



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

SÉRGIO AUGUSTO PEREIRA

**NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E A  
VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL NO NORTE  
PIONEIRO DO ESTADO DO PARANÁ:  
UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**

---

Londrina  
2025

SÉRGIO AUGUSTO PEREIRA

**NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E A  
VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL NO NORTE  
PIONEIRO DO ESTADO DO PARANÁ:  
UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos.

Londrina  
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Pereira, Sérgio Augusto.

Nitrato nas Águas Subterrâneas e a Vulnerabilidade Socioambiental no Norte Pioneiro do Estado do Paraná : uma Proposta Metodológica / Sérgio Augusto Pereira. - Londrina, 2025.  
245 f. : il.

Orientador: Maurício Moreira dos Santos.

Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2025.  
Inclui bibliografia.

1. Saúde Pública - Tese. 2. Saneamento Básico - Tese. 3. Águas Subterrâneas - Tese. 4. Meio Ambiente - Tese. I. Santos, Maurício Moreira dos. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU 91

SÉRGIO AUGUSTO PEREIRA

**NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E A  
VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL NO NORTE  
PIONEIRO DO ESTADO DO PARANÁ:  
UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Maurício Moreira  
dos Santos  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -  
UTFPR

---

Prof. Dr. Marciel Lohmann  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Leandro Redin Vestena  
Universidade Estadual do Centro-Oeste do  
Paraná - UNICENTRO

---

Prof. Dr. João Osvaldo Rodrigues Nunes  
Universidade Estadual Paulista - UNESP

---

Prof. Dr. José Paulo Peccinini Pinese  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 28 de abril de 2025.

Ao meu Pai Toninho, à minha Mãe Sueli, à minha esposa Vanessa e à minha Filha Catarina.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela força, sabedoria e saúde que me sustentaram ao longo desta caminhada acadêmica.

À minha esposa, Vanessa Maria Ludka, pelo amor, paciência e apoio incondicional em todos os momentos, mesmo nos mais difíceis.

À minha filha, Catarina Szenczuk Ludka Pereira, fonte constante de inspiração, alegria e motivação para seguir em frente.

À minha família, principalmente meu Pai Toninho e Minha Mãe Sueli, pela torcida, suporte, carinho e encorajamento ao longo de toda a minha trajetória.

Ao meu orientador e agora grande amigo, Professor Doutor Maurício Moreira do Santos, pela orientação dedicada, pelas valiosas contribuições e pelo incentivo constante ao longo de toda esta jornada.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Leandro Redin Vestena, Prof. Dr. João Osvaldo Rodrigues Nunes, Prof. Dr. José Paulo Peccinini Pinese e Prof. Dr. Marciel Lohmann pelo tempo, pela atenção e pelas contribuições relevantes para o aprimoramento desta tese de doutorado.

À Universidade Estadual de Londrina, por proporcionar a estrutura e os recursos necessários para a realização desta pesquisa, bem como por ser um espaço de crescimento pessoal e profissional.

A todos que, de alguma forma, fizeram parte desta trajetória, meu muito obrigado.

PEREIRA, Sérgio Augusto. **Nitrato nas águas subterrâneas e a vulnerabilidade socioambiental no Norte Pioneiro do Estado do Paraná**: uma proposta metodológica. 2025. 245 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Ciências Exatas, Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2025.

## RESUMO

A água é um recurso essencial para o abastecimento humano e a sustentabilidade ambiental, sobretudo em regiões com alta densidade populacional e intensa atividade agropecuária. Contudo, a contaminação crescente das águas subterrâneas por nitrato ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), agravada por práticas inadequadas de uso e ocupação do solo e pela deficiência nos serviços de saneamento básico, representa um risco significativo à saúde pública e à segurança hídrica. Diante desse cenário, esta tese teve como objetivo desenvolver uma metodologia integrada para identificar e analisar o risco e a vulnerabilidade socioambiental à contaminação por nitrato em sistemas aquíferos da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná, contribuindo com subsídios científicos para a gestão sustentável dos recursos hídricos e para a proteção da saúde humana. A metodologia combinou técnicas de interpolação espacial por krigagem das concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$  em 401 poços subterrâneos (variando de 0,001 mg/L a 26,9 mg/L), avaliação da vulnerabilidade hidrogeológica pelo método GOD e levantamento de indicadores socioeconômicos e ambientais, como o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), a cobertura de esgotamento sanitário e o uso intensivo do solo. A integração desses elementos possibilitou a criação de um Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental ao Nitrato (*IRVS*), aplicado aos 46 municípios da área de estudo, evidenciando áreas críticas que ultrapassam 10 mg/L de  $\text{NO}_3\text{-N}$  - limite da Portaria GM/MS nº 888/2021. A análise estatística, com base na correlação de Spearman, demonstrou associação significativa entre o *IRVS* Médio e a taxa de mortalidade por neoplasias de estômago ( $\rho = 0,322$ ;  $p < 0,05$ ), enquanto para neoplasias colorretais o valor não foi significativo ( $\rho = 0,195$ ;  $p = 0,194$ ). Ainda assim, a aplicação de regressão quantílica indicou que, em municípios com mortalidade intermediária por câncer colorretal, a vulnerabilidade socioambiental exerce um papel mais acentuado. Municípios como Tomazina, Cambará, Cornélio Procópio e Uraí apresentaram simultaneamente altos índices de risco e taxas elevadas de mortalidade, reforçando a relevância da abordagem integrada. Conclui-se que grande parte da região apresenta vulnerabilidade socioambiental de média a muito alta, com concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$  que representam ameaça à saúde pública, principalmente para crianças. Dessa forma, a análise integrada das vulnerabilidades e dos riscos possibilitou a elaboração do Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental para  $\text{NO}_3\text{-N}$ , apresentando áreas críticas que demandam urgentemente de políticas públicas relacionadas ao uso sustentável da água, monitoramento ambiental, bem como educação ambiental.

**Palavras-chave:** saúde pública; saneamento básico; uso e ocupação do solo; meio ambiente.

PEREIRA, Sérgio Augusto. **Nitrate in groundwater and socio-environmental vulnerability in the region of Pioneer North of Paraná State: a methodological proposal.** 2025. 245 p. Thesis (Doctorate in Geography) – Center for Exact Sciences, Department of Geography, State University of Londrina, Londrina, 2025.

### ABSTRACT

Water is an essential resource for human consumption and environmental sustainability, especially in regions with high population density and intensive agricultural activity. However, the increasing contamination of groundwater by nitrate ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), exacerbated by inadequate land-use practices and precarious sanitation services, poses a significant risk to public health and water security. Within this context, the aim of this thesis was to develop an integrated methodology to identify and analyze the socio-environmental risk and vulnerability to nitrate contamination in aquifer systems of the North Pioneiro region in the state of Paraná, thereby providing scientific support for sustainable water resource management and human health protection. The methodology combined kriging-based spatial interpolation of  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentrations in 401 groundwater wells (ranging from 0.1 mg/L to 26,9 mg/L), hydrogeological vulnerability assessment via the GOD method, and the collection of socioeconomic and environmental indicators, such as the Municipal Human Development Index (HDI-M), sewage coverage, and intensive land use. The integration of these elements enabled the creation of the Socio-environmental Risk and Vulnerability Index for Nitrate (*IRVS*), applied to 46 municipalities in the study area, highlighting critical areas where  $\text{NO}_3\text{-N}$  levels exceed 10 mg/L – the limit set by Brazilian Ministry of Health Ordinance GM/MS nº. 888/2021. Statistical analysis, based on Spearman's correlation, revealed a significant association between the mean *IRVS* and stomach cancer mortality ( $\rho = 0.322$ ;  $p < 0.05$ ), whereas the correlation with colorectal cancer was not significant ( $\rho = 0.195$ ;  $p = 0.194$ ). Nonetheless, the application of quantile regression indicated that, in municipalities with intermediate mortality rates for colorectal cancer, socio-environmental vulnerability plays a more prominent role. Municipalities such as Tomazina, Cambará, Cornélio Procópio and Uraí simultaneously exhibited high risk indices and elevated mortality rates, underscoring the importance of an integrated approach. It was concluded that a large portion of the region exhibits medium to very high socio-environmental vulnerability, with  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentrations that pose a threat to public health, particularly for children. Consequently, the integrated analysis of vulnerabilities and risks enabled the development of the Socio-environmental Risk and Vulnerability Index for  $\text{NO}_3\text{-N}$ , which identifies critical areas urgently requiring public policies related to sustainable water use, environmental monitoring, and environmental education.

**Key-words:** public health; basic sanitation; land use and occupation; environmental.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Organograma estrutural da pesquisa.....	21
<b>Figura 2</b> - Ciclo do Nitrogênio.....	37
<b>Figura 3</b> - Relação entre níveis de ameaça e de vulnerabilidade na determinação de intensidade de riscos. ....	49
<b>Figura 4</b> - Localização da área de estudo: região do Norte Pioneiro do estado do Paraná.....	58
<b>Figura 5</b> - Geologia do Norte Pioneiro do estado do Paraná.....	60
<b>Figura 6</b> - Geomorfologia do Norte Pioneiro do estado do Paraná.....	72
<b>Figura 7</b> - Hipsometria do Norte Pioneiro do estado do Paraná.....	74
<b>Figura 8</b> - Pedologia do Norte Pioneiro do estado do Paraná.....	76
<b>Figura 9</b> - Mapa Climático do Norte Pioneiro do estado do Paraná - Classificação Climática de Köppen.....	82
<b>Figura 10</b> - Hidrografia do Norte Pioneiro do estado do Paraná.....	84
<b>Figura 11</b> - Unidades Aquíferas do Norte Pioneiro do estado do Paraná.....	88
<b>Figura 12</b> - Circulação da água subterrânea no SASG.....	92
<b>Figura 13</b> - Fluxograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa.....	97
<b>Figura 14</b> - Coleta de água em poço tubular no município de Jacarezinho - PR para análise laboratorial.....	101
<b>Figura 15</b> - Esquema da elaboração da metodologia do Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental ao nitrato.....	107
<b>Figura 16</b> - Classes do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental.....	108
<b>Figura 17</b> - Fases da metodologia GOD para a elaboração do Índice de Vulnerabilidade Aquífera.....	113
<b>Figura 18</b> - Índice de Desenvolvimento Humano Médio dos municípios que compõem a região do Norte Pioneiro do estado do Paraná.....	119
<b>Figura 19</b> - Percentual de atendimento dos serviços de tratamento de esgoto por município.....	121
<b>Figura 20</b> - Mapa de uso e ocupação do solo da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná.....	123
<b>Figura 21</b> - Vulnerabilidade Socioambiental na região do Norte Pioneiro do Estado do Paraná.....	125

<b>Figura 22</b> - Nível estático das águas subterrâneas para a aplicação do método GOD. ....	128
<b>Figura 23</b> - Vulnerabilidade Aquífera da região no Norte Pioneiro do estado do Paraná - Método GOD. ....	130
<b>Figura 24</b> - Localização dos poços que dispõem de análise de nitrato, na base de dados do IAT, no Norte Pioneiro paranaense.....	134
<b>Figura 25</b> - Mapa da distribuição espacial de nitrato (mg/L) nas águas subterrâneas da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná. ....	136
<b>Figura 26</b> - Parâmetros de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas dos aquíferos da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná. ....	138
<b>Figura 27</b> - Dispersão do parâmetro de nitrato na Área de Estudo. ....	140
<b>Figura 28</b> - Poço P99B, localizado no município de Bandeirantes - PR. ....	144
<b>Figura 29</b> - Mapa da distribuição espacial dos valores de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas no município de Bandeirantes - PR. ....	145
<b>Figura 30</b> - Posto de Combustível onde se localiza o poço P133, município de Cambará - PR. ....	146
<b>Figura 31</b> - Mapa da distribuição espacial dos valores de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas no município de Cambará - PR.....	147
<b>Figura 32</b> - Mapa da distribuição espacial dos valores de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas no município de Jacarezinho - PR. ....	148
<b>Figura 33</b> - Entorno do poço P213, localizado no município de Jacarezinho - PR. ....	148
<b>Figura 34</b> - Poço P213 abandonado, localizado no município de Jacarezinho - PR. ....	149
<b>Figura 35</b> - Poço P213 abandonado, sem o devido tamponamento.....	150
<b>Figura 36</b> - Poço P217, localizado no município de Jacarezinho - PR. ....	151
<b>Figura 37</b> - Poço P218, localizado no município de Jacarezinho - PR. ....	152
<b>Figura 38</b> - Mapa da distribuição espacial dos valores de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas no município de Quatiguá - PR. ....	153
<b>Figura 39</b> - Poço P271, localizado no município de Quatiguá - PR. ....	154
<b>Figura 40</b> - Poço P272, localizado no município de Quatiguá - PR. ....	155
<b>Figura 41</b> - Mapa da distribuição espacial dos valores de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas no município de Tomazina - PR. ....	156

<b>Figura 42</b> - Localização do Poço P368, localizado no município de Tomazina – PR (Imagem do Google Maps).....	156
<b>Figura 43</b> - Mapa da distribuição espacial dos valores de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas no município de Uraí - PR. ....	157
<b>Figura 44</b> - Poço P377, localizado no município de Uraí - PR.....	158
<b>Figura 45</b> - Poço P383, localizado no município de Uraí - PR.....	159
<b>Figura 46</b> - Mapa de Avaliação de Risco do Nitrato à Saúde Humana - <i>HQoral</i> Homem.....	162
<b>Figura 47</b> - Mapa de Avaliação de Risco do Nitrato à Saúde Humana - <i>HQoral</i> Mulher. ....	164
<b>Figura 48</b> - Mapa de Avaliação de Risco do Nitrato à Saúde Humana - <i>HQoral</i> Criança. ....	166
<b>Figura 49</b> - Mapa do Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental para o Nitrato na Região do Norte Pioneiro do estado do Paraná (Homem). ....	171
<b>Figura 50</b> - Mapa do Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental para o Nitrato na Região do Norte Pioneiro do estado do Paraná (Mulher).....	172
<b>Figura 51</b> - Mapa do Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental para o Nitrato na Região do Norte Pioneiro do estado do Paraná (Criança). ....	174
<b>Figura 52</b> - Números absolutos de mortes por neoplasias (Câncer de cólon, reto, ânus e estômago) (dados de 2022). ....	178
<b>Figura 53</b> - Taxa de mortalidade por neoplasias (Câncer de cólon, reto e ânus e estômago) na região do Norte Pioneiro do estado do Paraná (dados de 2022).....	179
<b>Figura 54</b> - Dispersão entre <i>IRVS</i> Médio e Taxa_CRA (não significativo).....	183
<b>Figura 55</b> - Dispersão entre <i>IRVS</i> Médio e Taxa_EST ( $p = 0,029$ ).....	183
<b>Figura 56</b> - Regressão Quantílica entre <i>IRVS</i> Médio e Taxa_CRA para os quantis 0.25, 0.50 e 0.75.....	184

## LISTAS DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Teses sobre contaminação de águas subterrâneas por nitrato entre os anos de 2020-2025. ....	26
<b>Tabela 2</b> - Dados demográficos, territoriais e econômicos dos municípios que compõem o recorte espacial da área de estudo. ....	94
<b>Tabela 3</b> - Variáveis que foram utilizadas para a elaboração da metodologia de Vulnerabilidade Socioambiental. ....	108
<b>Tabela 4</b> - Classificação do IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Médio dos municípios para a análise da vulnerabilidade socioambiental da área de estudo.....	109
<b>Tabela 5</b> - Classificação do percentual de esgotamento sanitário por município para a análise da vulnerabilidade socioambiental da área de estudo. ....	110
<b>Tabela 6</b> - Classificação do uso e ocupação do solo para a análise da vulnerabilidade socioambiental da área de estudo. ....	111
<b>Tabela 7</b> - Porcentagem de atendimento dos serviços de tratamento de esgoto por município (dados de 2022). ....	120
<b>Tabela 8</b> - Número de poços por municípios que contém em sua amostra o parâmetro de nitrato. ....	133
<b>Tabela 9</b> - Municípios da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná que possuem poços com concentrações de $\text{NO}_3\text{-N}$ acima do estabelecido pela legislação brasileira - 10 mg/L.....	135
<b>Tabela 10</b> - Quantidade de poços por intervalo de parâmetros de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas dos aquíferos da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná. ....	137
<b>Tabela 11</b> - Estatística dos valores de nitrato (mg/L) dos poços na região do Norte Pioneiro do estado do Paraná. ....	139
<b>Tabela 12</b> - Análise temporal dos poços estudados nesta pesquisa.....	139
<b>Tabela 13</b> - Poços onde foram coletadas as amostras para a análise de nitrato. ....	141
<b>Tabela 14</b> - Parâmetros físico-químicos coletados.....	142
<b>Tabela 15</b> - <i>HQoral</i> Homem acima de 1. ....	161
<b>Tabela 16</b> - Estatística dos valores de <i>HQoral</i> Homem na área de estudo. ...	161

<b>Tabela 17</b> - <i>HQoral</i> Mulher acima de 1.....	163
<b>Tabela 18</b> - Estatística dos valores de <i>HQoral</i> Mulher na área de estudo....	163
<b>Tabela 19</b> - <i>HQoral</i> Criança acima de 1. ....	168
<b>Tabela 20</b> - Estatística dos valores de <i>HQoral</i> Criança na região do Norte Pioneiro do estado do Paraná.....	169
<b>Tabela 21</b> - Números absolutos e taxa de mortalidade por neoplasias (Câncer de cólon, reto e ânus e estômago) (dados de 2022) e dados de população por município (dados de 2022) do Norte Pioneiro estado do Paraná.....	176
<b>Tabela 22</b> - Taxa de mortalidade por câncer de cólon, reto e estômago no Brasil em 2021. ....	181
<b>Tabela 23</b> - Correlação de Spearman entre <i>IRVS</i> Médio e taxas de mortalidade por neoplasias. ....	182

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>25</b>
<b>3.1</b>	<b>Águas subterrâneas e superficiais e seus usos</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>O nitrato nas águas subterrâneas</b> .....	<b>36</b>
<b>3.3</b>	<b>Vulnerabilidade e risco socioambiental</b> .....	<b>44</b>
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: REGIÃO DO NORTE PIONEIRO DO ESTADO DO PARANÁ</b> .....	<b>57</b>
<b>4.1</b>	<b>Localização da área de estudo</b> .....	<b>57</b>
<b>4.2</b>	<b>Aspectos geológicos</b> .....	<b>59</b>
4.2.1	Formação Furnas .....	59
4.2.2	Formação Ponta Grossa .....	61
4.2.3	Formação Campo Mourão .....	61
4.2.4	Membro Rio Segredo .....	62
4.2.5	Arenito Engano .....	63
4.2.6	Membro Chapéu do Sol .....	63
4.2.7	Membro Siderópolis, Paraguaçu e Triunfo .....	64
4.2.8	Formação Palermo .....	64
4.2.9	Formação Irati .....	65
4.2.10	Formação Serra Alta .....	66
4.2.11	Formação Teresina .....	66
4.2.12	Formação Rio do Rastro .....	67
4.2.13	Formação Pirambóia .....	67
4.2.14	Formação Botucatu .....	68
4.2.15	Formação Chapecó .....	69
4.2.16	Membro Três Pinheiros .....	69
4.2.17	Grupo Serra Geral .....	69
4.2.18	Depósito aluvionares .....	70
<b>4.3</b>	<b>Aspectos geomorfológicos</b> .....	<b>71</b>
4.3.1	Segundo Planalto .....	71

4.3.2	Terceiro Planalto .....	71
<b>4.4</b>	<b>Aspectos pedológicos</b> .....	<b>75</b>
4.4.1	Argissolo .....	75
4.4.2	Cambissolo .....	77
4.4.3	Gleissolo .....	77
4.4.4	Latossolo .....	78
4.4.5	Neossolo .....	79
4.4.6	Nitossolo .....	80
<b>4.5</b>	<b>Aspectos climáticos</b> .....	<b>81</b>
<b>4.6</b>	<b>Aspectos hidrológicos</b> .....	<b>83</b>
4.6.1	Rio Paranapanema .....	83
4.6.2	Rio Itararé .....	85
4.6.3	Rio Tibagi .....	86
4.6.4	Sistema Aquífero Paleozoico Inferior .....	87
4.6.5	Sistema Aquífero Paleozoico Médio Superior .....	89
4.6.6	Sistema Aquífero Paleozoico Superior .....	89
4.6.7	Sistema Aquífero Guarani (SAG) .....	90
4.6.8	Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) .....	91
<b>4.7</b>	<b>Caracterização socioeconômica</b> .....	<b>93</b>
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>96</b>
<b>5.1</b>	<b>Pesquisa bibliográfica</b> .....	<b>97</b>
<b>5.2</b>	<b>Coleta de dados para a caracterização físico-geográfica</b> .....	<b>98</b>
<b>5.3</b>	<b>Coleta de dados de nitrato de águas subterrâneas</b> .....	<b>98</b>
5.3.1	Coleta de dados secundários .....	99
5.3.2	Trabalho de Campo para a Coleta de Dados Primários .....	100
<b>5.4</b>	<b>Análise geoestatística</b> .....	<b>102</b>
<b>5.5</b>	<b>Metodologia de risco e vulnerabilidade socioambiental para nitrato</b> .....	<b>105</b>
5.5.1	Vulnerabilidade Socioambiental .....	107
5.5.2	Vulnerabilidade Aquífera por meio do Método GOD .....	112
5.5.3	Modelo de Avaliação de Risco à Saúde Humana .....	114
5.5.4	Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental para o NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> N .....	116
<b>5.6</b>	<b>Análise de correlação e regressão quantílica</b> .....	<b>116</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>118</b>

6.1	<b>Análise das variáveis utilizadas para a elaboração da metodologia de vulnerabilidade socioambiental na região do Norte Pioneiro do Paraná.....</b>	118
6.2	<b>Vulnerabilidade Aquífera da Região do Norte Pioneiro Do Estado Do Paraná.....</b>	126
6.3	<b>Análise da distribuição espacial do nitrato nas águas subterrâneas da Região do Norte Pioneiro do Estado do Paraná .....</b>	131
3.3.1	Coleta de Dados Primários dos Poços com Concentrações de Nitrato acima de 10 mg/L na Região do Norte Pioneiro do Estados do Paraná.....	141
6.4	<b>Metodologia de avaliação de risco à saúde humana para doenças associadas ao nitrato .....</b>	160
6.5	<b>Índice de risco e vulnerabilidade socioambiental ao nitrato na Região do Norte Pioneiro do Estado do Paraná.....</b>	170
6.5.1	Análise das Mortes por Neoplasias (Cólon, Reto e Ânus e Estômago) nos municípios da Região no Norte Pioneiro do Estado do Paraná .....	175
6.5.2	Análise de Correlação e Regressão Quantílica entre o <i>IRVS</i> Médio e Mortalidade por Neoplasias.....	182
7	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	187
8	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	191
9	<b>APÊNDICES .....</b>	208
9.1	<b>Apêndice I – Dados de Nitrato Coletados no Banco de Dados do Instituto Água de Terra do Estado do Paraná. ....</b>	208
9.2	<b>Apêndice II – Dados referentes ao <i>HQoral</i> Homem, Mulher e Criança.....</b>	223
10	<b>ANEXOS.....</b>	236
10.1	<b>Anexo 1 - Relatórios das análises de nitrato realizadas em laboratório .....</b>	236

## 1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para a manutenção da vida na Terra, especialmente para os seres humanos. Composta por dois átomos de hidrogênio (H) e um de oxigênio (O), sua fórmula química é  $H_2O$ . Até o presente momento, não se identificou nenhum outro elemento ou recurso natural capaz de substituí-la, sendo improvável que isso ocorra, dada sua composição e propriedades físico-químicas únicas.

Além de essencial para a manutenção da vida, a água desempenha um papel estratégico em diversas atividades socioeconômicas, como o abastecimento doméstico, a agricultura, a indústria, o lazer, o turismo, a pesca, a navegação e a produção de energia (Tundisi; Tundisi, 2011; Ribeiro, 2008). Apesar de sua importância, mais de um bilhão de pessoas em todo o mundo ainda carecem de acesso facilitado à água potável, e cerca de dois bilhões e quatrocentos milhões não dispõem de serviços adequados de saneamento básico (Tundisi; Tundisi, 2011), o que evidencia a gravidade da crise hídrica que atinge uma parcela significativa da população global (Ribeiro, 2008).

Embora o crescimento populacional seja frequentemente apontado como fator central dessa crise, dados demonstram que, entre 1950 e 2000, enquanto a população mundial duplicou — de três para seis bilhões de habitantes —, o consumo de água aumentou em mais de trezentos por cento. Esse dado revela que a crise não pode ser atribuída apenas ao aumento populacional, mas está fortemente relacionada ao modelo de desenvolvimento adotado e à intensificação do uso dos recursos hídricos (Ribeiro, 2008).

Nesse contexto, a qualidade da água disponível para consumo humano torna-se uma preocupação crescente. Em áreas rurais, populações convivem com a contaminação de águas superficiais e subterrâneas causada pela deficiência nos serviços de saneamento básico, pelo uso indiscriminado de fertilizantes e agrotóxicos e por práticas extrativistas como a mineração. Já nas áreas urbanas, boa parte dos gestores públicos enfrentam dificuldades na coleta e no tratamento adequado dos resíduos sólidos e efluentes domésticos, o que compromete a qualidade das águas subterrâneas e torna o tratamento para abastecimento cada vez mais oneroso (Tundisi; Tundisi, 2011; Ribeiro, 2008).

Entre os diversos contaminantes que comprometem a qualidade das águas subterrâneas, o nitrato ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) é um dos mais recorrentes e preocupantes, especialmente em regiões com uso agrícola intensivo e urbanização desordenada. Devido à sua alta solubilidade e mobilidade no solo, o nitrato apresenta grande potencial de percolação, atingindo os aquíferos mesmo em profundidades consideráveis, o que representa sérios riscos à saúde humana, sobretudo em comunidades que dependem diretamente da água subterrânea para abastecimento (Rawat, 2022; Nolan *et al.*, 1998; Rivett *et al.*, 2008; Yadav; Pathak; Pathak, 2023).

Estudos recentes têm aprofundado a compreensão sobre os múltiplos fatores envolvidos nessa contaminação: Wang *et al.* (2024) demonstraram que a intensificação agrícola, associada às mudanças climáticas, tem agravado a lixiviação de nitrato em aquíferos asiáticos; Giri *et al.* (2023) apontaram fontes difusas de poluição por nitrato tanto em zonas urbanas quanto rurais da Europa Central, enquanto Cao *et al.* (2024) evidenciaram, na China, a persistência da contaminação mesmo diante de práticas de manejo mais restritivas. Mohammadian *et al.* (2024), por sua vez, realizaram uma meta-análise global e constataram que regiões áridas e semiáridas estão particularmente vulneráveis, devido à baixa recarga dos aquíferos. Ding *et al.* (2024) reforçaram os riscos à saúde associados à ingestão de nitrato em regiões urbanizadas do sudeste asiático.

No contexto brasileiro, Santos *et al.* (2024) identificaram contaminação por nitrato em poços de abastecimento em Tupã (SP), especialmente em áreas centrais com infraestrutura sanitária deficiente, destacando os riscos à saúde infantil e a importância de políticas públicas voltadas à gestão da qualidade da água subterrânea. Esses estudos evidenciam que a contaminação por nitrato é uma problemática multidimensional e global, que exige soluções adaptadas às especificidades ambientais e socioeconômicas locais.

Na região do Norte Pioneiro do estado do Paraná, onde predominam atividades agropecuárias, observa-se crescente preocupação com a qualidade da água subterrânea, recurso essencial para o abastecimento humano (Gomes; Pereira, 2024). No entanto, a ausência de metodologias integradas que considerem simultaneamente a vulnerabilidade natural dos aquíferos, os fatores socioambientais e os riscos à saúde humana constituem um entrave à gestão eficaz desses recursos (Pirasteh *et al.* 2025).

Diante da crescente pressão sobre os recursos hídricos, agravada por práticas antrópicas e mudanças climáticas, o conceito de segurança hídrica tem se consolidado como uma abordagem estratégica que busca integrar a qualidade da água, o acesso equitativo e a gestão sustentável dos sistemas hídricos. Segundo Mishra *et al.* (2021), garantir a segurança hídrica em um ambiente em constante transformação requer ações multiescalares que articulem aspectos ecológicos, sociais e institucionais. Nesse contexto, a gestão das águas subterrâneas contaminadas ou não por nitrato deve ir além das análises pontuais, incorporando indicadores de vulnerabilidade socioambiental, capacidade de resposta institucional e riscos à saúde pública.

Nesse cenário, a formulação de metodologias adaptadas às especificidades locais é essencial para identificar áreas de risco, orientar políticas públicas, promover ações de remediação e incentivar o uso sustentável dos recursos hídricos subterrâneos. Estudos recentes apontam que a exposição ao nitrato ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) na água subterrânea pode representar tanto riscos não carcinogênicos, como a metemoglobinemia infantil, quanto carcinogênicos, especialmente associados à formação de compostos N-nitrosos no organismo, com potencial para desenvolver cânceres gástricos e de outros órgãos. Avaliações integradas com abordagens determinísticas e probabilísticas têm sido recomendadas para estimar tais riscos com maior precisão e orientar decisões de gestão ambiental e sanitária (Karunanidhi *et al.*, 2024; Li *et al.*, 2024; Pasupuleti *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2024; Zhai *et al.*, 2017).

Diante desse contexto, questiona-se: como desenvolver uma metodologia integrada que permita identificar e analisar, de forma eficaz, o risco e a vulnerabilidade socioambiental à contaminação por nitrato ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) da água presente em aquíferos do Norte Pioneiro do Paraná, a partir da combinação de indicadores socioambientais, de vulnerabilidade aquífera e de modelos de avaliação de risco à saúde humana?

Parte-se da hipótese de que a integração desses indicadores analíticos – vulnerabilidade socioambiental, vulnerabilidade aquífera e de modelo de avaliação de risco a saúde humana – possibilita a formulação de uma metodologia eficaz para identificar áreas críticas, subsidiar ações de mitigação e orientar políticas públicas voltadas à gestão sustentável das águas subterrâneas e à proteção da saúde pública em regiões vulneráveis.

A tese defendida nesta pesquisa sustenta que a contaminação por  $\text{NO}_3\text{-N}$  nas águas subterrâneas da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná, bem como o

aumento do risco e da vulnerabilidade socioambiental associada, constitui um reflexo direto das práticas inadequadas de uso e ocupação do solo, aliadas à gestão ineficiente dos recursos hídricos. A metodologia proposta busca não apenas identificar as áreas mais suscetíveis à contaminação, mas também fornecer subsídios técnicos e científicos para a formulação de políticas públicas eficazes voltadas à mitigação dos impactos ambientais e sociais decorrentes dessa problemática na região estudada. Ao estabelecer correlações entre as concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$  e os fatores socioambientais, a pesquisa demonstrou que a vulnerabilidade pode ser significativamente reduzida por meio de intervenções estratégicas e planejadas, promovendo a gestão sustentável das águas subterrâneas.

Nesse sentido, a justificativa para esta pesquisa está ancorada no crescente agravamento da contaminação por  $\text{NO}_3\text{-N}$  em águas subterrâneas, especialmente em áreas marcadas pela intensa atividade agrícola, pelo uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados e pela deficiência de infraestrutura de saneamento básico. A elevada solubilidade e mobilidade do  $\text{NO}_3\text{-N}$  no solo conferem-lhe alto potencial de percolação até os aquíferos, representando um risco significativo à saúde humana, sobretudo em regiões onde a população depende diretamente das águas subterrâneas como fontes para o abastecimento. Além disso, a presença excessiva de  $\text{NO}_3\text{-N}$  contribui para processos de eutrofização em corpos hídricos superficiais, ampliando os impactos ambientais negativos.

No contexto regional, o Norte Pioneiro do estado do Paraná apresenta, em algumas áreas dessa região, conforme mostrado neste estudo, justamente essas condições de risco. Essas áreas são marcadas por uso intensivo do solo para fins agrícolas e deficiências significativas em infraestrutura de saneamento básico. Essas características tornam a área de estudo vulnerável à contaminação por  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Diante desse contexto, torna-se essencial o desenvolvimento de uma metodologia específica, sistemática e adaptada às características sociais e ambientais locais, capaz de identificar áreas de risco, mapear populações vulneráveis, subsidiar ações preventivas e corretivas, orientar políticas públicas voltadas ao uso sustentável das águas subterrâneas e promover a remediação de aquíferos contaminados por  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

Para facilitar a compreensão dos direcionamentos teóricos e práticos da tese, elaborou-se um fluxograma representando sua estrutura. A construção do trabalho se deu em dois níveis: o Nível Conceitual, indicado pelo triângulo pontilhado superior, e o Nível Prático, representado pelo triângulo pontilhado inferior (Figura 1).

**Figura 1** - Organograma estrutural da pesquisa.



**Fonte:** Organizado pelo autor, 2025.

O Nível Conceitual estrutura a base teórica da pesquisa, abordando temas como o  $\text{NO}_3\text{-N}$  em águas subterrâneas, o ciclo do hidrogênio, a vulnerabilidade e o risco socioambiental e, por fim, a caracterização físico-geográfica da área de estudo.

O Nível Prático apresenta a coleta de dados primários e secundários, a análise geoestatística, elaboração de material cartográfico, o trabalho de campo e a elaboração do Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental. Com este propósito, a presente tese encontra-se dividida em quatro capítulos, além da introdução, objetivos e considerações finais.

O primeiro capítulo, que apresenta a fundamentação teórica, foi dividido em três tópicos principais. O primeiro tópico discute as águas subterrâneas e superficiais e seus usos, com ênfase nas águas subterrâneas, dado seu papel central neste estudo, especialmente em relação ao  $\text{NO}_3^- \text{N}$ . O segundo tópico explora o ciclo do nitrogênio, abrangendo os processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação, além de discutir a ocorrência de  $\text{NO}_3^- \text{N}$  nas águas subterrâneas, sua contaminação e as implicações para a saúde humana e o meio ambiente quando presente em concentrações superiores aos limites permitidos pela legislação brasileira. No terceiro e último tópico, foi abordada a vulnerabilidade e risco socioambiental, oferecendo uma visão sobre como esses conceitos se aplicam ao contexto do estudo.

No segundo capítulo, foram abordados tópicos relacionados à área de estudo e sua delimitação territorial. Esses tópicos incluem aspectos físico-geográficos e socioeconômicos do recorte espacial delimitado para esta pesquisa. O capítulo abrange a localização da área de estudo, geologia, geomorfologia, pedologia, clima e hidrografia, concluindo com uma discussão sobre os aspectos socioeconômicos.

O terceiro capítulo trata da metodologia da pesquisa, que foi estruturada em seis etapas. Na primeira etapa, foi apresentada a pesquisa bibliográfica, destacando sua relevância e os principais autores utilizados. A segunda etapa abordou a coleta de dados para a caracterização físico-geográfica da área de estudo. Na terceira etapa, tratou-se da coleta de dados secundários e dados primários. A quarta etapa explorou o uso da geoestatística na pesquisa, com ênfase no método de *krigagem*. Na quinta, foi discutida a elaboração da metodologia de análise de risco e vulnerabilidade socioambiental para o  $\text{NO}_3^- \text{N}$  nos aquíferos da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná. Na sexta e última etapa deste capítulo, foi dissertado sobre os métodos de correlação estatística utilizados nesta pesquisa.

O quarto e último capítulo, que focou na análise e discussão dos resultados, foi dividido em cinco tópicos. Na primeira parte, foi dissertado sobre o índice de Vulnerabilidade Socioambiental. Na segunda, foi discutido sobre os resultados da Vulnerabilidade Aquífera na área de estudo. No terceiro tópico, foi explanado sobre a distribuição espacial do  $\text{NO}_3^- \text{N}$  nas águas subterrâneas da região do Norte Pioneiro do Paraná. No quarto tópico, foi aplicado na área de estudo, com base nos dados de  $\text{NO}_3^- \text{N}$ , o modelo de avaliação de risco a doenças associadas ao  $\text{NO}_3^- \text{N}$  em crianças, mulheres e homens. Na última etapa deste capítulo, foi apresentado os resultados do

Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental ao  $\text{NO}_3\text{N}$  na Região do Norte Pioneiro do estado do Paraná.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Diante da necessidade de compreender e mitigar os efeitos da contaminação da água por nitrato ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) nas águas subterrâneas, especialmente em áreas ambiental e socialmente vulneráveis, esta pesquisa tem como objetivo geral desenvolver uma metodologia integrada para identificar e analisar o risco e a vulnerabilidade socioambiental à contaminação por  $\text{NO}_3\text{-N}$  em sistemas aquíferos da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná. A proposta combina indicadores de vulnerabilidade socioambiental, vulnerabilidade aquífera e um modelo de avaliação de risco à saúde humana, com aplicação prática em uma área de estudo. O objetivo é fornecer subsídios científicos à gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, contribuindo para a proteção da saúde pública e a mitigação dos riscos associados à contaminação por  $\text{NO}_3\text{-N}$  em áreas vulneráveis.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a vulnerabilidade socioambiental da região do Norte Pioneiro do Paraná a partir de três variáveis: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM, percentual de atendimento de serviços de tratamento de esgoto por município e uso e ocupação do solo.
- Investigar a vulnerabilidade natural dos aquíferos da região de estudo por meio do método GOD.
- Analisar a distribuição espacial da concentração de  $\text{NO}_3\text{-N}$  nas águas subterrâneas da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná;
- Aplicar um modelo de avaliação de risco à saúde humana a doenças não carcinogênicas associadas à ingestão de águas subterrâneas contaminadas por  $\text{NO}_3\text{-N}$ , com foco em grupos populacionais vulneráveis (crianças, mulheres e homens).
- Realizar correlação estatística entre os resultados do Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental ao  $\text{NO}_3\text{-N}$  e a taxa de mortalidade neoplasias na região do Norte Pionerio do estado do Paraná.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A discussão teórica busca identificar os estudos já desenvolvidos pelo tema em investigação, com este objetivo realizou-se um levantamento na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD), mantida pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT). A busca foi delimitada a teses defendidas nos últimos cinco anos (2020–2025), utilizando as palavras-chave 'nitrato' e 'águas subterrâneas', com ocorrência nos títulos e resumos. Foram identificadas 14 teses, das quais 13 estavam disponíveis para consulta integral. Uma das teses, não focou diretamente em águas subterrâneas, mas sim nos efeitos dos fertilizantes de liberação lenta para reduzir a lixiviação de nitrato no solo, razão pela qual foi excluída da análise. Assim, a Tabela 1 apresenta as 12 teses com seus respectivos títulos, autores, anos, objetivos e programas de pós-graduação.

A pesquisa de Floriano Costa (2024), por exemplo, avaliou o impacto de diferentes condições eletroquímicas e catalisadores à base de cobre na redução de nitrato para amônia. Os resultados demonstraram que materiais Cu/Cu<sub>2</sub>O com vacâncias de oxigênio apresentam elevada eficiência, representando uma alternativa promissora para a remoção de nitrato em águas contaminadas.

Já a tese de Pinheiro (2024), focada nas águas subterrâneas de São João do Jaguaribe (CE), revelou, através de análises físico-químicas, que, embora a maioria das amostras estivesse dentro dos limites permitidos, houve registros de contaminação por nitrato, associada à intensificação da atividade produtiva e à pressão antrópica na região.

Por outro lado, Oliveira (2023) se concentrou na cidade de Fortaleza, identificando concentrações de nitrato acima do limite máximo permitido em 16 das 40 amostras analisadas, especialmente em áreas com baixa cobertura de saneamento. O estudo associou as altas concentrações de nitrato ao uso de fossas sépticas, gerando risco significativo à saúde pública, especialmente para crianças.

No Distrito Federal, Pires (2023) investigou as concentrações de nitrato em águas superficiais e subterrâneas da Unidade Hidrográfica do Alto Rio Jardim, identificando níveis elevados especialmente durante o período seco. A pesquisa reforçou a necessidade de monitoramento contínuo devido ao uso intensivo de insumos agrícolas na região.

**Tabela 1 - Teses sobre contaminação de águas subterrâneas por nitrato entre os anos de 2020-2025.**

Ano	Título	Autor	Objetivo	Programa
2024	Atividade de materiais de cobre para a redução eletrocatalítica de nitrato para formação de amônia	Floriano Costa, Gabriel	Avaliar como diferentes condições eletroquímicas e materiais à base de cobre influenciam a eficiência da redução eletrocatalítica de nitrato para amônia. A tese investiga aspectos como estrutura dos catalisadores Cu/Cu <sub>2</sub> O, pH do eletrólito, vacâncias de oxigênio e impacto do ambiente eletroquímico na seletividade e eficiência da reação, com vistas à remoção de nitratos e produção sustentável de amônia.	Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Química
2024	Natureza, geologia, aquíferos, expansão capitalista do campo e as implicações no território em São João do Jaguaribe-CE	Pinheiro, Antonio Flavio Costa	Investigar as águas subterrâneas de São João do Jaguaribe (CE), suas relações com a geologia, a hidrogeologia e o processo de modernização capitalista desde os anos 1970. A pesquisa compreendeu mapeamento geológico e hidrogeológico, análises físico-químicas, bacteriológicas e de agrotóxicos, além da caracterização de 866 poços.	Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará,
2023	Nitrato nas águas subterrâneas de Fortaleza: ocorrências, causas e riscos à saúde da população	Oliveira, Rafael Mota de	Avaliar as ocorrências, causas e riscos à saúde humana associados às concentrações de nitrato nas águas subterrâneas de Fortaleza, considerando o crescimento urbano e a precariedade do saneamento básico.	Programa de Pós-Graduação em Geologia do Departamento de Geologia do Centro de Ciências da UFC
2023	Avaliação da presença de insumos agrícolas em recursos hídricos da unidade hidrográfica do Alto Rio Jardim (DF): desenvolvimento de métodos e qualidade da água	Pires, Nayara Luiz	O objetivo foi desenvolver métodos analíticos para analisar agrotóxicos e compostos ligados a fertilizantes em águas superficiais e subterrâneas, avaliando a presença desses compostos na Unidade Hidrográfica do Alto Rio Jardim e em outras áreas da Bacia Hidrográfica do Rio Preto.	Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Brasília (UnB)
2022	Avaliação do impacto de recarga variável no Aquífero Barreiras em Natal-RN, associado com a urbanização e ampliação da rede de coleta de efluentes sanitários	Campos, Benedita Cleide de Souza	Avaliar os efeitos da recarga variável no Aquífero Barreiras, considerando o impacto da urbanização e das perdas na rede de distribuição de água e coleta de esgoto. Utiliza modelos numéricos e análise de cenários para mensurar variações nas reservas de saturação, inversões de fluxo subterrâneo e tempo de depuração natural de águas contaminadas por nitrato, com foco na gestão de aquíferos urbanos rasos em contextos de elevada densidade populacional.	Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte
2022	Estudo do solo como atenuador da contaminação das águas subterrâneas em Turiaçu MAP	Cavalcanti Junior, Francisco Afonso	Estudar o papel dos solos na atenuação da contaminação das águas subterrâneas na cidade de Turiaçu, Maranhão, focando na adsorção de nitrato e outros parâmetros geofísicos e geoquímicos.	Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo (USP)

Ano	Título	Autor	Objetivo	Programa
2022	Impactos ambientais decorrentes da ocupação urbana – Bela Vista do Juá, Santarém - Pará, Região Amazônica	Melo, Sérgio Gouvêa de	Avaliar os principais impactos socioambientais da ocupação irregular de Bela Vista do Juá (Santarém/PA), com base em dados primários e secundários sobre infraestrutura, saneamento e qualidade da água. Identificaram-se processos de desmatamento, impermeabilização do solo, alagamentos, contaminação por nitrato e metais pesados (ferro e mercúrio), além da formação de ilha de calor com aumento médio de 6 °C.	Programa de Pós-graduação em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento, Universidade Federal do Oeste do Pará
2022	Influência da infraestrutura urbana nas águas subterrâneas na cidade de Urânia (SP)	Terada, Rafael Kenji	Investigar os impactos da infraestrutura urbana (especialmente saneamento e vazamentos) na contaminação por nitrato nas águas subterrâneas da cidade de Urânia (SP), com foco em hidrogeoquímica e recarga.	Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental – Instituto de Geociências, USP
2021	Operação e modelagem hidrodinâmica de filtros lentos domiciliares	Hojo, Liri Cruz Prieto	Avaliar o desempenho e compreender o comportamento hidráulico de filtros lentos domiciliares por meio de operação prática e modelagem matemática, utilizando dinâmica dos fluidos computacional (CFD) para simular o escoamento em meio poroso e a remoção de turbidez.	Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (USP)
2021	Caracterização dos aquíferos na Ilha do Maranhão: reconhecimento, levantamento de áreas estratégicas e contribuições ao processo de gestão	Sousa, Cláudio José da Silva de	Caracterizar os aquíferos da Ilha do Maranhão quanto aos aspectos geográficos, geofísicos e hidrogeológicos, identificando áreas estratégicas para gestão e propondo diretrizes de conservação, monitoramento e uso sustentável. A pesquisa abrangeu desde análises hidroquímicas (com destaque para nitrato e STD), geofísica com GPR, parâmetros hidráulicos (como transmissividade e condutividade), até estimativas de reserva e recarga.	Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Pós-Graduação em Geociências Aplicadas
2020	Investigação hidrogeoquímica do processo de salinização aplicada ao sistema aquífero Dunas-Pecém, Ceará	Gomez, Luisa Natalia Gonzalez	Investigar os processos de salinização no sistema aquífero Dunas-Pecém, no Ceará, por meio de análises hidroquímicas, isotópicas e estatísticas multivariadas, com foco em identificar a recarga, a influência marinha, a evaporação e a ação antrópica sobre a qualidade da água subterrânea.	Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Ceará (UFC)
2020	Hidrogeoquímica e uso de indicadores de qualidade (caféina, nitrato, cloreto, boro e potássio) na água subterrânea da planície do rio Atibaia, Campinas, São Paulo – Brasil	Rupias, Osvaldo Jorge Brito	Estudar as características hidrogeoquímicas da água subterrânea e utilizar indicadores de qualidade para avaliar a possível contaminação por fossas sépticas domésticas em Campinas (SP).	Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências

Fonte: Organizado pelo autor, 2025.

Por sua vez, o estudo de Campos (2022) sobre o Aquífero Barreiras em Natal-RN, abordou o impacto da recarga variável no aquífero, destacando como falhas nas redes de água e esgoto influenciam o fluxo subterrâneo e a depuração do nitrato. Os resultados indicaram que o processo de depuração do nitrato pode levar entre 6,5 a 12,9 anos, dependendo das condições avaliadas.

Em Cavalcanti Junior (2022), a pesquisa focou na atenuação da contaminação por nitrato nas águas subterrâneas de Turiaçu (MA), demonstrando que os óxidos de ferro e alumínio presentes nos solos locais podem reduzir a mobilidade do nitrato, embora os níveis ainda estivessem abaixo dos limites legais.

Por outro lado, Melo (2022), ao investigar os impactos socioambientais de Bela Vista do Juá, em Santarém (PA), encontrou níveis elevados de nitrato associados à decomposição de matéria orgânica e esgoto, além de uma série de impactos ambientais devido à ocupação irregular e desmatamento.

O trabalho de Terada (2022), focado em Urânia (SP), investigou a contaminação por nitrato nas águas subterrâneas, mostrando que, apesar da instalação de rede de saneamento, os vazamentos de esgoto ainda contribuem significativamente para a contaminação.

Hojo (2021), por sua vez, explorou o desempenho de filtros lentos domiciliares, demonstrando que a operação contínua desses filtros apresentou maior eficiência no tratamento de águas contaminadas por nitrato, atendendo aos limites da Portaria GM/MS nº 888/2021.

Na Ilha do Maranhão, Sousa (2021) caracterizou os aquíferos da região, identificando padrões hidroquímicos e altas concentrações de nitrato, o que levou à formulação de diretrizes para uma gestão sustentável do Sistema Aquífero Barreiras-Itapecuru.

Já o estudo de Gomez (2020) no Ceará, focado no sistema aquífero Dunas-Pecém, destacou a influência marinha e os impactos da ação antrópica, revelando que, embora as águas fossem quimicamente adequadas para consumo, a presença de amônio e nitrato indicava uma leve contaminação.

Por fim, Rupias (2020) investigou as características hidrogeoquímicas da água subterrânea da planície do Rio Atibaia, em Campinas (SP), revelando que a contaminação por nitrato nas águas subterrâneas é influenciada principalmente por fontes antropogênicas, como fossas sépticas. Dito isso, ressalta-se que as pesquisas corroboram com a literatura apresentada nesta tese.

Após o levantamento das teses realizadas nos últimos cinco anos com temáticas relacionadas ao nitrato nas águas subterrâneas, neste capítulo, realizou-se um levantamento bibliográfico para a elaboração da fundamentação teórica, sendo dividido em três tópicos. No primeiro tópico, discorreu-se sobre as águas subterrâneas e superficiais, além dos seus usos. No segundo tópico, discutiu-se acerca do ciclo do nitrogênio, abordando os processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação, ou seja, a transformação do nitrogênio em  $\text{NO}_3\text{-N}$  e depois a sua dissipação para a atmosfera de novo como nitrogênio, e também a ocorrência do  $\text{NO}_3\text{-N}$  em água subterrâneas, bem como suas implicações à saúde humana e ao meio ambiente. No terceiro e último tópico, discutiu-se sobre vulnerabilidade e risco socioambiental.

### 3.1 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS E SEUS USOS

A água é um recurso natural essencial para a existência da vida no planeta Terra, principalmente para a vida humana. Se ela não existisse, provavelmente o planeta Terra seria bem diferente do que conhecemos hoje. Fitts (2015) argumentou que a água pode ser encontrada no sangue, nas árvores, no ar, nos rios, nas geleiras, nas rochas, nos solos, enfim, ela está presente, praticamente, em todo ambiente acessível próximo ou sobre a superfície da Terra. “Ela é um elemento natural e reciclável por excelência. É uma substância líquida e incolor, formada por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio” (Ribeiro; Rolim, 2017, p. 9).

Igor Shiklomanov (1998) explicou que, entre todos os recursos naturais, a água é um recurso que ocupa um lugar de destaque devido à sua ampla distribuição no planeta Terra, sendo importante para a vitalidade do meio ambiente, dos seres vivos e para a sobrevivência humana.

Neste tópico discorreu-se sobre as águas subterrâneas, dissertando sobre a sua disponibilidade no planeta Terra, sua formação e ocorrência, além das águas superficiais, explanando, brevemente, sobre a sua disponibilidade, importância e os seus diversos usos.

Shiklomanov (1998) apresentou que as águas subterrâneas correspondem a 29,9% de toda a água “doce” disponível no planeta Terra. O seu uso, entretanto, é custoso pelo difícil acesso a essas águas, que às vezes são profundas, demandando altos custos financeiros para a sua captação.

Segundo Aldo Rebouças (2015b), Charles Fitts (2015) e David Todd (1967), as águas subterrâneas explotáveis ocorrem em formações geológicas onde a rocha é permeável, que se encontra na zona saturada e que, dessa forma, armazena e distribui a água subterrânea, recebendo a alcunha de aquífero. Essas formações possuem aspectos estruturais e texturais que viabilizam a movimentação de uma boa quantidade de água por meio delas.

Os aquíferos podem ser caracterizados em aquíferos não confinados, chamados de aquíferos livres, e confinados. Os aquíferos livres ou não confinados são denominados de lençol freático ou lençol aquífero, ou seja, “definido como a superfície porosa sobre a qual a pressão da água é igual à atmosférica” (Fitts, 2015, p. 6). Tundisi e Tundisi (2011) dissertaram que os aquíferos não confinados são formados pela água que percola por entre a superfície do solo.

Os aquíferos confinados, de acordo Fitts (2015), são aqueles em que toda a sua camada geológica é saturada com água, possuindo uma camada de rocha impermeável ou com baixa impermeabilidade acima e abaixo da rocha saturada, em que a pressão da água são superiores à pressão atmosférica. Dessa forma, esse volume de água fica confinado entre os estratos rochosos.

Em relação à porosidade dos aquíferos, bem como a sua condição hidráulica e de armazenamento, existem três tipos: o intergranular, o cárstico/conduto e o fissural/fraturas (Teixeira *et al.*, 2009; Borghetti; Borghetti; Rosa Filho, 2011). Segundo Teixeira *et al.* (2009, p. 193), “a porosidade é uma propriedade física definida pela relação entre o volume de poros e o volume total de um certo material”.

Os aquíferos de porosidade granular são constituídos por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos não consolidados ou solos arenosos. Nessas formações, a acomodação da água se dá em seus poros, ou seja, nos espaços vazios entre as partículas, preferencialmente com dimensões maiores do que a argila. A eficiência de um aquífero é maior quando a sua granulometria é uniforme, pois isso permite que o fluxo da água se movimente com mais facilidade entre os poros. Quando o aquífero apresenta partículas de granulometria variada, os espaços deixados pelas partículas maiores são ocupados pelas menores (Borghetti; Borghetti; Rosa Filho, 2011).

Os aquíferos de porosidade granular ocorrem no regolito ou em rochas sedimentares clásticas com porosidade primária. Os arenitos, de

modo geral, são excelentes aquíferos deste tipo. A produtividade em água dos arenitos diminui com seu grau de cimentação, como é o caso dos arenitos silicificados, quase sem permeabilidade intergranular (Teixeira *et al.*, 2009, p. 198).

Os aquíferos de condutos caracterizam-se pela porosidade cárstica (Karst) e são formados geralmente por rochas carbonáticas como calcários, dolomitos e mármore. Eles possuem uma rede de condutos onde a água circula neste aquífero pelas fraturas e outras descontinuidades com diâmetros milimétricos a métricos, que se originam a partir da dissolução das rochas carbonáticas pela água (Teixeira *et al.*, 2009; Borghetti; Borghetti; Rosa Filho, 2011). “Constituem aquíferos com grandes volumes de água, mas extremamente vulneráveis à contaminação, em razão da baixa capacidade de filtração deste tipo de porosidade” (Teixeira, *et al.*, 2009, p. 198).

Os aquíferos fraturados ou fissurais são formados por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, maciças e duras (Borghetti, Borghetti e Rosa Filho, 2011). “A maioria dos aquíferos de fraturas, formam-se em consequência de deformação tectônica, na qual processos de dobramentos e falhamentos geram sistemas de fraturas, normalmente seladas, em virtude da profundidade” (Teixeira, *et al.*, 2009, p. 198).

É difícil prever o fluxo das águas subterrâneas em aquíferos fraturados, tendo como material geológico rochas ígneas e metamórficas, pois essas rochas têm uma baixa porosidade e a sua permeabilidade é constituída por uma rede irregular de fraturas. À medida que a profundidade aumenta, a permeabilidade da rocha e a densidade das fraturas diminuem, pois o peso da rocha que está acima faz a abertura média da fratura diminuir (Fitts, 2015).

O basalto é um tipo rocha magmática extrusiva. Nesse tipo de rocha, as fraturas não tectônicas, do tipo disjunção colunar em rochas vulcânicas, podem originar-se durante o processo de resfriamento e contração, permitindo a formação de aquíferos com boas condições de armazenamento e circulação de água (Teixeira *et al.*, 2009).

Conforme dissertou Fitts (2015), a lava que se solidificada em rocha basáltica tende a apresentar muitas fraturas devido ao seu rápido resfriamento, pois quando, na extrusão da lava, o magma é expelido e sobe para a superfície, formam-se fluxos de lava. Esses fluxos dão origem a uma fina camada superficial sólida. Conforme o magma derretido acima dessa camada se movimenta, essa fina camada sólida se

racha, se curva e se quebra. Essas fraturas podem ser tanto verticais quanto horizontais e são por elas que as águas subterrâneas se movimentarão.

“O fluxo de água somente se instala quando as fraturas que compõem o sistema estão interconectadas” (Teixeira, *et al.*, 2009, p. 198). Segundo Borghetti, Borghetti e Rosa Filho (2011), a capacidade de recarga dos aquíferos fraturados/fissurais está diretamente ligada à quantidade de fraturas, além das suas aberturas e intercomunicações, permitindo que ocorram infiltrações e, conseqüentemente, o fluxo de água.

As águas subterrâneas dos aquíferos, quando submetidas a certas condições, podem ser contaminadas. Isso ocorre quando substâncias diluídas na água em determinadas concentrações podem torná-la imprópria para o consumo ou prejudicial ao ambiente natural onde essa água se encontra.

Segundo Fitts (2015), as águas naturais, em sua maioria, contêm pelo menos algum nível de substâncias dissolvidas, denominadas de potenciais contaminantes. Provavelmente, a água que consumimos tem um baixo teor de chumbo, arsênio ou mesmo  $\text{NO}_3^-$ . Todavia, a baixíssima concentração dessas substâncias na água não representa ameaças à saúde. Logo, para que uma substância tenha o potencial para causar algum problema, é necessário que esteja presente em uma concentração que possa representar risco à saúde humana ou ambiental.

Nesse sentido, é importante analisar os compostos orgânicos e inorgânicos que estão dissolvidos na água, atestando a sua qualidade para garantir saúde às pessoas que a consomem, bem como preservar a vitalidade dos ecossistemas aquáticos.

As origens da contaminação das águas subterrâneas incluem fontes pontuais e não pontuais. Um vazamento de tanque subterrâneo ou uma lagoa de recepção de esgoto são exemplos de fontes pontuais. Exemplos de fontes não pontuais incluem a precipitação de chuvas poluídas ou uso de pesticidas aplicados em extensas áreas agrícolas (Fitts, 2015).

Há diversas fontes de contaminação, mas as mais comuns são: vazamentos de tanques de armazenamento; descartes de resíduos sólidos; resíduos orgânicos de fabricação de alimentos e de processamento de madeira; aterros sanitários; sistemas sépticos; poços de injeção; resíduos industriais; pesticidas, herbicidas e fertilizantes; resíduos de animais; deposição de resíduos radioativos; sal nas estradas; e atividades de mineração (Fitts, 2015; Freeze; Cherry, 2017).

As águas superficiais correspondem a 0,26% de toda a água “doce” do mundo. Elas são alimentadas, geralmente, por meio de nascentes e por escoamento superficial originados da precipitação. Em média, os custos para a captação das águas superficiais são bem menores do que os das águas subterrâneas (Shiklomanov, 1998). Rebouças (2015a) explicou que as águas “doces” superficiais que estão presentes em rios e lagos correspondem cerca de 0,3% de toda água “doce” disponível no planeta.

Esses mananciais superficiais, segundo Rebouças (2015a), são mais acessíveis em relação a sua captação, sendo fonte de água para atender as necessidades da população, bem como para o uso econômico, sendo também vitais para os ecossistemas.

As regiões do globo onde têm precipitação média anual superior a 2000 mm/ano, têm-se maiores fluxos superficiais de água, ou seja, onde se encontra a maior quantidade de água nos rios, são áreas intertropicais, estando localizadas entre os Trópicos de Câncer e o Trópico de Capricórnio. Nessas áreas também se encontram as regiões mais úmidas da Terra (Rebouças, 2015a).

Nesse sentido, o Brasil é um país privilegiado em relação à disponibilidade da água, pois possui, aproximadamente, cerca de 12% de toda a água “doce” disponível no mundo (MMA/ANA, 2007), assim, o país “encontra-se em situação bastante favorável em relação ao seu patrimônio hídrico, que poderá se tornar uma grande vantagem competitiva internacional caso venha a ser bem gerenciado” (AMA/ANA, 2007, p. 27).

Diante do que foi exposto, percebe-se que existe uma distribuição geográfica desigual da água no planeta Terra (Tundisi; Tundisi, 2011), e dessa forma, muitos conflitos já estão ocorrendo no mundo por causa deste recurso fundamental, e muito provavelmente, devido às mudanças climáticas, esses conflitos se tornarão cada vez mais recorrentes (Ribeiro, 2008).

A água possui diversos usos e é fundamental para a sobrevivência humana bem como para as atividades econômicas. Além do uso doméstico, a água é utilizada nos diversos setores econômicos, como por exemplo indústria, agricultura e pecuária, turismo, atividade pesqueira, esporte e lazer, navegação, produção de energia, entre muitos outros usos (Ribeiro, 2008; Teixeira *et al.*, 2009, Tundisi; Tundisi, 2011; Rebouças, 2015a).

Tundisi e Tundisi (2011) dissertaram que a água é uma substância muito importante para atender as necessidades dos seres humanos, como o uso doméstico – higiene pessoal, limpeza da casa, preparação dos alimentos –, produção de alimentos, uso industrial, produção de energia, saneamento básico, lazer, entre outros. “[...] A água “doce” também é fundamental para as atividades industriais e para a produção de energia” (Salati; Lemos; Salati, 2015, p. 38).

As águas utilizadas para o abastecimento humano e de suas atividades socioeconômicas são captadas nos rios, lagos, represas e aquíferos subterrâneos. A água doce é essencial ao abastecimento do consumo humano e ao desenvolvimento de suas atividades industriais e agrícolas e é de importância vital aos ecossistemas – tanto vegetal como animal – das terras emersas (Rebouças, 2015a, p. 1).

Em relação aos usos da água no mundo, o uso doméstico corresponde por 10% de toda a água consumida, a indústria e a geração de energia consomem 20%, e o setor agropecuário é o que consome mais água, onde inclui-se pecuária, cultivos e silviculturas, entre outros, com o uso de 70%. Em países menos desenvolvidos, o uso para atividades agropecuárias pode chegar a 90% (FAO, 2018).

Embora os usos industriais e agrícolas representem cerca de 90% de toda a água consumida no planeta, para o uso doméstico a água “é vital para a dessedentação humana, higiene pessoal, mas também para o preparo de alimento e para a limpeza da moradia. Quase 80% da água consumida em uma residência é gasta no banheiro [...]” (Ribeiro, 2008, p. 49).

Mesmo a água sendo essencial para o uso doméstico, mais de um bilhão de pessoas não possuem acesso à água potável e de qualidade (Mazoyer; Roudart, 2010). Cerca de 285 milhões de pessoas vivem sem acesso regular a uma água limpa e de qualidade na África Subsaariana. Cerca de 646 milhões de pessoas no leste e sul da Ásia, e 180 milhões de pessoas no sudeste da Ásia e no Pacífico vivem na mesma situação. Assim também estão 92 milhões de pessoas na América Latina e Caribe e 67 milhões nos países árabes (Ziegler, 2013). Dessa forma, “não é preciso dizer que são os mais carentes aqueles que sofrem com maior rigor a falta de água” (Ziegler, 2013, p. 247), ou seja, os mais pobres.

Segundo dados da Organização Mundial de Saúde, um terço da população do planeta não tem acesso à água de qualidade a um preço acessível, e metade da população mundial não possui saneamento de água (Ziegler, 2013). Assim, segundo

Ribeiro (2008), a falta de água ou a sua má qualidade podem ocasionar vários problemas de saúde. No mundo, todo ano, mais de 2 milhões de pessoas morrem por doenças e enfermidades relacionadas à água, sendo as crianças as principais vítimas.

Falta de acesso à água de boa qualidade e ao saneamento resulta em centenas de milhões de casos de doenças de veiculação hídrica e mais de 5 milhões de mortes a cada ano. Estima-se que entre 10 e 20 mil crianças morrem todos os anos vítimas de doenças de veiculação hídrica (Tundisi; Tundisi, 2011, p. 72).

Branco, *et al.*, (2015) dissertou que se houver um avanço na oferta de água tratada em quantidade suficiente para atender as necessidades diárias de uma pessoa, além de coleta e tratamento de esgoto adequados, cerca 10% de todas as doenças no mundo podem ser eliminadas. Se houvesse sistemas de saneamentos amplos, muitas doenças como a febre tifoide, o tracoma, a cólera, entre outras poderiam ser reduzidas. Ribeiro (2008) ainda dissertou que a presença do mosquito transmissor da dengue - *Aedes Aegypti* - em áreas urbanas revela a deterioração das condições do saneamento das cidades.

Alguns estudos, inclusive do Ministério da Saúde, apresentam que, no Brasil, a cada 1 real investido em tratamento de água e rede de esgoto, são economizados 4 reais em custos em relação à saúde. Segundo o site das Nações Unidas do Brasil (2014), a Organização Mundial da Saúde afirmou que, em escala global, para cada 1 dólar investido em saneamento básico, são economizados 4,3 dólares em saúde.

Diante do exposto, o acesso a uma água de qualidade e quantidade suficiente para atender as necessidades básicas de uma pessoa pode contribuir para o aumento da sua qualidade de vida, em relação ao seu bem-estar e saúde, bem como para a contenção da propagação e proliferação de diversas doenças.

Portanto, é importante enfatizar a necessidade de conduzir levantamentos, estudos e pesquisas referentes aos recursos hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos, para que as autoridades competentes desenvolvam e implementem políticas públicas que atendam às necessidades da população em relação ao acesso a uma água de qualidade e em quantidade suficiente para atender as suas necessidades diárias.

### 3.2 O NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Antes de dissertar sobre como o  $\text{NO}_3^-$ -N pode contaminar as águas subterrâneas, é necessário compreender o ciclo do nitrogênio composto pelos processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação, ou seja, apresentando como o nitrogênio se oxida em amônia, nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), e depois se dissipa em forma de nitrogênio, completando seu ciclo.

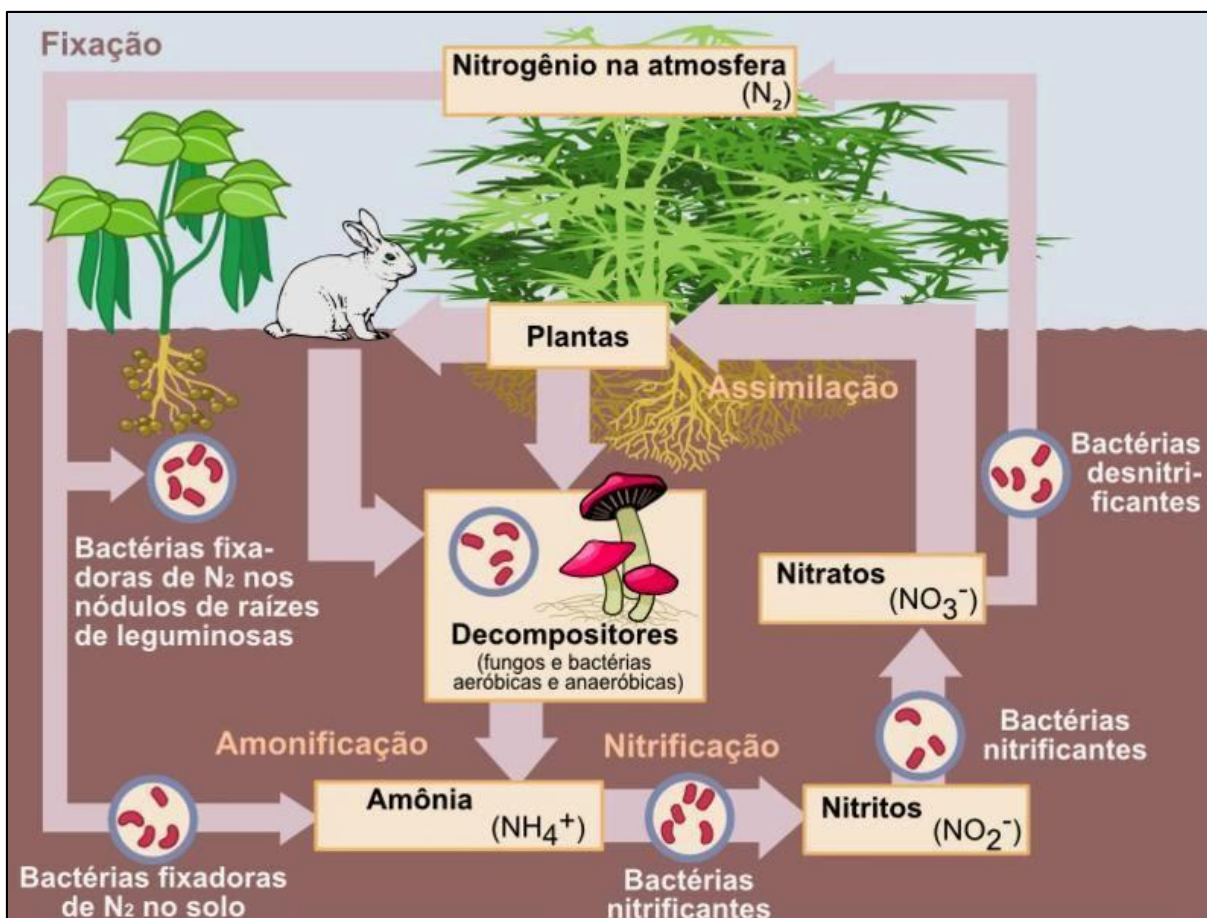
Nicolai (2001) dissertou que o nitrogênio (N) pode ser encontrado nas plantas, frequentemente em pouca quantidade para sua nutrição, sendo o quarto comumente encontrado em sua composição, ficando atrás do carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O). Victoria, Piccolo e Vargas (1992) argumentaram que as principais fontes de nitrogênio no solo são de materiais vegetais, de natureza animal, fertilizantes industriais, fixação biológica do nitrogênio por micro-organismos, sendo esses dois últimos os mais importantes.

Cerca de 95% do nitrogênio encontrado no solo se encontra em forma orgânica. As formas inorgânicas minerais nitrogenadas encontradas no solo ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) podem ser separadas e quantificadas. Mesmo em menor proporção na composição do nitrogênio do solo, as formas inorgânicas têm importância na nutrição das plantas e também nos processos relacionados ao ciclo do nitrogênio. Esse elemento é extremamente volátil, podendo variar de acordo com seu estado de oxidação.

Este elemento está sendo continuamente transformado nestas várias formas, por meio de uma complexa rede de reações físicas, químicas e biológicas. O N possui valências estáveis que vão desde -3, como no amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) onde ele está na forma mais reduzida, a +5, como no nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) onde ele está na forma mais oxidada. Este elemento é, portanto, extremamente versátil, existindo em muitos estados de oxidação (Vieira, 2017, p. 9).

Dessa forma, os átomos de nitrogênio podem ser encontrados em diferentes estados de oxidação e físicos. Esses estados se alteram devido à interação entre os organismos presentes no solo com as moléculas de nitrogênio, sendo que essas alterações e movimentações dos compostos nitrogenados fazem parte do ciclo biológico do nitrogênio (Figura 2) (Nicolai, 2001).

**Figura 2** - Ciclo do Nitrogênio.



Fonte: Globo.com, 2023.

Conforme pode ser observado na Figura 2, as bactérias fixadoras de nitrogênio extraem o nitrogênio da atmosfera para produzir a sua energia. A partir dos resíduos de nitrogênio, essas bactérias liberam  $\text{NH}_4^+$ , que depois é oxidada em  $\text{NO}_3^-$ , tendo como o último processo a desnitrificação, em que o  $\text{NO}_3^-$  pode ser transformado em  $\text{N}_2$  e devolvido aos oceanos e à atmosfera (Moreira; Siqueira, 2006; Bernice, 2010; Vieira, 2017).

Segundo Victoria, Piccolo e Vargas (1992), o ciclo biológico do nitrogênio acontece, em sua grande parte, na camada superficial do solo, sendo que ali ocorre majoritariamente a entrada e saída de nitrogênio do sistema, que de maneira muito complexa, ocorre diversas reações bioquímicas. Por meio de técnicas agrícolas modernas, o ser humano influencia praticamente em todos os processos do ciclo do nitrogênio.

Bernice (2010) explicou que a movimentação do nitrogênio, bem como dos seus diversos estados de oxidação, ocorre por meio da precipitação, sedimentação em sistemas aquáticos, vento, movimento das águas subterrâneas e superficiais e

volatilização, sendo “controlados pela temperatura, pH, flora, microbiologia, potencial de oxidação e redução, e a disponibilidade no substrato de nutrientes e oxigênio” (Bernice, 2010, p. 4). Os principais processos responsáveis pela oxidação do nitrogênio são a **amonificação**, a **nitrificação** e a **desnitrificação** (Bernice, 2010).

Segundo Vieira (2017), a **amonificação** ocorre por um processo enzimático, sendo resultado da conversão de formas orgânicas do nitrogênio para formas inorgânicas. Esse processo enzimático é feito por microrganismos heterotróficos, aeróbios e anaeróbios, utilizando os resíduos vegetais como fonte de carbono, nitrogênio e energia.

Os compostos nitrogenados são decompostos por organismos vivos que vivem no solo em substâncias mais simples, tendo como principais responsáveis por realizar essa decomposição as bactérias saprófitas e diversas espécies de fungos. Durante a decomposição dos materiais orgânicos, esses microrganismos utilizam as proteínas e os aminoácidos como fonte para suas próprias proteínas e liberam o nitrogênio em forma de amônio (Bernice, 2010).

Os compostos nitrogenados que se originam desse processo podem ser absorvidos ou mineralizados para a forma amoniacal [ $\text{NH}_3$ , amônia (forma gasosa);  $\text{NH}_4^+$ , amônio]. Essas reações que ocorrem entre os minerais do solo, as enzimas extracelulares e os materiais nitrogenados orgânicos são complexas. Todos esses materiais podem ser adsorvidos às argilas, sendo estabilizados e protegidos da degradação.

Bernice (2010) destacou que a amônia que se origina do processo de amonificação dissolve-se facilmente na água do solo, formando íon amônio. Vieira (2017) também afirmou que a amônia reage rapidamente com a água, formando íons amônio. Entretanto, quando se encontra em condições de pH elevado, ele predomina e pode ser perdido para a atmosfera (Vieira, 2017).

Dessa forma, a amônia pode estar presente naturalmente tanto nas águas subterrâneas quanto superficiais, normalmente com concentrações muito baixas, por causa da facilidade de adsorção por partículas dos solos ou também por sua oxidação em  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$  resultante do processo de nitrificação (Alaburda; Nishihara, 1998).

Após a **amonificação**, ocorre o processo de **nitrificação**. Nicolai (2001, p. 16) explanou que “a nitrificação é a conversão de amônia a nitrato através da ação de microrganismos”. Isso ocorre porque a amônia ( $\text{NH}_3$ ) que foi produzida e liberada pelos microrganismos, forma o amônio ( $\text{NH}_4$ ) no solo quando entra em equilíbrio, e

prossegue passando por transformações, convertendo-se em  $\text{NO}_2^-$  e posteriormente em  $\text{NO}_3^-$ . Esse processo chama-se nitrificação (Moreira; Siqueira, 2006).

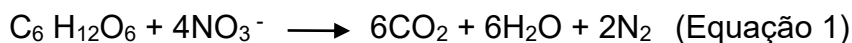
A nitrificação microbiana do amônio ao  $\text{NO}_3^-$  é realizada por bactérias quimiautotróficas, que fazem o uso desse processo como fonte de energia para a fixação do  $\text{CO}_2$  (Moreira; Siqueira, 2006). O processo de oxidação do amoníaco que produz  $\text{NO}_3^-$  ocorre em duas etapas, denominadas de nitritação e nitratação, sendo realizado por essas bactérias. A primeira etapa – nitritação – ocorre quando o amônio se converte em  $\text{NO}_2^-$  por meio de bactérias do gênero *Nitrosomonas*. A segunda etapa – nitratação – ocorre quando o  $\text{NO}_2^-$ , originado a partir do amônio, converte-se em  $\text{NO}_3^-$ , por meio das atividades das bactérias do gênero *Nitrobacter*, podendo assim ser assimilado pelas plantas (Nicolai, 2001; Moreira; Siqueira, 2006; Bernice, 2010).

O processo de nitrificação também pode ser feito por microrganismos do Domínio Arqueia. Entretanto, a principal nitrificação do solo ocorre por meio da nitrificação bacteriana. Os fatores que afetam o processo de nitrificação pelas bactérias e arqueias oxidantes da amônia são os fertilizantes nitrogenados, o pH do solo, a umidade do solo, os metais pesados, além da aeração, matéria orgânica e relação C:N (Moreira e Siqueira, 2006; Vieira, 2017).

A **desnitrificação** é um processo em que o nitrogênio é devolvido à atmosfera na forma de gás. Esse processo ocorre devido à redução microbiana do íon  $\text{NO}_3^-$  para o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ou nitrogênio molecular ( $\text{N}_2$ ). Grande parte dos microbiologistas concordam que a desnitrificação é um processo de redução respiratória do  $\text{NO}_3^-$  e/ou  $\text{NO}_2^-$  para as formas gasosas de  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  ou  $\text{N}_2$ , associada à fosforilação durante o transporte de elétrons (Vieira, 2017). Esse processo é de grande importância tanto do ponto de vista geoquímico quanto ambiental, sendo executado por bactérias anaeróbicas facultativas, que constituem cerca de 0,1% a 5% de todas as bactérias presentes no solo (Moreira; Siqueira, 2006).

Vieira (2017) explicou que os microrganismos utilizam o  $\text{NO}_3^-$  comoceptor final de elétrons quando há a falta de oxigênio para a respiração aeróbica normal, o que leva a realização da respiração anaeróbica. Conforme dissertado por Bernice (2010), esse processo envolve algumas bactérias em ambiente anaeróbico, em que essas bactérias utilizam o  $\text{NO}_3^-$  como forma alternativa ao oxigênio, realizando a respiração e liberando o  $\text{N}_2$ .

Dessa forma, na respiração anaeróbica ocorre a seguinte reação, segundo Vieira (2017) (Equação 1):



Dessa forma, observando a equação, “verifica-se que para conduzir o processo de desnitrificação, os microrganismos também necessitam de matéria orgânica oxidável, que atuará como fonte de carbono e de elétrons” (Vieira, 2017, p. 31). Ainda segundo a autora, para que ocorra a desnitrificação, o processo inicial ocorre pela redução do íon  $\text{NO}_3^-$  para o íon  $\text{NO}_2^-$ , que, posteriormente, é catalisado pela enzima redutase do  $\text{NO}_3^-$ . Ressalta-se que a presença de oxigênio impossibilita a síntese e as atividades dessa enzima. Dessa forma, a redutase do  $\text{NO}_2^-$  catalisa a transformação de  $\text{NO}_2^-$  para o óxido nítrico (Vieira, 2017).

Esta enzima é encontrada no periplasma e existe em duas formas, uma contendo Cu e outra na forma heme. A redutase do óxido nítrico, uma proteína ligada à membrana, catalisa a conversão do óxido nítrico (NO) para óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e também tem a sua síntese inibida pelo oxigênio e induzida por várias formas de óxidos de nitrogênio. A redutase do óxido nitroso, uma proteína encontrada no periplasma, contém Cu e converte óxido nitroso para  $\text{N}_2$  (Vieira, 2017, p. 32).

Portanto, a desnitrificação é um processo biológico relevante, pelo qual o N reativo retorna à atmosfera na forma de  $\text{N}_2$ , como destacado por Vieira (2017). Completando essa ideia, Gilberto Nicolai (2001) explanou que a ocorrência desse processo, mediado pelos micro-organismos, ou seja, de forma biológica, envolve a conversão do  $\text{NO}_3^-$  em nitrogênio gasoso, dando origem à remoção do nitrogênio presente no solo.

Esse processo desempenha um papel importante no ciclo geoquímico do nitrogênio e muitos fatores edafoclimáticos o influenciam. Esses fatores são a umidade, a aeração do solo, a disponibilidade de oxigênio, o pH, a temperatura, os níveis de  $\text{NO}_3^-$  e de carbono e os metais pesados (Moreira; Siqueira, 2006; Vieira, 2017).

Como já foi dito, o  $\text{NO}_3^-$  se origina a partir de processos químicos e biológicos que ocorrem no ar, no solo, na planta e na água. Ele e os dióxidos de nitrogênio são considerados contaminantes em água e ar. O  $\text{NO}_3^-$  é encontrado naturalmente no solo, plantas, carnes, entre outros, contendo em sua composição uma quantidade menor que 10  $\mu\text{g/l}$ . Todavia, essa concentração pode ser aumentada pelo uso de fertilizantes

nitrogenados, pelos resíduos e dejetos industriais, proteínas em decomposição originadas de plantas, animais e excrementos (Oliveira *et al.*, 1987).

O  $\text{NO}_3^-$  “é o contaminante inorgânico de maior ocorrência em aquíferos [...] devido à alta mobilidade e persistência” (CRH/CTAS, 2019, p. 2). Esse ânion, entre os compostos nitrogenados, é o principal contaminante da água pelas práticas agrícolas (Resende, 2002). Diante dessa problemática, há uma preocupação entre os gestores dos recursos hídricos em relação a sua ocorrência em altas concentrações por causa do aumento dos casos de contaminação das águas subterrâneas no Brasil e em diversos países (CRH/CTAS, 2019).

O  $\text{NO}_3^-$  é considerado um indicador de contaminação das águas subterrâneas, pois ele possui alta mobilidade e pode atingir grandes áreas, sendo o contaminante de maior frequência no mundo (Varnier *et al.*, 2010). Alaburda e Nishihara (1998) dissertaram que a ocorrência do  $\text{NO}_3^-$  em águas naturais é comum, apresentando, normalmente, baixos teores em águas superficiais, porém, em águas profundas, pode apresentar altas concentrações. De acordo com Resende (2002), o  $\text{NO}_3^-$ , estando na solução do solo, pode ser lixiviado e aumentar consideravelmente a sua concentração nas águas subterrâneas ao longo do tempo.

A contaminação das águas subterrâneas por  $\text{NO}_3^-$  pode ocorrer de várias maneiras. Os aquíferos podem ser contaminados por  $\text{NO}_3^-$  através do sistema de saneamento, tendo como fontes as fossas sépticas e negras, além de vazamentos das redes que coletam o esgoto, tanto domésticos como industriais, de cemitérios, de dejetos de suínos, pela lixiviação de áreas agrícolas, tendo como principais fontes diretas de contaminação das águas subterrâneas por  $\text{NO}_3^-$  os fertilizantes minerais e os resíduos de plantas que ficam na superfície do solo e no próprio solo, em zonas subsuperficiais (Nicolai, 2001; França *et al.*, 2006; Varnier *et al.*, 2010; Valmor Freddo, 2018). “O excesso de nitrogênio acrescentado às culturas agrícolas via fertilização também pode ser fonte de contaminação de água superficial e subterrânea, resultado da perda de  $\text{NO}_3^-$  por lixiviação em solos” (Freddo, 2018, p. 80).

