

# RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,  
o texto completo deste documento será  
disponibilizado a partir de  
07/03/2027.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**HENRIQUE DE CARVALHO SIQUEIRA**

**SISTEMA AQUÍFERO BAURU:  
ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE PARÂMETROS DE  
QUALIDADE DA ÁGUA E A CORRELAÇÃO COM DADOS PLUVIOMÉTRICOS**

Ilha Solteira - SP

2025

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**HENRIQUE DE CARVALHO SIQUEIRA**

**SISTEMA AQUÍFERO BAURU:  
ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE PARÂMETROS DE  
QUALIDADE DA ÁGUA E A CORRELAÇÃO COM DADOS PLUVIOMÉTRICOS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Área de Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais.

Orientador  
Prof. Dr. César Gustavo da Rocha Lima

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

S618s Siqueira, Henrique de Carvalho.  
Sistema Aquífero Bauru: análise da variabilidade espacial e temporal de parâmetros de qualidade da água e a correlação com dados pluviométricos / Henrique de Carvalho Siqueira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025  
153 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2025

Orientador: César Gustavo da Rocha Lima  
Inclui bibliografia

1. Água subterrânea. 2. Krigagem. 3. Qualidade da Água. 4. Precipitação.

## **IMPACTO POTENCIAL DA PESQUISA**

A pesquisa tem como área de estudo, a porção paulista do Sistema Aquífero Bauru, que abrange cerca de 40% do estado de São Paulo e exerce importante papel no sistema de abastecimento doméstico das cidades nele englobadas. Assim, a pesquisa tem caráter prático de estimar áreas em que possam ocorrer variações na qualidade da água para consumo humano, seja ela por atividade antrópica ou por características naturais do aquífero, de modo que seja possível um gerenciamento mais dinâmico, assertivo e sustentável das águas subterrâneas, indo diretamente ao encontro de um dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável estipulado pela Organização das Nações Unidas, de número 6, que tem como base o acesso universal à água potável e ao saneamento básico.

## **POTENTIAL IMPACT OF THE RESEARCH**

The research study area is the São Paulo portion of the Bauru Aquifer System, which covers around 40% of the state and plays an important role in the domestic supply system of the cities included in it. Thus, the research has a practical nature of estimating areas in which variations in the quality of water for human consumption may occur, whether due to human activity or natural characteristics of the aquifer, so that a more dynamic, assertive and sustainable groundwater management shall be possible, which faces directly one of the Sustainable Development Goals stipulated by the United Nations, number 6, which is based on universal access to drinking water and basic sanitation.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** SISTEMA AQUIFERO BAURU: ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA E CORRELAÇÃO COM DADOS PLUVIOMÉTRICOS

**AUTOR:** HENRIQUE DE CARVALHO SIQUEIRA

**ORIENTADOR:** CESAR GUSTAVO DA ROCHA LIMA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, área: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 **CESAR GUSTAVO DA ROCHA LIMA**  
Data: 07/03/2025 14:15:51-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. CESAR GUSTAVO DA ROCHA LIMA (Participação Virtual)  
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Documento assinado digitalmente  
 **BRENO PADOVEZI ROCHA**  
Data: 07/03/2025 14:42:15-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. BRENO PADOVEZI ROCHA (Participação Virtual)  
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Documento assinado digitalmente  
 **VITOR MATHEUS BACANI**  
Data: 07/03/2025 15:27:03-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. VITOR MATHEUS BACANI (Participação Virtual)  
Programa de Pós-Graduação e Geografia / Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS

Ilha Solteira, 07 de março de 2025

Às fortes mulheres que me inspiraram e ainda inspiram a seguir com garra e força sem desistir dos desafios, em especial à minha avó Waldicleia (*in memoriam*).

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à minha família, sem a qual eu não teria a base para construir uma carreira acadêmica, em especial aos meus pais Luciane Bosoki e Giuliano Gonçalves.

Ao meu namorado Ian Especiato, que me ajudou na revisão desse trabalho e me apoiou durante toda essa árdua caminhada.

Ao meu orientador Prof. Dr. César Gustavo da Rocha Lima, pelos conselhos, apontamentos, orientação e paciência que foram, sem dúvida, essenciais para a elaboração dessa pesquisa.

À equipe da Geometrisa, que me incentivou a continuar no caminho acadêmico desde a etapa de entrega do projeto até o presente momento.

E a todos aqueles que não foram diretamente mencionados aqui, mas que de alguma forma contribuíram para que eu conseguisse chegar ao final de mais essa etapa.

## RESUMO

As águas subterrâneas compõem um dos principais meios de captação para abastecimento humano no mundo, especialmente no estado de São Paulo, na região do Sistema Aquífero Bauru (SAB). A concentração de elementos químicos na água, no entanto, pode variar sazonalmente, podendo apresentar alguma interação com a pluviometria e os níveis freáticos. Assim, o presente estudo analisou a variabilidade espacial e temporal de 12 parâmetros de qualidade da água: Alcalinidade Bicarbonato (AlcB), Boro (B), Cálcio (Ca), Cobalto (Co), Potássio (K), Lítio (Li), Magnésio (Mg), Sódio (Na), Fósforo (P), Estrôncio (Sr), Sólidos Totais (ST) e Titânio (Ti). A primeira etapa dos estudos englobou a estatística descritiva dos dados de 97 poços de monitoramento de qualidade e 291 postos pluviométricos entre os anos de 2016 e 2018. Em seguida, foram realizadas as análises geoestatísticas, que geraram resultados satisfatórios nas etapas de calibração do semivariograma, determinação da dependência espacial e na etapa de krigagem, que gerou os mapas de concentrações dos parâmetros, bem como das chuvas. Com os dados gerados a partir dos mapas, foram realizadas análises de correlação linear dos parâmetros entre si e entre os parâmetros da água com a pluviometria. Na etapa de análise da estatística descritiva, evidenciou-se alta variabilidade das amostras e, para alguns parâmetros (B, Ca, K, Mg, Na e ST), valores máximos acima dos valores de referência de qualidade (VRQ) definidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Em seguida, a etapa geoestatística gerou resultados que possibilitaram a delimitação dessas áreas acima do VRQ, que indicam potenciais interferências antrópicas ou alterações na qualidade da água que devem ser monitoradas, além de evidenciarem o comportamento sazonal dos parâmetros AlcB, Ca, K, Na e ST. Verificou-se ainda correlações moderadas e altas entre Mg e Ti, AlcB e Mg, Ca e Mg, Ca e ST, AlcB e Ca, Mg e ST, AlcB e Li. A maioria das correlações entre os parâmetros da água vs. chuva apresentaram-se baixas (entre -0,5 e 0,5) e pouco consistentes tanto no primeiro quanto no segundo semestre. Apesar disso, Mg e Ti apresentaram correlações moderadas negativas de magnitude com o período chuvoso (1º semestre), evidenciando uma possível diminuição das concentrações com o aumento da pluviosidade. Por fim, os mapas gerados, bem como as modelagens apresentadas, representam importantes resultados para uma gestão mais eficiente deste recurso na área do SAB.

