, sendo proveniente da dissolução de rochas ou absorção de gases atmosféricos, ou origem antropogênica, a partir de despejos domésticos ou industriais, ocasionando danos à saúde pública em valores extremos de

acidez ou alcalinidade. Silva e Oliveira (2014) acrescentam que a composição dos solos e a formação geológica local também justificam os baixos valores encontrados no pH.

Macedo, Mendes e Costa (2018) constataram um pH ácido, entre 4,3 e 5,7, em algumas amostras de poços subterrâneos destinados para abastecimento de populações rurais localizadas no município de Belém, no estado do Pará. Segundo os autores, esses valores podem ser críticos e representam um risco a longo prazo à população que consome esse recurso hídrico, uma vez que a ocorrência de pH ácido pode ocasionar problemas gástricos. Bezerra et al. (2017) evidenciaram um pH abaixo do recomendado em chafarizes com captação de águas subterrâneas em bairros localizados no município de Fortaleza, no estado do Ceará. Medeiros, Lima e Guimarães (2016) também averiguaram em seus estudos, desde a captação até os pontos de consumo, valores de pH com características ácidas em quase a totalidade das comunidades ribeirinhas em dois municípios do estado do Pará.

O valor médio da turbidez, se comparado com os limites exigidos pela Portaria do MS nº 5/2017, encontra-se acima do permitido, tendo como limite até 5 UNT. Admite-se que isto se deve ao fato de que muitos poços da Chapada do Apodi não possuem revestimento e o bombeamento realizado para a coleta de água tende a induzir o carreamento de partículas coloidais existentes no aquífero (ANA, 2010). Além disso, as próprias condições de armazenamento da água e as influências do esgotamento sanitário inadequado em situação de água de carro pipa comprometem a qualidade deste parâmetro. Já, quando comparado com a Resolução CONAMA nº 357/2005, embora tenha sido observado uma flutuação de valores nos dados, o resultado médio apresentado esteve abaixo do limite permitido.

Esse parâmetro se refere ao padrão organoléptico de potabilidade que provocam estímulos sensoriais capazes de afetar a aceitação para consumo humano, mas que não necessariamente implicam risco à saúde, principalmente se a água atende aos outros parâmetros (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012). Segundo a Funasa (2014), a turbidez pode indicar problemas na rede de captação ou falhas no tratamento da água, ou ainda uma presença de nutrientes em excesso.

Bezerra et al. (2018) revelaram que 16,6% das amostras proveniente de poços subterrâneos situados na região de Fortaleza, no estado do Ceará, não atenderam o padrão de potabilidade. Em contrapartida, Coelho et al. (2017) constataram em suas pesquisas valores satisfatórios para o parâmetro de turbidez na comunidade rural da cidade de São Luiz, no Maranhão. Araújo e Bezerra (2018) explicam que valores discrepantes se devem à falta de recarga dos aquíferos subterrâneos, que conseqüentemente elevam a quantidade de sólidos em suspensão presentes na água.

Em relação ao oxigênio dissolvido, é possível observar uma elevação do valor quando comparado com a legislação ambiental, uma vez que a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece uma concentração mínima permitida de até 6 ml/L para águas doces de classe 1, constatando que não há alteração na qualidade das águas pelo parâmetro em questão. Esse fato se deve aos níveis de concentração do oxigênio dissolvido aumentar diante da turbulência da água (NOZAKI et al., 2014), e diante desse motivo, uma justificativa para a situação do presente estudo explica-se pela troca de oxigênio entre a atmosfera e a água armazenada no reservatório de captação.

Segundo estabelecem a Resolução CONAMA nº 396/2008 e a Portaria MS nº 5/2017, a água para consumo humano deve estar ausente de bactérias indicadoras de contaminação fecal. Para Funasa (2014), tolera-se a detecção eventual de coliformes totais, mas requer-se a ausência sistemática de *E. coli*. No entanto, para o presente estudo, verificou-se a presença de ambos nas amostras coletadas. Explica-se, pois, as comunidades rurais da região estudada possuem condições de infraestrutura dos sistemas de abastecimento de água inadequados, bem como a inexistência de um tratamento prévio para consumo do recurso. Bortoli et al. (2018) concordam que esse cenário é recorrente em regiões rurais e decorrem, principalmente, devido ao manejo inadequado dos dejetos de animais e infiltração de fossas que podem comprometer o lençol freático da localidade.

Em estudos realizados por Tavares e Souza (2016), constatou-se a presença de coliformes em 40% de amostras de água para consumo humano nas comunidades de pescadores localizadas no interior do estado da Bahia, revelando que a água consumida em alguns locais, do ponto de vista microbiológica, não estava apropriada para o consumo. Cavalcante (2014) também evidenciou em suas pesquisas que o armazenamento inadequado nas residências e a ausência de medidas de desinfecção elevou a ocorrência de *E. coli* em fontes de água para consumo em uma comunidade rural localizada no semiárido alagoano. Estudos com resultados semelhantes a este também se observam na região semiárida do sul da África, em que McGill et al. (2019) constataram a presença de coliformes fecais nas águas subterrâneas da cidade de Ramotswa, localizada no país Botswana, sugerindo uma contaminação por liberações antropogênicas proveniente de latrinas.

Além disso, merece destaque os valores de desvio padrão, que indica a dispersão dos valores individuais em relação ao valor central do conjunto de dados (VILLEGAS, 2014). Sendo que a Temperatura, pH, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e salinidade indicaram um pequeno valor de desvio padrão, obtendo dessa forma, menor espalhamento entre

os dados. Em contrapartida, os demais dados apresentaram grande dispersão diante dos altos valores de concentrações amostradas nas coletas de água.

Ainda foi realizado uma correlação linear de Pearson entre as 10 variáveis, para uma avaliação das interações entre os pares de parâmetros estudados (Tabela 2). Segundo Sperling (2005), os parâmetros de qualidade de água apresentam correlação entre si e podem sofrer influência da sazonalidade climática e de atividades antrópicas.

Tabela 2: Correlação linear de Pearson das variáveis físico-químicas e biológicas das amostras de água

	Temp	pH	ORP	CE	Turb	OD	STD	Salinidade	C. Totais	E. coli
Temp	1,000									
pH	-0,013	1,000								
ORP	0,052	0,116	1,000							
CE	0,098	-0,040	0,188	1,000						
Turb	-0,274	0,023	0,024	-0,072	1,000					
OD	-0,069	0,039	0,264	0,118	0,516	1,000				
STD	0,441	0,483	-0,116	-0,019	-0,235	-0,128	1,000			
Salinidade	0,076	0,432	-0,055	0,314	-0,073	-0,128	0,239	1,000		
C. Totais	-0,275	-0,031	-0,083	-0,267	0,004	-0,335	-0,005	-0,316	1,000	
E. coli	-0,128	-0,228	0,079	0,081	0,145	0,026	-0,179	-0,195	-0,059	1,000

Fonte: Autora, 2019

Para valores positivos e/ou negativos, os elementos em cor azul representam uma correlação nula ($0 \leq r < 0,10$), cor verde representam uma correlação fraca ($0,10 \leq r < 0,30$), cor amarelo representam uma correlação moderada ($0,4 \leq r < 0,6$) e cor laranja representam uma correlação forte ($0,7 \leq r \leq 1,0$), conforme classificação proposta por Oliveira et al. (2018).

A matriz de correlação não indicou correlações elevadas entre as variáveis independentes. Assim, constata-se uma moderada correlação entre os sólidos totais dissolvidos e temperatura (0,441), sólidos totais dissolvidos e pH (0,483), salinidade e pH (0,432) e oxigênio dissolvido e turbidez (0,516).

A correlação entre a variáveis STD e temperatura tem-se uma justificativa de a temperatura é um parâmetro que permite determinar se há poluição térmica pela descarga de efluentes (SPERLING, 2014), ou ainda pode refletir em razão do regime climático normal da região (MENEZES et al., 2016). Além disso, a temperatura pode influenciar em processos biológicos, reações químicas e bioquímicas que ocorrem na água e outros processos como solubilidade dos gases dissolvidos e aumento total de sólidos dissolvidos (STELLATO, 2017). Outro fator que justifica a correlação entre STD e temperatura, é a influência da temperatura na solubilidade de substâncias químicas na água (FUNASA, 2014).

Quanto a correlação entre as variáveis salinidade e pH, Ajdary e Kazemi (2014) e Silva et al. (2017) pressupõem estar associado ao aumento de concentrações de sais na água subterrânea. Neves et al. (2017) complementam ao afirmarem que o elevado teor de sais

dissolvidos em comunidades rurais do Nordeste brasileiro é devido à escassez hídrica. Além disso, de acordo com Oliveira et al. (1998), em áreas rurais a água percolada do excesso de irrigação também contribui substancialmente para a qualidade da água subterrânea em termos de concentração de sais, agravando-se, ainda mais, em situações onde a utilização de fertilizantes agrícolas é intensificada pela ação do homem.

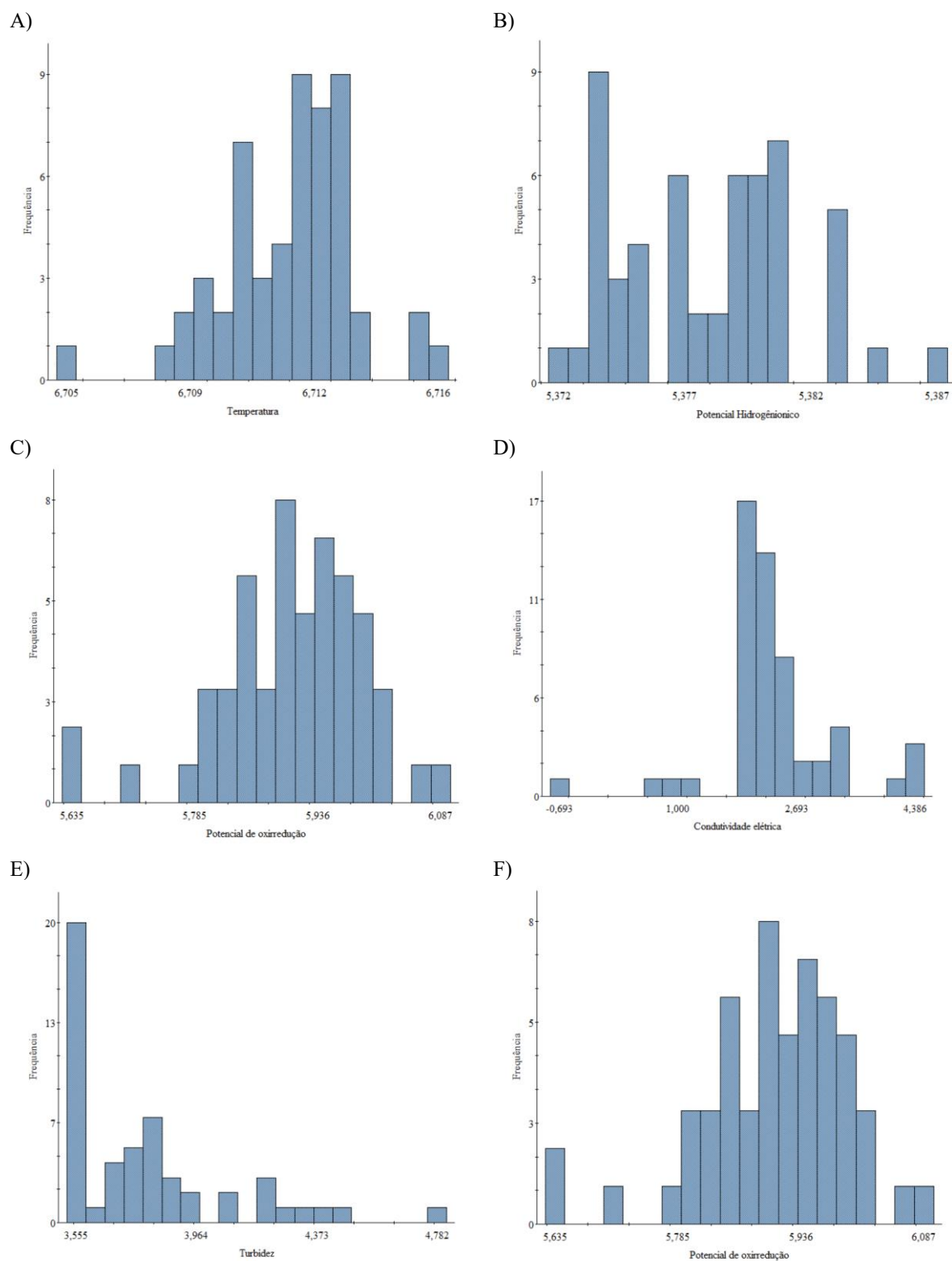
Os sólidos totais dissolvidos incluem todos os sais e componentes não iônicos, e seus principais constituintes podem ser encontrados por meio dos processos de intemperismo que geram produtos que são encontrados nos corpos da água na forma iônica (PIRATOBA et al., 2017). Dessa forma, de acordo com Menezes et al. (2014), o processo de intemperismo das rochas contribui para a acidez da água, uma vez que a sua liberação por meio de rochas cristalinas favorece a lixiviação de óxidos de silício, alumínio, ferro, cálcio, sódio, magnésio e potássio. A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2015) complementa afirmando que a captação de água em aquíferos rasos, de fluxos locais e de rápido tempo de trânsito, percola material intemperizado, resultando em águas de baixa mineralização e de pH ácido.