O  $\text{NO}_3^-$  pode causar risco à saúde humana – metemoglobinemia em crianças e alguns tipos de cânceres – e também ao meio ambiente – eutrofização do meio aquático.

O  $\text{NO}_3^-$ , bem como os compostos de nitrogênio em seus estados de oxidação, dependendo da sua concentração, estão entre as substâncias que podem causar risco à saúde humana (Alaburda; Nishihara, 1998). Ele é um indicador de contaminação e

poluição das águas subterrâneas pela atuação humana, por isso é um parâmetro importante de ser discutido e analisado. A sua ocorrência em altas concentrações nas águas subterrâneas tem sido associada ao risco de graves doenças (Freddo, 2018). “Diversas doenças como o câncer e problemas respiratórios têm sido associadas ao consumo de água contaminada com  $\text{NO}_3^-$ ” (Vieira, 2017, p. 128).

A ingestão de água contaminada por  $\text{NO}_3^-$  pode causar consequências adversas à saúde. As principais consequências são a indução à metemoglobinemia, principalmente em crianças, e o possível desenvolvimento de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (Alaburda; Nishihara, 1998; Moreira e Siqueira, 2006; França *et al.*, 2006; Vieira, 2017; Freddo, 2018). “Concentrações elevadas podem causar metemoglobinemia em crianças” (França *et al.*, 2006, p. 96).

Concentrações de nitratos e nitritos em alimento e água constituem um risco para a saúde dos adultos; porém, em crianças até 3 meses, o teor é crítico uma vez que o sistema enzimático do trato gastrointestinal não está totalmente desenvolvido e, nestas condições, a formação de meta-hemoglobina aumenta, resultando em condição clínica característica (metemoglobinemia) (Oliveira *et al.*, 1987, p. 25).

A ingestão de  $\text{NO}_3^-$  em altas concentrações pode causar sérios problemas de saúde tanto em seres humanos quanto em animais. Como foi dito, a metemoglobinemia é um desses problemas. A hemoglobina tem a função biológica de transportar o oxigênio aos tecidos. Sua composição é formada por quatro átomos de ferro em estado de oxidação  $2^+$ . Dessa forma, quando o  $\text{NO}_3^-$  é consumido, sofre a redução para  $\text{NO}_2^-$ , oxidando o  $\text{Fe}_2^+$  para  $\text{Fe}_3^+$  da fração hemo da hemoglobina, convertendo a hemoglobina em meta-hemoglobina, que tem a cor marrom-esverdeado, reduzindo a capacidade do transporte do  $\text{O}_2$  por meio do sangue para todo o corpo. Nesses casos, a elevada concentração de meta-hemoglobina pode comprometer a saúde, causando risco de morte por asfixia (Fernícola; Azevedo, 1981; Moreira; Siqueira, 2006).

As crianças pequenas são mais susceptíveis que os adultos à formação de meta-hemoglobina, devido a fatores como: (a) sua ingestão total de líquidos por kg de peso corporal é cerca de 3 vezes maior que a do adulto; (b) a secreção gástrica ácida é incompleta e faz com que o pH estomacal fique entre 5 e 7, o que permite a adaptação de bactérias redutoras de  $\text{NO}_3^-$  à parte alta do trato gastrointestinal e assim o nitrito resultante é absorvido; (c) a hemoglobina fetal (hemoglobina F) é mais facilmente convertida à meta-hemoglobina do

que a adulta (hemoglobina A) e as crianças pequenas têm consideráveis quantidades da hemoglobina F; (d) as crianças menores, por deficiência de algumas enzimas, têm maior dificuldade para reduzir a meta-hemoglobina (Fernícola; Azevedo, 1981, p. 242-243).

Fernícola e Azevedo (1981) ainda discutiram que, além do  $\text{NO}_3^-$ , há outras substâncias que podem induzir a produção de meta-hemoglobina, como o  $\text{NO}_2^-$ , fenacetina, acetanilida, sulfanilamida, cloratos, nitrobenzeno, entre outros. Diversos óbitos de crianças de menos de seis meses por metemoglobinemia já foram comprovados e o motivo foi pelo consumo de água de poço com teores de  $\text{NO}_3^-$  elevados.

Além da metemoglobinemia, a ingestão de água altos teores de  $\text{NO}_3^-$  também pode estar relacionada à ocorrência de cânceres, como por exemplo o gástrico e o linfático. As aminas e as amidas são duas substâncias presentes no corpo humano, e quando elas reagem com o  $\text{NO}_2^-$  e o  $\text{NO}_3^-$ , pode ocorrer a formação das nitrosaminas e nitrosamidas. No corpo humano, essas substâncias podem se originar da reação entre o  $\text{NO}_2^-$  ingerido, ou pela redução bacteriana do  $\text{NO}_3^-$ , com as aminas secundárias ou terciárias e as amidas presentes nos alimentos ingeridos pelo ser humano. As nitrosaminas e as nitrosamidas são conhecidas por serem cancerígenas, estando associadas ao aparecimento de tumores em animais de laboratório (Alaburda; Nishihara, 1998; CRH/CTAS, 2019). “O pH ótimo para a reação de nitrosaminação é entre 2,5 a 3,5, faixa semelhante à encontrada no estômago humano após a ingestão de alimentos” (Alaburda; Nishihara, 1998, p. 162).

Além de impactar à saúde humana, o  $\text{NO}_3^-$  em excesso pode impactar negativamente o meio ambiente causando eutrofização do ambiente aquático. Da mesma forma que o fósforo, o  $\text{NO}_3^-$  pode causar a eutrofização dos mananciais quando ocorre em altas concentrações nas águas superficiais (Resende, 2002).

As altas concentrações de  $\text{NO}_3^-$  nos corpos hídricos contribuem para a proliferação de plantas e algas aquáticas, o que gera a diminuição da penetração da luz na água, modificando todo ambiente subaquático. A partir disso, o oxigênio da água também é reduzido, e essa redução é originada pela própria respiração das plantas que se proliferam, além dos restos das plantas e algas mortas que aumentam exageradamente com a eutrofização, sendo que elas são decompostas por bactérias que consomem oxigênio disponível na água, diminuindo o oxigênio dissolvido na água e, conseqüentemente, resultando na sua baixa concentração. Como resultado, tem-

se a morte de peixes e outros organismos, causando um desequilíbrio do ecossistema aquático (Resende, 2002; Tundisi, Tundisi, 2011). Nesse sentido, a eutrofização é o “excesso do crescimento das plantas no solo e algas nos corpos d’água” (Moreira; Siqueira, 2006, p. 355).

Portanto, pesquisas relacionadas à distribuição e à concentração de  $\text{NO}_3^-$  em águas subterrâneas, bem como em todo o ambiente aquático, são muito importantes, pois quando em altas concentrações dissolvidas em água, causa impacto direto à saúde humana e ao meio ambiente. Além disso, os fertilizantes nitrogenados são muito utilizados na produção agrícola e, com o aumento da demanda atual de uma população mundial com mais de oito bilhões de pessoas por alimento, o seu uso crescerá. Segundo Freddo (2018), o uso dos fertilizantes nitrogenados é essencial para o cultivo das plantas, apesar de, quando em altas concentrações, ser considerado nociva à saúde das pessoas.

Alaburda e Nishihara (1998) dissertaram que a contaminação das águas por  $\text{NO}_3^-$  tem se tornado um problema mundial, pois a sua origem é ampla e diversa. Dessa forma, esse tema merece atenção e deve ser discutido por todos os setores da sociedade. Nessa perspectiva, pesquisas devem ser realizadas para comprovar ou refutar os impactos negativos causados pelo  $\text{NO}_3^-$  à saúde humana e ao meio ambiente, bem como identificar outros impactos causados por ele.

### 3.3 VULNERABILIDADE E RISCO SOCIOAMBIENTAL

O debate em torno da vulnerabilidade e do risco socioambiental insere-se no contexto mais amplo das desigualdades sociais, dos processos históricos de ocupação do território e das dinâmicas socioeconômicas que condicionam a relação entre sociedade e natureza. Tais conceitos devem ser compreendidos em sua dimensão relacional, contextual e processual, considerando que os riscos e as vulnerabilidades não são distribuídos de maneira uniforme no espaço, mas sim profundamente enraizados em estruturas sociais, políticas e econômicas.

Nesse sentido, a compreensão dos processos que produzem desigualdade no espaço urbano passa, necessariamente, pelo entendimento dos conceitos de vulnerabilidade social, risco ambiental e vulnerabilidade socioambiental, que se articulam para explicar como determinados grupos sociais e territórios tornam-se mais

expostos e menos capazes de responder aos impactos ambientais (Zanella *et al.*, 2009).

Essa disparidade se evidencia espacialmente quando os grupos de maior renda ocupam os territórios com maior infraestrutura, serviços e amenidades ambientais, enquanto os de menor poder aquisitivo, mais vulneráveis, são forçados a se estabelecer em áreas de risco, caracterizadas por condições insalubres e inseguras, como poluição do solo, da água e do ar, além de maior exposição a acidentes e desastres (Zanella *et al.*, 2009).

Dessa forma, o conceito de vulnerabilidade socioambiental surge da tentativa de compreender as interações entre fatores ambientais e socioeconômicos, a partir de uma perspectiva relacional e multidimensional (Aquino; Paletta; Almeida, 2017). Essa abordagem busca integrar os elementos que condicionam a relação entre sociedade e natureza, permitindo identificar como grupos sociais distintos experimentam de formas desiguais os impactos dos riscos ambientais.

Ao integrar as dimensões sociais e ambientais na identificação e análise da vulnerabilidade, é pertinente a adoção da terminologia vulnerabilidade socioambiental. Essa premissa se justifica porque a vulnerabilidade aos riscos ambientais depende de fatores sociais, econômicos, tecnológicos, culturais, ambientais e a relação destes com o ambiente físico-natural, envolvendo, portanto, a dinâmica social e a dinâmica ambiental, esta última, inclusive, quando em estado de degradação (Esteves, 2011, p. 75).

Dessa forma, neste tópico será dissertado sobre os conceitos de risco e vulnerabilidade socioambiental, sendo conceito-chave para a realização desta pesquisa, bem como para alcançar os objetivos propostos, pois o objetivo desta pesquisa é justamente elaborar uma metodologia de análise de risco e vulnerabilidade socioambiental dos aquíferos do recorte espacial deste estudo.

Antes de tratar da vulnerabilidade socioambiental, é necessário apresentar o conceito de vulnerabilidade social, suas causas e os sujeitos por ela afetados. Essa abordagem permite compreender como as desigualdades sociais expõem determinados grupos a condições adversas, sendo fundamental para explicar por que os riscos ambientais incidem de forma desproporcional sobre populações historicamente marginalizadas. Desse modo, a vulnerabilidade social fornece o fundamento analítico necessário à construção do conceito de vulnerabilidade socioambiental.

A vulnerabilidade social pode ser definida como a condição de fragilidade vivida por indivíduos, grupos ou comunidades diante de riscos e ameaças que comprometem seu bem-estar (Costa, 2009). Para Zanella *et al.* (2009), a vulnerabilidade social é uma noção multidimensional, derivada de fenômenos diversos com causas e consequências distintas, que afeta de forma desigual indivíduos e grupos sociais. Fatores como condições econômicas, culturais, étnicas, educacionais, políticas e de saúde influenciam diretamente a capacidade dos grupos de enfrentarem dificuldades e aproveitarem oportunidades para melhorar sua qualidade de vida.

De acordo com Costa (2009, p. 145), “são vulneráveis as pessoas que por condições sociais, culturais, étnicas, políticas, econômicas, educacionais e de saúde têm as diferenças estabelecidas entre eles e a sociedade envolvente, transformadas em desigualdade”. Para Costa (2009), essa fragilidade não é natural nem individual, mas resulta de processos históricos que envolvem desigualdade de acesso a recursos, oportunidades e proteção institucional. Em outras palavras, ser vulnerável socialmente significa estar em desvantagem frente às possibilidades de garantir condições mínimas de vida digna.

Desta forma, a vulnerabilidade pode ser compreendida como a propensão ou predisposição de uma população a ser adversamente afetada, envolvendo tanto a sensibilidade aos danos quanto as limitações na capacidade de enfrentamento e adaptação (Silva; Moura; Cunico, 2024). Nesta mesma linha, Cutter (2011) definiu vulnerabilidade como o potencial de perda, destacando duas dimensões fundamentais: a exposição ao risco, que diz respeito às circunstâncias que colocam pessoas e localidades em contato com ameaças ambientais; e a propensão aos danos, relacionada à capacidade — maior ou menor — de indivíduos, infraestruturas ou sistemas sociais de responder e se recuperar dos impactos gerados por tais ameaças.

Na perspectiva geográfica, a vulnerabilidade está diretamente ligada à distribuição desigual dos riscos no território. Certos espaços, em razão de suas características físicas ou locacionais, apresentam maior suscetibilidade a eventos extremos, como secas prolongadas, alagamentos, deslizamentos ou terremotos, o que agrava a fragilidade social e ambiental desses territórios (Silva; Moura; Cunico, 2024).

Compreender a vulnerabilidade, portanto, é fundamental para analisar por que um mesmo evento pode provocar impactos distintos em diferentes áreas, além de

fornecer elementos essenciais para entender como as ações humanas contribuem para intensificar — ou mitigar — os efeitos dos riscos sobre o meio natural e o ambiente urbano construído.

As causas da vulnerabilidade social estão ligadas a fatores estruturais, entre eles, destacam-se a pobreza, a desigualdade econômica, a exclusão do mercado de trabalho, o acesso precário à saúde e à educação, a carência de políticas públicas efetivas e a fragilidade das redes de apoio social. A vulnerabilidade também é agravada pela falta de participação política, pela discriminação étnica, de gênero e territorial, e pela instabilidade nas relações familiares ou comunitárias (Costa, 2009). Esses fatores atuam de forma interligada, criando barreiras que limitam a capacidade dos sujeitos de reagir às adversidades. Assim, de acordo com Costa (2009, p. 146), a vulnerabilidade social

não se limita apenas em considerar a privação de renda, mas analisa também a composição familiar, as condições de saúde e o acesso a serviços médicos, o acesso e a qualidade do sistema educacional, a possibilidade de obter trabalho com qualidade e remuneração adequadas, a existência de garantias legais e política etc.

Pessoas em situação de vulnerabilidade social têm menor acesso a serviços básicos, vivem em condições precárias de moradia, estão mais expostas à violência e a riscos ambientais, e enfrentam maior insegurança alimentar, educacional e emocional (Costa, 2009). De acordo com Costa (2009), as populações mais vulneráveis tendem a ocupar áreas precárias, marcadas pela degradação ambiental e pela insegurança.

Assim, a vulnerabilidade social está ligada a segmentos populacionais que, devido a determinadas condições socioeconômicas ou estruturais, apresentam menor capacidade de reagir adequadamente diante de situações adversas, como desastres naturais ou crises ambientais (Silva; Moura; Cunico, 2024). Crianças, mulheres, pessoas negras, populações periféricas, idosos, pessoas com deficiência e comunidades tradicionais estão entre os mais atingidos (Costa, 2009). Esses grupos vivem, em geral, nas regiões menos assistidas pelo poder público, não tendo acesso a direitos básicos, refletindo em carências sociais e ambientais.

Desta forma, populações em situação de vulnerabilidade social tendem a apresentar limitações significativas quanto à sua capacidade de se proteger frente a

ameaças ambientais, sejam elas de caráter contínuo, como a poluição do ar e da água, ou eventos extremos, como enchentes, deslizamentos, furacões e terremotos (Silva; Moura; Cunico, 2024).

De acordo com Costa (2009)

A desigualdade de acesso às condições urbanas de vida se expressa também como desigualdade ambiental, pois as populações com menor poder aquisitivo tendem a localizar-se nas chamadas áreas de risco, ou seja, áreas de maior exposição a situações insalubres (contaminação de água, do solo, e do ar) e inseguras (riscos de acidentes de diversos tipos) (Costa, 2009, p. 147).

Desta forma, a desigualdade urbana, portanto, é também uma desigualdade ambiental, já que os riscos se concentram nas periferias urbanas, onde vivem os excluídos dos serviços e das infraestruturas públicas. Esses espaços, geralmente localizados nas periferias das cidades, tornam-se territórios de intensificação dos riscos, refletindo diretamente a lógica da segregação socioespacial.

Segundo Aquino, Paletta e Almeida (2017), o risco pode ser definido como a probabilidade de que algo possa ou não ocorrer, já a vulnerabilidade ambiental diz respeito à fragilidade de uma área em lidar com interações externas. O relatório sobre Redução de Risco de Desastres do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (UNDP) (2004) apresentou que o risco é “*The probability of harmful consequences or expected loss [...] resulting from interactions between natural or human-induced hazards and vulnerable conditions*” (UNDP, 2004, p. 98).

Dessa forma, percebe-se pela citação que risco é a probabilidade de impactos negativos ou perda esperada de vidas, propriedades, meios de subsistências, entre outros, gerados pelas interações dos aspectos físicos-naturais ou dos perigos produzidos pela ação antrópica e condições vulneráveis. Convencionalmente, o risco pode ser apresentado pela seguinte equação: Risco = Perigo + Vulnerabilidade (UNDP, 2004).

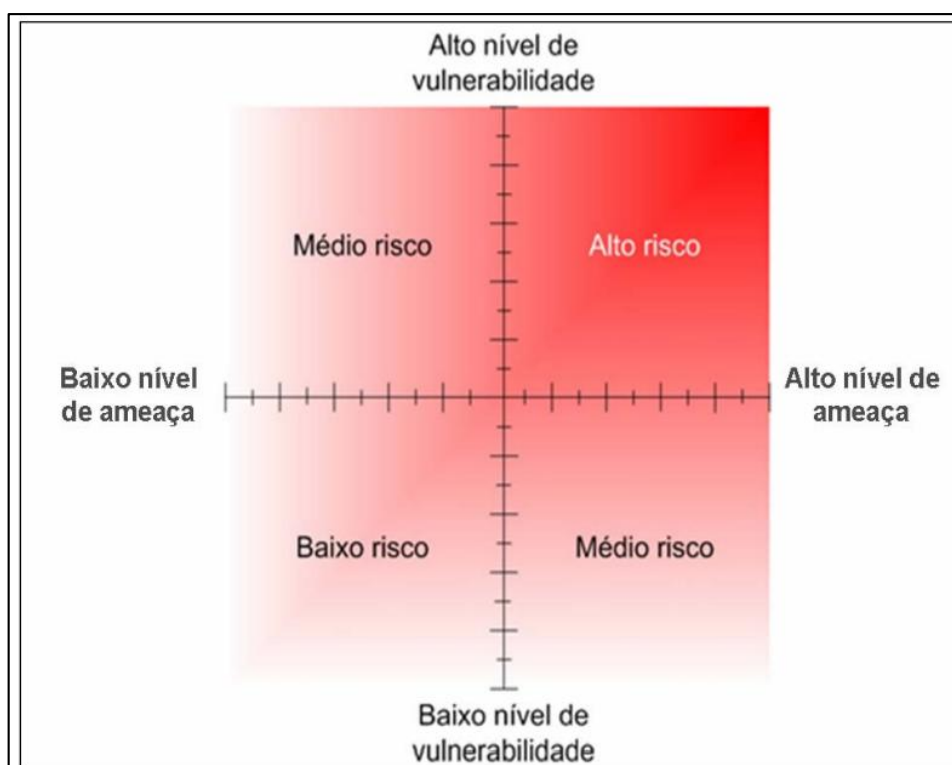
Rebelo (2003) exemplificou o que foi dito com a seguinte explanação: a “fórmula de risco” é  $R=A+V$  (para os autores de língua francesa), em que R é risco, A é *aléa* que traduzido para o português significa perigo e V é vulnerabilidade, ou  $R=H+V$  (para autores de língua inglesa), em que R é risco, H é *hazard* que traduzido para o português significa perigo e V é vulnerabilidade. “Recentemente, porém, começa a encontrar-se, com alguma frequência, uma “fórmula do risco” que valoriza mais a

vulnerabilidade para a mesma importância do *aléa* ou *hazard*, multiplicando e não somando:  $R=A.V$  ou  $R=H.V$ ” (Rabelo, 2003, p. 24).

A Figura 3 exemplifica a aplicação da fórmula.

[...] a ideia de que a intensidade do risco (alto, médio e baixo) depende fundamentalmente da combinação entre o nível de ameaça, no eixo horizontal – que pode ser entendido também como nível de periculosidade ou aléa – e o nível de vulnerabilidade, no eixo vertical. Na figura, percebe-se que o risco está presente em todos os quadrantes do gráfico. Mesmo que os níveis de vulnerabilidade e de ameaça sejam baixos, o risco ainda está lá e vai aumentando à medida que o nível das outras variáveis vai crescendo. Assim, temos a representação visual da fórmula  $R=A+V$  (Dagnino; Junior, 2007, p. 66).

**Figura 3** - Relação entre níveis de ameaça e de vulnerabilidade na determinação de intensidade de riscos.



Fonte: Dagnino e Junior, 2007, p. 67.

Nesse sentido, Dagnino e Junior (2007, p. 52) consideraram “o risco como a probabilidade de que um evento - esperado ou não esperado – se torne realidade. A ideia de que algo pode vir a ocorrer, já então configura um risco”.

Dessa forma, os riscos socioambientais não derivam apenas da presença de ameaças naturais, mas ganham forma a partir das condições sociais e institucionais que definem o grau de exposição e resposta das populações (Silva; Moura; Cunico,

2024). Nesse contexto, como aponta Silva, Moura e Cunico (2024), a incorporação do termo “sócio” ao “ambiental” reforça o papel ativo da sociedade na produção e agravamento dos problemas ambientais atuais, reconhecendo-a como agente central na dinâmica dessas transformações.

Nas cidades, esse conceito ganha forma concreta nos chamados riscos socioambientais urbanos, que, segundo Zanella *et al.* (2009), incluem inundações, deslizamentos de encostas, contaminações, acidentes industriais e outras ameaças cotidianas, especialmente sobre a população de baixa renda. A ocupação inadequada do solo urbano intensifica esses riscos, tornando sua gestão um desafio central das políticas públicas locais.

Segundo Mendonça (2010), esse enfoque constitui um novo paradigma, pois desloca o olhar tradicional sobre a relação sociedade-natureza, fundamentado na ideia de estabilidade, para um cenário de incerteza e instabilidade. O autor afirma que “a abordagem dos riscos socioambientais urbanos pode ser concebida como um novo paradigma, na medida em que muda o foco da compreensão da lógica de produção e reprodução socioespacial” e introduz “uma nova base de análise na relação sociedade – natureza” (Mendonça, 2010, p. 155).

O risco socioambiental, segundo o autor, não é meramente um fenômeno natural ou uma ameaça isolada, mas um produto das interações complexas entre fatores ambientais e sociais. Como afirma Mendonça,

[...] os riscos socioambientais urbanos dizem respeito aos fenômenos imbricados de contingências naturais e sociais que desestabilizam as condições de vida das sociedades urbanas; eles evidenciam elementos e fatores de ordem natural (ambiental) e social (cultural, política, econômica e tecnológica) (Mendonça, 2010, p. 155).

Nesse sentido, uma das principais dimensões dos riscos – e de interesse das sociedades – é sua expressão espacial, como ressalta o autor:

Os riscos são espacial e temporalmente datados, o que os torna um dos temas de maior interesse da geografia atual. Neste aspecto, não se trata de abordá-los de um ponto de vista apenas natural ou social, ainda que se possa fazê-lo, mas de buscar evidenciar sua expressão geográfica tendo por base a imbricação direta dos diferentes elementos componentes do espaço geográfico (Mendonça, 2010, p. 156).

Essa perspectiva reforça a compreensão de que eventos como enchentes, deslizamentos, estiagens ou ilhas de calor produzem impactos diferenciados sobre a população urbana, uma vez que suas consequências variam conforme as condições de moradia, acesso a infraestrutura e suporte institucional disponíveis em cada local.

Nesse sentido, risco e vulnerabilidade são conceitos que se entrelaçam de forma inseparável. Enquanto o risco diz respeito à possibilidade de ocorrência de danos decorrentes de ameaças e da vulnerabilidade, a vulnerabilidade indica o grau de exposição, sensibilidade e capacidade de resposta de determinados grupos sociais frente a essas ameaças. Nesta perspectiva, Mendonça discorre:

Diretamente associada aos riscos está a vulnerabilidade socioambiental urbana que, também atrelada a uma série de contingências sociais, políticas, econômicas, culturais, tecnológicas, etc., explicitam diferentes condições de exposição e de fragilidade de grupos sociais aos riscos. Dito de outra maneira, a vulnerabilidade socioambiental urbana evidencia a heterogeneidade dos impactos advindos dos riscos que se abatem sobre uma dada população, constituindo ambos – risco e vulnerabilidade socioambiental urbana – uma seara de alta complexidade para a compreensão e gestão urbana. Torna-se quase inócuo, no presente, tratar somente dos riscos aos quais as populações urbanas estão submetidas, pois eles se explicitam diferente sobre as sociedades, donde entender que um par intrínseco, dialético e inseparável se forma entre risco e vulnerabilidade (Mendonça, 2010, p. 156-157).

Desta forma, o conceito de vulnerabilidade socioambiental tem avançado no sentido de integrar, de maneira sistêmica, as dimensões naturais e sociais envolvidas nos processos que geram riscos e desigualdades territoriais. Assim, a vulnerabilidade socioambiental surge como a sobreposição de duas realidades críticas: os riscos ambientais e a vulnerabilidade social. De acordo com Zanella *et al.* (2009), essa vulnerabilidade combinada se manifesta em áreas onde coexistem ameaças naturais ou antrópicas e populações com baixa capacidade de resposta e adaptação. Trata-se, portanto, de um conceito de interface, que articula saberes das ciências naturais e sociais, revelando a necessidade de abordagens integradas para enfrentar os desafios urbanos contemporâneos.

Nesse mesmo sentido, Alves (2006) definiu a vulnerabilidade socioambiental como a existência simultânea, sobreposta ou cumulativa de fenômenos espaciais que envolvem tanto situações de risco e degradação ambiental (vulnerabilidade ambiental), quanto condições de pobreza e privação social (vulnerabilidade social).

De forma complementar, Cartier *et al.* (2009) conceituou a vulnerabilidade socioambiental como a coexistência espacial entre grupos populacionais pobres, discriminados e com alta privação, que vivem ou circulam em áreas marcadas por riscos ambientais ou degradação ecológica.

Essas abordagens reforçam a importância do conceito para a análise de contextos urbanos marcados pela desigualdade, pois permitem evidenciar os efeitos acumulativos das injustiças sociais e ambientais. Além disso, destacam como os problemas socioambientais contemporâneos estão profundamente ligados ao modelo de desenvolvimento econômico vigente — baseado em dinâmicas capitalistas, processos de deslocalização e desregulamentação — que, ao longo do tempo, contribuem para a intensificação da ocupação de áreas de risco por grupos historicamente vulnerabilizados (Cartier *et al.*, 2009).

A desigualdade na exposição e nos impactos de riscos ambientais é bem exemplificada por Mendonça (2010), ao discutir o desconforto térmico e a formação de ilhas de calor nas cidades brasileiras. Embora tais riscos sejam condições naturais recorrentes em todo o território urbano, são sentidos de forma muito mais intensa pela população pobre, cuja capacidade adaptativa é limitada pela ausência de recursos técnicos, científicos e econômicos para mitigar os efeitos do clima sobre suas vidas. Enquanto isso, os bairros de classes mais altas, beneficiados por planejamentos urbanos mais estruturados, usufruem de microclimas mais amenos, graças à presença de parques, lagos e arborização, além de melhores condições educacionais, políticas e econômicas.

De maneira semelhante, os episódios sazonais de inundações e deslizamentos — particularmente nas cidades situadas na fachada leste do Brasil — escancaram a alta vulnerabilidade social das populações urbanas mais pobres, como demonstram os registros frequentes de vítimas fatais, perdas econômicas e agravos à saúde decorrentes desses eventos. Casos emblemáticos ocorridos nas últimas décadas em cidades como Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Salvador, Florianópolis e Itajaí/Blumenau revelam não apenas a insuficiência das políticas públicas de ordenamento territorial, mas também o distanciamento entre o poder público e a dinâmica real de ocupação do espaço urbano. Embora a responsabilidade seja compartilhada entre Estado e sociedade, é a população mais vulnerável que arca com os maiores prejuízos, resultado de um histórico de injustiça social e negligência estrutural (Mendonça, 2010).

Esse padrão de vulnerabilidade é também evidenciado por Silva, Moura e Cunico (2024), ao analisarem a vulnerabilidade socioambiental à estiagem e à seca na Região Pluviométrica do Cariri/Curimataú, no semiárido paraibano. Embora a escassez hídrica seja uma característica recorrente dessa região, seus efeitos são vivenciados de forma muito mais severa pelas populações socialmente vulneráveis, especialmente nos setores rurais, onde predominam baixos níveis de renda, infraestrutura precária e ausência de serviços básicos como água tratada e coleta de resíduos. Por outro lado, os setores urbanos da região, mesmo sujeitos à mesma condição climática, apresentam maior capacidade de resposta, resultado de melhores condições socioeconômicas, maior acesso a políticas públicas e infraestrutura mais estruturada. Essa diferença revela como a vulnerabilidade não se limita à presença do fenômeno natural – a seca –, mas depende da interação entre fatores ambientais e desigualdades sociais historicamente produzidas.

O estudo demonstra que a sobreposição entre alta vulnerabilidade social e elevada suscetibilidade à seca resulta em níveis extremos de vulnerabilidade socioambiental em municípios como Camalaú, Parari e Pedra Lavrada. Cerca de 12% dos setores censitários analisados se enquadram nas categorias de alta ou muito alta vulnerabilidade, sendo a renda o principal fator associado à permanência dessas populações em contextos de risco (Silva; Moura; Cunico, 2024).

Ampliando a escala de análise, Cunico, Lucena e Moura (2022) desenvolveram o Índice de Risco de Desastre por Inundações (IRDI) para o estado da Paraíba, com o objetivo de avaliar os diferentes graus de vulnerabilidade socioambiental associados às áreas suscetíveis a inundações. Embora esse tipo de risco esteja presente em diversas partes do estado, seus impactos recaem de forma mais intensa sobre municípios com condições socioeconômicas precárias, onde a população enfrenta múltiplas privações. Nessas localidades, classificadas nas categorias de risco muito alto e alto, a presença de fatores físico-naturais – como proximidade da rede de drenagem, declividade do terreno e frequência de chuvas intensas – é agravada pela insuficiência de serviços essenciais como habitação adequada, saneamento básico, energia elétrica e acesso à educação.

Enquanto isso, áreas com melhor infraestrutura e maior presença do poder público apresentam mecanismos mais eficazes de prevenção e adaptação aos eventos extremos. A articulação entre as dimensões social e ambiental proposta pelo IRDI permite compreender como os desastres se inserem na lógica das desigualdades

territoriais, reforçando a urgência de estratégias integradas de planejamento socioambiental e gestão de riscos no estado da Paraíba.

Na escala metropolitana, o estudo de Rosa e Costa (2009), realizado na Região Metropolitana de Campinas (RMC), evidencia como a vulnerabilidade socioambiental se manifesta mesmo em contextos de alto dinamismo econômico. Utilizando uma abordagem quantitativa e geoespacial, os autores desenvolveram o Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA), combinando indicadores sociais, ambientais e territoriais para mapear os territórios mais expostos a desastres naturais e tecnológicos. Os resultados revelam bolsões de extrema vulnerabilidade nas periferias urbanas de municípios como Campinas, Hortolândia, Sumaré e Santa Bárbara d'Oeste.

Nessas áreas críticas, predominam ocupações irregulares em zonas de risco, elevada densidade populacional e ausência de infraestrutura urbana adequada. Ao mesmo tempo, a baixa capacidade institucional de resposta agrava ainda mais os efeitos de enchentes, deslizamentos e acidentes tecnológicos. Em contrapartida, bairros com melhores condições socioeconômicas e infraestrutura consolidada demonstram maior resiliência frente aos mesmos riscos. A pesquisa evidencia que, mesmo dentro de cidades desenvolvidas, a vulnerabilidade não se distribui de maneira homogênea e tende a se concentrar nos territórios historicamente negligenciados pelo planejamento urbano.

As dinâmicas de vulnerabilidade nas cidades também se manifestam de forma expressiva em Fortaleza, conforme analisado por Zanella *et al.* (2009). Embora os riscos ambientais, como inundações, deslizamentos e soterramentos, estejam presentes em diversas partes do território urbano, seus impactos incidem de maneira mais intensa sobre as populações socialmente vulneráveis, especialmente aquelas que ocupam áreas ambientalmente frágeis, como margens de rios, campos de dunas instáveis e zonas litorâneas. Nessas localidades, destacam-se bairros periféricos como Pirambu, Cristo Redentor e Barra do Ceará, marcados por moradias informais, precariedade habitacional e ausência de infraestrutura básica.

O estudo identificou essas zonas de maior risco a partir da elaboração de um Índice Sintético de Vulnerabilidade Social (ISVS), com base em dados censitários, e do mapeamento de áreas suscetíveis utilizando ferramentas de geoprocessamento. A análise revelou que a produção desigual do espaço urbano em Fortaleza está diretamente ligada à lógica de ocupação desordenada e à ausência de políticas

públicas eficazes para o controle do uso e ocupação do solo. Nesse contexto, a pesquisa reforça a importância de abordagens integradas que articulem dimensões sociais e ambientais para compreender os padrões de risco nas cidades e orientar estratégias de gestão territorial e justiça socioambiental.

Desta forma, os estudos apresentados convergem ao demonstrar que os riscos ambientais não atuam isoladamente: eles são amplificados por desigualdades sociais e espaciais historicamente construídas. A vulnerabilidade socioambiental, portanto, deve ser entendida como resultado da interação entre fatores naturais e sociais, exigindo políticas públicas que considerem essa complexidade e promovam a equidade territorial no enfrentamento dos desastres urbanos.

Além dos casos empíricos já discutidos, observa-se no Brasil uma produção acadêmica crescente sobre a temática da vulnerabilidade ambiental e socioambiental, com diferentes abordagens teóricas, metodológicas e recortes espaciais. Entre os trabalhos de destaque estão o de Humberto Prates da Fonseca Alves (2006), intitulado "Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana", que realiza uma análise sociodemográfica das sobreposições entre problemas e riscos sociais e ambientais; o de Fernanda Siqueira Malta, Eduarda Marques da Costa e Alessandra Magrini (2017), que propõem um índice de vulnerabilidade socioambiental aplicado ao Rio de Janeiro; o de Ana Cecília Feitosa de Vasconcelos, Gesinaldo Ataíde Cândido e Eliza Maria Xavier Freire (2019), que propõem temas e indicadores voltados à análise da vulnerabilidade em cidades brasileiras; e o de Marley Vanice Deschamps (2004), que analisa a vulnerabilidade socioambiental na Região Metropolitana de Curitiba, identificando áreas socialmente vulneráveis sobrepostas a zonas de risco ambiental, com ênfase em enchentes. Esse estudo destaca a distribuição desigual dos danos ambientais e adota um modelo baseado em indicadores socioeconômicos e demográficos para avaliar a capacidade de resposta das populações diante de eventos adversos, relacionando essas vulnerabilidades ao processo de urbanização e segregação socioespacial impulsionado por movimentos migratórios.

No campo metodológico, destaca-se a contribuição de Jurandy Ross (1994), que elaborou uma proposta de análise empírica da fragilidade de ambientes naturais e antrópicos. Aquino; Paletta; Almeida (2017) defenderam que uma avaliação consistente da vulnerabilidade ambiental deve articular aspectos físicos e socioeconômicos do território, por meio da seleção criteriosa de indicadores capazes de expressar a resistência ou fragilidade do sistema diante dos riscos.

Diante disso, compreende-se a vulnerabilidade socioambiental, nesta pesquisa, como uma condição resultante da interação entre desigualdades sociais historicamente construídas e dinâmicas ambientais degradadas, que, sobrepostas no território, limitam a capacidade de alguns grupos sociais de responderem e se adaptarem aos riscos a que estão expostos. Nesse sentido, trata-se de um fenômeno multidimensional, relacional e territorializado, que expressa a desigual distribuição dos impactos ambientais em função da precariedade de infraestrutura básica, como por exemplo o saneamento básico, do uso intensivo e desordenado do solo, da baixa qualidade de vida e da ausência de políticas públicas efetivas.

A vulnerabilidade socioambiental aqui discutida ultrapassa a mera soma das vulnerabilidades social e ambiental. Ela surge da interdependência entre a fragilidade das condições de vida humanas e a degradação dos ecossistemas, tornando certos territórios mais propensos a sofrerem os efeitos nocivos de contaminações, como a do  $\text{NO}_3\text{-N}$  nas águas subterrâneas. Deste modo, é neste entrelaçamento entre risco, exclusão e degradação ambiental que se constitui a base analítica do Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental ao Nitrato (*IRVS*), desenvolvido nesta tese como ferramenta metodológica para a identificação de áreas críticas e populações vulneráveis.

## 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: REGIÃO DO NORTE PIONEIRO DO ESTADO DO PARANÁ

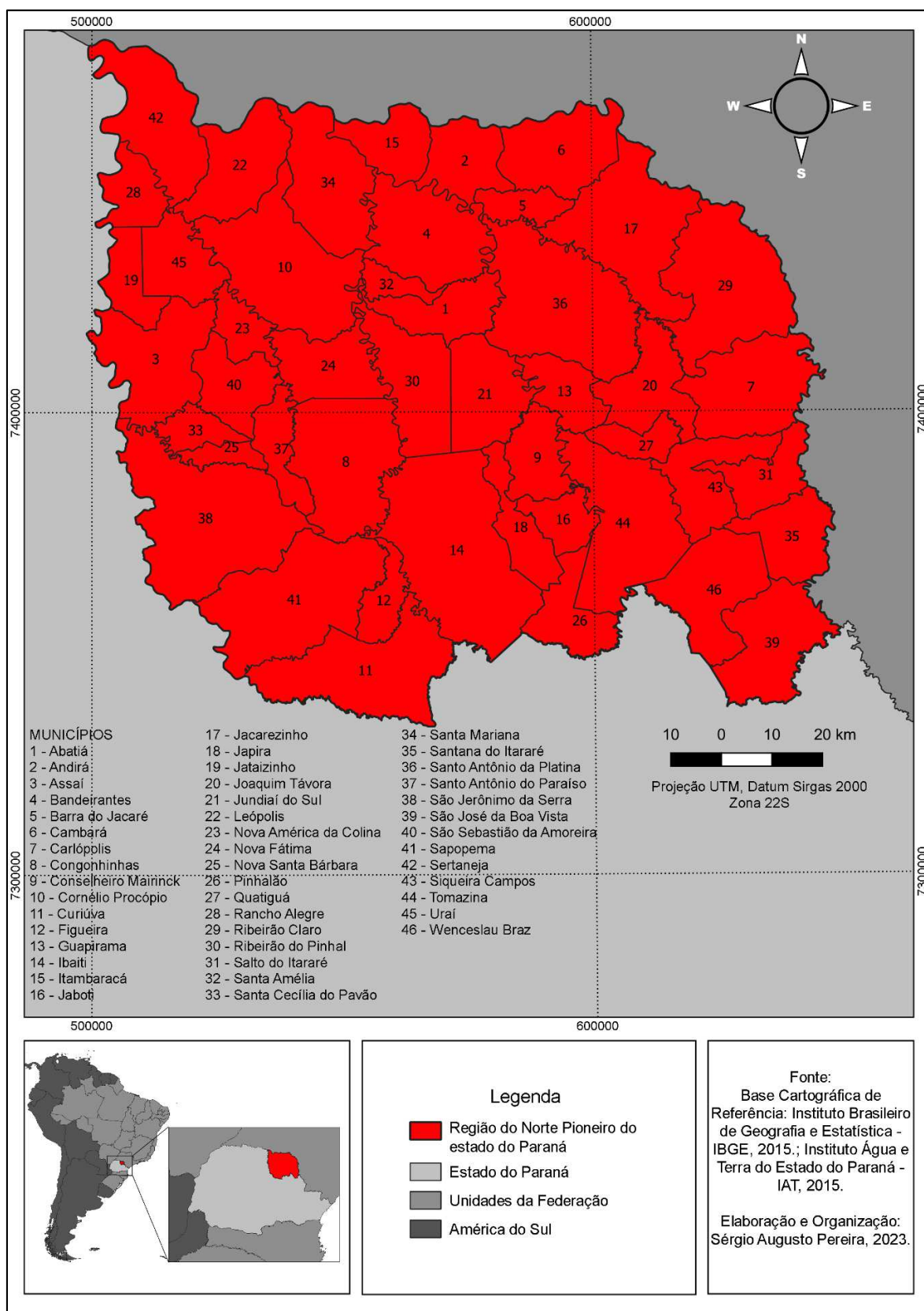
A delimitação espacial para esta pesquisa foi definida com o objetivo de analisar a distribuição das concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$  dos poços tubulares dos aquíferos que se localizam nos municípios da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná, com fins de elaborar uma metodologia de análise de risco e vulnerabilidade socioambiental. Nesse sentido, é importante que se apresente, mesmo que de forma breve, as características físico-geográficas e socioeconômicas da área de estudo, pois essas características influenciam, em menor ou maior proporção, a concentração de  $\text{NO}_3\text{-N}$  das águas subterrâneas. Os aspectos físicos-geográficos e sociais abordados neste capítulo foram a localização da área de estudo, a geologia, a geomorfologia, a pedologia, o clima, a hidrografia e alguns dados socioeconômicos.

### 4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O recorte espacial desta pesquisa é a região do Norte Pioneiro do estado do Paraná. Essa região, como já foi apresentado, é composta por 46 municípios: Abatiá, Andirá, Assaí, Bandeirantes, Barra do Jacaré, Cambará, Carlópolis, Congonhinhas, Conselheiro Mairinck, Cornélio Procópio, Curiúva, Figueira, Guapirama, Ibaiti, Itambaracá, Jaboti, Jacarezinho, Japira, Jataizinho, Joaquim Távora, Jundiá do Sul, Leópolis, Nova América da Colina, Nova Fátima, Nova Santa Bárbara, Pinhalão, Quatiguá, Rancho Alegre, Ribeirão Claro, Ribeirão do Pinhal, Salto do Itararé, Santa Amélia, Santa Cecília do Pavão, Santa Mariana, Santana do Itararé, Santo Antônio da Platina, Santo Antônio do Paraíso, São Jerônimo da Serra, São José da Boa Vista, São Sebastião da Amoreira, Sapopema, Sertaneja, Siqueira Campos, Tomazina, Uraí e Wenceslau Braz (Figura 4).

Com uma população superior a 546.000 habitantes e um território de 15.733,045 km<sup>2</sup>, a região apresenta uma densidade demográfica de 34,72 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2022). Em 2020, o Produto Interno Bruto (PIB) a preços correntes alcançou R\$ 17.525.966.385 (IPARDES, 2023).

**Figura 4 - Localização da área de estudo: região do Norte Pioneiro do estado do Paraná.**



## 4.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

Neste tópico discorreu-se sobre os aspectos geológicos da área de estudo.

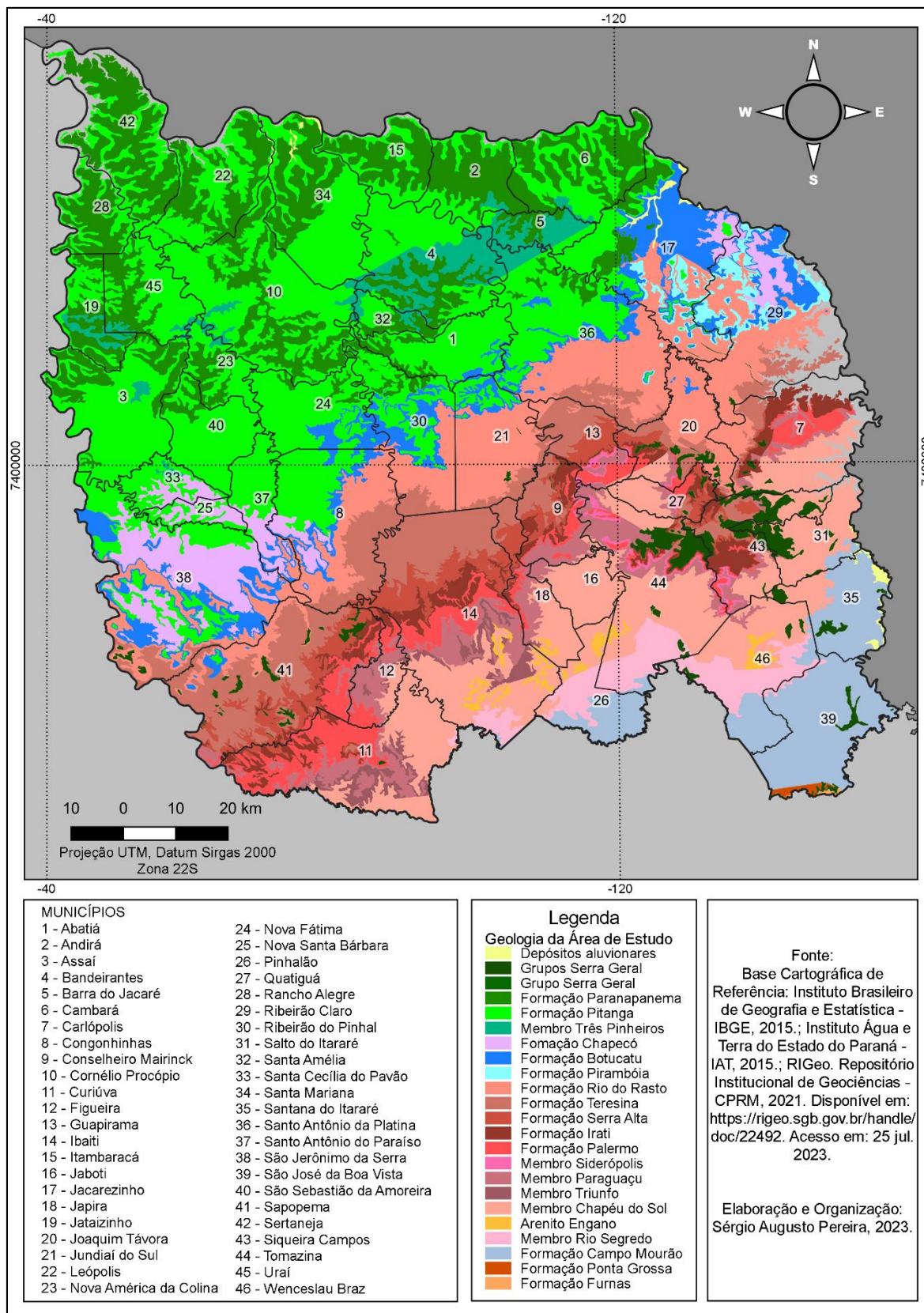
### 4.2.1 Formação Furnas

A Formação Furnas (Figura 5) do Devoniano Inferior, é uma unidade geológica que aflora nos estados do Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás. Com uma espessura de aproximadamente 200 metros, sua litologia é caracterizada por arenitos esbranquiçados, de granulação média a muito grossa, pobremente classificados e com matriz caulínica. Em certos locais, ocorrem intercalações de camadas delgadas de material argiloso a síltico micáceo ou de arenito fino. Na base da formação, é possível encontrar conglomerados com seixos centimétricos de quartzo e quartzito dispersos em uma matriz arenosa grossa (Petri; Fulfaro, 1983; Pinese, 2002).

A Formação Furnas é caracterizada por uma sucessão de arenitos médios a grosseiros, podendo apresentar conglomerados, com espessura não superior a 200 metros. Sua estrutura sedimentar mais proeminente e facilmente identificável nos afloramentos é a estratificação cruzada acanalada. Esta formação é depositada de forma discordante sobre rochas ígneas e metamórficas do embasamento. Localmente, é possível observá-la também sobre rochas com baixo grau de metamorfismo, como as formações Camarinha e Castro. Essas rochas representam os últimos vestígios de uma cobertura de plataforma que foi erodida pela discordância pré-Furnas (Mineropar, 2006).

A Formação Furnas, geralmente é interpretada como o registro de uma transgressão marinha desenvolvida sobre uma topografia de relevo suave. No entanto, a sequência de base revela estratificações cruzadas acanaladas típicas de um ambiente continental fluvial. Indicações sugerem que o transporte e a deposição dos detritos ocorreram com a influência de correntes relativamente fortes, em águas rasas, durante um período de lenta subsidência da bacia (Petri; Fulfaro, 1983; Pinese, 2002).

Figura 5 - Geologia do Norte Pioneiro do estado do Paraná.



#### 4.2.2 Formação Ponta Grossa

A Formação Ponta Grossa (Figura 5) datada do Devoniano superior, é uma unidade geológica que se destaca nos estados do Paraná (particularmente nas regiões de Ponta Grossa e Jaguariaíva), Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Sua composição é majoritariamente constituída por folhelhos, folhelhos sílticos e siltitos de tonalidades que variam de cinza-escuro a preto, apresentando localmente teores carbonosos, fósseis, minerais micáceos e intercalações de arenitos de tonalidade cinza-claro, com granulação variando de fina a muito fina e também micáceos, formando bancos com espessuras inferiores a 5 metros (Pinese, 2002; Schneider *et al.*, 1974).

A Formação Ponta Grossa tem seu início marcado por arenitos transgressivos basais, que gradativamente dão lugar a folhelhos marinhos enriquecidos em matéria orgânica em sua porção superior. Do ponto de vista paleogeográfico, esta formação representa um mar que já se encontrava restrito devido à elevação do Arco de Assunção a oeste, ocorrida durante o Eodevoniano. Além disso, mantinha conexões com o proto-Pacífico ao norte (Mineropar, 2006).

A estrutura sedimentar mais comumente encontrada nesta formação é a laminação plano-paralela, com ocorrências locais de estratificação cruzada de pequena escala, às vezes acanalada, laminações cruzadas, laminação flaser, marcas onduladas, bioturbação e estruturas de escorregamento. A presença de fósseis na formação indica de forma inequívoca condições marinhas de deposição, com os folhelhos pretos laminados sugerindo deposição em águas mais calmas e profundas (Pinese, 2002).

#### 4.2.3 Formação Campo Mourão

A Formação Campo Mourão (Figura 5) é caracterizada por seu contato basal, representado por uma superfície erosiva que escava as fácies da Formação Lagoa Azul, indicando uma desconformidade neocarbonífera. Esta superfície é facilmente identificada, pois marca o limite inferior de um espesso corpo arenoso, como observado no afloramento do arenito Vila Velha, que forma escarpas pronunciadas na topografia (Mineropar, 2007).

Os arenitos basais são mais resistentes à erosão e frequentemente se apresentam na forma de feições arredondadas do tipo "casco de tartaruga", onde as estruturas sedimentares e tectônicas podem estar mascaradas pelo intemperismo, dando a impressão de rochas maciças. A espessura estimada dessa sucessão arenosa varia em torno de 150 metros, podendo ser influenciada pela presença de seções canalizadas na base. Os arenitos exibem uma variedade de características faciológicas, desde finos a grossos, com diferentes estruturas sedimentares indicativas de deposição subaquosa por correntes de água de degelo e fluxos turbidíticos rasos associados a desembocaduras fluviais. Em direção ao topo, ocorre uma granodecrescência e aumento de seleção, com a possível presença de camadas de arenitos finos e bem selecionados (Mineropar, 2007).

Acima dos arenitos, a Formação Campo Mourão apresenta uma seção heterogênea, com intercalações entre diamictitos, ritmitos, folhelhos e arenitos, geralmente finos e não estratificados. O topo da formação é marcado por uma sucessão pelítica, destacando-se um intervalo de folhelhos acinzentados conhecido como folhelho Guaraúna, que representa um evento de transgressão marinha generalizada. Considerando dados de poços perfurados, a espessura estimada para a Formação Campo Mourão varia de 300 a 400 metros (Mineropar, 2007; Schneider *et al.*, 1974).

#### 4.2.4 Membro Rio Segredo

O Membro Rio Segredo (Figura 5), localizado na borda leste da Bacia do Paraná, no setor catarinense, é composto por turbiditos provenientes de dois sistemas distintos: um leque canalizado ou confinado na região central de Rio do Sul e um leque em lençol ou espalhado na área norte catarinense (Andrade, 2010).

Na análise sedimentológica das fácies arenosas deste membro, é importante considerar as unidades lamíticas que o envolvem: o folhelho Lontras abaixo e um intervalo superior de turbiditos muito delgados acima do arenito Rio Segredo. Essas unidades lamíticas estão geneticamente ligadas aos estratos areno-argilosos do Membro Rio Segredo e são também consideradas turbiditos com textura/estrutura gradacional, porém, com espessura milimétrica que confere um aspecto de poucos centímetros (no Membro Rio Segredo "superior") (Andrade, 2010).

#### 4.2.5 Arenito Engano

O arenito Engano (Figura 5), denominado a partir do vale do rio homônimo (ribeirão do Engano), localizado a oeste de Ibaiti, destaca-se por suas boas exposições nessa região, juntamente com os diamictitos acima e abaixo. A falta de controle estratigráfico e cartográfico adequado pode resultar na confusão desses deltas interglaciais com sistemas pós-glaciais semelhantes presentes na Formação Rio Bonito (Vesely *et al.*, 2021).

De acordo com Mottin *et al.* (2018), na área de Ibaiti, o arenito Engano faz parte de uma associação de deltas influenciados por maré, com fácies fluviais apresentando estratificação cruzada métrica e paleocorrentes para sudoeste.

#### 4.2.6 Membro Chapéu do Sol

O Membro Chapéu do Sol (Figura 5), dentro da Formação Taciba, é uma unidade espessa, com espessura que pode atingir até 100 metros, composta principalmente por diamictito cinza, esverdeado ou amarelado, com matriz lamítica ou lamítico-arenosa, caracterizada por estruturas de deformação penecontemporânea. Em sua composição, é comum encontrar clastos facetados e estriados de diversas rochas cristalinas, assim como matacões métricos, especialmente de granito. Além disso, são frequentes blocos intrabaciais deformados e rompidos de arenito e ritmito, indicando processos de ressedimentação por deslizamentos e escorregamentos. Levantamentos cinemáticos de dobras e falhas sugerem um transporte para sul, compatível com as paleocorrentes do Membro Rio Segredo, o que evidencia um paleoambiente glácio-marinho para a deposição do Membro Chapéu do Sol (Mottin *et al.*, 2018; Vesely *et al.*, 2021).

No norte do Paraná, este membro inclui um intervalo intradiamictito com granocrescência ascendente, composto por ritmitos, heterolitos e arenitos com pouca ou nenhuma influência glacial. Este intervalo pode ser mapeado de forma descontínua desde a região sudoeste de Ibaiti até pelo menos Wenceslau Brás. Em Wenceslau Brás, este intervalo hospeda elementos da flora *Glossopteris* e ocorrências de carvão do jazimento Ribeirão Novo (Vesely *et al.*, 2021).

#### 4.2.7 Membro Siderópolis, Paraguaçu e Triunfo

Os Membros Siderópolis, Paraguaçu e Triunfo (Figura 5) fazem parte da Formação Rio Bonito, de idade neo-permiana, é uma unidade geológica encontrada nos estados de Santa Catarina e Paraná, apresentando uma espessura máxima de 269 metros. Composta principalmente por arenitos nos terços inferior e superior, enquanto no terço médio predominam siltitos e folhelhos, além de camadas de carvão e calcários com ocasionais intercalações de arenitos (Mineropar, 2001; Pinese, 2002).

O Membro Siderópolis é caracterizado por arenitos finos de planície litorânea, enquanto o Membro Paraguaçu é constituído por arenitos e siltitos cinzentos, esverdeados e amarronzados, com intercalações de níveis calcários, micríticos e estromatolíticos, depositados em planície de marés e plataforma. Apresenta laminação plano paralela e ondulada, microestratificação cruzada e bioturbação. Por fim, o Membro Triunfo é composto por depósitos flúvio-deltáicos de arenitos cinzentos esbranquiçados, finos a grosseiros, níveis conglomeráticos, siltitos, folhelhos carbonosos e estratificação cruzada, além de marcas onduladas e camadas de carvão (Mineropar, 2001; Pinese, 2002; Schneider *et al.*, 1974).

#### 4.2.8 Formação Palermo

A Formação Palermo, apresentado na Figura 5, de idade neo-permiana, é uma unidade geológica presente nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, com sua maior espessura alcançando 281 metros (Pinese, 2002).

De acordo com Petri e Fulfaro (1983), esta formação é composta predominantemente por siltitos arenosos de tonalidades cinza-amareladas e cinza-esverdeadas. Em algumas áreas, são encontrados arenitos finos a médios na parte superior, enquanto na base ocorrem concreções e nódulos de sílex. A Formação Palermo também apresenta estruturas mosqueadas, deformadas e de sobrecarga.

Conforme observado por Schneider *et al.* (1974), com base nas características litológicas da formação, sua deposição ocorreu em um ambiente marinho transgressivo de águas rasas, situado abaixo do nível de ação das ondas.

#### 4.2.9 Formação Irati

A Formação Irati (Figura 5) de idade neo-permiana, é uma unidade geológica que se estende pelos estados brasileiros de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, representando uma porção basal do Grupo Passa Dois. Sua distribuição é caracterizada por afloramentos descontínuos frequentemente associados a estruturas tectônicas, como zonas de falhamentos e intrusões de sills de diabásio, indicando uma deposição influenciada por processos tectônicos ativos (Pinese, 2002; Sedor, 2004).

Do ponto de vista litológico, a Formação Irati é composta predominantemente por folhelhos pretos, frequentemente betuminosos, os quais emitem odor de petróleo quando expostos. Esses folhelhos intercalam-se com camadas irregulares de dolomitos e calcários, ocasionalmente ocorrendo em lentes. As concreções de sílex, conhecidas como "bonecas", são características notáveis dessa formação, exibindo resistência ao intemperismo e sendo encontradas em solos vermelhos provenientes da decomposição do Irati (Petri; Fulfaro, 1983; Pinese, 2002).

A deposição da Formação Irati é interpretada como ocorrendo em um ambiente marinho de águas rasas, possivelmente confinado em bacias, sob condições físico-químicas propícias à precipitação de carbonatos e à dolomitização, além da preservação de matéria orgânica geradora dos folhelhos pirobetuminosos (Schneider *et al.*, 1974; Sedor, 2004).

Esta unidade foi subdividida em dois membros principais, conforme proposto por Barbosa e Gomes (1958): o Membro Taquaral e o Membro Assistência. O Membro Taquaral é caracterizado por argilitos, folhelhos e siltitos, podendo apresentar uma camada delgada de arenito na base, contendo seixos de sílex, quartzo e vestígios de organismos marinhos, como dentes e fragmentos de escamas de peixes, bem como restos de crustáceos. Já o Membro Assistência exibe uma litologia mais diversificada, com predominância de dolomitos e calcários parcialmente dolomitizados, além de folhelhos pirobetuminosos e piritosos. Sua estratificação é geralmente regular, caracterizada pela alternância de carbonatos e folhelhos, e apresenta uma variedade de estruturas sedimentares, incluindo marcas onduladas, laminação algálica e dobramentos penecontemporâneos resultantes de deslizamentos (Pinese, 2002).

#### 4.2.10 Formação Serra Alta

A Formação Serra Alta (Figura 5) de idade neo-permiana, apresenta afloramentos nos estados de Santa Catarina, Paraná e São Paulo. Sua espessura média é em torno de 100 metros, no entanto, nos estados de São Paulo e Paraná, geralmente não ultrapassa a metade desse valor (Pinese, 2002).

Conforme descrito por Petri e Fulfaro (1983), diversos autores atribuem à Serra Alta o status de formação. Sua litologia é composta por folhelhos pirobetuminosos no topo, seguidos por siltitos cinza-escuros com fratura concóide acima da formação. No entanto, Mendes (1967) observou que os siltitos cinza-escuros com fratura concóide são em sua maioria desprovidos de estratificação visível. Ocasionalmente, são encontrados nódulos de calcários cinzentos e eclipsoidais, com o eixo mais longo alinhado com os planos de estratificação. Restos de pelcípodas e peixes são encontrados na formação, embora tenham sido pouco estudados até o momento. Aparentemente, a Formação Serra Alta representa um ambiente de sedimentação marinha de águas pouco profundas, com acumulação ocorrendo abaixo do nível de ação das ondas (Pinese, 2002).

#### 4.2.11 Formação Teresina

A Formação Teresina (Figura 5) é essencialmente composta por ritmitos alternados de argilitos e folhelhos cinza-escuros, acompanhados por siltitos e arenitos muito finos. Na porção superior da formação, é possível encontrar calcários, ocasionalmente oolíticos, e leitos de coquina. Geralmente, os calcários apresentam silicificação (Petri; Fulfaro, 1983; Schneider *et al.*, 1974). Diversas estruturas sedimentares são observadas, incluindo laminações do tipo flaser, marcas de onda, microlaminações cruzadas, juntas de contração e diques de arenitos, frequentemente destacados na porção superior da unidade. Nas camadas calcárias, são encontradas estruturas oolíticas e estromatolíticas. A laminação plano-paralela é comum nos siltitos, arenitos e também nos calcários do pacote sedimentar (Pinese, 2002).

As relações de contato da Formação Teresina na base ocorrem de forma gradual ou interdigitada com a Formação Serra Alta. No topo da Formação Teresina, as relações de contato com a Formação Rio do Rasto são semelhantes à base, tornando difícil estabelecer os limites entre ambas as formações. As características

litológicas indicam uma bacia sob condições de águas rasas e agitadas, dominadas por marés (Pinese, 2002).

“A presença de calcários oolíticos e laminações algálicas sugere ambientes de inframaré, entremaré e até supramaré” (Pinese, 2002, p. 33). O conteúdo fossilífero é predominantemente constituído por restos de peixes, conchostráceos, ostracódios, plantas e palinórfos, indicando o Neopermiano como idade de deposição para a Formação Teresina (Mendes, 1967 *apud* Pinese, 2002).

#### 4.2.12 Formação Rio do Rastro

A Formação Rio do Rastro (Figura 5) de idade neo-permiano-triássica, é uma unidade geológica que aflora nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná. Apresenta uma espessura de até 400 metros nos afloramentos localizados na borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná. Esta formação é composta principalmente por arenitos, siltitos e, em menor proporção, argilitos. Os arenitos formam lentes relativamente curtas, geralmente com menos de 3 metros de espessura, podendo atingir até 10 metros. Nas áreas de afloramento, é comum observar predominância de cores vermelhas, embora também possam ocorrer tonalidades de chocolate, púrpura e verde. A estratificação é predominantemente horizontal, com ocorrência ocasional de estratificações cruzadas (Pinese, 2002).

Segundo Schneider *et al.* (1974), a Formação Rio do Rastro é subdividida em dois membros: Serrinha e Morro Pelado. O Membro Serrinha é composto por siltitos esverdeados a arroxeados, intercalados com argilitos, arenitos finos e, na base da formação, bancos carbonáticos, por vezes oolíticos, indicando deposição em ambiente de planície de maré. Por sua vez, o Membro Morro Pelado é constituído por argilitos e siltitos vermelhos, com intercalações de corpos lenticulares de arenitos finos situados na parte superior da formação.

#### 4.2.13 Formação Pirambóia

A Formação Pirambóia (Figura 5) de idade triássica, é uma unidade geológica presente nos estados de São Paulo e Paraná, com ocorrências notáveis nos municípios de Tamarana e São Jerônimo da Serra, alcançando uma espessura máxima de 270 metros (Pinese, 2002).

A litologia desta formação é caracterizada por uma sucessão de camadas arenosas, frequentemente de tonalidade avermelhada. Os arenitos, em geral, apresentam granulação média a fina, com uma maior proporção da fração argilosa na parte inferior em comparação com a parte superior da formação, onde localmente ocorrem arenitos grossos e conglomeráticos. A estratificação plano-paralela é predominante, destacando-se pela alternância de lâminas com diferentes teores de argila e silte, além de ocorrências de estratificação cruzada de média a grande dimensão, do tipo tangencial. Observam-se também marcas de onda ou corrente em certas áreas (Pinese, 2002).

Petri e Fulfaro (1983) relacionaram as variações litológicas observadas na Formação Pirambóia com as fácies predominantes de canal e transbordamento. Esta formação, em virtude de suas características litológicas e estruturais, é interpretada como resultado de uma deposição em ambiente continental, predominantemente fluvial em canais meandrantos e planícies de inundação, com a presença de pequenas lagoas esparsas.

#### 4.2.14 Formação Botucatu

A Formação Botucatu (Figura 5) de idade jurássico-cretácea, é uma unidade geológica presente nos estados de São Paulo e Paraná, com ocorrências nos municípios de Tamarana, Mauá da Serra e São Jerônimo da Serra (Pinese, 2002). O arenito da formação geralmente apresenta uma estrutura típica de dunas, onde predominam os arenitos finos, predominantemente compostos por quartzo, com coloração primária variando entre tons de laranja e rosa, alcançando cerca de 100 metros de espessura (Rocha, 2014).

Esta formação, conforme descrito por Petri e Fulfaro (1983), é predominantemente composta por arenitos de granulação fina a média, apresentando homogeneidade e uma boa seleção de grãos foscos com alta esfericidade. Estes arenitos exibem uma estratificação cruzada tangencial de médio a grande porte, característica de dunas migratórias. Em certas áreas, são encontrados arenitos depositados em ambiente subaquoso. Tais sequências hidroclásticas podem demonstrar ciclos com acamamento gradado, indicando episódios de invasão da área de dunas por correntes fluviais (Pinese, 2002).

A Formação Botucatu é representativa dos diversos subambientes de um grande deserto com crescente aridez, cuja existência persistiu até o início da atividade vulcânica basáltica. O empilhamento de grandes dunas em vastas áreas, formando ergs, foi a característica predominante deste deserto. Os sedimentos provenientes das regiões cristalinas periféricas e das áreas onde os sedimentos da bacia sedimentar estavam expostos eram transportados pela deflação e abrasão eólica. Pequenas e escassas lagoas periódicas acumulavam sedimentos clásticos finos. O vulcanismo basáltico iniciou sua atividade durante este período desértico (Petri; Fulfaro, 1983).

#### 4.2.15 Formação Chapecó

A Formação Chapecó, representado na Figura 5, consiste principalmente em rochas ácidas, variando de rioclitos a riolitos (Sanferari, 2019). Dentro da Formação Chapecó, são observados sedimentos intertrápicos, caracterizados por rochas ácidas com fenocristais de feldspatos imersos em uma matriz vítrea (Wildner, 2014).

#### 4.2.16 Membro Três Pinheiros

O Membro Três Pinheiros é caracterizado por derrames tabulares de Basalto Hipoalino, os quais apresentam entablamento em leque e em bloco. Esses derrames recobrem localmente os basaltos da Foz do Areia e Ivaiporã e intercalam-se com basaltos e brechas do Membro Cantagalo, presentes na Formação Barracão (Figura 5) (Flores, 2017).

#### 4.2.17 Grupo Serra Geral

O Grupo Serra Geral, representado na Figura 5, é integrante do Supergrupo São Bento, anteriormente identificado como Formação Serra Geral e Grupo São Bento, apresenta ocorrências nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais (Licht; Arioli, 2018; Pinese, 2002).

As rochas desse grupo originaram-se por derrames magmáticos ocorridos aproximadamente entre 115 e 135 milhões de anos atrás, associados à fragmentação da Gondwana (Baksi, 2018; Fraga, 1986). Estes derrames formaram platôs extensos

e dissecados por processos erosivos (Fraga, 1986; Piccirillo; Melfi, 1988). As espessuras máximas das rochas basálticas, no sentido SE – NW no estado do Paraná, estão entre 1.000 e 1.400 metros (Araújo; França; Potter, 1995; Maack, 2002).

Os basaltos do Grupo Serra Geral, predominantemente presentes na região em estudo, são geralmente fraturados e exibem características microcristalinas, maciças e vesiculares ou amigdaloidais, devido ao magmatismo fissural intenso. Estimam-se que os derrames basálticos afetaram uma vasta área no Brasil, correspondendo a 75% da Bacia Sedimentar do Paraná (Celligoi; Corcóvia; Pinese, 2019; Mineropar, 2001; Orlandi Filho; Krebs; Giffoni, 2009).

O Grupo Serra Geral delimita-se a leste no Paraná pela borda do Terceiro Planalto, representando cerca de 90.000 km<sup>2</sup> do território paranaense (Licht; Arioli, 2018). Durante a Era Mesozoica, processos tectono-magmáticos reativaram o Arco de Ponta Grossa, originando enxames de diques variados (Mineropar, 2001).

Licht e Arioli, (2018) propuseram uma subdivisão do Grupo Serra Geral em dois subgrupos distintos: o Subgrupo Serra Geral Sul e o Subgrupo Serra Geral Centro-Norte. O último é subdividido em duas formações geológicas principais: a Formação Paranapanema e a Formação Pitanga (Figura 5). Na região de estudo, na Formação Paranapanema, destaca-se o Membro Santa Amélia, enquanto na Formação Pitanga, observam-se os Membros Assaí e Salto do Apucarantina.

Segundo Wildner (2014), a Formação Paranapanema é caracterizada por basaltos microgranulares de cor cinza, com alterações nas faces de disjunção que assumem tonalidades avermelhadas a amarronadas. Além disso, apresenta horizontes vesiculares espessos preenchidos por minerais como quartzo (ametista), zeolitas, carbonatos, celadonita, cobre nativo e barita

#### 4.2.18 Depósito aluvionares

Os Depósitos Aluvionares, representados na Figura 5, são compostos por areias grossas a finas, cascalheiras e sedimentos siltico-argilosos. Esses materiais são encontrados predominantemente em calhas de rios e planícies de inundação (Wildner, 2014).

### 4.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Neste tópico explanou-se sobre os aspectos geomorfológicos da área de estudo. Os aspectos geomorfológicos descritos foram o Segundo e o Terceiro Planaltos paranaenses.

#### 4.3.1 Segundo Planalto

O segundo planalto, representado na Figura 6, também conhecido como Planalto de Ponta Grossa conforme Maack (2002), abrange geologicamente as calhas superior e média do rio Tibagi na bacia hidrográfica. Este planalto é caracterizado pela presença de toda a sequência de sedimentos paleozóicos/mesozóicos da Bacia Sedimentar do Paraná, desde os diamictitos do Grupo Rio Ivaí até os arenitos da Formação Botucatu.

Esse planalto é limitado a leste pela Escarpa Devoniana (1º Planalto Paranaense) e a oeste pela Serra Geral (3º Planalto Paraense) (Marques, 2005). “O segundo planalto limita-se com o terceiro planalto pela escarpa mesozoica, com os extensos e espessos derrames de trapp” (Maack, 2002, p. 419).

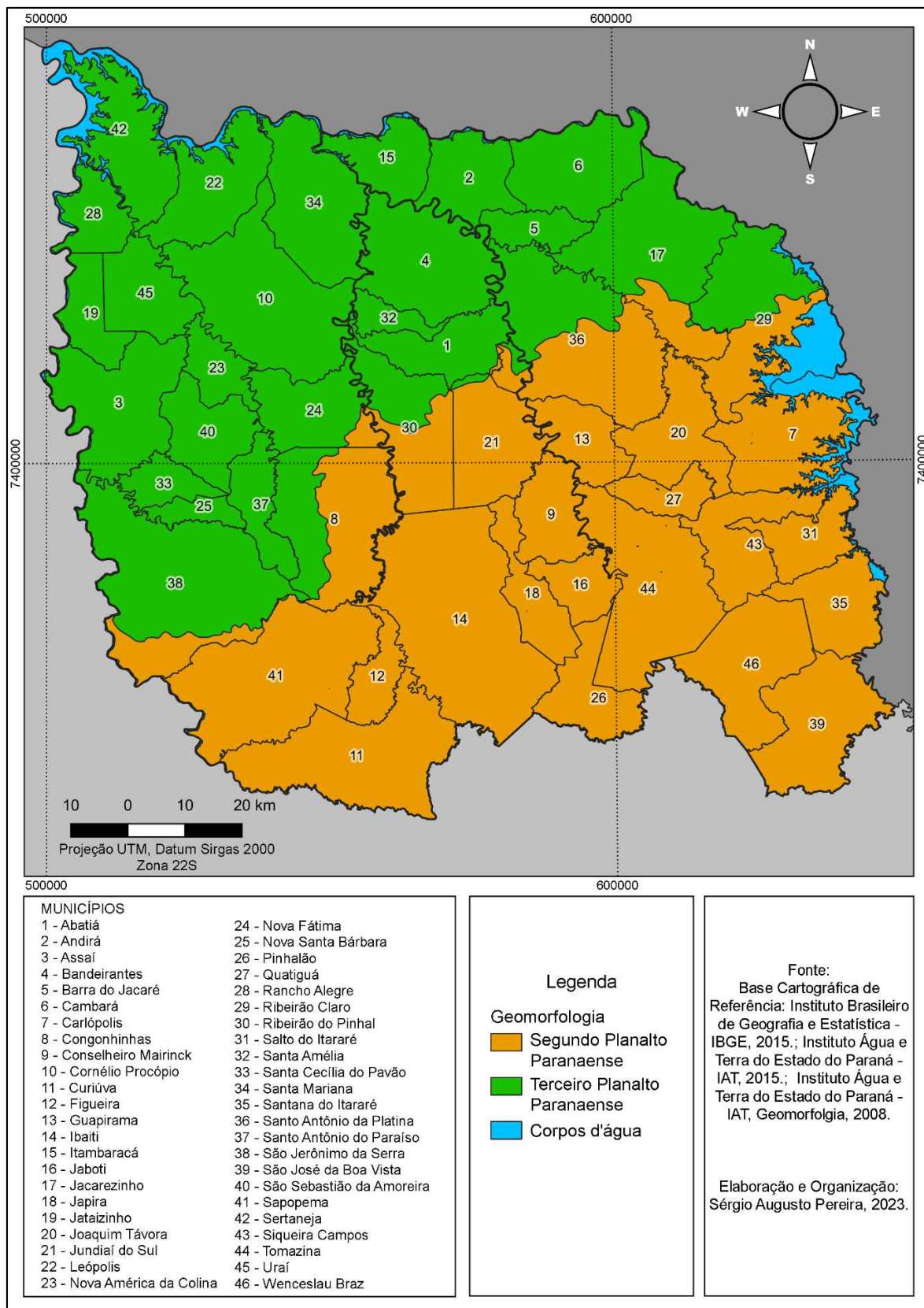
Jurandy Ross (1985) classificou, de acordo com a sua classificação do Relevo Brasileiro, o Segundo Planalto Paranaense como Depressão Periférica da Borda Leste da Bacia do Paraná.

#### 4.3.2 Terceiro Planalto

O terceiro planalto, representado na Figura 6, conhecido como Planalto de Guarapuava segundo Maack (2002), é geologicamente representado principalmente por derrames basálticos do Grupo Serra Geral e por bancos arenosos do Grupo Bauru.

É a maior das cinco regiões geomorfológicas do Paraná, delimitada pela Serra da Boa Esperança a leste e estendendo-se até o rio Paraná no sentido oeste. As rochas predominantes nessa região são basaltos e arenitos da Era Mesozoica, representando rochas vulcânicas e sedimentares, respectivamente (Scortegagna, 2005).

**Figura 6 - Geomorfologia do Norte Pioneiro do estado do Paraná.**



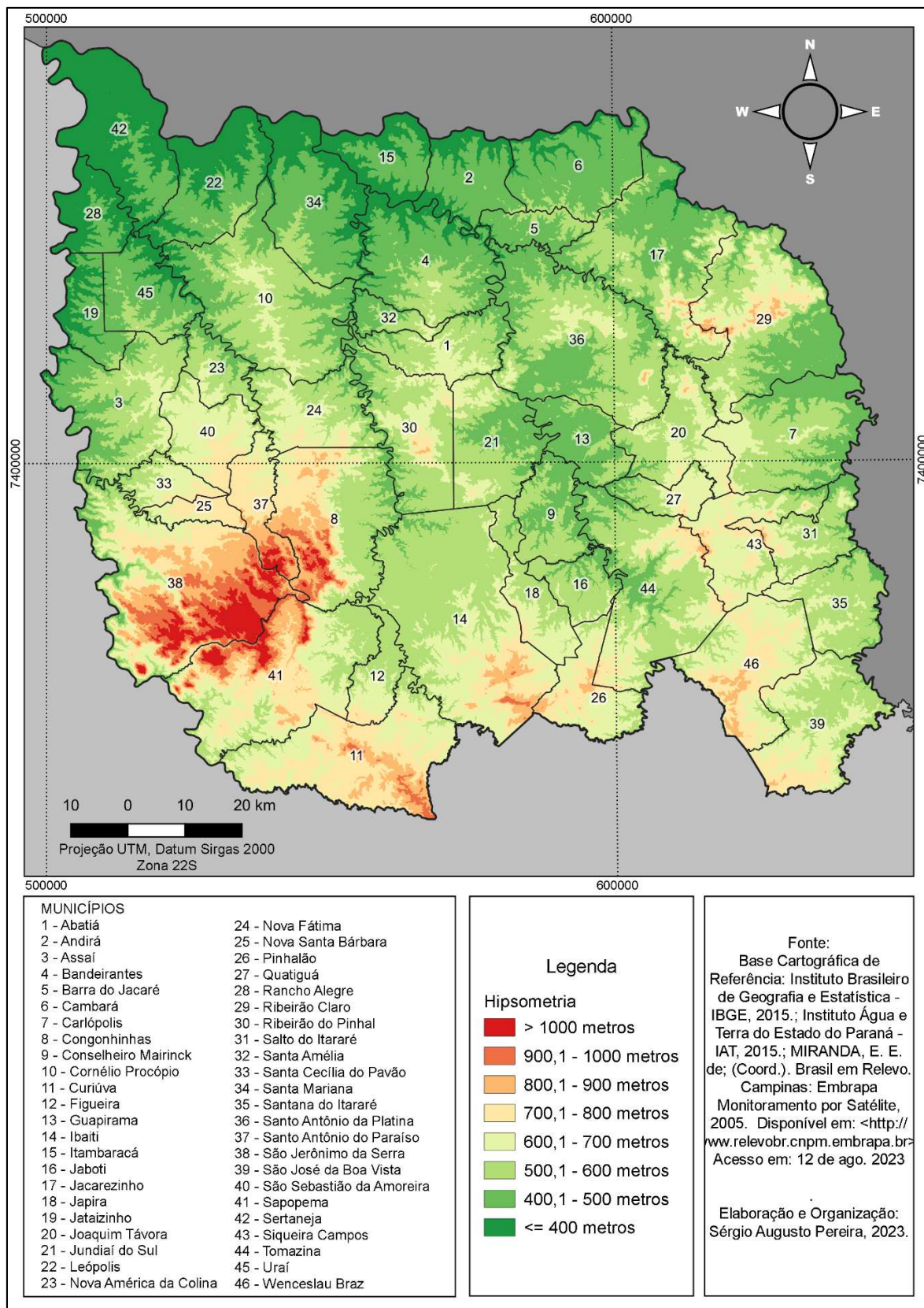
Maack (2002) observou que o Terceiro Planalto Paranaense se constitui do plano de declive formado pela reversão da escarpa Mesozoica. Esta escarpa é composta por estratos do Arenito Botucatu e por espessos derrames de lavas basálticas comprimidas, resultando em desníveis de 50 a 200 metros na parte frontal da escarpa.

Em relação aos solos, estes são consideravelmente mais férteis do que aqueles encontrados no primeiro e segundo planalto. Essa maior fertilidade está diretamente relacionada à litologia vulcânica predominante no terceiro planalto e ao tipo de clima presente na região, que favorece uma intensa atividade intemperística. Como resultado, os tipos de solo predominantes são os eutróficos, representados por Neossolos, Nitossolos (anteriormente conhecidos como terra roxa estruturada) e Latossolos Vermelhos (anteriormente denominados Latossolos Roxos) (Pinese, 2002).

A Figura 7 ilustra a distribuição altimétrica da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná, com foco nos municípios estudados. A maior parte da região apresenta altitudes variando entre 500 e 800 metros, conforme indicado pelas tonalidades que vão do verde claro ao amarelo no mapa. No entanto, alguns municípios, como Sertaneja, Leópolis, Rancho Alegre, Santa Mariana, Jataizinho, Itambaracá, Bandeirantes, Andirá e Cambará, possuem trechos territoriais com altitudes inferiores a 400 metros, representados por tonalidades de verde escuro.

Por outro lado, municípios como São Jerônimo da Serra, Santo Antônio do Paraíso, Congonhinhas, Sapopema, Curiúva, Ibaiti e Pinhalão apresentam trechos territoriais com altitudes variando de 800 a mais de 1.000 metros. Essas áreas são representadas no mapa por tonalidades que vão de laranja a vermelho, indicando altitudes mais elevadas. Essa variação altimétrica na região contribui para a diversidade de paisagens e características geográficas observadas em cada município, influenciando diretamente em aspectos como clima, vegetação e uso da terra.

Figura 7 - Hipsometria do Norte Pioneiro do estado do Paraná.



#### 4.4 ASPECTOS PEDOLÓGICOS

No recorte da área de estudo, há a presença de seis classes de solos, segundo os dados coletados do Instituto de Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, bem como sua base cartográfica de 2008. As classes de solos presentes são: Argissolo, Cambissolo, Gleissolo, Latossolo, Neossolo e Nitossolo (Figura 8). A classificação foi elaborada pela Embrapa e Emater no ano de 1999.