**Palavras-chave:** água subterrânea; krigagem; qualidade da água; precipitação.

## ABSTRACT

Groundwater constitutes one of the main sources of water supply for human consumption worldwide, particularly in the state of São Paulo, within the Bauru Aquifer System (Sistema Aquífero Bauru – SAB). However, the concentration of chemical elements in groundwater may vary seasonally, potentially interacting with rainfall patterns and groundwater levels. This study investigated the spatial and temporal variability of 12 water quality parameters: Alkalinity Bicarbonate (AlcB), Boron (B), Calcium (Ca), Cobalt (Co), Potassium (K), Lithium (Li), Magnesium (Mg), Sodium (Na), Phosphorus (P), Strontium (Sr), Total Solids (TS), and Titanium (Ti). The first stage of the study involved descriptive statistical analysis of data from 97 groundwater quality monitoring wells and 291 rainfall monitoring stations between 2016 and 2018. Subsequently, geostatistical analyses were performed, yielding satisfactory results in semivariogram calibration, spatial dependency assessment, and kriging, which produced concentration maps for the selected parameters as well as rainfall distribution. Based on these maps, linear correlation analyses were conducted among the water quality parameters and between these parameters and precipitation. The descriptive statistical analysis revealed high variability among samples. For some parameters (B, Ca, K, Mg, Na, and TS), maximum values exceeded the reference quality values (VRQ) established by the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB). The geostatistical analysis allowed for the delineation of areas with concentrations above the VRQ, indicating potential anthropogenic influences or changes in water quality that warrant monitoring. Additionally, seasonal patterns were observed for parameters such as AlcB, Ca, K, Na, and TS. Moderate to strong correlations were identified between several parameters, including Mg and Ti, AlcB and Mg, Ca and Mg, Ca and TS, AlcB and Ca, Mg and TS, and AlcB and Li. Most correlations between water quality parameters and rainfall were low (between -0.5 and 0.5) and showed little consistency across both semesters. Nevertheless, Mg and Ti exhibited moderately negative correlations with the rainy season (first semester), suggesting a potential dilution effect with increased precipitation. In conclusion, the generated maps and the associated modeling provide valuable insights for more efficient management of groundwater resources within the SAB region.

**Keywords:** groundwater; kriging; water quality; precipitation.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Ciclo Hidrológico .....                                                                          | 18 |
| Figura 2 – Bacia do Rio da Prata e o Sistema Aquífero Bauru (SAB).....                                      | 20 |
| Figura 3 – Municípios do estado de São Paulo abastecidos parcial ou totalmente por águas subterrâneas ..... | 22 |
| Figura 4 – Mapa de uso e ocupação do solo da região do Aquífero Bauru .....                                 | 24 |
| Figura 5 – Exemplo de semivariograma.....                                                                   | 32 |
| Figura 6 – Semivariograma dos Modelos de Transição.....                                                     | 33 |
| Figura 7 – Delimitação da Área de Estudo no Sistema Aquífero Bauru.....                                     | 38 |
| Figura 8 – Localização dos pontos amostrais utilizados no estudo .....                                      | 40 |
| Figura 9 – Subdivisão Hidroestatigráfica do SAB .....                                                       | 46 |
| Figura 10 – Mapas de concentração de parâmetro de qualidade da água – Alcalinidade Bicarbonato.....         | 60 |
| Figura 11 – Mapas de concentração de parâmetro de qualidade da água – Boro61                                |    |
| Figura 12 – Mapas de concentração de parâmetro de qualidade da água – Cálcio .....                          | 62 |
| Figura 13 – Áreas de extrapolação do VRQ para Alcalinidade Bicarbonato ....                                 | 63 |
| Figura 14 – Áreas de extrapolação do VRQ para Boro .....                                                    | 64 |
| Figura 15 – Áreas de extrapolação do VRQ para Cálcio .....                                                  | 66 |
| Figura 16 – Mapas de concentração de parâmetro de qualidade da água – Cobalto .....                         | 67 |
| Figura 17 – Mapas de concentração de parâmetro de qualidade da água – Potássio .....                        | 68 |
| Figura 18 – Mapas de concentração de parâmetro de qualidade da água – Lítio69                               |    |
| Figura 19 – Áreas de extrapolação do VRQ para Potássio .....                                                | 70 |
| Figura 20 – Mapas de concentração de parâmetro de qualidade da água – Magnésio .....                        | 72 |
| Figura 21 – Mapas de concentração de parâmetro de qualidade da água – Sódio .....                           | 73 |
| Figura 22 – Mapas de concentração de parâmetro de qualidade da água – Fósforo .....                         | 74 |
| Figura 23 – Áreas de extrapolação do VRQ para Magnésio .....                                                | 75 |
| Figura 24 – Áreas de extrapolação do VRQ para Sódio.....                                                    | 76 |

|                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 25 – Mapas de concentração de parâmetro de qualidade da água – Estrôncio .....                                        | 78  |
| Figura 26 – Mapas de concentração de parâmetro de qualidade da água – Sólidos Totais .....                                   | 79  |
| Figura 27 – Mapas de concentração de parâmetro de qualidade da água – Titânio .....                                          | 80  |
| Figura 28 – Áreas de extrapolação do VRQ para Sólidos Totais .....                                                           | 82  |
| Figura 29 – Áreas dos parâmetros acima do VRQ .....                                                                          | 83  |
| Figura 30 – Mapas de distribuição de chuvas – 1º semestre de 2016 .....                                                      | 86  |
| Figura 31 – Mapas de distribuição de chuvas – 2º semestre de 2016 .....                                                      | 87  |
| Figura 32 – Mapas de distribuição de chuvas – 1º semestre de 2017 .....                                                      | 88  |
| Figura 33 – Mapas de distribuição de chuvas – 2º semestre de 2017 .....                                                      | 89  |
| Figura 34 – Mapas de distribuição de chuvas – 1º semestre de 2018 .....                                                      | 90  |
| Figura 35 – Mapas de distribuição de chuvas – 2º semestre de 2018 .....                                                      | 91  |
| Figura 36 – Ajustes de regressão linear das principais correlações entre parâmetros de qualidade da água no SAB (2016) ..... | 98  |
| Figura 37 - Ajustes de regressão linear das principais correlações entre parâmetros de qualidade da água no SAB (2017) ..... | 99  |
| Figura 38 - Ajustes de regressão linear das principais correlações entre parâmetros de qualidade da água no SAB (2018) ..... | 100 |
| Figura 39 – Correlação linear entre acumulado de chuvas e Magnésio no primeiro semestre de 2016 .....                        | 102 |
| Figura 40 - Correlação linear entre acumulado de chuvas e Magnésio no primeiro semestre de 2017 .....                        | 102 |
| Figura 41 - Correlação linear entre acumulado de chuvas e Magnésio no primeiro semestre de 2018 .....                        | 103 |
| Figura 42 – Correlação linear entre acumulado de chuvas e Titânio no primeiro semestre de 2016 .....                         | 104 |
| Figura 43 – Correlação linear entre acumulado de chuvas e Titânio no primeiro semestre de 2017 .....                         | 104 |
| Figura 44 – Correlação linear entre acumulado de chuvas e Titânio no primeiro semestre de 2018 .....                         | 105 |
| Figura 45 – Regressão linear para o Boro e a pluviometria em outubro de 2016                                                 | 107 |
| Figura 46 - Regressão linear para os ST e a pluviometria em agosto de 2016                                                   | 107 |

Figura 47 - Regressão linear para os ST e a pluviometria em agosto de 2017108

Figura 48 - Regressão linear para o Titânio e a pluviometria em agosto de 2018108

Figura 49 - Regressão linear para o Magnésio e a pluviometria em setembro de 2018