Sperling (2005) explica que o fenômeno da turbidez, decorrente especialmente pela descarga de efluentes não tratados em corpos hídricos, impede a penetração de luz nas camadas mais inferiores e conseqüentemente diminui a quantidade de oxigênio disponível no meio aquático. Segundo Shein et al. (2016), o índice de turbidez ainda correlaciona-se com a presença de partículas em suspensão na água.

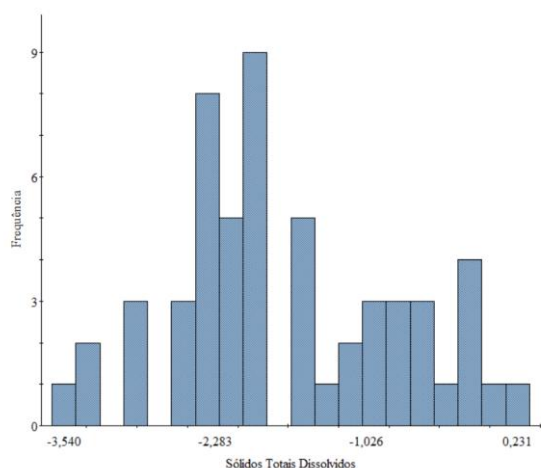
Verificou-se que todos os parâmetros não apresentaram normalidade por destacar valores de assimetria e curtose distantes o suficiente de 0 e 3, respectivamente, conforme Tabela 1, e, portanto, são considerados como distribuições anormais, conforme sugere Andriotti (2004), e necessitam ser adequados quanto a sua transformação. Segundo Bagnara (2010), quando não observada a normalidade dos dados ou afastamento da distribuição normal, procedimentos como a transformação de dados podem ser adotados para que a variável atenda as hipóteses básicas de análise.

Dentre as transformações conhecidas, a transformação logarítmica visa a normalização dos dados e é frequentemente adotada em estudos geoestatísticos (TEIXEIRA et al., 2011), oferecendo uma possibilidade de reduzir a assimetria e curtose da distribuição de dados (RIBON et al., 2017). As transformações logarítmicas dos dados são apresentadas em histogramas constatados na Figura 5.

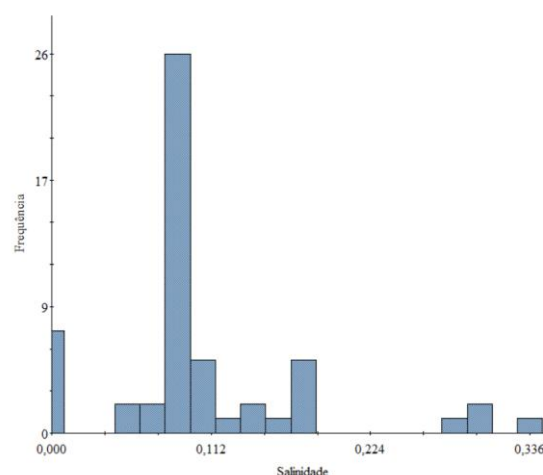
Figura 5: Distribuição de frequência dos dados com transformação logarítmica: A) temperatura; B) potencial Hidrogeniônico; C) potencial de oxirredução; D) condutividade elétrica; E) turbidez; F) oxigênio dissolvido; G) sólidos totais dissolvidos; H) salinidade; I) coliformes totais; J) *E. coli*.



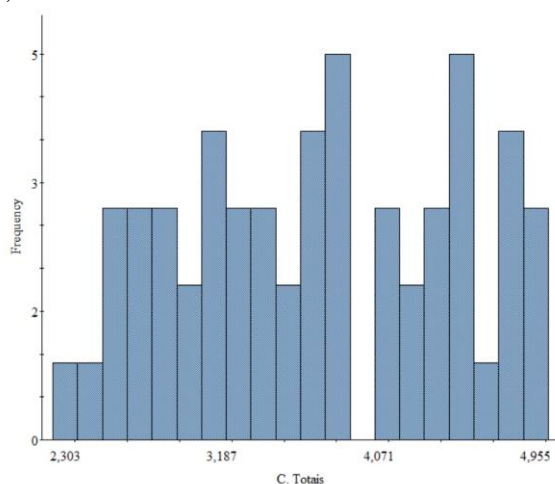
G)



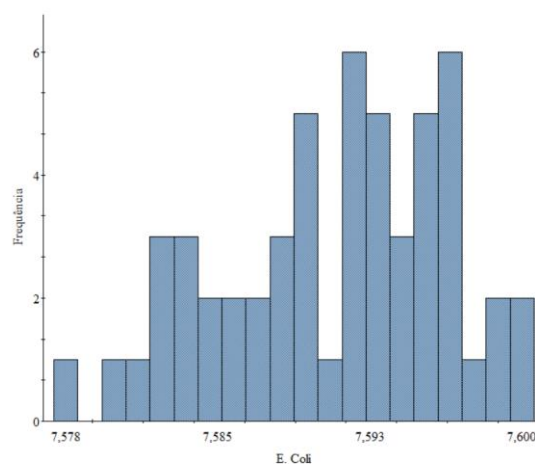
H)



I)



J)



Fonte: Autora, 2019

Afirma-se que, embora haja uma presença significativa de pontos discrepantes na distribuição de dados em todas as variáveis, a transformação logarítmica proporcionou uma melhor correção dos valores de assimetria e curtose dos dados originais. Para Yang et al. (2018), os histogramas transformados são possíveis de apresentar distribuições normais de modo que simultaneamente também seja identificado valores extremos em alguns dados em decorrências das concentrações das amostras.

Os valores de *outliers* obtidos são valores extremos que eventualmente representam valores errados, anomalias ou dados estranhos (ASSUNÇÃO, 2017), e apesar de estarem associados à erros de digitação e de aferição instrumental, além de falta de precisão dos aparelhos utilizados durante as mensurações (MIOT, 2019), indicando um fator natural ou influência de agentes pontuais de contaminação (IBRAHIM et al., 2016).

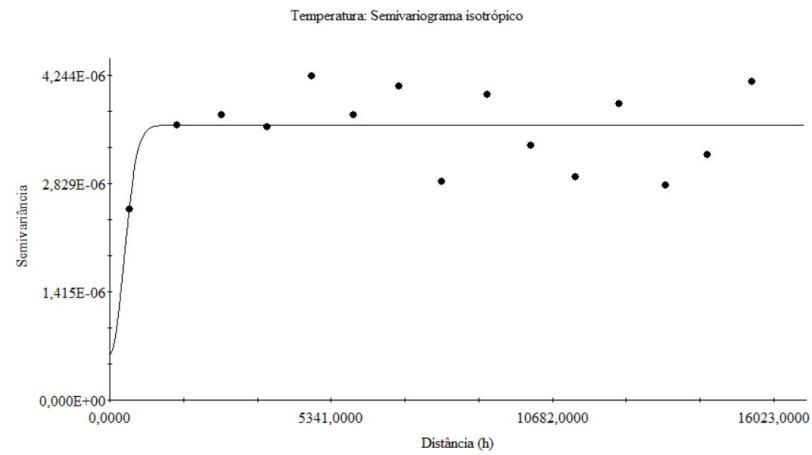
Na região, destacam-se as atividades econômicas potencialmente poluidoras como agroindústrias (na produção de melão, banana, melância, mamão e maracujá), com o

desenvolvimento de cultivos temporários e permanentes, pecuária, com predomínio da caprinovinocultura e bovinocultura, mineração (na extração de calcário), além de atividades petrolíferas com exploração do gás natural e petróleo, próximas as comunidades do Sítio do Góis I e II. Em estudo realizado por Pinto Filho, Gonçalves e Lunes (2019), constatou-se que 80% dos entrevistados das 55 comunidades rurais da Chapada do Apodi, referem-se somente a prática da agricultura, que é considerada uma atividade com aspectos relevantes na alteração da qualidade ambiental da área investigada.

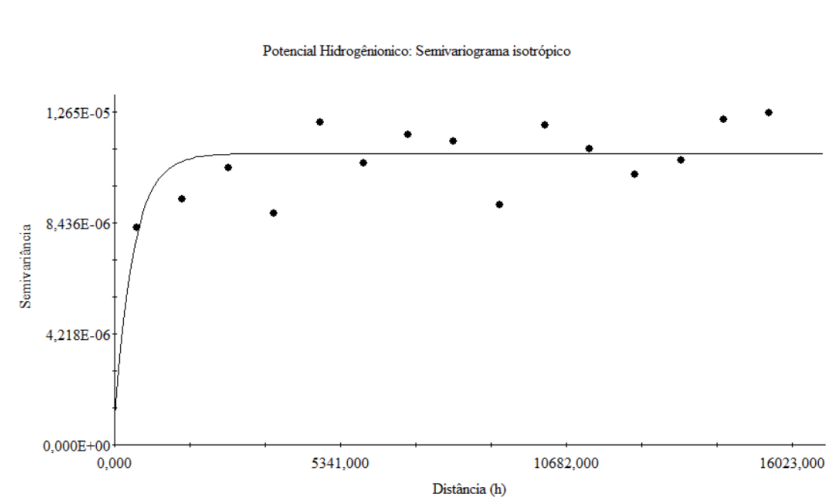
5.2 TRATAMENTO GEOESTATÍSTICO

Os semivariogramas experimentais gerados para os parâmetros analisados (Figura 6) auxiliaram na avaliação da dependência espacial dos elementos analisados.

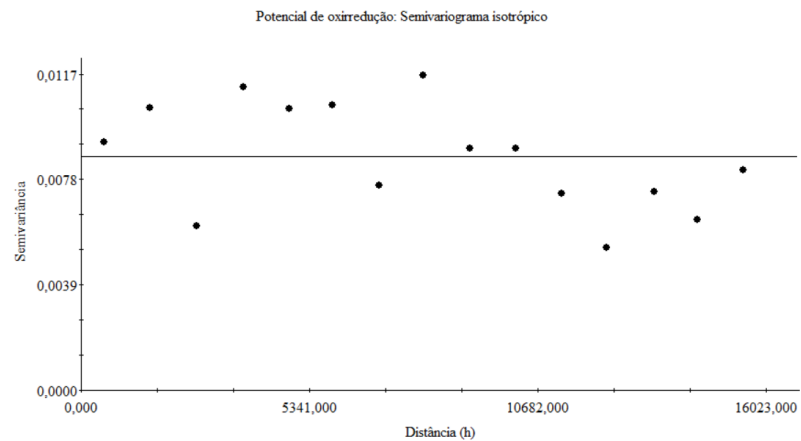
Figura 6: Semivariogramas das variáveis analisadas: A) temperatura; B) potencial Hidrogeniônico; C) potencial de oxirredução; D) condutividade elétrica; E) turbidez; F) oxigênio dissolvido; G) sólidos totais dissolvidos; H) salinidade; I) coliformes totais; J) *E. coli*.