##### 4.4.1 Argissolo

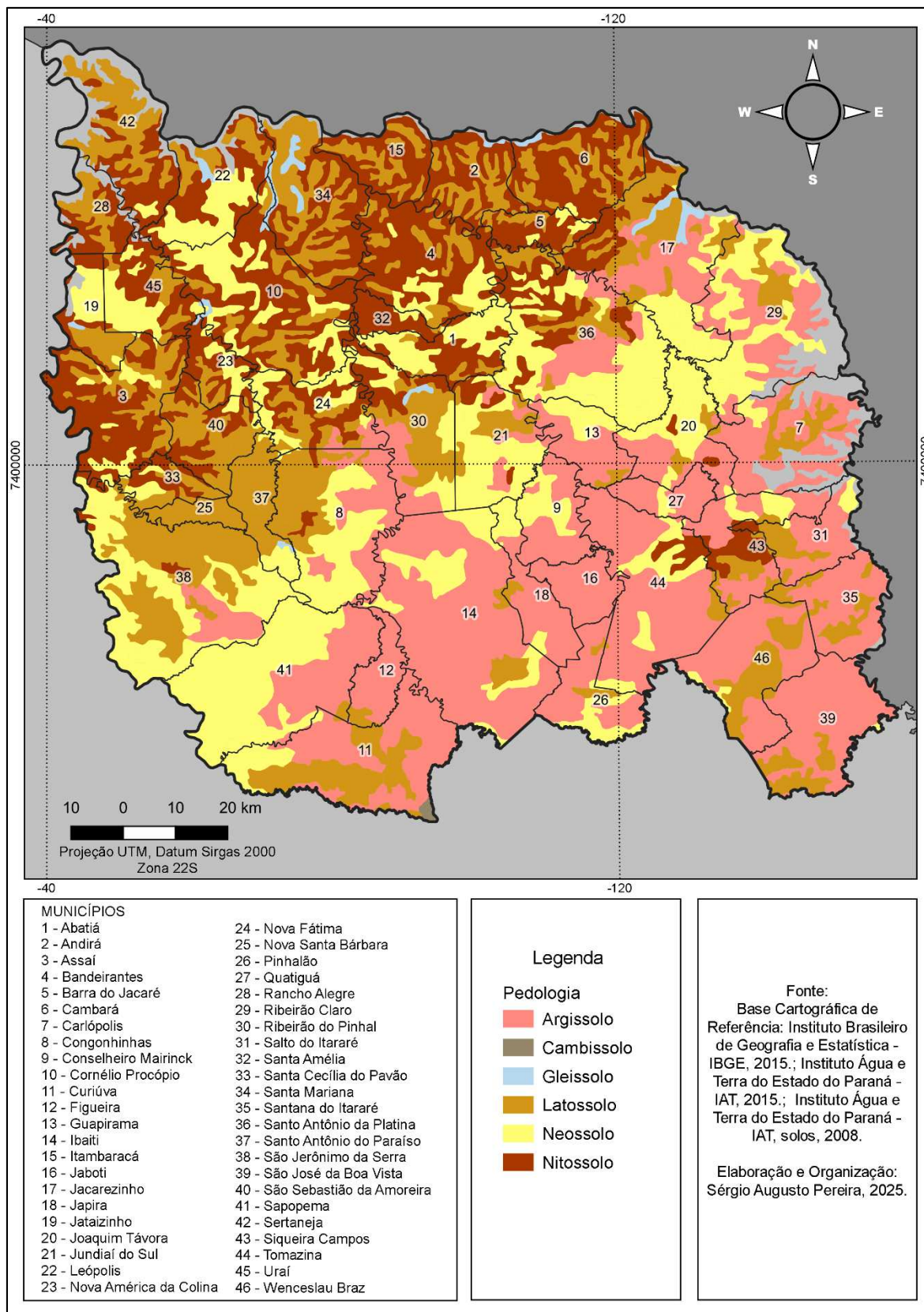
Os Argissolos, cujo nome deriva do latim "argilla", destacam-se por apresentarem um horizonte B textural distintivo. Nestes solos, é notável um aumento da concentração de argila dos horizontes superficiais A e E para o horizonte subsuperficial B, denominado de tipo textural (Bt). Essa transição é comumente acompanhada por uma diferenciação nítida de cores e outras características. Enquanto as cores do horizonte Bt variam de tons acinzentados a avermelhados, as do horizonte A são geralmente mais escuras e do E mais claras (IBGE, 2015).

De acordo com Oliveira (2011), os Argissolos costumam ter uma textura arenosa ou média no horizonte A, o que torna o solo mais apropriado para o cultivo. No entanto, quando o horizonte A possui uma textura mais argilosa, especialmente em solos com argila de alta atividade, que apresentam maior adesão, pegajosidade, coesão e plasticidade, o preparo do solo para o plantio se torna mais difícil.

Quanto à profundidade, os Argissolos podem variar de pouco profundos a profundos, dependendo das condições locais. Ao lado dos Latossolos, os Argissolos são os solos mais predominantes no Brasil, encontrando-se em praticamente todas as regiões do país. Os Argissolos são classificados em cinco tipos: Argissolos Bruno-Acinzentados, Argissolos Acinzentados, Argissolos Amarelos, Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos (IBGE, 2015).

Na área de estudo dessa pesquisa, esses solos são encontrados nas áreas dos municípios de Ribeirão do Pinhal, Nova Fátima, Congonhinhas, São Jerônimo da Serra, Jundiá do Sul, Santo Antônio da Platina, Jaboti, Ribeirão Claro, Carlópolis, Joaquim Távora, Guapirama, Conselheiro Mairinck, Quatiguá, Salto do Itararé, Siqueira Campos, Santana do Itararé, São José da Boa Vista, Wenceslau Braz, Tomazina, Pinhalão, Japira, Ibaíti, Figueira, Curiúva, Sapopema e Jacarezinho.

**Figura 8 - Pedologia do Norte Pioneiro do estado do Paraná.**



#### 4.4.2 Cambissolo

Os Cambissolos, cujo termo deriva do latim "cambiare", relacionado à ideia de troca ou transformação, são solos caracterizados pela presença de um horizonte B incipiente e C pronunciado. Dentre os tipos de Cambissolos, destacam-se os Cambissolos Húmicos (Cambissolos com horizonte A húmico), os Cambissolos Flúvicos (originados de sedimentos aluviais) e os Cambissolos Háplicos (englobando os demais Cambissolos, excluindo os com horizonte A chernozêmico, eutrófico e argila de atividade alta) (IBGE, 2015).

Esses solos apresentam uma grande variação em relação à profundidade, podendo ser encontrados desde exemplares rasos até solos profundos. Além disso, possuem uma ampla variabilidade em outras características, como drenagem, que pode variar de acentuada a imperfeita. Os Cambissolos podem exibir qualquer tipo de horizonte A sobre um horizonte B incipiente (Bi), com cores diversas. Frequentemente, esses solos são pedregosos, cascalhentos ou até mesmo rochosos (IBGE, 2015).

Dispersos em todo o território brasileiro, os Cambissolos têm uma preferência por regiões serranas ou montanhosas. Nas áreas de relevo suave, onde a mecanização é possível e não há presença de cascalhos ou pedregulhos, esses solos são particularmente proeminentes na porção sudeste do Estado de Mato Grosso, especificamente na Depressão de Paranatinga (IBGE, 2015). Na área de estudo, esse solo se encontra no município de Curiúva.

#### 4.4.3 Gleissolo

Os Gleissolos (Figura 8), derivados do termo russo "gley", que remete a uma massa de solo pastosa, são solos caracterizados pela presença de um horizonte glei. Dentro dessa classificação, destacam-se os Gleissolos Tiomórficos, Gleissolos Sállicos, Gleissolos Melânicos e Gleissolos Hápllicos (IBGE, 2015).

Os Gleissolos são característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento, como margens de rios, ilhas e grandes planícies, frequentemente devido ao aumento do lençol freático próximo à superfície durante certos meses do ano. Esse aumento faz com que os poros fiquem saturados com água por períodos prolongados. Com a presença de matéria orgânica, ocorre uma diminuição no oxigênio dissolvido, resultando em processos de redução química que dissolvem os óxidos de ferro e os

removem parcialmente. Esse processo leva ao surgimento de cores acinzentadas no horizonte subsuperficial (Lepsch, 2002).

Esses solos apresentam cores que variam de acinzentadas a azuladas ou esverdeadas, principalmente dentro dos primeiros 50 cm da superfície. Quanto à fertilidade, podem ser de alta ou baixa fertilidade natural, sendo que sua principal limitação de uso está relacionada às condições de drenagem inadequadas. Os Gleissolos estão distribuídos por praticamente todas as regiões brasileiras, comumente ocupando as planícies de inundação de rios e córregos (IBGE, 2015). No recorte espacial desta pesquisa, esses solos são encontrados nos municípios de Ribeirão do Pinhal, Congonhinhas, Santo Antônio do Paraíso, Jataizinho, Nova América da Colina, Cornélio Procópio, Santa Mariana, Leopólis e Jacarezinho.

#### 4.4.4 Latossolo

Os Latossolos (Figura 8), do latim “lat”, referem-se a material altamente alterado, são solos caracterizados por sua grande intemperização, profundidade e boa drenagem. Apresentam uma homogeneidade de características ao longo do perfil, com mineralogia da fração argila predominantemente caulinítica ou caulinítica-oxídica, o que se reflete em valores de relação Ki baixos, inferiores a 2,2, e praticamente ausência de minerais primários de fácil intemperização (IBGE, 2015).

A textura dos Latossolos é uniforme. Esses solos apresentam uma boa drenagem devido à sua estrutura, composta por agregados pequenos e arredondados que criam uma grande quantidade de macroporos, facilitando a permeabilidade da água. Assim, a textura dos Latossolos é tipicamente média ou argilosa. Portanto, não se classificam como Latossolos aqueles solos que contêm altas concentrações de areia (acima de 85%) e silte (Lepsch, 2002). Esse tipo de solos são os Neossolos Quartzarênicos.

Distribuídos por vastas áreas do Território Nacional, os Latossolos ocorrem em praticamente todas as regiões do Brasil. Diferenciam-se principalmente pela coloração e teores de óxidos de ferro, o que resultou em sua separação em quatro classes distintas ao nível de subordem no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (1999) (IBGE, 2015).

Dentro dessa classificação, destacam-se os Latossolos Brunos, que são em geral profundos, com horizonte superficial (A) escurecido e o subsuperficial (B) em

tons brunados; os Latossolos Amarelos, profundos e de coloração amarelada, com perfis homogêneos, boa drenagem e baixa fertilidade natural em sua maioria; os Latossolos Vermelhos, que apresentam grande homogeneidade de características ao longo do perfil, são bem drenados e de coloração vermelho-escuro, geralmente bruno-avermelhado-escuro; e os Latossolos Vermelho-Amarelos, solos vermelhos, geralmente com grande profundidade, homogêneos, de boa drenagem e quase sempre com baixa fertilidade natural (IBGE, 2015).

#### 4.4.5 Neossolo

Os Neossolos (Figura 8), do grego "néos", que significa novo ou moderno, são solos caracterizados por apresentarem material mineral ou material orgânico pouco espesso, com menos de 30 cm de espessura, sem qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Para serem classificados como Neossolos, esses solos devem satisfazer uma série de requisitos específicos (IBGE, 20015).

Entre os horizontes A e R, pode haver um horizonte C com espessura de apenas alguns centímetros. Esses solos são frequentemente encontrados em rampas muito inclinadas, em relevo montanhoso e nas proximidades de afloramentos rochosos (Lepsch, 2002).

É importante ressaltar que os solos não devem possuir horizonte glei, a menos que sejam solos com textura predominantemente arenosa, situados a menos de 50 cm da superfície do solo, ou entre 50 cm e 120 cm de profundidade, desde que os horizontes superiores apresentem manchas de redução em abundância. Adicionalmente, não devem conter horizonte vértico imediatamente abaixo do horizonte A, nem horizonte plúntico a uma profundidade inferior a 40 cm, ou a uma profundidade inferior a 200 cm da superfície se estiverem imediatamente abaixo dos horizontes A, E ou se precedidos por horizontes de coloração pálida, variegada ou com manchas em abundância e cores específicas (IBGE, 2015).

Os Neossolos podem ser classificados em várias categorias, incluindo os Neossolos Litólicos, que são solos rasos; os Neossolos Quartzarênicos, que são profundos e arenosos; os Neossolos Regolíticos, que são profundos e arenosos com presença considerável de minerais primários de fácil intemperização; e os Neossolos Flúvicos, que são constituídos por sucessão de camadas de natureza aluvionar, sem relação pedogenética entre si (IBGE, 2015).

Esses solos são encontrados em praticamente todas as regiões do Brasil, embora não constituam uma representatividade espacial expressiva. Eles ocorrem de forma dispersa em ambientes específicos, como planícies à margem de rios e córregos, além de relevos muito acidentados de morrarias e serras. Os Neossolos Quartzarênicos são especialmente expressivos na região litorânea e em alguns estados do Nordeste, enquanto os Neossolos Regolíticos são encontrados principalmente na região serrana do Sudeste e em zonas do semiárido Nordestino e do Mato Grosso do Sul (IBGE, 2015).

#### 4.4.6 Nitossolo

Os Nitossolos (Figura 8), derivados do latim "nitidus", que denota brilhante, são solos recentemente categorizados, caracterizados pela presença distintiva de um horizonte B nítico. Este horizonte, localizado na subsuperfície do solo, apresenta um desenvolvimento estrutural moderado a forte, manifestado em prismas ou blocos, com uma superfície de agregados brilhantes, associada a uma textura argilosa ou muito argilosa. A diferença textural entre os horizontes é inexpressiva. Em geral, esses solos são moderadamente ácidos a ácidos, com saturação por bases variando de baixa a alta (IBGE, 2015).

Os Nitossolos são classificados em diferentes tipos, incluindo os Nitossolos Bruno, os Nitossolos Vermelhos e os Nitossolos Háplicos. Os Nitossolos Vermelhos são amplamente distribuídos por todo o país, sendo particularmente comuns em terras da bacia platina, estendendo-se do Rio Grande do Sul até Goiás (região sudoeste), além de áreas no norte de Goiás, norte do Tocantins, sul do Maranhão e algumas ocorrências no Mato Grosso e Pará. Já os Nitossolos Bruno, como as Terras Brunas Estruturadas e Similares, têm ocorrência mais restrita, sendo encontrados principalmente nas regiões altas do sul do país, com pequenas áreas também na região de Poços de Caldas, em Minas Gerais. Esses solos refletem uma composição caulínica-oxídica, em sua maioria com argila de atividade baixa ou alta, associada a um caráter alumínico (IBGE, 2015).

Na área de estudo, esse tipo de solo ocorre nos municípios de Abatiá, Andirá, Assaí, Bandeirantes, Barra do Jacaré, Cambará, Congonhinhas, Cornélio Procópio, Itambaracá, Jacarezinho, Jataizinho, Joaquim Távora, Jundiá do Sul, Leópolis, Nova América da Colina, Nova Fátima, Nova Santa Bárbara, Rancho Alegre, Ribeirão do

Pinhal, Salto do Itararé, Santa Amélia, Santa Cecília do Pavão, Santa Mariana, Santo Antônio da Platina, São Jerônimo da Serra, São Sebastião da Amoreira, Sertaneja, Siqueira Campos, Tomazina e Uraí.

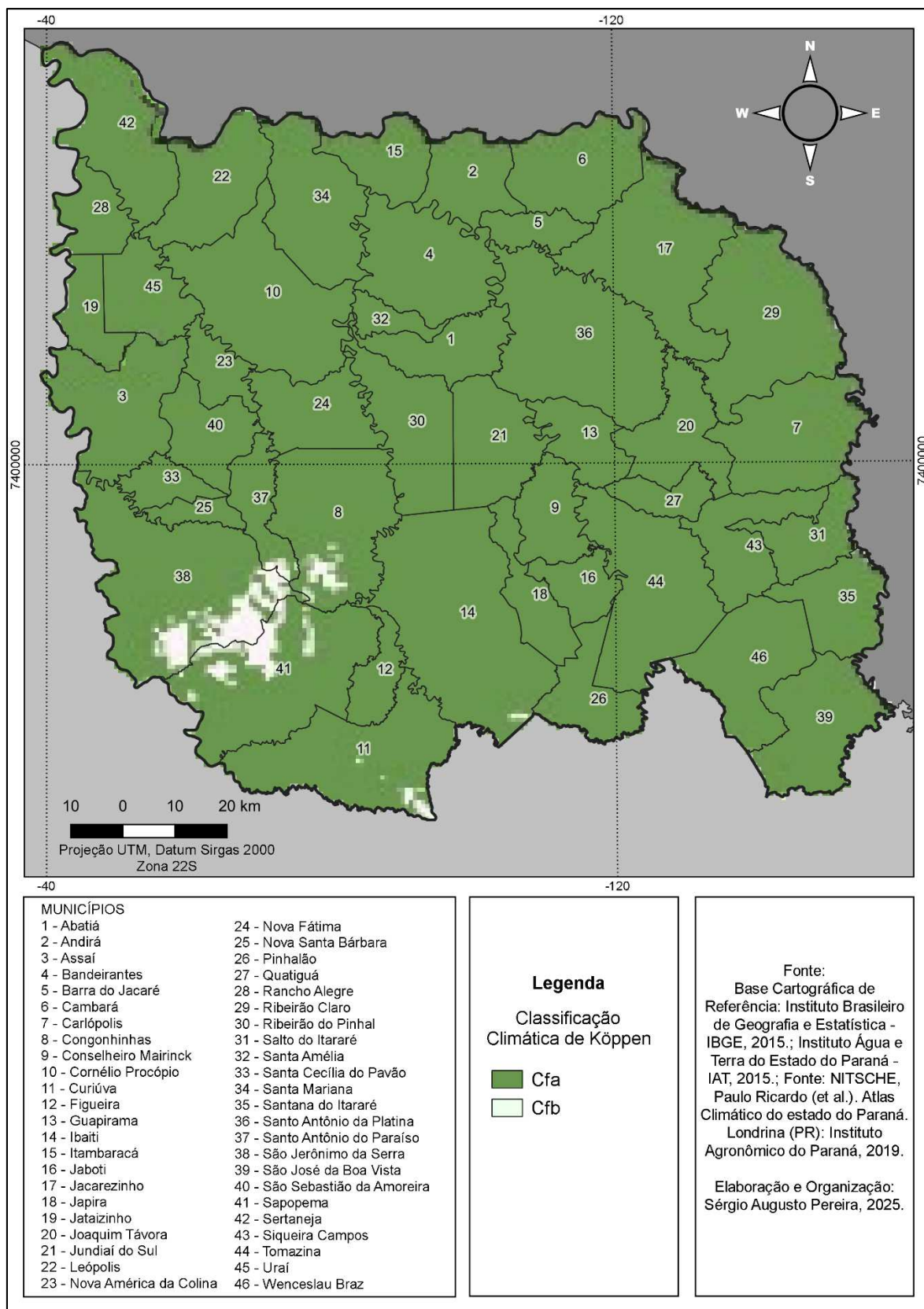
#### 4.5 ASPECTOS CLIMÁTICOS

Para a análise climática da região em estudo, adotou-se o modelo climático proposto por Köppen, sendo um dos sistemas mais utilizados na ciência da geografia, climatologia e ecologia. Segundo Medeiros *et al.* (2018) a Classificação Climática de Köppen se fundamenta na análise dos padrões de chuva e temperatura para categorizar os diferentes tipos de clima. Essa abordagem oferece uma estrutura metodológica para classificar os climas com base na distribuição sazonal das precipitações e nas variações térmicas.

Ao analisar o clima da área de estudo, observa-se que é predominantemente classificado como clima temperado chuvoso e moderadamente quente, representado pela letra C. As subdivisões específicas encontradas foram Cfa e Cfb, cada uma caracterizada por diferentes padrões de precipitação e temperatura ao longo do ano, conforme definido por Köppen (Maack, 2002) (Figura 9).

Na classificação de Köppen, o clima Cfa (clima temperado úmido com verão quente), representado na Figura 9, é classificado como subtropical, apresentando características mesotérmicas. Isso significa que sua temperatura média no mês mais frio é inferior a 18 °C, enquanto no mês mais quente, a média é superior a 22 °C. Esse tipo de clima é marcado por verões quentes, com temperaturas elevadas, e geadas são pouco frequentes. Uma característica distintiva do clima Cfa é a tendência de concentração das chuvas nos meses de verão. No entanto, não há uma estação seca claramente definida. Essa distribuição das chuvas ao longo do ano contribui para manter uma relativa umidade durante todo o período, sem períodos prolongados de seca (Caviglione *et al.*, 2000; De França, 2002; EMBRAPA-IAPAR, 1984).

**Figura 9 - Mapa Climático do Norte Pioneiro do estado do Paraná - Classificação Climática de Köppen.**



O clima Cfb (clima temperado úmido com verão moderadamente quente) (Figura 9) é classificado como temperado propriamente dito. Nesse tipo de clima, a temperatura média no mês mais frio é inferior a 18 °C, indicando uma característica mesotérmica. Em contraste, os verões são frescos, com temperaturas moderadas. Esse tipo de clima geralmente é associado a uma faixa de temperatura mais moderada ao longo do ano, com variações sazonais menos extremas do que em climas mais quentes ou mais frios (Caviglione *et al.*, 2000; De França, 2002).

#### 4.6 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

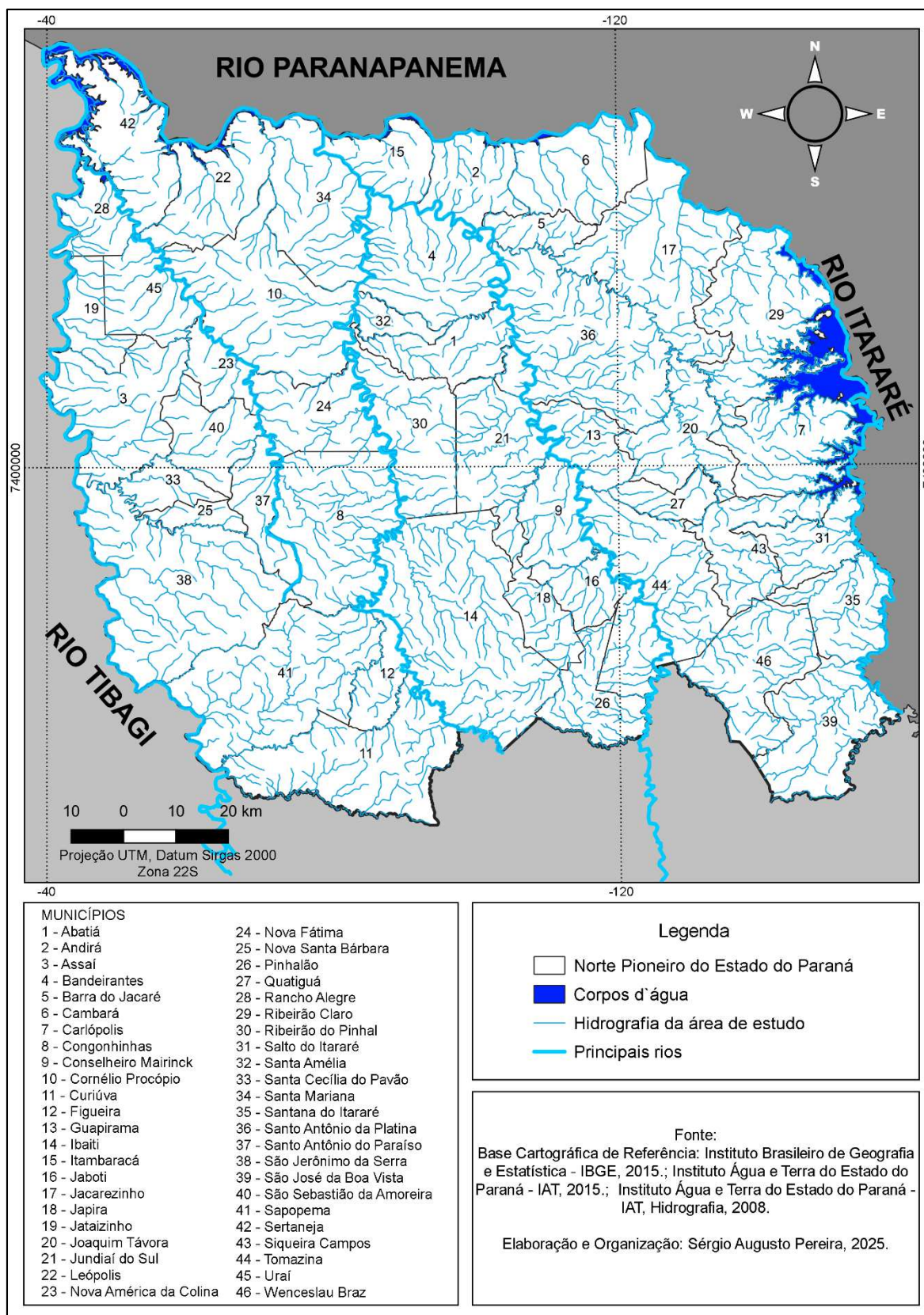
Os aspectos hidrológicos, em conjunto com a geologia, foram determinantes na delimitação espacial desta pesquisa. Desse modo, os rios que delimitam os limites geográficos para o estudo são: o rio Paranapanema ao norte, o rio Tibagi a oeste e o rio Itararé a leste (Figura 10). Esses cursos d'água desempenham um papel crucial na definição da área de estudo e na compreensão dos processos físico-naturais na região em questão.

##### 4.6.1 Rio Paranapanema

O rio Paranapanema, um dos principais cursos d'água da região sul do Brasil, estende-se por aproximadamente 900 quilômetros desde suas nascentes na Serra de Agudos Grandes até sua confluência com o rio Paraná. Esta bacia hidrográfica, situada nos estados de São Paulo e Paraná, abrange uma vasta área de 105.921 km<sup>2</sup>, compreendendo 247 municípios. Do total da área, 51% pertence ao estado do Paraná e os restantes 49% estão localizados em São Paulo (CBH PARANAPANEMA, 2019).

A população residente na Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema perfaz um total de mais de 4.680.000 habitantes. A maior parte dessa população, cerca de 87,5%, reside em áreas urbanas, enquanto os 12,5% restantes habitam áreas rurais. Do contingente populacional, 62,9% estão no Paraná e 37,1% em São Paulo (CBH PARANAPANEMA, 2019).

Figura 10 - Hidrografia do Norte Pioneiro do estado do Paraná.



Ao longo de seus 392 quilômetros, o rio Paranapanema, juntamente com seus afluentes, banha principalmente o estado do Paraná. A área abrangida por esses cursos d'água totaliza aproximadamente 55.530 km<sup>2</sup>. A margem sul do rio é especialmente marcada pela presença de importantes afluentes, como os rios Tibagi e das Cinzas (Marques, 2005).

A geologia da bacia do rio Paranapanema apresenta uma diversidade de rochas, desde sedimentos recentes até sequências Paleozóicas. Na porção leste da bacia, onde estão localizadas as nascentes dos rios Paranapanema e Itapetininga, é possível encontrar rochas do Pré-Cambriano, integrantes do Escudo Cristalino da Plataforma Sul-Americana. Destacam-se também os sedimentos Epimetamórficos do Grupo Açungui, além das formações do Planalto Atlântico. A maioria das unidades geológicas está situada na bacia sedimentar do Paraná, formada desde o Devoniano Inferior. Entre os principais afloramentos geológicos estão os derrames basálticos do Grupo Serra Geral e as rochas areníticas (Rocha; De Araújo, 2011).

O clima na bacia do rio Paranapanema é classificado como transicional, influenciado por diversos sistemas atmosféricos e pela localização latitudinal. Na margem paranaense, os verões são caracterizados por temperaturas moderadas e precipitação bem distribuída ao longo do ano, típicas de um clima mesotérmico. A influência dos sistemas polares contribui para essa variabilidade climática na região (Rocha; De Araújo, 2011).

#### 4.6.2 Rio Itararé

A bacia hidrográfica do rio Itararé abrange uma extensão total de 5.007,28 km<sup>2</sup>, caracterizando-se como uma região de grande importância em termos de recursos hídricos. O curso principal do rio Itararé flui de sul a norte, com o rio Jaguariaíva figurando como seu principal afluente. Esta bacia compreende uma diversidade de aquíferos, distribuídos ao longo de sua extensão. Na porção norte da bacia, encontram-se os aquíferos Guarani, Paleozóico Superior, Médio e Inferior, enquanto ao sul predominam os aquíferos Karst e Pré-Cambriano (IAT, 2020).

Entre os principais afluentes e rios contribuintes da bacia do rio Itararé, destacam-se o próprio rio Itararé, além do rio Jaguariaíva, Jaguaricatu, da Fatura, Claro, da Pescaria, Barra Mansa, das Mortes, da Barra, Cajuru, da Grama, Corredeira,

Figueira e Tucunduva (IPARDES, 2006). O rio Itararé serve como divisa entre os estados do Paraná e São Paulo (IAT, 2020).

#### 4.6.3 Rio Tibagi

O rio Tibagi é o principal afluente do rio Paranapanema e abrange cerca de 550 quilômetros desde suas nascentes até sua confluência, a uma altitude de 298 metros acima do nível do mar. A elevação total do rio Tibagi ao longo de seu curso é de 792 metros em 531 quilômetros (Maack, 2002).

A bacia hidrográfica do rio Tibagi abrange uma área aproximada de 24.712 Km<sup>2</sup> e está situada na porção oriental do estado do Paraná, seguindo uma direção sul-norte. Sua nascente localiza-se na região de Ponta Grossa, no Paraná, de onde atravessa o estado em direção ao norte até atingir sua confluência com o rio Paranapanema, marcando a divisa entre os estados de São Paulo e Paraná (Pinese, 2002).

Na região sul do estado do Paraná, Brasil, tem sua origem a uma altitude de 1.060 metros, percorrendo uma extensão de 550 quilômetros em direção norte, e desemboca no lago formado pela barragem da usina hidrelétrica da represa Capivara, no rio Paranapanema, atingindo uma altitude de 298 metros. Grande parte de seu percurso é caracterizada por um encaixe significativo em seu leito, demonstrando uma geomorfologia profundamente incisa (Medri *et al.*, 2002).

A sua bacia hidrográfica é formada por um total de 65 afluentes diretos e uma infinidade de subafluentes (Medri *et al.*, 2002). Seus principais afluentes e rios contribuintes são: Taquara, Apertados, Três Bocas, Iapó, São Jerônimo, Jacutinga, Congonhas, das Antas, Pitangüi, Conceição, Couro de Boi, das Abóboras, Barra Funda, Rosário, Pinhalzinho, do Areião, Marrecas Grande, Imbauzinho, Santa Rosa, Palmito, da Cotia, São Francisco, Sabão, do Quati, Lajeadozinho, Alegre, das Laranjeiras, Quebra Perna, Pinheiro Seco e Lambari (IPARDES, 2006). Marques (2005) acrescentou que o rio Tibagi, além de sua relevância como afluente, apresenta 68 corredeiras após a cidade de Tibagi, sendo o rio Iapó seu principal afluente, notável pelo percurso pelo Cânion Guartelá, um importante atrativo turístico entre os municípios de Castro e Tibagi.

A área de drenagem do rio Tibagi compreende aproximadamente 25.000 Km<sup>2</sup>, o que equivale a cerca de 13% da área total do estado do Paraná. Cinquenta e quatro

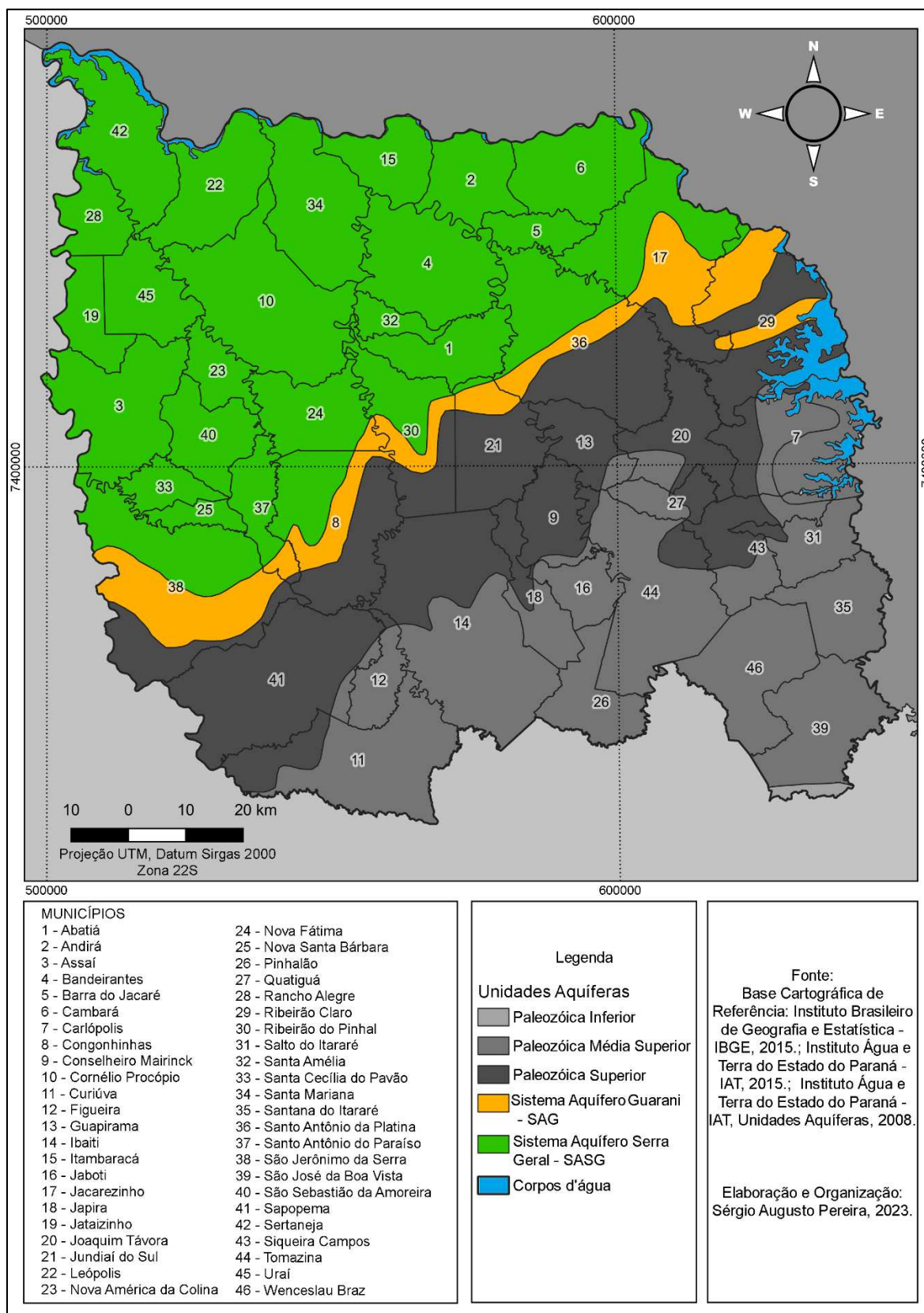
municípios contribuem para o seu fluxo, sendo que 15 deles estão completamente contidos dentro da bacia. A região ao redor do rio apresenta uma paisagem diversificada, refletindo uma ampla gama de ambientes que são influenciados por um gradiente de condições climáticas ao longo de um eixo sul-norte. Como resultado, é possível distinguir três regiões distintas ao longo do curso do rio: alto, médio e baixo Tibagi (Medri *et al.*, 2002).

#### 4.6.4 Sistema Aquífero Paleozoico Inferior

O Sistema Aquífero Paleozoico Inferior, representado na Figura 11, no Estado do Paraná, abrange uma superfície de 7.000,34 km<sup>2</sup> no Segundo Planalto Paranaense, estendendo-se desde Campo Largo-Porto Amazonas até o rio Itararé. A Formação Furnas, com aproximadamente 300 metros de espessura, é composta principalmente por arenitos de granulação média a grosseira e matriz caulínica. Além disso, são encontrados secundariamente arenitos conglomeráticos, arenitos finos e síltico-argilosos (Schneider *et al.*, 1974). A permeabilidade desses arenitos é limitada devido à sua consolidação, sendo que a ocorrência de água subterrânea está mais associada às estruturas tectônicas do que à porosidade primária. Na região, o índice de precipitação atinge aproximadamente 1.300 mm/ano, contribuindo para uma vazão média dos poços de cerca de 11,2 m<sup>3</sup>/h (IAT, 2010).

Por sua vez, a Formação Ponta Grossa não constitui um aquífero devido às características das rochas predominantes, que são principalmente folhelhos com baixa condutividade hidráulica. Essas rochas ocorrem de forma interdigitada com os arenitos do aquífero Furnas e, frequentemente, funcionam como camadas confinantes desse aquífero. A área de ocorrência da Formação Ponta Grossa praticamente se sobrepõe às áreas de ocorrência do aquífero Furnas. A vazão média dos poços nessa unidade aquífera é de aproximadamente 4,2 m<sup>3</sup>/h (IAT, 2010).

**Figura 11 - Unidades Aquíferas do Norte Pioneiro do estado do Paraná.**



#### 4.6.5 Sistema Aquífero Paleozoico Médio Superior

O Sistema Aquífero Paleozoico Médio Superior (Figura 11) compreende os aquíferos Rio Bonito e Itararé, situados no Segundo Planalto Paranaense, abrangendo uma área de aproximadamente 19.533,30 km<sup>2</sup>, com índice pluviométrico variando entre 1.300 e 1.400 mm/ano. O aquífero é principalmente constituído pelas litologias presentes no aquífero Itararé, caracterizadas por camadas de arenitos intercaladas com diamictitos, argilitos e folhelhos várvidos. A espessura média do pacote sedimentar é de cerca de 800 metros, enquanto a das camadas aquíferas varia entre 5 e 20 metros. Uma característica notável deste aquífero é a variação lateral tanto dos arenitos quanto dos sedimentos pelíticos. A vazão média dos poços nesta unidade é de 9,6 m<sup>3</sup>/h (IAT, 2010).

Por sua vez, o aquífero Rio Bonito é composto por arenitos de granulação fina a média, ocasionalmente conglomeráticos, que se alternam com folhelhos, siltitos, argilitos e leitos de carvão. A espessura total dos sedimentos atinge 140 metros. Na região de ocorrência dessas rochas, que se distribuem igualmente no Segundo Planalto Paranaense, o índice pluviométrico atinge 1.400 mm/ano. A vazão média dos poços varia em torno de 17,5 m<sup>3</sup>/h. Vale ressaltar que em poços perfurados pela SANEPAR (Ivaí, Siqueira Campos, Prudentópolis), apresenta águas com temperaturas variando entre 25 °C e 36 °C, sendo que a temperatura mais alta registrada foi em um poço com profundidade de 765 metros (IAT, 2010).

#### 4.6.6 Sistema Aquífero Paleozoico Superior

As unidades geológicas representadas pelas formações Irati, Serra Alta, Palermo, Terezina e Rio do Rasto, que pertencem ao Sistema Aquífero Paleozoico Superior (Figura 11), não são classificadas como aquíferos, mas estão presentes no Segundo Planalto do Paraná. A área abrangida por essa unidade aquífera é de aproximadamente 17.117,06 km<sup>2</sup>. As vazões médias dos aquíferos que compõem a Unidade Aquífera Paleozoica Superior são as seguintes: Irati (4,6 m<sup>3</sup>/h), Serra Alta (5,4 m<sup>3</sup>/h), Terezina (6,8 m<sup>3</sup>/h), Palermo (4,1 m<sup>3</sup>/h) e Rio do Rasto (6,4 m<sup>3</sup>/h) (IAT, 2010).

De acordo com o Instituto Águas e Terra do Paraná - IAT (2010), pode-se classificar as águas subterrâneas dessa Unidade Aquífera, de acordo com análises

físico-químicas, como sendo Bicarbonatada-Sódicas, apresentando média de Sólidos Totais Dissolvidos de 243 ppm (mg/L).

#### 4.6.7 Sistema Aquífero Guarani (SAG)

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) (Figura 11) é composto por formações geológicas onde predominam estratos eólicos e flúvio-lacustres situados abaixo dos basaltos do Grupo Serra Geral. Classificado como um aquífero poroso, apresenta um potencial hidrogeológico de 12,4 L/s.km<sup>2</sup> e uma área de afloramento de 103.930,92 km<sup>2</sup>, correspondendo a 1,0% da área total do Estado. Sua disponibilidade hídrica no Estado é estimada em 1.288.743,66 L/s e 4.639.477,16 m<sup>3</sup>/dia. A vazão outorgável é de 10,00%, equivalente a 8.351.058,89 m<sup>3</sup>/dia (IAT, 2010).

No contexto do estado do Paraná, a maior porção do aquífero encontra-se confinada e distribuída em uma área de aproximadamente 103.930,92 km<sup>2</sup>, abrangendo todo o Terceiro Planalto Paranaense. As vazões médias observadas nos poços perfurados dentro dessa unidade aquífera situam-se em torno de 74,2 m<sup>3</sup>/h (Araújo; França; Potter, 1995; IAT, 2010). Ocorre nas bacias hidrográficas dos rios Cinzas, Iguaçu, Ivaí, Paranapanema 1, Paraná 3, Piquiri e Tibagi (IAT, 2010).

As áreas de descarga do SAG estão associadas às principais drenagens da região do Terceiro Planalto do Paraná, incluindo os rios Iguaçu, Paraná, Ivaí e Piquiri. Nessas áreas, é comum encontrar fontes de águas quentes às margens desses rios. Por outro lado, as áreas de recarga correspondem às zonas de afloramento, totalizando uma área de aproximadamente 1.971,29 km<sup>2</sup>. A recarga do SAG também pode ocorrer através do Sistema Aquífero Serra Geral - SASG, nas regiões onde a potenciometria do SAG permite um fluxo descendente. Em termos de distribuição nas grandes bacias hidrográficas do Paraná, no Terceiro Planalto Paranaense, o SAG se encontra abaixo dos derrames de rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral (Araújo; França; Potter, 1995; IAT, 2010).

As características hidroquímicas do SAG variam conforme o grau de confinamento das áreas exploradas. Em regiões de baixo confinamento, as temperaturas da água variam de 23 a 68° C, com águas predominantemente bicarbonatadas, ricas em cálcio e magnésio, caracterizadas como águas doces. Em áreas de médio confinamento, a composição varia para sulfatadas, com predominância de sódio e potássio, e sólidos totais acima de 500 mg/L. Já em regiões

de alto confinamento, as águas são sulfatadas-cloretadas, com altos teores de sódio e potássio, e sólidos totais acima de 1000 mg/L, impróprias para consumo humano sem tratamento prévio (IAT, 2010).

Em relação à composição química específica, os teores de diferentes íons na água subterrânea do SAG variam consideravelmente. O sulfato varia de 0,5 a 18 mg/L, o bicarbonato apresenta média de 64 mg/L (com variação entre 4 e 197 mg/L) e os sólidos totais dissolvidos têm média de 125 mg/L (com variação de 19 a 312 mg/L). A dureza média é de 56 mg/L-CaCO<sub>3</sub> (variando entre 3 e 189 mg/L), e o pH varia de 5,6 a 9,5, com média de 7,0. A presença de cálcio, magnésio, potássio, sódio e fluoreto também varia, refletindo a complexidade dos processos geológicos e hidroquímicos do aquífero (IAT, 2010).

#### 4.6.8 Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)

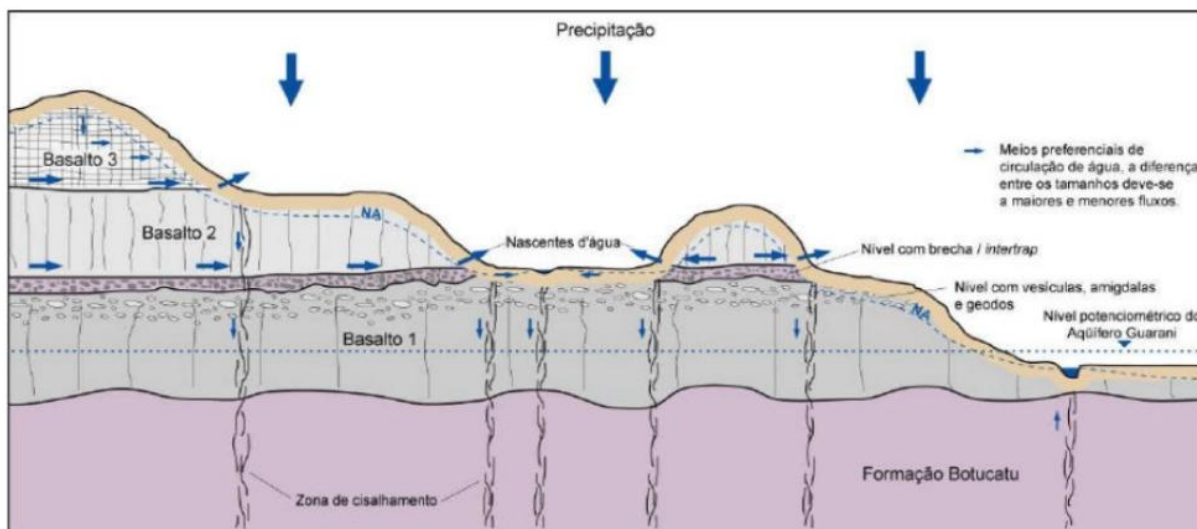
O Sistema Aquífero Serra Geral - SASG (Figura 11) está localizado nas rochas basálticas do Grupo Serra Geral. Sua condição hidráulica e de armazenamento estão relacionadas às áreas de descontinuidade físicas das rochas basálticas. Assim, apresenta-se como um aquífero que possui condições hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas devido às suas características litológicas (Celligoi, 1993).

Celligoi (1993) e Mourão (2009) expuseram que as águas subterrâneas do SASG circulam e se acumulam pelas zonas de fraturas e falhamentos das rochas basálticas, ou seja, pelas descontinuidades entre os derrames e pelas zonas vesículo-amigdaloidais.

[...] o aquífero denominado Serra Geral corresponde a basaltos da Formação Serra Geral, onde além das fraturas tectônicas ocorrem outros tipos de descontinuidades, importantes para a circulação e armazenamento da água, representadas por fraturas de resfriamento que podem ser verticais (disjunções colunares) ou sub-horizontais. (Athayde, 2008, p. 25).

Destarte, o SASG se refere às fraturas, falhas, brechas e outras características que surgiram como resultado da sequência de derrames de lavas que originou rochas básicas e ácidas, formando o Terceiro Planalto Paranaense (SUDERHSA, 2010). O movimento da água subterrânea do SASG está representado na Figura 12.

**Figura 12** - Circulação da água subterrânea no SASG.



Fonte: Fernandes *et al.*, 2006 *apud* Athayde, 2008.

De acordo com Figura 12, é possível observar que a circulação e o armazenamento da água subterrânea no SASG ocorrem por meio das fraturas tectônicas e outros tipos de descontinuidades representados por fraturas de resfriamento tanto verticais - disjunções colunares - como sub-horizontais. As fraturas horizontais e partes das verticais, de origem tectônicas, estão interconectadas (Athayde, 2008).

As rochas do Grupo Serra Geral, devido às características geomorfológicas e hidrológicas de cada subdivisão, são subdivididas, no Paraná, em Unidade Serra Geral Norte e Unidade Serra Geral Sul (SUDERHSA, 2010). Abrangendo uma área de afloramento de aproximadamente 101.959,63 km<sup>2</sup> no território paranaense, essas rochas apresentam espessuras máximas que alcançam até 1.500 m (Araújo; França; Potter, 1995). Na região onde se localiza, o índice pluviométrico varia entre 1.200 a 1.300 mm/ano (IAT, 2010). Parte da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná está localizada na Unidade Serra Geral Norte.

O aquífero Serra Geral do Norte, abrange uma área de 61.095,33 km<sup>2</sup>, correspondendo à área da bacia do Terceiro Planalto, que inclui as bacias dos rios Ivaí, Itararé, Piquiri, Paraná 3, Pirapó, Tibagi, Cinzas e Paranapanema 1, 2 e 3. Caracterizado pelos basaltos do Grupo Serra Geral, este aquífero é classificado como fraturado. Seu potencial hidrogeológico é estimado em 4,2 L/s.km<sup>2</sup>, com 31,0% de sua área aflorando no Estado, totalizando os 61.095,33 km<sup>2</sup> de extensão. Quanto à

disponibilidade hídrica no Estado, alcança 256.600,39 L/s e 923.761,39 m<sup>3</sup>/dia, com uma vazão outorgável de 20,00%, equivalente a 3.325.541,00 m<sup>3</sup>/dia (IAT, 2010).

As águas do aquífero são bicarbonatadas cálcicas, com sólidos totais dissolvidos entre 100 e 150 mg/L. O pH varia de 6,6 a 7,2, com dureza em torno de 40 mg-CaCO<sub>3</sub>/l. Os teores médios de cálcio e magnésio são 9 mg/L e 3,5 a 6,5 mg/L, respectivamente. Quanto a sódio e potássio, concentram-se entre 1,2 a 3,7 mg/L e 1,5 a 3 mg/L. A média de bicarbonato é de 38 mg/L, cloreto 1,5 mg/L e sulfato 2,5 mg/L. A qualidade da água é afetada pela proximidade de poços sem revestimento, resultando em uma mistura de águas, às vezes com altos teores de sódio e potássio, ultrapassando os de cálcio e magnésio (IAT, 2010).

#### 4.7 CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA

A área de estudo abrange quarenta e seis municípios situados na região do Norte Pioneiro do estado do Paraná, delimitados pelos rios Tibagi, Itararé e Paranapanema. A Tabela 2 apresenta dados relevantes sobre a população, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), área territorial e Produto Interno Bruto (PIB) per capita de cada município que compõe esse recorte espacial.

Os municípios com os maiores números de habitantes em 2022 foram Cornélio Procópio, com 45.206 residentes, e Santo Antônio da Platina, com 44.369 habitantes, conforme dados do IBGE de 2024. Por outro lado, Santo Antônio do Paraíso, com 2.125 habitantes, e Barra do Jacaré, com 2.814 residentes, destacaram-se como os municípios menos populosos da região.

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 2010, apresentou valores que variaram de 0,637 em São Jerônimo da Serra a 0,759 em Cornélio Procópio. Em relação ao PIB (Produto Interno Bruto) dos municípios, conforme os dados referentes ao ano de 2021, Sertaneja com R\$ 80.884,23, foi o município que possuiu o maior PIB per capita, seguindo de Leopólis com R\$ 58.364,13. Já os municípios com menor PIB per capita foram: Curiúva, com um PIB per capita de R\$ 18.055,67 e Sapopema, com R\$ 22.942,31 (IBGE, 2024).

**Tabela 2** - Dados demográficos, territoriais e econômicos dos municípios que compõem o recorte espacial da área de estudo.

Município	População (2022)	IDHM (2010)	Área territorial (km <sup>2</sup> ) (2022)	PIB per capita R\$ (2021)
Abatiá	7.241	0,687	228,717	30.140,55
Andirá	19.878	0,725	235,944	41.191,94
Assaí	13.797	0,728	440,347	36.478,15
Bandeirantes	31.273	0,727	445,192	33.274,08
Barra do Jacaré	2.814	0,744	115,855	53.994,67
Cambará	23.212	0,721	366,153	32.034,21
Carlópolis	16.905	0,713	451,418	31.871,53
Congonhinhas	8.320	0,668	535,963	32.108,39
Conselheiro Mairinck	3.461	0,707	204,705	39.176,79
Cornélio Procópio	45.206	0,759	635,100	37.882,76
Curiúva	13.647	0,656	576,263	18.055,67
Figueira	8.062	0,677	129,769	21.181,49
Guapirama	4.626	0,702	189,100	46.978,22
Ibaiti	28.830	0,710	898,221	27.578,30
Itambaracá	5.908	0,694	207,342	34.321,07
Jaboti	5.427	0,718	139,277	30.019,41
Jacarezinho	40.375	0,743	602,528	40.697,50
Japira	4.972	0,696	187,802	33.157,30
Jataizinho	11.813	0,687	159,178	22.283,34
Joaquim Távora	11.945	0,700	289,173	56.092,66
Jundiá do Sul	3.333	0,688	320,816	39.430,86
Leópolis	3.752	0,707	344,918	58.364,13
Nova América da Colina	3.280	0,698	129,476	28.507,42
Nova Fátima	7.225	0,688	283,423	38.786,71
Nova Santa Bárbara	4.184	0,680	76,887	25.733,07
Pinhalão	6.566	0,697	220,625	39.773,88
Quatiguá	8.099	0,714	112,689	28.269,42
Rancho Alegre	3.512	0,707	167,646	49.378,60
Ribeirão Claro	12.364	0,716	629,224	36.125,48
Ribeirão do Pinhal	13.060	0,701	374,732	26.269,94
Salto do Itararé	5.192	0,704	200,520	21.322,09
Santa Amélia	3.394	0,653	78,045	31.442,18
Santa Cecília do Pavão	3.365	0,723	105,076	47.193,99
Santa Mariana	11.066	0,700	427,193	42.791,96
Santana do Itararé	5.514	0,687	251,269	34.909,63
Santo Antônio da Platina	44.369	0,718	721,472	32.377,92
Santo Antônio do Paraíso	2.125	0,716	167,014	52.081,94
São Jerônimo da Serra	10.830	0,637	823,774	29.122,78
São José da Boa Vista	6.040	0,671	399,667	37.579,80
São Sebastião da Amoreira	8.063	0,715	226,872	33.860,14
Sapopema	6.695	0,655	677,609	22.942,31
Sertaneja	5.616	0,725	44,492	80.884,23
Siqueira Campos	22.811	0,704	278,035	32.901,60
Tomazina	8.426	0,699	591,438	42.105,95
Uraí	10.406	0,721	237,810	32.748,89
Wenceslau Braz	19.188	0,687	397,916	36.742,11
<b>Norte Pioneiro do estado do Paraná</b>	<b>546.187</b>	<b>0,702</b>	<b>15.326,69</b>	<b>36.525,33</b>

Fonte: IBGE, 2024. Organizado pelo autor, 2025.

Os municípios apresentam uma ampla variação em suas áreas territoriais, desde municípios mais pequenos, como Barra do Jacaré, com 115,86 km<sup>2</sup>, até grandes extensões, o município de Ibaiti, com uma área territorial de 898,22 km<sup>2</sup> (IBGE, 2024).

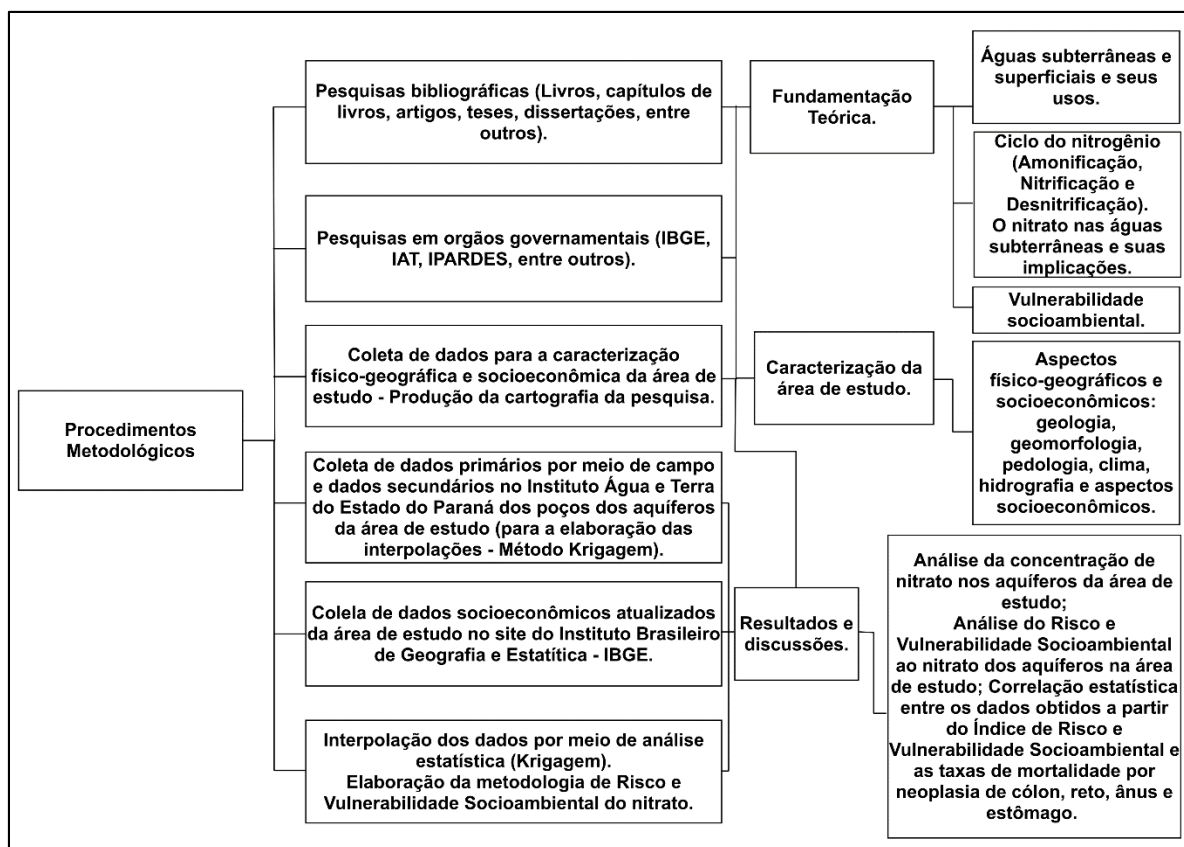
## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa, foram adotadas múltiplas etapas metodológicas, organizadas de forma sequencial e integrada. Inicialmente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre o tema da contaminação por  $\text{NO}_3^-$ -N em águas subterrâneas, com ênfase em abordagens metodológicas voltadas à análise de risco e vulnerabilidade socioambiental. Em paralelo, foram conduzidas pesquisas em bases institucionais e órgãos governamentais, com destaque para o Instituto Água e Terra do Estado do Paraná (IAT), 2023, a fim de obter dados secundários sobre os poços tubulares localizados na região do Norte Pioneiro do Paraná.

Na etapa seguinte, foi realizada a caracterização físico-geográfica da área de estudo, com o apoio de representações cartográficas elaboradas no software QGIS 3.36.3. Os dados hidroquímicos coletados foram processados por meio do método de interpolação espacial *krigagem*, permitindo a análise da distribuição espacial das concentrações de  $\text{NO}_3^-$ -N.

Além disso, efetuou-se a coleta de dados primários por meio de trabalho de campo, complementada por informações socioeconômicas obtidas em fontes oficiais. Esses dados foram integrados à base físico-geográfica com o propósito de estruturar uma metodologia de análise de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental à contaminação por  $\text{NO}_3^-$ -N nas águas subterrâneas da região estudada. Por fim, foi realizada a correlação estatística entre os dados obtidos a partir do Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental ao  $\text{NO}_3^-$ -N nas águas subterrâneas da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná e as taxas de mortalidade por neoplasias de cólon, reto, ânus e estômago na mesma região. A sistematização dessas etapas pode ser visualizada no fluxograma metodológico apresentado na Figura 13.

**Figura 13** - Fluxograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa.



Fonte: Pereira, 2025.

## 5.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A primeira etapa realizada foi o levantamento bibliográfico da pesquisa para a elaboração da fundamentação teórica. Ferrarezi Júnior (2013) dissertou que o referencial teórico será mais ou menos extenso dependendo da complexidade da investigação proposta. Para Cajueiro (2013), a pesquisa bibliográfica refere-se à análise e discussão apenas do referencial bibliográfico de autores e literaturas, bem como artigos, monografias relacionadas ao tema da pesquisa. A sua finalidade é levar para a discussão as diferentes formas de contribuição científica que já foram realizadas sobre determinado assunto. As fontes bibliográficas são diversas: livros, revistas, jornais, monografias, dissertações, teses, entre outros.

Para a pesquisa em questão, foram realizadas pesquisas bibliográficas em livros, capítulos de livros, artigos científicos, dissertações e teses que discutem temas relacionados às águas subterrâneas, ao ciclo do nitrogênio e ao  $\text{NO}_3\text{-N}$  e à vulnerabilidade socioambiental ao  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Os principais autores utilizados foram Shiklomanov (1998), Fátima. M. S. Moreira e José Oswaldo Siqueira (2006), Wagner

Costa Ribeiro (2008), José Galízia Tundisi e Takako Matsumura Tundisi (2011), os textos do livro *Águas doces do Brasil* de Benedito Braga, José Galízia Tundisi, Takako Matsumura Tundisi e Virginia S. T. Siminelli (2015), Charles Fitts (2015), Afonso Rodrigues de Aquino, Francisco Carlos Paletta e Josimar Ribeiro de Almeida (2017), Rosana Faria Vieira (2017), entre outros.

## 5.2 COLETA DE DADOS PARA A CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-GEOGRÁFICA

Após a elaboração da pesquisa bibliográfica, foram realizadas as pesquisas em órgãos governamentais e a coleta de dados secundários. Os dados secundários foram coletados, tabulados e ordenados. Segundo Mattar (1996), dados secundários são aqueles já coletados, tabulados e disponíveis para análise.

Para caracterizar os aspectos socioeconômicos da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná foram coletados dados e informações em órgãos governamentais como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, (2024) e o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social – IPARDES (2006; 2023). Para a caracterização físico-geográfica da área de estudo, foram coletados dados e informações em órgãos governamentais como Agência Nacional de Águas (2007), Instituto Água e Terra do Estado do Paraná – IAT (2010; 2020; 2023), Mineropar (2006), entre outros.

Com os dados obtidos, foram elaborados mapas temáticos para representar cartograficamente os aspectos físico-geográficos da área de estudo, como geologia, geomorfologia, solos, clima e hidrografia. As bases cartográficas foram processadas no Sistema de Informações Geográficas (SIG) QGIS 3.36.3, utilizando dados do IBGE e do IAT.

## 5.3 COLETA DE DADOS DE NITRATO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A coleta de dados sobre a concentração de  $\text{NO}_3\text{-N}$  foi realizada em duas etapas complementares. A primeira consistiu na obtenção de dados secundários junto ao Instituto Água e Terra do Estado do Paraná (IAT), por meio da consulta à base de dados hidrogeológicos disponível para a região do Norte Pioneiro do estado. A partir dessa base, foram identificados os poços que apresentavam concentrações de  $\text{NO}_3^-$

N superiores ao limite de  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , valor máximo permitido pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021.

A segunda etapa foi voltada à coleta de dados primários por meio de pesquisa de campo. Foram coletadas amostras de água subterrânea diretamente em poços estratégicos selecionados, localizados na área de estudo, com o objetivo de verificar e complementar as informações da base oficial. Essas amostras foram destinadas à análise laboratorial para quantificação da concentração de  $\text{NO}_3\text{-N}$ , de modo a garantir maior confiabilidade e atualização dos dados utilizados nas etapas seguintes da pesquisa.

### 5.3.1 Coleta de dados secundários

Os dados iniciais, secundários, utilizados nesta etapa da pesquisa foram obtidos junto ao Instituto Água e Terra do Estado do Paraná (IAT). Trata-se de informações referentes a poços tubulares que captam água dos aquíferos localizados na região do Norte Pioneiro do estado do Paraná. A série histórica desses dados abrange o período de 1971 a 2020, totalizando 401 poços analisados.

Nesse sentido, os dados de concentração de  $\text{NO}_3\text{-N}$  utilizados nesta pesquisa abrangem diferentes anos de amostragem. Optou-se por utilizar todos os registros disponíveis com esse parâmetro para a área de estudo, independentemente do ano de coleta, tendo em vista a escassez de séries temporais contínuas e a necessidade de ampliar a representatividade espacial do fenômeno investigado (Lee; Stvilia, 2017). A escolha por incorporar dados multitemporais visa maximizar a cobertura territorial dos poços analisados, assegurando maior robustez estatística na modelagem e representação espacial das concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$  (Santos, Gomes, Teixeira, 2016).

A interpolação espacial foi aplicada com o propósito de identificar padrões espaciais de contaminação, e não de realizar uma análise temporal. Dessa forma, a heterogeneidade de datas dos dados não inviabiliza a aplicação do método, uma vez que o foco do estudo está na distribuição espacial da presença do contaminante, e não em suas variações ao longo do tempo. A *krigagem* foi escolhida por sua capacidade de lidar com variáveis regionalizadas e por permitir estimativas confiáveis mesmo quando os dados não são uniformemente distribuídos no tempo (Abu; Egbueri; Agbasi, 2025; Fu; Yang; Zou, 2022; LV *et al.*, 2013; Sukkuea; Heednacram, 2022).

Além disso, justifica-se o uso de dados de diferentes períodos pela própria natureza do contaminante estudado. O  $\text{NO}_3^- \text{N}$  apresenta elevada mobilidade no solo e no meio subterrâneo, sendo um composto persistente em aquíferos, especialmente em formações sedimentares (Singh; Craswell, 2021). Assim, variações temporais pontuais tendem a ter menor impacto sobre os padrões espaciais de contaminação, que são determinados por processos cumulativos e por condições hidrogeológicas locais. A interpolação, portanto, não busca representar um cenário específico de determinado ano, mas sim uma tendência espacial consolidada da presença de  $\text{NO}_3^- \text{N}$  nas águas subterrâneas da região.

Reconhece-se, contudo, como limitação a ausência de padronização temporal nos dados utilizados, o que pode influenciar pontualmente os valores interpolados. Para estudos futuros, recomenda-se a ampliação do monitoramento sistemático com coletas periódicas e padronizadas, de forma a viabilizar análises espaço-temporais mais refinadas e, conseqüentemente, fortalecer os processos de tomada de decisão relacionados à gestão e proteção dos recursos hídricos subterrâneos.

Assim, os dados foram inicialmente organizados em planilhas eletrônicas no *software* Microsoft Excel, com o objetivo de estruturar a base para a elaboração de produtos cartográficos. A tabulação permitiu sistematizar a distribuição espacial das concentrações de  $\text{NO}_3^- \text{N}$  nas águas subterrâneas da área de estudo.

Para fins de avaliação da potabilidade da água, adotou-se como referência os padrões estabelecidos pela legislação brasileira vigente, em especial a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Essa norma altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, e estabelece os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água destinada ao consumo humano (BRASIL 2021). Segundo essa portaria, a concentração máxima permitida de  $\text{NO}_3^- \text{N}$  para potabilidade é de  $10 \text{ mg L}^{-1}$ .

### 5.3.2 Trabalho de Campo para a Coleta de Dados Primários

Após a análise dos dados secundários, foi realizada a coleta de dados primários por meio de trabalho de campo em poços que apresentaram concentrações de  $\text{NO}_3^- \text{N}$  superiores a  $10 \text{ mg L}^{-1}$ . O objetivo dessa etapa foi atualizar e complementar as informações provenientes do banco de dados oficial. Foram coletadas 10 amostras de água subterrânea em 10 poços, destinadas à análise laboratorial para mensuração

da concentração de  $\text{NO}_3^- \text{N}$ , garantindo maior precisão na avaliação da contaminação e na validação dos dados utilizados nas etapas subsequentes da pesquisa (Figura 14). As análises foram feitas pelo laboratório Exacty, localizado no município de Londrina - PR.

**Figura 14** - Coleta de água em poço tubular no município de Jacarezinho - PR para análise laboratorial.



Fonte: Pereira, 2025.

A quantificação de nitrato ( $\text{NO}_3^- \text{N}$ ) foi realizada pelo método colorimétrico com brucina, conforme o EPA Method 352.1 e o procedimento MOI.8834.01 (Alfakit). O método baseia-se na reação do nitrato com brucina em meio ácido, formando um composto de coloração amarela cuja intensidade é proporcional à concentração do analito (APHA, 2017).

As amostras foram previamente filtradas e analisadas em espectrofotômetro com leitura a 410 nm. A quantificação foi realizada por comparação com curva padrão construída com soluções de concentração conhecida de nitrato (nitrato de potássio).

O limite de detecção foi de 0,02 mg/L e a faixa de trabalho variou entre 0,05 a 10 mg/L de  $\text{NO}_3\text{-N}$ . O controle de qualidade analítico incluiu o uso de brancos, duplicatas e amostras fortificadas, conforme os critérios estabelecidos na seção 4020 do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (24<sup>a</sup> ed.) (APHA, 2017).

A pesquisa de campo também contribuiu para o reconhecimento *in loco* dos locais onde os poços estão situados, permitindo uma análise mais acurada da paisagem ao seu entorno. Esse levantamento foi fundamental para o diagnóstico das possíveis influências de fatores naturais e sociais que podem representar potenciais fontes de contaminação das águas subterrâneas. A partir dos dados de concentração de  $\text{NO}_3\text{-N}$ , foram elaborados layouts cartográficos representando sua distribuição espacial na área de estudo, utilizando-se o método de interpolação geoestatística conhecido como *krigagem*.

#### 5.4 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

Após a elaboração da fundamentação teórica e da caracterização dos aspectos físico-geográficos da área de estudo e também da coleta de dados no Instituto de Água e Terra do estado do Paraná, foram elaborados mapas de interpolação da concentração do  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Para a elaboração desses mapas utilizou-se o SIG QGIS 3.36.3.

Pode-se definir um sistema de informação geográfica - SIG:

“[...] como um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos, e pessoas com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, transformar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido (Fitz, 2008, p. 23).

A utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS, versão 3.36.3, deve-se ao fato de ser uma ferramenta gratuita, de código aberto e amplamente consolidada em análises ambientais. A partir desse *software*, realizou-se a interpolação dos dados de concentração de  $\text{NO}_3\text{-N}$  obtidos junto ao Instituto Água e Terra (IAT), referentes aos poços localizados na área de estudo, com o apoio de técnicas da geoestatística. Esta, por sua vez, é uma subárea da estatística voltada ao estudo de variáveis regionalizadas, oferecendo instrumentos para identificar padrões espaciais em fenômenos que, à primeira vista, parecem aleatórios (Fernandes, 2014).

Entre os métodos disponíveis, a interpolação se destaca como um processo que permite estimar valores em pontos não amostrados, com base nos dados conhecidos. Segundo Fitz (2008, p. 76), “os dados interpolados representam, portanto, uma aproximação da realidade. Assim, quanto mais dados conhecidos existirem, tanto mais fiel será a modelagem realizada”. De forma semelhante, Landim, Monteiro e Corsi (2002, p. 3) afirmam que “interpolador é predizer (ou estimar) o valor da variável em estudo num ponto não amostrado”.

Nesta pesquisa, diferentes métodos foram testados para avaliar sua adequação aos dados hidroquímicos da área de estudo. Embora técnicas como o IDW (Inverso da Distância Ponderada) tenham sido consideradas, o procedimento estatístico selecionado foi aquele que apresentou maior consistência nos resultados e melhor capacidade preditiva: a *krigagem*. De acordo com Landim, Monteiro e Corsi (2002), trata-se de uma abordagem eficaz, fundamentada na Teoria das Variáveis Regionalizadas, a qual pressupõe homogeneidade estatística da variabilidade espacial. Marcuzzo, Andrade e Melo (2011, p. 796) reforçam que esse método assume que “a variação espacial de um fenômeno é estatisticamente homogênea em uma área”. A técnica adotada possibilitou estimativas confiáveis das concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$  em locais sem amostragem direta, a partir da média ponderada dos valores vizinhos. Como destaca Landim (2006, p. 27), trata-se, em última instância, de uma estimativa por médias móveis, que incorpora o grau de correlação espacial entre os pontos amostrados.

Além da escolha do método de interpolação, foi fundamental a construção e análise do semivariograma, instrumento central na geoestatística. O semivariograma permite quantificar a dependência espacial entre os dados, sendo essencial para a modelagem da variabilidade da variável em estudo — neste caso, as concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$ . A partir da análise do semivariograma experimental, foram ajustados modelos teóricos que definiram os parâmetros de alcance, patamar e efeito pepita, indispensáveis para a aplicação da *krigagem*. O alcance indica a distância a partir da qual os valores deixam de apresentar correlação espacial significativa. O patamar corresponde à variância total explicada pelo modelo, enquanto o efeito pepita representa a variância atribuída a erros de amostragem ou a variações espaciais em escala inferior à da malha de coleta. O modelo de semivariograma com melhor ajuste foi selecionado com base no coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e na análise visual da curva ajustada.

Para avaliar a acurácia das estimativas geradas pelo modelo de interpolação, foram analisados os erros de predição, em especial o erro quadrático médio (EQM) e o erro médio (EM). Esses indicadores permitiram aferir a qualidade dos valores estimados nos pontos não amostrados, conferindo maior confiabilidade às representações cartográficas elaboradas. Com isso, assegurou-se que a interpolação fosse não apenas coerente com a distribuição espacial dos dados observados, mas também estatisticamente robusta.

[...] A *krigagem* pode ser usada, como algoritmo estimador, para: a) previsão do valor pontual de uma variável regionalizada em um determinado local dentro do campo geométrico; é um procedimento de interpolação exato que leva em consideração todos os valores observados, o qual pode ser a base para cartografia automática por computador quando se dispõe de valores de uma variável regionalizada dispostos por uma determinada área; b) cálculo médio de uma variável regionalizada para um volume maior que o suporte geométrico como, por exemplo, no cálculo do teor médio de uma jazida a partir de informações obtidas de testemunhas de sondagens; (Landim, 2006, p. 27).

Utiliza-se a seguinte equação matemática para calcular a interpolação do valor de um ponto por meio da *krigagem*:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (\text{Equação 2})$$

“em que  $Z(x)$  - é o valor do ponto que se deseja interpolar;  $n$  - é a quantidade de pontos amostrados cujos valores serão usados na interpolação do ponto  $x$ ;  $Z(x_i)$  - é o valor do ponto amostrado; e  $\omega_i$  é o valor do peso do valor de  $Z(x_i)$  sobre o ponto  $x$ ” (Marcuzzo; Andrade; Melo, 2011, p. 797).

Para se determinar os pesos  $\omega_i$ , é necessário resolver a seguinte equação matemática:

$$\sum_{i=1}^N \omega_i \gamma(h_{ij}) + \mu = \gamma(h_j),$$

(Equação 3)

$$\sum_{i=1}^N \omega_i = 1$$

“em que,  $\omega_i$  - é o peso para cada ponto;  $\mu$  - é uma variável temporária;  $\gamma(h)$  - é o valor de semivariância para pontos separados por uma distância  $h$ ;  $h_{ij}$  - é a distância entre os pontos  $x_i$  e  $x_j$ ;  $h_j$  - é a distância entre o ponto que se deseja calcular o valor  $x$  e o ponto  $x_j$ ” (Marcuzzo; Andrade; Melo, 2011, p. 797).

As bases cartográficas da América do Sul, Brasil, Paraná e dos municípios que compõem a região do Norte Pioneiro, utilizadas na elaboração dos mapas de interpolação, foram obtidas nos sites do Instituto Água e Terra do Estado do Paraná (IAT, 2015) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015).

## 5.5 METODOLOGIA DE RISCO E VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL PARA NITRATO

Diversas pesquisas vêm propondo metodologias para avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação, sendo o método DRASTIC, desenvolvido por Aller *et al.* (1987), um dos mais amplamente utilizados por incorporar parâmetros hidrogeológicos e ambientais. No entanto, embora esse e outros modelos considerem apenas aspectos físico-geográficos para estimar o grau de suscetibilidade natural dos aquíferos à poluição, eles não abrangem fatores sociais que podem agravar os efeitos da contaminação.

Portanto, nesta pesquisa, optou-se por desenvolver uma metodologia integrada de análise de risco e vulnerabilidade socioambiental à presença de  $\text{NO}_3\text{-N}$  nas águas subterrâneas da região estudada, incorporando tanto variáveis naturais quanto socioeconômicas.

Essa abordagem amplia a compreensão do problema ao reconhecer que a contaminação por  $\text{NO}_3\text{-N}$  está fortemente relacionada a fatores antrópicos, como uso intensivo de fertilizantes, deficiência nos serviços de saneamento e práticas inadequadas de uso do solo, conforme discutido no capítulo de fundamentação teórica. Assim, busca-se não apenas identificar áreas vulneráveis à contaminação, mas também avaliar os riscos potenciais à saúde humana e ao meio ambiente,

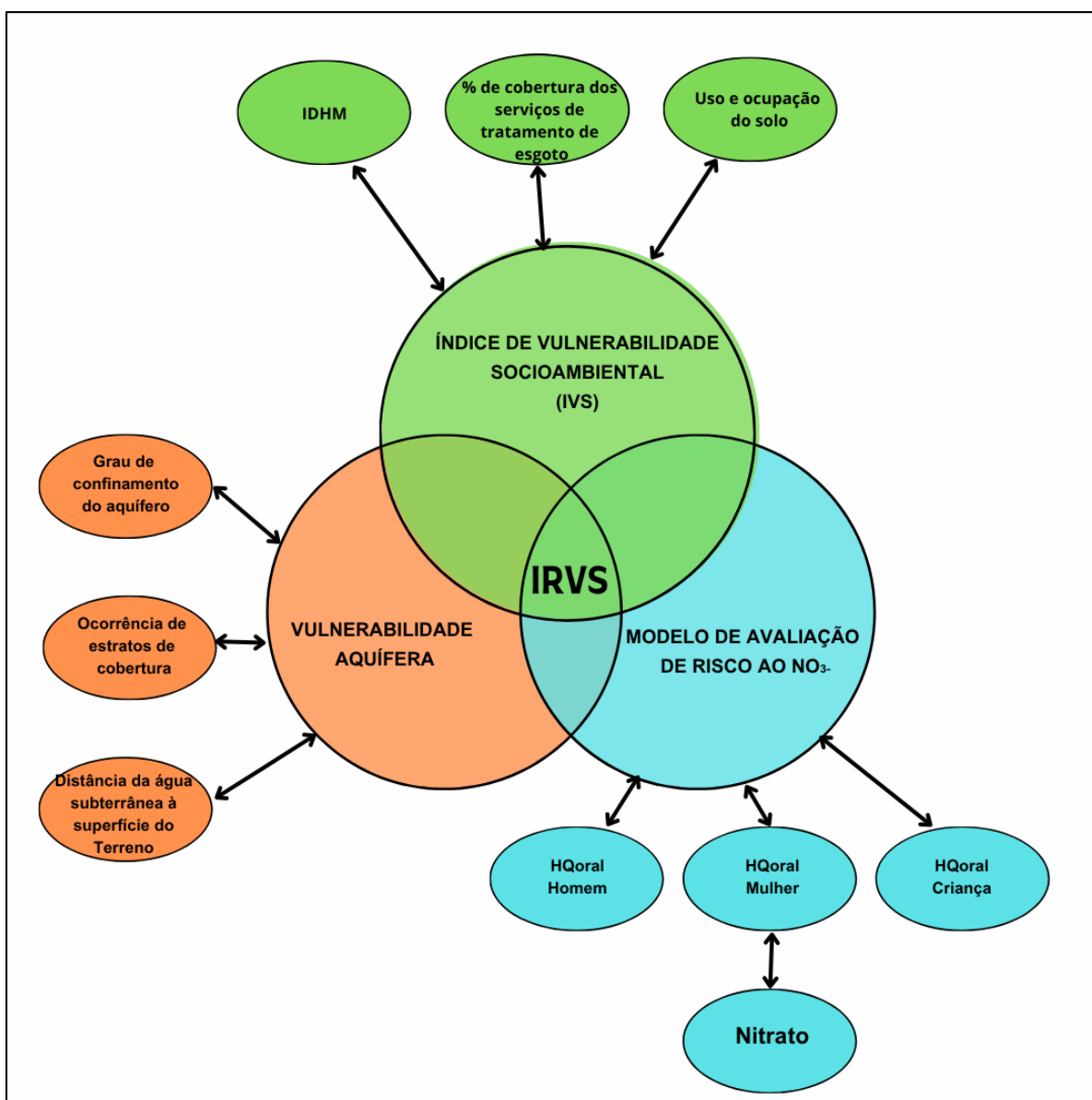
considerando o contexto regional geográfico e social em que essas águas estão inseridas.

Para a criação, elaboração e aplicação da metodologia de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental para  $\text{NO}_3\text{-N}$  na região do Norte Pioneiro do estado do Paraná foram coletados dados secundários sobre os aspectos socioeconômicos e físico-geográficos da região, como Índice de Desenvolvimento Humano Médio - IDHM, o percentual de atendimento dos serviços de tratamento de esgoto por município e uso e ocupação do solo, que, posteriormente, foram correlacionados ao Índice de Vulnerabilidade Aquífera da área de estudo e aos dados de  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

Os dados utilizados para a análise socioambiental foram obtidos de diferentes bases oficiais. As informações sobre o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) e o percentual de atendimento dos serviços de tratamento de esgoto por município foram extraídas do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O IDHM refere-se ao ano de 2010 (IBGE, 2024), enquanto os dados sobre o atendimento de esgotamento sanitário são referentes ao ano de 2022 (IBGE, 2025). Os dados de uso e ocupação do solo foram obtidos na plataforma do MapBiomas, também referentes ao ano de 2022. Já as informações sobre os parâmetros de  $\text{NO}_3\text{-N}$ , bem como os dados técnicos dos poços analisados, foram extraídas da base de dados do Instituto Água e Terra do Estado do Paraná (IAT), 2023.

O desenvolvimento da metodologia proposta seguiu quatro etapas principais: inicialmente, foi elaborado o Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (*IVS*) para a área de estudo. Em seguida, foi determinada a Vulnerabilidade Aquífera da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná por meio do método GOD. Posteriormente, foi realizada a avaliação de risco à saúde humana, com base nos dados de  $\text{NO}_3\text{-N}$ , conforme apresentado por Santos *et al.* (2024). Por fim, os resultados provenientes dessas três análises foram combinados para calcular o Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental (*IRVS*) para o  $\text{NO}_3\text{-N}$  na área de estudo (Figura 15).

**Figura 15** - Esquema da elaboração da metodologia do Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental ao nitrato.