.....109

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 – Classificação da água subterrânea.....                                                                                                           | 25  |
| Tabela 2 – Valores Máximos Permitidos (VMP) para parâmetros de qualidade da água<br>.....                                                                   | 25  |
| Tabela 3 – Dose média anual de radiação ionizante recebida por pessoa .....                                                                                 | 30  |
| Tabela 4 – Estudos de chuvas utilizando a geoestatística .....                                                                                              | 35  |
| Tabela 5 – Estudos de dependência espacial de parâmetros de qualidade da água<br>.....                                                                      | 35  |
| Tabela 6 – Parâmetros de qualidade da água e metodologias analíticas de<br>monitoramento .....                                                              | 39  |
| Tabela 7 – Análise estatística dos parâmetros de qualidade da água do SAB                                                                                   | 43  |
| Tabela 8 – Valores de Referência de Qualidade e Valores Máximos Observados dos<br>parâmetros de qualidade da água analisados no SAB entre 2016 e 2018 ..... | 48  |
| Tabela 9 - Análise estatística dos acumulados mensais de chuvas na região do<br>Aquífero Bauru .....                                                        | 49  |
| Tabela 10 – Resultados dos semivariogramas e validação cruzada dos parâmetros de<br>qualidade da água do Aquífero Bauru .....                               | 50  |
| Tabela 11 – Resultados dos semivariogramas e validação cruzada das chuvas na área<br>de abrangência do Sistema Aquífero Bauru .....                         | 57  |
| Tabela 12 – Número de poços dentro da área de VRQ durante o triênio de 2016 a<br>2018 por parâmetro.....                                                    | 84  |
| Tabela 13 – Escala proposta para a correlação de Pearson .....                                                                                              | 92  |
| Tabela 14 – Correlações moderadas e altas entre os parâmetros .....                                                                                         | 93  |
| Tabela 15 – Correlação de Pearson entre os parâmetros de qualidade da água para o<br>primeiro semestre de 2016 a 2018 do SAB .....                          | 95  |
| Tabela 16 - Correlação de Pearson entre os parâmetros de qualidade da água para o<br>segundo semestre de 2016 a 2018 do SAB .....                           | 96  |
| Tabela 17 – Correlações parâmetro vs. acumulado mensal de chuvas do primeiro<br>semestre .....                                                              | 101 |
| Tabela 18 - Correlações parâmetro vs. acumulado mensal de chuvas do segundo<br>semestre .....                                                               | 106 |

## SUMÁRIO

|          |                                                                 |            |
|----------|-----------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                                          | <b>14</b>  |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVO.....</b>                                            | <b>16</b>  |
| <b>3</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                               | <b>17</b>  |
| 3.1      | A ÁGUA DOCE E O CICLO HIDROLÓGICO.....                          | 17         |
| 3.1.1    | Precipitação .....                                              | 19         |
| 3.1.2    | Água subterrânea .....                                          | 21         |
| 3.1.3    | Qualidade da Água Subterrânea.....                              | 24         |
| 3.1.3.1  | Alcalinidade Bicarbonato (AlcB).....                            | 26         |
| 3.1.3.2  | Boro (B) .....                                                  | 26         |
| 3.1.3.3  | Cálcio (Ca) .....                                               | 27         |
| 3.1.3.4  | Cobalto (Co) .....                                              | 27         |
| 3.1.3.5  | Potássio (K) .....                                              | 28         |
| 3.1.3.6  | Lítio (Li) .....                                                | 28         |
| 3.1.3.7  | Magnésio (Mg) .....                                             | 28         |
| 3.1.3.8  | Sódio (Na) .....                                                | 29         |
| 3.1.3.9  | Fósforo (P) .....                                               | 30         |
| 3.1.3.10 | Estrôncio (Sr) .....                                            | 30         |
| 3.1.3.11 | Sólidos Totais (S.T.) .....                                     | 31         |
| 3.1.3.12 | Titânio (Ti) .....                                              | 31         |
| 3.2      | GEOESTATÍSTICA .....                                            | 32         |
| 3.2.1    | Geoestatística aplicada a estudos de qualidade da água e chuvas | 35         |
| <b>4</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                                | <b>38</b>  |
| 4.1      | ÁREA DE ESTUDO E BANCO DE DADOS.....                            | 38         |
| 4.2      | ANÁLISE ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA .....                      | 40         |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                             | <b>43</b>  |
| 5.1      | ESTATÍSTICA DESCRITIVA .....                                    | 43         |
| 5.2      | ANÁLISE GEOESTATÍSTICA.....                                     | 50         |
| 5.3      | MAPAS DE KRIGAGEM E ANÁLISE.....                                | 59         |
| 5.4      | CORRELAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS .....                           | 92         |
| 5.5      | CORRELAÇÕES PARÂMETROS X CHUVAS .....                           | 100        |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÕES.....</b>                                          | <b>111</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                        | <b>113</b> |

|                                                                                               |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>APÊNDICE A – Localização dos poços de coleta dos parâmetros físicos da água</b>            | <b>126</b> |
| <b>APÊNDICE B – Localização dos poços pluviométricos amostrais .....</b>                      | <b>129</b> |
| <b>APÊNDICE C – Semivariogramas e Validação Cruzada Alcalinidade Bicarbonato (AlcB) .....</b> | <b>136</b> |
| <b>APÊNDICE D – Semivariogramas e Validação Cruzada Boro (B) .....</b>                        | <b>137</b> |
| <b>APÊNDICE E – Semivariogramas e Validação Cruzada Cálcio (Ca) .....</b>                     | <b>138</b> |
| <b>APÊNDICE F – Semivariogramas e Validação Cruzada Cobalto (Co) .....</b>                    | <b>139</b> |
| <b>APÊNDICE G – Semivariogramas e Validação Cruzada Potássio (K) .....</b>                    | <b>140</b> |
| <b>APÊNDICE H – Semivariogramas e Validação Cruzada Lítio (Li) .....</b>                      | <b>141</b> |
| <b>APÊNDICE I – Semivariogramas e Validação Cruzada Magnésio (Mg) ....</b>                    | <b>142</b> |
| <b>APÊNDICE J – Semivariogramas e Validação Cruzada Sódio (Na) .....</b>                      | <b>143</b> |
| <b>APÊNDICE K – Semivariogramas e Validação Cruzada Fósforo (P) .....</b>                     | <b>144</b> |
| <b>APÊNDICE L – Semivariogramas e Validação Cruzada Estrôncio (Sr) ....</b>                   | <b>145</b> |
| <b>APÊNDICE M – Semivariogramas e Validação Cruzada Sólidos Totais (ST)</b>                   | <b>146</b> |
| <b>APÊNDICE N – Semivariogramas e Validação Cruzada Titânio (Ti) .....</b>                    | <b>147</b> |
| <b>APÊNDICE O – Semivariogramas e Validação Cruzada Chuvas 16-1 .....</b>                     | <b>148</b> |
| <b>APÊNDICE P – Semivariogramas e Validação Cruzada Chuvas 16-2.....</b>                      | <b>149</b> |
| <b>APÊNDICE Q – Semivariogramas e Validação Cruzada Chuvas 17-1 .....</b>                     | <b>150</b> |
| <b>APÊNDICE R – Semivariogramas e Validação Cruzada Chuvas 17-2 .....</b>                     | <b>151</b> |
| <b>APÊNDICE S – Semivariogramas e Validação Cruzada Chuvas 18-1.....</b>                      | <b>152</b> |
| <b>APÊNDICE T – Semivariogramas e Validação Cruzada Chuvas 18-2.....</b>                      | <b>153</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por água faz com que cada vez mais se busque por fontes de fácil captação e de boa qualidade. Uma das alternativas mais utilizadas em diversos países são as reservas subterrâneas, que detém grande parte da reserva de água doce do planeta em seu estado líquido. Segundo relatório da UNESCO (2022), cerca de 50% da população urbana mundial é abastecida por águas subterrâneas. No Brasil, o volume anual captado de água proveniente de reservas subterrâneas ultrapassa os 17,58 bilhões de m<sup>3</sup> (Hirata *et al.*, 2019).

Uma vez explorados, esses reservatórios subterrâneos sofrem rebaixamento e dependem de recargas para recuperar seus níveis freáticos. Aponta-se que, em reservatórios subterrâneos do tipo livre, essas recargas podem ter correlação com as chuvas que percolam o solo ocupando os espaços vazios da água que foi retirada (Brito *et al.*, 2020; Penner *et al.*, 2023). O processo de percolação, no entanto, pode fazer com que alguns elementos sejam dissolvidos devido à solubilização do solo e das rochas pelas quais a água percorre, como sugerido por Stradioto, Teramoto e Chang (2020) em estudos conduzidos no Sistema Aquífero Bauru.