A) Gaussian model ($C_0 = 5,920E-007$; $C_0 + C = 3,584E-006$; $A_0 = 460,0000$; $r_2 = 0,260$; $RSS = 3,094E-12$)

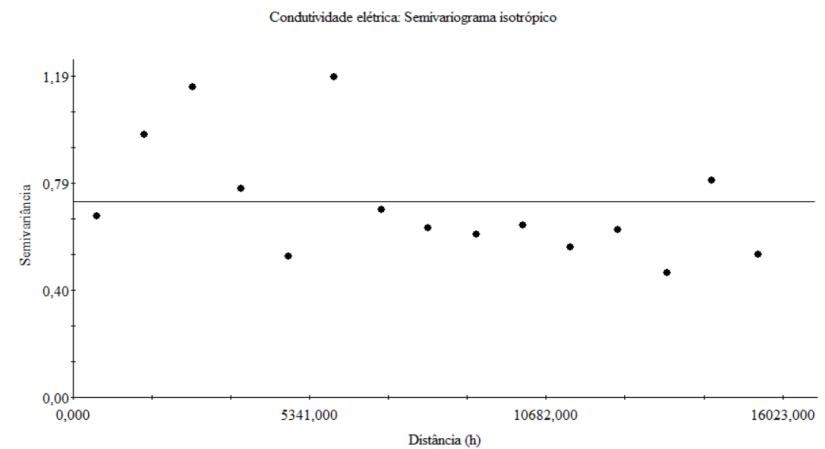


B) Exponential model ($C_0 = 1,080E-006$; $C_0 + C = 1,106E-005$; $A_0 = 450,0000$; $r_2 = 0,282$; $RSS = 1,971E-11$)



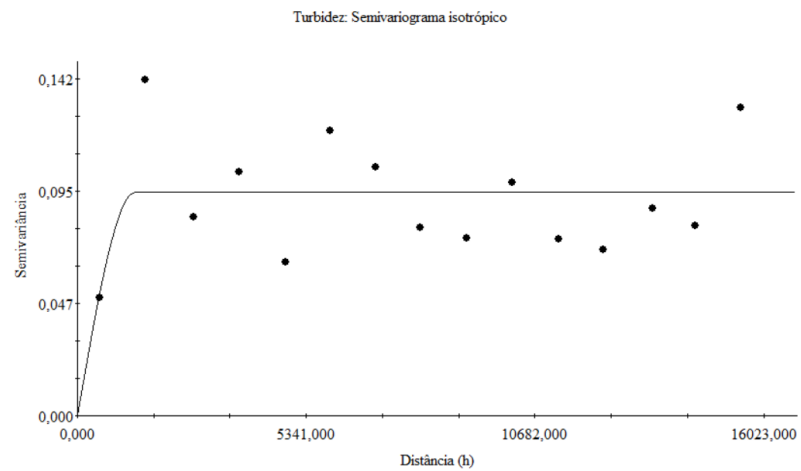
Linear model ($C_0 = 8,670E-003$; $C_0 + C = 8,670E-003$; $A_0 = 15462,2342$; $r^2 = 0,243$;
RSS = $5,505E-05$)

C)



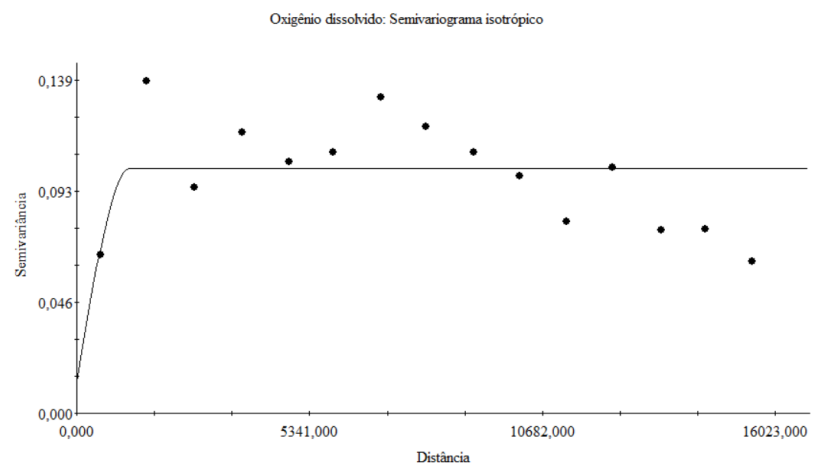
Linear model ($C_0 = 0,7214$; $C_0 + C = 0,7214$; $A_0 = 15462,2342$; $r^2 = 0,000$;
RSS = $0,684$)

D)



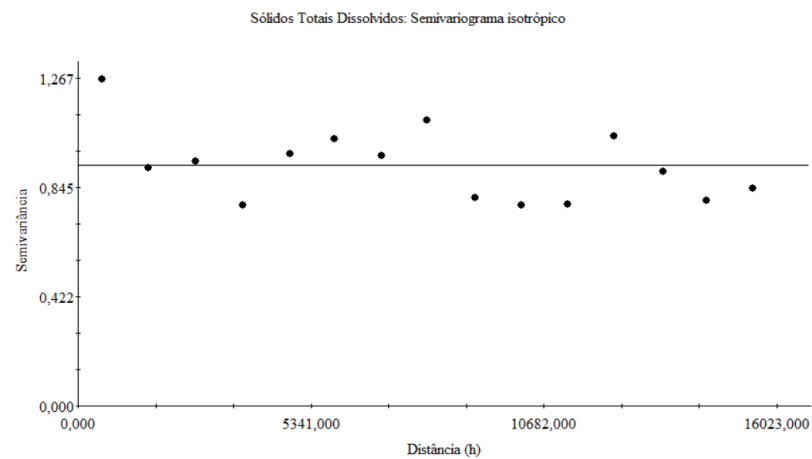
Spherical model ($C_0 = 0,0001$; $C_0 + C = 0,0942$; $A_0 = 1340,0000$; $r^2 = 0,200$;
RSS = $7,160E-03$)

E)



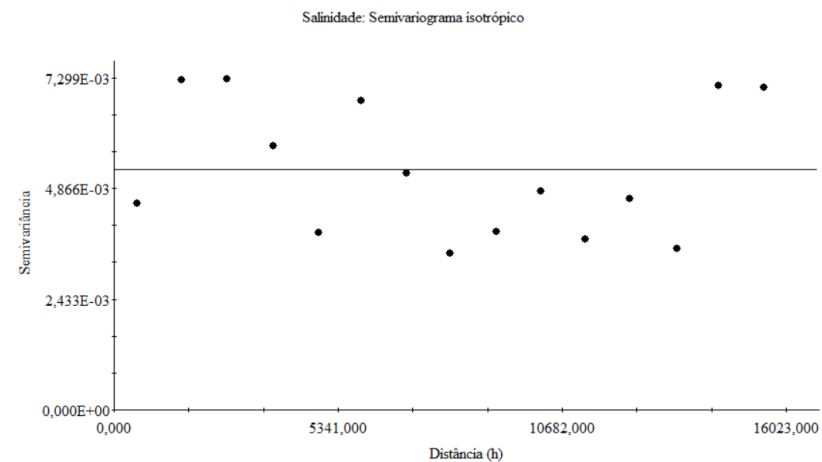
Spherical model ($C_0 = 0,01310$; $C_0 + C = 0,10220$; $A_0 = 1220,0000$; $r^2 = 0,158$;
RSS = $6,236E-03$)

F)



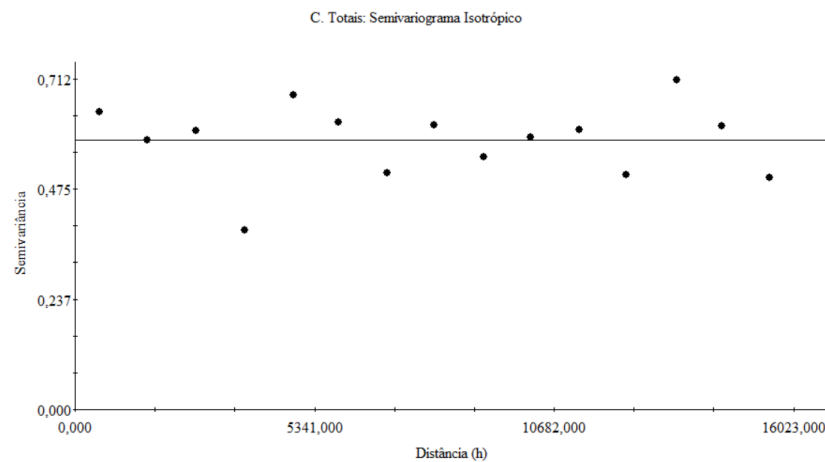
Linear model ($C_0 = 0,9308$; $C_0 + C = 0,9308$; $A_0 = 15462,2342$; $r^2 = 0,216$;
RSS = 0,282)

G)



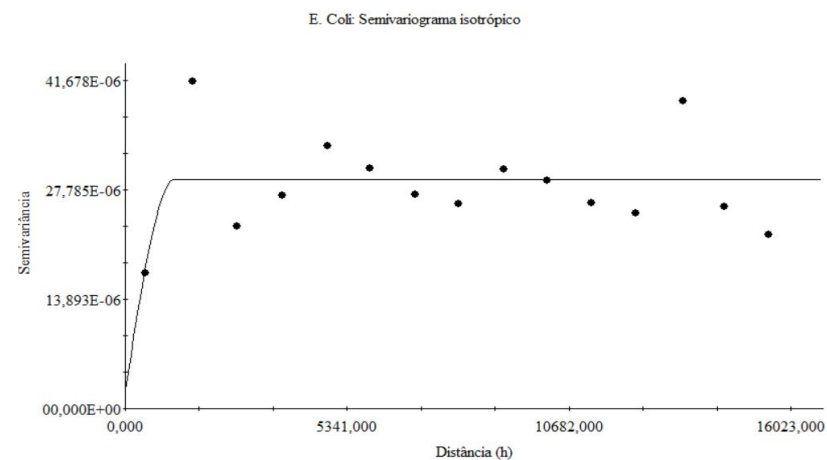
Linear model ($C_0 = 5,291E-003$; $C_0 + C = 5,291E-003$; $A_0 = 15462,2342$; $r^2 = 0,000$;
RSS = 3,084E-05)

H)



Linear model ($C_0 = 0,5804$; $C_0 + C = 0,5804$; $A_0 = 15462,2342$; $r^2 = 0,000$;
RSS = 0,0908)

I)



Spherical model ($C_0 = 2,380E-006$; $C_0 + C = 2,906E-005$; $A_0 = 1180,0000$; $r^2 = 0,235$;
RSS = 4,170E-10)

J)

Fonte: Autora, 2019

Para os dados transformados da temperatura, o semivariograma experimental que melhor se ajustou foi o modelo Gaussiano; o pH ajustou-se ao modelo exponencial e as variáveis turbidez, oxigênio dissolvido e *E. coli*, apresentaram ajuste por meio do modelo esférico. No entanto, os demais parâmetros (potencial de oxirredução, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, salinidade e C. totais) apresentaram efeito pepita puro. Vale destacar que as variáveis temperatura, pH, turbidez e *E. coli* tiveram entre seus dados, valores mascarados, por serem considerados *outliers*, onde evidenciam-se na Tabela 03.

Tabela 3: Valores considerados *outliers* mascarados da amostra

Variável	Outlier	Coordenadas UTM		Comunidade rural
		Latitude	Longitude	
Temperatura (°C)	32,95	624052,44	9380968,28	A. Palmares
pH	6,70	635082,66	9391682,54	Morada Nova
Turbidez (NTU)	110,00	625237,73	9380522,22	N. Descoberta
	150,00			
<i>E. coli</i> (UFC/100 mL)	82,00	632900,65	9378019,90	Campinas

Fonte: Autora, 2019

Dados discrepantes afetam substancialmente o comportamento do semivariograma, sobretudo na parte inicial do mesmo (DIGGLE; RIBEIRO JÚNIOR, 2007). Dessa forma, quando constatada a identificação de *outliers*, o procedimento da análise consiste na verificação de tendência dos dados e sua remoção (OLIVEIRA JÚNIOR, 2016b), levando em consideração o conhecimento da natureza, importância e comportamento de cada variável (FARIA, 2013). Além da utilização da ferramenta de distribuição de frequência que permite a visualização da normalidade dos dados, outros trabalhos com temáticas distintas como os de Sibaldelli et al. (2015), Souza et al. (2014) e Andrade et al. (2014) utilizaram outros métodos para detecção da presença ou ausência de valores anômalos, visando obter resultados satisfatórios em suas análises.

Diante das observações realizadas *in loco* na região, o valor discrepante apontado na comunidade A. Palmares associa-se a um possível local de armazenamento da água onde realizou-se o procedimento de amostragem. A alteração por origem antrópica, por meio de uma poluição pontual doméstica em Morada Nova, eventualmente influenciou no resultado do pH, que se demonstrou ligeiramente ácido. Em N. Descoberta, a turbidez considerada elevada pressupõe uma poluição natural de origem orgânica, uma vez que o solo característico da região possui alta fertilidade e é rico em matéria orgânica. Por fim, na região onde encontra-se a

comunidade rural Campinas, o valor elevado do parâmetro *E. coli* deduz uma relação com a contaminação por esgotos domésticos.