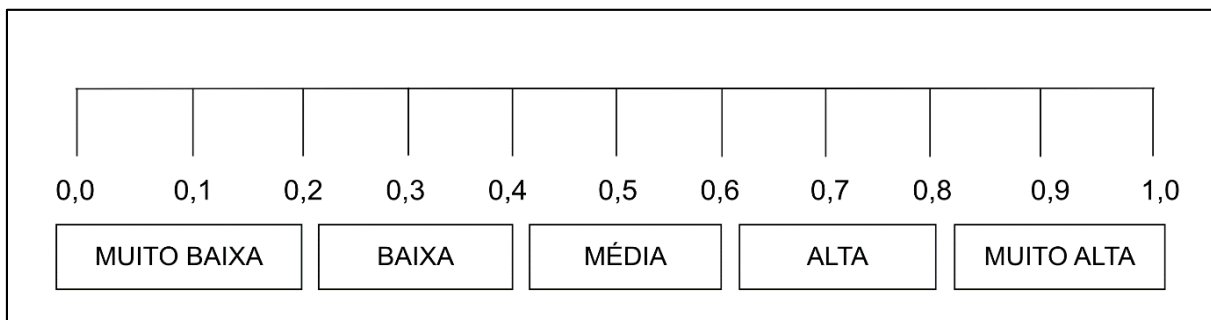
Fonte: Organizado pelo autor, 2025.

### 5.5.1 Vulnerabilidade Socioambiental

Baseando-se na metodologia proposta por Ross (1994), tendo-a como inspiração, entre outros estudos como por exemplo de Barbosa e Lorandi (2012) e Nörnberg e Rehbein (2021), e adaptando-as para a elaboração da análise do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (*IVS*), as classes nesta metodologia foram divididas em um intervalo de 0,0 a 1,0. Nesse contexto, uma vulnerabilidade muito baixa ou nula corresponde aos valores entre 0,0 e 0,2, enquanto uma vulnerabilidade

muito alta está associada ao valor de 1,0. As classes intermediárias, com valores de 0,4, 0,6 e 0,8, foram categorizadas como baixa, média e alta vulnerabilidade socioambiental, respectivamente (Figura 16).

**Figura 16** - Classes do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental.



**Fonte:** Organizado pelo autor, 2025.

Na Tabela 3, estão descritas as variáveis consideradas na elaboração e aplicação da metodologia de Vulnerabilidade Socioambiental, incluindo o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), o percentual de cobertura dos serviços de tratamento de esgoto por município e o uso e a ocupação do solo da área de estudo, bem como seus respectivos pesos.

**Tabela 3** - Variáveis que foram utilizadas para a elaboração da metodologia de Vulnerabilidade Socioambiental.

<b>Variáveis usadas para a elaboração da metodologia</b>	<b>Pesos de cada variável</b>
IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal	1/3
Percentual de atendimento dos serviços de tratamento de esgoto por município	1/3
Uso e ocupação do solo	1/3

**Fonte:** Organizado pelo autor, 2025.

O IDHM é um indicador que mede o desenvolvimento humano de um município, levando em consideração três fatores: educação, renda e longevidade. Dessa forma, esse indicador foi incluído na metodologia de vulnerabilidade socioambiental, pois municípios com IDHM mais baixo podem ter maior vulnerabilidade pois tendem a enfrentar maiores desafios relacionados às questões socioeconômicas, afetando a promoção de políticas públicas voltadas à proteção

ambiental. A população desses municípios possui menos acesso a serviços essenciais como saneamento básico, educação e saúde, tornando-se mais vulneráveis aos impactos socioambientais.

A análise do IDHM deveria ser com dados atualizados, entretanto isso não foi possível pois o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE não divulgou os dados de IDHM coletados no Censo 2022. A intenção também era fazer a análise dos dados de IDHM por setor censitário, mas não foi possível pois esses dados não foram encontrados na base de dados do IBGE. Dessa forma, optou-se por realizar a análise com os dados disponíveis, ou seja, IDHM por município, dados esses que são relativos ao ano de 2010.

A classificação da vulnerabilidade socioambiental para IDHM foi elaborada de acordo com as classes apresentadas pelo Atlas Brasil (2024), conforme pode ser observada na Tabela 4. Para elaborar as classes dessa variável, levou-se em conta os cinco níveis de IDHM apresentados no Atlas Brasil (2024): Muito alto (0,800 - 1,000).; alto (0,700 - 0,799).; médio (0,600 - 0,699).; baixo (0,500 - 0,599).; e muito baixo (0,000 - 0,499).

**Tabela 4** - Classificação do IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Médio dos municípios para a análise da vulnerabilidade socioambiental da área de estudo.

<b>IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Médio</b>	<b>Vulnerabilidade Socioambiental</b>
de 0,800 a 1,000	0,2 - Muito Baixa
de 0,700 a 0,799	0,4 - Baixa
de 0,600 a 0,699	0,6 - Média
de 0,500 a 0,599	0,8 - Alta
De 0,000 a 0,499	1 - Muito Alta

**Fonte:** Atlas Brasil, 2024. Organizado pelo autor, 2025.

A segunda variável é o percentual de atendimento dos serviços de tratamento de esgoto por município. O tratamento de esgoto é um dos principais determinantes da qualidade da saúde pública e ambiental de um município. A não implementação dos serviços de tratamento de esgoto pode ser uma fonte significativa de poluição, o que pode afetar a saúde da população e também o meio ambiente, podendo resultar na propagação de doenças e na contaminação de recursos hídricos e do solo.

Nessa perspectiva, considerou-se o percentual de esgotamento sanitário por município na análise da vulnerabilidade socioambiental pois os serviços de tratamento de esgoto e sua capacidade de proteger os recursos naturais e a saúde pública são aspectos fundamentais na avaliação da vulnerabilidade socioambiental. Municípios com baixos percentuais desses serviços possuem uma alta vulnerabilidade socioambiental pois são mais suscetíveis à contaminação dos recursos hídricos e do solo e, conseqüentemente, à exposição a doenças de veiculação hídrica.

10% de as doenças do mundo poderiam ser totalmente eliminadas por melhorias na oferta de água tratada em qualidade e quantidade, coleta e tratamento de esgoto e higiene. [...] Doenças como a cólera, a febre tifoide, o tracoma, a esquistossomose e a malária seriam reduzidas na presença de sistemas de saneamento amplo e eficiente (Branco *et al.*, 2015, p. 234).

A classificação da vulnerabilidade socioambiental com base no percentual de atendimento dos serviços de tratamento de esgoto por município foi desenvolvida conforme apresentado na Tabela 5. Foram adotados intervalos de 20% para cada classe, garantindo que todas as categorias dessa variável tivessem intervalos iguais.

**Tabela 5** - Classificação do percentual de esgotamento sanitário por município para a análise da vulnerabilidade socioambiental da área de estudo.

<b>Percentual de atendimento dos serviços de tratamento de esgoto por município</b>	<b>Vulnerabilidade Socioambiental</b>
Maior que 80%	0,2 - Muito Baixa
De 60,1% a 80%	0,4 - Baixa
De 40,1% a 60%	0,6 - Média
De 20,1% a 40%	0,8 - Alta
Até 20%	1,0 - Muito Alta

**Fonte:** Organizado pelo autor, 2025.

A terceira variável foi o uso e ocupação do solo. A classificação do uso e ocupação do solo reflete as atividades humanas e a sua relação com o meio ambiente. Os diferentes usos do solo como a urbanização, a agricultura, a pastagem, entre outras atividades podem ter diferentes impactos sociais e ambientais. Nessa perspectiva, considerou-se nesta variável a influência que as práticas humanas têm

no aumento da degradação ambiental e na exposição de pessoas às vulnerabilidades sociais e ambientais.

Áreas com o uso e ocupação inadequada do solo, como a expansão urbana desordenada e a implementação de agricultura intensiva sem práticas sustentáveis, entre outras, podem levar a degradação do meio ambiente, refletindo na poluição da água e do solo, na perda da biodiversidade local, entre outros. Dessa forma, essas áreas podem ter maior vulnerabilidade socioambiental porque enfrentam consequências negativas na qualidade da população e no meio ambiente.

Os dados de uso e ocupação do solo da área de estudo foram propostos a partir da base de dados do MapBiomas Brasil, 2022. A classificação da vulnerabilidade socioambiental do uso e ocupação do solo foi elaborada segundo os dados do IBGE (Tabela 6). A determinação do peso de cada classe dessa variável nesta pesquisa foi adaptada a partir de vários trabalhos, como por exemplo de Ross (1994), Alcântara, Strauch e Ajara (2013), Jesus e Medeiros (2022), entre outros.

**Tabela 6** - Classificação do uso e ocupação do solo para a análise da vulnerabilidade socioambiental da área de estudo.

<b>Uso e ocupação do solo</b>	<b>Vulnerabilidade Socioambiental</b>
Formação Florestal	0,2 - Muito Baixa
Silvicultura	0,4 - Baixa
Pastagem plantada e natural	0,6 - Média
Outros usos	0,8 - Alta
Áreas Urbanizadas e agricultura	1 - Muito Alta

**Fonte:** Organizado pelo autor, 2025.

Dessa forma, com a sobreposição das variáveis e a distribuição dos valores em suas respectivas classes, foi possível obter o resultado da metodologia de Vulnerabilidade Socioambiental. Esse processo é exemplificado pela Equação 4.

$$\text{Índice de Vulnerabilidade Socioambiental} - IVS = \frac{SV}{QV} \quad (\text{Equação 4})$$

Em que  $SV$  – é soma dos valores de todas as variáveis utilizadas na metodologia e  $QV$  é a quantidade de variáveis utilizadas.

Dessa maneira, foi necessário produzir a cartografia de cada variável analisada e, em seguida, classificá-las de acordo com a vulnerabilidade socioambiental correspondente. Ao final desse processo, todas as camadas foram sobrepostas, resultando em uma única base cartográfica que apresentou o resultado da aplicação da metodologia, ou seja, a Vulnerabilidade Socioambiental na região do Norte Pioneiro do estado do Paraná.

#### 5.5.2 Vulnerabilidade Aquífera por meio do Método GOD

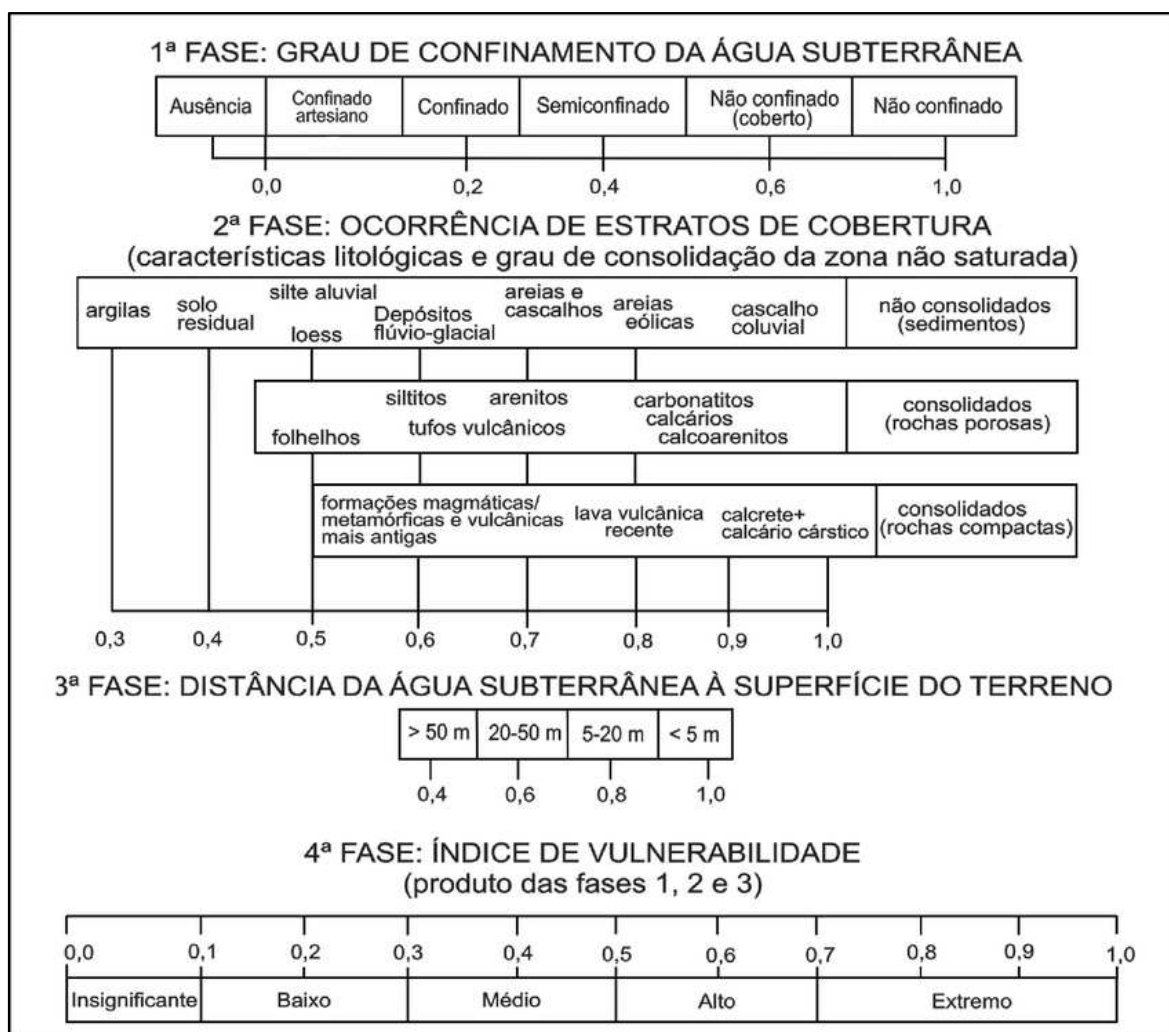
A aplicação do método GOD para a elaboração do Índice de Vulnerabilidade Aquífera foi realizada para ser relacionada ao Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (*IVS*) da região do Norte Pioneiro do Paraná e ao modelo de avaliação de risco à saúde para doenças associadas ao  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

A metodologia GOD, acrônimo de Groundwater occurrence, Overall lithology of the unsaturated zone, Depth to the water table, foi desenvolvida por Foster e Hirata (1988), sendo posteriormente modificada por Foster *et al.* (2002). Esse método é útil para identificar áreas mais susceptíveis à contaminação e auxiliar na gestão e proteção dos recursos hídricos subterrâneos.

Para a aplicação do método GOD, são considerados três parâmetros que representam as principais características hidrogeológicas do aquífero: (1) o grau de confinamento da água subterrânea (G); (2) a ocorrência dos estratos de cobertura (O); e (3) a profundidade do nível freático em relação à superfície do terreno (D). A combinação desses três fatores, por meio de multiplicação ponderada, resulta em um valor final que expressa o Índice de Vulnerabilidade Aquífera para cada ponto avaliado (Figura 17).

Neste estudo, o Índice de Vulnerabilidade Aquífera foi elaborado conforme as etapas propostas pelo método. A primeira etapa corresponde à avaliação do grau de confinamento do aquífero. Com base na análise dos dados dos poços monitorados, observou-se que a área de estudo apresenta predominância de aquíferos não confinados, ou seja, com superfície freática livre e diretamente conectada às condições superficiais. De acordo com os critérios estabelecidos por Foster *et al.* (2006), foi atribuído peso 1,0 a toda a área analisada nessa etapa, o que corresponde à máxima vulnerabilidade para esse parâmetro.

**Figura 17** - Fases da metodologia GOD para a elaboração do Índice de Vulnerabilidade Aquífera.



Fonte: Foster *et al.*, 2006.

Na segunda fase, correspondente ao parâmetro “O” (ocorrência dos estratos de cobertura ou zona não saturada), foram adotadas as classificações com base nos estudos de Milani e Ramos (1998), Milani *et al.* (2007), Holz *et al.* (2006), Mendes e Andreis (1992) e Souza (2006). Dessa forma, a cobertura do Grupo Serra Geral foi caracterizada como composta por solos residuais derivados da decomposição das rochas basálticas, normalmente argilosos, com baixa permeabilidade hidráulica no horizonte A, aos quais foi atribuído peso 0,4. As áreas onde aflora o Sistema Aquífero Guarani, representado pela Formação Botucatu, apresentam cobertura constituída predominantemente por areias eólicas mal consolidadas, altamente permeáveis, recebendo, portanto, peso 0,8. Já a cobertura associada aos aquíferos de origem paleozoica foi classificada como depósitos de origem flúvio-glacial, com expressiva

variabilidade textural, incluindo solos arenosos, silto-argilosos e níveis cascalhentos. Essa heterogeneidade nos materiais de cobertura reflete um comportamento imprevisível quanto à infiltração de contaminantes. Assim, foi atribuído peso 0,6, representando uma condição intermediária de proteção natural. Essa classificação visa refletir a complexidade dos solos e coberturas sedimentares derivados das formações paleozoicas, cujas propriedades físico-hídricas variam substancialmente, podendo influenciar de maneira significativa a vulnerabilidade aquífera em escala local.

A terceira fase consistiu na obtenção dos níveis estáticos dos poços localizados na área de estudo, com base nos registros disponíveis na base de dados do Instituto Água e Terra (IAT), 2023. As informações referem-se aos poços inseridos nos principais sistemas aquíferos da região: Sistema Aquífero Serra Geral, Sistema Aquífero Guarani, Aquífero Paleozoico Inferior, Paleozoico Médio Superior e Paleozoico Superior. A partir desses valores, foi aplicada a interpolação espacial por *krigagem*, com o objetivo de representar a distribuição da profundidade do nível da água subterrânea em toda a área estudada. Assim, com os mapas gerados para os três parâmetros do método GOD, procedeu-se à multiplicação ponderada das respectivas camadas, resultando no índice final de Vulnerabilidade Aquífera para os distintos setores da área de estudo.

### 5.5.3 Modelo de Avaliação de Risco à Saúde Humana

Os resultados apresentados pelo Índice *IVS* e pela Vulnerabilidade Aquífera da área de estudo foram relacionados ao modelo de avaliação de risco à saúde humana apresentado por Santos *et al.*, (2024). O modelo de avaliação de risco à saúde humana foi aplicado nesta tese com a finalidade de examinar o risco à saúde para doenças associadas ao  $\text{NO}_3\text{-N}$  a homens, mulheres e crianças, ou seja, do *HQoral* Homem, *HQoral* Mulher e *HQoral* Criança.

Essa metodologia foi proposta pela primeira vez pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - USEPA (Universidade de Wisconsin-Usepa, 1997,1989 *apud* Santos *et al.*, 2024). A USEPA é uma autoridade reguladora reconhecida globalmente com uma longa história de definição de padrões e diretrizes ambientais. O modelo de avaliação de risco da USEPA é conhecido por sua abordagem abrangente, considerando múltiplas vias de exposição, como ingestão,

inalação e contato dérmico. Essa perspectiva holística permite um exame completo das rotas potenciais pelas quais os contaminantes podem afetar a saúde humana (Santos *et al.*, 2024).

Nesta pesquisa, com base na metodologia apresentada por Santos *et al.*, (2024), utilizando o modelo USEPA e adaptado por Adimalla *et al.*, (2021), Karunanidhi (2020) e outros, (2020), foi avaliado o risco não cancerígeno da água potável para adultos (homens e mulheres) e crianças, como poder observado nas equações 5 e 6.

$$CDI = \frac{C \times IR \times ED \times EF}{ABW \times AET} \quad (\text{Equação 5})$$

$$HQ_{oral} = \frac{CDI}{RfD} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

*CDI* é a ingestão diária crônica (mg/kg/dia);

*C* é a concentração de  $\text{NO}_3^-$  em águas subterrâneas ( $\text{mg L}^{-1}$ );

*IR* é a taxa de ingestão diária de água (L/dia), 2,9 (L/dia) para homens e 2,2 (L/dia) para mulheres, e 1 (L/dia) para crianças (Universidade de Wisconsin-Usepa, 1989 *apud* Santos *et al.*, 2024.; SGB, 2024);

*ED* é a duração da exposição (anos), 12 anos para crianças, 79,0 anos para mulheres e 72,0 anos para homens, dados referentes ao ano de 2022 (Agência IBGE, 2023);

*EF* é a frequência de exposição (dias/ano), sendo 365 dias/ano para crianças, mulheres e homens (Universidade de Wisconsin-Usepa, 1989 *apud* Santos *et al.*, 2024).

*AET* é o tempo médio de exposição, 26.280 dias para homens, 28.835 dias para mulheres e 4.380 dias para crianças.

*ABW* é o peso corporal médio (UMBC) no Brasil para homens, mulheres e crianças é de 73 kg, 63 kg e 15 kg, respectivamente (IBGE, 2017 *apud* Santos *et al.*, 2024).

O quociente de risco é dado como HQ, onde:

*RfD* é a dose de referência do contaminante (mg/kg/dia), que é de 1,6 mg/kg/dia para  $\text{NO}_3^-$  com base na Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

(Universidade de Wisconsin-Usepa, 1989; Universidade de Wisconsin-Usepa, 1997 *apud* Santos *et al.*, 2024).

A partir da aplicação das equações 5 e 6, os dados foram distribuídos espacialmente por meio do método de interpolação *krigagem*.

#### 5.5.4 Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental para o NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N

O Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental para o NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N (*IRVS*) desenvolvido nesta Tese para a área de estudo se dará a partir da soma do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (*IVS*), da Vulnerabilidade Aquífera (*AV*) e do quociente de risco (HQ), dividido por 3 (Equação 7).

$$IRVS = \frac{IVS + VA + HQ_{oral}}{3} \quad (\text{Equação 7})$$

Após a elaboração do *IRVS*, pesquisou-se também dados relacionados a neoplasias de cólon, reto, ânus e estômago dos municípios que compõem a área de estudo. Esses dados foram correlacionados ao *IRVS* Médio presente na área de estudo.

#### 5.6 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO E REGRESSÃO QUANTÍLICA

Para avaliar a relação entre o *IRVS* e os índices de mortalidade por neoplasias, foi adotado o coeficiente de correlação de Spearman ( $\rho$ ), apropriado para identificar associações monotônicas mesmo quando os dados não seguem distribuição normal ou quando apresentam *outliers*. Esse método fundamenta-se em postos (ranks), o que o torna menos sensível a valores extremos que poderiam distorcer uma correlação linear simples, conforme a seguinte equação:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (\text{Equação 8})$$

$d_i$  representa a diferença entre os postos das variáveis para cada unidade amostral;  $n$  é o número total de observações.

A construção de um indicador *IRVS* Médio (média dos índices *IRVS*\_Homem, *IRVS*\_Mulher e *IRVS*\_Criança) buscou capturar de forma integrada o risco e a vulnerabilidade socioambiental da população. Em vez de analisar cada grupo etário separadamente, optou-se por agregar valores, supondo que a *IRVS* afeta toda a população do município de maneira sistêmica.

Adicionalmente, para considerar efeitos heterogêneos ao longo da distribuição das taxas de mortalidade, empregou-se a regressão quantílica, em vez de se limitar à média condicional (como na regressão linear clássica) (Koenker, 2005). Essa abordagem possibilita entender como o *IRVS* Médio influencia os municípios com taxas de mortalidade mais baixas (quantil 0.25), intermediárias (quantil 0.50) e altas (quantil 0.75), identificando eventuais padrões que ficariam mascarados em análises globais.

Antes de aplicar esses métodos, uma avaliação exploratória foi realizada para verificar a ausência de normalidade na distribuição de algumas variáveis de mortalidade, justificando a escolha dos métodos (Spearman e regressão quantílica).

A equação geral do modelo quantílico é dada por:

$$Q_y(\tau | x) = \beta_0(\tau) + \beta_1(\tau)x \quad (\text{Equação 9})$$

Onde  $Q_y\left(\frac{\tau}{x}\right)$  é o  $\tau$ -ésimo quantil da variável resposta, condicionado à variável explicativa  $x$ .

Dito isso, para alcançar os objetivos propostos nesta tese, foi essencial sistematizar todas as informações e dados coletados durante as etapas previstas nesta metodologia. A organização e estruturação dessas informações requerem ética e coerência, garantindo que os resultados obtidos sejam sólidos e imparciais.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

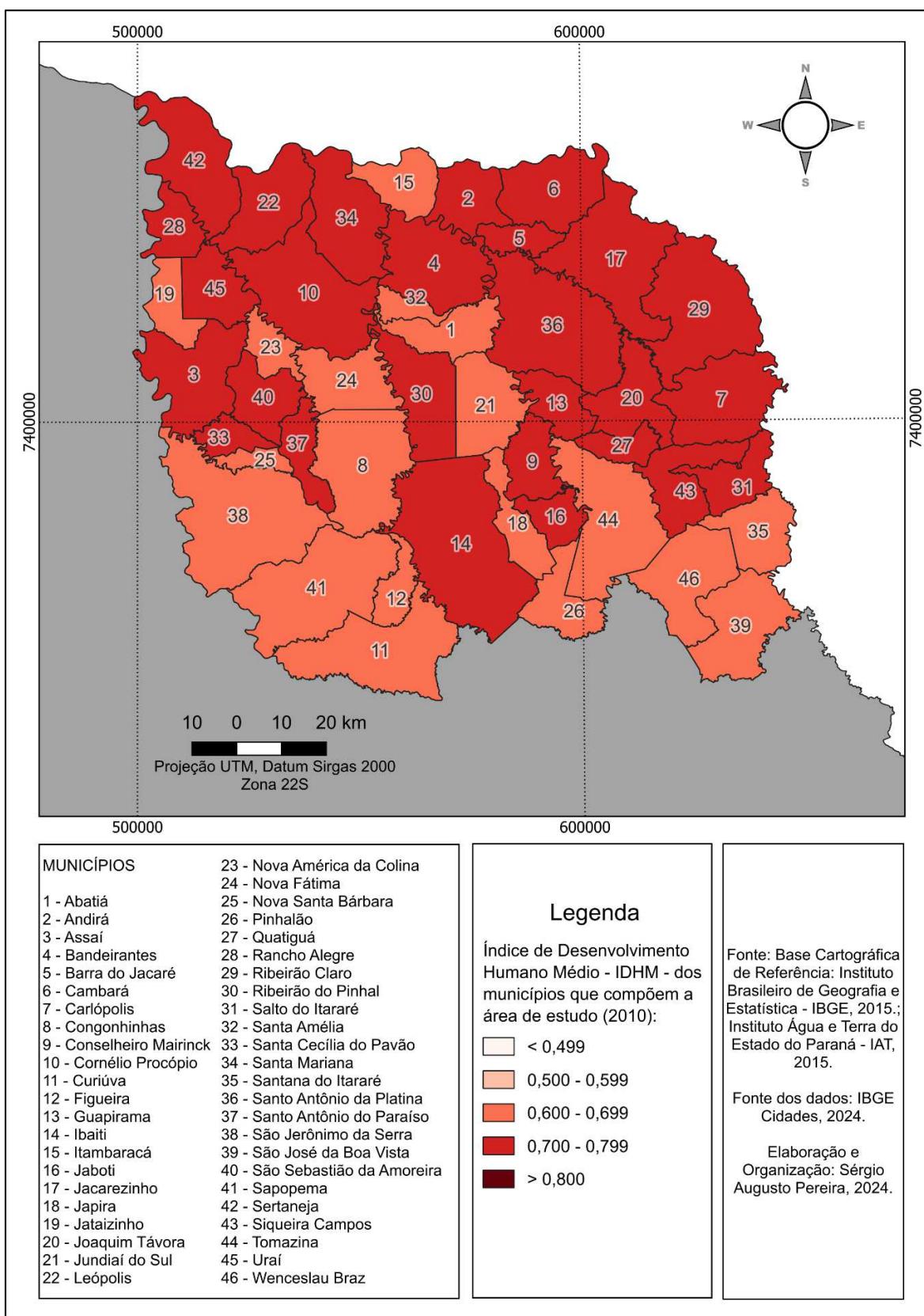
### 6.1 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA A ELABORAÇÃO DA METODOLOGIA DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL NA REGIÃO DO NORTE PIONEIRO DO PARANÁ

Neste subtópico foram apresentadas as variáveis utilizadas na elaboração da metodologia de Vulnerabilidade Socioambiental para a área de estudo, sendo elas: o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), o percentual de atendimento aos serviços de esgotamento sanitário por município e o uso e ocupação do solo.

A primeira variável analisada foi o IDHM dos municípios que integram a região do Norte Pioneiro do estado do Paraná (Figura 18). Conforme demonstrado na Figura 18, todos os municípios da área avaliada apresentavam em 2010 IDHM entre 0,600 e 0,799, intervalo que corresponde às faixas classificadas neste estudo como de vulnerabilidade socioambiental baixa e média.

A partir da análise espacial, observa-se que 27 municípios foram classificados com vulnerabilidade baixa e 19 com vulnerabilidade média, com base na distribuição dos valores do IDHM. Entre os municípios com os maiores índices destacam-se Cornélio Procópio (0,759), Barra do Jacaré (0,744) e Jacarezinho (0,743). Por outro lado, os menores índices foram observados em São Jerônimo da Serra (0,637), Santa Amélia (0,653) e Sapopema (0,655), indicando condições socioeconômicas mais vulneráveis dentro da área de estudo.

**Figura 18** - Índice de Desenvolvimento Humano Médio dos municípios que compõem a região do Norte Pioneiro do estado do Paraná.



Na Figura 19, observa-se o mapa relacionado ao percentual de atendimento dos serviços de tratamento de esgoto por município na região do Norte Pioneiro do Estado do Paraná, sendo a segunda variável apresentada na metodologia abordada neste tópico. Conforme pode ser observada na Tabela 7, os municípios que possuem as maiores porcentagens de atendimento dos serviços de tratamento de esgoto adequados são Cambará (94,12%), Bandeirantes (91,71%), Cornélio Procópio (90,84%) e Jataizinho (90,49%). Os municípios com as menores porcentagens de atendimento desse serviço são Congonhinhas (0,41%), São Jerônimo da Serra (0,46%) Nova Fátima (0,62%), Nova Santa Bárbara (0,63%) e Leópolis (0,71%).

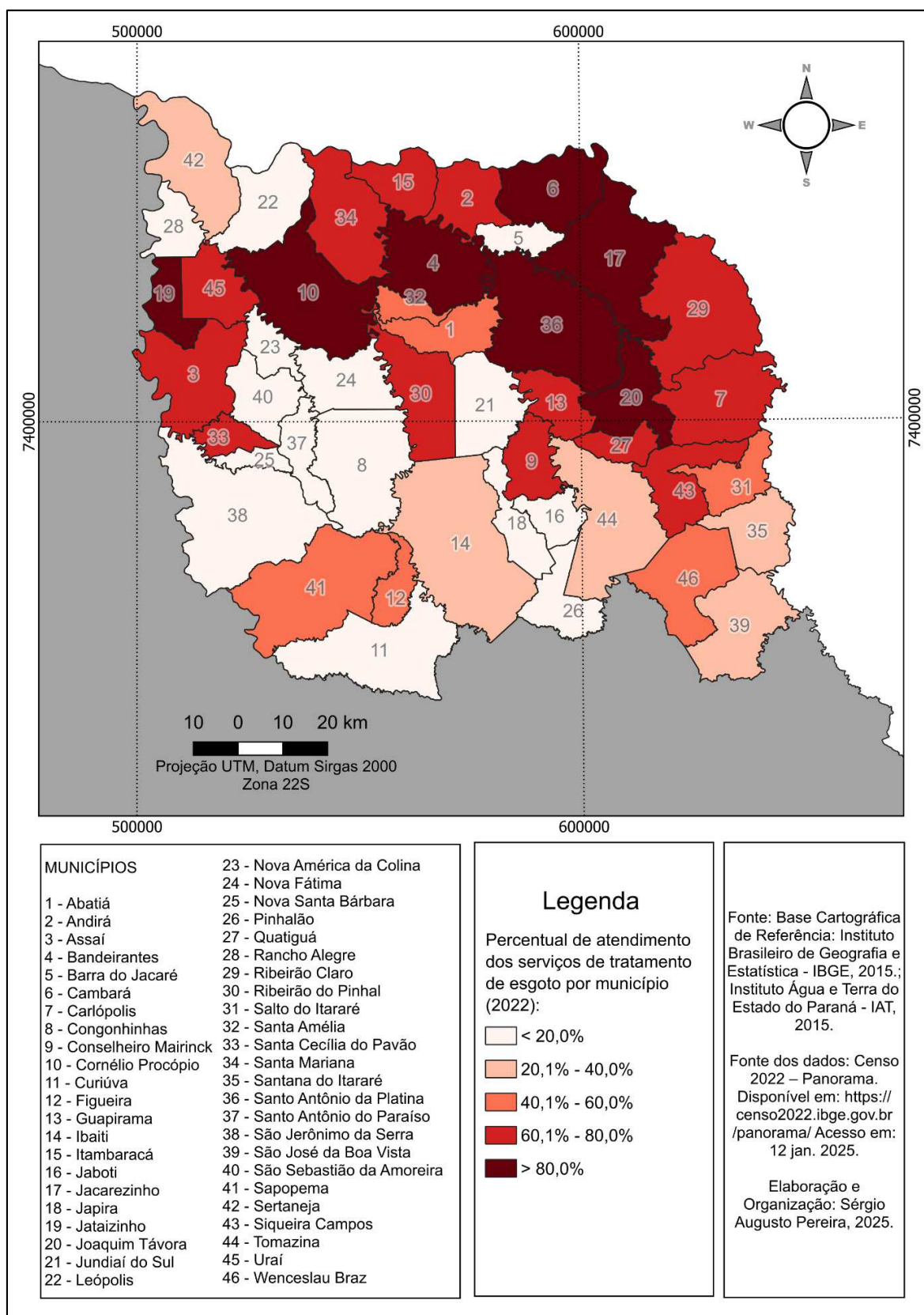
**Tabela 7** - Porcentagem de atendimento dos serviços de tratamento de esgoto por município (dados de 2022).

<b>Municípios</b>	<b>(%)</b>	<b>Municípios</b>	<b>(%)</b>
Abatiá	45,76%	Nova Fátima	0,62%
Andirá	62,52%	Nova Santa Bárbara	0,63%
Assaí	74,42%	Pinhalão	4,46%
Bandeirantes	91,71%	Quatiguá	78,69%
Barra do Jacaré	6,89%	Rancho Alegre	1,13%
Cambará	94,12%	Ribeirão Claro	75,56%
Carlópolis	65,77%	Ribeirão do Pinhal	62,64%
Congonhinhas	0,41%	Salto do Itararé	45,62%
Conselheiro Mairinck	70,62%	Santa Amélia	47,83%
Cornélio Procópio	90,84%	Santa Cecília do Pavão	66,1%
Curiúva	4,28%	Santa Mariana	70,28%
Figueira	42,94%	Santana do Itararé	34,11%
Guapirama	69,42%	Santo Antônio da Platina	85,1%
Ibaiti	30,96%	Santo Antônio do Paraíso	1,1%
Itambaracá	71,11%	São Jerônimo da Serra	0,46%
Jaboti	13,64%	São José da Boa Vista	28,33%
Jacarezinho	86,6%	São Sebastião da Amoreira	1,61%
Japira	6,71%	Sapopema	42,86%
Jataizinho	90,49%	Sertaneja	31,77%
Joaquim Távora	80,16%	Siqueira Campos	66,47%
Jundiá do Sul	2,08%	Tomazina	38,36%
Leópolis	0,71%	Uraí	77,06%
Nova América da Colina	18,13%	Wenceslau Braz	53,58%

Fonte: IBGE, 2025.; Organizado pelo autor, 2025.

Dos 46 municípios que compõem a região, apenas 7 municípios têm mais de 80% de sua população atendida pelos serviços de tratamento de esgoto adequado e 15 municípios, ou seja, quase um terço dos municípios têm menos que 20% da população atendida por esses serviços (Figura 19).

**Figura 19** - Percentual de atendimento dos serviços de tratamento de esgoto por município.

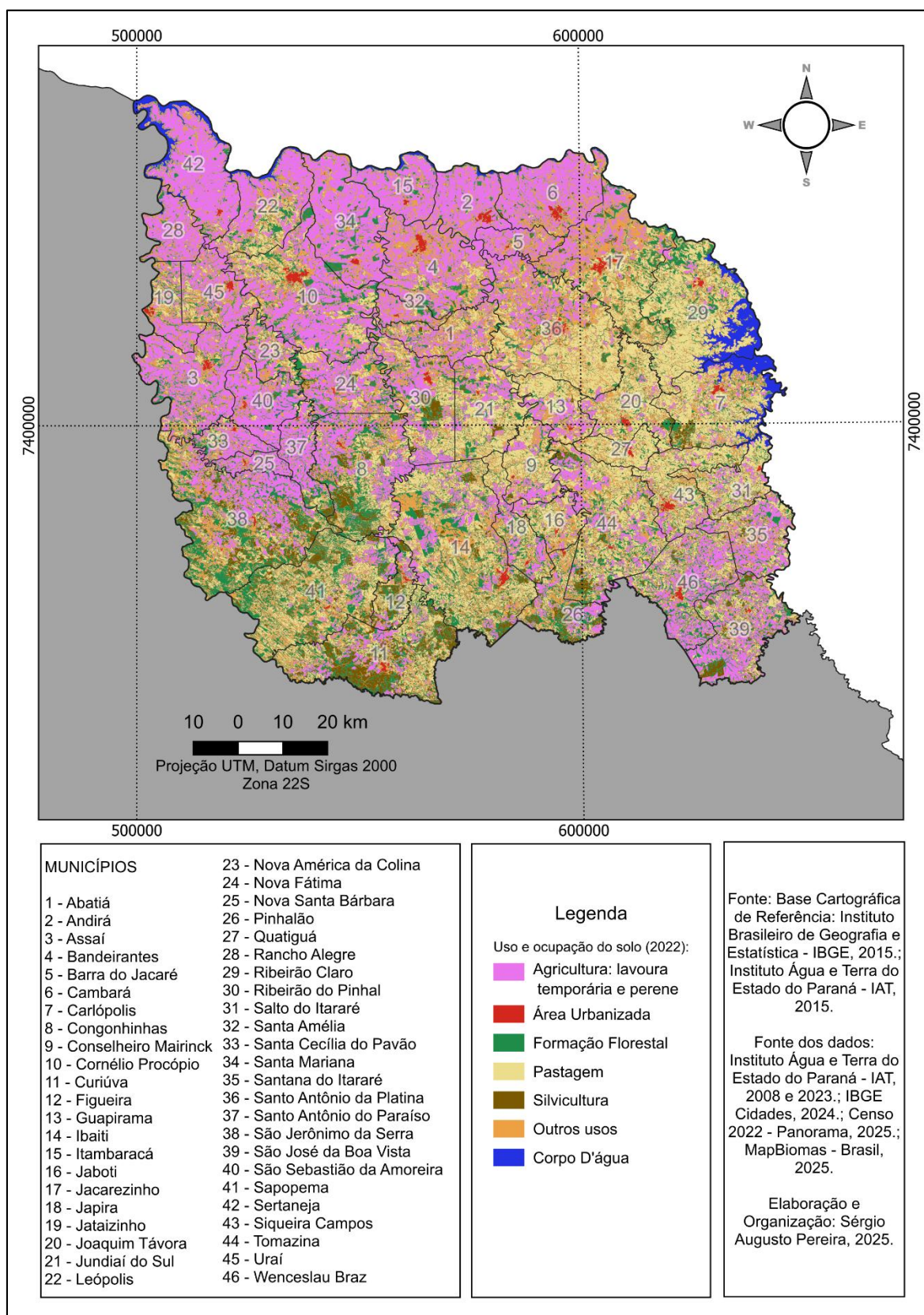


Com base na análise espacial e nos dados cartográficos, observou-se que sete municípios com cobertura superior a 80% dos serviços de tratamento de esgoto foram classificados com vulnerabilidade socioambiental muito baixa. São eles: Cambará, Bandeirantes, Cornélio Procópio, Jataizinho, Jacarezinho, Santo Antônio da Platina e Joaquim Távora. Na sequência, treze municípios com cobertura entre 60,1% e 80% foram classificados com vulnerabilidade baixa: Quatiguá, Uraí, Ribeirão Claro, Assaí, Itambaracá, Conselheiro Mairinck, Santa Mariana, Guapirama, Siqueira Campos, Santa Cecília do Pavão, Carlópolis, Ribeirão do Pinhal e Andirá.

Seis municípios apresentaram cobertura entre 40,1% e 60% e foram classificados com vulnerabilidade média. São eles: Wenceslau Braz, Santa Amélia, Abatiá, Salto do Itararé, Figueira e Sapopema. Já os municípios de Tomazina, Santana do Itararé, Sertaneja, Ibaiti e São José da Boa Vista apresentaram cobertura entre 20,1% e 40%, sendo enquadrados na categoria de alta vulnerabilidade. Por fim, quinze municípios, representando pouco menos de um terço da área de estudo, apresentaram cobertura inferior a 20% e, portanto, vulnerabilidade socioambiental muito alta. Estes municípios incluem: Nova América da Colina, Jaboti, Barra do Jacaré, Japira, Pinhalão, Curiúva, Jundiá do Sul, São Sebastião da Amoreira, Rancho Alegre, Santo Antônio do Paraíso, Leopólis, Nova Santa Bárbara, Nova Fátima, São Jerônimo da Serra e Congonhinhas.

A terceira variável considerada na análise de vulnerabilidade socioambiental foi o uso e ocupação do solo (Figura 20). As classes utilizadas foram: formação florestal (vulnerabilidade muito baixa), silvicultura (baixa), pastagem (média), outros usos (alta) e áreas urbanizadas ou de agricultura intensiva (muito alta). Todos os municípios da área de estudo apresentam pelo menos um fragmento classificado como agricultura. Os municípios com maior concentração de áreas agrícolas — tanto lavouras temporárias quanto permanentes — estão localizados predominantemente na porção norte do recorte espacial, com destaque para Sertaneja, Rancho Alegre, Santa Mariana, Itambaracá, Andirá e Cambará. Além disso, todos os municípios analisados também possuem áreas urbanizadas, o que reforça a complexidade do uso do solo e seus impactos potenciais sobre a vulnerabilidade local.

**Figura 20** - Mapa de uso e ocupação do solo da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná.



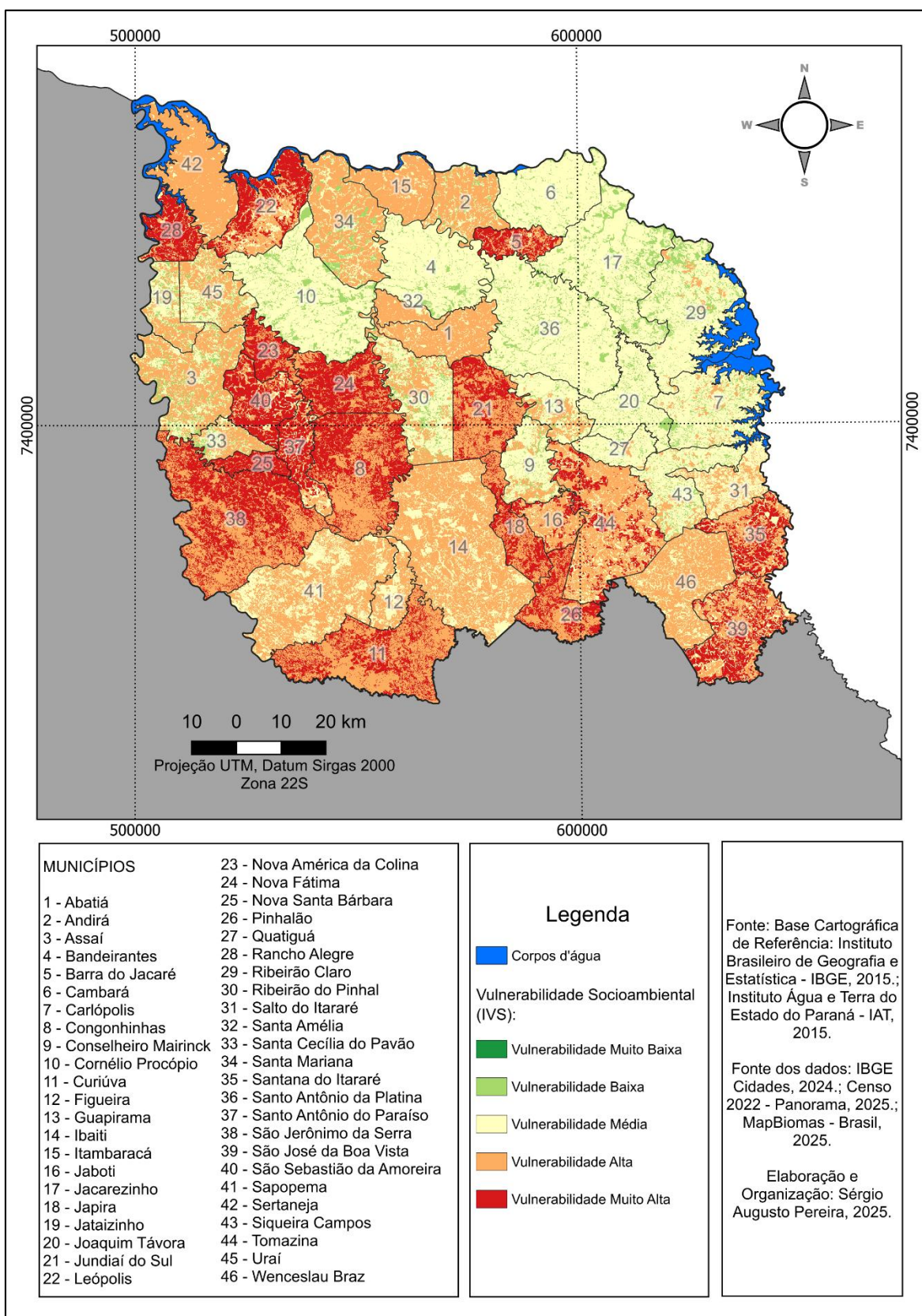
Todos os municípios que compõem a região do Norte Pioneiro do Paraná apresentam, em maior ou menor grau, fragmentos de áreas classificadas como formação florestal. As maiores extensões dessa classe concentram-se na porção sudoeste da área de estudo, destacando-se os municípios de Congonhinhas, São Jerônimo da Serra e Sapopema. A classe pastagem está presente em praticamente todos os municípios, com maior predominância nas porções leste e sul do território, especialmente em Carlópolis, Ribeirão Claro, Quatiguá, Joaquim Távora e Siqueira Campos. Em relação à silvicultura, os municípios com áreas expressivas dessa atividade são Congonhinhas, Curiúva, Figueira, Ibaiti, Pinhalão, Ribeirão do Pinhal, Santo Antônio do Paraíso, São Jerônimo da Serra, São José da Boa Vista, Sapopema e Tomazina.

As áreas classificadas com a cor laranja na legenda da Figura 20 se referem a outros usos. Essa classe se apresenta, em pequenos fragmentos, em todos os municípios que compõem a região estudada. Segundo o MapBiomas (2022), essas áreas classificadas como outros usos são áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura e áreas de vegetação urbana, incluindo vegetação cultivada e vegetação natural florestal e não-florestal.

A partir da integração das três variáveis analisadas — IDHM, cobertura de esgotamento sanitário e uso e ocupação do solo — foi possível gerar o mapa de Vulnerabilidade Socioambiental da área de estudo (Figura 21). A análise espacial revelou que a maior parte da região apresenta níveis de vulnerabilidade que variam de média a muito alta. Não foram identificadas áreas classificadas com vulnerabilidade socioambiental muito baixa.

Os municípios com maiores extensões de áreas classificadas com vulnerabilidade baixa são Bandeirantes, Cambará, Cornélio Procópio, Jacarezinho, Joaquim Távora e Santo Antônio da Platina. Embora outros municípios apresentem essa classe, ela aparece apenas de forma pontual em seus territórios. Quase todos os municípios da área de estudo apresentam fragmentos classificados como de vulnerabilidade média, com exceção de Congonhinhas, Curiúva, Japira, Jundiá do Sul, Nova América da Colina, Nova Fátima, Nova Santa Bárbara, São Jerônimo da Serra e Pinhalão. Quanto à classe de vulnerabilidade alta, observa-se que apenas Cambará, Cornélio Procópio, Bandeirantes, Jacarezinho, Joaquim Távora e Santo Antônio da Platina não apresentam fragmentos dessa classificação em seus limites territoriais.

**Figura 21 - Vulnerabilidade Socioambiental na região do Norte Pioneiro do Estado do Paraná.**



Os municípios que apresentam fragmentos classificados como de vulnerabilidade socioambiental muito alta são: Barra do Jacaré, Congonhinhas, Curiúva, Jaboti, Japira, Jundiá do Sul, Leopólis, Nova América da Colina, Nova Fátima, Pinhalão, Rancho Alegre, Nova Santa Bárbara, Santana do Itararé, Santo Antônio do Paraíso, São Jerônimo da Serra, São José da Boa Vista, São Sebastião da Amoreira e Tomazina. Observa-se, portanto, que diversos municípios do Norte Pioneiro do Paraná apresentam condições críticas, com destaque para Nova América da Colina, Nova Fátima, Congonhinhas, São Jerônimo da Serra, Nova Santa Bárbara, Curiúva, Jundiá do Sul, Japira e Pinhalão, onde predominam áreas com vulnerabilidade variando entre as classes alta e muito alta, representando cerca de 19% da totalidade dos municípios da área de estudo.

Esse panorama evidencia a necessidade urgente de atenção por parte do poder público, visando à formulação de políticas integradas para a redução da vulnerabilidade socioambiental na região. Entre as ações prioritárias, destaca-se a ampliação da cobertura dos serviços de tratamento de água e esgoto, bem como o fortalecimento de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento humano, com foco no aumento da escolarização, na geração de emprego e renda, e na melhoria das condições de saúde da população (Branco *et al.*, 2025; Terada, 2022; Oliveira, 2023). Além disso, é fundamental promover o ordenamento territorial e o planejamento do uso e ocupação do solo, respeitando as especificidades socioambientais locais. A adoção de medidas articuladas e territorialmente sensíveis contribuirá de forma significativa para a mitigação dos fatores que ampliam a vulnerabilidade e para a promoção de maior equidade socioambiental na região.

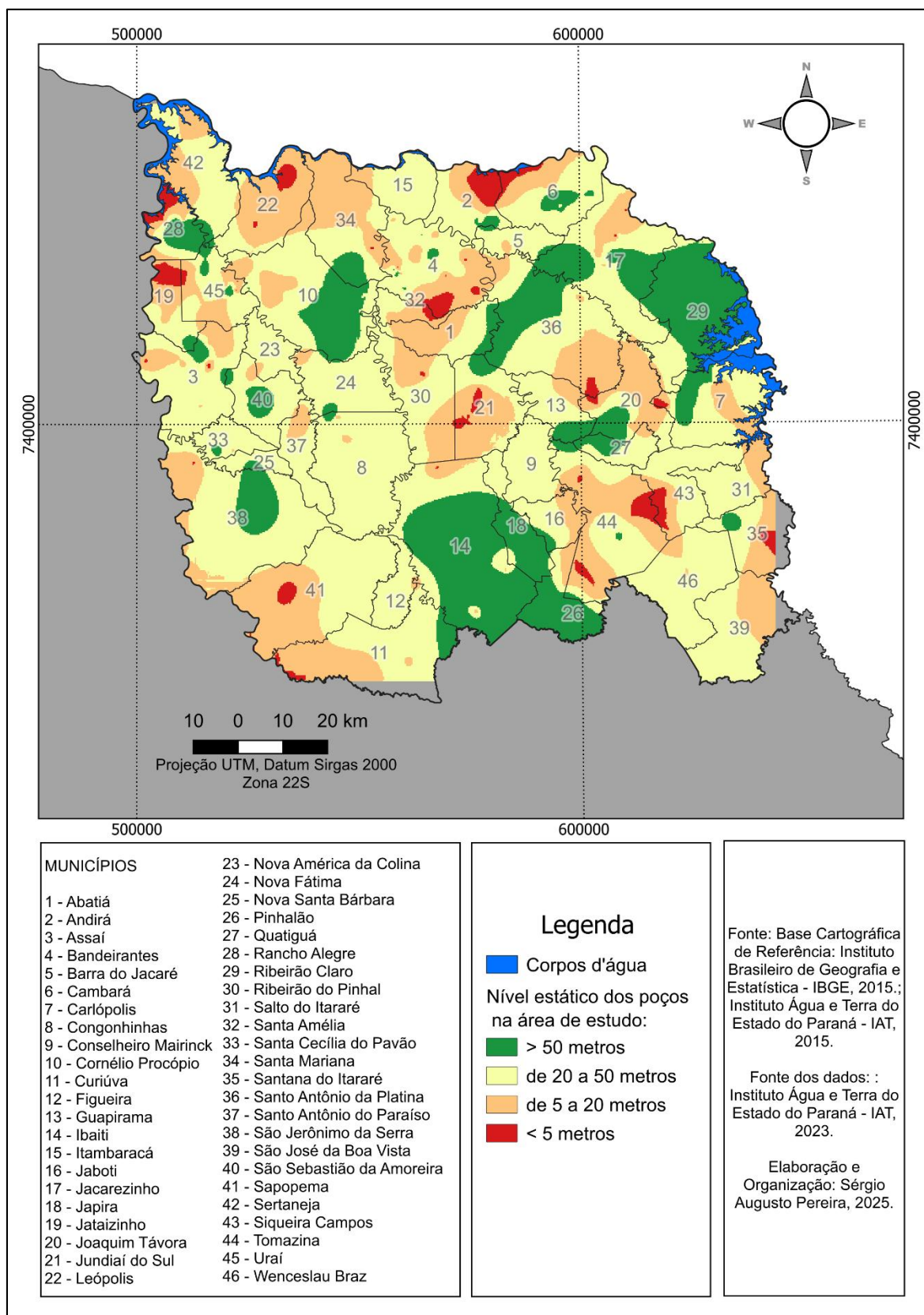
## 6.2 VULNERABILIDADE AQUÍFERA DA REGIÃO DO NORTE PIONEIRO DO ESTADO DO PARANÁ

Na aplicação do método GOD, foi atribuído peso 1,0 para todo o recorte espacial da pesquisa no parâmetro referente ao grau de confinamento do aquífero, uma vez que a totalidade da área de estudo foi caracterizada como aquífero não confinado. Em relação à ocorrência dos estratos de cobertura, a área foi dividida em três compartimentos geológicos: a cobertura de solos residuais sobre as rochas basálticas do Grupo Serra Geral (peso 0,4), os depósitos flúvio-glaciais associados ao embasamento paleozoico (peso 0,6) e os depósitos arenosos de origem eólica sobre o Sistema Aquífero Guarani (peso 0,8), conforme detalhado na metodologia.

O terceiro parâmetro considerado foi a profundidade do nível estático da água subterrânea, representada por meio de mapa de interpolação (Figura 22). A análise permite identificar que os maiores valores de profundidade, superiores a 50 metros, concentram-se predominantemente nas porções sul e leste da área de estudo, com destaque para os municípios de Carlópolis, Ibaiti, Japira e Pinhalão, além de setores pontuais em Cornélio Procópio, Santo Antônio da Platina, Rancho Alegre, São Jerônimo da Serra, entre outros.

Verifica-se que todos os municípios possuem pelo menos algum trecho com profundidade do nível estático entre 20 e 50 metros. Já áreas com profundidade entre 5 e 20 metros estão presentes na quase totalidade dos municípios, com exceção de Nova Santa Bárbara e Japira. Por sua vez, os municípios que apresentam áreas com nível estático inferior a 5 metros incluem: Andirá, Assaí, Bandeirantes, Cambará, Carlópolis, Curiúva, Ibaiti, Jacarezinho, Jataizinho, Joaquim Távora, Jundiá do Sul, Leópolis, Rancho Alegre, Ribeirão do Pinhal, Santa Amélia, Santa Mariana, Santana do Itararé, Santo Antônio da Platina, São Jerônimo da Serra, Sapopema, Sertaneja, Siqueira Campos, Tomazina e Uraí.

**Figura 22** - Nível estático das águas subterrâneas para a aplicação do método GOD.



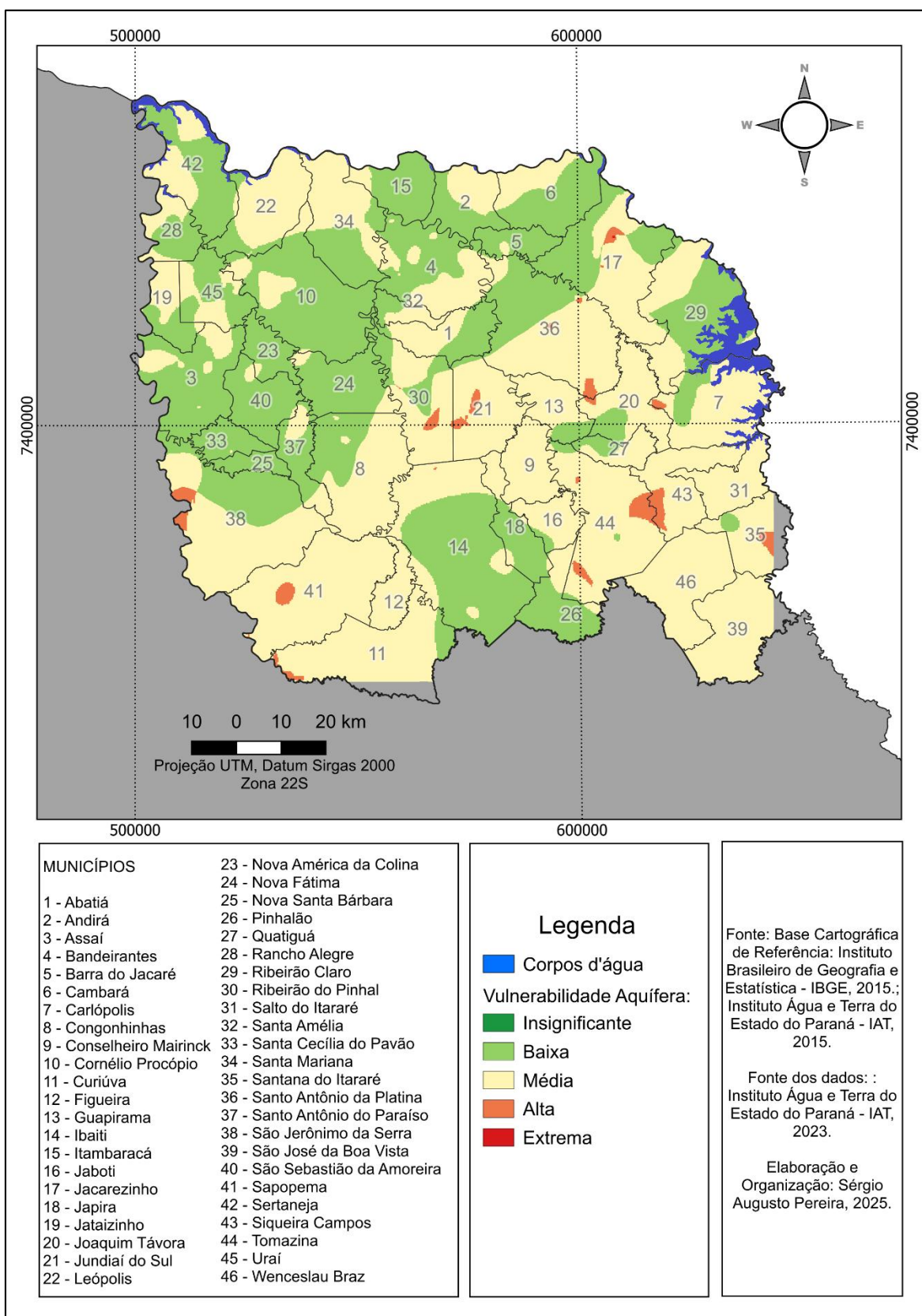
A Vulnerabilidade Aquífera da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná pode ser observada na Figura 23. Não foram identificadas áreas classificadas com vulnerabilidade insignificante. A classe de vulnerabilidade baixa está presente na maior parte da área de estudo, abrangendo praticamente todos os municípios, com exceção de Conselheiro Mairinck, Santana do Itararé, São José da Boa Vista, Sapopema, Siqueira Campos e Wenceslau Braz. Já a vulnerabilidade média se distribui de forma ampla, estando ausente apenas no município de Nova Santa Bárbara.

A classe de vulnerabilidade alta foi identificada em fragmentos localizados nos municípios de Carlópolis, Curiúva, Ibaiti, Joaquim Távora, Jacarezinho, Jundiá do Sul, Ribeirão do Pinhal, Santana do Itararé, Santo Antônio da Platina, São Jerônimo da Serra, Sapopema, Siqueira Campos e Tomazina. A vulnerabilidade aquífera extrema, por sua vez, foi identificada em um pequeno recorte localizado no município de Jacarezinho. Essa classificação decorre da combinação de três fatores com elevado grau de suscetibilidade: a presença de aquífero não confinado (peso 1,0), afloramento do Arenito Botucatu — que compõe o Aquífero Guarani (peso 0,8) — e profundidade do nível estático inferior a 5 metros (peso 1,0), conforme registrado em três poços próximos à área. A multiplicação desses valores resultou na classificação de vulnerabilidade extrema.

Essa área representa um ponto de atenção prioritária, pois reúne as condições mais favoráveis à percolação de contaminantes até o aquífero. A presença de rochas sedimentares porosas, aliada à profundidade rasa do lençol freático e à ausência de confinamento, eleva significativamente o risco de contaminação das águas subterrâneas nesse setor (Teixeira *et al.*, 2009; Fitts, 2015; Rebouças, 2015).

De modo geral, a vulnerabilidade aquífera se mostrou alta em pequenas áreas de diversos municípios da região, o que acende um sinal de alerta para a necessidade de medidas voltadas à proteção dos aquíferos (Figura 23). Como discutido anteriormente, aproximadamente um terço dos municípios apresenta cobertura de serviços de esgotamento sanitário inferior a 20%, o que agrava o risco de infiltração de esgoto doméstico em áreas hidrogeologicamente frágeis (Rebouças, 2015; Melo, 2022).

**Figura 23 - Vulnerabilidade Aquífera da região no Norte Pioneiro do estado do Paraná - Método GOD.**



Além da carência de infraestrutura sanitária, grande parte do território é ocupada por atividades agropecuárias intensivas. O uso recorrente de fertilizantes nitrogenados e agrotóxicos potencializa a possibilidade de contaminação difusa das águas subterrâneas (Terada 2022; Oliveira 2023), especialmente em áreas com solos mais permeáveis e aquíferos rasos, como demonstrado nos resultados obtidos nesta pesquisa.

Tanto os dejetos humanos quanto os fertilizantes nitrogenados podem contribuir significativamente para o aumento da concentração de  $\text{NO}_3\text{-N}$  nas águas subterrâneas, promovendo sua contaminação. Nesse sentido, torna-se essencial o cruzamento de dados relacionados a fatores sociais e ambientais, como o uso e ocupação do solo, o percentual de cobertura dos serviços de esgotamento sanitário e o índice de vulnerabilidade aquífera, a fim de compreender como essas variáveis interagem e influenciam o risco ambiental, com implicações diretas à saúde humana.

Diante desse cenário, é fundamental que o poder público, a iniciativa privada e a sociedade civil adotem estratégias integradas para o monitoramento contínuo da qualidade das águas subterrâneas, com especial atenção às áreas de maior suscetibilidade, sem negligenciar o restante da região. Entre as ações prioritárias, destacam-se a ampliação das análises físico-químicas regulares, a implementação de políticas de cadastramento de poços, o fortalecimento da fiscalização e o incentivo à adoção de boas práticas no manejo agrícola e sanitário. Essas medidas são essenciais para prevenir contaminações e garantir a preservação dos recursos hídricos subterrâneos a longo prazo (Braga; Porto; Tucci, 2015; Salalti; Lemos; Salati, 2025; Sousa, 2021; Pires, 2023).

### 6.3 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DO NORTE PIONEIRO DO ESTADO DO PARANÁ

Neste subtópico foi apresentada a análise dos dados de  $\text{NO}_3\text{-N}$  na área de estudo, bem como a sua distribuição espacial por meio do método *krigagem*. Após a análise desses dados, foi feita uma discussão sobre os dados primários coletados no trabalho de campo, fazendo a descrição de cada ponto onde as amostras de água foram coletadas.

Na área de estudo, foram analisados 401 poços com dados disponíveis sobre o parâmetro de  $\text{NO}_3\text{-N}$ , conforme a base de dados do Instituto Água e Terra do Estado do Paraná. A Tabela 8 apresenta a distribuição desses poços por município, abrangendo toda a região estudada. Ressalta-se que somente os poços que possuíam registros do referido parâmetro foram considerados na análise.

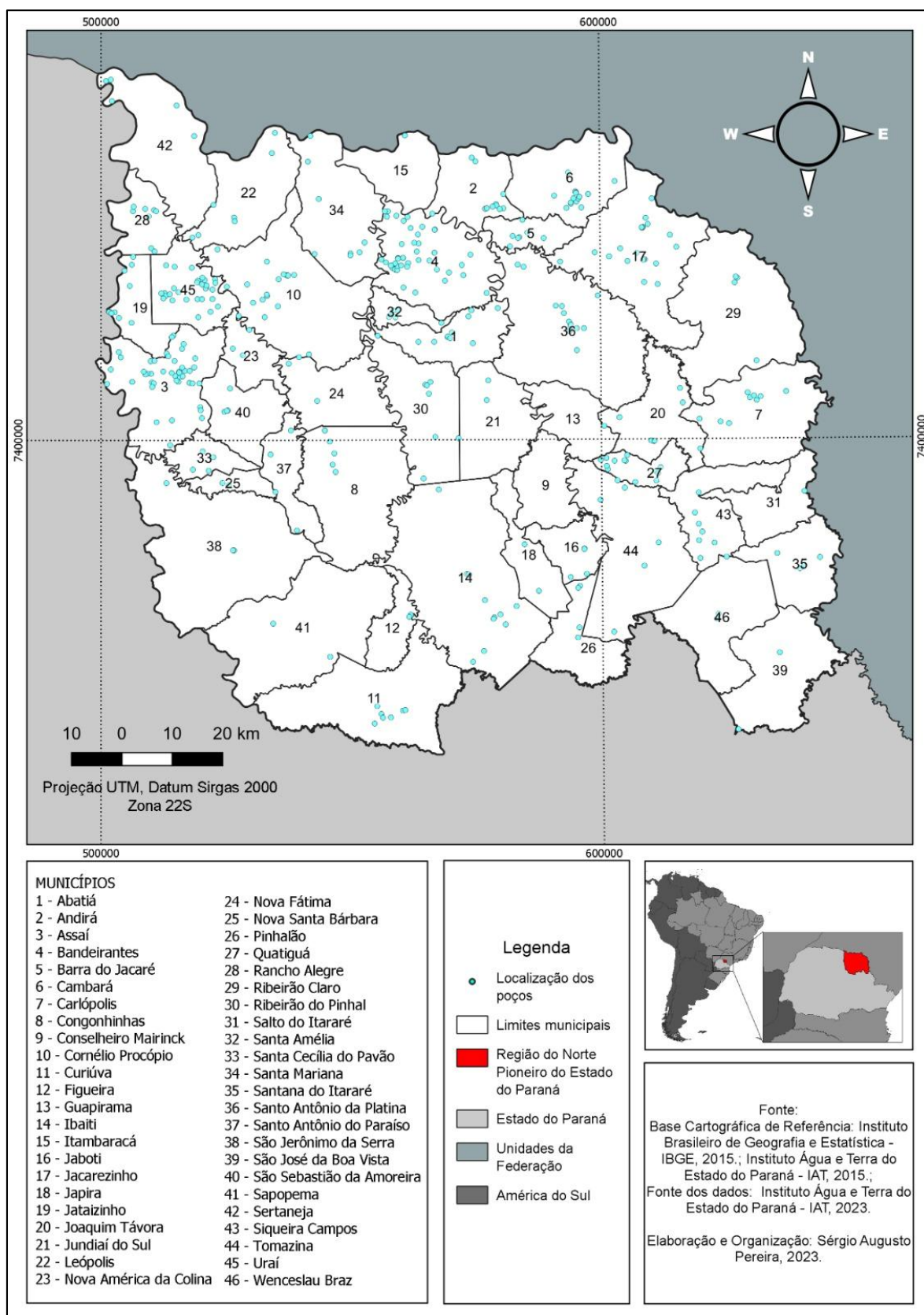
Os municípios com maior número de poços monitorados foram Bandeirantes e Assaí, com 47 e 45 unidades, respectivamente. Por outro lado, o município de Conselheiro Mairinck não apresentou nenhum poço com dados de  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Já Guapirama, Itambaracá e Salto do Itararé contaram com apenas um poço cada. A localização espacial de todos os poços utilizados na pesquisa pode ser visualizada na Figura 24.

**Tabela 8** - Número de poços por municípios que contém em sua amostra o parâmetro de nitrato.

<b>Município</b>	<b>Quantidade de poços por município</b>
Abatiá	12
Andirá	12
Assaí	45
Bandeirantes	47
Barra do Jacaré	7
Cambará	17
Carlópolis	9
Congonhinhas	6
Conselheiro Mairinck	0
Cornélio Procópio	18
Curiúva	7
Figueira	3
Guapirama	1
Ibaiti	12
Itambaracá	1
Jaboti	4
Jacarezinho	21
Japira	2
Jataizinho	12
Joaquim Távora	7
Jundiá do Sul	3
Leópolis	7
Nova América da Colina	3
Nova Fátima	3
Nova Santa Bárbara	2
Pinhalão	4
Quatiguá	13
Rancho Alegre	8
Ribeirão Claro	4
Ribeirão do Pinhal	6
Salto do Itararé	1
Santa Amélia	6
Santa Cecília do Pavão	4
Santa Mariana	8
Santana do Itararé	5
Santo Antônio da Platina	15
Santo Antônio do Paraíso	4
São Jerônimo da Serra	3
São José da Boa Vista	2
São Sebastião da Amoreira	5
Sapopema	2
Sertaneja	5
Siqueira Campos	8
Tomazina	6
Uraí	29
Wenceslau Braz	2
<b>Recorte da área de estudo</b>	<b>401</b>

Fonte: IAT, 2023.; Organizado pelo autor, 2025.

**Figura 24** - Localização dos poços que dispõem de análise de nitrato, na base de dados do IAT, no Norte Pioneiro paranaense.



Observando a distribuição espacial da concentração de  $\text{NO}_3\text{-N}$  na área de estudo desta pesquisa, considera-se que os valores dos parâmetros de  $\text{NO}_3\text{-N}$  estão bem distribuídos. Das 401 amostras, 390 amostras possuem concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$  abaixo do estabelecido pela Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, que é de 10 mg/L, e 11 amostras estão acima (Figura 25).

As amostras com concentrações acima da estabelecida pela Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021 se encontram nos municípios de Bandeirantes, no poço P99 (20,210 mg/L), Cambará no P133 (13,000 mg/L), Jacarezinho, nos poços P213 (11,320 mg/L), P217 (11,490 mg/L) e P218 (14,590 mg/L), Quatiguá, nos P271 (12,400 mg/L), P272 (11,100 mg/L) e P273 (11,970 mg/L), Tomazina no poço P368 (20,100 mg/L) e Uraí, nos poços P377 (10,600 mg/L) e P383 (26,900 mg/L) (Tabela 9).

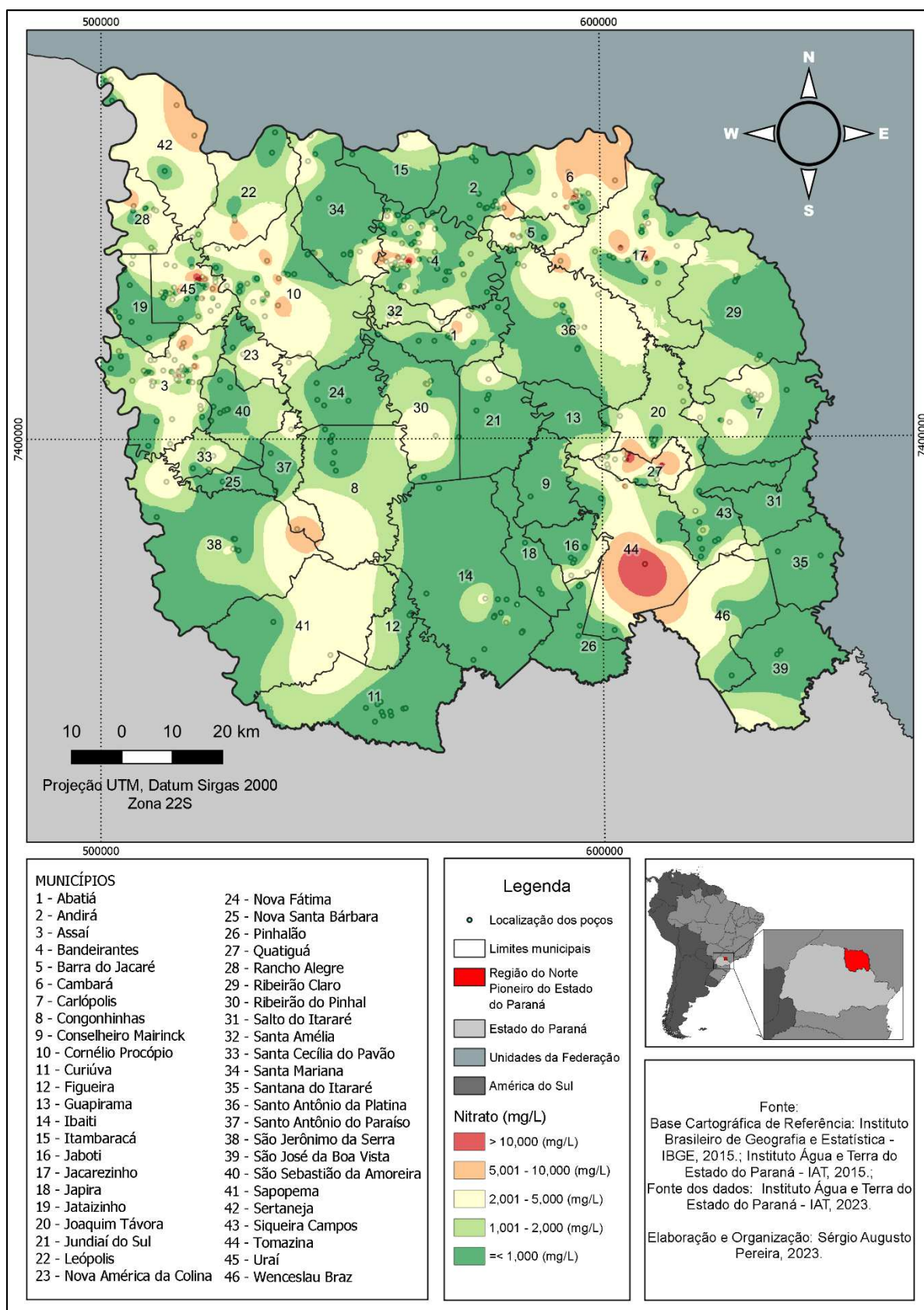
**Tabela 9** - Municípios da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná que possuem poços com concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$  acima do estabelecido pela legislação brasileira - 10 mg/L.

Municípios	Poços e concentrações de $\text{NO}_3\text{-N}$
Bandeirantes	P99 - 20,210 mg/L
Cambará	P133 - 13,000 mg/L
Jacarezinho	P213 - 11,320 mg/L; P217 - 11,490 mg/L; P218 - 14,590 mg/L
Quatiguá	P271 - 12,400 mg/L; P272 - 11,100 mg/L; P273 - 11,970 mg/L
Tomazina	P368 - 20,100 mg/L
Uraí	P377 - 10,600 mg/L; P383 - 26,900 mg/L

**Fonte:** Instituto Água e Terra do estado do Paraná, 2023.; Organizado pelo Autor, 2025.

Analisando a Figura 25, verifica-se que os municípios onde têm as maiores concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$  estão localizados nas porções norte e sudeste da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná, sendo observado uma mancha significativa do parâmetro de  $\text{NO}_3\text{-N}$  acima de 10 mg/L no município de Tomazina. Constata-se também algumas manchas menores com concentração de  $\text{NO}_3\text{-N}$  acima de 10 mg/L nos municípios de Quatiguá, Bandeirantes e Uraí, além de outras duas manchas bem menores nos municípios de Jacarezinho e Cambará.

**Figura 25** - Mapa da distribuição espacial de nitrato (mg/L) nas águas subterrâneas da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná.



De acordo com a Tabela 10 e a Figura 26, dos 401 poços que apresentam concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$ , 195 poços (48,6%) têm concentrações menores que 1,0 mg/L, enquanto 57 poços (14,2%) apresentam concentrações entre 1,0 e 2,0 mg/L. Além disso, 41 amostras (10,2%) possuem concentrações entre 2,0 e 3,0 mg/L, 42 poços (10,5%) apresentam concentrações entre 3,0 e 4,0 mg/L, e 19 poços (4,7%) têm concentrações entre 4,0 e 5,0 mg/L. No intervalo de 5,0 a 6,0 mg/L, foram encontradas 12 amostras (3,0%), enquanto 13 poços (3,2%) possuem concentrações entre 6,0 e 7,0 mg/L. Apenas 3 poços (0,7%) apresentam concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$  entre 7,0 e 8,0 mg/L, 5 amostras (1,2%) entre 8,0 e 9,0 mg/L, e 3 poços (0,7%) entre 9,0 e 10,0 mg/L. Por fim, 11 amostras (2,7%) apresentam concentrações superiores a 10,0 mg/L.

**Tabela 10** - Quantidade de poços por intervalo de parâmetros de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas dos aquíferos da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná.

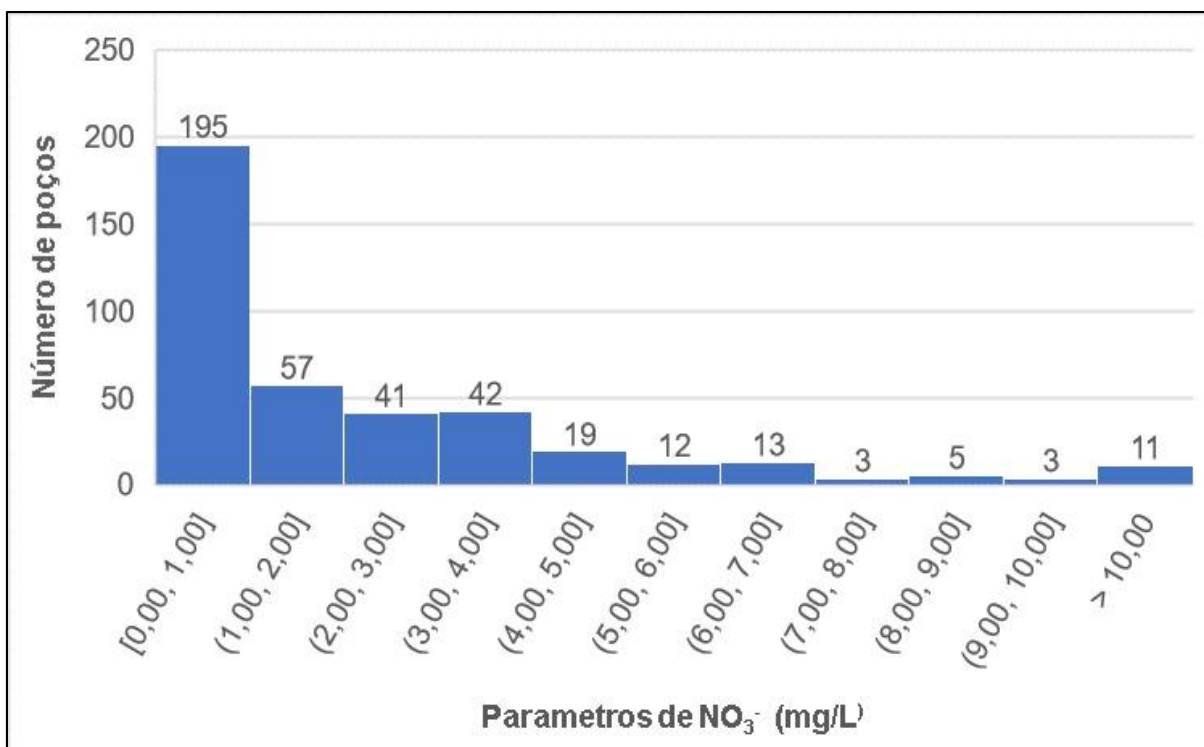
Parâmetros de $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	Quantidades de poços
Menor que 1,000	195
1,001 - 2,000	57
2,001 - 3,000	41
3,001 - 4,000	42
4,001 - 5,000	19
5,001 - 6,000	12
6,001 - 7,000	13
7,001 - 8,000	3
8,001 - 9,000	5
9,001 - 10,000	3
Maior que 10,000	11

**Fonte:** Instituto Água e Terra do estado do Paraná, 2023.; Organizado pelo Autor, 2025.

Manassés (2009) explicou que concentrações maiores que 5,0 mg/L de  $\text{NO}_3\text{-N}$  (como nitrogênio) pode ser um indicio de possíveis contaminações por fertilizantes ou dejetos de animais. Alguns estudos mostraram que valores de  $\text{NO}_3\text{-N}$  acima de 5 mg/L em água subterrâneas podem ser indicativos de contaminação antrópica (Santos, 2008; CRH/ CTAS, 2019). Dessa forma, levando em conta esse dado e as informações trazidas por Santos (2008) e Manassés (2009), ou seja, considerando a

concentração  $\text{NO}_3\text{-N}$  tendo como limite de 5 mg/L, a área de estudo desta pesquisa pode ter 47 poços em que suas águas podem estar sujeitas à contaminação por  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

**Figura 26** - Parâmetros de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas dos aquíferos da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná.



Fonte: Instituto Água e Terra do estado do Paraná, 2023.; Organizado pelo Autor, 2025.

Observando a Tabela 11, percebe-se que a menor concentração de  $\text{NO}_3\text{-N}$  encontrada nas amostras da área de estudo foi de 0,002 mg/L. A maior concentração de  $\text{NO}_3\text{-N}$  encontrada foi de 26,900 mg/L no poço P383, no município de Uraí. A média, levando em conta os 401 poços da área de estudo que apresentaram a concentração de  $\text{NO}_3\text{-N}$ , ficou em 2,251 mg/L e a mediana ficou em 1,150 mg/L (Tabela 11).