Para que a água seja considerada potável ou para que possa ser utilizada para outros fins que não o consumo humano, como irrigação, dessedentação animal ou uso recreativo, são estabelecidos limites de concentração de elementos como sódio, boro, cálcio, cobalto e lítio. No Brasil, o Ministério da Saúde dispõe sobre o padrão de potabilidade de águas na Portaria nº 888/21 (Brasil, 2021) e o CONAMA estabelece padrões para usos diversos em sua Resolução nº 396/08 (CONAMA, 2008). Internacionalmente, a Organização Mundial da Saúde (OMS) elaborou um relatório, que estabelece critérios mínimos e máximos de elementos orgânicos e inorgânicos presentes na água para que esta seja considerada potável (OMS, 2017).

Para o Sistema Aquífero Bauru, no estado de São Paulo, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) realiza o monitoramento semestral dos poços registrados, em sua maioria para consumo humano. Existem, porém, poços não regularizados e que muitas vezes não são conhecidos pelo órgão fiscalizador não sendo possível sua análise (Dalto; Oliveira; Lollo, 2002). Assim, muitos desses poços não possuem controle da qualidade da água, o que pode acarretar prejuízo a saúde de potenciais consumidores.

Com auxílio de ferramentas de geoestatística, é possível realizar análises dos valores amostrais dos poços monitorados e, a partir destes criar mapas de krigagem que estimam as regiões em que a concentração de determinado parâmetro possa comprometer a utilização da água, levando em conta a dependência espacial entre um ponto amostral e seus vizinhos. Assim, mesmo em regiões onde não exista o monitoramento dos poços pelo órgão fiscalizador, pode-se ter uma estimativa das concentrações de elementos presentes na água (Lobo *et al.*, 2023).

Apresenta-se como sexto objetivo, dentre as 30 metas para o desenvolvimento sustentável estabelecidos pela ONU, a melhoria da qualidade da água e diminuição de sua poluição. O trabalho, portanto, se propõe a realizar a retro análise das concentrações de 12 elementos presentes nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru entre os anos de 2016 e 2018, a fim de estimar regiões com altas concentrações destes, além de avaliar a sua variabilidade sazonal entre os períodos chuvoso e seco.

Para o estudo, foram escolhidos elementos cujos dados disponibilizados pela CETESB fossem suficientes para a análise geoestatística. Cobalto, lítio, estrôncio e titânio são elementos de baixa ocorrência natural no solo, e por isso são pouco explorados em literatura acerca de suas concentrações em águas subterrâneas. Assim, esses parâmetros foram escolhidos para avaliação de possíveis correlações com outros elementos e para dar início a análises que em trabalhos futuros podem ser utilizadas para comparação.

O presente estudo visou, portanto, realizar uma análise com auxílio de ferramentas da geoestatística de concentrações de Alcalinidade Bicarbonato, Boro, Cálcio, Cobalto, Potássio, Lítio, Magnésio, Sódio, Fósforo, Estrôncio, Sólidos Totais e Titânio das amostras coletadas e disponibilizadas pela CETESB, nos anos de 2016 a 2018, no Sistema Aquífero Bauru e, a partir disso, avaliar as correlações espaciais e lineares dos parâmetros entre si e com mapas de pluviosidade do mesmo período.

## 6 CONCLUSÕES

A estatística descritiva realizada no estudo possibilitou a avaliação de Valores Máximos Permitidos (VMP) que não foram ultrapassados por nenhum dos parâmetros. Nesse sentido, à exceção dos parâmetros Co, Li, P, Sr, Ti, todos os demais (AlcB, B, Ca, K, Mg, Na, ST) indicaram pontos com valores acima dos Valores de Referência de Qualidade (VRQ) que foi, então, utilizado para avaliar as áreas com possíveis interferências antrópicas. Além disso, foi possível avaliar os coeficientes de variação dos parâmetros e das chuvas que indicaram magnitude acima de 30% (altíssimos) durante todo o período de estudo.

No que se refere à geoestatística, todos os parâmetros de qualidade da água e análises de chuvas tiveram ajustes semivariográficos satisfatórios, respectivamente com 19% e 20% dos ajustes exponencial, 46% e 57% esférico, 35% e 23% gaussiano com elevada dependência espacial e alcances que variaram de 35,8 km a 209,1 km para os parâmetros e de 38,4 km a 704,0 km para chuvas. A partir disso, foi possível gerar resultados satisfatórios dos mapas de krigagem, com correlações boas entre os valores amostrais e os estimados.

Os mapas gerados permitiram avaliar que alguns parâmetros sofrem influência sazonal, entre os períodos chuvosos e secos, com variação em área ou em concentrações máximas, tais como a Alcalinidade Bicarbonato, o Cálcio, o Potássio, o Magnésio e o Sódio. Em geral, observou-se diminuição das áreas acima do VRQ para AlcB no segundo semestre, enquanto os demais (Ca, K, Mg e Na) apresentaram aumento de suas concentrações nos períodos secos. Ainda, observou-se a diminuição contínua de áreas acima do VRQ de ST e B durante o triênio.

As correlações entre parâmetros tiveram resultados satisfatórios e apresentaram correlações altas e moderadas entre Alcalinidade Bicarbonato, Cálcio, Lítio, Magnésio e Titânio ( $R^2$  entre 0,516 e 0,807) e entre Sólidos Totais, Cálcio e Magnésio ( $R^2$  entre 0,501 e 0,813), conforme preconizado em estudos já realizados.

As correlações avaliadas para a interação entre chuvas mensais e parâmetros, no entanto, não apresentaram correlações expressivas, com grande variação entre os meses e poucas avaliadas como moderadas ou altas, de modo que não se pode chegar a resultados conclusivos. Para Mg e Ti, no entanto, percebeu-se a tendência

de diminuição da concentração dos parâmetros com o aumento da pluviosidade, com as chuvas sendo capazes de explicar até 47% do comportamento do Ti.

Sugere-se que, em trabalhos futuros, as correlações parâmetro vs. parâmetro e parâmetro vs. chuva sejam analisadas com base nas diversas formações do SAB de forma isolada e em períodos mais extensos, a fim de avaliar as interações em menores áreas, com geologia mais homogênea e com maior série histórica para identificação de padrões de comportamento mais assertivos. Ademais, os resultados trazem benefícios para a gestão das águas do SAB, bem como podem facilitar a estimativa de parâmetros a partir de outros que tenham comportamento correlato.

## REFERÊNCIAS

- ABDALLA, K. V. P.; CAVALCANTE, P. R. S.; COSTA NETO, J. P.; BARBIERI, R.; MESQUITA NETO, M. C. Avaliação da dureza e das concentrações de cálcio e magnésio em águas subterrâneas da zona urbana e rural do município de Rosário-MA. **Águas Subterrâneas**, [S.l.], 2010.
- ABICHEQUER, A. D.; BOHNEN, H. Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 21-26, 1998.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Hidroweb**: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 18 ago. 2023
- ALCARDE, J. C.; CATANI, R. A.; KROLL, F. M. Determinação do boro, solúvel em água, em fertilizantes. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 28, p. 287-296, 1971.
- ALMEIDA, A. Q.; RIBEIRO, A.; PAIVA, Y. G.; RASCON JÚNIOR, N.; LIMA, E. P. Geoestatística no estudo de modelagem temporal da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 354-358, 2011.
- ALMEIDA, A. R. D. **Estudo de caracterização Comparativa de fontes de águas minerais nos aquíferos Barreiras e São Sebastião nos estados de Sergipe e Bahia**. 2023. 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2023.
- ALVES, A. N. L.; ROSA, H. V. D. Exposição ocupacional ao Cobalto: aspectos toxicológicos. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 39, p. 129-139, 2003.
- AMEZ, N. L. T.; BARDALES, N. M. E. **Determinación de calcio y fósforo en mujeres post menopáusicas como factor de riesgo de osteopenia en el asentamiento humano “Jaime Yoshiyama” del distrito de Ventanilla, Lima-Perú, en el período de abril 2018-diciembre 2019**. 2021. 77 f. Tesis (Doutorado) - Escuela Académico Profesional de Farmacia y Bioquímica, Facultad Farmacia y Bioquímica, 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Direito de Águas à Luz da Governança**. Brasília, DF: ANA, 2019.
- ANDRADE, C. E. C.; HOLANDA, F. S. R.; UBIRAJARA, W. M.; BANDEIRA, A. A.; SANTOS, L. D. V. Uma análise bibliométrica sobre componentes biomecânicos de titânio ligados a elementos betagênicos aplicados em áreas biomédicas e de saúde. **Research, Society And Development**, Itabira, v. 10, n. 3, p. 1-10, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i3.12939>.
- ARRAUT, J. M.; NOBRE, C.; BARBOSA, H. M.; OBREGON, G.; Marengo, J. Aerial rivers and lakes: looking at large-scale moisture transport and its relation to Amazonia and to subtropical rainfall in South America. **Journal of Climate**, Boston, v. 25, n. 2, p. 543-556, 2012.