Para fenômenos caóticos com ausência de correlação espacial, indicando distribuição espacial aleatória, o modelo efeito pepita puro é adotado. Para Souza et al. (2014), se o variograma apresenta efeito pepita puro, isso não significa necessariamente que o atributo é espacialmente independente, isso porque a variância estruturada pode não ter sido quantificada, devido à maior distância entre as amostras, uma vez que a presença de efeito pepita indica a variação dos dados em distâncias menores que o espaço amostrado. Dessa forma, Cherubin et al. (2015) afirmam que a redução do conjunto de dados diminui a precisão dos modelos ajustados até tornarem-se aleatórios.

O efeito pepita puro reflete um fenômeno que não é totalmente conhecido, por falta de informação, como variações locais, erros de amostragem e entre outras justificativas (YAMAMOTO; LANDIM, 2013; KABIR et al., 2016). Além disso, é possível que o tamanho do campo amostrado não seja suficiente para exibir toda a variabilidade espacial (GOERGEN, 2018), como foi constatado por Souza et al. (2014), Lima et al. (2014) e Araujo et al. (2018).

Na Tabela 04 são apresentados os parâmetros dos ajustes semivariográficos obtidos para os dados das variáveis, sendo possível verificar que houve dependência espacial apenas para os parâmetros temperatura, pH, turbidez, oxigênio dissolvido e *E. coli*, o que permitirá a realização do mapeamento por krigagem de forma adequada.

Tabela 4: Parâmetros ajustados do semivariograma para os parâmetros analisados

Variável	Modelo	C ₀	C ₁	a (m)	r ²	RSS	GDE
Temperatura (°C)	Gaussiano	5,92E-07	2,99E-06	460,000	0,260	3,09E-12	16,54%
pH	Exponencial	1,08E-06	1,11E-05	450,000	0,282	1,97E-11	8,90%
Potencial de oxirredução (mV)	Efeito pepita						
Condutividade elétrica (mS/cm)	Efeito pepita						
Turbidez (NTU)	Esférico	1,00E-04	9,41E-02	1.340,000	0,200	7,16E-03	0,11%
Oxigênio dissolvido (mg/L)	Esférico	1,31E-02	8,91E-02	1.220,000	0,158	6,24E-03	12,82%
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	Efeito pepita						
Salinidade (ppt)	Efeito pepita						
Coliformes Totais (UFC/100 mL)	Efeito pepita						
<i>E. coli</i> (UFC/100 mL)	Esférico	2,38E-06	2,67E-05	1.180,000	0,235	4,17E-10	8,19%

Fonte: Autora, 2019

C₀: efeito pepita; C₁: variância estrutural; a: alcance; r²: coeficiente de determinação; RSS: soma dos quadrados dos resíduos; GDE: Grau de Dependência Espacial.

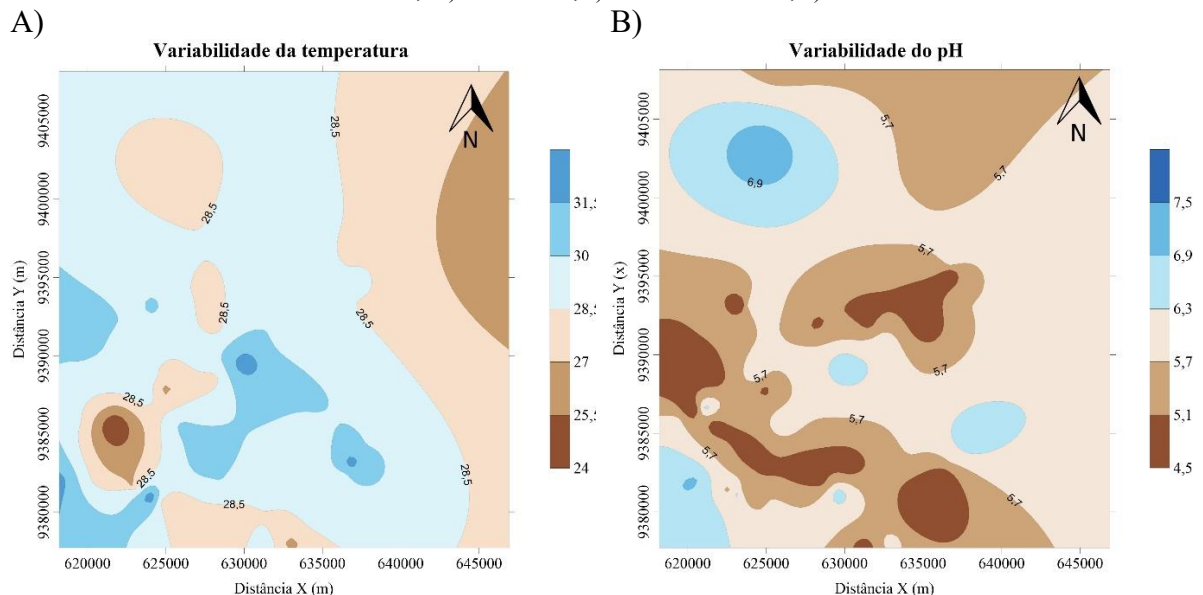
Observa-se que se obteve diferentes alcances em função dos parâmetros avaliados. O menor valor de alcance foi ajustado para o pH com 450 m, ou seja, é o ponto máximo onde

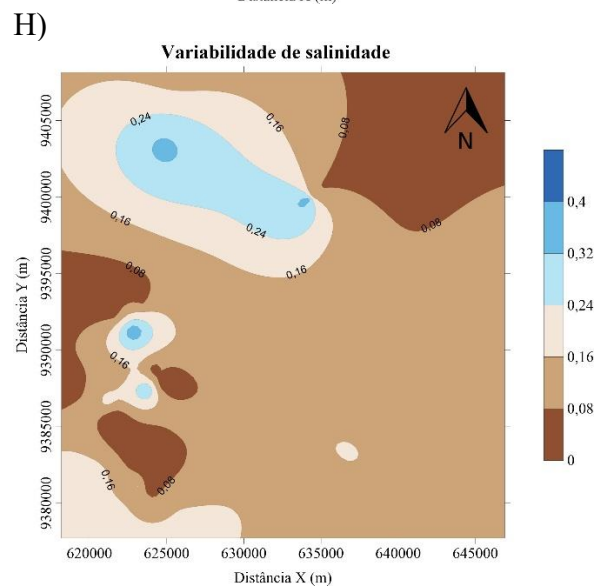
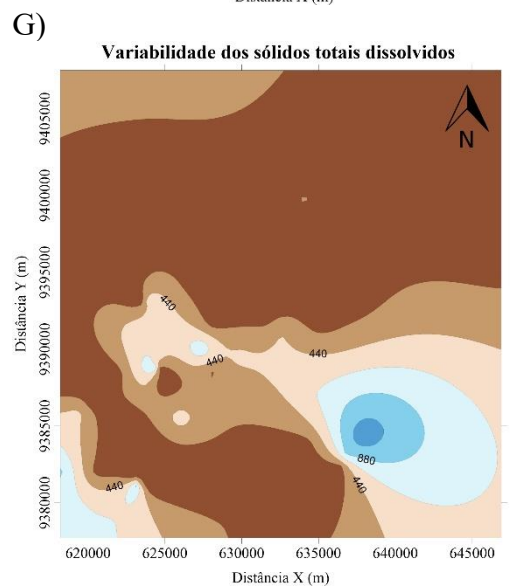
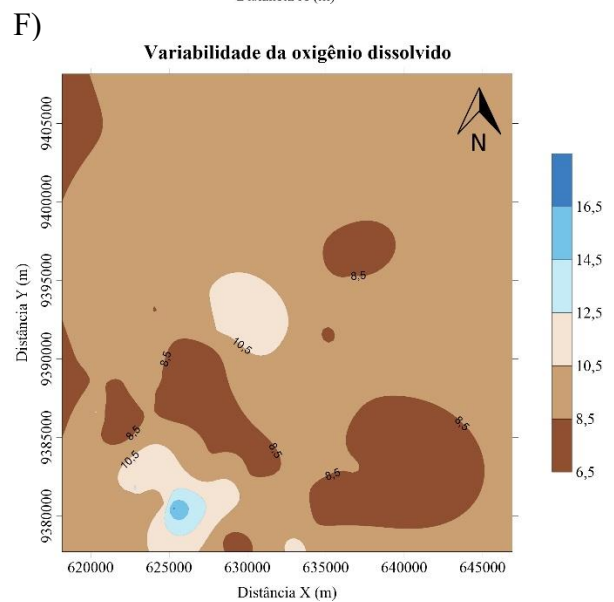
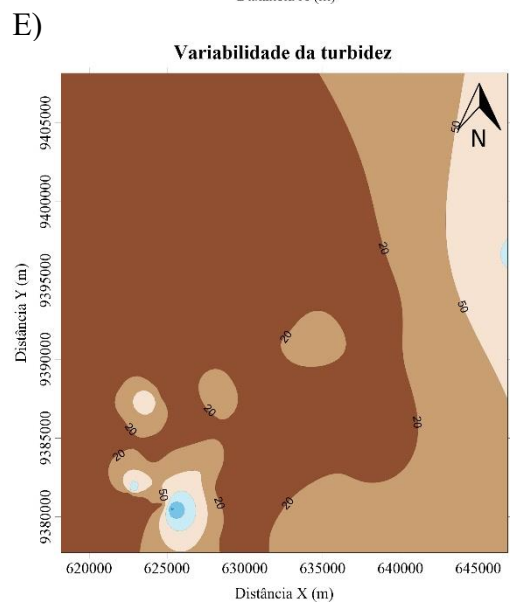
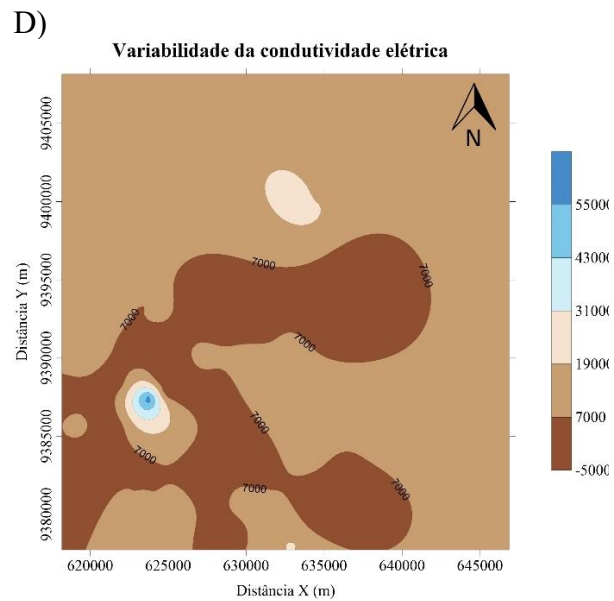
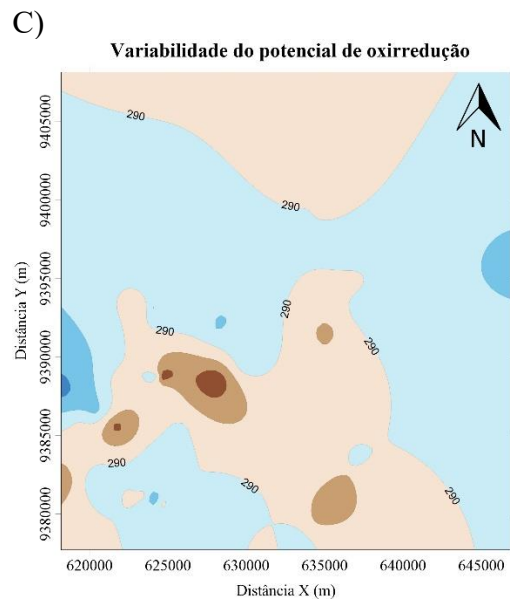
existe autocorrelação espacial das variáveis. Já, o maior valor de alcance foi para a turbidez com 1.340 m, valor considerado elevado em decorrência da grande distância entre os pontos amostrados. Segundo Kabir et al. (2016), em razão da variabilidade de distâncias muito curtas, para as quais não há pares de observações disponíveis, oportunizam o aparecimento do efeito pepita puro. Além disso, Santos (2017) corrobora que quanto maior o alcance, menor será a garantia de uma melhor precisão nas estimativas em locais não amostrados.