**Tabela 11** - Estatística dos valores de nitrato (mg/L) dos poços na região do Norte Pioneiro do estado do Paraná.

Referência	Dados estatísticos do parâmetro de nitrato em 401 poços da área de estudo.
Mínimo	0,002 mg/L
Máximo	26,900 mg/L
<b>Média</b>	<b>2,251 mg/L</b>
<b>Mediana</b>	<b>1,150 mg/L</b>

**Fonte:** Instituto Água e Terra do estado do Paraná, 2023.; Organizado pelo Autor, 2025.

Fazendo uma análise da escala temporal dos poços, percebe-se que, dos 401 poços estudados, a grande maioria, cerca de 75% dos poços, 298 foram perfurados nos últimos 25 anos. Apenas 7 foram perfurados entre os anos de 1970 a 1980. 20 poços foram construídos entre 1981 a 1990 e 69 poços, entre 1991 e 2000. 7 poços não apresentaram data de perfuração (Tabela 12).

**Tabela 12** - Análise temporal dos poços estudados nesta pesquisa.

<b>Escala Temporal</b>	<b>Quantidade de poços</b>	<b>Média da concentração de NO<sub>3</sub>-N</b>
1970 a 1980	7 poços	0,664 mg/L
1981 a 1990	20 poços	1,934 mg/L
1991 a 2000	69 poços	0,982 mg/L
2001 a 2010	124 poços	2,729 mg/L
2010 a 2020	174 poços	2,443 mg/L
Poços sem datas	7 poços	4,035 mg/L

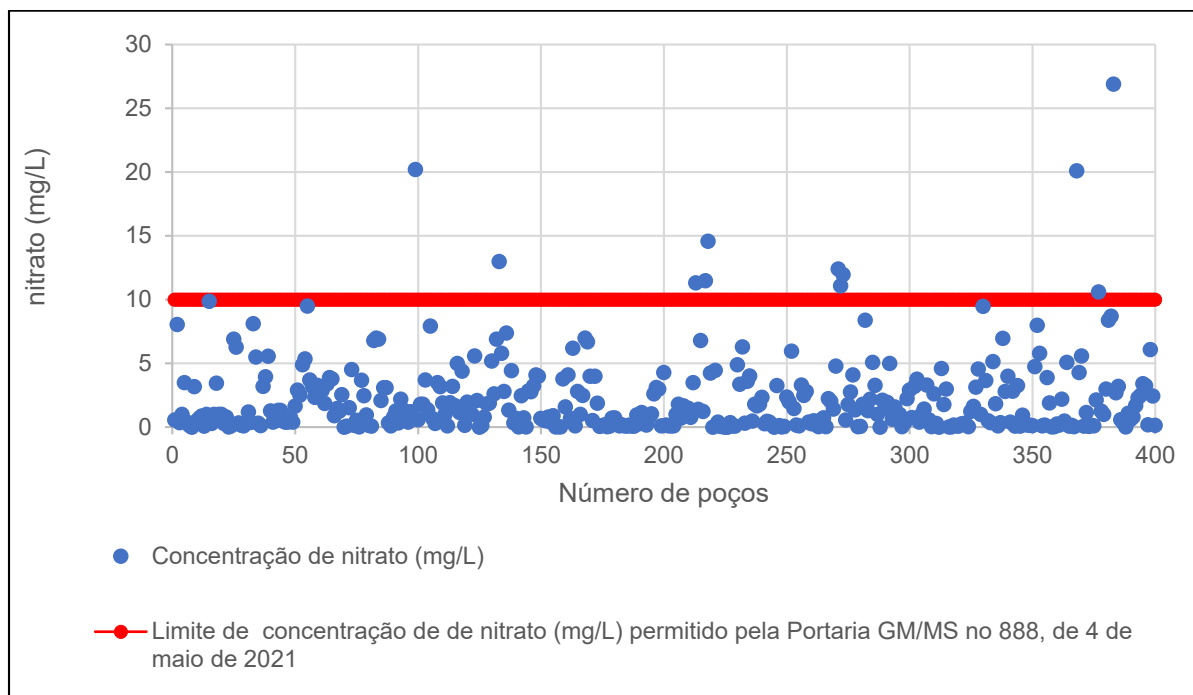
**Fonte:** Instituto Água e Terra do estado do Paraná, 2023.; Organizado pelo Autor, 2025.

Observando a média da concentração de NO<sub>3</sub>-N durante os recortes temporais analisados, percebe-se que a menor média de concentração está na primeira década analisada, ou seja, de 1970 a 1980, apresentando média de 0,664 mg/L. As maiores médias encontradas estão nos poços analisados dos últimos 25 anos, além dos 7 poços sem datas.

A Figura 27 ilustra a dispersão das concentrações de NO<sub>3</sub>-N em 401 poços analisados na região do Norte Pioneiro, Paraná, com a linha vermelha representando

o limite de 10 mg/L, conforme estabelecido pela Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021.

**Figura 27** - Dispersão do parâmetro de nitrato na Área de Estudo.



**Fonte:** Instituto Água e Terra do estado do Paraná, 2023.; Organizado pelo Autor, 2025.

Os poços com concentrações acima do limite estabelecido pela legislação estão representados por pontos acima da linha vermelha e indicam a presença de níveis potencialmente prejudiciais de  $\text{NO}_3^-$ -N. Esses poços requerem atenção especial, pois, conforme a literatura consultada, a água com essas concentrações pode ser considerada imprópria para o consumo humano.

A maioria dos poços apresenta concentrações de  $\text{NO}_3^-$ -N abaixo de 5 mg/L, indicando uma condição geral de conformidade com os padrões de potabilidade. No entanto, destaca-se que 11 poços ultrapassam o limite de 10 mg/L, configurando uma contaminação preocupante por  $\text{NO}_3^-$ -N.

Outro ponto observado é que a maior parte dos poços com concentrações elevadas de  $\text{NO}_3^-$ -N está dispersa ao longo da região analisada, sugerindo que a contaminação não está restrita a uma área específica, mas ocorre de forma esparsa. Isso pode indicar diferentes fontes ou processos de contaminação, que devem ser investigados para identificar as causas e implementar ações de mitigação adequadas.

Em síntese, enquanto a maioria dos poços está dentro dos parâmetros seguros para potabilidade, a presença de alguns poços com concentrações de  $\text{NO}_3^-$ -N

acima do limite estabelecido pela legislação brasileira (total de 11 poços) indica a necessidade de medidas corretivas para evitar riscos à saúde humana. Dessa forma, foi realizado um trabalho de campo nesses poços, onde foi possível coletar amostras para posteriormente analisá-las, verificando as concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$  nesses poços, atualizando os dados presentes no banco de dados do IAT.

### 3.3.1 Coleta de Dados Primários dos Poços com Concentrações de Nitrato acima de 10 mg/L na Região do Norte Pioneiro do Estados do Paraná

O trabalho de campo foi realizado no dia 31 de março de 2025. Seus objetivos foram: coletar amostras para a análise do parâmetro de  $\text{NO}_3\text{-N}$  dos poços que estão com teores de  $\text{NO}_3\text{-N}$  acima do permitido pela legislação brasileira para a atualização desses dados; verificar, *in loco*, alguns parâmetros físico-químicos da água como pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e temperatura da água; e realizar análise e interpretação da paisagem onde esses poços estão localizados.

Dos 11 poços em que os teores de  $\text{NO}_3\text{-N}$  estavam acima de 10 mg/L, foram coletadas amostras de 9 poços, e mais uma amostra próxima ao poço P99, sendo classificado de P99B. Assim, foram coletadas 10 amostras, conforme pode ser observado na Tabela 13. O poço P213, no município de Jacarezinho, estava abandonado. A coleta no poço P273, localizado em Quatiguá, não foi autorizada (Tabela 13).

**Tabela 13** - Poços onde foram coletadas as amostras para a análise de nitrato.

Poços	Município	Data da coleta
P99A e B	Bandeirantes	31/03/2025
P133	Cambará	31/03/2025
P213	Jacarezinho	Poço abandonado
P217	Jacarezinho	31/03/2025
P218	Jacarezinho	31/03/2025
P271	Quatiguá	31/03/2025
P272	Quatiguá	31/03/2025
P273	Quatiguá	Coleta não autorizada
P368	Tomazina	31/03/2025
P377	Uraí	31/03/2025
P383	Uraí	31/03/2025

Fonte: Organizado pelo autor, 2025.

O parâmetro de  $\text{NO}_3\text{-N}$ , bem como os parâmetros físico-químicos coletados *in loco* - pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e temperatura da água - das 10 amostras coletadas podem ser observados na Tabela 14. Esses parâmetros serão descritos junto às análises de cada poço. Entretanto, é importante descrever o que significa cada parâmetro que foi coletado *in loco* e que será analisado.

**Tabela 14** - Parâmetros físico-químicos coletados.

Poços	Municípios	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	pH	STD (mg/L)	Condutividade e Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )
P99A	Bandeirantes	<2,20 <sup>1</sup>	9,36	164,0	330,0	25,7
P99B	Bandeirantes	<2,20	8,16	147,0	294,0	24,45
P133	Cambará	6,12	6,78	177,0	356,0	26,1
P217	Jacarezinho	<2,20	4,15	20,0	40,0	23,97
P218	Jacarezinho	<2,20	5,45	65,0	132,0	26,15
P271	Quatiguá	<2,20	7,8	358,0	717,0	23,9
P272	Quatiguá	6,64	6,2	134,0	268,0	25,4
P368	Tomazina	3,85	6,82	75,0	150,0	N/D <sup>2</sup>
P377	Uraí	7,84	7,57	184,0	368,0	24,8
P383	Uraí	5,91	6,10	90,0	181,0	24,74

Fonte: Organizado pelo autor, 2025.

Para parâmetro de  $\text{NO}_3\text{-N}$ , todas as amostras apresentaram concentrações menores que as apresentadas no banco de dados do IAT. Contudo, segundo o Laboratório Exacty “os resultados referem-se tão somente às características das respectivas amostras analisadas e não substituem ou invalidam resultados de amostras coletadas anteriormente”. Dessa forma, a diferença nos resultados da concentração de  $\text{NO}_3\text{-N}$  pode se dar por diferentes fatores como: data da coleta da amostra – estação chuvosa ou seca que podem alterar a concentração do  $\text{NO}_3\text{-N}$  a água, o tempo que a amostra levou para ser levada ao laboratório, o próprio método aplicado na análise, entre outros. Os resultados mostraram que há a presença de  $\text{NO}_3\text{-N}$  na água. Alguns estudos, como dito, indicam que concentrações superiores a 5 mg/L nas águas subterrâneas podem indicar contaminação antrópica.

O pH possui valores de 0 a 14, em que 7 reflete condições neutras, abaixo de 7, condições ácidas, e acima, condições alcalinas. As águas destinadas ao abastecimento doméstico devem apresentar pH entre 6,5 e 9,5, pois valores abaixo

<sup>1</sup> Menor que 2,20 mg/L.

<sup>2</sup> Não disponível ou sem dados.

dessa faixa podem favorecer a corrosão das redes de distribuição, enquanto valores acima podem promover a formação de incrustações. Para a manutenção da vida aquática, o pH deve estar entre 6 e 9 (BRASIL, 2014). “As alterações de pH podem ter origem natural (dissolução de rochas, fotossíntese) ou antropogênica (despejos domésticos e industriais)” (BRASIL, 2014, p. 20). A Portaria de Consolidação GM/MS 888/2021 recomenda, para fins de potabilidade da água, que os valores de pH sejam mantidos nas faixas de 6,0 a 9,0 (BRASIL, 2021). Considerando a legislação brasileira para valores de pH, os poços P99A, em Bandeirantes, P217 e P218, em Jacarezinho, estão em desacordo com os valores estabelecidos pela Portaria de Consolidação GM/MS 888/2021.

Frezze e Cherry (2017) dissertaram que as águas subterrâneas apresentam diversos constituintes inorgânicos, sendo que eles estão dissolvidos na água em diferentes concentrações, devido às interações químicas e bioquímicas entre a água e os materiais geológicos pelos quais ela circula. Assim, as concentrações de sólidos dissolvidos totais (SDT) na água subterrânea são variáveis.

Rebouças (2015) afirmou que a classificação mundial da água, levando em conta suas características naturais, considera adequada para uso a água que apresenta teores de SDT inferiores a 1.000 mg/L. As águas que apresentam teores de SDT entre 1.000 e 10.000 mg/L são classificadas como salobras. São classificadas como salgadas as águas que apresentam mais de 10.000 mg/L de SDT. Para fins de potabilidade, a Portaria de Consolidação GM/MS 888/2021 estabeleceu concentrações de até 500 mg/L de SDT (BRASIL 2021). Dessa forma, dentre os poços analisados, levando em conta o parâmetro STD, apenas o P271, localizado no município de Quatiguá, não se encontra dentro dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira.

Frezze e Cherry (2017) expuseram que os principais e menores constituintes que estão dissolvidos na água são encontrados na forma iônica. Dessa forma, a água pode ser considerada uma solução eletrolítica, pois a sua capacidade de conduzir corrente elétrica indica a existência desses constituintes iônicos dissolvidos. Nesse sentido, Santos (2019) argumentou que água, por conter íons e sais dissolvidos em sua composição, possui a capacidade de conduzir energia e a concentração e dissolução desses componentes podem ser avaliadas por meio da Condutividade Elétrica em águas subterrâneas, cujos valores são medidos em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . A temperatura *in loco* foi medida em escala Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

O primeiro poço analisado foi o P99, sendo que ao chegar ao local, foi localizado um poço próximo a ele. Dessa forma, os dois poços foram analisados como P99A e P99B (Figura 28). Esses poços se localizam no município de Bandeirantes. Pereira (2021), em sua pesquisa de mestrado em Geografia, estudou o poço P99, e os poços P377 e P383, que se localizam no município de Uraí. Contudo, na pesquisa de Pereira (2021), a coleta de amostras para a análise laboratorial do  $\text{NO}_3\text{-N}$  não foi realizada, ficando somente na análise da paisagem, bem como a análise dos dados de  $\text{NO}_3\text{-N}$  das águas subterrâneas do aquífero Serra Geral disponíveis no IAT.

**Figura 28** - Poço P99B, localizado no município de Bandeirantes - PR.



**Fonte:** Pereira, 2025.

Por meio do trabalho de campo, contatou-se que os poços P99A e P99B (Figura 29) se localizam na área rural do município de Bandeirantes, estando localizado a cerca de 4 km da área urbana do município. Identificou-se também que há outros poços próximos a localização dos poços P99A e B.



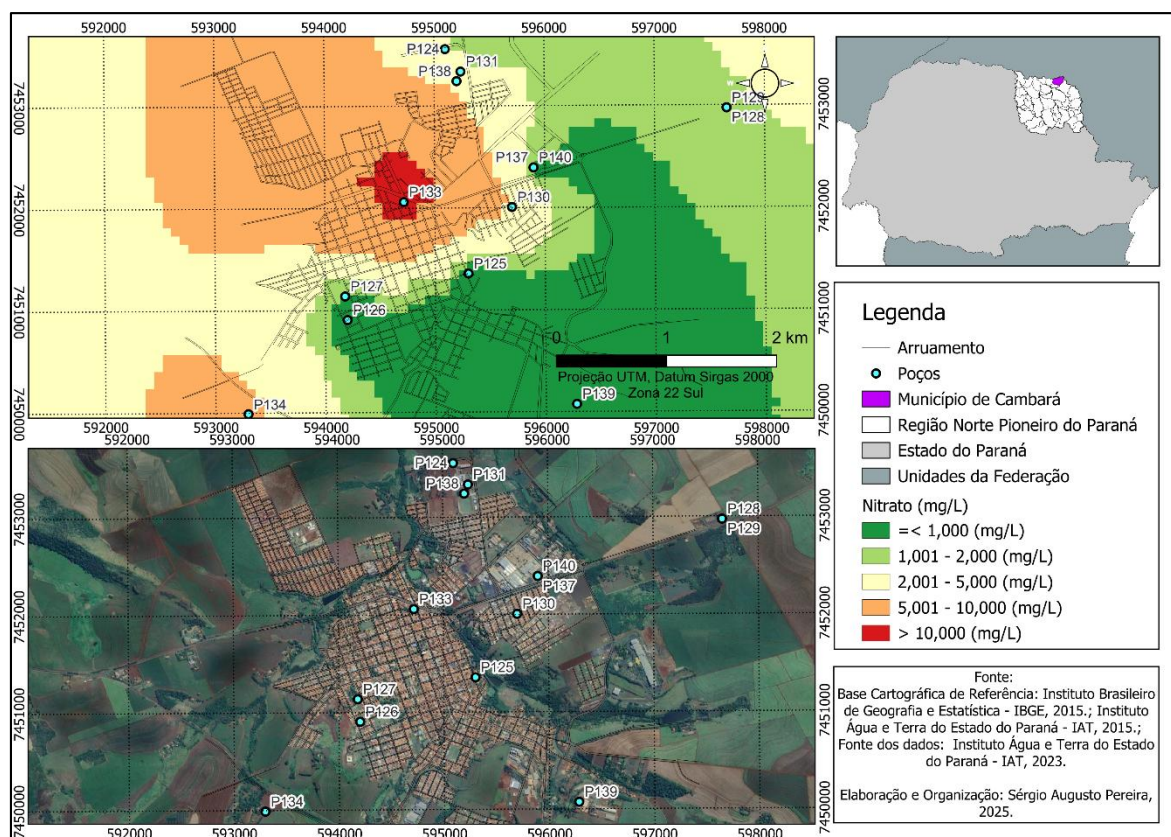
No município de Cambará, foi realizada a coleta no poço P133 (Figura 30). Esse poço se localiza no centro da área urbana (Figura 31), em um posto de combustível. Não foi possível tirar foto do poço pois ele se encontra tampado por pisos, se encontrando debaixo do balcão do caixa do posto. Segundo funcionários do posto de combustível, a água do poço P133 é utilizada para a lavagem do posto e não é utilizada para a ingestão humana.

**Figura 30** - Posto de Combustível onde se localiza o poço P133, município de Cambará - PR.



Fonte: Pereira, 2025.

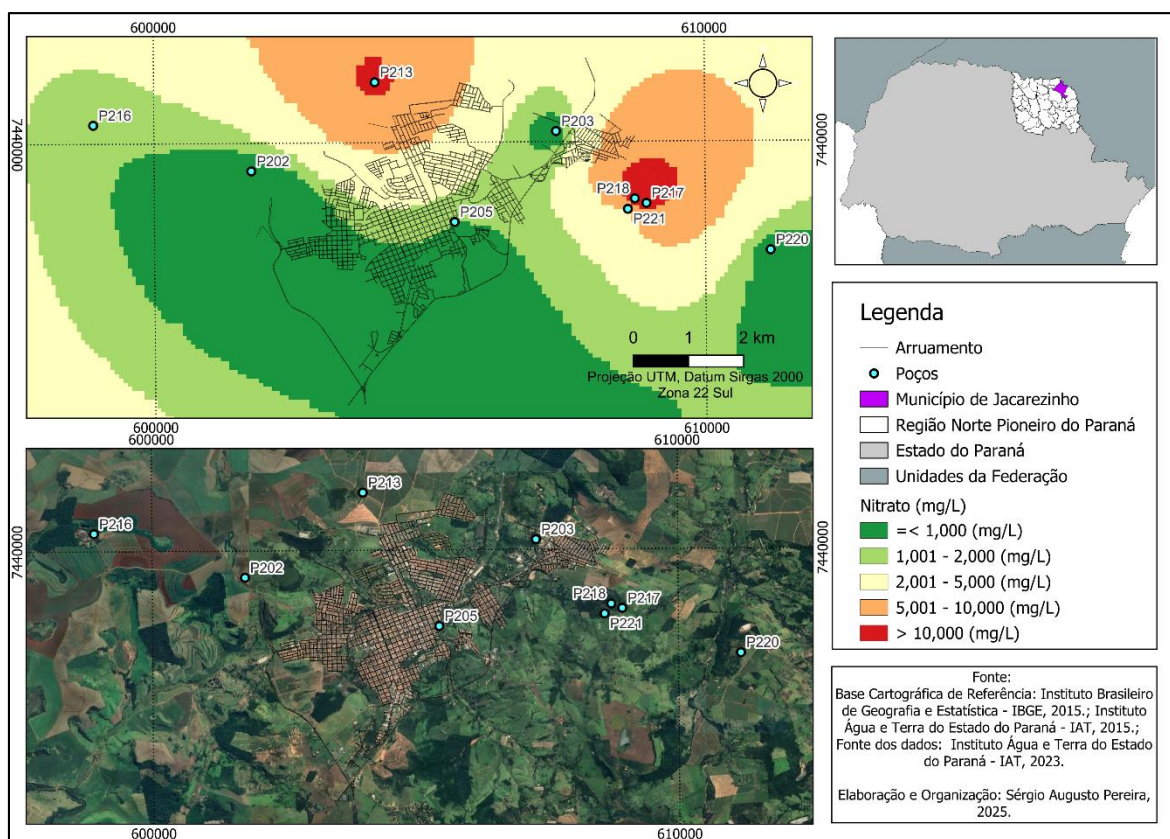
**Figura 31** - Mapa da distribuição espacial dos valores de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas no município de Cambará - PR.



Em relação aos parâmetros físico-químicos coletados no trabalho de campo do poço P133, o parâmetro de  $\text{NO}_3\text{-N}$  analisado em laboratório ficou em 6,12 mg/L e os parâmetros de pH, STD, condutividade elétrica e temperatura ficaram em 6,78, 177 mg/L, 356  $\mu\text{S/cm}$  e 26,1  $^\circ\text{C}$ , respectivamente.

O município de Jacarezinho possui três poços (P213, P217 e P218) que, segundo dados do IAT, estão com os parâmetros de  $\text{NO}_3\text{-N}$  acima de 10 mg/L (Figura 32). Ao chegar no poço P213 (Figuras 33, 34 e 35), verificou-se que o mesmo se encontra abandonado. Ele não está lacrado, estando sujeito à poluição e, conseqüentemente, à contaminação. Esse poço está registrado em nome da Companhia de Saneamento do estado do Paraná e seu uso está classificado como saneamento.

**Figura 32** - Mapa da distribuição espacial dos valores de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas no município de Jacarezinho - PR.



**Figura 33** - Entorno do poço P213, localizado no município de Jacarezinho - PR.



Fonte: Pereira, 2025.

A Instrução Normativa 002/06 disponibilizada no site IAT (2025), que explica sobre a desativação permanente de poço, apresenta que:

A desativação permanente de poço deverá ser efetuada através do tamponamento que objetiva eliminar qualquer possibilidade de penetração de poluentes no(s) aquífero(s) sobrejacente(s) e também impedir que infiltrações superficiais entrem em contato com as águas subterrâneas. Deve ser planejada e executada de modo a melhor adaptá-la às condições geológicas e hidrogeológicas locais. Tais serviços devem ser realizados por profissionais habilitados ou empresas qualificadas que estejam familiarizados às práticas de construção de poços tubulares (IAT, 2015, p. 3).

Dessa forma, percebe-se a importância do tamponamento do poço de maneira eficaz para eliminar qualquer possibilidade de contaminação. Ao observar as Figuras 33 e 34, constata-se que o P213 se localiza na área rural no município de Jacarezinho, em solo arenoso, ou seja, poroso, tendo ao seu entorno uma plantação de cana-de-açúcar.

**Figura 34** - Poço P213 abandonado, localizado no município de Jacarezinho - PR.



Fonte: Pereira, 2025.

Segundo Domingues *et al.* (2024), somente os monocultivos de soja, milho, algodão e cana-de-açúcar são responsáveis por 85% do total de agrotóxicos utilizados. Além dos agrotóxicos, segundo Schultz, Reis e Urquiaga (2015), fertilizantes nitrogenados podem ser adicionados nas plantações de cana-de-açúcar para melhorar a produção, uma vez que a planta precisa de nitrogênio para se desenvolver. Dessa forma, com o poço P213 aberto e abandonado, conforme pode ser observado na Figura 35, as águas subterrâneas dessa localidade podem estar sujeitas a diversas fontes de contaminação, como por exemplo os agrotóxicos e os fertilizantes nitrogenados, sendo os fertilizantes nitrogenados uma das principais fontes de contaminação das águas subterrâneas por  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Sendo assim, é importante que o responsável por esse poço tome as medidas corretas para o seu tapamento, evitando a contaminação da água subterrânea.

**Figura 35** - Poço P213 abandonado, sem o devido tamponamento.



Fonte: Pereira, 2025.

O segundo poço analisado no município de Jacarezinho é o P217 (Figura 36). Ele se localiza em uma granja desativada da empresa JBS. Os parâmetros físico-químicos para esse poço são:  $<2,20$  mg/L para o  $\text{NO}_3\text{-N}$ , pH de 4,15, possuindo uma

água ácida, SDT de 20 mg/L, condutividade elétrica de 40  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e temperatura de 23,97 °C.

É importante ressaltar que ao chegar no local de coleta, foi constatado que existem outros poços tubulares ativos na granja desativada. Com o trabalho de campo, percebeu-se que existem muitos poços além dos que estão disponíveis na base de dados do IAT.

A perfuração indiscriminada de poços tubulares compromete o uso sustentável da água subterrânea, bem como o uso controlado dos recursos hídricos. A perfuração sem a devida outorga é proibida e a sua autorização tem o objetivo de assegurar que a água retirada não cause impactos negativos ao meio ambiente, como por exemplo a diminuição da disponibilidade de água para a sociedade, a degradação dos aquíferos e o risco de contaminação do lençol freáticos e dos aquíferos.

**Figura 36** - Poço P217, localizado no município de Jacarezinho - PR.



Fonte: Pereira, 2025.

O poço P218 (Figura 37) se encontra em uma fazenda ao lado da granja desativada, a cerca de 200 metros do P217, e é utilizado para o consumo humano. Segundo o resultado da análise de  $\text{NO}_3^- \text{N}$ , a água desse poço possui  $<2,20$  mg/L. Os

resultados para os parâmetros analisados *in loco* foram de 5,45 para pH, indicando uma água ácida, de 65 mg/L de sólido totais dissolvidos, de 132  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para condutividade elétrica e no momento da coleta sua temperatura era de 26,15 °C.

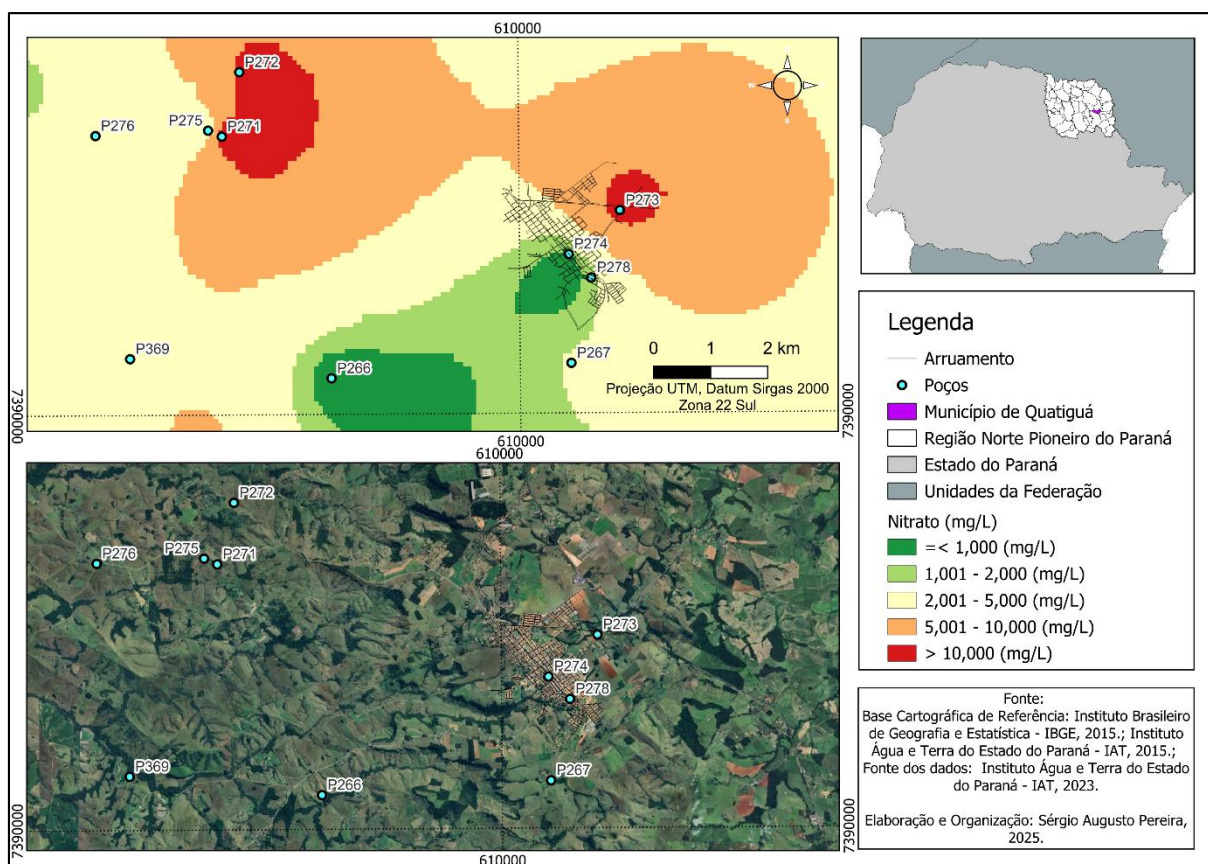
**Figura 37** - Poço P218, localizado no município de Jacarezinho - PR.



Fonte: Pereira, 2025.

O município de Quatiguá, segundo os dados extraídos do banco de dados do IAT, possui três poços (P271, P272 e P273) em que as concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$  estão acima de 10 mg/L (Figura 38). Dessa forma, foi necessário coletar água nesses poços para atualizar esses dados. Porém, não foi possível coletar a amostra no poço P273, pois a coleta não foi autorizada pela administração da empresa Laticínios Quatiguá. Esse poço se localiza na área urbana do município.

**Figura 38** - Mapa da distribuição espacial dos valores de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas no município de Quatiguá - PR.



O poço P271 (Figura 39) se encontra localizado na área rural do município de Quatiguá, a cerca de 5 quilômetros da área urbana do município. Seu uso é para o consumo humano e também para o abastecimento de uma granja localizada próxima ao poço.

De acordo com a análise de água, a concentração de  $\text{NO}_3\text{-N}$  presente na água desse poço está dentro dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira, com <2,20 mg/L. O resultado da análise *in loco* de 7,8 para o pH, demonstra uma água com condições neutra, sólidos totais dissolvidos de 358 mg/L, condutividade elétrica de 717  $\mu\text{S/cm}$  e temperatura de 23,9 °C no momento da coleta.

As potenciais fontes de contaminação são a própria granja e as fossas localizadas na área rural.

**Figura 39** - Poço P271, localizado no município de Quatiguá - PR.



**Fonte:** Pereira, 2025.

O poço P272 (Figura 40) também se localiza na área rural do município de Quatiguá. Sua concentração de  $\text{NO}_3^- \text{N}$  evidenciada a partir da análise da água é de 6,64 mg/L.

Os resultados da análise *in loco* do poço P272 (Figura 40) de pH, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e temperatura ficaram em, respectivamente, 6,2, 134 mg/L, 268  $\mu\text{S/cm}$ , e 25,4 °C. A potencial fonte de contaminação da água do poço P272 por  $\text{NO}_3^- \text{N}$  são as fossas localizadas na área rural próxima a ele.

**Figura 40** - Poço P272, localizado no município de Quatiguá - PR.

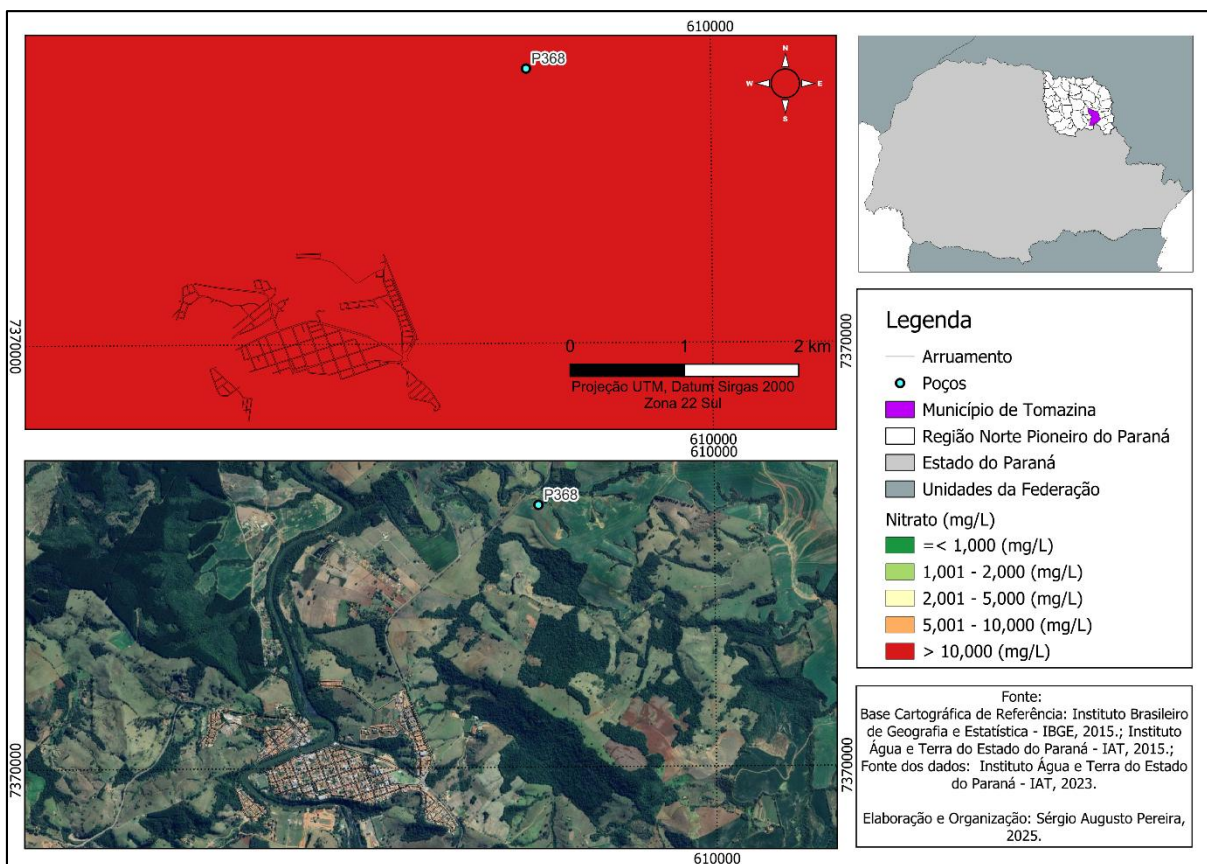


Fonte: Pereira, 2025.

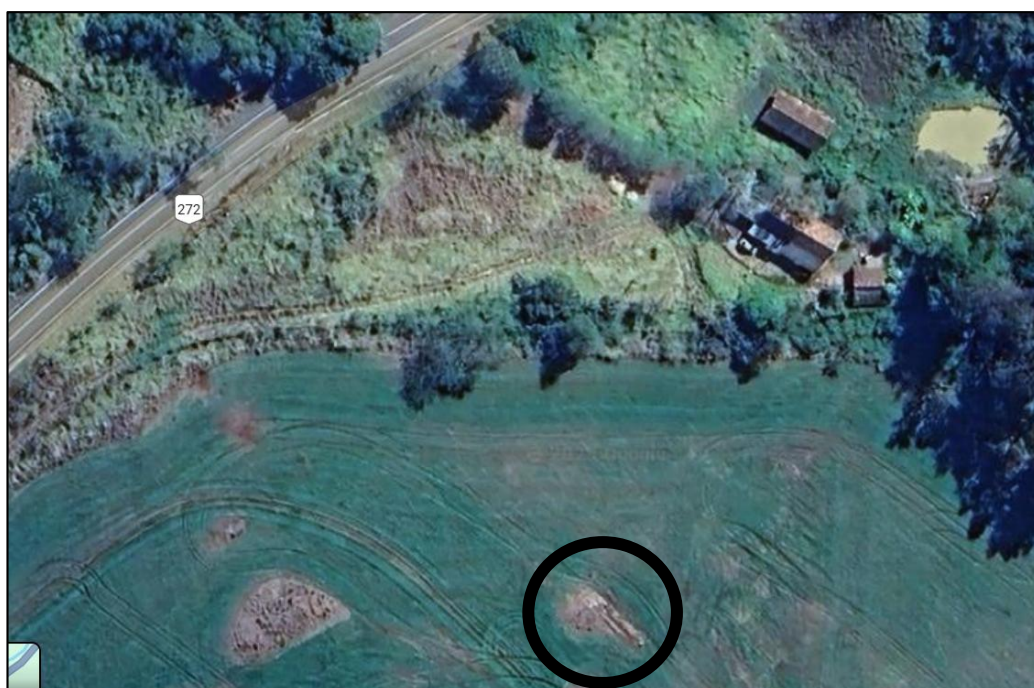
Tomazina apresentou apenas um poço (P368) com concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$  acima do estabelecido pela legislação brasileira, que é de 10 mg/L. A partir da latitude e longitude presente no banco de dados extraídos do IAT, foi possível encontrar a localização do poço P368 (Figura 41).

Pela Figura 42, é possível perceber que o poço se localiza na área rural no município de Tomazina. É possível perceber também que a água da represa ao lado da casa está com uma coloração esverdeada, isso é um indício de eutrofização dessa represa, ou seja, excesso de nitrogênio ou fósforo na água. Não foi possível tirar uma fotografia do poço, pois o acesso a área onde está localizado é muito difícil. As potenciais fontes de contaminação da água desse poço são os fertilizantes nitrogenados utilizados na agricultura e as fossas.

**Figura 41** - Mapa da distribuição espacial dos valores de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas no município de Tomazina - PR.



**Figura 42** - Localização do Poço P368, localizado no município de Tomazina – PR (Imagem do Google Maps).

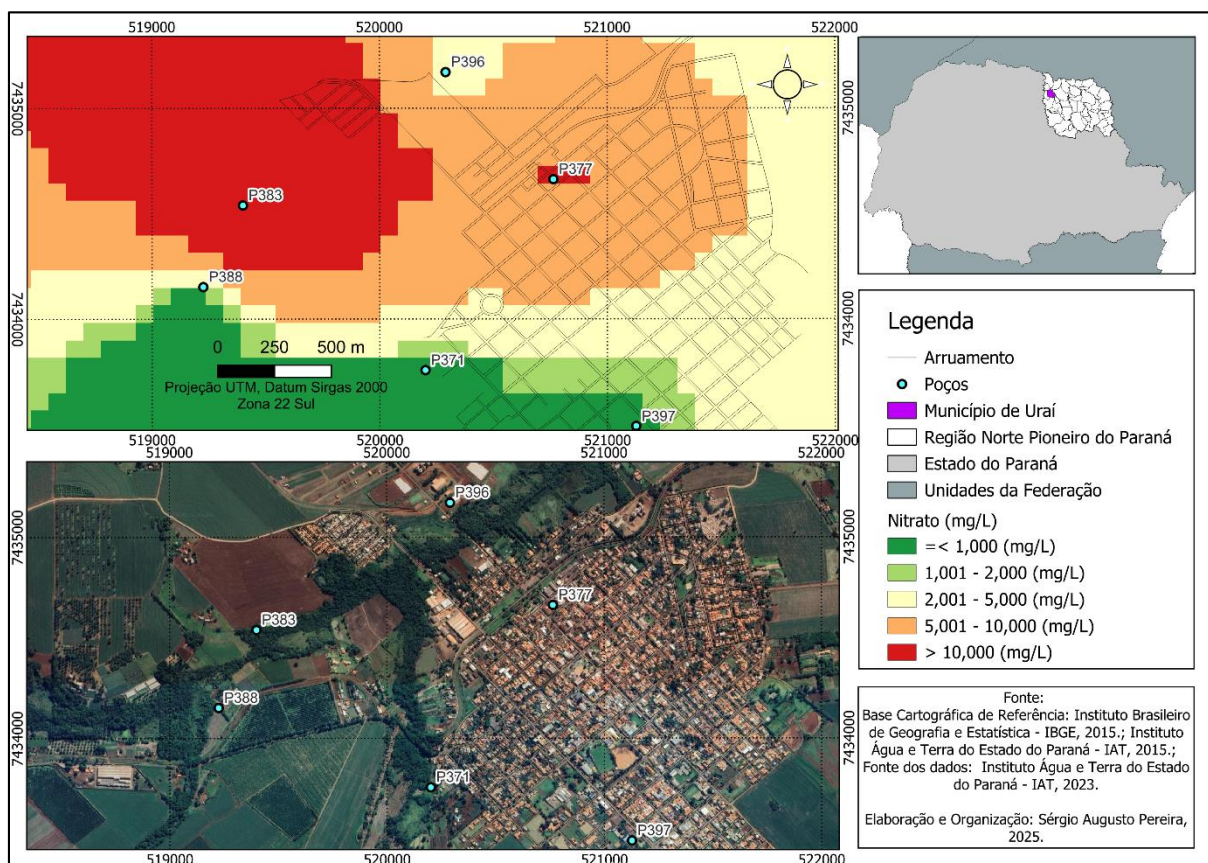


Fonte: Google Maps, 2025.

A análise do parâmetro de  $\text{NO}_3\text{-N}$  apresentou que o P368 possui concentrações de 3,85 mg/L. Os parâmetros físico-químicos coletados no local apresentaram pH de 6,82, ou seja, a água apresenta condições neutras, sólidos totais dissolvidos de 75 mg/L e condutividade elétrica de 150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Não foi possível aferir a temperatura.

No município de Uraí, foram coletadas águas em dois poços: o poço P377 e o poço P383 (Figura 43). Esses poços foram estudados por Pereira (2021), com base no banco de dados extraído do IAT. Nessa pesquisa, foi possível coletar amostras de água para serem analisadas em laboratório para a atualização dos dados de  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

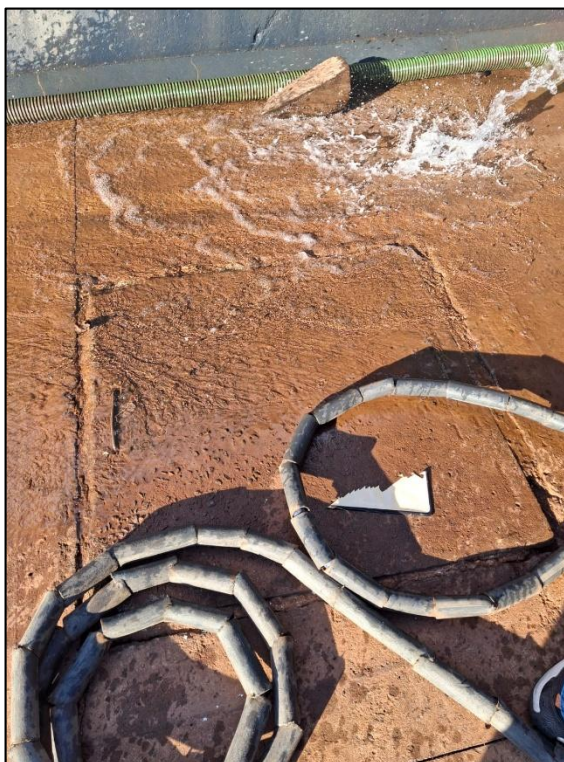
**Figura 43** - Mapa da distribuição espacial dos valores de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas no município de Uraí - PR.



O poço P377 se encontra em um posto de combustível, localizado na área urbana do município de Uraí, próximo ao centro. Esse poço é fechado com uma tampa concreto (Figura 44). Os parâmetros físico-químicos analisados apresentaram que a concentração de  $\text{NO}_3\text{-N}$  do P377 é de 7,84 mg/L, o pH é de 7,75, apresentando

condições neutras, os sólidos totais dissolvidos são de 184 mg/L, a condutividade elétrica é de 368  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e a temperatura no momento da coleta estava a 24,8 °C.

**Figura 44** - Poço P377, localizado no município de Uraí - PR.



Fonte: Pereira, 2025.

A água desse poço é utilizada, segundo as pessoas que trabalham no posto, para a lavagem de automóveis e para a lavagem do posto. Entretanto, segundo Pereira (2021), pessoas também bebem a água desse poço.

Segundo relatos de pessoas que foram encontradas próximas a ele, a água desse poço é utilizada para a lavagem de automóveis, motocicletas e caminhões, também para lavagem do posto de combustível que se encontra próximo, além de servir para o consumo humano. Conforme relataram, pessoas que têm alguma alergia ou sensibilidade a cloro buscam água do poço P244 para o consumo (Pereira, 2021, p. 107).

Nesse sentido, assim como em todos os outros poços analisados, são necessários estudos mais precisos para investigar se as pessoas que consomem essa água possuem ou possuíram algum efeito negativo na exposição a esse contaminante por meio do consumo oral.

Em relação as potenciais fontes de contaminação do poço P377, conforme apontado por Pereira (2021) e com informações extraídas a partir da pesquisa de campo, esse poço “pode estar sendo contaminado pelas fossas ou pelo cemitério” (Pereira, 2021, p. 118) presentes no município de Uraí.

O poço P383 (Figura 45) se localiza na área rural de Uraí. Ele é utilizado para o consumo humano. De acordo com o dado apresentado pela análise laboratorial, esse poço possui concentração de 5,91 mg/L de  $\text{NO}_3^-$ -N. Os parâmetros físico-químicos analisados *in loco* apresentaram pH de 6,10, sólidos totais dissolvidos de 90 mg/L, condutividade elétrica de 181  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e temperatura no momento da coleta de 24,74 °C. As potenciais fontes de contaminação desse poço por  $\text{NO}_3^-$ -N são os fertilizantes nitrogenados utilizados na produção agrícola.

**Figura 45** - Poço P383, localizado no município de Uraí - PR.



Fonte: Pereira, 2025.

O trabalho de campo foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa. Por meio dele, foi possível confirmar que 9 dos 11 poços com concentrações de  $\text{NO}_3^-$ -N acima dos limites estabelecidos pela legislação brasileira, conforme registros do banco de dados do Instituto Água e Terra (IAT), continuam apresentando a presença desse contaminante, embora com teores inferiores aos anteriormente registrados. Nos

poços P213 e P277, contudo, não foi possível realizar a coleta das amostras. Esses resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo das concentrações de  $\text{NO}_3^- \text{N}$  nas águas subterrâneas, especialmente porque valores acima de 10 mg/L — como abordado no referencial teórico deste trabalho — indicam contaminação antrópica, geralmente associada ao uso intensivo de fertilizantes nitrogenados, fossas sépticas, cemitérios e efluentes domésticos ou industriais.

A presença de  $\text{NO}_3^- \text{N}$  em níveis superiores ao permitido compromete a potabilidade da água, tornando-a imprópria para o consumo humano e acarretando impactos negativos ao meio ambiente. Do ponto de vista da saúde pública, a ingestão de água contaminada por  $\text{NO}_3^- \text{N}$  acima de 10 mg/L pode causar sérios danos, incluindo o desenvolvimento de certos tipos de câncer em adultos e a metemoglobinemia em crianças — doença conhecida como "síndrome do bebê azul". Diante disso, o monitoramento sistemático da qualidade da água torna-se essencial para a detecção precoce de áreas contaminadas, viabilizando a adoção de medidas corretivas e ações de remediação, com vistas à proteção dos aquíferos, da saúde humana e dos ecossistemas.

A etapa seguinte da pesquisa consistiu na aplicação da metodologia de avaliação de risco à saúde humana para doenças associadas à presença de  $\text{NO}_3^- \text{N}$  nas águas subterrâneas da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná.

#### 6.4 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA PARA DOENÇAS ASSOCIADAS AO NITRATO

A partir do Índice Vulnerabilidade Socioambiental (*IVS*) e da Vulnerabilidade Aquífera para a área de estudo correlacionados com o resultado da aplicação do modelo de Avaliação de Risco ao  $\text{NO}_3^- \text{N}$ , apresentado por Santos *et al.*, (2024), proposto neste subtópico, foi possível obter o Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental para o  $\text{NO}_3^- \text{N}$  na área de estudo (*IRVS*).

Os resultados apresentados na Figura 46, referentes ao *HQoral* Homem, mostram um cenário preocupante, com áreas de anomalias com grande risco à saúde para doenças associadas ao  $\text{NO}_3^- \text{N}$  (>1) nos municípios que se encontram majoritariamente nas porções norte e sudeste da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná, se destacando na área limítrofe dos municípios de Joaquim Távora e

Quatiguá, em zonas parciais dos municípios de Andirá, Bandeirantes, Cambará, Jacarezinho, Quatiguá e Uraí e uma maior abrangência no município de Tomazina.

Observando a Tabela 15, que apresenta os dados do *HQoral* Homem acima de 1, é possível verificar que há 12 pontos com valores acima de 1, ou seja, que representam alto risco à saúde. Esses valores variam de 1,1 (Município de Andirá) a 3 (Município de Uraí).

**Tabela 15** - *HQoral* Homem acima de 1.

Poço	Município	<i>HQoral</i> Homens
P383	Uraí	3,0
P99	Bandeirantes	2,2
P368	Tomazina	2,2
P218	Jacarezinho	1,6
P133	Cambará	1,4
P271	Quatiguá	1,4
P273	Quatiguá	1,3
P217	Jacarezinho	1,3
P213	Jacarezinho	1,2
P272	Quatiguá	1,2
P377	Uraí	1,2
P15	Andirá	1,1

**Fonte:** Instituto Água e Terra do estado do Paraná, 2023. Organizado pelo Autor, 2025.

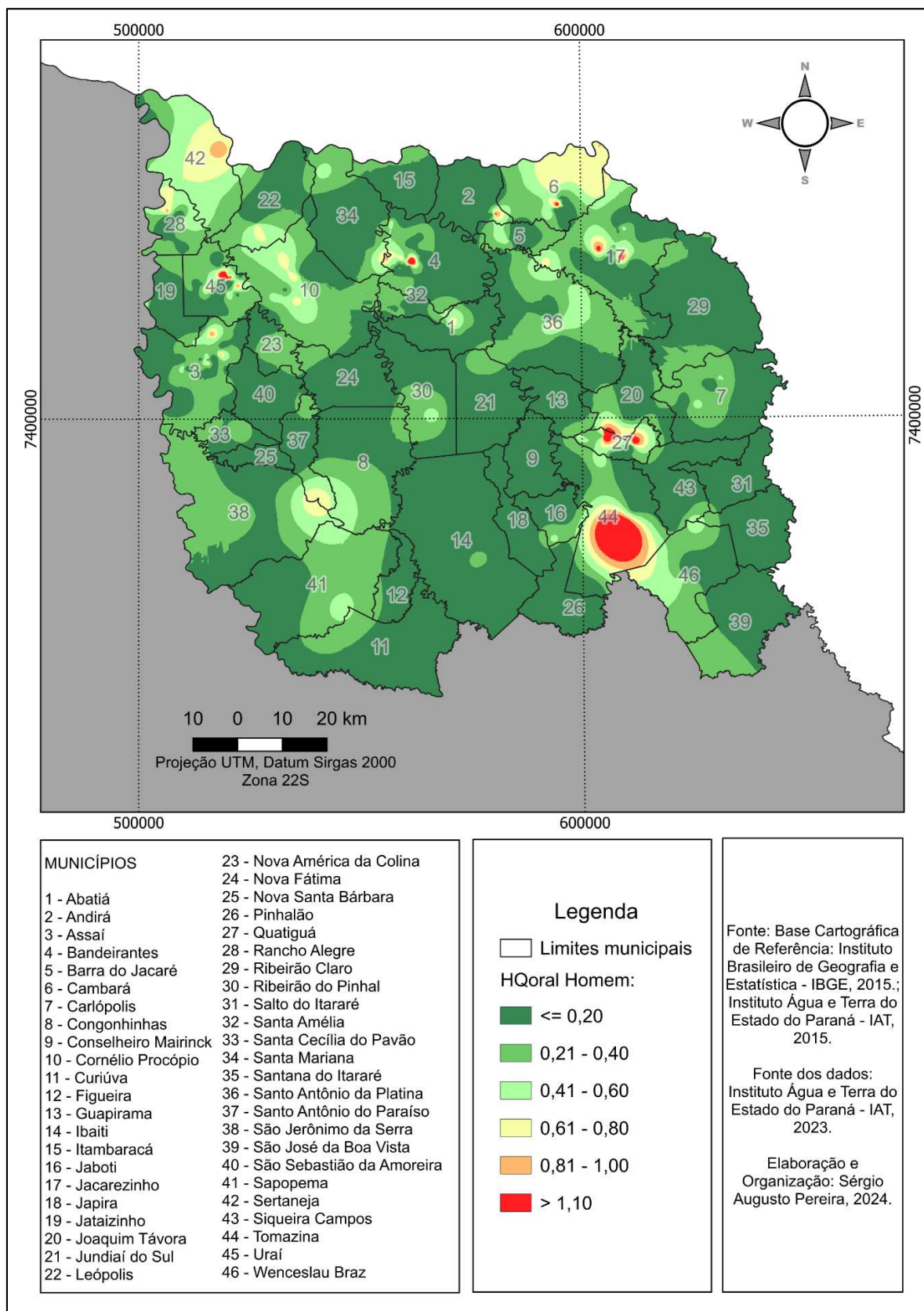
Observando a Tabela 16, percebe-se que o menor valor de *HQoral* Homem na área de estudo foi de 0,0. O maior valor, localizado no município de Uraí, foi de 3. A média, levando em conta os 401 valores de *HQoral* Homem na área de estudo, ficou em 0,24 e a mediana ficou em 0,12 (Tabela 16).

**Tabela 16** - Estatística dos valores de *HQoral* Homem na área de estudo.

Referência	Dados estatísticos do <i>HQoral</i> Homem na área de estudo.
Mínimo	0,0
Máximo	3,0
<b>Média</b>	<b>0,24</b>
<b>Mediana</b>	<b>0,12</b>

**Fonte:** Instituto Água e Terra do estado do Paraná, 2023. Organizado pelo Autor, 2025.

Figura 46 - Mapa de Avaliação de Risco do Nitrato à Saúde Humana - *HQoral* Homem.



Os resultados apresentados na Figura 47, referentes ao *HQoral* Mulher, expõem um panorama menos preocupante que o *HQoral* Homem, com áreas de anomalias com grande risco à saúde para doenças associadas ao  $\text{NO}_3\text{-N}$  ( $>1$ ) em seis municípios: Bandeirantes, Cambará, Jacarezinho, Quatiguá, Tomazina e Uraí (Figura 47).

Conforme apresentado pela Tabela 17, que apresenta os dados do *HQoral* Mulher acima de 1, observa-se que há 10 pontos com valores acima de 1, ou seja, que representam alto risco à saúde. Esses valores variam de 1,1 (Municípios de Quatiguá e Jacarezinho) a 2,6 (Município de Uraí).

**Tabela 17** - *HQoral* Mulher acima de 1.

Poço	Município	<i>HQoral</i> Mulheres
P383	Uraí	2,6
P99	Bandeirantes	2,0
P368	Tomazina	1,9
P218	Jacarezinho	1,4
P133	Cambará	1,3
P271	Quatiguá	1,2
P273	Quatiguá	1,2
P217	Jacarezinho	1,1
P213	Jacarezinho	1,1
P272	Quatiguá	1,1

**Fonte:** Instituto Água e Terra do estado do Paraná, 2023. Organizado pelo Autor, 2025.

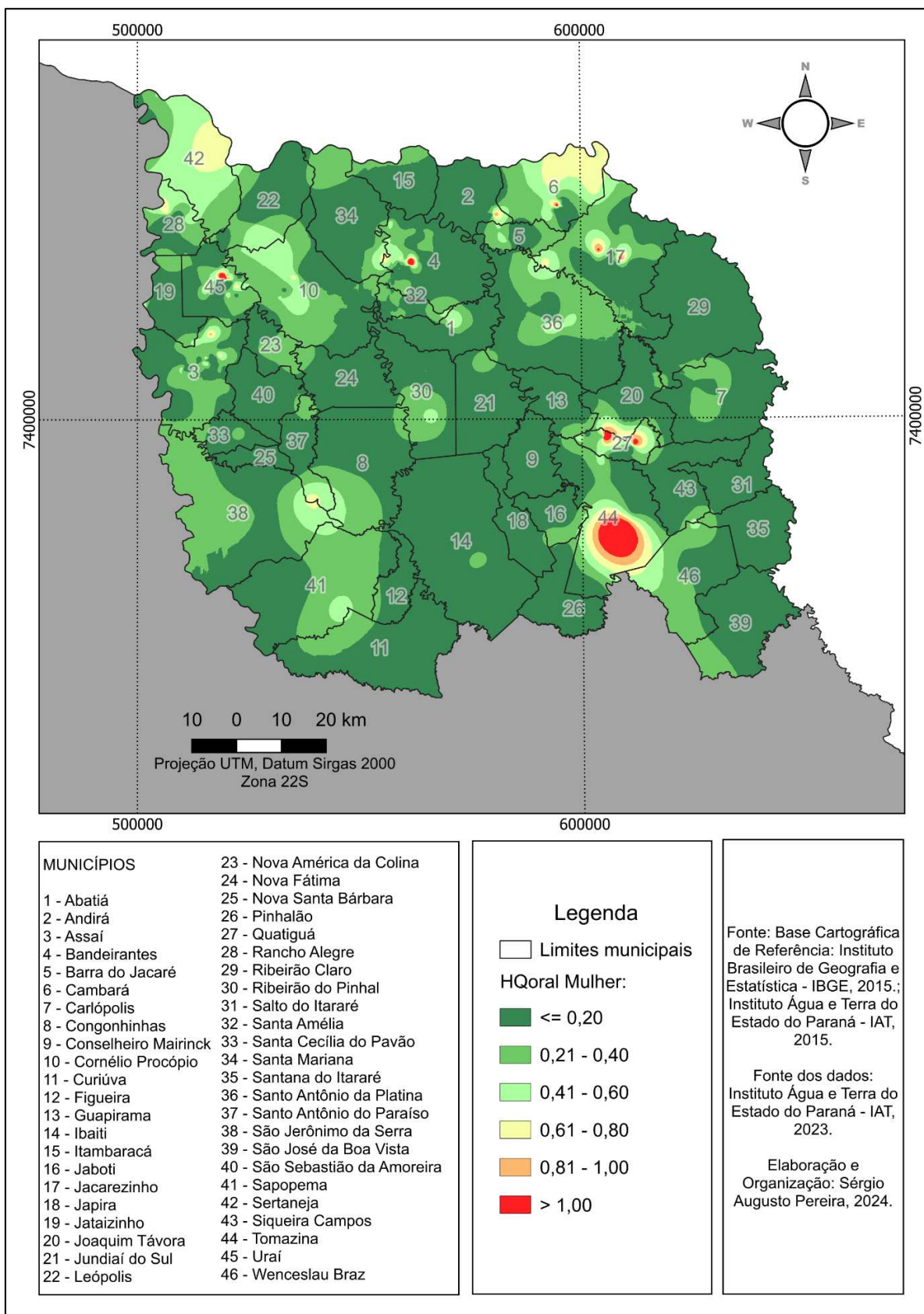
De acordo com a Tabela 18, observa-se que o menor valor de *HQoral* Mulher na área de estudo também foi de 0,0. O maior valor, também localizado no município de Uraí, foi de 2,6. A média dos valores de *HQoral* Mulher ficou em 0,21 e a mediana ficou em 0,11 (Tabela 18).

**Tabela 18** - Estatística dos valores de *HQoral* Mulher na área de estudo.

Referência	Dados estatísticos do <i>HQoral</i> Mulher na área de estudo.
Mínimo	0,0
Máximo	2,6
<b>Média</b>	<b>0,21</b>
<b>Mediana</b>	<b>0,11</b>

**Fonte:** Instituto Água e Terra do estado do Paraná, 2023. Organizado pelo Autor, 2025.

**Figura 47 - Mapa de Avaliação de Risco do Nitrato à Saúde Humana - HQoral Mulher.**

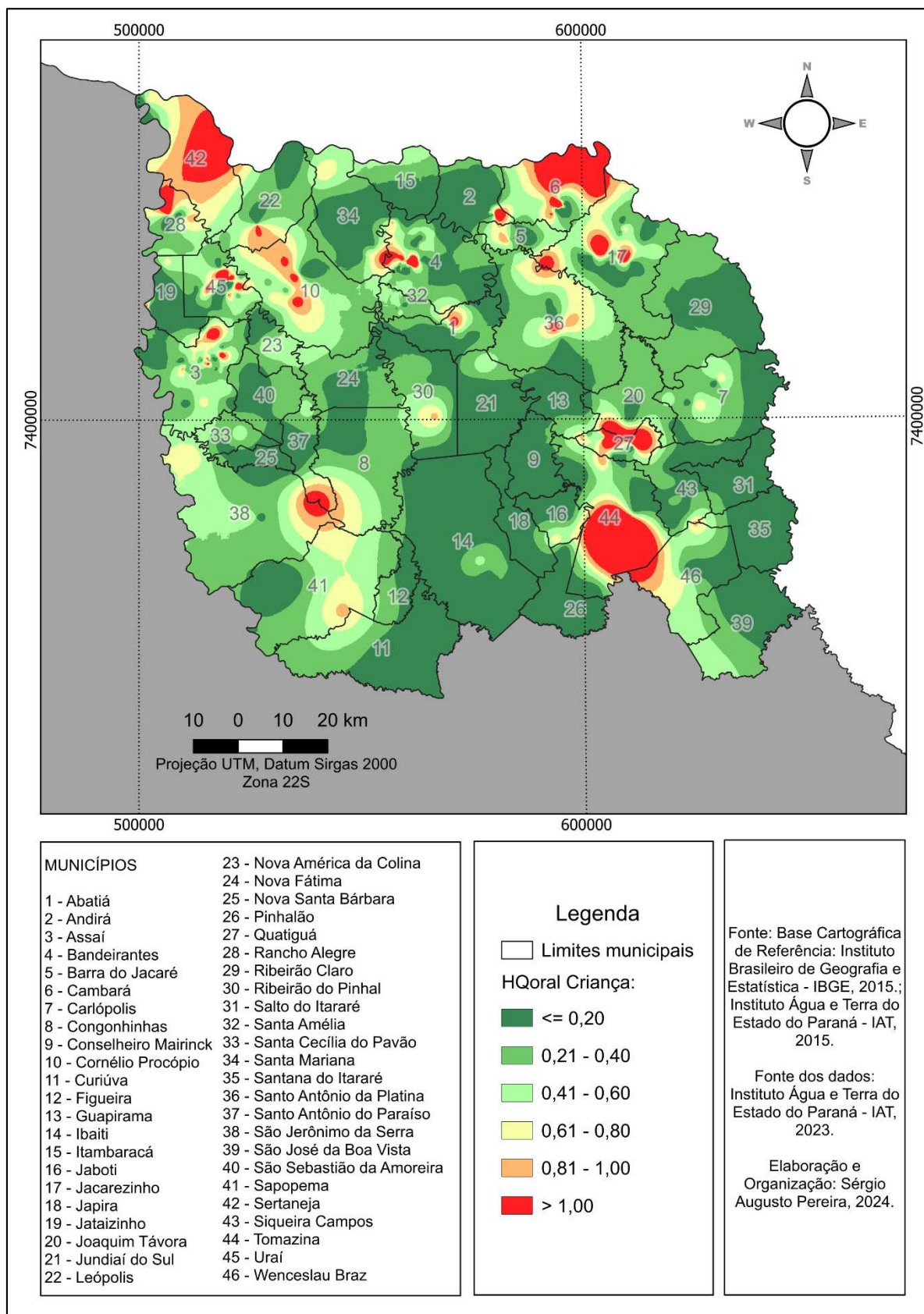


Os resultados apresentados na Figura 48, referentes ao *HQoral* para crianças, revelam um cenário mais alarmante em comparação com os indicadores *HQoral* para homens e mulheres. Observa-se a ocorrência de áreas com valores de *HQoral* superiores a 1, o que indica risco potencial à saúde para doenças associadas à exposição oral ao  $\text{NO}_3^-$ -N. Essas áreas de anomalias estão concentradas, principalmente, nas porções norte e sul da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná, abrangendo 19 municípios da área de estudo. Destacam-se zonas limítrofes entre os municípios de Santo Antônio do Paraíso e São Jerônimo da Serra, Bandeirantes e Santa Mariana, Tomazina e Wenceslau Braz, Quatiguá e Joaquim Távora, Cambará e Jacarezinho, bem como entre Santo Antônio da Platina e Jacarezinho. Além disso, foram identificadas zonas parciais dos municípios de Abatiá, Andirá, Assaí, Bandeirantes, Cornélio Procópio, Jacarezinho, Jataizinho, Leopólis, Rancho Alegre, Santo Antônio da Platina e Uraí, com uma abrangência expressiva em Sertaneja, Cambará e Tomazina.

Dessa forma, a análise espacial indica que as crianças são o grupo mais suscetível aos riscos decorrentes da exposição ao  $\text{NO}_3^-$ -N nas águas subterrâneas da área de estudo. Diante desse cenário, é imprescindível que o poder público adote medidas eficazes de mitigação, com o objetivo de reduzir - ou idealmente eliminar - esses riscos, assegurando às crianças, bem como aos adultos, condições adequadas para uma vida mais saudável e com melhor qualidade.

Neste contexto, torna-se prioritária a identificação das fontes de contaminação por  $\text{NO}_3^-$ -N nas águas subterrâneas, etapa essencial para a adoção de medidas de remediação eficazes. Para tanto, é fundamental que os governos municipal, estadual e federal direcionem recursos públicos específicos voltados ao diagnóstico, controle e resolução dessa problemática ambiental. Paralelamente, deve-se implementar políticas de prevenção que evitem a expansão da contaminação para novas áreas, assegurando, assim, a proteção dos recursos hídricos subterrâneos e a promoção da saúde pública de forma integrada e sustentável.

**Figura 48 - Mapa de Avaliação de Risco do Nitrato à Saúde Humana - *HQoral*/Criança.**



Entre as ações que podem ser adotadas, destacam-se: a universalização dos serviços de saneamento básico — com ênfase no abastecimento de água potável e no tratamento de esgoto; o uso consciente e racional de fertilizantes nitrogenados em áreas agrícolas; o planejamento ambiental criterioso, em conformidade com a legislação vigente, para a instalação de empreendimentos potencialmente poluentes, como aterros sanitários e cemitérios; além do fortalecimento da fiscalização dessas atividades pelos órgãos competentes (Branco *et al.*, 2025; Pereira, 2021; Oliveira, 2023; Pires, 2023).

A implementação articulada dessas medidas contribuirá para a redução da vulnerabilidade ambiental da região, especialmente no que tange à contaminação das águas subterrâneas. Ao garantir a qualidade da água destinada ao consumo humano e preservar o equilíbrio dos ecossistemas, essas ações também favorecem a promoção da saúde da população e a melhoria da qualidade de vida nas áreas afetadas.

A análise da Tabela 19, que apresenta os valores do *HQ<sub>oral</sub>* para crianças superiores a 1, revela a existência de 38 pontos com risco elevado à saúde. Esses pontos indicam exposição potencialmente perigosa ao NO<sub>3</sub>-N, representando risco não carcinogênico relevante. Os valores observados variam de 1,1 – registrados nos municípios de Cambará, Cornélio Procópio, Leópolis, Sertaneja e Uraí – até o valor máximo de 5, encontrado também no município de Uraí, evidenciando a gravidade do cenário local.

**Tabela 19 - *HQoral* Criança acima de 1.**

<b>Poço</b>	<b>Município</b>	<b><i>HQoral</i> Crianças</b>
P383	Uraí	5,0
P99	Bandeirantes	3,7
P368	Tomazina	3,7
P218	Jacarezinho	2,7
P133	Cambará	2,4
P271	Quatiguá	2,3
P273	Quatiguá	2,2
P217	Jacarezinho	2,1
P213	Jacarezinho	2,1
P272	Quatiguá	2,0
P377	Uraí	2,0
P15	Andirá	1,8
P55	Assaí	1,8
P330	Santo Antônio da Platina	1,7
P382	Uraí	1,6
P282	Rancho Alegre	1,5
P381	Uraí	1,5
P33	Assaí	1,5
P2	Abatiá	1,5
P352	Sertaneja	1,5
P105	Bandeirantes	1,5
P136	Cambará	1,4
P83	Bandeirantes	1,3
P168	Cornélio Procópio	1,3
P338	Santo Antônio do Paraíso	1,3
P132	Cambará	1,3
P25	Assaí	1,3
P84	Bandeirantes	1,3
P82	Bandeirantes	1,3
P215	Jacarezinho	1,3
P169	Cornélio Procópio	1,2
P232	Jataizinho	1,2
P26	Assaí	1,2
P163	Cornélio Procópio	1,1
P398	Uraí	1,1
P252	Leópolis	1,1
P134	Cambará	1,1
P353	Sertaneja	1,1

**Fonte:** Instituto Água e Terra do estado do Paraná, 2023. Organizado pelo Autor, 2025.

A comparação dos valores de *HQoral* entre os grupos analisados - crianças, homens e mulheres - evidencia que as crianças estão significativamente mais expostas aos riscos não carcinogênicos associados à ingestão de águas subterrâneas contaminadas por NO<sub>3</sub>-N. Embora os valores máximos observados para todos os

grupos estejam localizados no município de Uraí, com *HQoral* igual a 5, os valores médios e medianos indicam uma vulnerabilidade maior da população infantil. A média do *HQoral* para crianças foi de 0,41, enquanto para homens e mulheres os valores médios foram de 0,24 e 0,21, respectivamente. A mediana também reforça essa tendência, sendo de 0,21 para crianças, 0,12 para homens e 0,11 para mulheres (Tabela 20). Esses resultados se explicam, sobretudo, pela menor massa corporal das crianças e pela maior taxa de ingestão de água por unidade de peso corporal, o que aumenta proporcionalmente a dose de exposição. Assim, os dados corroboram a necessidade de ações prioritárias voltadas à proteção da saúde infantil nas áreas mais vulneráveis.

**Tabela 20** - Estatística dos valores de *HQoral* Criança na região do Norte Pioneiro do estado do Paraná.

Referência	Dados estatísticos do <i>HQoral</i> Criança na área de estudo.
Mínimo	0,0
Máximo	5,0
<b>Média</b>	<b>0,41</b>
<b>Mediana</b>	<b>0,21</b>

**Fonte:** Instituto Água e Terra do estado do Paraná, 2023. Organizado pelo Autor, 2025.

A integração dos diferentes indicadores — Vulnerabilidade Socioambiental, Vulnerabilidade Aquífera e *HQoral* — resultou no Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental ao  $\text{NO}_3\text{-N}$ , permitindo uma análise espacial mais abrangente da exposição populacional. A partir dos resultados obtidos, observa-se que as áreas de maior risco se sobrepõem, em sua maioria, às regiões com alta e muito alta vulnerabilidade socioambiental, associadas a aquíferos com características geológicas mais frágeis e a concentrações elevadas de  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Municípios como Uraí, Cambará, Santo Antônio da Platina, Jacarezinho e Tomazina se destacam com os maiores níveis de risco integrado, indicando zonas críticas onde há confluência entre fatores ambientais e sociais que amplificam o potencial de impacto à saúde humana.

Assim como no *HQoral* Criança, o índice revelou que as populações infantis são as mais vulneráveis, reforçando a necessidade de estratégias de mitigação direcionadas. A análise integrada permite, portanto, não apenas identificar os locais

no Norte Pioneiro Paranaense com maior comprometimento ambiental, mas também estabelecer prioridades de gestão e intervenção com base em evidências científicas especializadas.

No próximo subtópico, foi apresentado o Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental para o  $\text{NO}_3\text{-N}$  na região do Norte Pioneiro do Paraná. Os resultados levaram em conta a Vulnerabilidade Socioambiental da região, elaborada nesta pesquisa, a Vulnerabilidade Aquífera, bem como os índices de avaliação de risco à saúde.

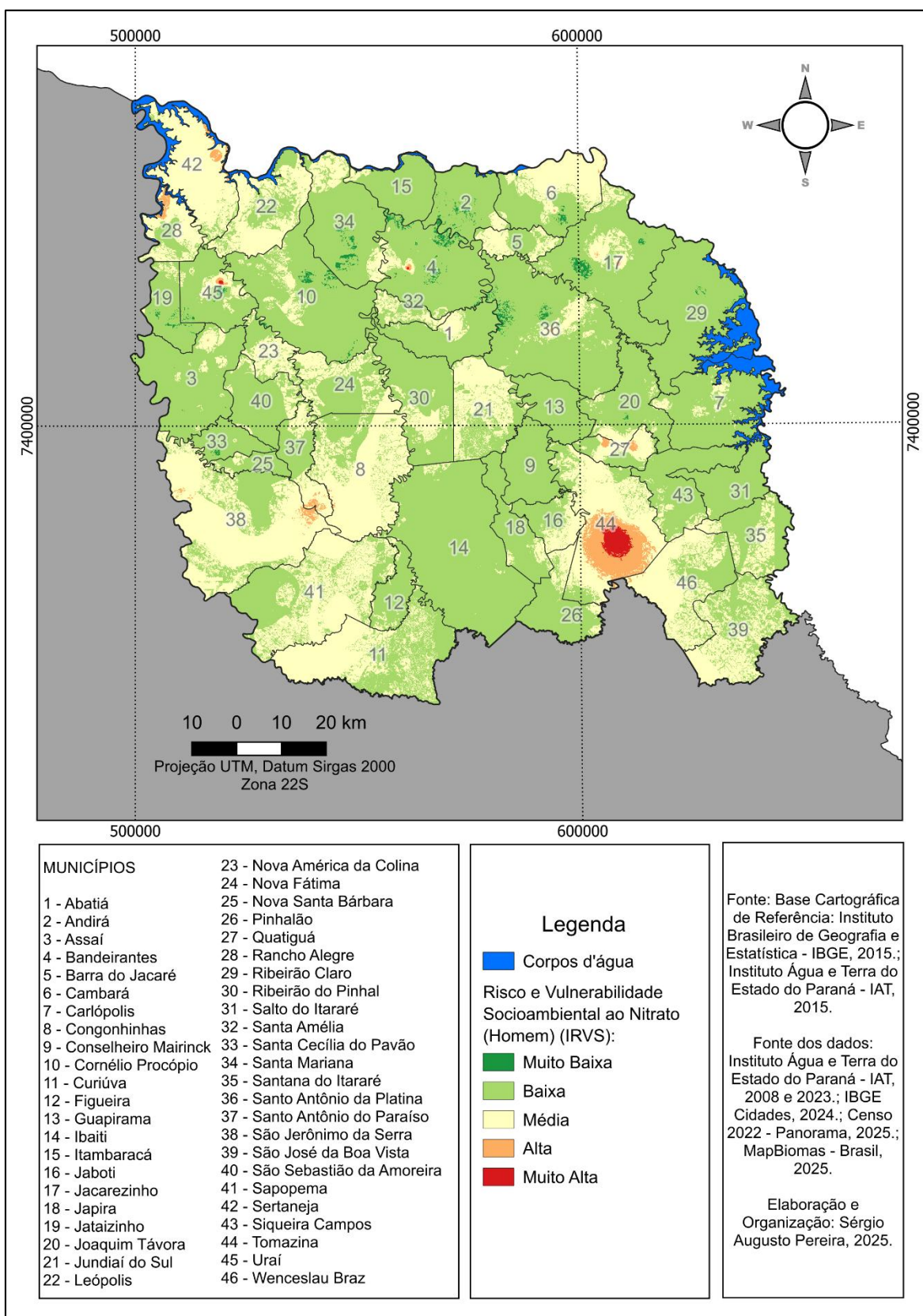
#### 6.5 ÍNDICE DE RISCO E VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL AO NITRATO NA REGIÃO DO NORTE PIONEIRO DO ESTADO DO PARANÁ.

O Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental ao  $\text{NO}_3\text{-N}$  (*IRVS*), referente à região do Norte Pioneiro do estado do Paraná, foi elaborado com base nos resultados do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental, da Vulnerabilidade Aquífera e da Avaliação de Risco à Saúde para doenças associadas à presença de  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Os resultados consideraram os valores do *IRVS* para três grupos populacionais distintos — homens, mulheres e crianças — e estão representados nas Figuras 49 (homens), 50 (mulheres) e 51 (crianças).

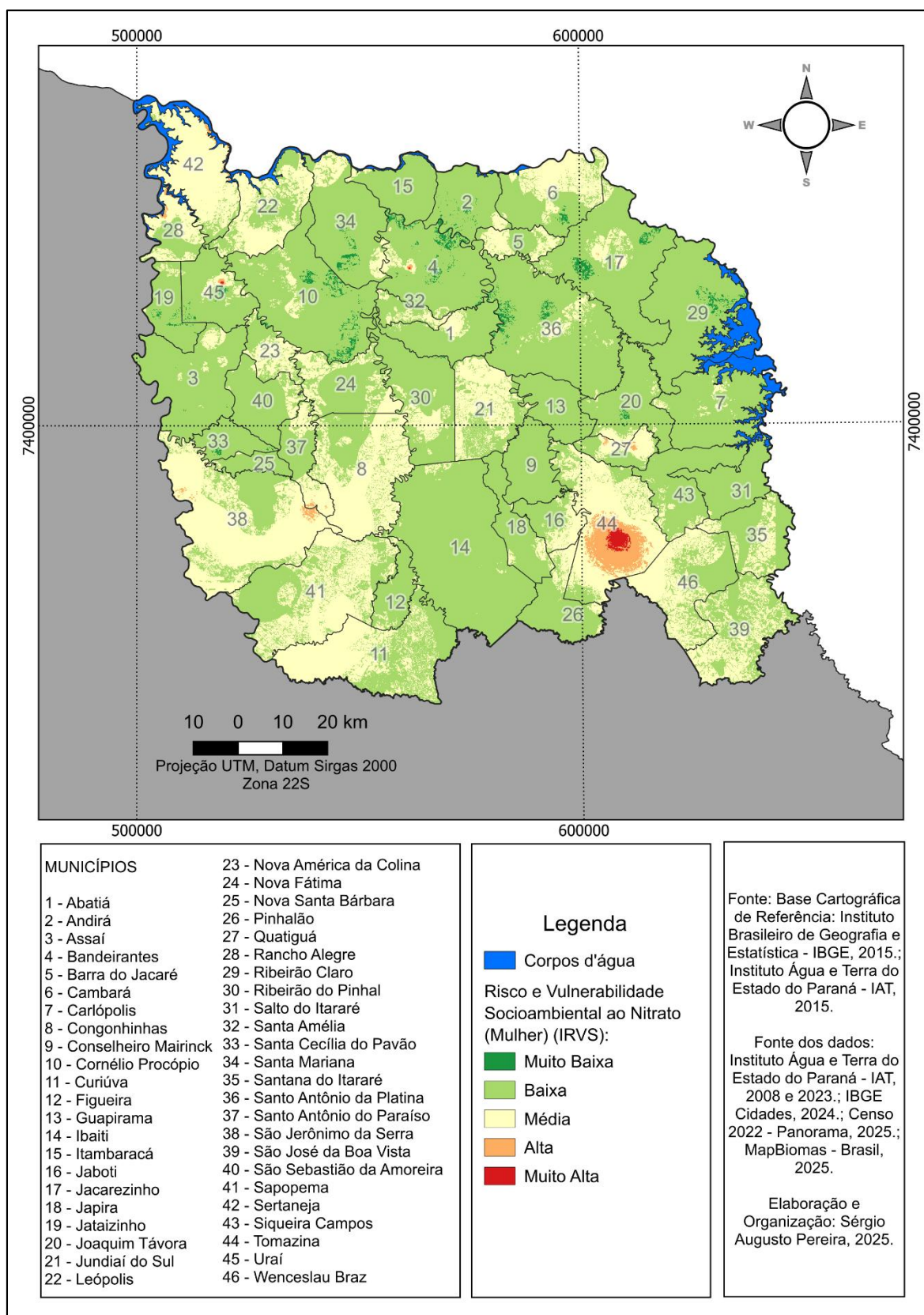
A análise do mapa do *IRVS* para homens (Figura 49) indica que a maior parte da área de estudo apresenta níveis classificados como baixo e médio. Áreas com *IRVS* muito baixo ocorrem em pequenos fragmentos distribuídos por alguns municípios da região, concentrando-se na porção norte. Já os níveis altos do *IRVS* aparecem em diversos municípios, como Cambará, Bandeirantes, Jacarezinho, Leópolis, Assaí, Sertaneja, Rancho Alegre, Quatiguá, Tomazina e Uraí, além de áreas localizadas nas divisas entre os municípios de Santo Antônio do Paraíso, São Jerônimo da Serra e Congonhinhas. Quanto ao *IRVS* muito alto, destacam-se áreas nos municípios de Bandeirantes, Tomazina e Uraí.

De maneira semelhante, o mapa do *IRVS* para mulheres (Figura 50) revela uma distribuição espacial bastante próxima àquela observada para os homens, embora com valores ligeiramente menos preocupantes. A maior parte da área de estudo permanece nas classes de *IRVS* baixo e médio, com áreas de *IRVS* muito baixo localizadas em fragmentos da porção norte.

**Figura 49** - Mapa do Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental para o Nitrato na Região do Norte Pioneiro do estado do Paraná (Homem).



**Figura 50** - Mapa do Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental para o Nitrato na Região do Norte Pioneiro do estado do Paraná (Mulher).



As classificações altas do *IRVS* feminino também estão presentes em municípios como Sertaneja, Rancho Alegre, Uraí, Bandeirantes, Quatiguá e Tomazina, bem como nas divisas entre Santo Antônio do Paraíso e São Jerônimo da Serra. Por fim, fragmentos de *IRVS* muito alto foram identificados nos municípios de Bandeirantes, Tomazina e Uraí.