ARRUDA, N. S.; MENEZES, D. B. Alteração antrópica na qualidade dos aquíferos Coluvionar e Itaqueri nas cabeceiras do rio Monjolinho, São Carlos - SP. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 41, n. 1, p. 137-150, 2022.

BALTAR, C. A. M.; SAMPAIO, J. A.; ANDRADE, M. C. D.; PINTO, D. D. C. Titânio: minerais de titânio. In: LINS, F. A. F.; LUZ, A. B. (org.) **Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações**. 2. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008, p 841-863.

BARBOSA JÚNIOR, A. R. **Elementos de hidrologia aplicada**. São Paulo: Blucher, 2022.

BARKAT, A.; BOUAICHA, F.; BOUTERAA, O.; MESTER, T.; ATA, B.; BALLA, D.; RAHAL, Z.; SZABÓ, G. Assessment of complex terminal groundwater aquifer for different use of Oued Souf Valley (Algeria) using multivariate statistical methods, geostatistical modeling, and water quality index. **Water**, [s. l.], v. 13, n. 11, p. 1609, 2021.

BARROS, M. F. S.; LOURO, V. H. A.; TERADA, R. K.; MARQUES, C. H. G.; SARAIVA, F. A.; HIRATA, R. Sondagens elétricas verticais na cartografia da vulnerabilidade à Contaminação do Aquífero Adamantina, em Urânia, São Paulo. **Revista de Geociências**, São Paulo, v. 21, n. 1, p 01-20, 07 mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v21-173647>.

BATISTA, A. M.; SILVA, E. M.; SILVA, E. I. G.; MESSIAS, C. M. B. O. Consumo alimentar de magnésio, potássio e fósforo por adolescentes de uma escola pública. **Saúde e Pesquisa**, Maringá, v. 9, n. 1, p. 73-82, 2016.

BATISTA, J. A.; OLIVEIRA, F. A. S.; FOLADOR, M. E. S.; RUIZ JUNIOR, J. Z.; BATISTA, G. B. M.; SILVA, T. C.; MONTANARI, R. Sampling density to detect spatial dependence of potassium, calcium and magnesium in sandy soils. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 30, n. Contínua, p. 283-293, 2022.

BITTENCOURT, A. V. L.; DA ROSA FILHO, E. F.; HINDI, E. C.; BUCHMANN FILHO, A. C. A influência dos basaltos e de misturas com águas de aquíferos sotopostos nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra-Geral na bacia do Rio Piquiri, Paraná-BR. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 17, n. 1, 2003.

BOEIRA, R. C.; QUEIROZ, J. **Calagem e controle da acidez dos viveiros de aquicultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

BRAGA, E. A. S.; AQUINO, M. D.; ROCHA, C. M. S.; MENDES, L. S. A. S.; SALGUEIRO, A. R. G. N. L. Classificação da água subterrânea com base nos sólidos totais dissolvidos estimado. **Águas Subterrâneas**, v. 35, n. 2, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS no 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. [portaria e anexos]. Brasília, 2021.

BRASIL. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. **Águas Subterrâneas, O Que São?**. Disponível em: <https://www.abas.org/aguas-subterraneas-o-que-sao/#:~:text=Segundo%20o%20Censo%20de%202000,e%2043%25%20de%20po%C3%A7os%20profundos>. Acesso em: 23 de abril de 2022.

BRITO, A. P.; TOMASELLA, J.; WAHNFRIED, I. D.; CANDIDO, L. A.; MONTEIRO, M. T.; FILGUEIRAS, S. J. F. Relação entre precipitação e recarga de águas subterrâneas na Amazônia Central. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 39-49, 2020.

BURAK, D. L.; FONTES, M. P.; SANTOS, N. T.; MONTEIRO, L. V. S.; MARTINS, E. S.; BECQUER, T. Geochemistry and spatial distribution of heavy metals in Oxisols in a mineralized region of the Brazilian Central Plateau. **Geoderma**, Amsterdam, v. 160, n. 2, p. 131-142, 2010.

CADONÁ, E. A.; LOURENZI, C. R.; SOUZA, E. L.; RAMPINELLI, E. C.; SANTOS, M. L.; SETE, P. B.; SOARES, C. R. F. S. Contaminação por nitrogênio e fósforo de águas destinadas ao consumo humano em região com intensa atividade suinícola. **Geociências**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 883-891, 2018.

CAIONE, G.; LANGE, A.; BENETT, C. G. S.; FERNANDES, F. M. Fontes de fósforo para adubação de cana-de-açúcar forrageira no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, p. 66-73, 2011.

CAMARGO, E. C. G. **Geoestatística: fundamentos e aplicações**. Geoprocessamento para projetos ambientais. São José dos Campos: INPE, 1998. v. 29.

CANATO, H. de M. **Hidroggeoquímica do aquífero Adamantina na área urbana do município de Bauru/SP**. 2014. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2014.

CARDOSO, L. I. S.; MAIA, S. É. S.; MENDES NETO, J. M.; RIBEIRO, R. C.; BATISTA, C. E. M.; FREIRE, S. A. D. S. R. Cranioplastia de frontal com malha de titânio após Craniectomia Descompressiva. **Cadernos do PET Filosofia**, v. 4, n. 2, p. 26-34, 2021.

CARVALHO, J. R. P. de; ASSAD, E. D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: Comparação de métodos de interpolação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 377-384, 2005.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Ficha de Informações Toxicológicas: Cobalto**. São Paulo, 2022a. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Cobalto.pdf>. Acesso em: 10 mar.2024.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2022b. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/> Acesso em: 10 fev. 2024.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Ficha de informações toxicológicas:** potássio. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2020/07/Potássio.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2024.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Secretaria do Meio Ambiente. **Qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo: 2016-2018.** São Paulo: CETESB, 2019. 291 p.

CHILÈS, J. P.; DESASSIS, N. Fifty years of kriging. **Handbook of mathematical geosciences: Fifty years of IAMG.** [S. l.: s. n.], 2018. p. 589-612,

COELHO, B. S. R.; PEREIRA, G. L. C.; CARVALHO, A. P. P.; CARVALHO, A. C. P.; ALMEIDA, D.; TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E. Análise da Susceptibilidade à Contaminação das Unidades Aquíferas no Município de Jaú - SP. **Revista Acta Ambiental Catarinense**, Chapecó v. 19, n. 1, p. 01-20, 3 dez. 2021. Revista Acta Ambiental Catarinense.