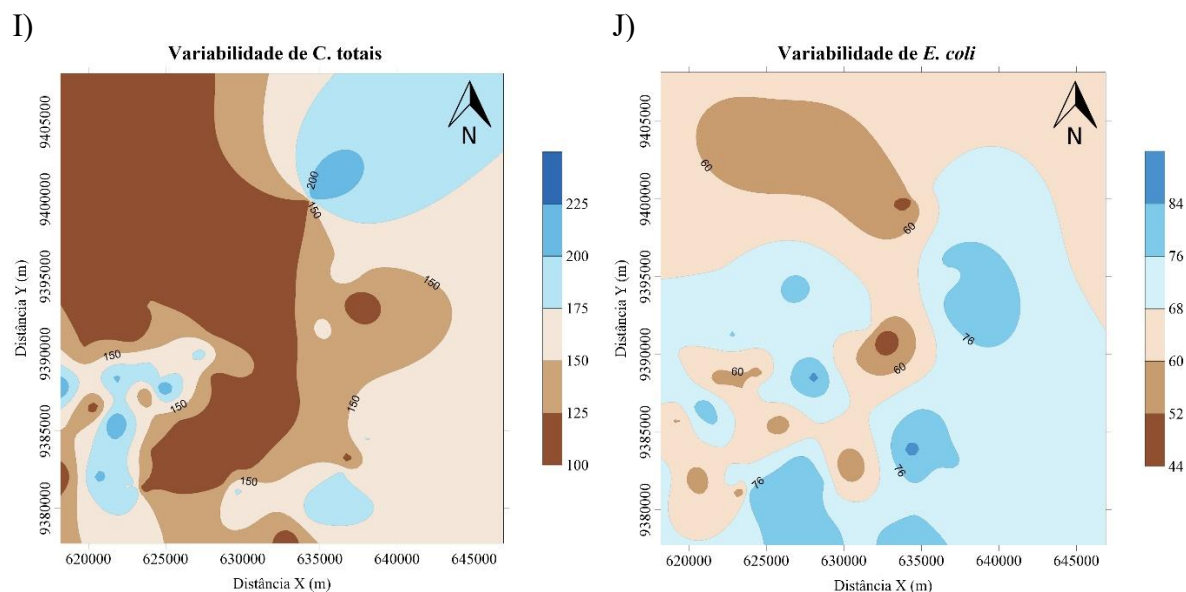
A partir do GDE proposto por Cambardella et al. (1994), os atributos avaliados foram classificados como fortes, significando uma elevada magnitude de dependência espacial, isto é, quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores (SANTOS, 2017). Quando há uma ausência completa de correlação espacial entre os pontos amostrados, o efeito pepita puro estará presente (PELISSARI, 2015), como observa-se para as variáveis de potencial de oxirredução, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, salinidade, *C. totais* e *E. coli*.

As cartas temáticas de isolinhas obtidas por meio da interpolação por krigagem ordinária são apresentadas na Figura 7. Com elas é possível visualizar, na área amostrada, a distribuição espacial de todos os atributos avaliados.

Figura 7: Variabilidade espacial dos parâmetros analisados: A) temperatura; B) potencial Hidrogeniônico; C) potencial de oxirredução; D) condutividade elétrica; E) turbidez; F) oxigênio dissolvido; G) sólidos totais dissolvidos; H) salinidade; I) coliformes totais; J) *E. coli*.







Fonte: Autora, 2019

No mapeamento por krigagem, observa-se que as maiores concentrações estimadas tenderam a ocorrer em localidades com maiores concentrações de comunidades rurais. Ali et al. (2018) associam o nível de concentração elevado de parâmetros na qualidade da água subterrânea na cidade Jhelum, localizada no Paquistão, devido à maior densidade populacional em algumas regiões.

Em relação a distribuição de STD, encontram-se maiores evidências de valores extremos na região sudeste, corroborando com a relação que se estabelece com a temperatura e pH. As amostras coletadas para o presente estudo foram realizadas entre os meses de janeiro a março de 2018, ou seja, no período chuvoso. Segundo Silva et al. (2018), maiores valores durante esse período revela a influência direta das chuvas na composição físico-química da água dos poços.

Além disso, também se percebe que a salinidade possui relação com as variáveis de temperatura, pH e potencial de oxirredução. Esse fato pode ser justificado pela alta concentração de sais diluídos, ocasionada pelo carreamento de minerais dissolvidos proveniente de rochas intemperizadas que se infiltram no solo durante o período de maior volume de chuvas (MAIA et al., 2017). Assim como, valores elevados do pH podem ser um reflexo da contribuição de íons hidrogênio provenientes da lixiviação de matéria orgânica em decomposição e das rochas carbonáticas (SILVA et al., 2014), que, segundo Galindo et al. (2017), é comumente encontradas nas rochas da Formação Jandaíra da Chapada do Apodi.

Para os parâmetros de *C. totais* e *E. coli* constata-se que houve concentrações elevadas em toda a área, com exceção da porção sudoeste. Sako et al. (2018) afirmam que o saneamento precário, a falta de uma gestão eficaz dos resíduos domésticos, a proteção inadequada dos poços

escavados contra o escoamento superficial e o excremento de animais tornam as águas subterrâneas altamente vulneráveis à poluição antrópica.

Kavurmaci (2016) associou o nível de contaminação elevado com as atividades agrícolas intensivas, por meio da utilização de fertilizantes inorgânicos e pesticidas. Para Li et al. (2017), o uso excessivo de fertilizantes, a não proteção de poços e as más condições sanitárias são fontes potenciais de poluição antropogênica. Vicente et al. (2018) também destacaram inconformidades nos parâmetros em água subterrâneas relacionados às atividades agropecuárias e contaminação por sistemas de esgotamento sanitário ineficientes.

Levando em consideração estudos realizados na Chapada do Apodi, especificamente no município de Apodi/RN, constata-se um elevado desenvolvimento econômico e social na região apontada, diante dos deslocamentos compulsórios da população, concentração de terras e utilização de novas tecnologias associadas às atividades econômicas (PONTES et al., 2013). No entanto, a redução da biodiversidade, a degradação do solo, o comprometimento dos recursos naturais da localidade e a exposição das comunidades no entorno da região são produtos resultantes desse modelo errôneo de desenvolvimento.

Geologicamente a área da Chapada do Apodi é altamente vulnerável à contaminação, devido à presença de sumidouros na região por onde as águas recarregam o aquífero rapidamente, sendo comprovado pela ausência de aquíferos superficiais. Além disso, as características físicas como o solo raso, topografia suavemente ondulada ou plana e a vegetação rasteira também contribuem para aumentar a vulnerabilidade (TEIXEIRA, 2015). Dadas as características do sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, aliada a condição pedológica da área, que é caracterizada por solos rasos, a qualidade da água consumida pelas comunidades rurais da localidade tende a ser duramente afetada.

Informações sobre a qualidade regional da água e fontes de poluição são consideradas importantes para a implementação de estratégias sustentáveis de gerenciamento do uso da água (ALI et al., 2018), e eficazes para identificar locais que envolvem a ameaça de contaminação (KAVURMACI, 2016). Além disso, pontos com concentrações elevadas representam uma ameaça real à saúde dos moradores dessas localidades e precisam da atenção imediata das autoridades envolvidas para tomar medidas corretivas urgentes (ALI et al., 2018), assim como realização de estudos de possíveis impactos à saúde associados ao consumo de água potável de baixa qualidade nas populações rurais (MCLEOD et al., 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na microrregião da Chapada do Apodi, especificamente no entorno das comunidades rurais do município de Apodi/RN, a diminuição da disponibilidade hídrica vivenciada em regiões do semiárido nordestino, associada com a expansão e pressão antropogênica influenciaram adversamente a qualidade dos mananciais para consumo humano. Sendo assim, a promoção e a conservação de sua qualidade exigem uma melhor gestão de recursos hídricos que visem promover ações preventivas diante da degradação ambiental e risco iminente da qualidade da água em regiões que se encontram em desenvolvimento socioeconômico.

A modelagem geoestatística é considerada um conjunto de ferramentas que contribui na criação de ações de políticas ambientais que visem uma efetiva melhoria da qualidade de vida da população, por meio da realização da espacialização das variáveis regionalizadas, auxiliando nos diagnósticos da qualidade da água subterrânea, identificando áreas de potenciais riscos de contaminação desses recursos hídricos na localidade.

O emprego da análise descritiva dos dados possibilitou constatar que dos dez parâmetros estudados, 06 deles (o pH, a turbidez, o oxigênio dissolvido, os sólidos totais dissolvidos, os coliformes totais e os coliformes do tipo *E. coli*) apresentaram resultados médios alterados conforme a legislação vigente de referência para qualidade da água. Para tanto, associou-se os resultados obtidos à erros de digitação e de aferição instrumental, à falta de precisão dos aparelhos utilizados durante as mensurações, e ainda a fatores naturais e/ou antrópicos na região do estudo.

Por meio da correlação linear de Pearson entre as variáveis, para uma avaliação das interações entre os pares de parâmetros estudados, constatou-se uma moderada correlação entre os sólidos totais dissolvidos e temperatura, sólidos totais dissolvidos e pH, salinidade e pH e oxigênio dissolvido e turbidez.

Verificou-se ainda que todos os parâmetros não apresentaram normalidade, diante da análise de assimetria e curtose, devido à presença significativa de pontos discrepantes na distribuição de dados. E por esse motivo, precisaram ser adequados quanto a sua transformação logarítmica.

Com essas informações, foi possível averiguar a continuidade espacial dos parâmetros do estudo e posteriormente construir e analisar os seus semivariogramas, assim como selecionar o modelo que melhor se ajustou. Verificou-se que o semivariograma experimental para a temperatura que melhor se ajustou foi o modelo Gaussiano; o pH ajustou-se ao modelo exponencial; as variáveis turbidez, oxigênio dissolvido e *E. coli* apresentaram modelo esférico.

E os demais parâmetros, potencial de oxirredução, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, salinidade e C. totais apresentaram efeito pepita puro. No entanto, para que obtivessem resultados mais satisfatórios, alguns valores considerados *outliers* foram mascarados dos parâmetros de temperatura, pH, turbidez e *E. coli*.

Por fim, observou-se, por meio das cartas temáticas para visualização da variabilidade espacial dos parâmetros analisados através da interpolação por krigagem ordinária, que as maiores concentrações estimadas tenderam a ocorrer nas proximidades do perímetro urbano do município.

O presente trabalho conseguiu estimar a exposição dos parâmetros de água subterrânea para consumo humano em uma área rural e associá-los à fatores naturais e antropogênicos que podem afetar a sua qualidade.

Diante das características do sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário insatisfatórios, além da condição pedológica da área apresentados, a qualidade de água consumida pelas comunidades rurais da localidade pode estar comprometida para os diversos usos múltiplos, retratando um cenário de alerta na saúde pública e necessidade de atenção especial dos planejadores e gestores do município, devendo promover o monitoramento constante da qualidade da água nas comunidades usuárias de fontes possivelmente contaminadas e adoção de medidas corretivas quanto ao saneamento básico dessas áreas.

Futuros estudos relacionados à qualidade de água nas comunidades rurais devem ser conduzidos, considerando e integrando análises das variações sazonais dos parâmetros físico-químicos e biológicos em diferentes profundidades das águas subterrâneas.

REFERÊNCIAS

ABUBAKAR, I. R. Strategies for coping with inadequate domestic water supply in Abuja, Nigeria. **Water International**, v. 43, p. 579-590, 2018.

AJDARY, K.; KARAMI, G. Quantifying changes in groundwater level and chemistry in Shahrood, northeastern Iran. **Hydrogeology Journal**, v. 22, n. 2, 2014.

ALI, A.; JAVED, S.; ULLAH, S.; FATIMA, S. H.; ZAIDI, F.; KHAN, M. S. **Bayesian spatial analysis and prediction of groundwater contamination in Jhelum city (Pakistan)**. Environmental Earth Sciences, v. 77, 2018.

ALVARES C. A.; STAPE J. L.; SENTELHAS P. C.; GONÇALVES J. L. M.; SPAROVEK G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, n. 22, p. 711-728, 2013.

ALVES, S. G. S.; ATAIDE, C. D. G.; SILVA, J. X. Análise microbiológica de coliformes totais e termotolerantes em água de bebedouros de um parque público de Brasília, Distrito Federal. **Revista de Divulgação Científica Sena Aires**, v. 7, n. 1, p. 12-17, 2018.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e Proposição de Modelo de Gestão Compartilhada para os Aquíferos da Chapada do Apodi, entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará**. Relatório Final. Brasília/DF: ANA, 2010.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Abastecimento**. 2019b. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/usos-da-agua/abastecimento>. Acesso em: 04 outubro 2019.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Água no mundo**. 2019a. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/agua-no-mundo>. Acesso em: 01 setembro 2019.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Catálogo de materiais didáticos com o tema água para educação básica**. 2018. Disponível em: http://conferenciainfanto.mec.gov.br/images/pdf/catalogo_versao_final_09_03_2018.pdf. 01 setembro 2019.