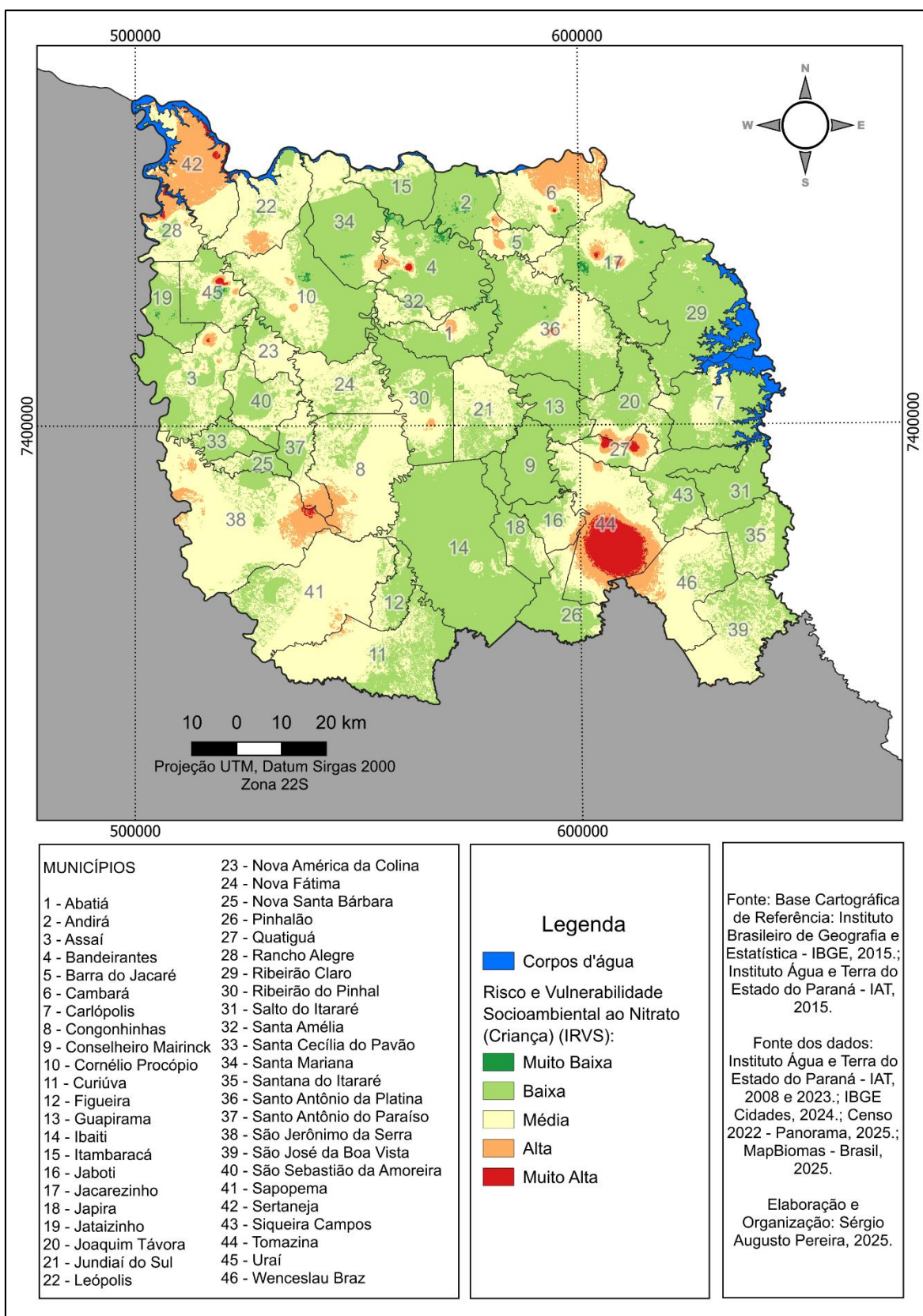
A Figura 51, que ilustra o mapa do *IRVS* na Região do Norte Pioneiro do estado do Paraná (Criança), assim como o *HQoral* Criança, mostra um panorama mais preocupante em relação aos *IRVS* Homem e Mulher.

Conforme os resultados apresentados na Figura 51, referentes ao *IRVS* Criança, percebe-se que o *IRVS* muito baixo se apresenta em algumas porções em alguns municípios da região, como por exemplo nos municípios de Andirá, Bandeirantes, Cambará, Cornélio Procópio, Jacarezinho, Jataizinho, Ribeirão Claro, Santa Mariana, Santo Antônio da Platina e Uraí. A classe do *IRVS* baixo é encontrada em todos os municípios da área de estudo. Já o *IRVS* médio se encontra em quase todos os municípios, exceto Conselheiro Mairinck.

O *IRVS* alto possui fragmentos em diversos municípios que compõem a área em estudo, como por exemplo nos municípios de Abatiá, Andirá, Assaí, Bandeirantes, Barra do Jacaré, Cambará, Congonhinhas, Cornélio Procópio, Curiúva, Jaboti, Jacarezinho, Jataizinho, Joaquim Távora, Leopólis, Quatiguá, Rancho Alegre, Ribeirão do Pinhal, Santa Amélia, Santa Mariana, Santana do Itararé, Santo Antônio da Platina, Santo Antônio do Paraíso, São Jerônimo da Serra, São José da Boa Vista, Sapopema, Sertaneja, Tomazina, Uraí e Wenceslau Braz.

O *IRVS* muito alto pode ser encontrado em 15 municípios que compõem a área de estudo desta pesquisa, principalmente nas áreas limítrofes dos municípios de Santo Antônio do Paraíso e São Jerônimo da Serra, Tomazina e Wenceslau Braz e Quatiguá e Joaquim Távora, em zonas parciais dos municípios de Andirá, Assaí, Bandeirantes, Cambará, Jacarezinho, Rancho Alegre, Sertaneja e Uraí.

**Figura 51** - Mapa do Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental para o Nitrato na Região do Norte Pioneiro do estado do Paraná (Criança).



Diante disso, é possível observar, a partir das Figuras 49, 50 e 51, que os mais expostos aos riscos e vulneráveis aos efeitos nocivos do  $\text{NO}_3\text{-N}$  à saúde humana são as crianças. Sendo assim, é importante uma tomada de decisão rápida das autoridades competentes em relação aos riscos e a vulnerabilidades que os habitantes dos municípios que compõem a região de estudo estão inseridos, para que a população, principalmente as crianças, não sofra os efeitos negativos em relação à sua saúde oriundos da contaminação das águas subterrâneas por  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

Diante do exposto, os resultados exigem atenção especial, uma vez que as crianças se mostraram mais expostas aos riscos e mais vulneráveis socioambientalmente às consequências da contaminação das águas subterrâneas por  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Nesse contexto, este estudo é de extrema relevância, pois busca propor soluções práticas para mitigar os efeitos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, resultantes dessa problemática.

#### 6.5.1 Análise das Mortes por Neoplasias (Cólon, Reto e Ânus e Estômago) nos municípios da Região no Norte Pioneiro do Estado do Paraná

Diversos estudos apontam que os principais tipos de neoplasias associados ao consumo excessivo de  $\text{NO}_3\text{-N}$  são os cânceres gastrointestinais, especialmente os de cólon, reto, ânus e estômago (Verly; Saeki; Stelato, 2017; Lima; Troleis, 2022; Oliveira, 2023). Diante disso, esta seção discute os dados de mortalidade por esses tipos de cânceres nos municípios que compõem a área de estudo.

Ao se analisar os números de óbitos por neoplasias de cólon, reto, ânus e estômago nos municípios do Norte Pioneiro do estado do Paraná no ano de 2022, verifica-se que há uma variação significativa entre os municípios em relação tanto aos números absolutos quanto às taxas padronizadas de mortalidade (Tabela 21).

**Tabela 21** - Números absolutos e taxa de mortalidade por neoplasias (Câncer de cólon, reto e ânus e estômago) (dados de 2022) e dados de população por município (dados de 2022) do Norte Pioneiro estado do Paraná.

Município	Mortalidade por neoplasias (cólon, reto e ânus)	Mortalidade por neoplasia (estômago)	População	Taxa de mortalidade por neoplasias (cólon, reto e ânus)	Taxa de mortalidade por neoplasia (estômago)
Abatiá	0	0	7.241	0,000	0,000
Andirá	3	1	19.878	15,092	5,031
Assaí	0	1	13.797	0,000	7,248
Bandeirantes	1	1	31.273	3,198	3,198
Barra do Jacaré	0	0	2.814	0,000	0,000
Cambará	7	1	23.212	30,157	4,308
Carlópolis	0	0	16.905	0,000	0,000
Congonhinhas	1	0	8.320	12,019	0,000
Conselheiro Mairinck	1	0	3.461	28,893	0,000
Cornélio Procópio	10	3	45.206	22,121	6,636
Curiúva	1	0	13.647	7,328	0,000
Figueira	1	1	8.062	12,404	12,404
Guapirama	2	1	4.626	43,234	21,617
Ibaiti	2	3	28.830	6,937	10,406
Itambaracá	0	1	5.908	0,000	16,926
Jaboti	0	1	5.427	0,000	18,426
Jacarezinho	4	8	40.375	9,907	19,814
Japira	0	1	4.972	0,000	20,113
Jataizinho	3	1	11.813	25,396	8,465
Joaquim Távora	2	0	11.945	16,743	0,000
Jundiá do Sul	0	0	3.333	0,000	0,000
Leópolis	1	0	3.752	26,652	0,000
Nova América da Colina	0	1	3.280	0,000	30,488
Nova Fátima	0	2	7.225	0,000	27,682
Nova Santa Bárbara	1	1	4.184	23,901	23,901
Pinhalão	1	0	6.566	15,230	0,000
Quatiguá	0	0	8.099	0,000	0,000
Rancho Alegre	0	0	3.512	0,000	0,000
Ribeirão Claro	1	0	12.364	8,088	0,000
Ribeirão do Pinhal	2	1	13.060	15,314	7,657
Salto do Itararé	1	0	5.192	19,260	0,000
Santa Amélia	0	0	3.394	0,000	0,000
Santa Cecília do Pavão	4	0	3.365	118,871	0,000
Santa Mariana	1	0	11.066	9,037	0,000
Santana do Itararé	2	0	5.514	36,271	0,000
Santo Antônio da Platina	5	3	44.369	11,269	6,761
Santo Antônio do Paraíso	0	0	2.125	0,000	0,000
São Jerônimo da Serra	2	2	10.830	18,467	18,467
São José da Boa Vista	0	0	6.040	0,000	0,000
São Sebastião da Amoreira	0	3	8.063	0,000	37,207
Sapopema	0	0	6.695	0,000	0,000
Sertaneja	2	0	5.616	35,613	0,000
Siqueira Campos	4	0	22.811	17,535	0,000
Tomazina	4	1	8.426	47,472	11,868
Uraí	3	1	10.406	28,830	9,610
Wenceslau Braz	2	0	19.188	10,423	0,000
<b>Recorte da área de estudo</b>	<b>74</b>	<b>39</b>	<b>546.187</b>	<b>13,548</b>	<b>7,140</b>

Fonte: DATASUS, 2025.; IBGE, 2024.; Organizado pelo autor, 2025.

Em relação às neoplasias de cólon, reto e ânus, 17 municípios da área de estudo não apresentaram nenhum registro de óbito no ano analisado. Por outro lado, Cambará e Cornélio Procópio destacam-se com os maiores números absolutos, com 7 e 10 óbitos, respectivamente (Figura 52).

A análise da Tabela 21 e Figura 52 permite uma visualização clara dos municípios com maior e menor ocorrência de óbitos por neoplasias gastrointestinais na área de estudo. Nota-se que a maioria dos municípios apresentou baixa incidência de mortes por esses tipos de câncer, especialmente no caso das neoplasias de estômago. No entanto, algumas localidades se destacam negativamente com números mais expressivos, o que levanta hipóteses importantes sobre fatores ambientais, como a possível contaminação por  $\text{NO}_3\text{-N}$  nas águas subterrâneas.

Em relação às neoplasias de cólon, reto e ânus, os municípios com maior número absoluto de óbitos foram:

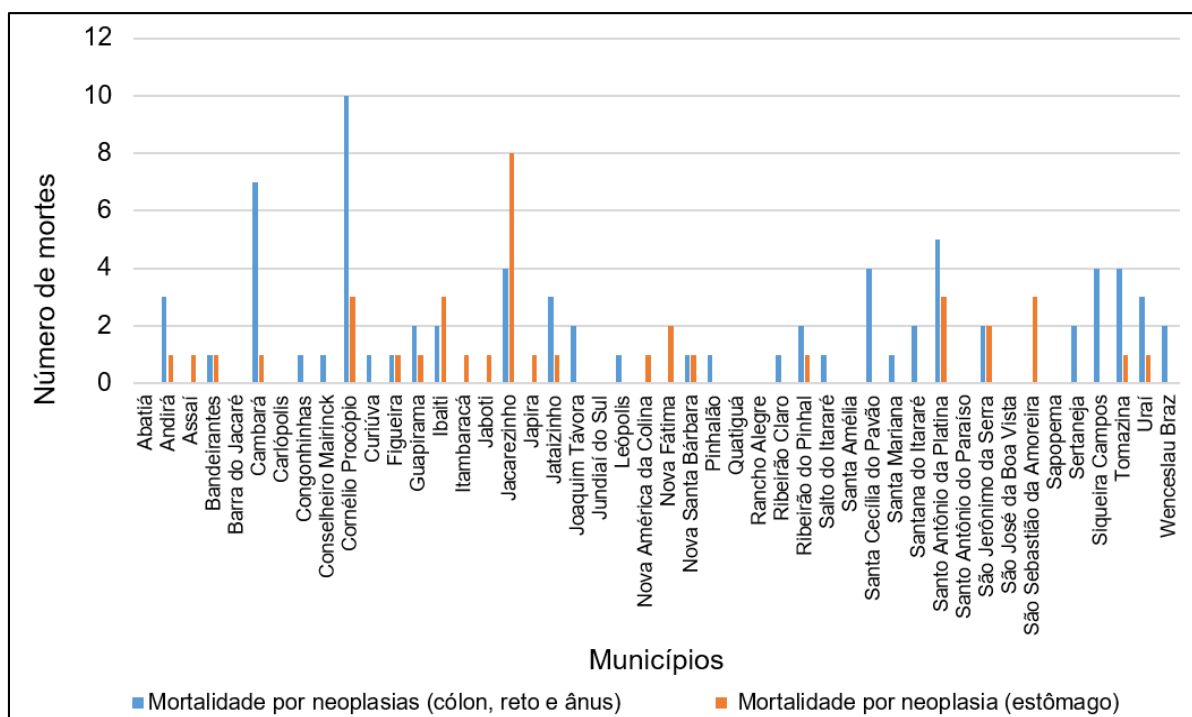
- Cornélio Procópio, com 10 mortes;
- Cambará, com 7 mortes;
- Santo Antônio da Platina, com 5 mortes;
- Jacarezinho, Santa Cecília do Pavão, Siqueira Campos e Tomazina, com 4 mortes cada;
- Andirá, Jataizinho e Uraí, com 3 mortes cada.

Quanto às neoplasias de estômago, destaca-se:

- Jacarezinho, com 8 mortes, sendo o município com o maior número absoluto para esse tipo de câncer;
- Cornélio Procópio, Ibaiti, Santo Antônio da Platina e São Sebastião da Amoreira com 3 mortes cada.

Importante notar que Jacarezinho é o único município que figura entre os cinco com maior número de mortes tanto por câncer colorretal quanto por câncer gástrico, o que sugere uma condição de risco elevado que merece atenção especial por parte dos órgãos de saúde pública.

**Figura 52** - Números absolutos de mortes por neoplasias (Câncer de cólon, reto, ânus e estômago) (dados de 2022).

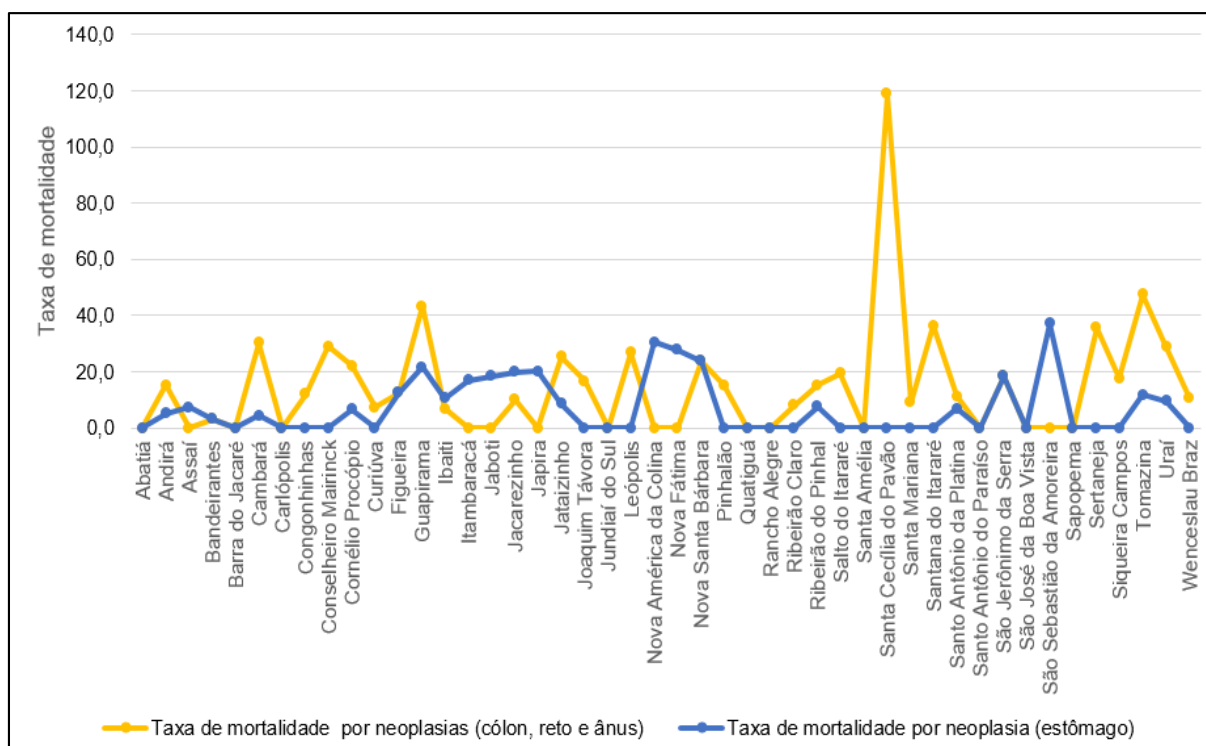


**Fonte:** DATASUS, 2025.; Organizado pelo autor, 2025.

Embora os números absolutos de óbitos ofereçam uma visão preliminar do problema, a análise das taxas padronizadas de mortalidade por 100.000 habitantes (Tabela 21 e Figura 53) é fundamental para uma compreensão mais precisa da gravidade da situação. Isso porque municípios com populações reduzidas podem apresentar taxas proporcionalmente elevadas, mesmo com poucos registros de óbito.

Um exemplo marcante é o município de Santa Cecília do Pavão, que, apesar de registrar apenas quatro mortes por câncer colorretal, apresentou uma taxa de mortalidade de 118,8 por 100.000 habitantes — a mais alta entre todos os municípios da região estudada. Esse dado revela um cenário particularmente alarmante, demonstrando como a incidência proporcional pode evidenciar riscos que não são imediatamente perceptíveis na análise por números absolutos.

**Figura 53** - Taxa de mortalidade por neoplasias (Câncer de cólon, reto e ânus e estômago) na região do Norte Pioneiro do estado do Paraná (dados de 2022).



Fonte: DATASUS, 2025.; IBGE, 2024.; Organizado pelo autor, 2025.

Outros municípios que apresentaram taxas acima de 20 por 100.000 habitantes para esse tipo de neoplasia incluem:

- Guapirama (43,2),
- Tomazina (47,5),
- Sertaneja (35,6),
- Santana do Itararé (36,3),
- Conselheiro Mairinck (28,9),
- Leópolis (26,7),
- Jataizinho (25,4),
- Uraí (28,8),
- Cambará (30,1),
- Nova Santa Bárbara (23,9).

Quanto à mortalidade por câncer de estômago, embora as taxas sejam em geral mais baixas, alguns municípios também se destacam negativamente:

- São Sebastião da Amoreira (37,2),
- Nova América da Colina (30,5),

- Nova Fátima (27,7),
- Nova Santa Bárbara (23,9),
- Japira (20,1),
- Guapirama (21,6),
- Jacarezinho (19,8).

Essas observações reforçam a importância da análise integrada entre dados epidemiológicos e ambientais. A sobreposição dos municípios com maior número de óbitos por neoplasias gastrointestinais e aqueles com maior vulnerabilidade socioambiental e aquífera e presença de poços contaminados por  $\text{NO}_3^-$ -N levanta fortes indícios da influência de fatores antrópicos sobre a saúde da população.

Portanto, a presente análise evidencia a necessidade urgente de ações de monitoramento, prevenção e remediação ambiental, especialmente em municípios com alta concentração de  $\text{NO}_3^-$ -N nas águas subterrâneas e maiores taxas de mortalidade por cânceres relacionados ao trato gastrointestinal.

Esses dados são preocupantes, pois ao comparar os dados da taxa de mortalidade da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná do ano de 2022 com a taxa de mortalidade do Brasil no ano de 2021, percebe-se que alguns municípios estão bem acima da média nacional. Dessa forma, é preciso que se realize uma análise mais precisa para identificar o porquê isso está ocorrendo nesses municípios da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná.

De acordo com o Instituto Nacional do Câncer, em 2021, 10.662 óbitos de homens foram registradas por câncer de cólon e reto, apresentando taxa de mortalidade de 8,8, e 9.007 óbitos por câncer de estômago, com uma taxa de 7,5. 10.598 mulheres morreram por câncer de colo e reto, sendo uma taxa de 9,6 e 5.252 mulheres tiveram óbito por câncer de estômago, apresentando taxa de 4,7 (Tabela 22).

**Tabela 22** - Taxa de mortalidade por câncer de cólon, reto e estômago no Brasil em 2021.

<b>Sexo</b>	<b>Óbitos por câncer de cólon e reto</b>	<b>Óbitos câncer de estômago</b>	<b>Taxa de mortalidade por Câncer de cólon e reto</b>	<b>Taxa de mortalidade por câncer de estômago</b>
Homens	10.662	9.007	8,8	7,5
Mulheres	10.598	5.252	9,6	4,7
Total	21.260	14.259	9,2	6,1

**Fonte:** Instituto Nacional do Câncer – INCA, 2025.; Organizado pelo autor, 2025.

Dessa forma, no Brasil, no ano de 2021, a taxa de mortalidade para cânceres de cólon e reto foi de 9,2 e para o câncer de estômago foi de 6,1. Percebe-se que tanto na região de estudo quanto no Brasil, câncer de cólon e reto causam mais óbitos que o câncer de estômago.

Com base nos dados apresentados, dos municípios que apresentaram poços com águas contaminadas por  $\text{NO}_3\text{-N}$ , as taxas de mortalidade nos municípios de Cambará, Tomazina e Uraí são maiores que a média brasileira para o câncer de cólon e reto, com taxas acima de 20, com valores de 30,1, 47,4 e 28,8, respectivamente. Os municípios de Jacarezinho, Tomazina e Uraí também apresentaram taxas de mortalidade para o câncer de estômago maiores que as do Brasil, sendo 19,8, 11,8 e 9,6 respectivamente, enquanto a taxa média no Brasil foi de 6,1 em 2021.

Em síntese, os dados aqui analisados expõem que pode haver uma relação entre a ocorrência de cânceres gastrointestinais e as possíveis condições ambientais dos municípios da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná, particularmente no que se refere à contaminação das águas subterrâneas por  $\text{NO}_3\text{-N}$ . A alta taxa de mortalidade por cânceres de cólon, reto, ânus e estômago em alguns municípios ultrapassa consideravelmente a média nacional, levantando a necessidade de estudos mais detalhados, aprofundados e intervenções urgentes.

Dessa forma, a abordagem metodológica aqui descrita, metodologia de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental para o  $\text{NO}_3\text{-N}$  nas águas subterrâneas do Norte Pioneiro do Paraná, destaca a importância da abordagem integrada entre análise de dados ambientais e sociais, ou seja, uma análise feita de forma holística. A metodologia proposta permite identificar áreas de maior risco de contaminação por  $\text{NO}_3\text{-N}$ , considerando fatores como uso e ocupação do solo, práticas agrícolas, implementação de serviços de saneamento básico e vulnerabilidade dos aquíferos.

A aplicação dessa metodologia não só auxilia a gestão e a mitigação dos impactos ambientais, mas também promove a conscientização da população e dos gestores locais sobre a necessidade de políticas públicas adequadas e condizentes com a realidade local e ações de preservação, visando o uso sustentável da água subterrânea, recurso essencial para o desenvolvimento da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná, tendo como objetivo primeiro a saúde da população e também do meio ambiente.

### 6.5.2 Análise de Correlação e Regressão Quantílica entre o *IRVS* Médio e Mortalidade por Neoplasias

Os resultados da correlação de Spearman entre o *IRVS* Médio e as taxas de mortalidade encontram-se sintetizados na Tabela 23.

**Tabela 23** - Correlação de Spearman entre *IRVS* Médio e taxas de mortalidade por neoplasias.

Taxa_CRA — $\rho = 0,195$ — $p = 0,194$
Taxa_EST — $\rho = 0,322$ — $p = 0,029$

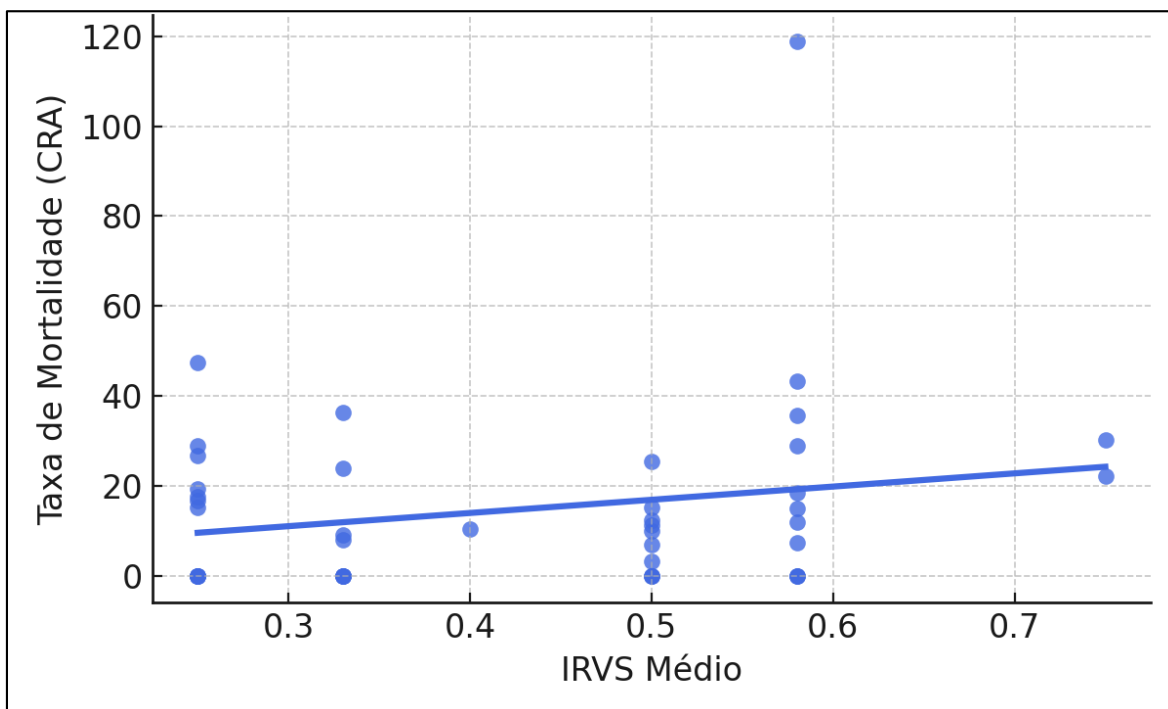
Fonte: Organizado pelo autor, 2025.

Conforme exposto na Tabela 23 e Figuras 54 e 55, apenas a correlação entre *IRVS* Médio e Taxa\_EST (câncer de estômago) foi significativa ( $\rho=0,322$ ;  $p = 0,029$ ). Isso sugere que, de forma global, municípios com vulnerabilidade socioambiental mais elevada tendem a apresentar maiores taxas de mortalidade por neoplasias gástricas.

Já a correlação com Taxa\_CRA (câncer de cólon, reto e ânus) não foi significativa ( $\rho=0,195$ ;  $p = 0,194$ ). Do ponto de vista epidemiológico, isso pode indicar que o *IRVS* Médio exerce um efeito mais difuso ou não-linear sobre as taxas de mortalidade colorretal, que podem depender de outros fatores (hábitos alimentares, histórico familiar, *screening* preventivo, etc.).

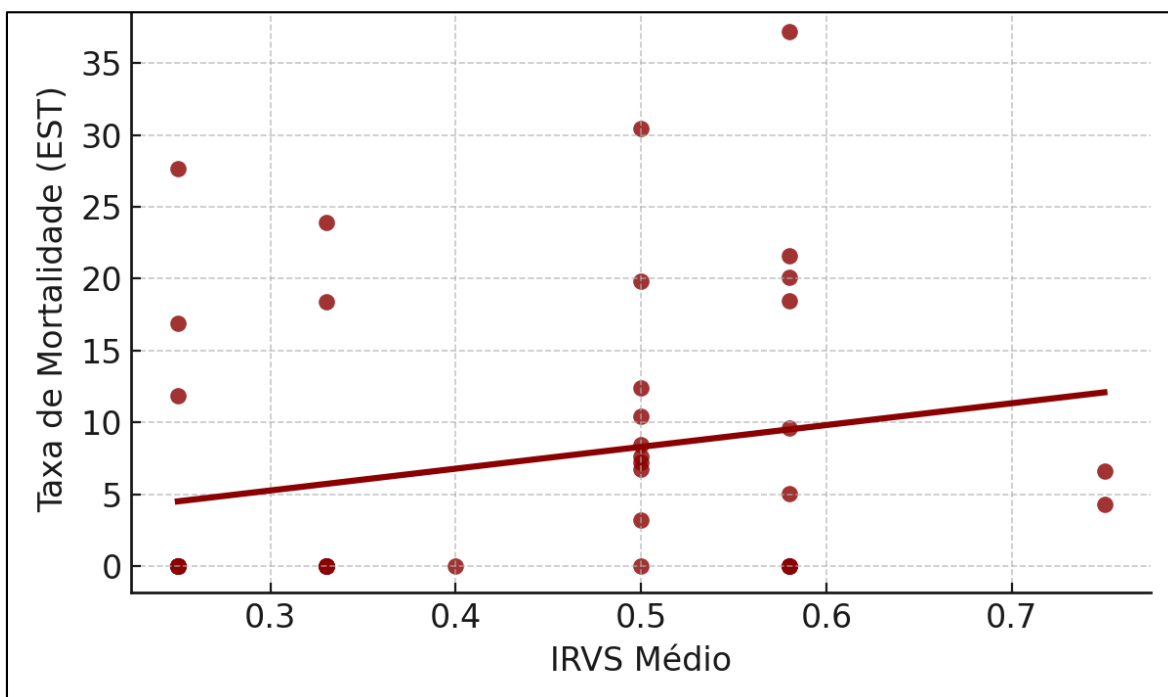
A Figura 54 ilustra a distribuição dos dados entre o *IRVS* Médio e a Taxa\_CRA, enquanto a Figura 55 mostra a relação com a Taxa\_EST.

**Figura 54** - Dispersão entre *IRVS* Médio e Taxa\_CRA (não significativo).



Fonte: Organizado pelo autor, 2025.

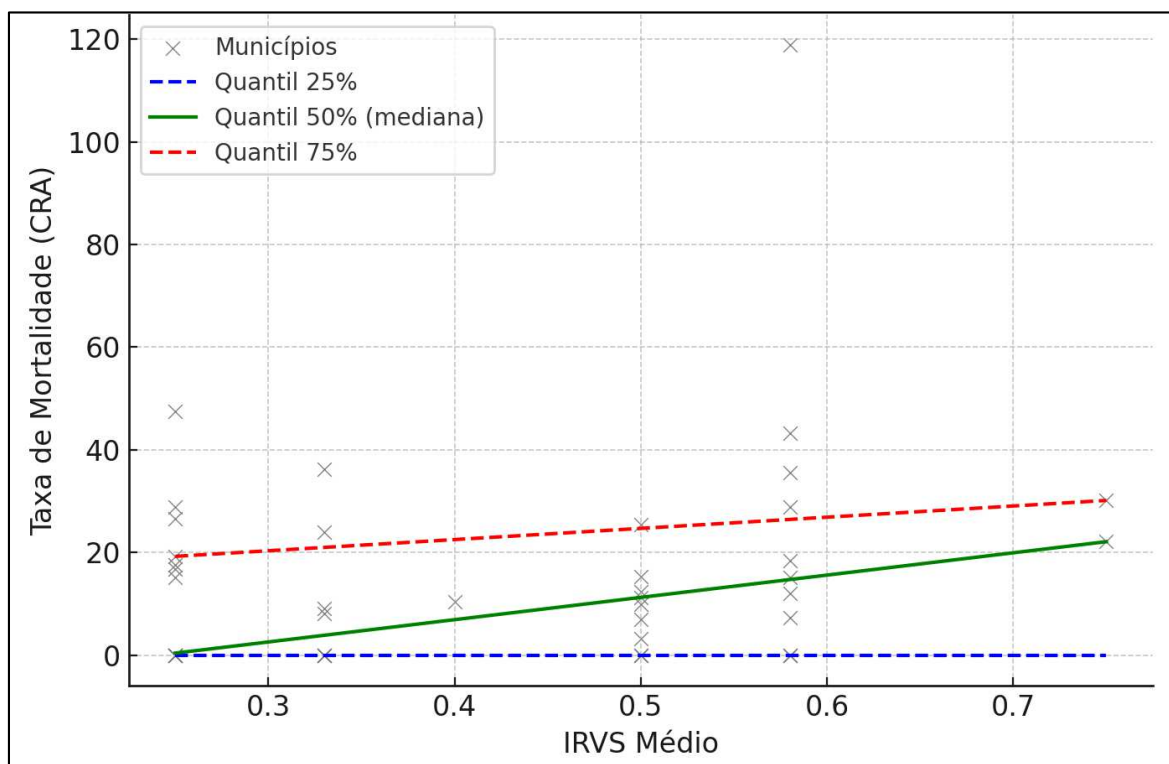
**Figura 55** - Dispersão entre *IRVS* Médio e Taxa\_EST ( $p = 0,029$ ).



Fonte: Organizado pelo autor, 2025.

Para analisar como o *IRVS* Médio se comporta em diferentes níveis de mortalidade por neoplasias colorretais (Taxa\_CRA), foi empregada a regressão quantílica, contemplando os quantis 0,25, 0,50 e 0,75 da distribuição (Figura 56).

**Figura 56** - Regressão Quantílica entre *IRVSMédio* e *Taxa\_CRA* para os quantis 0.25, 0.50 e 0.75.



Fonte: Organizado pelo autor, 2025.

Essa abordagem revelou que, no quantil 0,25, o coeficiente estimado se manteve próximo de zero e sem significância estatística ( $p = 1,000$ ), sugerindo que, nos municípios com mortalidade colorretal mais baixa, a vulnerabilidade socioambiental não exerce um efeito determinante. Nesse estrato, possivelmente, outras variáveis, como melhor acesso à saúde preventiva ou menor exposição a fatores de risco, mitigam a influência do *IRVS*.

No quantil mediano (0,50), o *IRVSMédio* apresentou coeficiente de 43,408 ( $p = 0,037$ ), refletindo uma associação estatisticamente significativa. Para municípios com mortalidade intermediária, portanto, o aumento do *IRVS* relaciona-se diretamente ao incremento na taxa de óbitos por câncer colorretal. Tal resultado indica que, em um cenário de mortalidade moderada, o componente socioambiental tem papel marcante.

Já no quantil 0,75, referente aos municípios com mortalidade mais alta, obteve-se coeficiente de 21,794 ( $p = 0,485$ ), sem significância estatística. Isso sugere que, em faixas elevadas de mortalidade, a influência do *IRVSMédio* pode ser sobreposta por fatores adicionais, como predisposições genéticas específicas,

exposição a carcinógenos ambientais ou limitações intensas de serviços de saúde, reduzindo a relevância estatística da vulnerabilidade socioambiental nessa porção superior da distribuição.

#### 6.5.2.1 Análise de *outliers* e municípios em destaque

Entre os casos analisados, alguns municípios apresentam valores muito altos tanto no *IRVS* Médio quanto nas taxas de mortalidade por câncer colorretal ou estômago. Santa Cecília do Pavão, por exemplo, registrou *IRVS* de 0,58 e mortalidade colorretal de 118,87 por 100 mil habitantes, enquanto Uraí apresentou *IRVS* de 0,58, com 28,83 (CRA) e 9,61 (EST). Guapirama, também com *IRVS* de 0,58, exibiu 43,23 (CRA) e 21,62 (EST).

Embora Santa Cecília do Pavão apresente um valor substancialmente acima da média para mortalidade colorretal, isso não invalida a regressão quantílica, uma vez que o método isola os efeitos do *IRVS* em diferentes faixas da distribuição. No entanto, esses casos extremos indicam que múltiplos fatores podem se somar ao risco e à vulnerabilidade socioambiental, exigindo atenção especial das autoridades locais.

Esses valores demonstram que tais municípios reúnem características críticas tanto em termos de *IRVS* quanto de desfechos em saúde pública, reforçando a importância de políticas públicas direcionadas à redução da vulnerabilidade como estratégia preventiva em saúde coletiva. Evidências semelhantes foram apontadas por Zindani *et al.* (2024), ao demonstrarem que áreas com maior carga socioambiental apresentaram piores índices de triagem e maiores taxas de mortalidade por câncer de cólon, mama e colo do útero nos Estados Unidos, destacando o papel das desigualdades sociais e ambientais nos desfechos oncológicos. Complementarmente, Boukich *et al.* (2024) observaram riscos significativos à saúde humana relacionados à contaminação por  $\text{NO}_3\text{-N}$  em águas subterrâneas no Marrocos, especialmente para populações infantis expostas a condições ambientais precárias, indicando que a degradação ambiental pode amplificar vulnerabilidades sanitárias em diferentes contextos geográficos.

A correlação de Spearman capta a associação monotônica geral entre duas variáveis e, nesse estudo, corroborou uma relação positiva do *IRVS* Médio com as neoplasias gástricas, mas não com as colorretais. Já a regressão quantílica demonstrou que o efeito da exposição ao risco e vulnerabilidade sobre o câncer

colorretal ocorre de forma mais evidente na porção mediana da distribuição de mortalidade, sem se manifestar fortemente nos níveis mais baixos ou mais altos.

Esse resultado não contradiz os achados de Spearman; ao contrário, evidencia que o efeito do *IRVS* não é uniforme em todas as faixas de mortalidade e pode, portanto, não surgir em uma estatística global única. Desse modo, a regressão quantílica aprofunda a análise, revelando nuances que ficariam ocultas em métodos tradicionais.

#### 6.5.2.2 Implicações em saúde coletiva

As evidências apontam que intervenções focalizadas em municípios de mortalidade intermediária podem se mostrar especialmente efetivas quando se visa reduzir o impacto da vulnerabilidade socioambiental no câncer colorretal. Nos locais onde a mortalidade é muito alta, podem ser necessárias políticas ainda mais específicas, abordando fatores genéticos, ambientais e estruturais. Já no caso das neoplasias gástricas, a correlação positiva com o *IRVS* sugere que melhorias em saneamento, alimentação e acesso a diagnósticos precoces podem beneficiar diretamente as populações mais vulneráveis, reduzindo a incidência e a letalidade dessa doença.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se, a partir do cruzamento dos dados de IDHM por município, do percentual de atendimento dos serviços de tratamento de esgoto por município e do uso e ocupação do solo da área de estudo, que a maior parte da região do Norte Pioneiro do Estado do estado do Paraná tem Vulnerabilidade Socioambiental que vai de média e alta, a muito alta, não possuindo nenhuma área com Vulnerabilidade Socioambiental muito baixa.

Em relação a Vulnerabilidade Aquífera da área de estudo, elaborada por meio do método GOD, demonstrou-se que a área de estudo não apresenta vulnerabilidade insignificante, variando em sua maior parte entre as vulnerabilidades baixa, média e alta, tendo apenas um pequeno recorte de vulnerabilidade aquífera extrema localizado no município de Jacarezinho.

Contatou-se, com base nos dados extraídos do Instituto Água e Terra do estado Paraná que a região do Norte Pioneiro do estado do Paraná possui municípios onde há contaminação da água subterrânea por  $\text{NO}_3\text{-N}$ , levando em consideração a legislação brasileira. Esses municípios são Bandeirantes, no poço P99 (20,210 mg/L), Cambará no P133 (13,000 mg/L), Jacarezinho, nos poços P213 (11,320 mg/L), P217 (11,490 mg/L) e P218 (14,590 mg/L), Quatiguá, nos P271 (12,400 mg/L), P272 (11,100 mg/L) e P273 (11,970 mg/L), Tomazina no poço P368 (20,100 mg/L) e Uraí, nos poços P377 (10,600 mg/L) e P383 (26,900 mg/L).

Por meio do trabalho de campo, constatou-se que esses poços ainda estão em funcionamento, exceto o poço P213 que está abandonado. Através de análise laboratorial, constatou-se que o  $\text{NO}_3\text{-N}$  ainda se faz presente nesses poços, mas em concentrações abaixo dos resultados apresentados pelo Instituto Água e Terra. Por exemplo, o poço P99A e B estão com concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$  menores que 2,20 mg/L. O poço P133 apresentou concentrações de 6,12 mg/L. Os poços que se encontram em Jacarezinho, P217 e P218, apresentaram concentrações menores que 2,20 mg/L, assim como o P217, que se localiza em Quatiguá. O poço P272, em Quatiguá, apresentou teores de 6,64 mg/L. O poço P368, localizado em Tomazina, tem concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$  de 3,85 mg/L. Os poços de Uraí, P377 e P383, apresentaram concentrações de 7,84 e 5,91 mg/L, respectivamente.

Embora essas concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$  estejam abaixo da coletada na base de dados do IAT, os dados apresentados são importantes, uma vez que mostraram

que esses poços estão em pleno funcionamento, além de que o  $\text{NO}_3^- \text{N}$  se faz presente em suas águas. A divergência dos resultados pode ter ocorrido por diversos fatores, como já apresentado nesta pesquisa. Dessa forma, o monitoramento desses poços deve ser contínuo para que no momento de identificação do aumento dessas concentrações  $\text{NO}_3^- \text{N}$ , medidas possam ser tomadas com o objetivo de remediar a contaminação nessas áreas.

Com base nos dados de  $\text{NO}_3^- \text{N}$ , elaborou-se três mapas sobre a Avaliação de Risco para doenças associadas ao  $\text{NO}_3^- \text{N}$  em homens, mulheres e crianças. A área de estudo apresentou resultados preocupantes, principalmente quando se refere ao risco às crianças. O risco em homens e mulheres ficou semelhante, sendo o risco aos homens um pouco mais alto.

Por fim, a partir do cruzamento dos dados de Vulnerabilidade Socioambiental, Vulnerabilidade Aquífera e da Avaliação de Risco para doenças associadas ao  $\text{NO}_3^- \text{N}$ , foi elaborado o Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental para  $\text{NO}_3^- \text{N}$  na área de estudo, sendo esses resultados ilustrados por meio de mapas.

Dessa forma, os resultados obtidos mostraram que a maior parte da área de estudo apresenta Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental para  $\text{NO}_3^- \text{N}$  que vai de baixo a médio, com dados alarmantes quando se trata do *IRVS* para crianças, ou seja, com algumas áreas apresentando *IRVS* alto e muito alto.

Em relação à taxa de câncer de cólon, reto, ânus e estômago, alguns municípios da área de estudo apresentaram taxas muito maiores que a média nacional. A análise comparada entre a correlação de Spearman e a regressão quantílica demonstrou claramente como métodos estatísticos distintos podem se complementar ao investigar a relação entre o *IRVS* e a mortalidade por câncer. Enquanto Spearman forneceu um panorama global e robusto a *outliers*, a regressão quantílica capturou efeitos específicos em diferentes estratos de mortalidade. De modo geral, confirma-se a importância da vulnerabilidade socioambiental para o agravamento das neoplasias, sobretudo gástricas, além de se reforçar a necessidade de políticas públicas direcionadas para a redução das desigualdades em saúde.

Portanto, os resultados evidenciaram que há um déficit nos serviços de tratamento de esgoto em diversos municípios que compõem a área de estudo, bem como grandes áreas de cultivo agrícola e baixos índices de IDHM. Nesse sentido, as más condições do uso do solo, o não fornecimento dos serviços de tratamento de esgoto que são essenciais para a saúde humana, refletindo numa baixa qualidade de

vida para a população, entre outros, podem agravar as desigualdades sociais, comprometendo o desenvolvimento sustentável e o acesso a direitos fundamentais, como saúde e educação.

A Vulnerabilidade Socioambiental observada e a condição de risco a doenças relacionadas ao  $\text{NO}_3\text{-N}$  que a população está submetida, exige uma reflexão sobre a implementação de políticas públicas voltadas à educação, saúde, geração de emprego e renda, além da melhoria das condições de saneamento básico dos municípios que compõem a área de estudo, com ênfase na promoção de ambientes mais saudáveis e seguros.

Além disso, algumas áreas da região de estudo estão com seus aquíferos vulneráveis à contaminação. Dessa forma, a não promoção das políticas apontadas, caminham no sentido de aumentar os riscos da contaminação das águas subterrâneas, influenciando diretamente a saúde da população e ambiental.

Nesse sentido, diante da crescente preocupação com a exploração desordenada das águas subterrâneas, visto que existem muitos poços sem outorga, sugere-se que o poder público, em parceria com o setor privado e a sociedade civil, proponha a criação de uma equipe técnica especializada para fiscalizar tanto os poços outorgados quanto os clandestinos. Objetiva-se com essa medida garantir o uso sustentável da água subterrânea, prevenindo danos ambientais e assegurando que as leis relacionadas aos recursos hídricos sejam cumpridas. A atuação desses servidores públicos permitirá um controle mais eficiente sobre a qualidade e a quantidade da água extraída desses poços, promovendo maior transparência e responsabilidade no manejo dos recursos hídricos.

A sensibilização da sociedade em relação à importância do uso sustentável dos recursos hídricos se torna, atualmente, imprescindível. Essa iniciativa deve ser construída de maneira conjunta entre o poder público e a sociedade, envolvendo todos os setores - governo, empresas, organizações sociais e cidadãos. A sua finalidade é sensibilizar a população a respeito da necessidade do uso consciente da água, destacando práticas responsáveis no consumo, combate ao desperdício e proteção das nascentes e mananciais. Desta forma, é necessário unir esforços e promover uma educação ambiental crítica, criando uma cultura de responsabilidade coletiva, para que assim, possa-se garantir a disponibilidade desse recurso vital para as futuras gerações.

Com base na análise integrada dos dados de Vulnerabilidade Socioambiental, Vulnerabilidade Aquífera, contaminação por  $\text{NO}_3^- \text{N}$  e seus riscos associados à saúde humana, principalmente em crianças, demonstrou-se que há uma relação direta e crítica entre o déficit de infraestrutura de saneamento básico, o uso inadequado do solo (agricultura intensiva, pastagem, etc.) e o aumento da vulnerabilidade humana e ambiental na região do Norte Pioneiro do Paraná.

Os dados demonstraram que a ausência de áreas com vulnerabilidade socioambiental muito baixa, aliada à presença de aquíferos com grau de vulnerabilidade variando de baixa a extrema, e a persistência de  $\text{NO}_3^- \text{N}$  nas águas subterrâneas – mesmo com concentrações reduzidas em relação aos dados históricos – evidenciaram um cenário de risco contínuo à saúde pública. Isso se agrava com os baixos índices de desenvolvimento humano municipal (IDHM) e a precariedade na cobertura de serviços de esgoto em alguns municípios, fatores que, interligados, comprometem diretamente a qualidade de vida da população.

A criação do Índice de Risco e Vulnerabilidade Socioambiental para  $\text{NO}_3^- \text{N}$  (*IRVS*) reforça a necessidade urgente de políticas públicas integradas voltadas à gestão ambiental e social, destacando a importância da fiscalização do uso dos recursos hídricos, especialmente as águas subterrâneas, da ampliação dos serviços de saneamento básico e da promoção da educação ambiental como caminhos indispensáveis para o desenvolvimento sustentável e a justiça socioambiental na região estudada.

## 8 REFERÊNCIAS

ABU, Mahamuda.; EGBUERI, Johnbosco C.; AGBASI, Johnson C. Kriging-interpolated mapping and predictive modeling of groundwater F<sup>-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> contamination with chemometric and health risk assessments in Ghana's Birimian Province. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 47, art. 165, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10653-024-01730-3>. Acesso em: 13 abr. 2025.

AGÊNCIA IBGE. **Em 2022, expectativa de vida era de 75,5 anos. 2023**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/38455-em-2022-expectativa-de-vida-era-de-75-5-anos> Acesso em: 17 de ago. 2024.

ALABURDA, Janete.; NISHIHARA, Linda. Presença de nitrogênio em águas de poços. **Revista Saúde Pública**. São Paulo, v. 32, n. 2, p. 160-165, abril, 1998.

ALCÂNTARA, Viviane da Silva de.; STRAUCH, Julia Celia Mercedes.; AJARA, Cesar. Metodologia para Análise da Vulnerabilidade Socioambiental: Estudo de Caso na Macrorregião da Costa Verde. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 3, p. 555-570, 2013.

ALLER, Linda.; BENNET, Truman.; LEHR, Jay. H.; PETTY; Rebecca. J. HACKETT, Glen. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings. **United States - Envirometal Protection Agency**. EPA 600/2-87/035, june, 1987.

ALMOROX, Javier; QUEJ, Victor H.; MARTÍ, Pau. Global performance ranking of temperature-based approaches for evapotranspiration estimation considering Köppen climate classes. **Journal of Hydrology**, v. 528, p. 514–522, 1 set. 2015.

ALVES, Humberto Prates da Fonseca. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. **Revista Brasileira de Estudos de População**. São Paulo, v. 23, n. 1, p. 43-59, jan./Jun., 2006.

ANDRADE, Lygia Rodrigues de Moraes de [UNESP. **Processos, fácies e geometria do sistema turbidítico da formação Taciba/Membro Rio Segredo, faixa aflorante norte catarinense**. 2010. 85 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/items/6e44cf01-801d-4a77-8818-43a8eb6668be>>. Acesso em 14 de abr. de 2024.

AQUINO, Afonso Rodrigues de.; PALETTA, Francisco Carlos.; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de. **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo: Blucher, 2017.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2017.

ARAÚJO, Laury Medeiros de; FRANÇA, A. Barros; POTTER, Paul Edwin. Arcabouço Hidrogeológico do Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: mapas hidrogeológicos das formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. Curitiba: Águas Subterrâneas, 1995. Disponível em:

<<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22488>>. Acesso em 14 de abr. de 2024.

ATHAYDE, Gustavo Barbosa. **Análise estrutural e hidroquímica do Aquífero Serra Geral na bacia hidrográfica do paraná III**. 2008. 128 p. Dissertação (Mestrado Geologia Ambiental). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

ATLAS BRASIL. **Ranking - IDHM**. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/ranking> Acesso em: 18 de jul. 2024.

AYOADE, Johnson Olaniyi. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 5ª ed. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

BAKSI, Ajoy K. Paraná flood basalt volcanism primarily limited to ~ 1 Myr beginning at 135 Ma: New <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar ages for rocks from Rio Grande do Sul, and critical evaluation of published radiometric data. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, The Paraná-Etendeka igneous province and related magmatism. v. 355, p. 66–77, 15 abr. 2018.

BARBOSA, Octavio; GOMES, Franklin de Andrade. **Pesquisa de petróleo na bacia do rio Corumbataí, Estado de São Paulo**. [S.l.]: Ministério da Agricultura, Departamento Nacional da Produção Mineral ..., 1958.

BARBOSA, Yanayne Benetti.; LORANDI, Reinaldo. Geoprocessamento Aplicado ao Estudo da Vulnerabilidade à Erosão na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Pântano nos Municípios de São Carlos, Analândia e Descalvado (SP). **Geografia (Londrina)**, v. 21, n. 1, p. 103-123, jan./abr., 2012.

BERNICE, Aline Michelle. **Evolução da Contaminação por Nitrato em Aquíferos Urbanos: Estudo de Caso em Urânia (SP)**. 2010. 141 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia). Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2010.

BERTACHI, Mônica Hirata.; SANTOS, Maurício Moreira dos.; STIPP, Marcelo Eduardo Freres. Concentração de nitrato em poços tubulares profundos e corpo hídrico superficial na região central de Londrina – PR: estudo de caso do entorno do cemitério São Pedro. **Ciência Geográfica**. Bauru, v. 23, n.2, p. 567 – 581, Janeiro/Dezembro, 2019.

BOUKICH, Oualid.; BEN-TAHAR, Rihab.; GHARIBI, Elkhadir.; EL GUERROUJ, Bouchra.; SMIRI, Youssef. Assessment of groundwater quality and nitrate related risks to human health: a case of Angads Plain, Morocco. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 235, art. 787, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-024-06787-6>. Acesso em: 14 abr. 2025.

BRAGA, Benedito.; PORTO, Monica.; TUCCI, Carlos E. M. In: BRAGA, Benedito.; TUNDISI, José Galizia.; TUNDISI, Takako Matsumura.; CIMINELLI, Virginia S. T. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 4ª ed. São Paulo: Escrituras, 2015. p. 127 - 142.

BRANCO, Samuel Murgel.; AZEVEDO, Sandra M. F. O.; HACHICH, Elayse Maria.; VAZOLLER, Rosana Filomena.; TUNDISI, José Galizia. Água e Saúde Humana. In: BRAGA, Benedito.; TUNDISI, José Galizia.; TUNDISI, Takako Matsumura.; CIMINELLI, Virginia S. T. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 4ª ed. São Paulo: Escrituras, 2015. p. 231 - 262.

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

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 05 de mai. 2021.

CAJUIERO, Roberta Liana Pimentel. **Manual para Elaboração de Trabalhos Acadêmicos**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Vozes, 2013.

CAMPOS, Benedita Cleide Souza. **Avaliação do impacto de recarga variável no Aquífero Barreiras em Natal-RN, associado com a urbanização e ampliação da rede de coleta de efluentes sanitários**. 2022. 103f. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

CAO, Y. *et al.* Multiscale assessment of long-term nitrate contamination in shallow groundwater of intensive agricultural areas. **Chemosphere**, v. 356, p. 141365, 2024.

CARMEIRA, Maria do Rosário.; ROLIM, João.; VALENTE, Fernanda.; MESQUITA, Marta.; DRAGOSITS, Ulrike.; CORDOVIL, Cláudia. Translating the agricultural N surplus hazard into groundwater pollution risk: Implications for effectiveness of mitigation measures in nitrate vulnerable zones. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. V, 306, February, 2021.

CARTIER, Ruy.; BARCELLOS, Christovam.; HÜBNER, Cristiane.; PORTO, Marcelo Firpo. Vulnerabilidade social e risco ambiental: uma abordagem metodológica para avaliação de injustiça ambiental. **Caderno de Saúde Pública**, v. 25, n. 12, p. 2695-2704, 2009.

CAVALCANTI JUNIOR, Francisco Afonso. **Estudo do solo como atenuador da contaminação das águas subterrâneas em Turiaçu MA**. 2022. 235 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. DOI 10.11606/T.8.2022.tde-02062023-105112.

CAVIGLIONE, João Henrique *et al.* **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: Iapar, 2000. v. 1. Disponível em: <[https://infoagro.deinfo.uepg.br/artigos/pdf/info\\_102.pdf](https://infoagro.deinfo.uepg.br/artigos/pdf/info_102.pdf)>. Acesso em: 17 mar. 2024.

CBH PARANAPANEMA, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema. **Características – Rio Paranapanema**. Disponível em: <<https://www.paranapanema.org/a-bacia/caracteristicas/>>. Acesso em: 26 mar. 2024.

CELLIGOI, André. **Recursos Hídricos Subterrâneos da Formação Serra Geral em Londrina – PR**. 1993. 108 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrologia). Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1993.

CELLIGOI, André; CORCÓVIA, Josilaine Amancio; PINESE, José Paulo Peccinini. Análise hidroquímica dos Aquíferos Guarani e Serra Geral no município de Ibiporã-PR. **Caminhos de Geografia–Revista Online**, v. 20, n. 72, p. 77–93, 2019.

COSTA, Maria Clélia Lustosa. Arranjo familiar e a vulnerabilidade na região metropolitana de Fortaleza. *In*: COSTA, Maria Clélia Lustosa.; DANTAS, Eustóquio Wanderley Correia. (Org.). **Vulnerabilidade Socioambiental na Região Metropolitana de Fortaleza**. Fortaleza: edições UFC, 2009, p. 139-163.

CRH/ CTAS. Conselho Estadual de Recursos Hídricos, Câmara Técnica de Águas Subterrâneas. **Nitrato nas águas subterrâneas: desafios frente ao panorama atual**. São Paulo: SIMA /IG, 2019. 128p.

CUNICO, Camila.; LUCENA, Daisy Beserra.; MOURA, Marcelo de Oliveira. Vulnerabilidade socioambiental e risco de desastre por inundações no estado da Paraíba, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, [s. l.], v. 42, n. 01, 2022. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/71324>. Acesso em: 4 abr. 2025.

CUTTER, Susan L. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, v. 93, n. 1, p. 59-69, jun. de 2011.

DAGNINO, Ricardo de Sampaio.; JUNIOR, Salvador Carpi. Risco Ambiental: Conceitos e Aplicações. **Climatologia e Estudos da Paisagem**. Rio Claro - Vol.2 - n.2, p. 50-87, julho/dezembro/2007.

DAHAN, O.; BABAD, A.; LAZAROVITCH, N.; RUSSAK, E. E.; KURTZMAN, D. Nitrate leaching from intensive organic farms to groundwater. **Hydrology and Earth System Sciences**. V, 18, p. 333-341, 2014.

DATASUS. Ministério da Saúde. **Mortalidade - Paraná**, 2025. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sim/cnv/obt10pr.def>. Acesso em: 05 abr. 2025.

DESCHAMPS, Marley Vanice. **Vulnerabilidade Socioambiental na Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba: UFPR, 2004. 155f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DE FRANÇA, Valmir. O rio Tibagi no contexto hidrogeográfico paranaense. In: MEDRI, Moacyr E. et al. **Bacia do Rio Tigabi**. Londrina: Edição dos Autores, 2002. p. 45–61.

DEMO, Pedro. **Educar pela pesquisa**. 6ª ed. Edição: Campinas, SP: Autores Associados, 2003.

DING, J. *et al.* Human health risks associated with nitrate in groundwater under rapid urbanization in Southeast Asia. **Science of the Total Environment**, v. 923, p. 171841, 2024.

DOMINGUES, Renata Cordeiro.; GURGEL, Aline do Monte.; SANTOS, Romário Correia dos.; LIMA, Fernanda Lowenstein Monteiro de Araújo.; SANTOS, Carla Caroline Silva dos.; SANTOS, Mariana Olívia Santana dos.; GURGEL, Idê Gomes Dantas. Uso de agrotóxicos em canaviais de Pernambuco e danos à saúde do trabalhador. **Saúde em Debate**. Rio de Janeiro, v. 48, n. 141, e8714, Abr-Jun 2024.

EMBRAPA-IAPAR. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná**. Curitiba: Embrapa-SNLCS/ Sudesul/Iapar, 1984.

ESTEVES, Cláudio Jesus de Oliveira. Risco e Vulnerabilidade Socioambiental: Aspectos Conceituais. **Cad. IPARDES**. Curitiba, PR, v.1, n.2, p. 62-79, jul./dez. 2011.

FAO. **Suplemento Fórum Mundial da Água**. FAO (Nações Unidas), 2018. Disponível em: < file:///C:/Users/Usor%20Exclusivo/Downloads/Suplemento-FAO-F%C3%B3rum-Mundial-da-%C3%81gua.pdf > Acesso em: 20 de mai. 2023.

FERNANDES, Talita Tanaka. **Krigagem indicativa para elaboração de mapas probabilísticos em agricultura de precisão**. 2014. 81 p. Dissertação (Mestrado em Biometria). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2014.

FERNÍCOLA, Nilda Gallego Gandara de.; AZEVEDO, Fausto Antonio de. Metemoglobinemia e Nitrato nas Águas. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 15, p. 242-248, 1981.

FERRAREZI JÚNIOR, Celso. **Guia do trabalho científico: do projeto à redação final; monografia, dissertação e tese**. 1ª ed, 3ª reimpressão. São Paulo: Contexto, 2013.

FITTS, Charles Richard. **Águas Subterrâneas**. Tradução de Daniel Vieira. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2008.

FLORES, Diego Moraes. **Resposta geomorfológica de rios em leitos rochosos sobre áreas de derrames ígneos da Formação Serra Geral membro superior**. 2017. 316 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e

Ciências Humanas da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2017.  
Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-08122017-183517/en.php>>. Acesso em: 27 mar. 2024.

FLORIANO COSTA, Gabriel. **On the activity of copper-based materials for electrocatalytic nitrate reduction to ammonia**. 2024. Tese (Doutor em Ciências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2024. DOI 10.47749/T/UNICAMP.2024.1403389.

FOSTER, Stephen. S .D.; HIRATA, Ricardo. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. World Health Organization, Pan American Health Organization, Centre for Sanitary Engineering and Environmental Sciences, Lima: **Technical Report**, 78 p. 1988.

FOSTER, Stephen.; HIRATA, Ricardo.; GOMES, Daniel.; D'ELIA, Monica.; PARIS, Marta. **Groundwater Quality Protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies**. Washington, D.C, The World Bank, 2002. 114p.

FOSTER, Stephen.; HIRATA, Ricardo.; GOMES, Daniel.; D'ELIA, Monica.; PARIS, Marta. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. São Paulo: SERVIMAR, 2006. 114p.

FRAGA, Carlos Gilberto. **Introdução ao zoneamento do sistema aquífero Serra Geral no Estado do Paraná**. 1986. 133 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Geral e de Aplicação) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-14092015-162156/en.php>>. Acesso em: 27 mar. 2024.

FRANÇA, Raimunda Moreira da.; FRISCHKORN, Horst.; SANTOS, Manoel Roberval Pimentel.; MENDONÇA, Luiz Alberto Ribeiro.; BESERRA, Maria da Conceição. Contaminação de Poços Tubulares em Juazeiro do Norte-CE. **Eng. Sanit. Ambient.** Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 92-102, jan/mar, 2006.

FREDDO, Valmor José Freddo Filho. **Qualidade das Águas Subterrâneas Rasas do Aquífero Barreiras**: estudo de caso em Benevides – PA. 2018. 113 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2018.

FREEZE, Allan R.; CHERRY, John A. **Água Subterrânea**. Tradução de Everton de Oliveira... [et al].; Everton de Oliveira (Coor.). São Paulo: Everton de Oliveira, 2017.

FU, Peihong.; YANG, Yong.; ZOU, Yangsi. Prediction of soil heavy metal distribution using geographically weighted regression kriging. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 108, p. 344–350, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03388-2>. Acesso em: 13 abr. 2025.

GIRI, S. et al. Diffuse nitrate pollution of groundwater in Central Europe: A multi-scale geospatial approach. **Environmental Advances**, v. 15, p. 100443, 2023.

GLOBO.COM. **Educação: Ciclos biogeoquímicos**. Disponível em: <<http://educacao.globo.com/biologia/assunto/ecologia/ciclos-biogeoquimicos.html>> Acesso em 12 de jul. 2023.

GOMES, Lucas Ricieri Marangon.; PEREIRA, Sérgio Augusto. Análise dos teores de nitrato nas águas subterrâneas da área urbana do município de Nova Fátima – PR. **Geographia Opportuno Tempore**, Londrina, v. 10, n. 1, p. 1–15, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5433/got.2025.v10.49940>.

GOMEZ, Luisa Natalia Gonzalez. **Investigação hidrogeoquímica do processo de salinização aplicada ao sistema aquífero Dunas-Pecém, Ceará**. 115 f. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

HOJO, Liri Yoko Cruz Prieto. **Operação e modelagem hidrodinâmica de filtros lentos domiciliares**. 2021. 183 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021. DOI 10.11606/T.18.2021.tde-16072021-174531.

HOLZ, Michael. *et al.* Sequence stratigraphy of the Paleozoic of the Paraná Basin, South Brazil: an overview. **Journal of South American Earth Sciences**, Amsterdam, v. 21, n. 3, p. 227–239, 2006. DOI: 10.1016/j.jsames.2006.05.002.

IAT. Instituto Água e Terra do Estado do Paraná – Dados e Informações Geoespaciais Temáticos. **Mapas e Dados Espaciais**. Disponível em: <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Dados-e-Informacoes-Geoespaciais-Tematicos>> Acesso em 15 de jul. 2023.

IAT. Instituto Água e Terra do Estado do estado do Paraná. **Bacias dos Rios Cinzas, Itararé, Paranapanema I e II**. [S.l: s.n.], 2020. Disponível em: <[https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-07/cinzas.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/cinzas.pdf)>. Acesso em: 26 mar. 2024.

IAT, Águas do Paraná - Instituto das Águas do Paraná. **Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Produto 1.2 - Parte B Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas Subterrâneas. Revisão Final. [S.l: s.n.], 2010. Disponível em: <[https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-03/produto1\\_2\\_partec\\_volii\\_revisaofinal\\_0.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-03/produto1_2_partec_volii_revisaofinal_0.pdf)>. Acesso em: 26 mar. 2024.

IAT. Instituto de Água e Terra do estado do Paraná. **Instrução Normativa: Procedimentos para Tamponamento de Poços**. Disponível em: [https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-07/111\\_in\\_02\\_06\\_tamponamento\\_de\\_pocos.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/111_in_02_06_tamponamento_de_pocos.pdf). Acesso em: 02 abr. 2025.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr>>. Acesso em: 27 mar. 2024.

\_\_\_\_\_. **Manual Técnico de Pedologia**. 3ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

\_\_\_\_\_. **Censo 2022 – Panorama**. Disponível em:  
<https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/> Acesso em: 12 jan. 2025.

IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Perfil do Norte Pioneiro Paranaense**. Disponível em:  
<[http://www.ipardes.gov.br/perfil\\_municipal/MontaPerfil.php?codlocal=704&btOk=ok](http://www.ipardes.gov.br/perfil_municipal/MontaPerfil.php?codlocal=704&btOk=ok)> Acesso em 20 de ago. 2023.

IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **BACIAS HIDROGRÁFICAS - PARANÁ - 2006**. Disponível em:  
<[http://www.ipardes.gov.br/anuario\\_2008/1territorio/tab1\\_2\\_9.htm](http://www.ipardes.gov.br/anuario_2008/1territorio/tab1_2_9.htm)>. Acesso em: 26 mar. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER – INCA. Ministério da Saúde. **Estatística do Câncer**. Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/cancer/numeros>  
Acesso em: 05 abr. 2025.

JESUS, Cleiton Soares.; MEDEIROS, Rafael Brugnolli. Fragilidade Ambiental e Impactos Ambientais da Unidade de Planejamento e Gerenciamento Iguatemi, Mato Grosso Do Sul/Brasil. **Revista Geografar**, Curitiba, v.17, n. 2, p. 470-489, jul. a dez./2022.

KARUNANIDHI, D.; ARAVINTHASAMY, P.; ROY, Priyadarsi.; SUBRAMANI, T.; JAYASENA, H. Chandra. Nitrate contamination in groundwater and its evaluation of non-carcinogenic health hazards from Arjunanadi River basin, south India. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 25, p. 101153, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101153>.

KOENKER, Roger. **Quantile Regression**. Cambridge University Press, 2005.

LANDIM, Paulo M. Barbosa.; MONTEIRO, Rubens Caldeira.; CORSI, Alessandra Cristina. **Introdução à confecção de mapas pelo software Surfer®**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 08, 21p. 2002.

LANDIM, Paulo M. Barbosa. Sobre Geoestatística e mapas. **Terræ didática**, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.

LEE, Dong Joon.; STVILIA, Besiki. Practices of research data curation in institutional repositories: A qualitative view from repository staff. **PloS one**, v. 12, n. 3, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173987>. Acesso em: 13 abr. 2025.

LEPSCH, Igor F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina dos Texto, 2002.

LICHT, Otavio Augusto Boni; ARIOLI, Edir Edemir. **Mapeamento geológico do Grupo Serra Geral no Estado do Paraná**. Curitiba: Nota Explicativa. ITCG, 2018.

LIMA, Felipe Justino Maia de.; TROLEIS, Adriano Lima. Análise dos Níveis de Nitrato nas Águas Urbanas de São Gonçalo do Amarante/RN entre 2016 e 2019. **Sociedade e Território** –Natal, v. 34, n. 2, p. 102-115, mai/ago, 2022.

LI, Zhenghong.; LI, Jianfeng.; HUANG, Jin'ou.; LI, Yasong. Nitrate contamination in groundwater and its health risk assessment: a case study of Quanzhou, a typical coastal city in Southeast China. **Environmental Earth Sciences**, v. 83, art. 331, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-024-11608-z>.

LV, Jianshu.; LIU, Yang.; ZHANG, Zulu.; DAI, Jierui. Factorial kriging and stepwise regression approach to identify environmental factors influencing spatial multi-scale variability of heavy metals in soils. **Journal of Hazardous Materials**, [S.l.], v. 261, p. 387–397, 15 out. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.07.065>. Acesso em: 13 abr. 2025.

MAACK, Reinhard. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 3ª Ed. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002.

MANASSÉS, Fabio. **Caracterização hidroquímica da água subterrânea da formação Serra Geral na região sudoeste do estado do Paraná**. 2009. 129 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MAPBIOMAS - BRASIL. **Mapas e dados**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/mapbiomas-cobertura-10m/>. Acesso em: 20 jan. 2025.

MARCONI, Marina de Andrade.; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARCUZZO, Francisco F. N.; ANDRADE, Lucas R. de.; MELO, Denise C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife, v. 4, n. 4, p. 793-804, 2011.

MARQUES, Joyce Meri Sera. O clima, a vegetação e a hidrografia. In: SCORTEGAGNA, Adalberto; REZENDE, Cláudio J.; TRINCHES, Rita Inocência. **Paraná espaço e memória: diversos olhares histórico-geográficos**. Curitiba: Bagozzi. Curitiba: Editora Bagozzi, 2005. p. 34–55.

MATTAR, Fauze Najib. **Pesquisa de marketing: metodologia, planejamento**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1996.

MAZOYER, Marcel.; ROUDART, Laurence. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. Tradução de Cláudia F. Falluh Balduino Ferreira. São Paulo: Editora UNESP, 2010.

MEDEIROS, Raimundo Mainar et al. Climate classification in Köppen model for the state of Pernambuco-Brazil. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 35, n. 3, 2018. Disponível em:

<<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/download/229388/30005>>. Acesso em: 17 mar. 2024.

MEDRI, Moacyr E. et al. **Bacia do Rio Tigabi**. Londrina: Edição dos Autores, 2002.

MELO, Sérgio Gouvêia. **Impactos ambientais decorrentes da ocupação urbana – Bela Vista do Juá, Santarém - Pará, Região Amazônica**. 154 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-graduação em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2022.

MENDES, JOSUÉ CAMARGO. The Passa dois group (the Brazilian portion of the Paraná Basin). BIGARELLA JJ. BECKER RD AND PINTO JD (Eds), **Problems in Brazilian Gondwana Geology**, Curitiba: Papelaria Max Roesner Ltda, 1967.

MENDES, J. C.; ANDREIS, R. R. Estratigrafia e sedimentologia da Formação Rio Bonito (Permiano Inferior), Bacia do Paraná, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 22, n. 4, p. 521-528, 1992.

MENDONÇA, Francisco de Assis. Riscos e vulnerabilidades socioambientais urbanos: a contingência climática. **Mercator**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 153 a 163–153 163, 2010.

MILANI, Edison José.; RAMOS, V. A. O rifteamento e o início da sedimentação na Bacia do Paraná: evidências e implicações tectônicas. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 471-484, 1998.

MILANI, Edson José *et al.* Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265–287, 2007. Disponível em: <https://bgp.petrobras.com.br/bgp/article/view/310>. Acesso em: 7 abr. 2025.

MINEROPAR. **Atlas Comentado da Geologia e dos Recursos Minerais do Estado do Paraná**. Curitiba - PR: Minerais do Paraná, 2001. v. 1. Disponível em: <[https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-04/atlas\\_geomorforlogico\\_parana\\_2006.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-04/atlas_geomorforlogico_parana_2006.pdf)>. Acesso em: 24 mar. 2024.

\_\_\_\_\_. **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná. ESCALA BASE 1:250.000 MODELOS REDUZIDOS 1:500.000**. Curitiba - PR: Minerais do Paraná; Universidade Federal do Paraná, 2006. v. 1. Disponível em: <[https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-04/atlas\\_geomorforlogico\\_parana\\_2006.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-04/atlas_geomorforlogico_parana_2006.pdf)>. Acesso em: 24 mar. 2024.

\_\_\_\_\_. **MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA FOLHA DE PONTA GROSSA (1:100.000)**. Curitiba - PR: Minerais do Paraná; Universidade Federal do Paraná, 2007. v. 1. Disponível em: <[https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-04/atlas\\_geomorforlogico\\_parana\\_2006.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-04/atlas_geomorforlogico_parana_2006.pdf)>. Acesso em: 24 mar. 2024.

MISHRA, Binaya Kumar.; KUMAR, Pankaj.; SARASWAT, Chitresh.; CHAKRABORTY, Shamik.; GAUTAM, Arjun. Water security in a changing

environment: Concept, challenges and solutions. **Water**, v. 13, n. 4, p. 490, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13040490>.

MMA/ANA - Ministério do Meio Ambiente / Agência Nacional de Águas. **GEO Brasil - Recursos Hídricos**: Componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. Brasília: MMA, ANA, 2007. 264 p.

MOHAMMADIAN, S. *et al.* Nitrate pollution in groundwater of arid and semi-arid regions: A global meta-analysis. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 24, p. 100977, 2024.

MOREIRA, Fátima. M. S.; SIQUEIRA, José Oswaldo. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2ª ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006.

MOTTIN, Thammy Ellin et al. The paths and timing of late Paleozoic ice revisited: New stratigraphic and paleo-ice flow interpretations from a glacial succession in the upper Itararé Group (Paraná Basin, Brazil). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 490, p. 488–504, 15 jan. 2018.

MOURÃO, Maria Antonieta A. **Implantação de Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas**. Brasília: CPRM, 2009.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **OMS: Para cada dólar investido em água e saneamento, economiza-se 4,3 dólares em saúde global**, 2014. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/oms-para-cada-dolar-investido-em-agua-e-saneamento-economiza-se-43-dolares-em-saude-global/> acesso em 10 jul. 2023.

NICOLAI, Gilberto. **Avaliação das Concentrações de Nitratos na Água Subterrânea do Município de Chapecó – SC**. 2001. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2001.

NOLAN, Bernard. T.; RUDDY, Barbara. C.; HITT, Karie. J.; HELSEL, Dennis. R. A national look at nitrate contamination of ground water. **Water Conditioning and Purification**, 44(12), p. 76-79, 1998. Disponível em: [https://water.usgs.gov/nawqa/nutrients/pubs/wcp\\_v39\\_no12/](https://water.usgs.gov/nawqa/nutrients/pubs/wcp_v39_no12/) Acesso em: 15 jan. 2025.

NÖRNBERG, Solange Otte.; REHBEIN, Moisés Ortemar. Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade à Perda de Solos no Município de Pelotas/RS: Aplicação e Comparação de Modelos. **Caminhos de Geografia Uberlândia - MG**, v. 22, n. 81, p. 42-59, jun./2021.

OKA-FIORI, Chisato.; SANTOS, Leonardo José Cordeiro. **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2006.

OLIVEIRA, João Bertoldo de. **Pedologia Aplicada**. Piracicaba: FEALQ, 2011.

OLIVEIRA, Jorge José do Vale.; VALLILO, Maria Isabel.; PEDRO, Nilva Aparecida R.; ZENEON, Odair. Estudo Comparativo de Métodos para Determinação de

Nitrato em Águas Naturais. **Rev. Inst. Adolfo Luiz**, São Paulo, v. 47 n. 1, p. 25-30, 1987.

OLIVEIRA, Rafael Mota de. **Nitrato nas águas subterrâneas de Fortaleza: ocorrências, causas e riscos a saúde da população**. 2023. 126f. Tese (Doutorado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, 2023.

ORLANDI FILHO, Vítório; KREBS, Antonio Sílvio Jornada; GIFFONI, Luís Edmundo. Coluna White, Serra do Rio do Rastro. In: WINGE, Manfredo *et al.* **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: CPRM, 2009. v. 2. p. 71–86.

PASSOS, Isabela Cristina da Silva. **Clima e arquitetura habitacional em Alagoas**. 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/riufal/695>>. Acesso em: 17 mar. 2024.

PASUPULETI, Srinivas.; SINGHA, Soumya S.; SINGHA Sudhakar.; KUMAR, Suresh.; SINGH, Rambabu.; DHADA, Indramani. Groundwater characterization and non-carcinogenic and carcinogenic health risk assessment of nitrate exposure in the Mahanadi River Basin of India. **Journal of Environmental Management**, v. 319, p. 115746, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115746>.

PEREIRA, Sérgio Augusto. **Teores de nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG): análise na região do Norte Pioneiro do Estado do Paraná**. 2021. 156f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, 2021.

PETRI, Setembrino; FULFARO, Vicente José. **Geologia do Brasil**. São Paulo: TA Queiroz/EDUSP, 1983.

PICCIRILLO, E. M.; MELFI, Adolfo José. The Mesozoic food volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects. São Paulo: IAG/USP, 1988.

PINESE, José P. P. Síntese geológica da bacia do rio Tibagi. In: MEDRI, Moacyr E. *et al.* **Bacia do Rio Tigabi**. Londrina: Edição dos Autores, 2002. p. 21–38.

PINHEIRO, Antonio Flávio Costa. **Natureza, geologia, aquíferos, expansão capitalista do campo e as implicações no território em São João do Jaguaribe-Ce**. 2024. 1345 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2024.

PIRASTEH, Saied.; MAFI-GHOLAMI, Davood.; LI, Huxiong.; WANG, Tao.; ZENNER, Eric K.; NOURI-KAMARI, Akram.; FRAZIER, Tim G.; GHAFFARIAN, Saman. Social vulnerability: A driving force in amplifying the overall vulnerability of protected areas to natural hazards. **Heliyon**, v. 11, n. 4, e42617, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42617>.

PIRES, Nayara Luiz. **Avaliação da presença de insumos agrícolas em recursos hídricos da unidade hidrográfica do Alto Rio Jardim (DF): desenvolvimento de métodos e qualidade da água**. 2023. 176 f., il. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) — Universidade de Brasília, Planaltina, 2023.

RAWAT, Meenakshi.; SEN, Rintu.; ONYEKWELU, Ikenna.; WIEDERSTEIN, Travis, SHARDA, Vaishali. Modeling of groundwater nitrate contamination due to agricultural activities - A systematic review. **Water**, v. 14, n. 24, p. 4008, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14244008>.

REBELO, Fernando. **Riscos naturais e acção antrópica**. Coimbra: Imprensa da Universidade, 2003.

REBOUÇAS, Aldo da C. Água doce no mundo e no Brasil. In: BRAGA, Benedito.; TUNDISI, José Galizia.; TUNDISI, Takako Matsumura.; CIMINELLI, Virginia S. T. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 4. ed. São Paulo: Escrituras, 2015a. p. 1-36.

REBOUÇAS, Aldo da C. Águas Subterrâneas. In: BRAGA, Benedito.; TUNDISI, José Galizia.; TUNDISI, Takako Matsumura.; CIMINELLI, Virginia S. T. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 4. ed. São Paulo: Escrituras, 2015b. p. 93-126.

RESENDE, Álvaro Vilela de. **Agricultura e Qualidade da Água: contaminação da água por nitrato**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002.

RIBEIRO, Luiz Gustavo Gonçalves.; ROLIM, Neide Duarte. Planeta água de quem e para quem: uma análise da água doce como direito fundamental e sua valoração mercadológica. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, Caxias do Sul, v. 7 n. 1, p. 7-33, jan/jun, 2017.

RIBEIRO, Wagner Costa. **Geografia Política da Água**. São Paulo: Annablume, 2008.

RIGEO. **Repositório Institucional de Geociências** - CPRM, 2021. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22492> Acesso em: 25 de jul. 2023.

RIVETT, Michael. O.; BUSS, Stephen. R.; MORGAN, Philip., SMITH, Jonathan. W. N.; BEMMENT, Chrystina. D. Nitrate attenuation in groundwater: A review of biogeochemical controlling processes. **Water Research**, 42(16), 4215–4232, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135408002984> Acesso em: 15 jan. 2025.

ROCHA, Diego da Luz. Aspectos geográficos e arcabou geológico do Aquífero Serra Geral, no estado do Paraná. **Geographia Opportuno Tempore**, v. 1, n. 2, p. 140–152, 18 nov. 2014.

ROCHA, Paulo Cesar; DE ARAÚJO, Alex Paulo. O REGIME HIDROLÓGICO NA BACIA DO RIO PARANAPANEMA: variabilidade interanual e espacial. 2011, Maceió. **Anais...** Maceió: ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2011. p. 1–14.

ROSA, Sara Vieira.; COSTA, Maria Clélia Lustosa. Banco de dados de vulnerabilidade socioambiental da região metropolitana de Fortaleza – Ceará. *In*: COSTA, Maria Clélia Lustosa.; DANTAS, Eustógio Wanderley Correia (Org.). **Vulnerabilidade Socioambiental na Região Metropolitana de Fortaleza**. Fortaleza: edições UFC, 2009, p. 164-189.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Relevo Brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista Do Departamento De Geografia**, v. 4, p. 25-39, 1985.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63-74, 1994.

RUPIAS, Osvaldo Jorge Brito. **Hidrogeoquímica e uso de indicadores de qualidade (caféina, nitrato, cloreto, boro e potássio) na água subterrânea da planície do rio Atibaia, Campinas, São Paulo - Brasil**. 2023. 182 f. Tese (Doutorado em Ciências na área de Geologia e Recursos Naturais) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, 2023.