COELHO, R. O. **Estudo hidroquímico e isotópico do aquífero Bauru, Sudoeste do Estado de São Paulo.** 1996. 110 f. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

COLARES, M. F. B.; THEBALDI, M. S.; MARQUES, R. F. P. V.; OLIVEIRA, A. S. Deslocamento miscível de potássio e lítio em um latossolo vermelho escuro. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA, 43., 2013, Fortaleza. **Anais [...]** Fortaleza: Ceará, 2013.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais.** 3. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº. 396, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 07 abr. 2008, n. 66, p. 64-68.

COSTA, W. M. da. **Utilização de adsorventes argilominerais visando redução de dureza como alternativa de pré-tratamento ao uso da osmose reversa.** 2022. 140 f. Tese (Doutorado) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

CRUZ, C. J. D.; PARRON, L.; JESUS, W. B.; SILVA, E. Potássio em água subterrânea e de manancial na Bacia do Rio Jardim, DF. 2008. *In*: ENCONTRO DE JOVENS TALENTOS DA EMBRAPA CERRADOS, 3., 2007, Planaltina, DF. **Resumos apresentados [...]**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. p. 30.

DAEE – Departamento de Água e Energia Elétrica. Estudo de águas subterrâneas: Região Administrativa 7, 8, 9 – Bauru, S. José do Rio Preto e Araçatuba. **Revista DAE**, n. 108, 1976.

DAEE; IG; IPT; CPRM. Mapa de águas subterrâneas do estado de São Paulo. São Paulo, 2005. 119 p. Escala 1:1.000.000. Disponível em: [http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=106%3Amapa-de-aguas-subterraneas-do-estado-de-sao-paulo&catid=53%3Aestudo&Itemid=55](http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=106%3Amapa-de-aguas-subterraneas-do-estado-de-sao-paulo&catid=53%3Aestudo&Itemid=55). Acesso em: junho 2024.

DALTO, L. A.; OLIVEIRA, J. N.; LOLLO, J. A. Avaliação do Potencial Hídrico do Aquífero Bauru em Votuporanga - SP. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, n. 1, 2002. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22698>. Acesso em: out. 2024.

DANESHGAR, S.; CALLEGARI, A.; CAPODAGLIO, A. G.; VACCARI, D. The potential phosphorus crisis: resource conservation and possible escape technologies: a review. **Resources**, Nairobi, v. 7, n. 2, p. 37, 2018.

ENGELBRECHT, B. Z.; TERAMOTO, E. H.; GONÇALVES, R. D.; CHANG, H. K. Estimativas de condutividade hidráulica a partir de perfilações geofísicas no Sistema Aquífero Guarani. *Holos Environment*, v. 20, n. 1, p. 117-136, 2020.

ENT, R. J. van der; SAVENIJE; H. H., SCHAEFLI, B.; STEELE-DUNNE, S. C. Origin and fate of atmospheric moisture over continents. **Water Resources Research**, Washington, v. 46, n. 9, 2010.

EZUGWU, M. O.; ATIKPO, E. Spatial dependency of groundwater quality in Benin City, Edo State, Nigeria using semi-variogram models. **World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences**, Cairo, v. 2, n. 2, p. 029-041, 2021.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E.C.; DEMETRIO, J.G.A. (Coord.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Fortaleza: CPRM, 2008. 812 p.

FERNANDES, A. L.; LUZ, E. F. L. DA; DINIZ, M. C. C. Atuação do Potássio na Fadiga Muscular. **Livro de Memórias do VI Congresso Científico Norte-nordeste – COCOFF**:55-60 p. 2007.

FERNANDES, E. S.; SILVA, M. C. T. DA; DRAEGER, C. L. VITAMINA DE MAGNÉSIO: IMPORTÂNCIA DESSES NUTRIENTES PARA SAÚDE MUSCULAR. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 5, p. 2800-2814, 2022.

FRANCISCO, R. F. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do sistema aquífero Bauru, na região centro-sul do estado de São Paulo**. 2013. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013.

FRANCO, I. O. **Avaliação química e de fluxo das águas em área úmida sobre diabásio, Cordeirópolis (SP)**. 2023. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2023.

FREI, R.; FREI, K. M.; KRISTIANSEN, S. M.; JESSEN, S.; SCHULLEHNER, J.; HANSEN, B. The link between surface water and groundwater-based drinking water–strontium isotope spatial distribution patterns and their relationships to Danish sediments. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 121, p. 1-11, 2020.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. **GS+**: Geostatistics for the Environmental Sciences. Version 7.0. Michigan: [s. n.], 2004.

GAMITO, D. D. C.; HYPOLITO, R.; PUGAS, M. S.; SUMI, E. Comportamento de íons potássio, sódio e cobre, em aquíferos: resultados preliminares. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, p. 1-8, 2014.

GOMES, M. C. R.; CAVALCANTE, I. N. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água subterrânea. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 134-149, 2017.

GONÇALVES, C. I. DA S. **Níveis urinários de lítio e taxa de mortalidade por suicídio em Portugal**. Porto: [s. n.], 2023.

GROUNDWATER PROJECT. **The Importance of Groundwater**. Canada, 2020. Disponível em: <https://gw-project.org/a-importancia-da-agua-subterranea/?lang=pt-br#:~:text=A%20%C3%A1gua%20subterr%C3%A2nea%20fornece%20%C3%A1gua,satisfazer%20suas%20necessidades%20b%C3%A1sicas%20di%C3%A1rias>. Acesso em: 4 jun. 2022.

GUIGUER, N.; KOHNKE, M. W. **Métodos para Determinação da Vulnerabilidade de Aquíferos**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002.

HINKLE, D. E.; WIERSMA, W.; JURS, S. G. **Applied statistics for the behavioral sciences**. Boston: Houghton Mifflin, 2003.

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. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2019.

HOLAWÉ, F.; DUTTER, R. Geostatistical study of precipitation series in Austria: time and space. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 219, n. 1-2, p. 70-82, 1999.

ISAAKS, H. I.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. Oxford: Oxford University, 1989. 561 p.

JEBLI, I.; BELOUADHA, F. Z.; KABBAJ, M. I.; TILIOUA, A. Prediction of solar energy guided by pearson correlation using machine learning. **Energy**, London, v. 224, 2021.

JIAN, X.; OLEA, R. A.; YU, Y. S. Semivariogram modeling by weighted least squares. **Computers & Geosciences**, Oxford, v. 22, n. 4, p. 387-397, 1996

KESSING, L. V.; GERDS, T. A.; KNUDSEN, N. N.; JORGENSEN, L. F.; KRISTIANSEN, S. M.; VOUTCHKOVA, D.; ERNSTSEN, V.; SCHULLEHNER, J.; HANSEN, B.; ANDERSEN, P. K.; ERSBOLL, A. K. Association of lithium in drinking water with the incidence of dementia. **JAMA psychiatry**, Chicago, v. 74, n. 10, p. 1005-1010, 2017.

KIANG, C. H.; STRADIOTO, M. R.; PAULA, F. Tipos hidroquímicos do sistema aquífero Bauru no estado de São Paulo. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 224-245, 2016.

KRIGE, D. G. A Statistical Approaches to Some Basic Mine Valuation Problems on the Witwatersrand. **Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa**, Johannesburg, v. 52, p. 119-139, 1951.

LANDIM, P. M. B. Sobre geoestatística e mapas. **Terrae Didactica**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 19–33, 2015. DOI: 10.20396/td.v2i1.8637463. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8637463>. Acesso em: 16 out. 2023.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático, v. 6, n. 2002.19, 2002.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R.; MONTEIRO, R. C. **Krigagem ordinária para situações com tendência regionalizada**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 06, 12 pp. 2002.

LARK, R. M.; ANDER, E. L.; CAVE, M. R.; KNIGHTS, K. V.; GLENNON, M. M.; SCANLON, R. P. Mapping trace element deficiency by cokriging from regional geochemical soil data: a case study on cobalt for grazing sheep in Ireland. **Geoderma**, Amsterdam, v. 226, p. 64-78, 2014.