ANDRADE, C. A. C.; AMARAL, M. L. K.; LIPSKI JUNIOR, W. B. Determinação do nitrogênio amoniacal nos rios Bacacheri e Atuba. In: XII EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (EVINCI), UniBrasil, Curitiba, v. 3, n. 1, 2017. **Anais...** UniBrasil, 2017.

ANDRADE, C.; SILVA, J.; MONTENEGRO, A.; MONTENEGRO, S.; TAVARES, U. Variabilidade espacial da textura em solo aluvial sob o cultivo de cenoura (*Daucus carota* L.). **Revista de Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 59-67, 2014.

ANDRADE, L. R.; ARAÚJO, S. M. S.; ANDRADE, M. Z. S.; MEDEIROS, L. E. L. Degradação ambiental no Açude de Bodocongó na cidade de Campina Grande, Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 1, 2018.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo-RS: Editora da UNISINOS, 2004. 165 p.

ANDRIOTTI, J. L. S. Notas de geoestatística. **Acta geológica Leopoldencia**, XXV. (55): 3-14), 2002. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/519/1/Art_Andriotti_notas_geoestatistica.pdf. Acesso em 04 outubro 2019.

APHA – AWWA – WPCF. **Standart methods for the examination of water and wastewater**. 19th edition. Wasghington D.C. American Public Health Association.1995. 953p.

ARAUJO, C. S. P.; BEZERRA, J. M. Qualidade das águas subterrâneas da cidade de Pau dos Ferros-RN. **Revista Geotemas**, v. 8, p. 116-131, 2018.

ARAUJO, L. M.; BEZERRA, F. T. C.; BORGES, P. F.; ARAUJO, L. S.; PEREIRA, A. R.; MOSCOSO, J. S. C. Estimativas da evapotranspiração de referência para o município de Apodi, RN. **Gaia Scientia**, v. 12, p. 181-192, 2018.

ASSIS, E. G. **A gestão social da água na sub-bacia hidrográfica do Rio do Peixe: semiárido paraibano**. 2010. 159f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

ASSUNÇÃO, R. **Fundamentos Estatísticos de Ciência dos Dados voltado para aplicações**. 2017. Disponível em: <https://homepages.dcc.ufmg.br/~assuncao/EstatCC/FECD.pdf>. Acesso em: 01 dezembro 2019.

AZEVEDO, P. R. L.; BEZERRA, D. E. L.; SOUTO, F. M.; BITU, S. G.; PEREIRA JUNIOR, E. B. Efeito dos sais e da qualidade da água no solo e na planta. **Revista Agroecologia no Semiárido**, v. 1, n.1, p. 1-12, 2017.

BAGNARA, D. **Ferramentas de modelagem espacial aplicadas à avaliação da qualidade da água subterrânea na área urbana do município de Passo Fundo-RS**. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia na Faculdade de Engenharia e Arquitetura). Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2010.

BARROS, F. G. N.; AMIN, M. M. Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 4, n. 1, p. 75-108, 2008.

BATISTA, M. L.; COELHO, G.; TEIXEIRA, M. B. dos R.; DE OLIVEIRA, M. S. Estimadores de semivariância: análise de desempenho no mapeamento da precipitação anual. **Scientia Agraria (Online)**, v. 19, p. 64-74, 2018.

BEZERRA, A. D. A.; NOGUEIRA, E. R.; ARAÚJO, F. G. D. M.; BRANDÃO, M. G. A.; CHAVES, B. E.; PANTOJA, L. D. M. Análise da potabilidade de água de chafarizes de dois bairros do município de Fortaleza, Ceará. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 8, p. 24-34, 2017.

BEZERRA, A. D. A.; ROCHA, J. C.; NOGUEIRA, E. R.; SOUSA, D. M. L.; ARAUJO, F. G. D. M.; BRANDAO, M. G. A.; PANTOJA, L. D. M. Análise situacional da qualidade de água

subterrânea oriunda de poços da região metropolitana de Fortaleza, Ceará, Brasil. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 9, p. 94, 2018.

BICUDO, C. E.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. **Águas do Brasil: Análises Estratégicas**. Academia Brasileira de Ciências, Instituto de Botânica, p. 27-38, 2010.

BOLFARINE, H.; BUSSAB, W. O. **Elementos de amostragem**. São Paulo: Editora Blücher, 2005.

BORTOLI, J. de; MACIEL, M. J.; SANTANA, E. R. R. de; REMPEL, C. Avaliação microbiológica da água em propriedades rurais produtoras de leite localizadas no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 12, n. 1, p. 39, 2018.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318 p.

BRAGA, E. S.; FREITAS, C. B.; MENDES, L. S. A. dos S.; AQUINO, M. D. de. Avaliação da qualidade de águas subterrâneas localizadas no litoral, serra e sertão do Estado do Ceará destinadas ao consumo humano. **Revista Águas Subterrâneas (São Paulo)**, v. 32, p. 17-24, 2018.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 5 de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2017.

BRUZZI, A. F. G. **Estudo da distribuição estatística das distâncias entre descontinuidades em testemunhos de sondagem de maciços rochosos**. 2019. 149 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

CAMARGO, E.C.G. Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, 1998. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf . Acesso em: 28 setembro 2019.

CAMARGO, F. P.; LEITE, M. A.; SUZUKI, E. T.; FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T. Avaliações preliminares dos parâmetros químicos e microbiológico de dois córregos do cinturão verde (Ilha Solteira - SP). In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA - UNESP, 21., 2009, Ilha Solteira. **Anais...** Ilha Solteira: UNESP, 2009.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; NOVAK, J. M.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CARNEIRO, F. F.; PESSOA, V. M.; TEIXEIRA, A. C. de A. **Campo, florestas e águas: práticas e saberes em saúde**. Editora Universidade de Brasileira, 2017, 464 p.

CARVALHO, A. P. M.; SILVA, J. N.; SANTOS, V. S.; FERRAZ, R. R. Avaliação dos parâmetros de qualidade da água de abastecimento alternativo no distrito de Jamararu em Missão Velha-CE. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**, v. 7, n. 1, p. 35-51, 2017.

CAVALCANTE, R. B. L. Ocorrência de Escherichia coli em fontes de água e pontos de consumo em uma comunidade rural. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 3, p. 550-558, 2014.

CHAVES, M. E. D.; CONCEIÇÃO, K. V.; GUERRERO, J. V. R. Geoestatística no monitoramento da temperatura no Estado da Bahia. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, p. 652-660, 2018.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; SIMON, D.H.; DAMIAN, J. M. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n.2, 2015.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2019/12/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-das-Vari%C3%A1veis.pdf>. Acesso em: 06 dezembro 2019.

COELHO, S. C.; DUARTE, A. N.; AMARAL, L. S.; SANTOS, P. M. DOS; SALLES, M. J.; SANTOS, J. A. A. DOS; SOTERO-MARTINS, A. Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 1, p. 156-167, 2017.

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 o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2005.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2008.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre classificação de corpos d'água e estabelece as condições e padrões para lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2011.

CORRÊA, L. R. S. **Diagnóstico da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Mucuri**. 2016. 104 p. Dissertação (Mestrado Profissional) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, 2016.

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Estudo Comparativo entre as Classificações Brasileira, Norte-Americana e da Comunidade Europeia**. 2015. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Laboratorios-de-Analises-Minerais---Rede-LAMIN/Estudo-Comparativo-entre-as-Classificacoes-Brasileira%2C-Norte-Americana-e-da-Comunidade-Europeia-3525.html?tpl=printerview>. Acesso em: 10 novembro 2019.

DALL'AGNOL, R. Q.; BETZEK, N. M.; BAZZI, C. L. Aplicação do software r para análise geoestatística, interpolação de dados por krigagem ordinária e geração de mapas temáticos de produtividade agrícola. **Revista de Computação Aplicada ao Agronegócio**, v. 1, n. 1, 2018.

DELFINES, M; PERAZZOLI, M; GOLDBACH, A. Avaliação Qualitativa da água do Rio do Peixe na área Urbana do Município de Videira, SC. **Unesc & Ciência - ACET**, v. 6, n. 2, p. 133-140, 2015.

DIGGLE, P. J.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Model-based geostatistics**. New York: Springer, 2007, 230 p.

DOURADO, A. A.; FERRAZ, L. L.; SILVA, A. R. S.; ROCHA, F. A. Qualidade físico-química e microbiológica da água em reservatórios subterrâneos na cidade de Vitória da Conquista-BA para fins de potabilidade. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 32, p. 1-8, 2018.

EMPARN. Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. **Dados - Precipitação Médias Municipais**. 2013. Disponível em: <http://189.124.130.5:8181/monitoramento/monitoramento.php>. Acesso em: 06 setembro 2019.

FARIA, G. A. **Uso de um sistema de informação geográfica para análise geoestatística em solos**. 114 f. Dissertação (Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

FERNANDES, M. A. B.; SANTIAGO, M. M. F.; MENDONÇA, L. A. R.; LIMA, J. O. G.; MENDES FILHO, J.; FRISCHKORN, H. Hidroquímica das águas subterrâneas no calcário Jandaíra - Chapada do Apodi. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2002.

FERREIRA, E. P. **Gênese e classificação de solos em ambiente cárstico na Chapada do Apodi**. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013.

FIORUCCI, A. R.; BENEDETTI FILHO, E. A. A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. **Química Nova na Escola**, v. 22, p. 10-16, 2005.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. Ministério da Saúde. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2014, 112 p.

GALINDO, A. C.; SRIVASTAVA, N. K.; SOUZA, L. C.; MAIA, H. N.; SA, J. M.; ARAÚJO, A. G. S.; FILLIPPI, R.R.; OLIVEIRA, M. T. D. **Geologia e recursos minerais da folha Apodi* SB.24-X-C-VI**. 1. Ed, Recife: CPRM, 2017, 181p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIONGO, V. Agricultura de baixa emissão de carbono. In: II Simpósio do Bioma Caatinga – SIBIC, 2019, Petrolina. **Anais...** Pernambuco: Embrapa Semiárido, 2019.

GIULIETTI, A. M.; BOCAGE NETA, A. L.; CASTRO, A. A. J. F.; SAMPAIO, E. V. S. B.; VIRGINIO, J.; QUEIROZ, L. P.; FIGUEIREDO, M. A.; RODAL, M. de J. N.; BARBOSA, M. R. V.; HARLEY, R. M. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma caatinga. In: J. M. C.da Silva; M. Tabarelli; M. T. da Fonseca; L. V. Lins. (Org.). **Biodiversidade da Caatinga**: áreas e ações prioritárias para a conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, v. 1, p. 47-90, 2004.

GOERGEN, L. C. G. **Relação entre produtividade de eucalipto e Características edáficas baseada em geoestatística e análise multivariada**. 100f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2018.

GOMES, A. C. C. de O.; CARVALHO, LAÉRCIO A. de; SÚAREZ, Y. R.; NOVAK, E.; MOREIRA, R. M. Análise de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos de poços de monitoramento em área aplicada com vinhaça. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 32, p. 237-247, 2018.

GONDIM, J. E. F. **Qualidade do solo em agroecossistemas da região semiárida do estado do Rio Grande Do Norte**. 2018. 104 f. Dissertação (Mestre em Ciência do Solo). Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2018.

GUEDES, A. F.; TAVARES, L. N.; MARQUES, M. N. N.; MOURA, S. P.; SOUSA, M. N. A. Tratamento da água na prevenção de doenças de veiculação hídrica. **Journal of Medicine and Health Promotion**, v. 2, p. 452-461, 2017.

GUILHOTO, L. **O uso da internet como ferramenta para a oferta diferenciada de serviços a clientes corporativos**: um estudo exploratório no setor de telecomunicações. 2002. Dissertação (Mestrado em Administração) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Saneamento básico**. 2007. Disponível em:
<http://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2009/11/TCCSaneamentoSa%C4%BAdede.pdf>. Acesso em: 01 setembro 2019.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A. V.; MARCELLINI, S. S.; VILLAR, P. C.; MARCELLINI, L. **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil**: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento. Instituto Trata Brasil, São Paulo, 2019.

HORNBURG, R. A. **Avaliação em massa de imóveis usando estatística bayesiana**. 2015. 133 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. 2019a. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 05 setembro 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pedologia**. Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA). 2019b. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acesso em: 05 setembro 2019.

IBRAHIM, A. T. H.; VICTOR, C.; NOR, B. A.; KAYODE, A.; IBRAR, Y.; ABDULLAH, G.; EJAZ, A.; HARUNA, C. The role of big data in smart city. International. **Journal of Information Management**, v. 36, p. 748–758, 2016.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Perfil do município**: Apodi. 2008. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC000000000016659.PDF>. Acesso em: 05 setembro 2019.

KABIR, M. S.; SALAM, M. A.; PAUL, D. N. R.; HOSSAIN, M. I.; RAHMAN, N. M. F.; AZIZ, A.; LATIF, M. A. Spatial Variation of Arsenic in Soil, Irrigation Water, and Plant Parts: A Microlevel Study. **The Scientific World Journal**, 2016.

KAVURMACI, M. Evaluation of groundwater quality using a GIS-MCDA-based model: a case study in Aksaray, Turkey. **Environ Earth Sciences**, v. 75, n. 1258, p. 1-17, 2016.

KAYODE O.T.; OKAGBUE H.I.; ACHUKA J.A. Water quality assessment for groundwater around a municipal waste dumpsite. **Data Brief**, v. 17, p. 579–587, 2018.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Editora UNESP, 2003, 253 p.

LANDIM, P. M. B. **Análise Estatística e dados geológicos**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998.

LANDIM, P. M. B. STURARO, J. R. **Krigagem indicativa aplicada a elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Rio Claro: DGA, IGCE, UNESP, 2002.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

LEONARDI, I. R. **Modelagem geoestatística de parâmetros de qualidade da água na lagoa do rio Barigui em Curitiba - Paraná**. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

LI, P.; ZHANG, Y.; YANG, N.; JING, L. Y. P. Major ion chemistry and quality assessment of groundwater in and around a mountainous tourist town of China. **Expo Health**, v. 8, n. 2, p. 239–252, 2016.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, M. S.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 5, p. 515-526, 2014.

LÔNDERO, E.; GARCIA, C. Sovergs. Site Higienistas. 2010. Disponível em: <http://www.sovergs.com.br/site/higienistas/trabalhos/10474.pdf>. Acesso em: 05 setembro 2019.

LORO, A. **Recursos hídricos: proteção jurídica e a garantia do direito de acesso à água potável**. 2015. 84 f. Monografia (Graduação em Direito), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Santa Rosa, 2015.

LUDEWIG, D. R. Análise espacial aplicada na determinação de valor de terrenos em Campo Mourão (Pr). In: IX Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial, 2015, Campo Mourão. **Anais...** Paraná, 2015.

MACEDO, R. R.; MENDES, R. L. R.; COSTA, T. Sistema de informação geográfica (SIG) aplicado a gestão de recursos naturais. Atlas do aproveitamento de água da chuva nas ilhas de Belém - iniciativas, demandas e potencialidades. **GEO UERJ**, v. 1, 2018.

MACHADO, E. S.; KNAPIK, H. G.; BITENCOURT, C. de C. A. de. Considerações sobre o processo de enquadramento de corpos de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 261-269, 2019.

MAIA, P. J. S.; SOUZA, M. P.; PAES, O. A. R. L.; FREITAS, F. A. Estudo da Variação da Salinidade de Águas Subterrâneas do Poço Amazonas (Canindé-Ceará) em função da pluviosidade. **Scientia Amazonia**, v. 6, p. 83-91, 2017.

MARCELINO, A. A.; SANTOS, M. A.; XAVIER, V. L.; BEZERRA, C. S.; SILVA, C. R. O.; AMORIM, M. A.; RODRIGUES, R. P.; ROGERIO, J. P. Diffusive emission of methane and carbon dioxide from two hydropower reservoirs in Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v.75, n.2, p. 331-338, 2015.

MARTINS, J. C. de V.; FERREIRA, K. S. L.; OLIVEIRA, A. M. de. Água potável em Mossoró-RN: acesso e conflitos socioambientais em bairro residencial. In: 8th International Symposium on Technological Innovation, Aracaju-SE. **Anais...** Aracaju-SE: ISTI, 2017. p. 492-501.

MARTINS, J. C. de V.; OLIVEIRA, A. M. de; MARACAJA, P. B. **Apicultura e inclusão social em assentamentos de reforma agrária no município de Apodi-RN**. In: XLIV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, Fortaleza-CE, 2006.

MATIAS, S. S. R.; NÓBREGA, J. C. A.; NÓBREGA, R. S. A.; ANDRADE, F. R.; BAPTISTEL, A. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo cultivado de modo convencional com soja no cerrado piauiense. **Revista Agro@mbiente**, v.9, n.1, p. 17-26, 2015.

MCGILL, B. M.; ALTCHENKO, Y.; HAMILTON, S. K.; KENABATHO, P. K.; SYLVESTER, S. R.; VILLHOLTH, K. G. Complex interactions between climate change, sanitation, and groundwater quality: a case study from Ramotswa, Botswana. **Hydrogeol Journal**, v. 27, n.3, p. 997–1015, 2019.

MCLEOD, L.; BHARADWAJ, L.; EPP, T.; WALDNER, C. L. Use of Principal Components Analysis and Kriging to Predict Groundwater-Sourced Rural Drinking Water Quality in Saskatchewan. **Int J Environ Res Public Health**, v. 14, n. 9, 2017.

MEDEIROS, A. C.; LIMA, M. de O.; GUIMARAES, R. M. Avaliação da qualidade da água de consumo por comunidades ribeirinhas em áreas de exposição a poluentes urbanos e industriais nos municípios de Abaetetuba e Barcarena no estado do Pará, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, vol.21, n.3, pp.695-708, 2016.

MEDEIROS, J. F.; LISBOA, R. de A.; OLIVEIRA, M. de; SILVA JÚNIOR, M. J. da; ALVES, L. P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de engenharia agrícola ambiental**, v. 7, n. 3, p. 469-472, 2003.

MELLO, Y. R. de; OLIVEIRA, T. M. N. de. Análise Estatística e Geoestatística da Precipitação Média para o Município de Joinville (SC). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 2, p. 229-239, 2016.

MENEZES, J. P. C.; BERTOSSI, A. P. A.; SANTOS, A. R.; NEVES, M. A. Correlação entre uso da terra e qualidade da água subterrânea. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, p. 173-186, 2014.

MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. S.; BELLO, I. P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol.21, n.3, p. 519-534, 2016.

MILITÃO, I. M.; SILVERIO, J. M. O.; CASTRO, V. L. L.; MARTINS, G. Avaliação da gestão compartilhada do aquífero Jandaíra, região limítrofe dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte. In: XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2016, Campinas. **Anais...** São Paulo, 2016.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: FUNASA, 2014.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Manual de procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Perguntas e respostas sobre a Portaria MS nº 2914/2011**. 2012. Brasília: Secretaria de Vigilância em Saúde. Disponível em: <https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2015/setembro/30/PERGUNTAS-E-RESPOSTAS-SOBRE-A-PORTARIA-MS-N-2-914.pdf>. Acesso em: 05 setembro 2019.

MIOT, H. A. Valores anômalos e dados ausentes em estudos clínicos e experimentais. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 18, 2019.

MORAES, L. F.; CABONGO, O. A. dos S.; POLETO, C. Avaliação da rede de monitoramento de uma bacia hidrográfica do Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta Brasiliensis**, v. 2, p. 74-79, 2018.

MORAIS, R. C. S.; ARAUJO, I. R. G. Análise espacial da concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) em águas subterrâneas da região norte do Piauí. **Revista Equador**, v. 4, p. 45-66, 2015.

MORAIS, W. A.; SALEH, B. B.; ALVES, W. dos S. Qualidade sanitária da água distribuída para abastecimento público em Rio Verde, Goiás, Brasil. **Caderno Saúde Coletiva**, v.24, n.3, p.361- 367, 2016.

MOTA, J. C. A.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; AMARO FILHO, J.; ROMERO, R. E.; MOTA, FRANCISCO O. B.; LIBARDI, P. L. Atributos mineralógicos de três solos explorados com a cultura do melão na Chapada do Apodi: RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 445-454, 2007.

NASCIMENTO, G. F. **Geoestatística aplicada no diagnóstico da qualidade de águas subterrâneas**. 2014. 84 f. Monografia (Especialista em Gestão Hídrica e Ambiental), Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

NEVES, A. L. R.; PEREIRA, M. A.; LACERDA, C. F. de; GHEYI, H. R. Aspectos socioambientais e qualidade da Água de dessalinizadores nas comunidades rurais de Pentecoste-CE. **Revista Ambiente e Agua**, v. 12, p. 124, 2017.

NOGUEIRA, F. F.; COSTA, I. A.; PEREIRA, U. A. **Análise de Parâmetros Físico-Químicos da Água e do Uso e Ocupação do Solo na Sub-bacia do Córrego da Água Branca no Município de Nerópolis-Goiás**. 2015. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

NORETE, D. N.; CORREIA, Q. B.; JOSE, J. F. B. S. Qualidade da água utilizada em quiosques de praia. **Revista Ambiente & Água [online]**, v. 13, n. 2, 2018.

NOZAKI, C. T.; MARCONDES, M. A.; LOPES, F. A.; SANTOS, K. F.; LARIZZATTI, P. S. C. Comportamento temporal de oxigênio dissolvido e pH nos rios e córregos urbanos. **Atas de Saúde Ambiental ASA**, v. 2, n.1, 2014.

OLIVEIRA JÚNIOR, H. S. de. **Monitoramento e mapeamento das águas subterrâneas de abastecimento urbano do município de Mossoró-RN**. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Manejo Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016a.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. F. O. **Modelagem espacial dos atributos do solo sob diferentes ocupações em uma microbacia perene de vertente do semiárido**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016b.

OLIVEIRA, D. G.; REIS, E. F.; MEDEIROS, J. C.; MARTINS, M. P. O.; UMBELINO, A. S. Correlação espacial de atributos físicos do solo e produtividade de tomate industrial. **Revista Agro@mbiente**, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2018.

OLIVEIRA, F. R.; CARDOSO, F. B. F.; MANOEL FILHO, J.; KIRCHHEIM, R.; FEITOSA, E. C.; TEIXEIRA, H. R.; VARELLA NETO, P. L.; GONCALVES, M. V. C.; NASCIMENTO,

F. S. Gestão compartilhada de águas subterrâneas na Chapada do Apodi, entre os estados do Ceará e Rio Grande do Norte. In: XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2012, Bonito. **Anais...** Mato Grosso do Sul, 2012.

OLIVEIRA, J. N.; DALL'AGLIO SOBRINHO, M.; DIGIUNTA, V. Utilização de krigagem como estimador da variabilidade espacial de nitrato em um aquífero. In: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 1998, São Paulo-SP. **Anais...**, 1998.

OLIVEIRA, M.C.N. **Métodos de estimação de parâmetros em modelos geoestatísticos com diferentes estruturas de covariâncias: uma aplicação ao teor de cálcio no solo**. Piracicaba, 2003. 140p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, R. P.; GREGO, C. R.; BRANDÃO, Z. N. **Geoestatística aplicada a agricultura de precisão utilizando o Vesper**. 23 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

PAIVA, R. F. P. S.; SOUZA, M. F. P. de. Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 34, n. 1, 2018.

PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; CHAVES, L. C. G. Similaridade e fatores determinantes na salinidade das águas superficiais do Ceará, por técnicas multivariadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 395-402, 2011.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57612/1/Doc232ultima-versao.pdf>. Acesso 06 setembro 2019.

PAZ-GONZALEZ, A.; TABOADA CASTRO, M. T.; VIEIRA, S. R. Geostatistical analysis of heavy metals in a one-hectare plot under natural vegetation in a serpentine area. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 81, p. 469-479, 2001.

PELISSARI, A. L. **Geoestatística aplicada ao manejo de povoamentos de Tectona grandis** L. f. 119f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

PEREIRA, P. E. C. **Estimativa de recursos minerais e otimização de cava aplicados a um estudo de caso de uma mina de calcário**. 2017. 171 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem e Otimização) - Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2017.

PINTO FILHO, J. L. de O.; LUNES, A. R. da S. Aspectos e impactos ambientais no perímetro irrigado na Chapada do Apodi-RN. In: XVII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional - ENANPUR, 2019, Natal. **Anais...** Rio Grande do Norte, 2019.

PINTO FILHO, J. L. O.; GONCALVES, G. L.; LUNES, A. R. S. Caracterização socioeconômica e ambiental das comunidades rurais da Chapada do Apodi-RN. **Geosul (UFSC)**, v. v. 35, p. 01-28, 2019.

PINTO, M. C. F. **Manual Medição in loco**: Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido, MG, CPRM- serviço geológico do Brasil, 2007.

PINTO, M. do S. D. **O conflito socioambiental na chapada do Apodi/RN: uma disputa entre o agronegócio e a agricultura familiar**. 2018. 111f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

PIRATOBA, A. R. A.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; GONCALVES, W. G. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v.12, n.3, 2017.

PITOMBO, C. S. Geoestatística aplicada a problemas relativos à demanda por transportes. 2016. 169 f. Tese (para obtenção do título de livre-docente em concurso pelo Departamento de Engenharia de Transportes). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

PNQA. Portal Nacional da Qualidade das Águas. **Enquadramento -Introdução**. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/enquadramento-introducao.aspx>. Acesso em: 01 setembro 2019.

PONTES, A. G. V.; GADELHA, D.; FREITAS, B. M. C.; RIGOTTO, R. M.; FERREIRA, M. J. M. Os perímetros irrigados como estratégia geopolítica para o desenvolvimento do semiárido e suas implicações à saúde, ao trabalho e ao ambiente. **Revista Ciência e Saúde Coletiva**, v. 18, n. 11, p. 3213-3222, 2013.

PRAXEDES, C. I. S.; CARRIJO, K. F.; FREIRE, R. G. S. Controle físico-químico de água de abastecimento para consumo e uso industrial: sistema de tratamento, métodos de análise e parâmetros legais. **PUBVET**, v. 6, n. 26, ed. 213, 2012.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico**: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2ª ed. Universidade Feevale – Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, 2013.

RAMÍREZ, J. E. G. **Variabilidade Espacial do Parâmetro Geomecânico RQD no Depósito Mineral Animas-Peru**. 2009. 166 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

RIBEIRO, J. A. R.; LEMOS, R. S.; COTA, G. E. M.; MAGALHAES JUNIOR, A. P.; PERON, G. A abordagem de conflitos pelo uso da água na gestão de recursos hídricos - reflexões a partir do contexto da bacia do alto rio das Velhas/MG. **Caminhos da Geografia (UFU. Online)**, v. 19, p. 343-360, 2018.

RIBON, A. A.; TAVARES, J.; FERNANDES, K. L.; ALVES, A. R.; BACKES, C.; SANTOS, A. J. M. Distribuição espacial da resistência do solo à penetração em pomar de citros análise exploratória. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 60, p. 335-342, 2017.

RIGOBELLO, E. C.; MINGATTO, F. H.; TAKAHASHI, L. S.; ÁVILA, F. A. de. Padrão físico-químico e microbiológico da água de propriedades rurais da região de Dracena. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 7, n. 2, p. 219-224, 2009.

RIZO-DECELIS, L. D.; PARDO-IGÚZQUIZA, E.; ANDREO B. Spatial prediction of water quality variables along a main river channel, in presence of pollution hotspots. **Science of the Total Environment**, v. 605-606, p. 276-290, 2017.

ROCHA, A. B. da; BACCARO, P. D. C. A. D.; SILVA, P. D. P. M.; CAMACHO, R. G. V. Mapeamento geomorfológico da bacia do Apodi-Mossoró – RN, NE do Brasil. **Mercator (Fortaleza. Online)**, v. 8, p. 187-200, 2009.

ROCHA, C. H. B.; PEREIRA, A. M. Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 1, p. 176-187, 2016.

RODRIGUES, L. N. **Água para produção de alimento**. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/42157533/artigo-agua-para-producao-de-alimento>. Acesso em 03 outubro 2019.

ROSA, L. M. F. **Estudos sobre a influência de afirmações populares na Geoestatística Clássica**. 2017. 103 f. Tese (Doutorado em Estatística Aplicada e Biometria), Universidade Federal de Viçosa, 2017.

ROSSI, M. E.; DEUTSCH, C. V. **Mineral Resource Estimation**. Dordrecht: Springer, 2014.

ROSSI, R. A.; SANTOS, E. Conflito e regulação das águas no Brasil – a experiência do Salitre. **Caderno CRH**, v. 31, n. 82, p. 151-167, 2018.

SAKO, A.; YARO, J. M.; BAMBA, O. Impacts of hydrogeochemical processes and anthropogenic activities on groundwater quality in the Upper Precambrian Sedimentary aquifer of Northwestern Burkina Faso. **Applied Water Science**, v. 8, p. 1-14, 2018.

SALDANHA, H. G. A. C.; MELO, W. F.; MELO, L. P. M.; ALMEIDA, K. M.; SOUZA, E. A.; RODRIGUES, L. M. S.; MEDEIROS, A. C.; MELO, W. F. A qualidade da prestação de serviços de abastecimento de água para consumo humano: revisão bibliográfica. **INTESA - Informativo Técnico do Semiárido**, v. 10, p. 18-27, 2016.

SANTANA JÚNIOR H. E. **Zoneamento agroecológico do município de Apodi/RN**. 2010. 121f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2010.

SANTOS, A. da S. Geoestatística aplicada na avaliação da qualidade de dados geoespaciais. 2013. 148 p. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, 2013.

SANTOS, K. E. L. **Geoestatística e geoprocessamento aplicados à tomada de decisão agroambiental em um sistema de produção de leite a pasto intensivo**. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

SAUSEN, T. M.; MARCHIORI, L. A. da C.; BATISTA, M. H.; FACCIN, A. Mapeamento de desastres naturais no Rio Grande do Sul para o período de 1985-2016. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. esp., 2018, p. 268-302.

- SHEIN, V. A. S.; NASCIMENTO, A. C.; SCHMITT, J. P. S.; DIAS, L. A.; SIEGA, Y. V. Análises Físico-Químicas da Água das Nascentes do Rio Caveiras - Reserva Particular do Patrimônio Natural Serra da Farofa. In: XVIII SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária, 2016, Florianópolis-SC. Recursos Hídricos: planejamento, gestão, aproveitamento, controle da poluição hídrica, políticas e estudos avaliativos. **Anais...** Florianópolis, 2016.
- SIBALDELLI, R. N. R.; CARVALHO, J. D. F. C.; DE OLIVEIRA, M. C. N. Uso de geostatística no estudo da variabilidade espacial da capacidade de troca de cátions do solo. **Global Science and Technology**, v. 8, n. 1, p. 141-156, 2015.
- SILVA, D. D.; MIGLIORINI, R. B.; SILVA, E. C.; ZORAIDY, M. L.; MOURA, I. B. Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 43-52, 2014.
- SILVA, E. B. da; NETO, J. R. A.; PALACIO, H. A. Q.; SOUZA, C. A. de; ANDRADE, E. M. de. Variabilidade espaço-temporal da qualidade de água no vale do rio Trussu, Ceará. **Revista brasileira de agricultura irrigada**, v. 11, p. 1420-1429, 2017.
- SILVA, J. B.; GUERRA, L. D.; IORIS, A. A. R.; FERNANDES, M. A crise hídrica global e as propostas do Banco Mundial e da ONU para seu enfrentamento. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Ciências da UFRN (CRONOS)**, v. 11, n. 2, 2011.
- SILVA, J. M. DA; GURGEL, I. G. D.; SANTOS, M. O. DOS; GURGEL, A. DO M.; AUGUSTO, L. G. da S.; COSTA, A. M. Conflitos ambientais e as águas do rio São Francisco. **Saúde e sociedade**, v. 24, n. 4, p.1208-1216, 2015.
- SILVA, K. de F. N. L.; SILVA, C. T. S. da; CARVALHO, C. M. Caracterização bacteriológica, hidroquímica e fisioquímica das águas subterrâneas das comunidades de km 60 e Sucupira na Chapada do Apodi, Limoeiro do Norte, Ceará. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 24, p. 1-19, 2010.
- SILVA, N. R.; ALBUQUERQUE, T. N. Enquadramento de corpos de água: um instrumento da política nacional de recursos hídricos. **Geoambiente On-Line**, n. 32, p. 174, 2018.
- SILVA, R. A. da; OLIVEIRA, V. de P. S. Mapeamento da qualidade de água subterrânea em São Francisco de Itabapoana - RJ. In: XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2014. **Anais...** Belo Horizonte, Minas Gerais, 2014.
- SILVA, R. S. B.; SOUSA, A. M. L.; SODRE, S. S. V.; VITORINO, M. I. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, PA. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 2, 2018.
- SIMPLÍCIO, C. G.; FARIA, L. V. Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos e suas Implicações na Atividade Agropecuária. **Revista Referência**, v. 2, p. 1-31, 2016.
- SOARES, L. L. L. O.; PINTO FILHO, J. L. O.; FEITOSA, A. P.; BEZERRA, J. M. Perfil socioeconômico e percepção ambiental dos moradores do entorno da Lagoa do Apodi, Rio

Grande do Norte. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 14, p. 111-119, 2019.

SOUTO, F. M.; BEZERRA, D. E. L.; BITU, S. G.; PEREIRA JUNIOR, E. B. Efeito dos sais e da qualidade da água no solo e na planta. **Revista de Agroecologia do Semiárido**, v. 01, p. 01-12, 2017.

SOUZA, Z. M. de; SOUZA, G. S. de; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo. **Ciência Rural**, v. 44, n. 2, 261-268, 2014.

SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3ª. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. I, 2005.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014

STELLATO, T. B. **Avaliação da qualidade da água superficial e subterrânea da área de instalação do futuro reator multipropósito brasileiro - RMB, como uma ferramenta para a obtenção da licença de instalação**. 210 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

STOLF, D. F.; MOLZ, S. Avaliação microbiológica da água utilizada para consumo humano em uma propriedade rural de Taió – SC. **Revista Saúde e Meio Ambiente**, v. 6, n. 1, p. 96-106, 2017.

STURARO, J. R. **Apostila de Geoestatística Básica**. Rio Claro, UNESP, IGCE, 2015, 34p.

STURARO, J. R. **Estudo do comportamento espacial de variáveis geológicas e hidrogeológicas da área urbana de Ribeirão Preto - SP**. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1988.

TAVARES, J. M.; SOUZA, P. M. A. D. Características ambientais das comunidades de baiacu e de cachoeira na baía de todos os santos- Bahia - Brasil. **Holos**, v. 7, p. 258-265, 2016.

TEIXEIRA, D. B.; BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; SCALA JÚNIOR, N. L. Avaliação da krigagem ordinária e simulação sequencial gaussiana na interpolação da emissão de CO₂ do solo. In: II Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias. **Anais...** Botucatu: Fepaf, 2011.

TEIXEIRA, M. B. dos R. **Comparação entre estimadores de semivariância**. 2013. 123f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação), Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2013.

TEIXEIRA, Z. A. **Processos determinantes da qualidade das águas subterrâneas da Formação Jandaíra na Chapada do Apodi/CE**. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

TUNDISI, J. G. Instituto Internacional de Ecologia. **Recursos Hídricos**. O futuro dos recursos. São Carlos. Outubro, 2003, 15 p.

TUNDISI, J. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, n. 70, p. 24-35, 2006.

TUNDISI, J.G. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez**. 3ed. São Carlos: RiMa, IIE, 2009. 271p.

VALE JÚNIOR, P. A. do. **Análise da qualidade da água dos principais afluentes para gestão da futura barragem Miringuava de abastecimento público**. 2018. 145 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

VICENTE, G. Z. **Geoestatística Aplicada à Análise de Parâmetros de Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Bauru**. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2018a.

VICENTE, G. Z.; LIMA, C. G. R.; MARQUES, S. M. Variabilidade espacial e temporal do Nitrato e Cloreto no Sistema Aquífero Bauru, estado de São Paulo. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 32, p. 295-306, 2018b.

VILLAR, P. C. As águas subterrâneas e o direito à água em um contexto de crise. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 1, p. 85-102, 2016.

VILLEGAS, C. **Apostila para os cursos de Estatística (Versão 1)**. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

WACHINSKI, M. C. **Análise microbiológica da água consumida diretamente de bicas d'água na cidade de Canoinhas/SC**. 2013. 62 f. Monografia (Licenciatura em Ciências biológicas). Universidade Federal de Santa Catarina, Canoinhas, 2013.

YAMAMOTO, J. K. **Avaliação e classificação de reservas minerais**. São Paulo, EDUSP, FABESP, 2001, 226 p.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de textos, 2013. 215p.

YANG, M.; WANG, C.; YANG, Z.; YAN, N.; LI, F.; DIAO, Y.; CHEN, M.; LI, H.; WANG, J.; QIAN, X. Use of portable X-ray fluorescence spectroscopy and geostatistics for health risk assessment. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 153, p. 68-77, 2018.