SALATI, Eneas.; LEMOS, Haroldo Mattos de.; SALATI, Eneida. Água e o Desenvolvimento Sustentável. *In*: BRAGA, Benedito.; TUNDISI, José Galizia.; TUNDISI, Takako Matsumura.; CIMINELLI, Virginia S. T. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 4ª ed. São Paulo: Escrituras, 2015. p. 37 - 62.

SAHOO, Prafulla Kumar.; KIM, Kangjoo.; POWELL, M. A. Managing Groundwater Nitrate Contamination from Livestock Farms: Implication for Nitrate Management Guidelines. **Current Pollution Reports**. V, 2, p. 178-187, 2016.

SANFERARI, Amanda. **Avaliação hidrogeológica e da potencialidade do sistema aquífero Serra Geral na Bacia hidrográfica do rio Jacutinga (SC)**. 2019. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/205016>>. Acesso em: 27 mar. 2024.

SANTOS, Almany, Costa. Noções de Hidroquímica. *In*: FEITOSA, Fernando A. C.; MANOEL FILHO, João.; FEITOSA, Edilton Carneiro.; DEMETRIO, J. Geilson A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais; 2008.

SANTOS, Roberto Costa.; SILVA, Rosângela Aguilar da.; SANTOS, Maurício Moreira dos.; BOVO, Alessandro Botelho.; SILVA, Alessandra Furtado da. Assessing nitrate contamination in groundwater for public supply: A study in a small Brazilian town. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 25, p. 101084, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101084>.

SANTOS, Willian da Silva. **O flúor na porção norte da bacia hidrográfica do Rio das Cinzas-PR: qualidade das águas subterrâneas sob a ótica da geografia da**

saúde. 2019. 135 p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Londrina. Londrina, PR, 2019.

SCHNEIDER, Ril et al. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: [s.n.], 1974. p. 41–65.

SCHULTZ, Nivaldo.; REIS, Veronica Massena.; URQUIAGA, Segundo. **Resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada: fontes nitrogenadas, formas de aplicação, épocas de aplicação e efeito varietal**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2015.

SCORTEGAGNA, A. A geologia, o relevo e os recursos minerais. In: SCORTEGAGNA, Adalberto; REZENDE, Cláudio J.; TRINCHES, Rita Inocência. **Paraná espaço e memória: diversos olhares histórico-geográficos**. Curitiba: Editora Bagozzi, 2005. p. 12–33.

SEDOR, Fernando. Primeiro registro de pegadas de Mesosauridae (Amniota, Sauropsida) na Formação Irati (Permiano Superior da Bacia do Paraná) do Estado de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira De Paleontologia - REV BRAS PALEONTOLOGIA**, v. 7, p. 269–274, 30 ago. 2004.

SGB – Serviço Geológico do Brasil. **Água e Saúde**. Disponível em: [https://aguam mineral.cprm.gov.br/agua\\_e\\_saude.html](https://aguam mineral.cprm.gov.br/agua_e_saude.html). Acesso em: 25 de jul. 2024.

SHIKLOMANOV, Igor A. **World Water Resources – a new appraisal and assessment for the 21st century**. Paris: International Hydrological Programme/ONU, 1998, 37p. 1998.

SILVA, Tatiana dos Santos.; MOURA, Marcelo de Oliveira.; CUNICO, Camila. Vulnerabilidade socioambiental a estiagem e seca na região pluviométrica do Cariri/Curimataú Paraibano. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 123–144, 2024.

SINGH, Bijay.; Craswell, Eric. Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: an increasingly pervasive global problem. **SN Applied Sciences**, v. 3, art. 518, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04521-8>. Acesso em: 13 abr. 2025.

SOUSA, Cláudio José da Silva de. **Caracterização dos aquíferos na Ilha do Maranhão: reconhecimento, levantamento de áreas estratégicas e contribuições ao processo de gestão**. 2021. 254 f., Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas) - Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

SOUZA, P. A. Palinostratigrafia da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Paleontologia**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 239–256, 2006.

SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos**, SUDERHSA, 2010.

SUKKUEA, Arsanchai.; HEEDNACRAM, Apichat. Prediction on spatial elevation using improved kriging algorithms: An application in environmental management. **Expert Systems with Applications**, [S.l.], v. 207, p. 117971, 30 nov. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117971>. Acesso em: 13 abr. 2025.

TEIXEIRA, Wilson.; FAIRCHILD, Thomas Rich.; TOLEDO, M. Cristina Motta.; TAIOLI, Fabio. **Decifrando a Terra**. 2ª ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

TERADA, Rafael Kenji. **Influência da infraestrutura urbana nas águas subterrâneas na cidade de Urânia (SP)**. 2022. 132 f. Tese (Doutorado em Hidrogeologia e Meio Ambiente) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. DOI 10.11606/T.44.2022.tde-08092022-091748.

TODD, David Keith. **Hidrologia de Águas Subterrâneas**. Tradução de Araken Silveira e Evelyn Bloem Souto Silveira. São Paulo: Edgar Blücher LTDA, 1967.

TUNDISI, José Galizia.; TUNDISI, Takako Matsumura. **Recursos Hídricos no Século XXI**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2011.

UNDP. **Reducing disaster risk: a challenge for development, a global report**. UNDP Bureau for Crisis Prevention and Recovery. New York: UNDP, 2004.

VARNIER, Claudia.; IRITANI, Mara Akie.; VIOTTI, Maurício.; ODA.; Geraldo Hideo.; FERREIRA, Luciana Martin Rodrigues. Nitrito nas Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru, Área Urbana do Município de Marília (SP). **Revista do Instituto Geológico**. São Paulo, v. 31, n. 1, p. 1-21, 2010.

VASCONCELOS, Ana Cecília Feitosa de.; CÂNDIDO, Gesinaldo Ataíde.; FREIRE, Eliza Maria Xavier. Vulnerabilidade Socioambiental: proposição de temas e indicadores para cidades brasileiras. **Gaia Scientia**. V. 13, n. 2): 1-18, 2019.

VERLY, Bianca Sant'Ana.; SAEKI, Erika Kushikawa, STELATO, Éderson da Silva. Importância da Análise de Água para a Saúde Pública: Pesquisa de Nitrito em Águas de Abastecimento Público e Poços Subterrâneos. **Colloquium Vitae**, v. 9, n. 1, p. 52-57, jan-abr, 2017.

VESELY, Fernando Farias *et al.* Divisão litoestratigráfica do Grupo Itararé no estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 78, p. 3–23, 2021.

VIEIRA, Rosana Faria. **Ciclo do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas**. Brasília: Embrapa, 2017.

VICTORIA, Reynaldo L.; PICCOLO, Marisa C.; VARGAS, Álvaro A. T. O Ciclo do Nitrogênio. In: CARDOSO, Elke J. B. N.; TSAI, Siu M.; NEVES, Maria Cristina P. **Microbiologia do Solo**. Campinas: SBCS, 1992. P. 105-119.

WANG, J. *et al.* Regional groundwater nitrate pollution assessment under climate change and intensive agriculture. **Science of the Total Environment**, v. 916, p. 171522, 2024.

WILDNER, Wilson. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina**. Porto Alegre: CPRM-Serviço Geológico. (Orgs.) Escala 1:500.000. Programa Geologia do Brasil. Subprograma de Cartografia Geológica Regional, 2014. Disponível em: <[http://dspace.cprm.gov.br/bitstream/doc/17996/5/mapa\\_geologico\\_santa\\_catarina.pdf](http://dspace.cprm.gov.br/bitstream/doc/17996/5/mapa_geologico_santa_catarina.pdf)>. Acesso em: 27 mar. 2024.

YADAV, O. P.; PATHAK, D. R.; PATHAK, H. Urban groundwater nitrate pollution: Sources, dynamics and mitigation. In: SINGH, C. K. (org.). **Groundwater contamination from non-point sources: Emerging risks and challenges**. Amsterdam: Elsevier, 2023. cap. 8.

ZANELLA, Maria Elisa.; COSTA, Maria Clélia Lustosa da.; PANIZZA, Andréa de Castro.; ROSA, Sara Vieira. Vulnerabilidade Socioambiental de Fortaleza. In: COSTA, Maria Clélia Lustosa da.; DANTAS, Eustógio Wanderley Correia (Org.). **Vulnerabilidade Socioambiental na Região Metropolitana de Fortaleza**. Fortaleza: edições UFC, 2009, p. 191-215.

ZHAI, Yuanzheng.; ZHAO, Xiaobing.; TENG, Yanguo.; LI, Xiao.; ZHANG, Junjun.; WU, Jin.; ZUO, Rui. Groundwater nitrate pollution and human health risk assessment by using HHRA model in an agricultural area, NE China. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 137, p. 130–142, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.11.010>.

ZIEGLER, Jean. **Destruição em Massa: Geopolítica da Fome**. Tradução de José Paulo Netto. 1ª ed. São Paulo: Cortez, 2013.

ZINDANI, Shahzaib.; KHALIL, Mujtaba.; RASHID, Zayed.; ALTAF, Abdullah.; Woldesenbet, Selamawit.; PAWLIK, Timothy M. Association of socio-environmental burden and inequality with cancer screening and mortality. **Journal of Surgical Oncology**, [S.l.], publicado em 17 dez. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jso.28039>. Acesso em: 14 abr. 2025.

## 9 APÊNDICES

### 9.1 APÊNDICE I – DADOS DE NITRATO COLETADOS NO BANCO DE DADOS DO INSTITUTO ÁGUA DE TERRA DO ESTADO DO PARANÁ

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nível estático	Data Perfuração	Aquífero
P1	385	IAT	Abatiá	-50,27230219	-23,32010755	0,58	0	29/11/1993	Serra Geral
P2	431	IAT	Abatiá	-50,31300243	-23,29906734	8,06	2,49	27/05/1987	Serra Geral
P3	432	IAT	Abatiá	-50,32175254	-23,30813735	0,36	81,97	05/11/1988	Guarani
P4	433	IAT	Abatiá	-50,32127253	-23,30677734	1	81,86	30/04/1993	Guarani
P5	448	IAT	Abatiá	-50,31348244	-23,29906734	3,5	13,55	14/07/1984	Serra Geral
P6	483	IAT	Abatiá	-50,37892302	-23,31740721	0,41	7	09/12/1993	Serra Geral
P7	484	IAT	Abatiá	-50,34811277	-23,3172873	0,14	0	18/11/1993	Serra Geral
P8	17965	IAT	Abatiá	-50,22374156	-23,25154742	0,002	57,38	28/01/2006	Serra Geral
P9	30888	IAT	Abatiá	-50,28095207	-23,26765731	3,18	21,4	N/D	Serra Geral
P10	38941	IAT	Abatiá	-50,31679251	-23,31050737	0,5	0	21/02/2014	Serra Geral
P11	44961	IAT	Abatiá	-50,4584636	-23,30555692	0,71	34	01/03/2013	Serra Geral
P12	55837	IAT	Abatiá	-50,27529306	-23,25564364	0,88	15	11/09/2013	Serra Geral
P13	5949	IAT	Andirá	-50,26738088	-22,9650961	0,09	1	01/08/1986	Serra Geral
P14	5991	IAT	Andirá	-50,27474092	-22,95790605	1	18	14/01/1997	Serra Geral
P15	6017	IAT	Andirá	-50,21266078	-23,05682665	9,87	66,65	29/06/2010	Serra Geral
P16	16358	IAT	Andirá	-50,24848106	-23,05777654	0,3	53,93	16/10/2004	Serra Geral
P17	21455	IAT	Andirá	-50,22716086	-23,04849657	1	18	30/01/2004	Serra Geral
P18	44409	IAT	Andirá	-50,22630087	-23,05103658	3,46	66	02/09/2011	Serra Geral
P19	46524	IAT	Andirá	-50,24514103	-23,05661655	1	31,25	14/11/2013	Serra Geral
P20	46524	IAT	Andirá	-50,24514103	-23,05661655	1	31,25	14/11/2013	Serra Geral
P21	48971	IAT	Andirá	-50,21998084	-23,05819663	0,3	103,72	07/08/2012	Guarani
P22	50106	IAT	Andirá	-50,35177693	-23,06709746	0,8	35	25/04/2014	Serra Geral
P23	56308	IAT	Andirá	-50,21279082	-23,02912793	0,03	4	19/10/2018	Serra Geral
P24	70482	IAT	Andirá	-50,23361635	-23,05343818	0,1	43	06/07/2017	Serra Geral
P25	8352	IAT	Assaí	-50,84586691	-23,38540604	6,9	10	17/07/1981	Serra Geral
P26	8360	IAT	Assaí	-50,84734689	-23,37592599	6,27	16,34	20/04/1989	Serra Geral

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nível estático	Data Perfuração	Aquífero
P27	8367	IAT	Assaí	-50,89130759	-23,47441625	0,33	45,51	11/11/1992	Serra Geral
P28	8547	IAT	Assaí	-50,85818671	-23,30502568	0,18	13,75	20/09/1991	Serra Geral
P29	8548	IAT	Assaí	-50,98091791	-23,37148556	0,11	3,3	23/04/1993	Serra Geral
P30	21550	IAT	Assaí	-50,82719681	-23,39737614	0,3	41,3	25/10/2007	Serra Geral
P31	25041	IAT	Assaí	-50,80762666	-23,39850621	1,2	76,43	15/10/2005	Serra Geral
P32	29024	IAT	Assaí	-50,83623679	-23,37411602	0,38	6,74	25/02/1980	Serra Geral
P33	32106	IAT	Assaí	-50,81777663	-23,36734605	8,12	22,4	04/07/1983	Serra Geral
P34	33277	IAT	Assaí	-50,85497698	-23,383996	5,51	50,34	11/10/2011	Serra Geral
P35	37476	IAT	Assaí	-50,81575654	-23,34955599	0,31	6	17/08/2011	Serra Geral
P36	37554	IAT	Assaí	-50,84695689	-23,377656	0,14	8,4	28/10/2013	Serra Geral
P37	37700	IAT	Assaí	-50,80590682	-23,4448364	3,2	44	23/11/2011	Serra Geral
P38	38456	IAT	Assaí	-50,87825712	-23,3754959	3,96	28,54	09/10/2014	Serra Geral
P39	38818	IAT	Assaí	-50,90041737	-23,39661591	5,57	32,61	11/09/2014	Serra Geral
P40	38861	IAT	Assaí	-50,89685735	-23,39823593	1,28	40,12	29/10/2014	Serra Geral
P41	38879	IAT	Assaí	-50,91212741	-23,38035581	0,4	40,33	24/11/2014	Serra Geral
P42	38916	IAT	Assaí	-50,90197732	-23,37980584	0,5	12,37	19/12/2014	Serra Geral
P43	38957	IAT	Assaí	-50,93894767	-23,39555579	1,32	25,19	02/10/2014	Serra Geral
P44	38957	IAT	Assaí	-50,93894767	-23,39555579	1,32	25,19	03/10/2014	Serra Geral
P45	38960	IAT	Assaí	-50,861617	-23,37814596	0,5	45,21	12/12/2014	Serra Geral
P46	39012	IAT	Assaí	-50,90906738	-23,37952582	0,4	43,57	17/11/2014	Serra Geral
P47	39088	IAT	Assaí	-50,91290741	-23,38112581	0,4	43,51	23/01/2015	Serra Geral
P48	39559	IAT	Assaí	-50,96139767	-23,34771553	0,8	13,47	07/01/2015	Serra Geral
P49	40162	IAT	Assaí	-50,80259687	-23,4661265	0,41	38,05	16/04/2012	Serra Geral
P50	40467	IAT	Assaí	-50,84872697	-23,39549607	1,65	22,56	15/07/2013	Serra Geral
P51	40662	IAT	Assaí	-50,85228699	-23,39287605	2,91	28,17	19/12/2014	Serra Geral
P52	42717	IAT	Assaí	-50,84024686	-23,38470605	2,51	0,5	23/07/2003	Serra Geral
P53	42848	IAT	Assaí	-50,87164694	-23,34003578	4,9	118,21	12/08/2013	Serra Geral
P54	42849	IAT	Assaí	-50,84148668	-23,33112583	5,35	12,24	05/08/2013	Serra Geral
P55	42850	IAT	Assaí	-50,83845662	-23,3216558	9,5	17,81	05/08/2013	Serra Geral

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nível estático	Data Perfuração	Aquífero
P56	44521	IAT	Assaí	-50,86853694	-23,34586581	3,71	44,03	16/07/2013	Serra Geral
P57	46275	IAT	Assaí	-50,85610688	-23,35490588	3,18	140,79	26/12/2013	Serra Geral
P58	46874	IAT	Assaí	-50,84133681	-23,36772598	2,35	23,45	17/05/2018	Serra Geral
P59	48753	IAT	Assaí	-50,82112677	-23,39855617	3,29	25,9	23/07/2015	Serra Geral
P60	49507	IAT	Assaí	-50,90304724	-23,35530574	2,89	23,12	14/09/2018	Serra Geral
P61	52392	IAT	Assaí	-50,89548366	-23,35448237	2,88	0	15/06/2018	Serra Geral
P62	54069	IAT	Assaí	-50,98830124	-23,39960224	1,86	30,67	19/09/2018	Serra Geral
P63	58478	IAT	Assaí	-50,86477942	-23,5190433	3,4	50,26	26/07/2017	Serra Geral
P64	60024	IAT	Assaí	-50,89972085	-23,40552533	3,9	50,24	29/06/2017	Serra Geral
P65	60086	IAT	Assaí	-50,86122125	-23,47067008	3,8	17,71	04/08/2017	Serra Geral
P66	65540	IAT	Assaí	-50,82652306	-23,37423422	0,9	26,4	31/10/2018	Serra Geral
P67	66488	IAT	Assaí	-50,91648572	-23,375645	1,47	17,23	07/12/2018	Serra Geral
P68	66518	IAT	Assaí	-50,96524523	-23,33753496	1,26	33,41	13/12/2018	Serra Geral
P69	75883	IAT	Assaí	-50,80508717	-23,45107915	2,56	N/D	N/D	Serra Geral
P70	407	IAT	Bandeirantes	-50,24547163	-23,22197723	0,01	2,9	03/08/1991	Serra Geral
P71	461	IAT	Bandeirantes	-50,34671198	-23,09808641	0,08	8	16/05/1970	Serra Geral
P72	485	IAT	Bandeirantes	-50,27714161	-23,14715683	1,54	2,86	13/03/1992	Serra Geral
P73	486	IAT	Bandeirantes	-50,44265296	-23,16228638	4,53	14,49	23/06/1992	Serra Geral
P74	494	IAT	Bandeirantes	-50,37989227	-23,10784635	0,15	0	08/07/1995	Serra Geral
P75	510	IAT	Bandeirantes	-50,4078324	-23,08130616	0,55	0	16/01/2003	Serra Geral
P76	515	IAT	Bandeirantes	-50,4299029	-23,17307646	0,03	12,58	17/12/1993	Serra Geral
P77	519	IAT	Bandeirantes	-50,37834232	-23,12545643	3,69	4,48	15/06/1992	Serra Geral
P78	15403	IAT	Bandeirantes	-50,37131215	-23,09297632	2,48	53	20/12/2004	Serra Geral
P79	16357	IAT	Bandeirantes	-50,34749215	-23,1436666	0,97	34,32	28/10/2004	Serra Geral
P80	18395	IAT	Bandeirantes	-50,38713509	-23,12408233	0,16	95,58	23/02/2006	Guarani
P81	19132	IAT	Bandeirantes	-50,34708198	-23,09859641	0,09	33,08	30/06/2006	Serra Geral
P82	20310	IAT	Bandeirantes	-50,41893274	-23,15388642	6,8	0	30/11/2007	Serra Geral
P83	20311	IAT	Bandeirantes	-50,41873274	-23,15382642	7	15,8	30/11/2007	Serra Geral
P84	20312	IAT	Bandeirantes	-50,41887275	-23,15511642	6,9	0	03/12/2007	Serra Geral

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nível estático	Data Perfuração	Aquífero
P85	21269	IAT	Bandeirantes	-50,40879266	-23,15370645	2,1	0	19/11/2007	Serra Geral
P86	21281	IAT	Bandeirantes	-50,42312286	-23,1766465	3,1	83,06	04/08/2007	Serra Geral
P87	21312	IAT	Bandeirantes	-50,42270285	-23,1767865	3,1	86,39	06/08/2007	Serra Geral
P88	24028	IAT	Bandeirantes	-50,34270222	-23,17621674	0,35	40	17/08/2008	Serra Geral
P89	24381	IAT	Bandeirantes	-50,42498287	-23,17603649	0,1	76,9	15/08/2008	Serra Geral
P90	24469	IAT	Bandeirantes	-50,42037284	-23,17741651	0,8	6,1	20/08/2008	Serra Geral
P91	26759	IAT	Bandeirantes	-50,29105186	-23,18727695	1,28	19	26/06/2006	Serra Geral
P92	26867	IAT	Bandeirantes	-50,32699218	-23,19801688	0,35	167	10/06/2003	Guarani
P93	31840	IAT	Bandeirantes	-50,41996281	-23,16932648	2,2	10,8	10/09/2010	Serra Geral
P94	37708	IAT	Bandeirantes	-50,42459282	-23,16447644	1,37	0,2	19/10/2011	Serra Geral
P95	37779	IAT	Bandeirantes	-50,38499272	-23,2211268	0,95	7	12/01/2012	Serra Geral
P96	38430	IAT	Bandeirantes	-50,42217247	-23,07128607	0,4	21,2	05/05/2012	Serra Geral
P97	38465	IAT	Bandeirantes	-50,35725228	-23,15885663	1,22	27	26/08/2011	Serra Geral
P98	39340	IAT	Bandeirantes	-50,29404181	-23,16733686	0,9	49,35	05/09/2013	Serra Geral
P99	39953	IAT	Bandeirantes	-50,39895262	-23,16363652	20,21	28	01/05/2012	Serra Geral
P100	41094	IAT	Bandeirantes	-50,37850244	-23,15791656	0,6	22,49	05/09/2013	Serra Geral
P101	41279	IAT	Bandeirantes	-50,40892266	-23,15333645	1,8	25,39	17/09/2018	Serra Geral
P102	42444	IAT	Bandeirantes	-50,41269797	-23,16823223	1,8	52,39	15/07/2015	Serra Geral
P103	42963	IAT	Bandeirantes	-50,43295458	-23,16840187	3,7	57	22/11/2012	Serra Geral
P104	43174	IAT	Bandeirantes	-50,38216241	-23,14117648	1,36	9,5	23/01/2015	Serra Geral
P105	48359	IAT	Bandeirantes	-50,45138301	-23,15677633	7,94	5	10/11/2013	Serra Geral
P106	50105	IAT	Bandeirantes	-50,43860257	-23,06258598	0,683	19	25/05/2014	Serra Geral
P107	59071	IAT	Bandeirantes	-50,40023759	-23,07378476	0,3	0	09/02/2019	N/D
P108	59616	IAT	Bandeirantes	-50,34734065	-23,09862554	3,5	22,67	27/06/2017	Serra Geral
P109	60783	IAT	Bandeirantes	-50,39420589	-23,09530753	3,19	0	31/01/2019	Serra Geral
P110	65542	IAT	Bandeirantes	-50,34753344	-23,14358311	1,9	91	25/08/2014	Serra Geral
P111	67588	IAT	Bandeirantes	-50,31912019	-23,18199696	1	4	31/10/2018	Serra Geral
P112	67589	IAT	Bandeirantes	-50,44478289	-23,06262215	0,1	29	02/11/2018	Serra Geral
P113	70415	IAT	Bandeirantes	-50,4009885	-23,17089409	1,94	50,81	05/04/2019	Serra Geral

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nível estático	Data Perfuração	Aquífero
P114	71058	IAT	Bandeirantes	-50,40805996	-23,21128885	3,2	52	10/12/2019	Serra Geral
P115	71277	IAT	Bandeirantes	-50,4115675	-23,12654605	1,7	34	25/05/2018	Serra Geral
P116	71281	IAT	Bandeirantes	-50,44070706	-23,07329391	5	33	26/03/2019	Serra Geral
P117	311	IAT	Barra do Jacaré	-50,18138073	-23,11284698	1,15	13	26/11/1987	Serra Geral
P118	370	IAT	Barra do Jacaré	-50,18406654	-23,11483576	4,4	4,28	08/07/2002	Serra Geral
P119	402	IAT	Barra do Jacaré	-50,13376037	-23,11481713	0,15	0	29/09/1994	Serra Geral
P120	24388	IAT	Barra do Jacaré	-50,19969094	-23,131077	1,98	30	20/07/2007	Serra Geral
P121	27074	IAT	Barra do Jacaré	-50,16557058	-23,10415699	1	44	26/07/2000	Serra Geral
P122	27075	IAT	Barra do Jacaré	-50,17548057	-23,07936686	1	26	20/08/2008	Serra Geral
P123	53048	IAT	Barra do Jacaré	-50,19458914	-23,11051007	5,59	20	24/05/2002	Serra Geral
P124	5925	IAT	Cambará	-50,07188956	-23,02368694	2,09	132	21/09/2016	Serra Geral
P125	5948	IAT	Cambará	-50,06979961	-23,04354703	0,003	31	04/09/1983	Guarani
P126	5950	IAT	Cambará	-50,08050971	-23,04767701	0,13	25,7	07/06/1992	Serra Geral
P127	6012	IAT	Cambará	-50,08073168	-23,04558403	0,8	0	10/07/2002	Guarani
P128	6030	IAT	Cambará	-50,04690938	-23,02882704	1,82	32,82	15/10/1982	N/D
P129	6031	IAT	Cambará	-50,04690938	-23,02882704	1,892	83	03/12/2002	N/D
P130	6033	IAT	Cambará	-50,06593956	-23,03765702	5,2	65	14/02/2000	Serra Geral/Guarani
P131	16353	IAT	Cambará	-50,07050955	-23,02566695	2,62	25	07/02/2005	Serra Geral
P132	17797	IAT	Cambará	-49,99503888	-23,00336709	6,91	53	03/03/2003	Serra Geral
P133	19170	IAT	Cambará	-50,07552963	-23,03722698	13	N/D	N/D	Serra Geral
P134	23932	IAT	Cambará	-50,08929981	-23,05600702	5,8	44	16/10/2008	Serra Geral
P135	27262	IAT	Cambará	-50,11323991	-23,03199685	2,8	8	31/01/2009	N/D
P136	39260	IAT	Cambará	-50,08599954	-22,98688674	7,38	10	30/05/2012	Serra Geral
P137	42932	IAT	Cambará	-50,06402953	-23,03414701	1,34	32	26/11/2011	Guarani
P138	43889	IAT	Cambará	-50,07085956	-23,02651695	4,44	43	21/09/2016	Serra Geral
P139	55800	IAT	Cambará	-50,06016258	-23,05508556	0,35	21	20/09/2018	Serra Geral
P140	58619	IAT	Cambará	-50,06402615	-23,03415294	0,7	0	26/11/2011	Serra Geral
P141	15305	IAT	Carlópolis	-49,73019829	-23,42566965	0,03	7,26	30/09/2004	Itararé

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nível estático	Data Perfuração	Aquífero
P142	16294	IAT	Carlópolis	-49,82870025	-23,46724106	2,48	3,09	30/06/2005	Itararé
P143	17577	IAT	Carlópolis	-49,78761891	-23,47247967	0,73	130	30/12/2005	Itararé
P144	39747	IAT	Carlópolis	-49,65936768	-23,41330981	0,02	37	29/09/2011	Itararé
P145	57402	IAT	Carlópolis	-49,73448633	-23,41575603	2,84	56,67	27/02/2019	Paleozoico
P146	57403	IAT	Carlópolis	-49,71689949	-23,43057269	2,78	19,38	08/03/2019	Serra Geral
P147	57411	IAT	Carlópolis	-49,70934727	-23,4232733	3,24	10,18	27/02/2019	Serra Geral
P148	60349	IAT	Carlópolis	-49,77096557	-23,47610193	4,1	32,73	30/01/2019	Paleozoica Média Superior
P149	64411	IAT	Carlópolis	-49,72220078	-23,42177441	4	3,12	29/06/2018	Paleozoico
P150	16843	IAT	Congonhinhas	-50,56196508	-23,49065734	0,69	2,08	30/10/2004	Serra Geral
P151	40255	IAT	Congonhinhas	-50,5468452	-23,55703766	0,57	104,5	23/11/2012	Guarani
P152	43751	IAT	Congonhinhas	-50,54093521	-23,57139774	0,5	25	07/06/2018	Serra Geral
P153	45725	IAT	Congonhinhas	-50,56209508	-23,49055734	0,8	89,28	16/09/2013	Serra Geral
P154	47999	IAT	Congonhinhas	-50,55241509	-23,51226746	0,4	49,3	07/05/2018	Serra Geral
P155	61487	IAT	Congonhinhas	-50,54348859	-23,5352509	0,9	18	09/01/2020	Serra Geral
P156	387	IAT	Cornélio Procópio	-50,63692457	-23,18742589	0,03	191,54	21/12/1975	Guarani
P157	389	IAT	Cornélio Procópio	-50,62227445	-23,18681593	0,04	182	01/12/1979	Guarani
P158	392	IAT	Cornélio Procópio	-50,63486455	-23,18769589	0,03	269,61	14/06/1991	Guarani
P159	8687	IAT	Cornélio Procópio	-50,6838351	-23,23511594	3,79	13	15/03/1991	Serra Geral
P160	8741	IAT	Cornélio Procópio	-50,67495501	-23,22812593	1,6	0	07/12/1991	Serra Geral
P161	16105	IAT	Cornélio Procópio	-50,70234527	-23,2411259	4,11	8	28/05/2005	Serra Geral
P162	20170	IAT	Cornélio Procópio	-50,73063558	-23,26695592	0,7	0	02/03/2006	Guarani
P163	20353	IAT	Cornélio Procópio	-50,67534477	-23,16089566	6,2	35	28/11/2006	Serra Geral
P164	21983	IAT	Cornélio Procópio	-50,63428455	-23,1878559	0,1	243,5	03/04/2008	Guarani
P165	25424	IAT	Cornélio Procópio	-50,67974519	-23,26929609	2,8	48,97	01/11/2008	Serra Geral
P166	26431	IAT	Cornélio Procópio	-50,675595	-23,22521592	1,01	24,2	21/10/2008	Serra Geral
P167	43431	IAT	Cornélio Procópio	-50,59308478	-23,34179665	2,5	76,91	13/11/2012	Serra Geral
P168	55792	IAT	Cornélio Procópio	-50,65249246	-23,19526245	7	8	28/09/2013	Serra Geral
P169	57024	IAT	Cornélio Procópio	-50,65388092	-23,24802776	6,7	46,83	23/01/2015	Serra Geral

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nível estático	Data Perfuração	Aquífero
P170	59493	IAT	Cornélio Procópio	-50,77208146	-23,13716267	4	22,34	24/05/2017	Serra Geral
P171	62096	IAT	Cornélio Procópio	-50,64291054	-23,1856478	0,53	31	12/12/2019	Serra Geral
P172	70313	IAT	Cornélio Procópio	-50,75383911	-23,20993377	4	54,11	16/10/2019	Serra Geral
P173	70397	IAT	Cornélio Procópio	-50,7141021	-23,20539516	1,89	6,84	06/11/2019	Serra Geral
P174	8243	IAT	Curiúva	-50,46440644	-24,06243993	0,07	12,1	08/01/1994	Palermo
P175	8269	IAT	Curiúva	-50,45938627	-24,02850982	0,13	0	30/12/1999	Rio do Rastro
P176	8287	IAT	Curiúva	-50,45119665	-24,04361124	0,2	0	10/08/2006	Palermo
P177	16295	IAT	Curiúva	-50,40889591	-24,03707001	0,04	22,15	26/06/2006	Itararé
P178	20978	IAT	Curiúva	-50,43266614	-24,05045999	0,09	50	21/02/2008	Rio Bonito
P179	35531	IAT	Curiúva	-50,40442587	-24,03603002	0,71	13,96	17/11/1994	Rio Bonito
P180	67648	IAT	Curiúva	-50,44820835	-24,05085538	0,73	30	15/10/2018	Paleozoico
P181	475	IAT	Figueira	-50,39264824	-23,85082866	0,23	1	22/07/2002	Itararé
P182	476	IAT	Figueira	-50,39389238	-23,84992637	0,12	28	22/07/2002	Itararé
P183	480	IAT	Figueira	-50,39695831	-23,85398649	0,19	28,42	22/07/2002	Itararé
P184	35322	IAT	Guapirama	-50,01523075	-23,481329	0,1	20	16/07/2011	Itararé
P185	478	IAT	Ibaiti	-50,28404393	-23,77087934	0,08	0	04/02/1988	Rio Bonito
P186	479	IAT	Ibaiti	-50,27933762	-23,77211236	0,18	0	25/07/2002	Rio Bonito
P187	489	IAT	Ibaiti	-50,25048661	-23,92076283	0,08	3,8	22/01/1993	Itararé
P188	493	IAT	Ibaiti	-50,339099	-23,605762	0,09	3,95	28/01/1993	Itararé
P189	16429	IAT	Ibaiti	-50,2182337	-23,84930986	0,97	106,9	29/07/2005	Rio Bonito
P190	17691	IAT	Ibaiti	-50,2805139	-23,77118935	0,27	146,72	30/09/2005	Serra Geral
P191	21659	IAT	Ibaiti	-50,20798369	-23,86880997	1,16	322	05/01/2007	Itararé
P192	36711	IAT	Ibaiti	-50,27182447	-23,94177006	0,49	94,79	13/09/2011	Itararé
P193	40748	IAT	Ibaiti	-50,23022382	-23,85502985	0,18	80	11/03/2009	Paleozoico
P194	54838	IAT	Ibaiti	-50,2317926	-23,85801197	0,79	190	25/02/2016	Paleozoico
P195	60930	IAT	Ibaiti	-50,18667083	-23,83304478	1,06	17	15/11/2014	Itararé
P196	74625	IAT	Ibaiti	-50,2485739	-23,82159034	2,61	N/D	N/D	N/D
P197	26032	IAT	Itambaracá	-50,40550179	-22,91463548	3,12	24	30/07/2002	Serra Geral
P198	10192	IAT	Jaboti	-50,04914207	-23,77005007	3	0	13/06/2007	Rio Bonito

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nível estático	Data Perfuração	Aquífero
P199	25375	IAT	Jaboti	-50,05378193	-23,72041986	0,1	16,16	02/08/2001	Itararé
P200	28038	IAT	Jaboti	-50,08067234	-23,77637	4,3	61,34	19/07/2010	Serra Geral
P201	61385	IAT	Jaboti	-50,05412279	-23,72180338	0,17	0	20/08/2017	Paleozoico Médio Superior
P202	5952	IAT	Jacarezinho	-50,00593648	-23,15067267	0,12	101,9	02/10/1993	Guarani
P203	6004	IAT	Jacarezinho	-49,95190904	-23,1435278	0,11	92	29/04/1994	Serra Geral
P204	6005	IAT	Jacarezinho	-49,8867584	-23,10830785	0,12	35	16/06/1993	Itararé
P205	6034	IAT	Jacarezinho	-49,96985924	-23,15962781	1	15	25/02/1988	Serra Geral
P206	13202	IAT	Jacarezinho	-49,91075893	-23,20449818	1,8	N/D	14/10/2004	Rio do Rastro
P207	17046	IAT	Jacarezinho	-49,94125878	-23,09497763	0,71	5	30/09/2004	Guarani
P208	17097	IAT	Jacarezinho	-49,93925876	-23,09308763	1,68	35	29/11/2005	Guarani
P209	17148	IAT	Jacarezinho	-49,94141878	-23,09355762	1,09	5	31/08/2011	Guarani
P210	17795	IAT	Jacarezinho	-49,92244843	-23,03716745	1,49	5	06/02/2019	Guarani
P211	19916	IAT	Jacarezinho	-49,93720912	-23,20057808	0,78	N/D	05/05/2011	Guarani
P212	20030	IAT	Jacarezinho	-49,87422838	-23,13171799	3,5	48	18/12/2006	Serra Geral
P213	20223	IAT	Jacarezinho	-49,98406926	-23,13489767	11,32	2,8	14/06/2008	Guarani
P214	21075	IAT	Jacarezinho	-49,94211878	-23,09369762	1,4	0	21/03/2018	Guarani
P215	21743	IAT	Jacarezinho	-50,10166028	-23,16082742	6,8	N/D	09/09/2019	Serra Geral
P216	21869	IAT	Jacarezinho	-50,03397968	-23,14260755	1,24	76	30/09/2008	Guarani
P217	21967	IAT	Jacarezinho	-49,93586895	-23,1562479	11,49	68	05/10/2007	Itararé
P218	23481	IAT	Jacarezinho	-49,93791897	-23,15543789	14,59	36	19/09/2007	Rio do Rastro
P219	53259	IAT	Jacarezinho	-49,93014545	-23,08714403	4,26	11,19	14/09/2015	Guarani
P220	59552	IAT	Jacarezinho	-49,91382804	-23,16447619	0,01	74,4	20/06/2015	Itararé
P221	63216	IAT	Jacarezinho	-49,93915583	-23,1572966	4,46	0	05/08/2017	Guarani
P222	68082	IAT	Jacarezinho	-49,9344219	-23,07520683	0,41	N/D	02/07/2019	Serra Geral
P223	375	IAT	Japira	-50,17106282	-23,71250946	0,06	7,8	31/07/2002	N/D
P224	423	IAT	Japira	-50,14317294	-23,80332991	0,04	75	23/12/1999	Itararé
P225	8550	IAT	Jataizinho	-50,94034726	-23,28023532	0,01	17,12	06/04/1992	Serra Geral
P226	8562	IAT	Jataizinho	-50,97311744	-23,25992514	0,011	33	10/06/1997	Serra Geral

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nível estático	Data Perfuração	Aquífero
P227	8571	IAT	Jataizinho	-50,86160675	-23,30818568	0,36	22,68	13/04/1992	Serra Geral
P228	8703	IAT	Jataizinho	-50,94380703	-23,20842502	0,1	0	21/05/1993	Serra Geral
P229	8704	IAT	Jataizinho	-50,954077	-23,17861487	0,09	0	22/05/1993	Serra Geral
P230	46536	IAT	Jataizinho	-50,98470752	-23,2585551	4,9	15,38	09/06/2010	Serra Geral
P231	59962	IAT	Jataizinho	-50,93713967	-23,15161456	3,37	6	14/03/2003	Serra Geral
P232	60221	IAT	Jataizinho	-50,98279508	-23,25909434	6,31	33	07/11/2014	Serra Geral
P233	60222	IAT	Jataizinho	-50,9840465	-23,25897704	0,32	33	07/11/2014	Serra Geral
P234	61166	IAT	Jataizinho	-50,97977373	-23,26156003	3,6	40,62	04/09/2017	Serra Geral
P235	62739	IAT	Jataizinho	-50,9398163	-23,16702136	4,03	N/D	20/12/2017	Serra Geral
P236	64490	IAT	Jataizinho	-50,96479827	-23,27083284	0,48	0	24/01/2013	Serra Geral
P237	376	IAT	Joaquim Távora	-49,86161133	-23,43555424	1,81	7,12	08/05/1992	Rio Bonito
P238	411	IAT	Joaquim Távora	-49,8669629	-23,40733692	1,68	7,4	09/05/1992	Teresina
P239	445	IAT	Joaquim Távora	-49,91796009	-23,51111942	1,8	13,2	01/11/2001	Rio do Rastro
P240	17578	IAT	Joaquim Távora	-49,98542045	-23,46430902	2,35	4	30/12/2005	Itararé
P241	34795	IAT	Joaquim Távora	-49,82718942	-23,52532976	0,28	32	14/12/2010	Rio Bonito
P242	48835	IAT	Joaquim Távora	-49,92337012	-23,5096494	0,47	140	16/09/2014	Paleozoico
P243	61679	IAT	Joaquim Távora	-49,91691749	-23,51027665	0,4	N/D	18/12/2016	N/D
P244	390	IAT	Jundiaí do Sul	-50,24524633	-23,43105907	0,2	2,72	16/08/1994	Rio do Rastro
P245	391	IAT	Jundiaí do Sul	-50,30018308	-23,50540822	0,01	4,32	19/11/1991	Teresina
P246	17820	IAT	Jundiaí do Sul	-50,24231222	-23,39242794	3,27	68,1	24/03/2007	Guarani
P247	6051	IAT	Leópolis	-50,73952496	-23,07493511	0,14	3,38	26/03/1993	Serra Geral
P248	6052	IAT	Leópolis	-50,66568436	-22,94911377	0,03	1	30/04/1987	Serra Geral
P249	6061	IAT	Leópolis	-50,65977375	-22,90951468	0,06	14,53	05/08/1999	Serra Geral
P250	32182	IAT	Leópolis	-50,82140574	-23,11412502	2,36	47,5	05/07/2011	Serra Geral
P251	38920	IAT	Leópolis	-50,77992518	-23,05008489	2	20	06/03/1993	Serra Geral
P252	55355	IAT	Leópolis	-50,73847977	-23,08211602	5,96	17,03	25/06/2018	Serra Geral
P253	66267	IAT	Leópolis	-50,80967804	-23,10914716	1,46	34,21	04/12/2018	Serra Geral
P254	8694	IAT	Nova América da Colina	-50,7096787	-23,29405248	0,17	0	01/01/1986	Serra Geral
P255	8705	IAT	Nova América da Colina	-50,7422459	-23,33062614	0,12	46,7	26/03/1992	Serra Geral

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nível estático	Data Perfuração	Aquífero
P256	60852	IAT	Nova América da Colina	-50,72242889	-23,34348827	3,3	23,55	22/08/2017	Serra Geral
P257	43432	IAT	Nova Fátima	-50,61253495	-23,34732661	2,5	14,28	21/11/2012	Serra Geral
P258	43433	IAT	Nova Fátima	-50,63268516	-23,3600866	2,8	18	22/11/2012	Serra Geral
P259	60849	IAT	Nova Fátima	-50,57704576	-23,43281041	0,41	28	17/11/2016	Serra Geral
P260	8400	IAT	Nova Santa Bárbara	-50,75021108	-23,59742309	0,27	57	08/08/1978	Serra Geral
P261	43229	IAT	Nova Santa Bárbara	-50,76230702	-23,59298713	0,5	208,42	16/09/2012	Guarani
P262	371	IAT	Pinhalão	-50,06249545	-23,79361518	0,19	7,32	18/12/1992	Itararé
P263	18545	IAT	Pinhalão	-50,06600601	-23,79736485	0,04	20,69	28/05/2006	Itararé
P264	34729	IAT	Pinhalão	-50,06631267	-23,89437052	0,57	156,45	17/10/1987	Itararé
P265	67367	IAT	Pinhalão	-50,0636715	-23,87467801	0,73	25	31/10/2018	Paleozoico Médio Superior
P266	15637	IAT	Quatiguá	-49,95437066	-23,59083964	0,038	N/D	N/D	N/D
P267	17583	IAT	Quatiguá	-49,91317033	-23,58816975	2,24	27	30/12/2005	Itararé
P268	17586	IAT	Quatiguá	-50,008341	-23,56597937	2,03	24	30/12/2005	Itararé
P269	17587	IAT	Quatiguá	-50,0108395	-23,54391665	1,43	75,58	10/09/2018	Itararé
P270	25824	IAT	Quatiguá	-50,02184104	-23,54747925	4,8	108,16	04/01/2010	Serra Geral
P271	27447	IAT	Quatiguá	-49,97323066	-23,54939941	12,4	77,35	05/11/2018	Paleozoico
P272	27449	IAT	Quatiguá	-49,9702306	-23,53833937	11,1	75,58	09/02/2018	Paleozoico
P273	30151	IAT	Quatiguá	-49,90484017	-23,56197967	11,97	34	16/01/2012	Paleozoico
P274	52008	IAT	Quatiguá	-49,91364026	-23,56951967	0,57	34	28/04/2013	Itararé
P275	56436	IAT	Quatiguá	-49,97559192	-23,54836358	1,79	90,87	13/07/2018	Paleozoico
P276	58823	IAT	Quatiguá	-49,9949238	-23,54929353	2,76	0	16/05/2017	Paleozoico
P277	60208	IAT	Quatiguá	-50,01019971	-23,5592572	4,1	24,62	27/07/2017	Paleozoico
P278	66839	IAT	Quatiguá	-49,90976554	-23,57354804	1,36	38	20/12/2018	Paleozoico
P279	8689	IAT	Rancho Alegre	-50,93751645	-23,06253446	0,04	7,9	23/04/1987	Serra Geral
P280	8740	IAT	Rancho Alegre	-50,91360625	-23,05800451	0,06	0	27/10/1995	Serra Geral
P281	9692	IAT	Rancho Alegre	-50,89632612	-23,06020457	1,81	5,76	15/05/2002	Serra Geral
P282	15473	IAT	Rancho Alegre	-50,93623641	-23,05371442	8,4	10,3	23/03/2005	Serra Geral
P283	37894	IAT	Rancho Alegre	-50,90177643	-23,13481486	1,3	30,59	26/11/2014	Serra Geral

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nível estático	Data Perfuração	Aquífero
P284	38956	IAT	Rancho Alegre	-50,89535641	-23,1410349	2,21	25,73	03/10/2014	Serra Geral
P285	49592	IAT	Rancho Alegre	-50,8921161	-23,0625846	5,09	67,23	15/06/0018	Serra Geral
P286	50358	IAT	Rancho Alegre	-50,90667625	-23,07283459	3,28	170,12	05/10/2018	Serra Geral
P287	25289	IAT	Ribeirão Claro	-49,75512765	-23,1919186	1	69,26	17/02/2009	Serra Geral
P288	34574	IAT	Ribeirão Claro	-49,76018772	-23,20108862	0,01	82,6	17/04/2004	Serra Geral
P289	35676	IAT	Ribeirão Claro	-49,75806767	-23,18972858	2,12	71,15	29/05/2010	N/D
P290	72059	IAT	Ribeirão Claro	-49,71715234	-23,35353657	1,45	0	27/05/2017	N/D
P291	482	IAT	Ribeirão do Pinhal	-50,36532321	-23,40090759	1,95	0,5	25/04/1978	Guarani
P292	19629	IAT	Ribeirão do Pinhal	-50,34573343	-23,50289807	5	18,51	09/10/2006	Guarani
P293	55797	IAT	Ribeirão do Pinhal	-50,35845655	-23,41854836	0,63	40	23/11/2011	Rio do Rastro
P294	58378	IAT	Ribeirão do Pinhal	-50,36222508	-23,40216963	1,59	0	26/02/2015	Guarani
P295	65547	IAT	Ribeirão do Pinhal	-50,36867969	-23,5840925	0,7	28	24/05/2015	Paleozoico Superior
P296	67106	IAT	Ribeirão do Pinhal	-50,35540555	-23,39573754	1	25	27/11/2014	Paleozoico Médio Superior
P297	2985	IAT	Salto do Itararé	-49,62328457	-23,60812703	0,05	11	18/01/1988	Itararé
P298	449	IAT	Santa Amélia	-50,43245325	-23,26476683	0,37	18	16/09/1988	Serra Geral
P299	473	IAT	Santa Amélia	-50,43634329	-23,26884684	2,25	8	20/09/2002	Serra Geral
P300	18517	IAT	Santa Amélia	-50,4239232	-23,26933688	2,92	45,8	25/04/2006	Guarani/Piramboia
P301	23076	IAT	Santa Amélia	-50,41931311	-23,25649684	0,75	23	10/10/2007	Serra Geral
P302	23077	IAT	Santa Amélia	-50,42792318	-23,25642681	3,2	29	15/11/2007	Serra Geral
P303	34393	IAT	Santa Amélia	-50,33380253	-23,2805372	3,77	6	18/08/2010	Serra Geral
P304	21082	IAT	Santa Cecília do Pavão	-50,82031738	-23,56687684	0,4	62	08/07/2016	Serra Geral
P305	25031	IAT	Santa Cecília do Pavão	-50,78929714	-23,56892695	1	18,3	23/08/2008	Serra Geral
P306	33185	IAT	Santa Cecília do Pavão	-50,8011071	-23,53124676	1,43	22,66	30/04/2000	Serra Geral
P307	61880	IAT	Santa Cecília do Pavão	-50,78028053	-23,54252732	3,3	0	23/10/2017	Serra Geral
P308	472	IAT	Santa Mariana	-50,48431315	-23,1235861	0,57	3,74	17/01/1994	Serra Geral
P309	6050	IAT	Santa Mariana	-50,57389369	-23,0385933	0,05	6,85	03/11/1987	Serra Geral
P310	6058	IAT	Santa Mariana	-50,59042323	-22,91567492	2,62	15,43	11/10/1995	Serra Geral
P311	32713	IAT	Santa Mariana	-50,51191344	-23,1446561	0,29	65	28/05/2010	Serra Geral

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nível estático	Data Perfuração	Aquífero
P312	49050	IAT	Santa Mariana	-50,51210345	-23,14879611	0,008	108	05/08/2013	Guarani
P313	61488	IAT	Santa Mariana	-50,59516488	-22,96573624	4,6	18	31/12/2002	Serra Geral
P314	62142	IAT	Santa Mariana	-50,58208309	-23,14599637	1,78	N/D	N/D	N/D
P315	65551	IAT	Santa Mariana	-50,49404506	-23,1427123	3	40,56	30/10/2018	Serra Geral
P316	2960	IAT	Santana do Itararé	-49,624126	-23,75336928	0,03	4,25	23/09/2002	Caiuá
P317	2961	IAT	Santana do Itararé	-49,62357422	-23,75265996	0,025	2	23/09/2002	Caiuá
P318	2967	IAT	Santana do Itararé	-49,63206872	-23,75925132	0,18	0	23/09/2002	Itararé
P319	2981	IAT	Santana do Itararé	-49,67652896	-23,72939106	0,104	59,82	10/06/1992	Itararé
P320	2982	IAT	Santana do Itararé	-49,59305833	-23,73723135	0,097	7,4	06/06/1992	Itararé
P321	367	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,08133057	-23,286138	0,26	16,6	23/09/2002	Serra Geral
P322	368	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,08139659	-23,2828882	0,3	21	23/09/2002	Guarani
P323	369	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,08233585	-23,29160128	0,21	2,8	23/09/2002	Guarani
P324	377	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,08432056	-23,27757795	0,05	42,12	27/04/1989	Guarani
P325	429	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,09429483	-23,26119307	1,24	83,73	07/02/2001	Serra Geral
P326	550	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,11015916	-23,24676528	1,63	0	24/09/2001	Serra Geral
P327	15120	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,17326088	-23,17075724	3,15	32	30/10/2004	Serra Geral
P328	16104	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,02806993	-23,22667791	4,57	17	23/05/2005	Guarani
P329	25439	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,18472095	-23,16657719	1	5	11/12/2008	Serra Geral
P330	31532	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,08277061	-23,29627803	9,48	27	30/09/2009	Rio do Rastro
P331	33095	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,08041704	-23,28403631	3,67	28,8	21/02/2011	Guarani
P332	38352	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,09801056	-23,24754779	0,51	N/D	16/03/2012	N/D
P333	38621	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,06876064	-23,33348823	0,37	22	30/04/2012	Rio do Rastro
P334	63094	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,05494735	-23,29066465	5,16	35,41	23/07/2019	Serra Geral
P335	64424	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,06906692	-23,29064972	1,84	59,45	29/06/2018	Serra Geral
P336	8394	IAT	Santo Antonio do Paraíso	-50,65872628	-23,61029752	0,11	0	06/01/1994	Serra Geral
P337	36064	IAT	Santo Antonio do Paraíso	-50,66825608	-23,5373072	0,36	19,8	02/01/2012	Serra Geral
P338	43012	IAT	Santo Antonio do Paraíso	-50,61655622	-23,68568796	6,97	0	16/08/2013	Serra Geral
P339	47037	IAT	Santo Antonio do Paraíso	-50,6284356	-23,49051714	2,8	7,48	22/04/2014	Serra Geral
P340	8390	IAT	São Jerônimo da Serra	-50,87209788	-23,59318679	4	4,3	23/05/1992	Serra Geral

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nível estático	Data Perfuração	Aquífero
P341	8403	IAT	São Jerônimo da Serra	-50,73951733	-23,72444772	0,41	62	24/09/2002	Serra Geral
P342	8404	IAT	São Jerônimo da Serra	-50,74169467	-23,72437853	2,82	0	06/02/1998	Guarani
P343	20085	IAT	São José da Boa Vista	-49,67150002	-23,92310507	0,09	19	19/10/2006	Itararé
P344	62740	IAT	São José da Boa Vista	-49,75218215	-24,07316204	3,27	41,11	21/12/2017	Paleozoico
P345	8380	IAT	São Sebastião da Amoreira	-50,75865648	-23,45394658	0,08	25,37	07/01/1994	Serra Geral
P346	8407	IAT	São Sebastião da Amoreira	-50,75270643	-23,45181659	0,94	123,26	17/07/2000	Serra Geral
P347	8409	IAT	São Sebastião da Amoreira	-50,75173642	-23,4513866	0,32	0	18/02/1992	Serra Geral
P348	8410	IAT	São Sebastião da Amoreira	-50,75382644	-23,45210659	0,18	17,52	21/04/1993	Serra Geral
P349	8725	IAT	São Sebastião da Amoreira	-50,74747623	-23,40831644	0,15	7,9	17/09/1991	Serra Geral
P350	34374	IAT	Sapopema	-50,66307727	-23,86743853	0,14	1,03	10/07/2006	Paleozoico
P351	39989	IAT	Sapopema	-50,55148663	-23,93212914	4,75	34	20/07/2012	Serra Geral
P352	6057	IAT	Sertaneja	-50,817675	-22,91581423	7,99	43,2	14/02/1998	Serra Geral
P353	22819	IAT	Sertaneja	-50,85222505	-22,85628388	5,8	13	06/12/2007	Serra Geral
P354	48082	IAT	Sertaneja	-50,97855552	-22,84763815	0,1	31,4	25/07/2014	Guarani
P355	57253	IAT	Sertaneja	-50,99028699	-22,80851734	0,18	12,7	24/01/2017	Serra Geral
P356	57254	IAT	Sertaneja	-50,98080628	-22,80589671	3,89	21,5	24/01/2017	Serra Geral
P357	2964	IAT	Siqueira Campos	-49,82306998	-23,68767044	1,9	0	13/10/1974	Itararé
P358	2966	IAT	Siqueira Campos	-49,83006998	-23,67237036	0,03	15,67	07/05/1994	N/D
P359	2983	IAT	Siqueira Campos	-49,8270202	-23,73918064	0,05	5	27/01/1993	Rio Bonito
P360	20172	IAT	Siqueira Campos	-49,79937987	-23,7091006	0,26	32	08/01/2006	Paleozoico
P361	21482	IAT	Siqueira Campos	-49,83032976	-23,6109801	0,18	49	15/05/2002	Rio Bonito
P362	22303	IAT	Siqueira Campos	-49,83769996	-23,65040024	2,2	3	15/09/2008	Serra Geral
P363	40228	IAT	Siqueira Campos	-49,82958575	-23,7044892	0,49	5,78	11/05/2012	Itararé
P364	72920	IAT	Siqueira Campos	-49,77577237	-23,73653142	5,08	N/D	N/D	N/D
P365	400	IAT	Tomazina	-49,90870073	-23,70862026	0,09	4	19/03/1993	Rio Bonito
P366	401	IAT	Tomazina	-50,02261133	-23,62538957	0,15	3,2	22/02/1993	Rio Bonito
P367	409	IAT	Tomazina	-49,99564206	-23,8830707	0,05	6,6	17/12/1991	Rio Bonito
P368	29495	IAT	Tomazina	-49,93643112	-23,75397036	20,1	57	26/06/2009	Itararé
P369	58489	IAT	Tomazina	-49,98897692	-23,5875599	4,3	33,53	21/03/2017	Paleozoico

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nível estático	Data Perfuração	Aquífero
P370	59272	IAT	Tomazina	-49,97494	-23,601836	5,6	42,82	12/07/2019	Paleozoico
P371	8695	IAT	Uraí	-50,80258474	-23,20514394	0,09	5,98	01/10/2002	Serra Geral
P372	8706	IAT	Uraí	-50,80982621	-23,26929568	1,15	16,41	18/10/1991	Serra Geral
P373	8707	IAT	Uraí	-50,81134609	-23,23406554	0,06	15,43	08/10/1996	Serra Geral
P374	8708	IAT	Uraí	-50,87537655	-23,22238529	0,16	8,58	23/09/1991	Serra Geral
P375	8709	IAT	Uraí	-50,83284626	-23,23499547	0,11	22,35	18/03/1994	Serra Geral
P376	8720	IAT	Uraí	-50,85730637	-23,21288531	2,14	25,25	11/10/2002	Serra Geral
P377	8745	IAT	Uraí	-50,79709585	-23,19695543	10,6	20,88	09/06/2000	Serra Geral
P378	12142	IAT	Uraí	-50,77676568	-23,19550549	1,25	3,71	26/11/2002	Serra Geral
P379	19115	IAT	Uraí	-50,79398588	-23,2119755	1	69,05	08/07/2006	Serra Geral
P380	19520	IAT	Uraí	-50,86031648	-23,2365354	3	19,14	18/08/2006	Serra Geral
P381	19610	IAT	Uraí	-50,84826633	-23,22050537	8,4	33	19/08/2006	Serra Geral
P382	19613	IAT	Uraí	-50,78182579	-23,21539555	8,7	2,76	24/08/2006	Serra Geral
P383	19615	IAT	Uraí	-50,81042595	-23,19808539	26,9	24,45	27/08/2006	Serra Geral
P384	19725	IAT	Uraí	-50,77142583	-23,24853572	2,7	29,5	11/09/2006	Serra Geral
P385	21311	IAT	Uraí	-50,7763457	-23,20233552	3,2	11,55	28/08/2007	Serra Geral
P386	28168	IAT	Uraí	-50,87354655	-23,22769532	0,6	46,45	15/07/2009	Serra Geral
P387	30056	IAT	Uraí	-50,8779566	-23,23264533	0,34	0	21/12/2009	Serra Geral
P388	36938	IAT	Uraí	-50,81212598	-23,2015854	0,02	41,45	12/08/2011	Serra Geral
P389	37931	IAT	Uraí	-50,78182586	-23,23387563	1,1	47,51	11/12/2014	Serra Geral
P390	40192	IAT	Uraí	-50,82250596	-23,17285526	0,61	23,15	07/01/2015	Serra Geral
P391	41493	IAT	Uraí	-50,79523589	-23,2135455	0,8	119,57	13/11/2014	Serra Geral
P392	42094	IAT	Uraí	-50,86547648	-23,22452533	1,7	9	13/02/2011	Serra Geral
P393	42447	IAT	Uraí	-50,8819966	-23,22296527	2,3	12	23/08/2012	Serra Geral
P394	42677	IAT	Uraí	-50,85595621	-23,17087514	2,5	70,57	16/07/2013	Serra Geral
P395	46525	IAT	Uraí	-50,78577598	-23,25879572	3,42	28,5	29/07/2015	Serra Geral
P396	48752	IAT	Uraí	-50,80172587	-23,1923654	3,27	16,2	29/07/2015	Serra Geral
P397	51258	IAT	Uraí	-50,79353586	-23,20753549	0,2	72,15	04/12/2014	Serra Geral
P398	52391	IAT	Uraí	-50,80247667	-23,23410121	6,09	19,57	13/06/2018	Serra Geral

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nível estático	Data Perfuração	Aquífero
P399	66458	IAT	Uraí	-50,87265876	-23,16808678	2,45	7,89	07/12/2018	Serra Geral
P400	61672	IAT	Wenceslau Braz	-49,79132622	-23,8477824	0,15	20	15/05/2017	Paleozoica Média Superior
P401	65541	IAT	Wenceslau Braz	-49,79456516	-23,85747106	3,4	51	31/10/2018	Paleozoica Média Superior

## 9.2 APÊNDICE II – DADOS REFERENTES AO HQORAL HOMEM, MULHER E CRIANÇA

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> - N mg/L	NO <sub>3</sub> mg/L	CDI Homens	CDI mulheres	CDI crianças	HQoral Homens	HQoral Mulheres	HQoral Crianças
P1	385	IAT	Abatiá	-50,27230219	-23,32010755	0,58	2,6	0,10	0,09	0,17	0,1	0,1	0,1
P2	431	IAT	Abatiá	-50,31300243	-23,29906734	8,06	35,7	1,42	1,25	2,38	0,9	0,8	1,5
P3	432	IAT	Abatiá	-50,32175254	-23,30813735	0,36	1,6	0,06	0,06	0,11	0,0	0,0	0,1
P4	433	IAT	Abatiá	-50,32127253	-23,30677734	1	4,4	0,18	0,15	0,30	0,1	0,1	0,2
P5	448	IAT	Abatiá	-50,31348244	-23,29906734	3,5	15,5	0,62	0,54	1,03	0,4	0,3	0,6
P6	483	IAT	Abatiá	-50,37892302	-23,31740721	0,41	1,8	0,07	0,06	0,12	0,0	0,0	0,1
P7	484	IAT	Abatiá	-50,34811277	-23,3172873	0,14	0,6	0,02	0,02	0,04	0,0	0,0	0,0
P8	17965	IAT	Abatiá	-50,22374156	-23,25154742	0,002	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
P9	30888	IAT	Abatiá	-50,28095207	-23,26765731	3,18	14,1	0,56	0,49	0,94	0,3	0,3	0,6
P10	38941	IAT	Abatiá	-50,31679251	-23,31050737	0,5	2,2	0,09	0,08	0,15	0,1	0,0	0,1
P11	44961	IAT	Abatiá	-50,4584636	-23,30555692	0,71	3,1	0,12	0,11	0,21	0,1	0,1	0,1
P12	55837	IAT	Abatiá	-50,27529306	-23,25564364	0,88	3,9	0,15	0,14	0,26	0,1	0,1	0,2
P13	5949	IAT	Andirá	-50,26738088	-22,9650961	0,09	0,4	0,02	0,01	0,03	0,0	0,0	0,0
P14	5991	IAT	Andirá	-50,27474092	-22,95790605	1	4,4	0,18	0,15	0,30	0,1	0,1	0,2
P15	6017	IAT	Andirá	-50,21266078	-23,05682665	9,87	43,7	1,74	1,53	2,91	1,1	1,0	1,8
P16	16358	IAT	Andirá	-50,24848106	-23,05777654	0,3	1,3	0,05	0,05	0,09	0,0	0,0	0,1
P17	21455	IAT	Andirá	-50,22716086	-23,04849657	1	4,4	0,18	0,15	0,30	0,1	0,1	0,2
P18	44409	IAT	Andirá	-50,22630087	-23,05103658	3,46	15,3	0,61	0,53	1,02	0,4	0,3	0,6
P19	46524	IAT	Andirá	-50,24514103	-23,05661655	1	4,4	0,18	0,15	0,30	0,1	0,1	0,2
P20	46524	IAT	Andirá	-50,24514103	-23,05661655	1	4,4	0,18	0,15	0,30	0,1	0,1	0,2
P21	48971	IAT	Andirá	-50,21998084	-23,05819663	0,3	1,3	0,05	0,05	0,09	0,0	0,0	0,1
P22	50106	IAT	Andirá	-50,35177693	-23,06709746	0,8	3,5	0,14	0,12	0,24	0,1	0,1	0,1
P23	56308	IAT	Andirá	-50,21279082	-23,02912793	0,03	0,1	0,01	0,00	0,01	0,0	0,0	0,0
P24	70482	IAT	Andirá	-50,23361635	-23,05343818	0,1	0,4	0,02	0,02	0,03	0,0	0,0	0,0
P25	8352	IAT	Assaí	-50,84586691	-23,38540604	6,9	30,5	1,21	1,07	2,04	0,8	0,7	1,3
P26	8360	IAT	Assaí	-50,84734689	-23,37592599	6,27	27,8	1,10	0,97	1,85	0,7	0,6	1,2
P27	8367	IAT	Assaí	-50,89130759	-23,47441625	0,33	1,5	0,06	0,05	0,10	0,0	0,0	0,1
P28	8547	IAT	Assaí	-50,85818671	-23,30502568	0,18	0,8	0,03	0,03	0,05	0,0	0,0	0,0
P29	8548	IAT	Assaí	-50,98091791	-23,37148556	0,11	0,5	0,02	0,02	0,03	0,0	0,0	0,0

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> - N mg/L	NO <sub>3</sub> mg/L	CDI Homens	CDI mulheres	CDI crianças	HQoral Homens	HQoral Mulheres	HQoral Crianças
P30	21550	IAT	Assaí	-50,82719681	-23,39737614	0,3	1,3	0,05	0,05	0,09	0,0	0,0	0,1
P31	25041	IAT	Assaí	-50,80762666	-23,39850621	1,2	5,3	0,21	0,19	0,35	0,1	0,1	0,2
P32	29024	IAT	Assaí	-50,83623679	-23,37411602	0,38	1,7	0,07	0,06	0,11	0,0	0,0	0,1
P33	32106	IAT	Assaí	-50,81777663	-23,36734605	8,12	35,9	1,43	1,26	2,40	0,9	0,8	1,5
P34	33277	IAT	Assaí	-50,85497698	-23,383996	5,51	24,4	0,97	0,85	1,63	0,6	0,5	1,0
P35	37476	IAT	Assaí	-50,81575654	-23,34955599	0,31	1,4	0,05	0,05	0,09	0,0	0,0	0,1
P36	37554	IAT	Assaí	-50,84695689	-23,377656	0,14	0,6	0,02	0,02	0,04	0,0	0,0	0,0
P37	37700	IAT	Assaí	-50,80590682	-23,4448364	3,2	14,2	0,56	0,49	0,94	0,4	0,3	0,6
P38	38456	IAT	Assaí	-50,87825712	-23,3754959	3,96	17,5	0,70	0,61	1,17	0,4	0,4	0,7
P39	38818	IAT	Assaí	-50,90041737	-23,39661591	5,57	24,7	0,98	0,86	1,64	0,6	0,5	1,0
P40	38861	IAT	Assaí	-50,89685735	-23,39823593	1,28	5,7	0,23	0,20	0,38	0,1	0,1	0,2
P41	38879	IAT	Assaí	-50,91212741	-23,38035581	0,4	1,8	0,07	0,06	0,12	0,0	0,0	0,1
P42	38916	IAT	Assaí	-50,90197732	-23,37980584	0,5	2,2	0,09	0,08	0,15	0,1	0,0	0,1
P43	38957	IAT	Assaí	-50,93894767	-23,39555579	1,32	5,8	0,23	0,20	0,39	0,1	0,1	0,2
P44	38957	IAT	Assaí	-50,93894767	-23,39555579	1,32	5,8	0,23	0,20	0,39	0,1	0,1	0,2
P45	38960	IAT	Assaí	-50,861617	-23,37814596	0,5	2,2	0,09	0,08	0,15	0,1	0,0	0,1
P46	39012	IAT	Assaí	-50,90906738	-23,37952582	0,4	1,8	0,07	0,06	0,12	0,0	0,0	0,1
P47	39088	IAT	Assaí	-50,91290741	-23,38112581	0,4	1,8	0,07	0,06	0,12	0,0	0,0	0,1
P48	39559	IAT	Assaí	-50,96139767	-23,34771553	0,8	3,5	0,14	0,12	0,24	0,1	0,1	0,1
P49	40162	IAT	Assaí	-50,80259687	-23,4661265	0,41	1,8	0,07	0,06	0,12	0,0	0,0	0,1
P50	40467	IAT	Assaí	-50,84872697	-23,39549607	1,65	7,3	0,29	0,26	0,49	0,2	0,2	0,3
P51	40662	IAT	Assaí	-50,85228699	-23,39287605	2,91	12,9	0,51	0,45	0,86	0,3	0,3	0,5
P52	42717	IAT	Assaí	-50,84024686	-23,38470605	2,51	11,1	0,44	0,39	0,74	0,3	0,2	0,5
P53	42848	IAT	Assaí	-50,87164694	-23,34003578	4,9	21,7	0,86	0,76	1,45	0,5	0,5	0,9
P54	42849	IAT	Assaí	-50,84148668	-23,33112583	5,35	23,7	0,94	0,83	1,58	0,6	0,5	1,0
P55	42850	IAT	Assaí	-50,83845662	-23,3216558	9,5	42,1	1,67	1,47	2,80	1,0	0,9	1,8
P56	44521	IAT	Assaí	-50,86853694	-23,34586581	3,71	16,4	0,65	0,57	1,09	0,4	0,4	0,7
P57	46275	IAT	Assaí	-50,85610688	-23,35490588	3,18	14,1	0,56	0,49	0,94	0,3	0,3	0,6
P58	46874	IAT	Assaí	-50,84133681	-23,36772598	2,35	10,4	0,41	0,36	0,69	0,3	0,2	0,4
P59	48753	IAT	Assaí	-50,82112677	-23,39855617	3,29	14,6	0,58	0,51	0,97	0,4	0,3	0,6
P60	49507	IAT	Assaí	-50,90304724	-23,35530574	2,89	12,8	0,51	0,45	0,85	0,3	0,3	0,5
P61	52392	IAT	Assaí	-50,89548366	-23,35448237	2,88	12,7	0,51	0,45	0,85	0,3	0,3	0,5

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> - N mg/L	NO <sub>3</sub> mg/L	CDI Homens	CDI mulheres	CDI crianças	HQoral Homens	HQoral Mulheres	HQoral Crianças
P62	54069	IAT	Assaí	-50,98830124	-23,39960224	1,86	8,2	0,33	0,29	0,55	0,2	0,2	0,3
P63	58478	IAT	Assaí	-50,86477942	-23,5190433	3,4	15,1	0,60	0,53	1,00	0,4	0,3	0,6
P64	60024	IAT	Assaí	-50,89972085	-23,40552533	3,9	17,3	0,69	0,60	1,15	0,4	0,4	0,7
P65	60086	IAT	Assaí	-50,86122125	-23,47067008	3,8	16,8	0,67	0,59	1,12	0,4	0,4	0,7
P66	65540	IAT	Assaí	-50,82652306	-23,37423422	0,9	4,0	0,16	0,14	0,27	0,1	0,1	0,2
P67	66488	IAT	Assaí	-50,91648572	-23,375645	1,47	6,5	0,26	0,23	0,43	0,2	0,1	0,3
P68	66518	IAT	Assaí	-50,96524523	-23,33753496	1,26	5,6	0,22	0,19	0,37	0,1	0,1	0,2
P69	75883	IAT	Assaí	-50,80508717	-23,45107915	2,56	11,3	0,45	0,40	0,76	0,3	0,2	0,5
P70	407	IAT	Bandeirantes	-50,24547163	-23,22197723	0,01	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
P71	461	IAT	Bandeirantes	-50,34671198	-23,09808641	0,08	0,4	0,01	0,01	0,02	0,0	0,0	0,0
P72	485	IAT	Bandeirantes	-50,27714161	-23,14715683	1,54	6,8	0,27	0,24	0,45	0,2	0,1	0,3
P73	486	IAT	Bandeirantes	-50,44265296	-23,16228638	4,53	20,1	0,80	0,70	1,34	0,5	0,4	0,8
P74	494	IAT	Bandeirantes	-50,37989227	-23,10784635	0,15	0,7	0,03	0,02	0,04	0,0	0,0	0,0
P75	510	IAT	Bandeirantes	-50,4078324	-23,08130616	0,55	2,4	0,10	0,09	0,16	0,1	0,1	0,1
P76	515	IAT	Bandeirantes	-50,4299029	-23,17307646	0,03	0,1	0,01	0,00	0,01	0,0	0,0	0,0
P77	519	IAT	Bandeirantes	-50,37834232	-23,12545643	3,69	16,3	0,65	0,57	1,09	0,4	0,4	0,7
P78	15403	IAT	Bandeirantes	-50,371131215	-23,09297632	2,48	11,0	0,44	0,38	0,73	0,3	0,2	0,5
P79	16357	IAT	Bandeirantes	-50,34749215	-23,1436666	0,97	4,3	0,17	0,15	0,29	0,1	0,1	0,2
P80	18395	IAT	Bandeirantes	-50,38713509	-23,12408233	0,16	0,7	0,03	0,02	0,05	0,0	0,0	0,0
P81	19132	IAT	Bandeirantes	-50,34708198	-23,09859641	0,09	0,4	0,02	0,01	0,03	0,0	0,0	0,0
P82	20310	IAT	Bandeirantes	-50,41893274	-23,15388642	6,8	30,1	1,20	1,05	2,01	0,7	0,7	1,3
P83	20311	IAT	Bandeirantes	-50,41873274	-23,15382642	7	31,0	1,23	1,08	2,07	0,8	0,7	1,3
P84	20312	IAT	Bandeirantes	-50,41887275	-23,15511642	6,9	30,5	1,21	1,07	2,04	0,8	0,7	1,3
P85	21269	IAT	Bandeirantes	-50,40879266	-23,15370645	2,1	9,3	0,37	0,32	0,62	0,2	0,2	0,4
P86	21281	IAT	Bandeirantes	-50,42312286	-23,1766465	3,1	13,7	0,55	0,48	0,91	0,3	0,3	0,6
P87	21312	IAT	Bandeirantes	-50,42270285	-23,1767865	3,1	13,7	0,55	0,48	0,91	0,3	0,3	0,6
P88	24028	IAT	Bandeirantes	-50,34270222	-23,17621674	0,35	1,5	0,06	0,05	0,10	0,0	0,0	0,1
P89	24381	IAT	Bandeirantes	-50,42498287	-23,17603649	0,1	0,4	0,02	0,02	0,03	0,0	0,0	0,0
P90	24469	IAT	Bandeirantes	-50,42037284	-23,17741651	0,8	3,5	0,14	0,12	0,24	0,1	0,1	0,1
P91	26759	IAT	Bandeirantes	-50,29105186	-23,18727695	1,28	5,7	0,23	0,20	0,38	0,1	0,1	0,2
P92	26867	IAT	Bandeirantes	-50,32699218	-23,19801688	0,35	1,5	0,06	0,05	0,10	0,0	0,0	0,1
P93	31840	IAT	Bandeirantes	-50,41996281	-23,16932648	2,2	9,7	0,39	0,34	0,65	0,2	0,2	0,4

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> - N mg/L	NO <sub>3</sub> mg/L	CDI Homens	CDI mulheres	CDI crianças	HQoral Homens	HQoral Mulheres	HQoral Crianças
P94	37708	IAT	Bandeirantes	-50,42459282	-23,16447644	1,37	6,1	0,24	0,21	0,40	0,2	0,1	0,3
P95	37779	IAT	Bandeirantes	-50,38499272	-23,2211268	0,95	4,2	0,17	0,15	0,28	0,1	0,1	0,2
P96	38430	IAT	Bandeirantes	-50,42217247	-23,07128607	0,4	1,8	0,07	0,06	0,12	0,0	0,0	0,1
P97	38465	IAT	Bandeirantes	-50,35725228	-23,15885663	1,22	5,4	0,21	0,19	0,36	0,1	0,1	0,2
P98	39340	IAT	Bandeirantes	-50,29404181	-23,16733686	0,9	4,0	0,16	0,14	0,27	0,1	0,1	0,2
P99	39953	IAT	Bandeirantes	-50,39895262	-23,16363652	20,21	89,5	3,55	3,12	5,96	2,2	2,0	3,7
P100	41094	IAT	Bandeirantes	-50,37850244	-23,15791656	0,6	2,7	0,11	0,09	0,18	0,1	0,1	0,1
P101	41279	IAT	Bandeirantes	-50,40892266	-23,15333645	1,8	8,0	0,32	0,28	0,53	0,2	0,2	0,3
P102	42444	IAT	Bandeirantes	-50,41269797	-23,16823223	1,8	8,0	0,32	0,28	0,53	0,2	0,2	0,3
P103	42963	IAT	Bandeirantes	-50,43295458	-23,16840187	3,7	16,4	0,65	0,57	1,09	0,4	0,4	0,7
P104	43174	IAT	Bandeirantes	-50,38216241	-23,14117648	1,36	6,0	0,24	0,21	0,40	0,1	0,1	0,3
P105	48359	IAT	Bandeirantes	-50,45138301	-23,15677633	7,94	35,1	1,40	1,23	2,34	0,9	0,8	1,5
P106	50105	IAT	Bandeirantes	-50,43860257	-23,06258598	0,683	3,0	0,12	0,11	0,20	0,1	0,1	0,1
P107	59071	IAT	Bandeirantes	-50,40023759	-23,07378476	0,3	1,3	0,05	0,05	0,09	0,0	0,0	0,1
P108	59616	IAT	Bandeirantes	-50,34734065	-23,09862554	3,5	15,5	0,62	0,54	1,03	0,4	0,3	0,6
P109	60783	IAT	Bandeirantes	-50,39420589	-23,09530753	3,19	14,1	0,56	0,49	0,94	0,4	0,3	0,6
P110	65542	IAT	Bandeirantes	-50,34753344	-23,14358311	1,9	8,4	0,33	0,29	0,56	0,2	0,2	0,4
P111	67588	IAT	Bandeirantes	-50,31912019	-23,18199696	1	4,4	0,18	0,15	0,30	0,1	0,1	0,2
P112	67589	IAT	Bandeirantes	-50,44478289	-23,06262215	0,1	0,4	0,02	0,02	0,03	0,0	0,0	0,0
P113	70415	IAT	Bandeirantes	-50,4009885	-23,17089409	1,94	8,6	0,34	0,30	0,57	0,2	0,2	0,4
P114	71058	IAT	Bandeirantes	-50,40805996	-23,21128885	3,2	14,2	0,56	0,49	0,94	0,4	0,3	0,6
P115	71277	IAT	Bandeirantes	-50,4115675	-23,12654605	1,7	7,5	0,30	0,26	0,50	0,2	0,2	0,3
P116	71281	IAT	Bandeirantes	-50,44070706	-23,07329391	5	22,1	0,88	0,77	1,48	0,5	0,5	0,9
P117	311	IAT	Barra do Jacaré	-50,18138073	-23,11284698	1,15	5,1	0,20	0,18	0,34	0,1	0,1	0,2
P118	370	IAT	Barra do Jacaré	-50,18406654	-23,11483576	4,4	19,5	0,77	0,68	1,30	0,5	0,4	0,8
P119	402	IAT	Barra do Jacaré	-50,13376037	-23,11481713	0,15	0,7	0,03	0,02	0,04	0,0	0,0	0,0
P120	24388	IAT	Barra do Jacaré	-50,19969094	-23,131077	1,98	8,8	0,35	0,31	0,58	0,2	0,2	0,4
P121	27074	IAT	Barra do Jacaré	-50,16557058	-23,10415699	1	4,4	0,18	0,15	0,30	0,1	0,1	0,2
P122	27075	IAT	Barra do Jacaré	-50,17548057	-23,07936686	1	4,4	0,18	0,15	0,30	0,1	0,1	0,2
P123	53048	IAT	Barra do Jacaré	-50,19458914	-23,11051007	5,59	24,7	0,98	0,86	1,65	0,6	0,5	1,0
P124	5925	IAT	Cambará	-50,07188956	-23,02368694	2,09	9,3	0,37	0,32	0,62	0,2	0,2	0,4
P125	5948	IAT	Cambará	-50,06979961	-23,04354703	0,003	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> - N mg/L	NO <sub>3</sub> mg/L	CDI Homens	CDI mulheres	CDI crianças	HQoral Homens	HQoral Mulheres	HQoral Crianças
P126	5950	IAT	Cambará	-50,08050971	-23,04767701	0,13	0,6	0,02	0,02	0,04	0,0	0,0	0,0
P127	6012	IAT	Cambará	-50,08073168	-23,04558403	0,8	3,5	0,14	0,12	0,24	0,1	0,1	0,1
P128	6030	IAT	Cambará	-50,04690938	-23,02882704	1,82	8,1	0,32	0,28	0,54	0,2	0,2	0,3
P129	6031	IAT	Cambará	-50,04690938	-23,02882704	1,892	8,4	0,33	0,29	0,56	0,2	0,2	0,3
P130	6033	IAT	Cambará	-50,06593956	-23,03765702	5,2	23,0	0,91	0,80	1,53	0,6	0,5	1,0
P131	16353	IAT	Cambará	-50,07050955	-23,02566695	2,62	11,6	0,46	0,41	0,77	0,3	0,3	0,5
P132	17797	IAT	Cambará	-49,99503888	-23,00336709	6,91	30,6	1,22	1,07	2,04	0,8	0,7	1,3
P133	19170	IAT	Cambará	-50,07552963	-23,03722698	13	57,5	2,29	2,01	3,84	1,4	1,3	2,4
P134	23932	IAT	Cambará	-50,08929981	-23,05600702	5,8	25,7	1,02	0,90	1,71	0,6	0,6	1,1
P135	27262	IAT	Cambará	-50,11323991	-23,03199685	2,8	12,4	0,49	0,43	0,83	0,3	0,3	0,5
P136	39260	IAT	Cambará	-50,08599954	-22,98688674	7,38	32,7	1,30	1,14	2,18	0,8	0,7	1,4
P137	42932	IAT	Cambará	-50,06402953	-23,03414701	1,34	5,9	0,24	0,21	0,40	0,1	0,1	0,2
P138	43889	IAT	Cambará	-50,07085956	-23,02651695	4,44	19,7	0,78	0,69	1,31	0,5	0,4	0,8
P139	55800	IAT	Cambará	-50,06016258	-23,05508556	0,35	1,5	0,06	0,05	0,10	0,0	0,0	0,1
P140	58619	IAT	Cambará	-50,06402615	-23,03415294	0,7	3,1	0,12	0,11	0,21	0,1	0,1	0,1
P141	15305	IAT	Carlópolis	-49,73019829	-23,42566965	0,03	0,1	0,01	0,00	0,01	0,0	0,0	0,0
P142	16294	IAT	Carlópolis	-49,82870025	-23,46724106	2,48	11,0	0,44	0,38	0,73	0,3	0,2	0,5
P143	17577	IAT	Carlópolis	-49,78761891	-23,47247967	0,73	3,2	0,13	0,11	0,22	0,1	0,1	0,1
P144	39747	IAT	Carlópolis	-49,65936768	-23,41330981	0,02	0,1	0,00	0,00	0,01	0,0	0,0	0,0
P145	57402	IAT	Carlópolis	-49,73448633	-23,41575603	2,84	12,6	0,50	0,44	0,84	0,3	0,3	0,5
P146	57403	IAT	Carlópolis	-49,71689949	-23,43057269	2,78	12,3	0,49	0,43	0,82	0,3	0,3	0,5
P147	57411	IAT	Carlópolis	-49,70934727	-23,4232733	3,24	14,3	0,57	0,50	0,96	0,4	0,3	0,6
P148	60349	IAT	Carlópolis	-49,77096557	-23,47610193	4,1	18,1	0,72	0,63	1,21	0,5	0,4	0,8
P149	64411	IAT	Carlópolis	-49,72220078	-23,42177441	4	17,7	0,70	0,62	1,18	0,4	0,4	0,7
P150	16843	IAT	Congonhinhas	-50,56196508	-23,49065734	0,69	3,1	0,12	0,11	0,20	0,1	0,1	0,1
P151	40255	IAT	Congonhinhas	-50,5468452	-23,55703766	0,57	2,5	0,10	0,09	0,17	0,1	0,1	0,1
P152	43751	IAT	Congonhinhas	-50,54093521	-23,57139774	0,5	2,2	0,09	0,08	0,15	0,1	0,0	0,1
P153	45725	IAT	Congonhinhas	-50,56209508	-23,49055734	0,8	3,5	0,14	0,12	0,24	0,1	0,1	0,1
P154	47999	IAT	Congonhinhas	-50,55241509	-23,51226746	0,4	1,8	0,07	0,06	0,12	0,0	0,0	0,1
P155	61487	IAT	Congonhinhas	-50,54348859	-23,5352509	0,9	4,0	0,16	0,14	0,27	0,1	0,1	0,2
P156	387	IAT	Cornélio Procópio	-50,63692457	-23,18742589	0,03	0,1	0,01	0,00	0,01	0,0	0,0	0,0
P157	389	IAT	Cornélio Procópio	-50,62227445	-23,18681593	0,04	0,2	0,01	0,01	0,01	0,0	0,0	0,0