LIMA, C. G. R.; LOLLO, J. A.; BACANI, V. M.; COSTA, N. R. Variabilidade espaçotemporal das águas subterrâneas do aquífero Bauru impróprias para o consumo humano: concentrações de Bário, Crômio Total e Vanádio. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 47, n. 2, p. 1-24, 2020.

LOBO, I. V.; TERCINI, O. T.; DI LOLLO, J. A.; DA ROCHA LIMA, C. G. Spatial and Temporal Variability of Groundwater Quality Parameters in the Bauru Aquifer System (São Paulo State, Brazil). **Anuário do Instituto de Geociências**, [s. l.], v. 46, 2023.

LUNDGREN, W. J. C.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C. A precisão da estimativa do erro da krigagem pela validação cruzada. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, p. 1-12, 2017.

LY, S.; CHARLES, C.; DEGRÉ, A. Geostatistical interpolation of daily rainfall at catchment scale: the use of several variogram models in the Ourthe and Ambleve catchments, Belgium. **Hydrology and Earth System Sciences**, Goettingen, v. 15, n. 7, p. 2259-2274, 2011.

MACEDO, H. R. A. **Tratamento térmico do titânio e suas consequências sobre as propriedades físico-químicas e de biocompatibilidade**. 2012. 108 f. Tese (Doutorado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos; Processamento de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

MAIDMENT, D. R.; **Handbook of Hidrology**. [S. l.]: McGraw-Hill, 1993.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. **GEOUSP Espaço e Tempo**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 485-494, 2015. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/100879>>. Acesso em: mar. 2024

MARQUES, S. M. **Análise espacial e temporal de parâmetros de qualidade das águas do Aquífero Bauru de 2010 a 2012**. 2018. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2018.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v. 58, n. 8, p. 1246–1266, 1963. DOI:10.2113/gsecongeo.58.8.1246.

MEDEIROS, E. S. D.; OLIVEIRA, W. D. S.; SILVA, P. V. D.; SOUZA, A. D.; BICALHO, C. C.; MAUAD, M.; SOUZA, S. A. D. Mapping Rainfall Variability in the São Francisco River Basin: Insights for Water Resource Management. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 39, p. 1-12, 2024.

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, Á. L.; DALLA ROSA, J.; GATIBONI, L. C. Relação cálcio: magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 799-806, 2008.

MELLO, Y R.; OLIVEIRA, T. M. N. Análise estatística e geoestatística da precipitação média para o município de Joinville (SC). **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 2, p. 229-239, 2016.

MELLO, Y. R.; SAMPAIO, T. V. M. Análise geoestatística da precipitação média para o estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 25, p. 643-660, 2019.

MELO, K. C. L.; SOUSA, S. M. M. B.; MAYNARD, D. C. Níveis de sódio como fatores clínicos importantes no diagnóstico e na promoção da saúde de pacientes hospitalares. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 10, n. 16, 2021.

MONDAL, N. C.; SINGH, V. P.; SINGH, V. S.; SAXENA, V. K. Determining the interaction between groundwater and saline water through groundwater major ions chemistry. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 388, n. 1-2, p. 100-111, 2010.

MOURA, C. C. **Ocorrência de nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru em áreas rurais**. 2014. 344 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade estadual Paulista – UNESP, 2014.

NECAT, A. Ğ. C. A. Determination of Boron Contents of Arsuz Plain Soils and Mapping with Geographic Information Systems (GIS). **MAS Journal of Applied Sciences**, Faisalabad, v. 9, n. 3, p. 473-485, 2024.

NEVES, O.; MACHETE, I.; MARQUES, J. M.; SILVA, J. A.; COUTO, F. S. Lítio em águas engarrafadas e de abastecimento público portuguesas Lithium in bottled and tap Portuguese waters. **Comun Geológicas**, [s. l.], v. 102, p. 103-6, 2015.

O'DONNELL, A. J.; LYTLE, D. A.; HARMON, S., VU, K., CHAIT, H., & DIONYSIOU, D. D. Removal of strontium from drinking water by conventional treatment and lime softening in bench-scale studies. **Water Research**, Oxford, v. 103, p. 319–333, 2016. DOI:10.1016/j.watres.2016.06.036.

OLIVEIRA, D. B.; **Hidrologia**. São Paulo: Pearson, 2016. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 10 set. 2023.

OLIVEIRA, L. F. C. D.; NOGUEIRA, J. G.; FRIZZARIM, S. S.; FIA, R.; FREITAS, J. S.; FIA, F. R. L. Sorção e mobilidade do lítio em solos de áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 18, p. 139-148, 2013.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS. **Guidelines for drinking water quality: fourth edition incorporating the first addendum**. Genebra, 2017.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS. **Calcium and Magnesium in Drinking-water. Public health significance**. Genebra, 2009

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS. **Sources and effects of Ionizing radiation**: United Nations scientific committee on the effects of atomic radiation. New York, 2008.

OUYANG, L.; MALAISAMY, R.; BRUENING, M.L. Multilayer polyelectrolyte films as nanofiltration membranes for separating monovalent and divalent cations. **Journal of Membrane Science**, Amsterdam, v. 310, p. 76–84, 2008.

PASINI, M.P.B.; LÚCIO, A.D.; FRONZA, D.; WEBER, L. S. Krigagem ordinária e inverso da distância ponderada aplicados na espacialização da população da moscardo-figo. Revista Brasileira de **Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, São Paulo, v. 10, n. 3, p. 452-459, 30 set. 2015. Revista Brasileira de Ciencias Agrarias. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v10i3a3789>.

PASUCH, H. B.; MENDONÇA, L. Eficiência da Incorporação do Calcário no Solo do Cerrado. **Anais do 1º Simposio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsoma. 2019**, v. 1, p. 121-126.

PENNER, G. C.; MARTINS, R. T. A. A.; RODRIGUES, S.; WENDLAND, E. Incerteza na estimativa de recarga de águas subterrâneas usando variação do nível das águas subterrâneas e teste de aquífero. **RBRH - Revista Brasileira Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 28, p. e11, 2023.

PEREIRA, G. A. **Avaliação do potencial anticonvulsivante da vortioxetina através da técnica de docking molecular em canais de sódio dependentes de voltagem**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

PEREIRA JUNIOR, L. C.; SOARES, H. L. T.; CASTRO, S. S. Vulnerabilidade natural e risco de contaminação do Aquífero Bauru no município de; Rio Verde – GO. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 129-145, 2015.

PIMENTEL, C. M. M.; RODRIGUES, F.; MADRUGA, J.; ELIAS, R. B. Avaliação do Estado Trófico e Proveniência do Fósforo nos Pauis da Praia da Vitória, ilha Terceira, Açores. **RBRH - Revista Brasileira Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 41, n. 2, p. 67-75, 2020.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2022. 451 p.

PINTO, N. L. de S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S.; **Hidrologia Básica**. São Paulo: Blucher, 1976. 305 p.

QUAGGIO, C. S.; GASTMANS, D.; MARTINS, V. T. S. O que os isótopos de estrôncio nos ensinam sobre as águas subterrâneas. **Derbyana**, [s. l.], v. 42, 2021.

RAHMAN, M.; TUSHAR, M. A. N.; ZAHID, A.; AHMED, K. M. U.; SIDDIQUE, M. A. M.; MUSTAFA, M. G. Spatiotemporal distribution of boron in the groundwater and human health risk assessment from the coastal region of Bangladesh. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 28, p. 21964-21977, 2021.

RAO, N. S. Seasonal variation of groundwater quality in a part of Guntur District, Andhra Pradesh, India. **Environmental Geology**, Heidelberg, v. 49, p. 413-429, 2006.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. D.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 25, p. 185-204, 2010.