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> - N mg/L	NO <sub>3</sub> mg/L	CDI Homens	CDI mulheres	CDI crianças	HQoral Homens	HQoral Mulheres	HQoral Crianças
P158	392	IAT	Cornélio Procópio	-50,63486455	-23,18769589	0,03	0,1	0,01	0,00	0,01	0,0	0,0	0,0
P159	8687	IAT	Cornélio Procópio	-50,6838351	-23,23511594	3,79	16,8	0,67	0,59	1,12	0,4	0,4	0,7
P160	8741	IAT	Cornélio Procópio	-50,67495501	-23,22812593	1,6	7,1	0,28	0,25	0,47	0,2	0,2	0,3
P161	16105	IAT	Cornélio Procópio	-50,70234527	-23,2411259	4,11	18,2	0,72	0,64	1,21	0,5	0,4	0,8
P162	20170	IAT	Cornélio Procópio	-50,73063558	-23,26695592	0,7	3,1	0,12	0,11	0,21	0,1	0,1	0,1
P163	20353	IAT	Cornélio Procópio	-50,67534477	-23,16089566	6,2	27,4	1,09	0,96	1,83	0,7	0,6	1,1
P164	21983	IAT	Cornélio Procópio	-50,63428455	-23,1878559	0,1	0,4	0,02	0,02	0,03	0,0	0,0	0,0
P165	25424	IAT	Cornélio Procópio	-50,67974519	-23,26929609	2,8	12,4	0,49	0,43	0,83	0,3	0,3	0,5
P166	26431	IAT	Cornélio Procópio	-50,6755595	-23,22521592	1,01	4,5	0,18	0,16	0,30	0,1	0,1	0,2
P167	43431	IAT	Cornélio Procópio	-50,59308478	-23,34179665	2,5	11,1	0,44	0,39	0,74	0,3	0,2	0,5
P168	55792	IAT	Cornélio Procópio	-50,65249246	-23,19526245	7	31,0	1,23	1,08	2,07	0,8	0,7	1,3
P169	57024	IAT	Cornélio Procópio	-50,65388092	-23,24802776	6,7	29,7	1,18	1,04	1,98	0,7	0,6	1,2
P170	59493	IAT	Cornélio Procópio	-50,77208146	-23,13716267	4	17,7	0,70	0,62	1,18	0,4	0,4	0,7
P171	62096	IAT	Cornélio Procópio	-50,64291054	-23,1856478	0,53	2,3	0,09	0,08	0,16	0,1	0,1	0,1
P172	70313	IAT	Cornélio Procópio	-50,75383911	-23,20993377	4	17,7	0,70	0,62	1,18	0,4	0,4	0,7
P173	70397	IAT	Cornélio Procópio	-50,7141021	-23,20539516	1,89	8,4	0,33	0,29	0,56	0,2	0,2	0,3
P174	8243	IAT	Curiúva	-50,46440644	-24,06243993	0,07	0,3	0,01	0,01	0,02	0,0	0,0	0,0
P175	8269	IAT	Curiúva	-50,45938627	-24,02850982	0,13	0,6	0,02	0,02	0,04	0,0	0,0	0,0
P176	8287	IAT	Curiúva	-50,45119665	-24,04361124	0,2	0,9	0,04	0,03	0,06	0,0	0,0	0,0
P177	16295	IAT	Curiúva	-50,40889591	-24,03707001	0,04	0,2	0,01	0,01	0,01	0,0	0,0	0,0
P178	20978	IAT	Curiúva	-50,43266614	-24,05045999	0,09	0,4	0,02	0,01	0,03	0,0	0,0	0,0
P179	35531	IAT	Curiúva	-50,40442587	-24,03603002	0,71	3,1	0,12	0,11	0,21	0,1	0,1	0,1
P180	67648	IAT	Curiúva	-50,44820835	-24,05085538	0,73	3,2	0,13	0,11	0,22	0,1	0,1	0,1
P181	475	IAT	Figueira	-50,39264824	-23,85082866	0,23	1,0	0,04	0,04	0,07	0,0	0,0	0,0
P182	476	IAT	Figueira	-50,39389238	-23,84992637	0,12	0,5	0,02	0,02	0,04	0,0	0,0	0,0
P183	480	IAT	Figueira	-50,39695831	-23,85398649	0,19	0,8	0,03	0,03	0,06	0,0	0,0	0,0
P184	35322	IAT	Guapirama	-50,01523075	-23,481329	0,1	0,4	0,02	0,02	0,03	0,0	0,0	0,0
P185	478	IAT	Ibaiti	-50,28404393	-23,77087934	0,08	0,4	0,01	0,01	0,02	0,0	0,0	0,0
P186	479	IAT	Ibaiti	-50,27933762	-23,77211236	0,18	0,8	0,03	0,03	0,05	0,0	0,0	0,0
P187	489	IAT	Ibaiti	-50,25048661	-23,92076283	0,08	0,4	0,01	0,01	0,02	0,0	0,0	0,0
P188	493	IAT	Ibaiti	-50,339099	-23,605762	0,09	0,4	0,02	0,01	0,03	0,0	0,0	0,0
P189	16429	IAT	Ibaiti	-50,2182337	-23,84930986	0,97	4,3	0,17	0,15	0,29	0,1	0,1	0,2

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> - N mg/L	NO <sub>3</sub> mg/L	CDI Homens	CDI mulheres	CDI crianças	HQoral Homens	HQoral Mulheres	HQoral Crianças
P190	17691	IAT	Ibaiti	-50,2805139	-23,77118935	0,27	1,2	0,05	0,04	0,08	0,0	0,0	0,0
P191	21659	IAT	Ibaiti	-50,20798369	-23,86880997	1,16	5,1	0,20	0,18	0,34	0,1	0,1	0,2
P192	36711	IAT	Ibaiti	-50,27182447	-23,94177006	0,49	2,2	0,09	0,08	0,14	0,1	0,0	0,1
P193	40748	IAT	Ibaiti	-50,23022382	-23,85502985	0,18	0,8	0,03	0,03	0,05	0,0	0,0	0,0
P194	54838	IAT	Ibaiti	-50,2317926	-23,85801197	0,79	3,5	0,14	0,12	0,23	0,1	0,1	0,1
P195	60930	IAT	Ibaiti	-50,18667083	-23,83304478	1,06	4,7	0,19	0,16	0,31	0,1	0,1	0,2
P196	74625	IAT	Ibaiti	-50,2485739	-23,82159034	2,61	11,6	0,46	0,40	0,77	0,3	0,3	0,5
P197	26032	IAT	Itambaracá	-50,40550179	-22,91463548	3,12	13,8	0,55	0,48	0,92	0,3	0,3	0,6
P198	10192	IAT	Jaboti	-50,04914207	-23,77005007	3	13,3	0,53	0,46	0,89	0,3	0,3	0,6
P199	25375	IAT	Jaboti	-50,05378193	-23,72041986	0,1	0,4	0,02	0,02	0,03	0,0	0,0	0,0
P200	28038	IAT	Jaboti	-50,08067234	-23,77637	4,3	19,0	0,76	0,66	1,27	0,5	0,4	0,8
P201	61385	IAT	Jaboti	-50,05412279	-23,72180338	0,17	0,8	0,03	0,03	0,05	0,0	0,0	0,0
P202	5952	IAT	Jacarezinho	-50,00593648	-23,15067267	0,12	0,5	0,02	0,02	0,04	0,0	0,0	0,0
P203	6004	IAT	Jacarezinho	-49,95190904	-23,1435278	0,11	0,5	0,02	0,02	0,03	0,0	0,0	0,0
P204	6005	IAT	Jacarezinho	-49,8867584	-23,10830785	0,12	0,5	0,02	0,02	0,04	0,0	0,0	0,0
P205	6034	IAT	Jacarezinho	-49,96985924	-23,15962781	1	4,4	0,18	0,15	0,30	0,1	0,1	0,2
P206	13202	IAT	Jacarezinho	-49,91075893	-23,20449818	1,8	8,0	0,32	0,28	0,53	0,2	0,2	0,3
P207	17046	IAT	Jacarezinho	-49,94125878	-23,09497763	0,71	3,1	0,12	0,11	0,21	0,1	0,1	0,1
P208	17097	IAT	Jacarezinho	-49,93925876	-23,09308763	1,68	7,4	0,30	0,26	0,50	0,2	0,2	0,3
P209	17148	IAT	Jacarezinho	-49,94141878	-23,09355762	1,09	4,8	0,19	0,17	0,32	0,1	0,1	0,2
P210	17795	IAT	Jacarezinho	-49,92244843	-23,03716745	1,49	6,6	0,26	0,23	0,44	0,2	0,1	0,3
P211	19916	IAT	Jacarezinho	-49,93720912	-23,20057808	0,78	3,5	0,14	0,12	0,23	0,1	0,1	0,1
P212	20030	IAT	Jacarezinho	-49,87422838	-23,13171799	3,5	15,5	0,62	0,54	1,03	0,4	0,3	0,6
P213	20223	IAT	Jacarezinho	-49,98406926	-23,13489767	11,32	50,1	1,99	1,75	3,34	1,2	1,1	2,1
P214	21075	IAT	Jacarezinho	-49,94211878	-23,09369762	1,4	6,2	0,25	0,22	0,41	0,2	0,1	0,3
P215	21743	IAT	Jacarezinho	-50,10166028	-23,16082742	6,8	30,1	1,20	1,05	2,01	0,7	0,7	1,3
P216	21869	IAT	Jacarezinho	-50,03397968	-23,14260755	1,24	5,5	0,22	0,19	0,37	0,1	0,1	0,2
P217	21967	IAT	Jacarezinho	-49,93586895	-23,1562479	11,49	50,9	2,02	1,78	3,39	1,3	1,1	2,1
P218	23481	IAT	Jacarezinho	-49,93791897	-23,15543789	14,59	64,6	2,57	2,26	4,31	1,6	1,4	2,7
P219	53259	IAT	Jacarezinho	-49,93014545	-23,08714403	4,26	18,9	0,75	0,66	1,26	0,5	0,4	0,8
P220	59552	IAT	Jacarezinho	-49,91382804	-23,16447619	0,01	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
P221	63216	IAT	Jacarezinho	-49,93915583	-23,1572966	4,46	19,7	0,78	0,69	1,32	0,5	0,4	0,8

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> - N mg/L	NO <sub>3</sub> mg/L	CDI Homens	CDI mulheres	CDI crianças	HQoral Homens	HQoral Mulheres	HQoral Crianças
P222	68082	IAT	Jacarezinho	-49,9344219	-23,07520683	0,41	1,8	0,07	0,06	0,12	0,0	0,0	0,1
P223	375	IAT	Japira	-50,17106282	-23,71250946	0,06	0,3	0,01	0,01	0,02	0,0	0,0	0,0
P224	423	IAT	Japira	-50,14317294	-23,80332991	0,04	0,2	0,01	0,01	0,01	0,0	0,0	0,0
P225	8550	IAT	Jataizinho	-50,94034726	-23,28023532	0,01	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
P226	8562	IAT	Jataizinho	-50,97311744	-23,25992514	0,011	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
P227	8571	IAT	Jataizinho	-50,86160675	-23,30818568	0,36	1,6	0,06	0,06	0,11	0,0	0,0	0,1
P228	8703	IAT	Jataizinho	-50,94380703	-23,20842502	0,1	0,4	0,02	0,02	0,03	0,0	0,0	0,0
P229	8704	IAT	Jataizinho	-50,954077	-23,17861487	0,09	0,4	0,02	0,01	0,03	0,0	0,0	0,0
P230	46536	IAT	Jataizinho	-50,98470752	-23,2585551	4,9	21,7	0,86	0,76	1,45	0,5	0,5	0,9
P231	59962	IAT	Jataizinho	-50,93713967	-23,15161456	3,37	14,9	0,59	0,52	0,99	0,4	0,3	0,6
P232	60221	IAT	Jataizinho	-50,98279508	-23,25909434	6,31	27,9	1,11	0,98	1,86	0,7	0,6	1,2
P233	60222	IAT	Jataizinho	-50,9840465	-23,25897704	0,32	1,4	0,06	0,05	0,09	0,0	0,0	0,1
P234	61166	IAT	Jataizinho	-50,97977373	-23,26156003	3,6	15,9	0,63	0,56	1,06	0,4	0,3	0,7
P235	62739	IAT	Jataizinho	-50,9398163	-23,16702136	4,03	17,8	0,71	0,62	1,19	0,4	0,4	0,7
P236	64490	IAT	Jataizinho	-50,96479827	-23,27083284	0,48	2,1	0,08	0,07	0,14	0,1	0,0	0,1
P237	376	IAT	Joaquim Távorá	-49,86161133	-23,43555424	1,81	8,0	0,32	0,28	0,53	0,2	0,2	0,3
P238	411	IAT	Joaquim Távorá	-49,8669629	-23,40733692	1,68	7,4	0,30	0,26	0,50	0,2	0,2	0,3
P239	445	IAT	Joaquim Távorá	-49,91796009	-23,51111942	1,8	8,0	0,32	0,28	0,53	0,2	0,2	0,3
P240	17578	IAT	Joaquim Távorá	-49,98542045	-23,46430902	2,35	10,4	0,41	0,36	0,69	0,3	0,2	0,4
P241	34795	IAT	Joaquim Távorá	-49,82718942	-23,52532976	0,28	1,2	0,05	0,04	0,08	0,0	0,0	0,1
P242	48835	IAT	Joaquim Távorá	-49,92337012	-23,5096494	0,47	2,1	0,08	0,07	0,14	0,1	0,0	0,1
P243	61679	IAT	Joaquim Távorá	-49,91691749	-23,51027665	0,4	1,8	0,07	0,06	0,12	0,0	0,0	0,1
P244	390	IAT	Jundiá do Sul	-50,24524633	-23,43105907	0,2	0,9	0,04	0,03	0,06	0,0	0,0	0,0
P245	391	IAT	Jundiá do Sul	-50,30018308	-23,50540822	0,01	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
P246	17820	IAT	Jundiá do Sul	-50,24231222	-23,39242794	3,27	14,5	0,58	0,51	0,97	0,4	0,3	0,6
P247	6051	IAT	Leópolis	-50,73952496	-23,07493511	0,14	0,6	0,02	0,02	0,04	0,0	0,0	0,0
P248	6052	IAT	Leópolis	-50,66568436	-22,94911377	0,03	0,1	0,01	0,00	0,01	0,0	0,0	0,0
P249	6061	IAT	Leópolis	-50,65977375	-22,90951468	0,06	0,3	0,01	0,01	0,02	0,0	0,0	0,0
P250	32182	IAT	Leópolis	-50,82140574	-23,11412502	2,36	10,4	0,42	0,36	0,70	0,3	0,2	0,4
P251	38920	IAT	Leópolis	-50,77992518	-23,05008489	2	8,9	0,35	0,31	0,59	0,2	0,2	0,4
P252	55355	IAT	Leópolis	-50,73847977	-23,08211602	5,96	26,4	1,05	0,92	1,76	0,7	0,6	1,1
P253	66267	IAT	Leópolis	-50,80967804	-23,10914716	1,46	6,5	0,26	0,23	0,43	0,2	0,1	0,3

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> - N mg/L	NO <sub>3</sub> mg/L	CDI Homens	CDI mulheres	CDI crianças	HQoral Homens	HQoral Mulheres	HQoral Crianças
P254	8694	IAT	Nova América da Colina	-50,7096787	-23,29405248	0,17	0,8	0,03	0,03	0,05	0,0	0,0	0,0
P255	8705	IAT	Nova América da Colina	-50,7422459	-23,33062614	0,12	0,5	0,02	0,02	0,04	0,0	0,0	0,0
P256	60852	IAT	Nova América da Colina	-50,72242889	-23,34348827	3,3	14,6	0,58	0,51	0,97	0,4	0,3	0,6
P257	43432	IAT	Nova Fátima	-50,61253495	-23,34732661	2,5	11,1	0,44	0,39	0,74	0,3	0,2	0,5
P258	43433	IAT	Nova Fátima	-50,63268516	-23,3600866	2,8	12,4	0,49	0,43	0,83	0,3	0,3	0,5
P259	60849	IAT	Nova Fátima	-50,57704576	-23,43281041	0,41	1,8	0,07	0,06	0,12	0,0	0,0	0,1
P260	8400	IAT	Nova Santa Bárbara	-50,75021108	-23,59742309	0,27	1,2	0,05	0,04	0,08	0,0	0,0	0,0
P261	43229	IAT	Nova Santa Bárbara	-50,76230702	-23,59298713	0,5	2,2	0,09	0,08	0,15	0,1	0,0	0,1
P262	371	IAT	Pinhalão	-50,06249545	-23,79361518	0,19	0,8	0,03	0,03	0,06	0,0	0,0	0,0
P263	18545	IAT	Pinhalão	-50,06600601	-23,79736485	0,04	0,2	0,01	0,01	0,01	0,0	0,0	0,0
P264	34729	IAT	Pinhalão	-50,06631267	-23,89437052	0,57	2,5	0,10	0,09	0,17	0,1	0,1	0,1
P265	67367	IAT	Pinhalão	-50,0636715	-23,87467801	0,73	3,2	0,13	0,11	0,22	0,1	0,1	0,1
P266	15637	IAT	Quatiguá	-49,95437066	-23,59083964	0,038	0,2	0,01	0,01	0,01	0,0	0,0	0,0
P267	17583	IAT	Quatiguá	-49,91317033	-23,58816975	2,24	9,9	0,39	0,35	0,66	0,2	0,2	0,4
P268	17586	IAT	Quatiguá	-50,008341	-23,56597937	2,03	9,0	0,36	0,31	0,60	0,2	0,2	0,4
P269	17587	IAT	Quatiguá	-50,0108395	-23,54391665	1,43	6,3	0,25	0,22	0,42	0,2	0,1	0,3
P270	25824	IAT	Quatiguá	-50,02184104	-23,54747925	4,8	21,2	0,84	0,74	1,42	0,5	0,5	0,9
P271	27447	IAT	Quatiguá	-49,97323066	-23,54939941	12,4	54,9	2,18	1,92	3,66	1,4	1,2	2,3
P272	27449	IAT	Quatiguá	-49,9702306	-23,53833937	11,1	49,1	1,95	1,72	3,28	1,2	1,1	2,0
P273	30151	IAT	Quatiguá	-49,90484017	-23,56197967	11,97	53,0	2,11	1,85	3,53	1,3	1,2	2,2
P274	52008	IAT	Quatiguá	-49,91364026	-23,56951967	0,57	2,5	0,10	0,09	0,17	0,1	0,1	0,1
P275	56436	IAT	Quatiguá	-49,97559192	-23,54836358	1,79	7,9	0,31	0,28	0,53	0,2	0,2	0,3
P276	58823	IAT	Quatiguá	-49,9949238	-23,54929353	2,76	12,2	0,49	0,43	0,81	0,3	0,3	0,5
P277	60208	IAT	Quatiguá	-50,01019971	-23,5592572	4,1	18,1	0,72	0,63	1,21	0,5	0,4	0,8
P278	66839	IAT	Quatiguá	-49,90976554	-23,57354804	1,36	6,0	0,24	0,21	0,40	0,1	0,1	0,3
P279	8689	IAT	Rancho Alegre	-50,93751645	-23,06253446	0,04	0,2	0,01	0,01	0,01	0,0	0,0	0,0
P280	8740	IAT	Rancho Alegre	-50,91360625	-23,05800451	0,06	0,3	0,01	0,01	0,02	0,0	0,0	0,0
P281	9692	IAT	Rancho Alegre	-50,89632612	-23,06020457	1,81	8,0	0,32	0,28	0,53	0,2	0,2	0,3
P282	15473	IAT	Rancho Alegre	-50,93623641	-23,05371442	8,4	37,2	1,48	1,30	2,48	0,9	0,8	1,5
P283	37894	IAT	Rancho Alegre	-50,90177643	-23,13481486	1,3	5,8	0,23	0,20	0,38	0,1	0,1	0,2
P284	38956	IAT	Rancho Alegre	-50,89535641	-23,1410349	2,21	9,8	0,39	0,34	0,65	0,2	0,2	0,4
P285	49592	IAT	Rancho Alegre	-50,8921161	-23,0625846	5,09	22,5	0,90	0,79	1,50	0,6	0,5	0,9

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> - N mg/L	NO <sub>3</sub> mg/L	CDI Homens	CDI mulheres	CDI crianças	HQoral Homens	HQoral Mulheres	HQoral Crianças
P286	50358	IAT	Rancho Alegre	-50,90667625	-23,07283459	3,28	14,5	0,58	0,51	0,97	0,4	0,3	0,6
P287	25289	IAT	Ribeirão Claro	-49,75512765	-23,1919186	1	4,4	0,18	0,15	0,30	0,1	0,1	0,2
P288	34574	IAT	Ribeirão Claro	-49,76018772	-23,20108862	0,01	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
P289	35676	IAT	Ribeirão Claro	-49,75806767	-23,18972858	2,12	9,4	0,37	0,33	0,63	0,2	0,2	0,4
P290	72059	IAT	Ribeirão Claro	-49,71715234	-23,35353657	1,45	6,4	0,25	0,22	0,43	0,2	0,1	0,3
P291	482	IAT	Ribeirão do Pinhal	-50,36532321	-23,40090759	1,95	8,6	0,34	0,30	0,58	0,2	0,2	0,4
P292	19629	IAT	Ribeirão do Pinhal	-50,34573343	-23,50289807	5	22,1	0,88	0,77	1,48	0,5	0,5	0,9
P293	55797	IAT	Ribeirão do Pinhal	-50,35845655	-23,41854836	0,63	2,8	0,11	0,10	0,19	0,1	0,1	0,1
P294	58378	IAT	Ribeirão do Pinhal	-50,36222508	-23,40216963	1,59	7,0	0,28	0,25	0,47	0,2	0,2	0,3
P295	65547	IAT	Ribeirão do Pinhal	-50,36867969	-23,5840925	0,7	3,1	0,12	0,11	0,21	0,1	0,1	0,1
P296	67106	IAT	Ribeirão do Pinhal	-50,35540555	-23,39573754	1	4,4	0,18	0,15	0,30	0,1	0,1	0,2
P297	2985	IAT	Salto do Itararé	-49,62328457	-23,60812703	0,05	0,2	0,01	0,01	0,01	0,0	0,0	0,0
P298	449	IAT	Santa Amélia	-50,43245325	-23,26476683	0,37	1,6	0,07	0,06	0,11	0,0	0,0	0,1
P299	473	IAT	Santa Amélia	-50,43634329	-23,26884684	2,25	10,0	0,40	0,35	0,66	0,2	0,2	0,4
P300	18517	IAT	Santa Amélia	-50,4239232	-23,26933688	2,92	12,9	0,51	0,45	0,86	0,3	0,3	0,5
P301	23076	IAT	Santa Amélia	-50,41931311	-23,25649684	0,75	3,3	0,13	0,12	0,22	0,1	0,1	0,1
P302	23077	IAT	Santa Amélia	-50,42792318	-23,25642681	3,2	14,2	0,56	0,49	0,94	0,4	0,3	0,6
P303	34393	IAT	Santa Amélia	-50,33380253	-23,2805372	3,77	16,7	0,66	0,58	1,11	0,4	0,4	0,7
P304	21082	IAT	Santa Cecília do Pavão	-50,82031738	-23,56687684	0,4	1,8	0,07	0,06	0,12	0,0	0,0	0,1
P305	25031	IAT	Santa Cecília do Pavão	-50,78929714	-23,56892695	1	4,4	0,18	0,15	0,30	0,1	0,1	0,2
P306	33185	IAT	Santa Cecília do Pavão	-50,8011071	-23,53124676	1,43	6,3	0,25	0,22	0,42	0,2	0,1	0,3
P307	61880	IAT	Santa Cecília do Pavão	-50,78028053	-23,54252732	3,3	14,6	0,58	0,51	0,97	0,4	0,3	0,6
P308	472	IAT	Santa Mariana	-50,48431315	-23,1235861	0,57	2,5	0,10	0,09	0,17	0,1	0,1	0,1
P309	6050	IAT	Santa Mariana	-50,57389369	-23,0385933	0,05	0,2	0,01	0,01	0,01	0,0	0,0	0,0
P310	6058	IAT	Santa Mariana	-50,59042323	-22,91567492	2,62	11,6	0,46	0,41	0,77	0,3	0,3	0,5
P311	32713	IAT	Santa Mariana	-50,51191344	-23,1446561	0,29	1,3	0,05	0,04	0,09	0,0	0,0	0,1
P312	49050	IAT	Santa Mariana	-50,51210345	-23,14879611	0,008	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
P313	61488	IAT	Santa Mariana	-50,59516488	-22,96573624	4,6	20,4	0,81	0,71	1,36	0,5	0,4	0,8
P314	62142	IAT	Santa Mariana	-50,58208309	-23,14599637	1,78	7,9	0,31	0,28	0,53	0,2	0,2	0,3
P315	65551	IAT	Santa Mariana	-50,49404506	-23,1427123	3	13,3	0,53	0,46	0,89	0,3	0,3	0,6
P316	2960	IAT	Santana do Itararé	-49,624126	-23,75336928	0,03	0,1	0,01	0,00	0,01	0,0	0,0	0,0
P317	2961	IAT	Santana do Itararé	-49,62357422	-23,75265996	0,025	0,1	0,00	0,00	0,01	0,0	0,0	0,0

Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> - N mg/L	NO <sub>3</sub> mg/L	CDI Homens	CDI mulheres	CDI crianças	HQoral Homens	HQoral Mulheres	HQoral Crianças
P318	2967	IAT	Santana do Itararé	-49,63206872	-23,75925132	0,18	0,8	0,03	0,03	0,05	0,0	0,0	0,0
P319	2981	IAT	Santana do Itararé	-49,67652896	-23,72939106	0,104	0,5	0,02	0,02	0,03	0,0	0,0	0,0
P320	2982	IAT	Santana do Itararé	-49,59305833	-23,73723135	0,097	0,4	0,02	0,01	0,03	0,0	0,0	0,0
P321	367	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,08133057	-23,286138	0,26	1,2	0,05	0,04	0,08	0,0	0,0	0,0
P322	368	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,08139659	-23,2828882	0,3	1,3	0,05	0,05	0,09	0,0	0,0	0,1
P323	369	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,08233585	-23,29160128	0,21	0,9	0,04	0,03	0,06	0,0	0,0	0,0
P324	377	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,08432056	-23,27757795	0,05	0,2	0,01	0,01	0,01	0,0	0,0	0,0
P325	429	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,09429483	-23,26119307	1,24	5,5	0,22	0,19	0,37	0,1	0,1	0,2
P326	550	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,11015916	-23,24676528	1,63	7,2	0,29	0,25	0,48	0,2	0,2	0,3
P327	15120	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,17326088	-23,17075724	3,15	13,9	0,55	0,49	0,93	0,3	0,3	0,6
P328	16104	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,02806993	-23,22667791	4,57	20,2	0,80	0,71	1,35	0,5	0,4	0,8
P329	25439	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,18472095	-23,16657719	1	4,4	0,18	0,15	0,30	0,1	0,1	0,2
P330	31532	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,08277061	-23,29627803	9,48	42,0	1,67	1,47	2,80	1,0	0,9	1,7
P331	33095	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,08041704	-23,28403631	3,67	16,2	0,65	0,57	1,08	0,4	0,4	0,7
P332	38352	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,09801056	-23,24754779	0,51	2,3	0,09	0,08	0,15	0,1	0,0	0,1
P333	38621	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,06876064	-23,33348823	0,37	1,6	0,07	0,06	0,11	0,0	0,0	0,1
P334	63094	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,05494735	-23,29066465	5,16	22,8	0,91	0,80	1,52	0,6	0,5	1,0
P335	64424	IAT	Santo Antonio da Platina	-50,06906692	-23,29064972	1,84	8,1	0,32	0,28	0,54	0,2	0,2	0,3
P336	8394	IAT	Santo Antonio do Paraíso	-50,65872628	-23,61029752	0,11	0,5	0,02	0,02	0,03	0,0	0,0	0,0
P337	36064	IAT	Santo Antonio do Paraíso	-50,66825608	-23,5373072	0,36	1,6	0,06	0,06	0,11	0,0	0,0	0,1
P338	43012	IAT	Santo Antonio do Paraíso	-50,61655622	-23,68568796	6,97	30,9	1,23	1,08	2,06	0,8	0,7	1,3
P339	47037	IAT	Santo Antonio do Paraíso	-50,6284356	-23,49051714	2,8	12,4	0,49	0,43	0,83	0,3	0,3	0,5
P340	8390	IAT	São Jerônimo da Serra	-50,87209788	-23,59318679	4	17,7	0,70	0,62	1,18	0,4	0,4	0,7
P341	8403	IAT	São Jerônimo da Serra	-50,73951733	-23,72444772	0,41	1,8	0,07	0,06	0,12	0,0	0,0	0,1
P342	8404	IAT	São Jerônimo da Serra	-50,74169467	-23,72437853	2,82	12,5	0,50	0,44	0,83	0,3	0,3	0,5
P343	20085	IAT	São José da Boa Vista	-49,67150002	-23,92310507	0,09	0,4	0,02	0,01	0,03	0,0	0,0	0,0
P344	62740	IAT	São José da Boa Vista	-49,75218215	-24,07316204	3,27	14,5	0,58	0,51	0,97	0,4	0,3	0,6
P345	8380	IAT	São Sebastião da Amoreira	-50,75865648	-23,45394658	0,08	0,4	0,01	0,01	0,02	0,0	0,0	0,0
P346	8407	IAT	São Sebastião da Amoreira	-50,75270643	-23,45181659	0,94	4,2	0,17	0,15	0,28	0,1	0,1	0,2
P347	8409	IAT	São Sebastião da Amoreira	-50,75173642	-23,4513866	0,32	1,4	0,06	0,05	0,09	0,0	0,0	0,1
P348	8410	IAT	São Sebastião da Amoreira	-50,75382644	-23,45210659	0,18	0,8	0,03	0,03	0,05	0,0	0,0	0,0
P349	8725	IAT	São Sebastião da Amoreira	-50,74747623	-23,40831644	0,15	0,7	0,03	0,02	0,04	0,0	0,0	0,0


Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> - N mg/L	NO <sub>3</sub> mg/L	CDI Homens	CDI mulheres	CDI crianças	HQoral Homens	HQoral Mulheres	HQoral Crianças
P350	34374	IAT	Sapopema	-50,66307727	-23,86743853	0,14	0,6	0,02	0,02	0,04	0,0	0,0	0,0
P351	39989	IAT	Sapopema	-50,55148663	-23,93212914	4,75	21,0	0,84	0,73	1,40	0,5	0,5	0,9
P352	6057	IAT	Sertaneja	-50,817675	-22,91581423	7,99	35,4	1,41	1,24	2,36	0,9	0,8	1,5
P353	22819	IAT	Sertaneja	-50,85222505	-22,85628388	5,8	25,7	1,02	0,90	1,71	0,6	0,6	1,1
P354	48082	IAT	Sertaneja	-50,97855552	-22,84763815	0,1	0,4	0,02	0,02	0,03	0,0	0,0	0,0
P355	57253	IAT	Sertaneja	-50,99028699	-22,80851734	0,18	0,8	0,03	0,03	0,05	0,0	0,0	0,0
P356	57254	IAT	Sertaneja	-50,98080628	-22,80589671	3,89	17,2	0,68	0,60	1,15	0,4	0,4	0,7
P357	2964	IAT	Siqueira Campos	-49,82306998	-23,68767044	1,9	8,4	0,33	0,29	0,56	0,2	0,2	0,4
P358	2966	IAT	Siqueira Campos	-49,83006998	-23,67237036	0,03	0,1	0,01	0,00	0,01	0,0	0,0	0,0
P359	2983	IAT	Siqueira Campos	-49,8270202	-23,73918064	0,05	0,2	0,01	0,01	0,01	0,0	0,0	0,0
P360	20172	IAT	Siqueira Campos	-49,79937987	-23,7091006	0,26	1,2	0,05	0,04	0,08	0,0	0,0	0,0
P361	21482	IAT	Siqueira Campos	-49,83032976	-23,6109801	0,18	0,8	0,03	0,03	0,05	0,0	0,0	0,0
P362	22303	IAT	Siqueira Campos	-49,83769996	-23,65040024	2,2	9,7	0,39	0,34	0,65	0,2	0,2	0,4
P363	40228	IAT	Siqueira Campos	-49,82958575	-23,7044892	0,49	2,2	0,09	0,08	0,14	0,1	0,0	0,1
P364	72920	IAT	Siqueira Campos	-49,77577237	-23,73653142	5,08	22,5	0,89	0,79	1,50	0,6	0,5	0,9
P365	400	IAT	Tomazina	-49,90870073	-23,70862026	0,09	0,4	0,02	0,01	0,03	0,0	0,0	0,0
P366	401	IAT	Tomazina	-50,02261133	-23,62538957	0,15	0,7	0,03	0,02	0,04	0,0	0,0	0,0
P367	409	IAT	Tomazina	-49,99564206	-23,8830707	0,05	0,2	0,01	0,01	0,01	0,0	0,0	0,0
P368	29495	IAT	Tomazina	-49,93643112	-23,75397036	20,1	89,0	3,53	3,11	5,93	2,2	1,9	3,7
P369	58489	IAT	Tomazina	-49,98897692	-23,5875599	4,3	19,0	0,76	0,66	1,27	0,5	0,4	0,8
P370	59272	IAT	Tomazina	-49,97494	-23,601836	5,6	24,8	0,98	0,87	1,65	0,6	0,5	1,0
P371	8695	IAT	Uraí	-50,80258474	-23,20514394	0,09	0,4	0,02	0,01	0,03	0,0	0,0	0,0
P372	8706	IAT	Uraí	-50,80982621	-23,26929568	1,15	5,1	0,20	0,18	0,34	0,1	0,1	0,2
P373	8707	IAT	Uraí	-50,81134609	-23,23406554	0,06	0,3	0,01	0,01	0,02	0,0	0,0	0,0
P374	8708	IAT	Uraí	-50,87537655	-23,22238529	0,16	0,7	0,03	0,02	0,05	0,0	0,0	0,0
P375	8709	IAT	Uraí	-50,83284626	-23,23499547	0,11	0,5	0,02	0,02	0,03	0,0	0,0	0,0
P376	8720	IAT	Uraí	-50,85730637	-23,21288531	2,14	9,5	0,38	0,33	0,63	0,2	0,2	0,4
P377	8745	IAT	Uraí	-50,79709585	-23,19695543	10,6	46,9	1,86	1,64	3,13	1,2	1,0	2,0
P378	12142	IAT	Uraí	-50,77676568	-23,19550549	1,25	5,5	0,22	0,19	0,37	0,1	0,1	0,2
P379	19115	IAT	Uraí	-50,79398588	-23,2119755	1	4,4	0,18	0,15	0,30	0,1	0,1	0,2
P380	19520	IAT	Uraí	-50,86031648	-23,2365354	3	13,3	0,53	0,46	0,89	0,3	0,3	0,6
P381	19610	IAT	Uraí	-50,84826633	-23,22050537	8,4	37,2	1,48	1,30	2,48	0,9	0,8	1,5



Poço	Código	Sistema	Município	X	Y	NO <sub>3</sub> - N mg/L	NO <sub>3</sub> mg/L	CDI Homens	CDI mulheres	CDI crianças	HQoral Homens	HQoral Mulheres	HQoral Crianças
P382	19613	IAT	Uraí	-50,78182579	-23,21539555	8,7	38,5	1,53	1,34	2,57	1,0	0,8	1,6
P383	19615	IAT	Uraí	-50,81042595	-23,19808539	26,9	119,1	4,73	4,16	7,94	3,0	2,6	5,0
P384	19725	IAT	Uraí	-50,77142583	-23,24853572	2,7	12,0	0,47	0,42	0,80	0,3	0,3	0,5
P385	21311	IAT	Uraí	-50,7763457	-23,20233552	3,2	14,2	0,56	0,49	0,94	0,4	0,3	0,6
P386	28168	IAT	Uraí	-50,87354655	-23,22769532	0,6	2,7	0,11	0,09	0,18	0,1	0,1	0,1
P387	30056	IAT	Uraí	-50,8779566	-23,23264533	0,34	1,5	0,06	0,05	0,10	0,0	0,0	0,1
P388	36938	IAT	Uraí	-50,81212598	-23,2015854	0,02	0,1	0,00	0,00	0,01	0,0	0,0	0,0
P389	37931	IAT	Uraí	-50,78182586	-23,23387563	1,1	4,9	0,19	0,17	0,32	0,1	0,1	0,2
P390	40192	IAT	Uraí	-50,82250596	-23,17285526	0,61	2,7	0,11	0,09	0,18	0,1	0,1	0,1
P391	41493	IAT	Uraí	-50,79523589	-23,2135455	0,8	3,5	0,14	0,12	0,24	0,1	0,1	0,1
P392	42094	IAT	Uraí	-50,86547648	-23,22452533	1,7	7,5	0,30	0,26	0,50	0,2	0,2	0,3
P393	42447	IAT	Uraí	-50,8819966	-23,22296527	2,3	10,2	0,40	0,36	0,68	0,3	0,2	0,4
P394	42677	IAT	Uraí	-50,85595621	-23,17087514	2,5	11,1	0,44	0,39	0,74	0,3	0,2	0,5
P395	46525	IAT	Uraí	-50,78577598	-23,25879572	3,42	15,1	0,60	0,53	1,01	0,4	0,3	0,6
P396	48752	IAT	Uraí	-50,80172587	-23,1923654	3,27	14,5	0,58	0,51	0,97	0,4	0,3	0,6
P397	51258	IAT	Uraí	-50,79353586	-23,20753549	0,2	0,9	0,04	0,03	0,06	0,0	0,0	0,0
P398	52391	IAT	Uraí	-50,80247667	-23,23410121	6,09	27,0	1,07	0,94	1,80	0,7	0,6	1,1
P399	66458	IAT	Uraí	-50,87265876	-23,16808678	2,45	10,8	0,43	0,38	0,72	0,3	0,2	0,5
P400	61672	IAT	Wenceslau Braz	-49,79132622	-23,8477824	0,15	0,7	0,03	0,02	0,04	0,0	0,0	0,0
P401	65541	IAT	Wenceslau Braz	-49,79456516	-23,85747106	3,4	15,1	0,60	0,53	1,00	0,4	0,3	0,6

## 10 ANEXOS

## 10.1 ANEXO 1 - RELATÓRIOS DAS ANÁLISES DE NITRATO REALIZADAS EM LABORATÓRIO

DOCUMENTO ASSINADO DIGITALMENTE POR GENTIL MARIO PINHEIRO JUNIOR VERIFIQUE O DOCUMENTO EM <https://validar.iti.gov.br>

Relatório de Ensaio Nº: 3818.2025- V.0					
<b>01. Dados Contratação:</b>					
<b>Solicitante:</b>					
<b>Razão Social:</b>	SERGIO AUGUSTO PEREIRA				
<b>Proposta Comercial:</b>	394.2025.V1				
<b>CNPJ/CPF:</b>	080.420.419-50	<b>Inscrição Estadual:</b>	10.934.475-3		
<b>Endereço:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA - Cornelio Procopio/PR CEP: 86300000				
<b>02. Dados da Amostra fornecida pelo Cliente:</b>					
<b>Descrição da Amostra:</b>	3818.2025 - P99A				
<b>Endereço Amostragem:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA <b>Cidade:</b> Cornelio Procopio/PR <b>CEP:</b> 86300000				
<b>Responsável pela Amostragem:</b>	Solicitante				
<b>Plano / Ficha Amostragem:</b>	1429.2025.V0				
<b>Matriz e Origem Amostra:</b>	Água - Água de Poço				
<b>Data de Amostragem:</b>	31/03/2025 15:30:00	<b>Característica da Amostra:</b>	Simple		
<b>03. Dados de Controle da Amostra:</b>					
<b>Data Recebimento:</b>	01/04/2025 12:34:00				
<b>Data Início Amostra:</b>	04/04/2025 08:05:27	<b>Data Conclusão Amostra:</b>	04/04/2025 14:24:42		
<b>04. Resultados:</b>					
<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados</b>	<b>Un Trab</b>	<b>L.Q.</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Início Ensaio</b>
Nitrato	<2,20	mg/L	2,20	POP 039	04/04/2025
<b>Legenda</b>					
mg/L - Miligrama por Litro L.Q. - Limite de Quantificação, VMP - Valor Máximo Permitido, N.A. - Não Aplicável					
<b>Notas. :</b>					
<p>1. Os resultados referem-se tão somente às características das respectivas amostras analisadas e não substituem ou invalidam resultados de amostras coletadas anteriormente. 2. Este Relatório de Ensaio somente pode ser reproduzido na sua totalidade e sem alterações. A reprodução parcial requer aprovação escrita do Laboratório Exacty. 3. Informações fornecidas pelo cliente não são de responsabilidade do Laboratório Exacty. 4. Quando o responsável pelo plano de estudo (amostragem/coleta) for o solicitante, os resultados dos ensaios se aplicam à amostra conforme recebida. 5. Quando aplicável, os ensaios são subcontratados em provedor externo (IAT CCL Nº 019R cujo CRL0361, CCL Nº 040R cujo CRL 0692 e CCL Nº 17R cujo CRL 0607). 6. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. A(s) incerteza(s) declarada(s) refere(m)-se à incerteza padrão de medição multiplicada por um fator de abrangência k tal que em uma distribuição normal, corresponde a uma probabilidade de abrangência de 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada seguindo as recomendações do Guia para Expressão de Incerteza de Medição. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. 7. Regra de Decisão: A(s) incerteza(s) expressa(s) nos relatórios, não são consideradas na conclusão/declaração de conformidade a uma especificação ou norma, ficando a critério do cliente e/ou parte interessada a aplicabilidade, ou não das incertezas informadas. A declaração da conformidade se baseia somente nos ensaios que possuem valor máximo ou mínimo permitido. 8. Plano de Amostragem: PSQ 002 - Técnicas de Amostragem e Preservação das Amostras / Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da ANA e SMEWW 23ª Edição, 2017. 9. As opiniões e interpretações expressas não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório.</p>					
<b>GENTIL MARIO PINHEIRO JUNIOR:00641826907</b> 09/04/2025 11:16:10 ICP-Brasil - 250828181830Z 			 <b>Gentil Mario Pinheiro Junior</b> CRQ. 9ª Região 09100961		
Documento assinado eletronicamente conforme MP nº 2.200-2/2001. O uso de certificados emitidos no âmbito da ICP-Brasil tem validade jurídica.			GENTIL M. P. JUNIOR Responsável Técnico		
Código de Verificação: 0010300159381011544070202500000					
		Exacty Análises Químicas LTDA Av. Abelio Benatti, 4260 - Jd do Sol Londrina/Paraná CEP 8670-370 atendimento@exacty.com.br Fone: (43) 3304-0313			
Versão: v.0 - Amostra: 3818.2025   Data Emissão:09/04/2025 - Página.:1/1					

EXACTY



### Relatório de Ensaio Nº: 3819.2025- V.0

<b>01. Dados Contratação:</b>					
<b>Solicitante:</b>					
<b>Razão Social:</b>	SERGIO AUGUSTO PEREIRA				
<b>Proposta Comercial:</b>	394.2025.V1				
<b>CNPJ/CPF:</b>	080.420.419-50	<b>Inscrição Estadual:</b>	10.934.475-3		
<b>Endereço:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA - Cornélio Procopio/PR CEP: 86300000				
<b>02. Dados da Amostra fornecida pelo Cliente:</b>					
<b>Descrição da Amostra:</b>	3819.2025 - P99B				
<b>Endereço Amostragem:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA <b>Cidade:</b> Cornélio Procopio/PR <b>CEP:</b> 86300000				
<b>Responsável pela Amostragem:</b>	Solicitante				
<b>Plano / Ficha Amostragem:</b>	1429.2025.V0				
<b>Matriz e Origem Amostra:</b>	Água - Água de Poço				
<b>Data de Amostragem:</b>	31/03/2025 15:45:00	<b>Característica da Amostra:</b>	Simplex		
<b>03. Dados de Controle da Amostra:</b>					
<b>Data Recebimento:</b>	01/04/2025 12:34:00				
<b>Data Início Amostra:</b>	04/04/2025 08:05:27	<b>Data Conclusão Amostra:</b>	04/04/2025 14:24:42		

Parâmetros	Resultados	Un Trab	L.Q.	Metodologia	Início Ensaio
Nitrato	<2,20	mg/L	2,20	POP 039	04/04/2025

#### Legenda

mg/L - Miligrama por Litro L.Q. - Limite de Quantificação, VMP - Valor Máximo Permitido, N.A. - Não Aplicável

#### Notas. :

1. Os resultados referem-se tão somente às características das respectivas amostras analisadas e não substituem ou invalidam resultados de amostras coletadas anteriormente. 2. Este Relatório de Ensaio somente pode ser reproduzido na sua totalidade e sem alterações. A reprodução parcial requer aprovação escrita do Laboratório Exacty. 3. Informações fornecidas pelo cliente não são de responsabilidade do Laboratório Exacty. 4. Quando o responsável pelo plano de estudo (amostragem/coleta) for o solicitante, os resultados dos ensaios se aplicam à amostra conforme recebida. 5. Quando aplicável, os ensaios são subcontratados em provedor externo (IAT CCL Nº 019R cujo CRL0361, CCL Nº 040R cujo CRL 0692 e CCL Nº 17R cujo CRL 0607). 6. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. A(s) incerteza(s) declarada(s) refere(m)-se à incerteza padrão de medição multiplicada por um fator de abrangência k tal que em uma distribuição normal, corresponde a uma probabilidade de abrangência de 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada seguindo as recomendações do Guia para Expressão de Incerteza de Medição. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. 7. Regra de Decisão: A(s) incerteza(s) expressa(s) nos relatórios, não são consideradas na conclusão/declaração de conformidade a uma especificação ou norma, ficando a critério do cliente e/ou parte interessada a aplicabilidade, ou não das incertezas informadas. A declaração da conformidade se baseia somente nos ensaios que possuem valor máximo ou mínimo permitido. 8. Plano de Amostragem: PSQ 002 - Técnicas de Amostragem e Preservação das Amostras / Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da ANA e SMEWW 23ª Edição, 2017.9. As opiniões e interpretações expressas não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório.

**GENTIL MARIO PINHEIRO JUNIOR:00641826907**

09/04/2025 11:16:08

ICP-Brasil - 250828181830Z



Documento assinado eletronicamente conforme MP nº 2.200-2/2001. O uso de certificados emitidos no âmbito da ICP-Brasil tem validade jurídica.

Gentil Mario Pinheiro Junior  
CRQ. 9ª Região 09100961

GENTIL M. P. JUNIOR

Responsável Técnico

Código de Verificação: 0010300159381011544080202500000



Exacty Análises Químicas LTDA  
Av. Abelio Benatti, 4260 - Jd do Sol  
Londrina/Paraná CEP 8670-370  
atendimento@exacty.com.br  
Fone: (43) 3304-0313

Versão: v.0 - Amostra: 3819.2025 | Data Emissão:09/04/2025 - Página.:1/1

EXACTY



### Relatório de Ensaio Nº: 3820.2025- V.0

<b>01. Dados Contratação:</b>	
<b>Solicitante:</b>	
<b>Razão Social:</b>	SERGIO AUGUSTO PEREIRA
<b>Proposta Comercial:</b>	394.2025.V1
<b>CNPJ/CPF:</b>	080.420.419-50 <b>Inscrição Estadual:</b> 10.934.475-3
<b>Endereço:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA - Cornélio Procopio/PR <b>CEP:</b> 86300000
<b>02. Dados da Amostra fornecida pelo Cliente:</b>	
<b>Descrição da Amostra:</b>	3820.2025 - P133
<b>Endereço Amostragem:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA <b>Cidade:</b> Cornélio Procopio/PR <b>CEP:</b> 86300000
<b>Responsável pela Amostragem:</b>	Solicitante
<b>Plano / Ficha Amostragem:</b>	1429.2025.V0
<b>Matriz e Origem Amostra:</b>	Água - Água de Poço
<b>Data de Amostragem:</b>	31/03/2025 14:20:00 <b>Característica da Amostra:</b> Simples
<b>03. Dados de Controle da Amostra:</b>	
<b>Data Recebimento:</b>	01/04/2025 12:34:00
<b>Data Início Amostra:</b>	04/04/2025 08:05:27 <b>Data Conclusão Amostra:</b> 04/04/2025 14:24:42

Parâmetros	Resultados	Un Trab	L.Q.	Metodologia	Início Ensaio
Nitrato	6,12	mg/L	2,20	POP 039	04/04/2025

**Legenda**

mg/L - Miligrama por Litro L.Q. - Limite de Quantificação, VMP - Valor Máximo Permitido, N.A. - Não Aplicável

**Notas. :**

1. Os resultados referem-se tão somente às características das respectivas amostras analisadas e não substituem ou invalidam resultados de amostras coletadas anteriormente. 2. Este Relatório de Ensaio somente pode ser reproduzido na sua totalidade e sem alterações. A reprodução parcial requer aprovação escrita do Laboratório Exacty. 3. Informações fornecidas pelo cliente não são de responsabilidade do Laboratório Exacty. 4. Quando o responsável pelo plano de estudo (amostragem/coleta) for o solicitante, os resultados dos ensaios se aplicam à amostra conforme recebida. 5. Quando aplicável, os ensaios são subcontratados em provedor externo (IAT CCL Nº 019R cujo CRL0361, CCL Nº 040R cujo CRL 0692 e CCL Nº 17R cujo CRL 0607). 6. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. A(s) incerteza(s) declarada(s) refere(m)-se à incerteza padrão de medição multiplicada por um fator de abrangência k tal que em uma distribuição normal, corresponde a uma probabilidade de abrangência de 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada seguindo as recomendações do Guia para Expressão de Incerteza de Medição. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. 7. Regra de Decisão: A(s) incerteza(s) expressa(s) nos relatórios, não são consideradas na conclusão/declaração de conformidade a uma especificação ou norma, ficando a critério do cliente e/ou parte interessada a aplicabilidade, ou não das incertezas informadas. A declaração da conformidade se baseia somente nos ensaios que possuem valor máximo ou mínimo permitido. 8. Plano de Amostragem: PSQ 002 - Técnicas de Amostragem e Preservação das Amostras / Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da ANA e SMEWW 23ª Edição, 2017.9. As opiniões e interpretações expressas não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório.

**GENTIL MARIO PINHEIRO JUNIOR:00641826907**

09/04/2025 11:16:06

ICP-Brasil - 250828181830Z



Documento assinado eletronicamente conforme MP nº 2.200-2/2001. O uso de certificados emitidos no âmbito da ICP-Brasil tem validade jurídica.

Gentil Mario Pinheiro Junior  
CRQ. 9ª Região 09100961

GENTIL M. P. JUNIOR

Responsável Técnico

Código de Verificação: 0010300159381011544090202500000



Exacty Análises Químicas LTDA  
Av. Abelio Benatti, 4260 - Jd do Sol  
Londrina/Paraná - CEP 8670-370  
atendimento@exacty.com.br  
Fone: (43) 3304-0313

Versão: v.0 - Amostra: 3820.2025 | Data Emissão:09/04/2025 - Página.:1/1

EXACTY



### Relatório de Ensaio Nº: 3821.2025- V.0

<b>01. Dados Contratação:</b>	
<b>Solicitante:</b>	
<b>Razão Social:</b>	SERGIO AUGUSTO PEREIRA
<b>Proposta Comercial:</b>	394.2025.V1
<b>CNPJ/CPF:</b>	080.420.419-50
<b>Inscrição Estadual:</b>	10.934.475-3
<b>Endereço:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA - Cornélio Procopio/PR CEP: 86300000
<b>02. Dados da Amostra fornecida pelo Cliente:</b>	
<b>Descrição da Amostra:</b>	3821.2025 - P217
<b>Endereço Amostragem:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA <b>Cidade:</b> Cornélio Procopio/PR <b>CEP:</b> 86300000
<b>Responsável pela Amostragem:</b>	Solicitante
<b>Plano / Ficha Amostragem:</b>	1429.2025.V0
<b>Matriz e Origem Amostra:</b>	Água - Água de Poço
<b>Data de Amostragem:</b>	31/03/2025 12:40:00
<b>Característica da Amostra:</b>	Simplex
<b>03. Dados de Controle da Amostra:</b>	
<b>Data Recebimento:</b>	01/04/2025 12:34:00
<b>Data Início Amostra:</b>	04/04/2025 08:05:27
<b>Data Conclusão Amostra:</b>	04/04/2025 14:24:42

<b>04. Resultados:</b>					
Parâmetros	Resultados	Un Trab	L.Q.	Metodologia	Início Ensaio
Nitrato	<2,20	mg/L	2,20	POP 039	04/04/2025

**Legenda**

mg/L - Miligrama por Litro L.Q. - Limite de Quantificação, VMP - Valor Máximo Permitido, N.A. - Não Aplicável

**Notas. :**

1. Os resultados referem-se tão somente às características das respectivas amostras analisadas e não substituem ou invalidam resultados de amostras coletadas anteriormente. 2. Este Relatório de Ensaio somente pode ser reproduzido na sua totalidade e sem alterações. A reprodução parcial requer aprovação escrita do Laboratório Exacty. 3. Informações fornecidas pelo cliente não são de responsabilidade do Laboratório Exacty. 4. Quando o responsável pelo plano de estudo (amostragem/coleta) for o solicitante, os resultados dos ensaios se aplicam à amostra conforme recebida. 5. Quando aplicável, os ensaios são subcontratados em provedor externo (IAT CCL Nº 019R cujo CRL0361, CCL Nº 040R cujo CRL 0692 e CCL Nº 17R cujo CRL 0607). 6. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. A(s) incerteza(s) declarada(s) refere(m)-se à incerteza padrão de medição multiplicada por um fator de abrangência k tal que em uma distribuição normal, corresponde a uma probabilidade de abrangência de 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada seguindo as recomendações do Guia para Expressão de Incerteza de Medição. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. 7. Regra de Decisão: A(s) incerteza(s) expressa(s) nos relatórios, não são consideradas na conclusão/declaração de conformidade a uma especificação ou norma, ficando a critério do cliente e/ou parte interessada a aplicabilidade, ou não das incertezas informadas. A declaração da conformidade se baseia somente nos ensaios que possuem valor máximo ou mínimo permitido. 8. Plano de Amostragem: PSQ 002 - Técnicas de Amostragem e Preservação das Amostras / Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da ANA e SMEWW 23ª Edição, 2017.9. As opiniões e interpretações expressas não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório.

**GENTIL MARIO PINHEIRO JUNIOR:00641826907**

09/04/2025 11:16:05

ICP-Brasil - 250828181830Z



Documento assinado eletronicamente conforme MP nº 2.200-2/2001. O uso de certificados emitidos no âmbito da ICP-Brasil tem validade jurídica.

Gentil Mario Pinheiro Junior  
CRQ. 9ª Região 09100961

GENTIL M. P. JUNIOR

Responsável Técnico

Código de Verificação: 0010300159381011544100202500000



Exacty Análises Químicas LTDA  
Av. Abelio Benatti, 4260 - Jd do Sol  
Londrina/Paraná CEP 8670-370  
atendimento@exacty.com.br  
Fone: (43) 3304-0313

Versão: v.0 - Amostra: 3821.2025 | Data Emissão:09/04/2025 - Página.:1/1

EXACTY



### Relatório de Ensaio Nº: 3822.2025- V.0

<b>01. Dados Contratação:</b>					
<b>Solicitante:</b>					
<b>Razão Social:</b>	SERGIO AUGUSTO PEREIRA				
<b>Proposta Comercial:</b>	394.2025.V1				
<b>CNPJ/CPF:</b>	080.420.419-50	<b>Inscrição Estadual:</b>	10.934.475-3		
<b>Endereço:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA - Cornelio Procopio/PR CEP: 86300000				
<b>02. Dados da Amostra fornecida pelo Cliente:</b>					
<b>Descrição da Amostra:</b>	3822.2025 - P218				
<b>Endereço Amostragem:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA <b>Cidade:</b> Cornelio Procopio/PR <b>CEP:</b> 86300000				
<b>Responsável pela Amostragem:</b>	Solicitante				
<b>Plano / Ficha Amostragem:</b>	1429.2025.V0				
<b>Matriz e Origem Amostra:</b>	Água - Água de Poço				
<b>Data de Amostragem:</b>	31/03/2025 12:20:00	<b>Característica da Amostra:</b>	Simples		
<b>03. Dados de Controle da Amostra:</b>					
<b>Data Recebimento:</b>	01/04/2025 12:34:00				
<b>Data Início Amostra:</b>	04/04/2025 08:05:27	<b>Data Conclusão Amostra:</b>	04/04/2025 14:24:42		

<b>04. Resultados:</b>					
Parâmetros	Resultados	Un Trab	L.Q.	Metodologia	Início Ensaio
Nitrato	<2,20	mg/L	2,20	POP 039	04/04/2025

**Legenda**

mg/L - Miligrama por Litro L.Q. - Limite de Quantificação, VMP - Valor Máximo Permitido, N.A. - Não Aplicável

**Notas. :**

1. Os resultados referem-se tão somente às características das respectivas amostras analisadas e não substituem ou invalidam resultados de amostras coletadas anteriormente. 2. Este Relatório de Ensaio somente pode ser reproduzido na sua totalidade e sem alterações. A reprodução parcial requer aprovação escrita do Laboratório Exacty. 3. Informações fornecidas pelo cliente não são de responsabilidade do Laboratório Exacty. 4. Quando o responsável pelo plano de estudo (amostragem/coleta) for o solicitante, os resultados dos ensaios se aplicam à amostra conforme recebida. 5. Quando aplicável, os ensaios são subcontratados em provedor externo (IAT CCL Nº 019R cujo CRL0361, CCL Nº 040R cujo CRL 0692 e CCL Nº 17R cujo CRL 0607). 6. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. A(s) incerteza(s) declarada(s) refere(m)-se à incerteza padrão de medição multiplicada por um fator de abrangência k tal que em uma distribuição normal, corresponde a uma probabilidade de abrangência de 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada seguindo as recomendações do Guia para Expressão de Incerteza de Medição. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. 7. Regra de Decisão: A(s) incerteza(s) expressa(s) nos relatórios, não são consideradas na conclusão/declaração de conformidade a uma especificação ou norma, ficando a critério do cliente e/ou parte interessada a aplicabilidade, ou não das incertezas informadas. A declaração da conformidade se baseia somente nos ensaios que possuem valor máximo ou mínimo permitido. 8. Plano de Amostragem: PSQ 002 - Técnicas de Amostragem e Preservação das Amostras / Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da ANA e SMEWW 23ª Edição, 2017.9. As opiniões e interpretações expressas não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório.

**GENTIL MARIO PINHEIRO JUNIOR:00641826907**

09/04/2025 11:16:03

ICP-Brasil - 250828181830Z



Documento assinado eletronicamente conforme MP nº 2.200-2/2001. O uso de certificados emitidos no âmbito da ICP-Brasil tem validade jurídica.

Gentil Mario Pinheiro Junior  
CRQ. 9ª Região 09100961

GENTIL M. P. JUNIOR

Responsável Técnico

Código de Verificação: 0010300159381011544110202500000



Exacty Análises Químicas LTDA  
Av. Abelio Benatti, 4260 - Jd do Sol  
Londrina/Paraná CEP 8670-370  
atendimento@exacty.com.br  
Fone: (43) 3304-0313

Versão: v.0 - Amostra: 3822.2025 | Data Emissão:09/04/2025 - Página.:1/1

EXACTY



### Relatório de Ensaio Nº: 3823.2025- V.0

<b>01. Dados Contratação:</b>					
<b>Solicitante:</b>					
<b>Razão Social:</b>	SERGIO AUGUSTO PEREIRA				
<b>Proposta Comercial:</b>	394.2025.V1				
<b>CNPJ/CPF:</b>	080.420.419-50	<b>Inscrição Estadual:</b>	10.934.475-3		
<b>Endereço:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA - Cornelio Procopio/PR CEP: 86300000				
<b>02. Dados da Amostra fornecida pelo Cliente:</b>					
<b>Descrição da Amostra:</b>	3823.2025 - P271				
<b>Endereço Amostragem:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA <b>Cidade:</b> Cornelio Procopio/PR <b>CEP:</b> 86300000				
<b>Responsável pela Amostragem:</b>	Solicitante				
<b>Plano / Ficha Amostragem:</b>	1429.2025.V0				
<b>Matriz e Origem Amostra:</b>	Água - Água de Poço				
<b>Data de Amostragem:</b>	31/03/2025 10:10:00	<b>Característica da Amostra:</b>	Simplex		
<b>03. Dados de Controle da Amostra:</b>					
<b>Data Recebimento:</b>	01/04/2025 12:34:00				
<b>Data Início Amostra:</b>	04/04/2025 08:05:27	<b>Data Conclusão Amostra:</b>	04/04/2025 14:24:42		

Parâmetros	Resultados	Un Trab	L.Q.	Metodologia	Início Ensaio
Nitrato	<2,20	mg/L	2,20	POP 039	04/04/2025

#### Legenda

mg/L - Miligrama por Litro L.Q. - Limite de Quantificação, VMP - Valor Máximo Permitido, N.A. - Não Aplicável

#### Notas. :

1. Os resultados referem-se tão somente às características das respectivas amostras analisadas e não substituem ou invalidam resultados de amostras coletadas anteriormente. 2. Este Relatório de Ensaio somente pode ser reproduzido na sua totalidade e sem alterações. A reprodução parcial requer aprovação escrita do Laboratório Exacty. 3. Informações fornecidas pelo cliente não são de responsabilidade do Laboratório Exacty. 4. Quando o responsável pelo plano de estudo (amostragem/coleta) for o solicitante, os resultados dos ensaios se aplicam à amostra conforme recebida. 5. Quando aplicável, os ensaios são subcontratados em provedor externo (IAT CCL Nº 019R cujo CRL0361, CCL Nº 040R cujo CRL 0692 e CCL Nº 17R cujo CRL 0607). 6. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. A(s) incerteza(s) declarada(s) refere(m)-se à incerteza padrão de medição multiplicada por um fator de abrangência k tal que em uma distribuição normal, corresponde a uma probabilidade de abrangência de 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada seguindo as recomendações do Guia para Expressão de Incerteza de Medição. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. 7. Regra de Decisão: A(s) incerteza(s) expressa(s) nos relatórios, não são consideradas na conclusão/declaração de conformidade a uma especificação ou norma, ficando a critério do cliente e/ou parte interessada a aplicabilidade, ou não das incertezas informadas. A declaração da conformidade se baseia somente nos ensaios que possuem valor máximo ou mínimo permitido. 8. Plano de Amostragem: PSQ 002 - Técnicas de Amostragem e Preservação das Amostras / Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da ANA e SMEWW 23ª Edição, 2017.9. As opiniões e interpretações expressas não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório.

**GENTIL MARIO PINHEIRO JUNIOR:00641826907**

09/04/2025 11:16:02

ICP-Brasil - 250828181830Z



Documento assinado eletronicamente conforme MP nº 2.200-2/2001. O uso de certificados emitidos no âmbito da ICP-Brasil tem validade jurídica.

Gentil Mario Pinheiro Junior  
CRQ. 9ª Região 09100961

GENTIL M. P. JUNIOR

Responsável Técnico

Código de Verificação: 0010300159381011544120202500000



Exacty Análises Químicas LTDA  
Av. Abelio Benatti, 4260 - Jd do Sol  
Londrina/Paraná CEP 8670-370  
atendimento@exacty.com.br  
Fone: (43) 3304-0313

Versão: v.0 - Amostra: 3823.2025 | Data Emissão:09/04/2025 - Página.:1/1

EXACTY



### Relatório de Ensaio Nº: 3824.2025- V.0

<b>01. Dados Contratação:</b>	
<b>Solicitante:</b>	
<b>Razão Social:</b>	SERGIO AUGUSTO PEREIRA
<b>Proposta Comercial:</b>	394.2025.V1
<b>CNPJ/CPF:</b>	080.420.419-50 <b>Inscrição Estadual:</b> 10.934.475-3
<b>Endereço:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA - Cornelio Procopio/PR <b>CEP:</b> 86300000
<b>02. Dados da Amostra fornecida pelo Cliente:</b>	
<b>Descrição da Amostra:</b>	3824.2025 - P272
<b>Endereço Amostragem:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA <b>Cidade:</b> Cornelio Procopio/PR <b>CEP:</b> 86300000
<b>Responsável pela Amostragem:</b>	Solicitante
<b>Plano / Ficha Amostragem:</b>	1429.2025.V0
<b>Matriz e Origem Amostra:</b>	Água - Água de Poço
<b>Data de Amostragem:</b>	31/03/2025 10:50:00 <b>Característica da Amostra:</b> Simples
<b>03. Dados de Controle da Amostra:</b>	
<b>Data Recebimento:</b>	01/04/2025 12:34:00
<b>Data Início Amostra:</b>	04/04/2025 08:05:27 <b>Data Conclusão Amostra:</b> 04/04/2025 14:24:42

Parâmetros	Resultados	Un Trab	L.Q.	Metodologia	Início Ensaio
Nitrato	6,64	mg/L	2,20	POP 039	04/04/2025

**Legenda**

mg/L - Miligrama por Litro L.Q. - Limite de Quantificação, VMP - Valor Máximo Permitido, N.A. - Não Aplicável

**Notas. :**

1. Os resultados referem-se tão somente às características das respectivas amostras analisadas e não substituem ou invalidam resultados de amostras coletadas anteriormente. 2. Este Relatório de Ensaio somente pode ser reproduzido na sua totalidade e sem alterações. A reprodução parcial requer aprovação escrita do Laboratório Exacty. 3. Informações fornecidas pelo cliente não são de responsabilidade do Laboratório Exacty. 4. Quando o responsável pelo plano de estudo (amostragem/coleta) for o solicitante, os resultados dos ensaios se aplicam à amostra conforme recebida. 5. Quando aplicável, os ensaios são subcontratados em provedor externo (IAT CCL Nº 019R cujo CRL0361, CCL Nº 040R cujo CRL 0692 e CCL Nº 17R cujo CRL 0607). 6. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. A(s) incerteza(s) declarada(s) refere(m)-se à incerteza padrão de medição multiplicada por um fator de abrangência k tal que em uma distribuição normal, corresponde a uma probabilidade de abrangência de 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada seguindo as recomendações do Guia para Expressão de Incerteza de Medição. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. 7. Regra de Decisão: A(s) incerteza(s) expressa(s) nos relatórios, não são consideradas na conclusão/declaração de conformidade a uma especificação ou norma, ficando a critério do cliente e/ou parte interessada a aplicabilidade, ou não das incertezas informadas. A declaração da conformidade se baseia somente nos ensaios que possuem valor máximo ou mínimo permitido. 8. Plano de Amostragem: PSQ 002 - Técnicas de Amostragem e Preservação das Amostras / Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da ANA e SMEWW 23ª Edição, 2017.9. As opiniões e interpretações expressas não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório.

**GENTIL MARIO PINHEIRO JUNIOR:00641826907**

09/04/2025 11:16:00

ICP-Brasil - 250828181830Z



Documento assinado eletronicamente conforme MP nº 2.200-2/2001. O uso de certificados emitidos no âmbito da ICP-Brasil tem validade jurídica.

Gentil Mario Pinheiro Junior  
CRQ. 9ª Região 09100961

GENTIL M. P. JUNIOR

Responsável Técnico

Código de Verificação: 0010300159381011544130202500000



Exacty Análises Químicas LTDA  
Av. Abelio Benatti, 4260 - Jd do Sol  
Londrina/Paraná - CEP 8670-370  
atendimento@exacty.com.br  
Fone: (43) 3304-0313

Versão: v.0 - Amostra: 3824.2025 | Data Emissão:09/04/2025 - Página.:1/1

EXACTY



### Relatório de Ensaio Nº: 3825.2025- V.0

<b>01. Dados Contratação:</b>	
<b>Solicitante:</b>	
<b>Razão Social:</b>	SERGIO AUGUSTO PEREIRA
<b>Proposta Comercial:</b>	394.2025.V1
<b>CNPJ/CPF:</b>	080.420.419-50 <b>Inscrição Estadual:</b> 10.934.475-3
<b>Endereço:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA - Cornélio Procopio/PR <b>CEP:</b> 86300000
<b>02. Dados da Amostra fornecida pelo Cliente:</b>	
<b>Descrição da Amostra:</b>	3825.2025 - P368
<b>Endereço Amostragem:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA <b>Cidade:</b> Cornélio Procopio/PR <b>CEP:</b> 86300000
<b>Responsável pela Amostragem:</b>	Solicitante
<b>Plano / Ficha Amostragem:</b>	1429.2025.V0
<b>Matriz e Origem Amostra:</b>	Água - Água de Poço
<b>Data de Amostragem:</b>	31/03/2025 09:15:00 <b>Característica da Amostra:</b> Simples
<b>03. Dados de Controle da Amostra:</b>	
<b>Data Recebimento:</b>	01/04/2025 12:34:00
<b>Data Início Amostra:</b>	04/04/2025 08:05:27 <b>Data Conclusão Amostra:</b> 04/04/2025 14:24:42

Parâmetros	Resultados	Un Trab	L.Q.	Metodologia	Início Ensaio
Nitrato	3,85	mg/L	2,20	POP 039	04/04/2025

**Legenda**

mg/L - Miligrama por Litro L.Q. - Limite de Quantificação, VMP - Valor Máximo Permitido, N.A. - Não Aplicável

**Notas. :**

1. Os resultados referem-se tão somente às características das respectivas amostras analisadas e não substituem ou invalidam resultados de amostras coletadas anteriormente. 2. Este Relatório de Ensaio somente pode ser reproduzido na sua totalidade e sem alterações. A reprodução parcial requer aprovação escrita do Laboratório Exacty. 3. Informações fornecidas pelo cliente não são de responsabilidade do Laboratório Exacty. 4. Quando o responsável pelo plano de estudo (amostragem/coleta) for o solicitante, os resultados dos ensaios se aplicam à amostra conforme recebida. 5. Quando aplicável, os ensaios são subcontratados em provedor externo (IAT CCL Nº 019R cujo CRL0361, CCL Nº 040R cujo CRL 0692 e CCL Nº 17R cujo CRL 0607). 6. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. A(s) incerteza(s) declarada(s) refere(m)-se à incerteza padrão de medição multiplicada por um fator de abrangência k tal que em uma distribuição normal, corresponde a uma probabilidade de abrangência de 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada seguindo as recomendações do Guia para Expressão de Incerteza de Medição. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. 7. Regra de Decisão: A(s) incerteza(s) expressa(s) nos relatórios, não são consideradas na conclusão/declaração de conformidade a uma especificação ou norma, ficando a critério do cliente e/ou parte interessada a aplicabilidade, ou não das incertezas informadas. A declaração da conformidade se baseia somente nos ensaios que possuem valor máximo ou mínimo permitido. 8. Plano de Amostragem: PSQ 002 - Técnicas de Amostragem e Preservação das Amostras / Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da ANA e SMEWW 23ª Edição, 2017.9. As opiniões e interpretações expressas não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório.

**GENTIL MARIO PINHEIRO JUNIOR:00641826907**

09/04/2025 11:15:58

ICP-Brasil - 250828181830Z



Documento assinado eletronicamente conforme MP nº 2.200-2/2001. O uso de certificados emitidos no âmbito da ICP-Brasil tem validade jurídica.

Gentil Mario Pinheiro Junior  
CRQ. 9ª Região 09100961

GENTIL M. P. JUNIOR

Responsável Técnico

Código de Verificação: 0010300159381011544140202500000



Exacty Análises Químicas LTDA  
Av. Abelio Benatti, 4260 - Jd do Sol  
Londrina/Paraná - CEP 8670-370  
atendimento@exacty.com.br  
Fone: (43) 3304-0313

Versão: v.0 - Amostra: 3825.2025 | Data Emissão:09/04/2025 - Página.:1/1

EXACTY



### Relatório de Ensaio Nº: 3826.2025- V.0

<b>01. Dados Contratação:</b>	
<b>Solicitante:</b>	
<b>Razão Social:</b>	SERGIO AUGUSTO PEREIRA
<b>Proposta Comercial:</b>	394.2025.V1
<b>CNPJ/CPF:</b>	080.420.419-50 <b>Inscrição Estadual:</b> 10.934.475-3
<b>Endereço:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA - Cornélio Procopio/PR <b>CEP:</b> 86300000
<b>02. Dados da Amostra fornecida pelo Cliente:</b>	
<b>Descrição da Amostra:</b>	3826.2025 - P377
<b>Endereço Amostragem:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA <b>Cidade:</b> Cornélio Procopio/PR <b>CEP:</b> 86300000
<b>Responsável pela Amostragem:</b>	Solicitante
<b>Plano / Ficha Amostragem:</b>	1429.2025.V0
<b>Matriz e Origem Amostra:</b>	Água - Água de Poço
<b>Data de Amostragem:</b>	31/03/2025 17:00:00 <b>Característica da Amostra:</b> Simples
<b>03. Dados de Controle da Amostra:</b>	
<b>Data Recebimento:</b>	01/04/2025 12:34:00
<b>Data Início Amostra:</b>	04/04/2025 08:05:27 <b>Data Conclusão Amostra:</b> 04/04/2025 14:24:42

Parâmetros	Resultados	Un Trab	L.Q.	Metodologia	Início Ensaio
Nitrato	7,84	mg/L	2,20	POP 039	04/04/2025

**Legenda**

mg/L - Miligrama por Litro L.Q. - Limite de Quantificação, VMP - Valor Máximo Permitido, N.A. - Não Aplicável

**Notas. :**

1. Os resultados referem-se tão somente às características das respectivas amostras analisadas e não substituem ou invalidam resultados de amostras coletadas anteriormente. 2. Este Relatório de Ensaio somente pode ser reproduzido na sua totalidade e sem alterações. A reprodução parcial requer aprovação escrita do Laboratório Exacty. 3. Informações fornecidas pelo cliente não são de responsabilidade do Laboratório Exacty. 4. Quando o responsável pelo plano de estudo (amostragem/coleta) for o solicitante, os resultados dos ensaios se aplicam à amostra conforme recebida. 5. Quando aplicável, os ensaios são subcontratados em provedor externo (IAT CCL Nº 019R cujo CRL0361, CCL Nº 040R cujo CRL 0692 e CCL Nº 17R cujo CRL 0607). 6. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. A(s) incerteza(s) declarada(s) refere(m)-se à incerteza padrão de medição multiplicada por um fator de abrangência k tal que em uma distribuição normal, corresponde a uma probabilidade de abrangência de 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada seguindo as recomendações do Guia para Expressão de Incerteza de Medição. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. 7. Regra de Decisão: A(s) incerteza(s) expressa(s) nos relatórios, não são consideradas na conclusão/declaração de conformidade a uma especificação ou norma, ficando a critério do cliente e/ou parte interessada a aplicabilidade, ou não das incertezas informadas. A declaração da conformidade se baseia somente nos ensaios que possuem valor máximo ou mínimo permitido. 8. Plano de Amostragem: PSQ 002 - Técnicas de Amostragem e Preservação das Amostras / Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da ANA e SMEWW 23ª Edição, 2017.9. As opiniões e interpretações expressas não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório.

**GENTIL MARIO PINHEIRO JUNIOR:00641826907**

09/04/2025 11:15:57

ICP-Brasil - 250828181830Z



Documento assinado eletronicamente conforme MP nº 2.200-2/2001. O uso de certificados emitidos no âmbito da ICP-Brasil tem validade jurídica.

Gentil Mario Pinheiro Junior  
CRQ. 9ª Região 09100961

GENTIL M. P. JUNIOR

Responsável Técnico

Código de Verificação: 0010300159381011544150202500000



Exacty Análises Químicas LTDA  
Av. Abelio Benatti, 4260 - Jd do Sol  
Londrina/Paraná - CEP 8670-370  
atendimento@exacty.com.br  
Fone: (43) 3304-0313

Versão: v.0 - Amostra: 3826.2025 | Data Emissão:09/04/2025 - Página.:1/1

EXACTY



### Relatório de Ensaio Nº: 3827.2025- V.0

<b>01. Dados Contratação:</b>	
<b>Solicitante:</b>	
<b>Razão Social:</b>	SERGIO AUGUSTO PEREIRA
<b>Proposta Comercial:</b>	394.2025.V1
<b>CNPJ/CPF:</b>	080.420.419-50 <b>Inscrição Estadual:</b> 10.934.475-3
<b>Endereço:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA - Cornelio Procopio/PR <b>CEP:</b> 86300000
<b>02. Dados da Amostra fornecida pelo Cliente:</b>	
<b>Descrição da Amostra:</b>	3827.2025 - P383
<b>Endereço Amostragem:</b>	RUA TIRADENTES ,137 VILA INDEPENDENCIA <b>Cidade:</b> Cornelio Procopio/PR <b>CEP:</b> 86300000
<b>Responsável pela Amostragem:</b>	Solicitante
<b>Plano / Ficha Amostragem:</b>	1429.2025.V0
<b>Matriz e Origem Amostra:</b>	Água - Água de Poço
<b>Data de Amostragem:</b>	31/03/2025 17:40:00 <b>Característica da Amostra:</b> Simples
<b>03. Dados de Controle da Amostra:</b>	
<b>Data Recebimento:</b>	01/04/2025 12:34:00
<b>Data Início Amostra:</b>	04/04/2025 08:05:27 <b>Data Conclusão Amostra:</b> 04/04/2025 14:24:42

Parâmetros	Resultados	Un Trab	L.Q.	Metodologia	Início Ensaio
Nitrato	5,91	mg/L	2,20	POP 039	04/04/2025

#### Legenda

mg/L - Miligrama por Litro L.Q. - Limite de Quantificação, VMP - Valor Máximo Permitido, N.A. - Não Aplicável

#### Notas. :

1. Os resultados referem-se tão somente às características das respectivas amostras analisadas e não substituem ou invalidam resultados de amostras coletadas anteriormente. 2. Este Relatório de Ensaio somente pode ser reproduzido na sua totalidade e sem alterações. A reprodução parcial requer aprovação escrita do Laboratório Exacty. 3. Informações fornecidas pelo cliente não são de responsabilidade do Laboratório Exacty. 4. Quando o responsável pelo plano de estudo (amostragem/coleta) for o solicitante, os resultados dos ensaios se aplicam à amostra conforme recebida. 5. Quando aplicável, os ensaios são subcontratados em provedor externo (IAT CCL Nº 019R cujo CRL0361, CCL Nº 040R cujo CRL 0692 e CCL Nº 17R cujo CRL 0607). 6. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. A(s) incerteza(s) declarada(s) refere(m)-se à incerteza padrão de medição multiplicada por um fator de abrangência k tal que em uma distribuição normal, corresponde a uma probabilidade de abrangência de 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada seguindo as recomendações do Guia para Expressão de Incerteza de Medição. A incerteza dos ensaios inclui a contribuição da amostragem. 7. Regra de Decisão: A(s) incerteza(s) expressa(s) nos relatórios, não são consideradas na conclusão/declaração de conformidade a uma especificação ou norma, ficando a critério do cliente e/ou parte interessada a aplicabilidade, ou não das incertezas informadas. A declaração da conformidade se baseia somente nos ensaios que possuem valor máximo ou mínimo permitido. 8. Plano de Amostragem: PSQ 002 - Técnicas de Amostragem e Preservação das Amostras / Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da ANA e SMEWW 23ª Edição, 2017.9. As opiniões e interpretações expressas não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório.

**GENTIL MARIO PINHEIRO JUNIOR:00641826907**

09/04/2025 11:15:55

ICP-Brasil - 250828181830Z



Documento assinado eletronicamente conforme MP nº 2.200-2/2001. O uso de certificados emitidos no âmbito da ICP-Brasil tem validade jurídica.

Gentil Mario Pinheiro Junior  
CRQ. 9ª Região 09100961

GENTIL M. P. JUNIOR

Responsável Técnico

Código de Verificação: 0010300159381011544160202500000



Exacty Análises Químicas LTDA  
Av. Abelio Benatti, 4260 - Jd do Sol  
Londrina/Paraná - CEP 8670-370  
atendimento@exacty.com.br  
Fone: (43) 3304-0313

Versão: v.0 - Amostra: 3827.2025 | Data Emissão:09/04/2025 - Página.:1/1