REZENDE, E. N.; VARTULI, V. Os rios voadores e as mudanças climáticas ocasionadas pelo desmatamento da floresta amazônica: uma perspectiva a partir do constitucionalismo latino-americano. **Revista Brasileira de Direito Animal**, Salvador, v. 16, n. 3, p.100-115, 2021.

REZENDE, M. P. DE; RAMOS, R. C. D. S.; PAULA, C. R. DE; PELAZZA, B. B.; SILVA, M. I. A influência dos níveis de magnésio na fadiga muscular: uma revisão sistemática. **Saúde Coletiva**, Barueri, v. 9, n. 49, p. 1578-1583, 2019.

ROMAGNOLI, I.; MANZIONE, R. L. Expansão do agrohidronegócio no Pontal do Paranapanema (UGRHI-22): ocupação da terra pela cultura da cana-de-açúcar entre os anos de 2002 e 2013 x vulnerabilidade de aquíferos. In: CONGRESSO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 19., 2016, [s. l.]. **Anais [...]** [S. l.: s. n.], 2016.

SANTIAGO, R. N. S. **Processos hidrogeoquímicos em águas subterrâneas no cristalino em Caucaia/CE. Contribuição da modelagem inversa através do PHREEQC**. 2010. 77 f. Dissertação (Mestrado em Física) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

SANTOS, M. C.; SILVA, F. S. M.; ARAÚJO, A. M. S.; FERREIRA, B. N.; SILVA, D. D. Determinação de Propriedades Físico-Químicas de Águas do Chafariz do Município de Cuité-PB. **Educação, Ciência e Saúde**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 19, 2019.

SANTOS JUNIOR, J. A.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. D. S.; SOARES, F. A. L.; NOBRE, R. G. Doses de boro e água residuária na produção do girassol. **Revista Ciência Agronômica**, [s. l.], v. 42, p. 857-864, 2011.

SASABUCHI, I.; KRIEGER, K.; NUNES, R.; FERREIRA, A.; XAVIER, G.; URZEDO, A.; CARVALHO, W.; FADINI, P. Sustentabilidade no Uso de Fósforo: Uma revisão bibliográfica com foco na situação atual do estado de São Paulo, Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 46, n. 2, p. 185-198, 2023. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170967>.

SAVAZZI, E. A. **Sugestão de valores de referência de qualidade para os elementos químicos cobalto, estanho, fósforo, lítio, molibdênio, níquel, prata, tálio, titânio e vanádio em amostras de água subterrânea coletadas nos Aquíferos Bauru e Guarani, conforme Resolução CONAMA 396**. 2013. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Ribeirão Preto, 2013.

SILVA, A. L. D.; RAMOS, M. R.; SANTOS, D. M. A.; SOARES, M. M.; LOPES, M. C. S.; SILVA, E. C. Cultivo do Milho Sob Doses de Fósforo em Plintossolos Pétricos Concrecionários. **Agri-Environmental Sciences**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 1-7, 2022a.

SILVA, J. F. A.; PEREIRA, R. G. Panorama Global da Distribuição e Uso de Água Doce. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, São Paulo, v. 10, n. 3, p. 263-280, 2019.

SILVA, J. R.; COELHO, P. J.; BUENO, C. R. F.; BINI, D. L. C.; PINATTI, E.; MONTEIRO, A. V. V. M.; FRANCA, T. J. F. Valor da Produção Agropecuária Paulista: estimativa final 2021. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 17, n. 8, p. 1-8, ago. 2022. Disponível em: < <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=16063>. > Acesso em: jul 24.

SILVA, S. R.; CHANG, H. K. Hidroquímica dos sistemas Aquíferos Bauru e Guarani na região metropolitana de Bauru (SP). **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 24, n. 1, 2010.

SILVA, F. P.; KIANG, C. H.; CAETANO-CHANG, M. R. Hidroestratigrafia do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 19, n. 2, 2005.

SILVA, W. L.; BARBOSA, A. S.; NERY, G. K. M.; NERY, J. F. Tratamento solo aquífero de efluente de lagoa de polimento como alternativa ao reuso agrícola. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Recife, v. 7, n. 4, p. 227-234, 2022b.

SILVA, A. L. S.; MARTINS, D. G.; MOURA, P. R. G.; GARCIA, A. R. S DE M. Um referencial teórico acerca do íon sódio e seu sal de principal ocorrência cotidiana – o cloreto de sódio – potencialmente contributivo ao ensino de química. **Revista Dialogus**, Cruz Alta, v. 9, n. 2, p. 41-56, 2020.

SILVA, S. R. **Caracterização Hidrogeoquímica dos Sistemas Aquíferos Bauru e Guarani no Município de Bauru**. 2009. 131 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

SOUZA, C. M.; ALMEIDA, V. G. S.; PATRÍCIO, L. P. C.; JESUS, C. H. D. S.; DIAS, D. O.; SANTOS, A. R.; SOUZA, G. S. Doses de fósforo na produção de fitomassa de bertalha: Phosphorus doses in the production of bertalha phytomass. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1375-1390, 2023.

SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, p. 263-274, 2014.

STANTON, J. S.; QI, S. L. Ground-water quality of the northern High Plains aquifer, 1997, 2002-04. **Publications of the US Geological Survey**, [s. l.], p. 3, 2006.

STRADIOTO, M. R. **Caracterização hidrogeoquímica, isotópica e diagenética do sistema aquífero Bauru no Estado de São Paulo**. 2016. 280 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 2016.

STRADIOTO, M. R.; TERAMOTO, E. H.; CHANG, H. K. Rock-solute reaction mass balance of water flowing within an aquifer system with geochemical stratification. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 123, p. 104784, 2020.

STRADIOTO, M. R.; TERAMOTO, E. H.; CHANG, H. K. Statistical analysis of hydrochemistry and isotopic characterization of groundwater from the Parecis Basin. **RBRH - Revista Brasileira Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 26, p. e31, 2021.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Recursos Hídricos no Século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. **O ciclo da água**: the water cycle, Portuguese. 2024. Disponível em: <https://www.usgs.gov/media/images/o-ciclo-da-agua-water-cycle-portuguese-png>. Acesso em: 10. out. 2024.

VALENCIA, L. I. O.; MEIRELLES, M. S. P.; BETTINI, C. **Geoestatística aplicada à agricultura de precisão**: agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto. [S. l.: s. n.], 2004. p. 37.

VARNIER, C.; GUERRA, S. P.; HIRATA, R. Metodologia de avaliação dos padrões de ocupação urbana e contaminação por nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru, centro-oeste do estado de São Paulo. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, p. 1-8, 2009.

VICENTE, G. Z. **Geoestatística aplicada à análise de parâmetros da qualidade das águas subterrâneas do Aquífero Bauru**. 2018. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2018.

VIEIRA, S. R. *et al.* **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 1-53, 2000.

VOLTERA, P. H. **Correlação linear entre parâmetros de qualidade das águas em diferentes aquíferos no estado de São Paulo, Brasil**. 2022. 177 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2022.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME - UNESCO. **The United Nations World Water Development Report 2022: groundwater: making the invisible visible**. 2022. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380721> Acesso em: out. 2024.

ZHANG, Q.; ZHOU, B.; DONG, F.; LIU, Z.; OSTOVARI, Y. Spatial variability of groundwater quality for freshwater production in a semi-arid area. **Water**, [s. l.], v. 13, n. 21, p. 3024, 2021.

ZHANG, X.; LI, M. J.; ZHAN, L. Q.; WU, W.; LIU, H. B. Boron availability in top-and sub-soils as affected by topography and climate. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 118, n. 1, p. 91-101, 2020.

ZIGLIO, C. M.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Formas orgânicas e inorgânicas de mobilização do cálcio no solo. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 42, 2011.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia) Faculdade de Ciências Agrônômica, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo.