

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
LINHA DE PESQUISA: ANÁLISE AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
NOS MUNICÍPIOS DE SIDROLÂNDIA (MS) E SÃO FRANCISCO DE ASSIS (RS)**

BRANDALY STAUDT
ORIENTADORA: PROF.^a DR.^a ELIANA LIMA DA FONSECA

Porto Alegre

2023

BRANDALY STAUDT

**AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
NOS MUNICÍPIOS DE SIDROLÂNDIA (MS) E SÃO FRANCISCO DE ASSIS (RS)**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador(a): Eliana Lima da Fonseca

Porto Alegre

2023

CIP - Catalogação na Publicação

Staudt, Brandaly

Avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas nos municípios de Sidrolândia (MS) e São Francisco de Assis (RS) / Brandaly Staudt. -- 2023. 325 f.

Orientadora: Eliana Lima da Fonseca.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Índice GOD. 2. Índice de Susceptibilidade. 3. Índice POSH. 4. Vulnerabilidade de Aquífero. 5. Uso e Ocupação do Solo. I. Fonseca, Eliana Lima da, orient. II. Título.

Brandaly Staudt

**AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
NOS MUNICÍPIOS DE SIDROLÂNDIA (MS) E SÃO FRANCISCO DE ASSIS (RS)**

Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Aprovado em: _____ de _____ de _____ .

BANCA EXAMINADORA

Professora Dra. Franciéle Schwanck Carlos – IPH - UFRGS

Professora Dra. Nina Simone Vilaverde Moura – POSGEA - UFRGS

Professor Dr. Luís Alberto Basso – POSGEA - UFRGS

Professora Dra. Eliana Lima da Fonseca – POSGEA / UFRGS (orientadora)

Dedico este trabalho ao meu filho, Gustavo,
meu maior orgulho e meu maior apoiador.

AGRADECIMENTOS

São inúmeros os agradecimentos, diferentes pessoas e órgãos me auxiliaram nesta jornada e foram de ajuda ímpar na execução dos trabalhos, sendo uma satisfação agradecer a todos. Dentre eles, agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela viabilização deste trabalho e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – pela concessão de auxílio financeiro. Ao Programa de Pós Graduação em Geografia – POSGEA – pelo suporte para a realização da pesquisa.

À professora Dra. Eliana Lima da Fonseca, pela orientação, dedicação, incentivo, apoio, confiança, carinho e respeito durante esta trajetória; por ter acreditado no potencial desta pesquisa e por toda orientação que me foi dada.

Aos professores Dra. Nina Simone Vilaverde Moura e Dr. Luís Alberto Basso com sugestões e correções que ajudaram a enriquecer este trabalho, durante a qualificação do mesmo.

Aos professores, Dra. Franciéle Schwanck Carlos, Dra. Nina Simone Vilaverde Moura e Dr. Luís Alberto Basso por aceitarem o convite para banca examinadora, proporcionando uma maior lapidação da pesquisa.

Aos professores do POSGEA com quem tive oportunidade de estudar e adquirir conhecimento, dentre eles: Professor Dr. Francisco Eliseu Aquino, Professor Dr. Marcos Wellausen Dias de Freitas, Professor Dr. Roberto Verdum, Professora Dra. Lucimar de Fátima dos Santos Vieira, Professor Dr. Luis Eduardo de Souza Robaina.

Aos funcionários do POSGEA, na figura do Pedro e da Luciane, por estarem sempre à disposição para sanar dúvidas e ajudar nas questões do cotidiano da pós graduação.

Aos colegas de pós graduação, apesar da distância, em decorrência da pandemia, pude aprender muito com os colegas durante as aulas remotas, e, na medida do possível, trocamos experiências neste período conturbado.

Agradeço ao Governo Federal pela elaboração dos dados utilizados na pesquisa, dados confeccionados, em maioria, pela CPRM e IBGE. Bem como, agradeço por disponibilizar os dados para acesso livre para que outros produtos possam ser gerados a partir destes dados; isso demonstra a importância destes órgãos para o crescimento científico do país, bem como, ressalta a importância da pesquisa para um país verdadeiramente soberano.

Outros órgãos também merecem agradecimento por disponibilizarem dados, são eles: IMASUL, FEPAM, SEMA, SEMAGRO, INPE, ECONODATA, ESA, EMBRAPA,

APROSOJA, Sindicato Rural, Governo do Estado do Rio Grande do Sul e Governo do Estado do Mato Grosso do Sul.

Gostaria de agradecer aos meus pais, Stela e Milton, pelo apoio, suporte e por acreditarem no meu potencial, aos meus irmãos, Cristian e Andressa, por sempre estarem ao meu lado, me incentivando. Ao meu filho, Gustavo, por sempre me apoiar e, por tantas vezes, acreditar mais em mim do que eu mesma. Ao meu companheiro, Maico, por me acolher e me apoiar diante das minhas crises de ansiedade e depressão. Aos meus bichinhos, Spike, Maze, Costela e Chico, que sempre estavam por perto e acompanhavam o progresso do projeto. E à jornalistas e comunicadores cujo trabalho foi relevante nestes últimos anos, são eles os canais do YouTube: Meteoro Brasil, Galãs Feios, Diva Depressão, DCM TV e TV 247.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram com este trabalho.

"Nossa riqueza é a nossa liberdade.
Esta terra tem dono e não é
nem português nem espanhol,
mas Guarani"
Sepé Tiaraju

RESUMO

Com o aumento do uso das águas subterrâneas aumenta também a necessidade de avaliar a vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos e o risco de contaminação destas águas relacionados com o uso do solo. Nesse contexto, esse trabalho apresenta essa avaliação para Sidrolândia (MS) e São Francisco de Assis (RS), municípios que possuem similaridades hidrogeológicas e de uso da água, bem como, uso do território similar. Os dois municípios possuem grandes áreas de agricultura, com monocultura de soja, com utilização de fertilizantes e agrotóxicos. Para essa avaliação foram utilizados os índices GOD (Groundwater occurrence, lithology of the Overlying e Depth of groundwater), IS (Índice de Susceptibilidade) e POSH (Pollutant Origin and its Surcharge Hydraulically); os dados tabulares e numéricos para os cálculos foram obtidos de diversas fontes oficiais do governo e do setor privado, em especial do Sistema de Águas Subterrâneas (SIAGAS). Os índices foram calculados em planilha eletrônica e os resultados foram inseridos em Sistema de Informações Geográficas (SIG) onde foram gerados mapas espacializados para cada um dos índices. Foi observado que em Sidrolândia as áreas de maior vulnerabilidade intrínseca do aquífero são as mesmas que apresentam o uso do solo mais intenso e assim, coincidem, também, com as áreas de maior risco de contaminação. Para São Francisco de Assis, as áreas com maior vulnerabilidade intrínseca do aquífero são as que possuem menor risco de contaminação, e, onde o uso do solo é mais intenso, a vulnerabilidade natural do aquífero é mais baixa. Com base nos resultados se sugere um manejo adequado do solo, com processos que degradem menos o ambiente, a diminuição na utilização de fertilizantes e agroquímicos e a incorporação de técnicas mais conservacionistas do solo e sistemas agroecológicos visando minimizar o risco de contaminação dos aquíferos.

Palavras-chaves: Índice GOD. Índice de Susceptibilidade. Índice POSH. Vulnerabilidade de Aquífero. Uso e Ocupação do Solo.

ABSTRACT

With groundwater use increasing, the demand to evaluate the intrinsic vulnerability of aquifers and the risk of contamination of these waters related to soil use also increases. In this context, this dissertation presents this kind of assessment for Sidrolândia (MS) and São Francisco de Assis (RS), both municipalities with hydrogeological and water use similarities and, also, similar land use. The two municipalities have large areas of agriculture, with soybean monoculture, based on the use of fertilizers and pesticides. For this evaluation, the GOD (Groundwater occurrence, lithology of the Overlying and Depth of groundwater), IS (Susceptibility Index) and POSH (Pollutant Origin and its Surcharge Hydraulically) indices were used; tabular and numerical data for the analyses were obtained from various official government and private sector sources, in particular the Groundwater System (SIAGAS). The indices were calculated in an electronic spreadsheet and the results were exported to a Geographic Information System (GIS), where spatial maps were generated for all indices. In Sidrolândia, the areas where the aquifer presents higher intrinsic vulnerability are the areas with the most intense soil use. Therefore the same areas also overlap with the areas with the most significant risk of contamination. For São Francisco de Assis, the areas with the greatest intrinsic vulnerability of the aquifer are those with the lowest risk of contamination, and, where land use is more intense, the natural vulnerability of the aquifer is lower. The results suggest using soil management with fewer processes that degrade the environment, reducing the use of fertilizers and agrochemicals and incorporating more conservationist soil techniques and agroecological systems to minimize the risk of aquifer contamination.

Keywords: GOD Index. Susceptibility Index. POSH Index. Aquifer Vulnerability. Land Use and Occupation.

LISTAS DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Caracterização das zonas saturada e não saturada</i>	- 16 -
<i>Figura 2 - Localização da Bacia do Paraná</i>	- 20 -
<i>Figura 3 - Localização do SAG</i>	- 22 -
<i>Figura 4 - Perigo de contaminação da água subterrânea</i>	- 31 -
<i>Figura 5 - Caracterização do índice GOD</i>	- 33 -
<i>Figura 6 - Caracterização do Índice IS</i>	- 35 -
<i>Figura 7 - Caracterização do Índice POSH</i>	- 37 -
<i>Figura 8 - Caracterização dos Domínios pedomorfoagroclicmáticos</i>	- 39 -
<i>Figura 9 - Localização do município de Sidrolândia</i>	- 48 -
<i>Figura 10 - Distritos de Sidrolândia</i>	- 50 -
<i>Figura 11 - Uso do território em Sidrolândia</i>	- 51 -
<i>Figura 12 - Abastecimento de água municipal em Sidrolândia</i>	- 52 -
<i>Figura 13 - Recursos hídricos de Sidrolândia</i>	- 54 -
<i>Figura 14 - Mapa de solos de Sidrolândia</i>	- 56 -
<i>Figura 15 - Mapa litológico de Sidrolândia</i>	- 59 -
<i>Figura 16 - Mapa litoestratigráfico e estruturas de Sidrolândia</i>	- 60 -
<i>Figura 17 - Mapa hidroestratigráfico de Sidrolândia</i>	- 61 -
<i>Figura 18 - Zonas agroecológicas do município de Sidrolândia</i>	- 64 -
<i>Figura 19 - Localização do município de São Francisco de Assis</i>	- 68 -
<i>Figura 20 - Distritos de São Francisco de Assis</i>	- 70 -
<i>Figura 21 - Uso do território de São Francisco de Assis</i>	- 71 -
<i>Figura 22 - Abastecimento de água municipal em São Francisco de Assis</i>	- 72 -
<i>Figura 23 - Recursos Hídricos de São Francisco de Assis</i>	- 73 -
<i>Figura 24 - Mapa de solos de São Francisco de Assis</i>	- 75 -
<i>Figura 25 - Mapa litoestratigráfico e de estruturas de São Francisco de Assis</i>	- 77 -
<i>Figura 26 - Mapa litológico de São Francisco de Assis</i>	- 78 -
<i>Figura 27 - Mapa hidrogeológico de São Francisco de Assis</i>	- 80 -
<i>Figura 28 - Mapa de adequação do uso do solo de São Francisco de Assis</i>	- 82 -
<i>Figura 29 - Localização dos areais no município de São Francisco de Assis</i>	- 84 -
<i>Figura 30 - Localização dos poços em Sidrolândia</i>	- 89 -
<i>Figura 31 - Localização dos poços cadastrados em Sidrolândia no Cerberus</i>	- 91 -
<i>Figura 32 - Relação entre litologia da zona saturada e hidroestratigrafia em Sidrolândia</i>	- 94 -
-	
<i>Figura 33 - Localização dos poços com análises químicas em Sidrolândia</i>	- 95 -
<i>Figura 34 - Relação do NE com a hidrogeologia em Sidrolândia</i>	- 98 -
<i>Figura 35 - Mapa com localização de algumas nascentes em Sidrolândia</i>	- 103 -
<i>Figura 36 - Localização dos poços em São Francisco de Assis</i>	- 106 -
<i>Figura 37 - Localização dos poços cadastrados no SIOUT RS em São Francisco de Assis</i>	- 109 -
<i>Figura 38 - Relação entre litologia da zona saturada e hidroestratigrafia em São Francisco de Assis</i>	- 113 -
<i>Figura 39 - Localização dos poços com análises químicas em São Francisco de Assis</i>	- 115 -
<i>Figura 40 - Relação do NE com a hidrogeologia em São Francisco de Assis</i>	- 117 -
<i>Figura 41 Mapa com localização de algumas nascentes em São Francisco de Assis</i>	- 124 -

<i>Figura 42 Localização dos poços e dos areais em São Francisco de Assis</i>	- 126 -
<i>Figura 43 - Expressão GOD</i>	- 133 -
<i>Figura 44 – Expressão IS</i>	- 134 -
<i>Figura 45 – Esquema metodologia POSH pontual</i>	- 135 -
<i>Figura 46 – Esquema metodologia POSH difuso</i>	- 136 -
<i>Figura 47 – Índice GOD em Sidrolândia</i>	- 140 -
<i>Figura 48 – Valores de GOD dos poços em Sidrolândia</i>	- 141 -
<i>Figura 49 Localização dos poços e o índice GOD em Sidrolândia</i>	- 144 -
<i>Figura 50 – Parâmetro G, do município de Sidrolândia</i>	- 146 -
<i>Figura 51 Parâmetro O, do município de Sidrolândia</i>	- 148 -
<i>Figura 52 - Parâmetro D, do município de Sidrolândia</i>	- 150 -
<i>Figura 53 - Índice IS em Sidrolândia</i>	- 153 -
<i>Figura 54 - Valores de IS em Sidrolândia</i>	- 154 -
<i>Figura 55 - Localização dos poços e o Índice IS em Sidrolândia</i>	- 157 -
<i>Figura 56 - Parâmetro D, do município de Sidrolândia</i>	- 159 -
<i>Figura 57 - Parâmetro R, do município de Sidrolândia</i>	- 161 -
<i>Figura 58 - Parâmetro A, do município de Sidrolândia</i>	- 163 -
<i>Figura 59 - Parâmetro T, do município de Sidrolândia</i>	- 165 -
<i>Figura 60 - MDE de Sidrolândia</i>	- 166 -
<i>Figura 61 - Parâmetro LU, do município de Sidrolândia</i>	- 168 -
<i>Figura 62 - Índice POSH pontual em Sidrolândia</i>	- 171 -
<i>Figura 63 – Mosaico de Sidrolândia com as classes separadamente – a. reduzido; b. moderado; c. elevado</i>	- 175 -
<i>Figura 64 - Localização dos poços e o índice POSH pontual em Sidrolândia</i>	- 176 -
<i>Figura 65 – Índice POSH difuso em Sidrolândia</i>	- 180 -
<i>Figura 66 - Localização dos poços e o Índice POSH difuso em Sidrolândia</i>	- 181 -
<i>Figura 67 – Mapa de uso do solo de Sidrolândia</i>	- 183 -
<i>Figura 68 - Mapa de uso do solo e os poços de Sidrolândia</i>	- 184 -
<i>Figura 69 - Domínio Pedomorfoagroclimático do Alto Taquari / MS</i>	- 185 -
<i>Figura 70 - Domínio Pedomorfoagroclimático em Sidrolândia / MS</i>	- 186 -
<i>Figura 71 - Domínio Pedomorfoagroclimático destacados de Sidrolândia</i>	- 187 -
<i>Figura 72 - Risco de contaminação por atividades agropecuárias em Sidrolândia</i>	- 188 -
<i>Figura 73 - Localização dos poços e o Risco de contaminação por atividades agropecuárias em Sidrolândia</i>	- 190 -
<i>Figura 74 - Relação de GOD com o IS em Sidrolândia</i>	- 192 -
<i>Figura 75 - – Relação GOD e POSH pontual em Sidrolândia</i>	- 193 -
<i>Figura 76 - Relação IS e POSH pontual em Sidrolândia</i>	- 195 -
<i>Figura 77 - Relação POSH difuso e IS (a) / POSH difuso e GOD (b) em Sidrolândia</i>	- 196 -
<i>Figura 78 - Relação entre o IS e poços rasos e nascentes em Sidrolândia</i>	- 198 -
<i>Figura 79 – Relação entre o GOD e poços rasos e nascentes em Sidrolândia</i>	- 199 -
<i>Figura 80 - Relação uso do solo e POSH pontual em Sidrolândia</i>	- 201 -
<i>Figura 81 - elação do uso do solo e POSH difuso em Sidrolândia</i>	- 203 -
<i>Figura 82 - Mosaico do mapa de uso do solo com os índices GOD (a) e IS (b) em Sidrolândia</i>	- 205 -
<i>Figura 83 - Relação entre o IS (a) e o risco de contaminação através dos domínios pedomorfoagroclimáticos (b) em Sidrolândia</i>	- 207 -

<i>Figura 84 - Relação entre o GOD (A) e o risco de contaminação (B) através dos domínios pedomorfoagroclimáticos em Sidrolândia</i>	- 208 -
<i>Figura 85 – Índice GOD em São Francisco de Assis</i>	- 210 -
<i>Figura 86 - Valores de GOD em São Francisco de Assis</i>	- 211 -
<i>Figura 87 – Localização dos poços e o índice GOD em São Francisco de Assis</i>	- 214 -
<i>Figura 88 – Parâmetro G, do município de São Francisco de Assis</i>	- 216 -
<i>Figura 89 - Parâmetro O, do município de São Francisco de Assis</i>	- 218 -
<i>Figura 90 – Parâmetro D, do município de São Francisco de Assis</i>	- 220 -
<i>Figura 91 - Índice IS em São Francisco de Assis</i>	- 223 -
<i>Figura 92 - Valores de IS em São Francisco de Assis</i>	- 224 -
<i>Figura 93 - Localização dos poços e o Índice IS em São Francisco de Assis</i>	- 227 -
<i>Figura 94 – Parâmetro D, do município de São Francisco de Assis</i>	- 229 -
<i>Figura 95 - Parâmetro R, do município de São Francisco de Assis</i>	- 231 -
<i>Figura 96 - Parâmetro A, do município de São Francisco de Assis</i>	- 233 -
<i>Figura 97 – Parâmetro T, do município de São Francisco de Assis</i>	- 235 -
<i>Figura 98 - MDE de São Francisco de Assis</i>	- 236 -
<i>Figura 99 - Parâmetro LU, do município de São Francisco de Assis</i>	- 238 -
<i>Figura 100 – Índice POSH pontual em São Francisco de Assis</i>	- 241 -
<i>Figura 101 – Mosaico de São Francisco de Assis com as classes separadamente – a. reduzido; b. moderado; c. elevado</i>	- 245 -
<i>Figura 102 - Localização dos poços e o índice POSH pontual em São Francisco de Assis</i>	- 246 -
-	
<i>Figura 103 – Índice POSH difuso em São Francisco de Assis</i>	- 250 -
<i>Figura 104 – Localização dos poços e o Índice POSH difuso em São Francisco de Assis</i>	- 251 -
-	
<i>Figura 105 – Mapa de uso do solo de São Francisco de Assis</i>	- 253 -
<i>Figura 106 – Mapa de uso do solo e os poços de São Francisco de Assis</i>	- 254 -
<i>Figura 107 – Domínio Pedomorfoagroclimático do RS</i>	- 255 -
<i>Figura 108 - Domínio Pedomorfoagroclimático em São Francisco de Assis/RS</i>	- 255 -
<i>Figura 109 – Domínios Pedomorfoagroclimáticos destacados em São Francisco de Assis</i>	- 258 -
<i>Figura 110 – Risco de contaminação por atividades agropecuárias em São Francisco de Assis</i>	- 259 -
<i>Figura 111 - Localização dos poços e o Risco de contaminação por atividades agropecuárias em São Francisco de Assis</i>	- 261 -
<i>Figura 112 – Relação entre os índices GOD e IS em São Francisco de Assis</i>	- 263 -
<i>Figura 113 – Relação do IS (a) e GOD (b) com a localização das áreas de surgência em São Francisco de Assis</i>	- 264 -
<i>Figura 114 – Relação do GOD (a) e IS (b) com os poços cadastrados no SIOUT em São Francisco de Assis</i>	- 265 -
<i>Figura 115 – Relação GOD e POSH em São Francisco de Assis</i>	- 266 -
<i>Figura 116 – Relação IS e POSH pontual em São Francisco de Assis</i>	- 268 -
<i>Figura 117 – Relação uso do solo e POSH em São Francisco de Assis</i>	- 270 -
<i>Figura 118 – Relação POSH difuso e IS (a) / POSH difuso e GOD (b) em São Francisco de Assis</i>	- 273 -
<i>Figura 119 - Relação entre uso do solo e POSH difuso em São Francisco de Assis</i>	- 274 -

- Figura 120 – Mosaico de São Francisco de Assis dos mapas de uso do solo com GOD (a) e IS (b) _____ - 276 -*
- Figura 121 – Relação entre o IS (a) e o risco de contaminação através dos domínios pedomorfoagroclicmáticos (b) em São Francisco de Assis _____ - 279 -*
- Figura 122 – Relação entre o GOD (a) e o risco de contaminação através dos domínios pedomorfoagroclicmáticos (b) em São Francisco de Assis _____ - 279 -*

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Principais atividades agropecuárias em Sidrolândia (MS)</i>	- 65 -
<i>Tabela 2 – Principais atividades agropecuárias de São Francisco de Assis (RS)</i>	- 85 -
<i>Tabela 3 - Dados dos poços do SIAGAS em Sidrolândia</i>	- 92 -
<i>Tabela 4 - Dados dos mapas de Sidrolândia</i>	- 92 -
<i>Tabela 5 - Valores das análises químicas em Sidrolândia</i>	- 100 -
<i>Tabela 6 - Valores de outros elementos químicos em Sidrolândia</i>	- 102 -
<i>Tabela 7 - Dados dos poços cadastrados no SIOUT RS em São Francisco de Assis</i>	- 109 -
<i>Tabela 8 - Dados dos poços do SIAGAS em São Francisco de Assis</i>	- 111 -
<i>Tabela 9 - Dados dos mapas em São Francisco de Assis</i>	- 111 -
<i>Tabela 10 - Valores das análises químicas em São Francisco de Assis</i>	- 119 -
<i>Tabela 11 – Valores de outros elementos químicos (mg/l) em São Francisco de Assis</i>	- 122 -
<i>Tabela 12 - Dados utilizados, formatos e fontes dos poços</i>	- 127 -
<i>Tabela 13 – Dados utilizados, formatos e fontes vetoriais e imagens raster</i>	- 128 -
<i>Tabela 14– Dados utilizados, formatos e fontes para planilhas e índices</i>	- 129 -
<i>Tabela 15 – Dados utilizados, formatos e fontes para os índices</i>	- 130 -
<i>Tabela 16 – Dados com necessidade de conversão</i>	- 131 -
<i>Tabela 17 - Valores do índice GOD nos poços em Sidrolândia</i>	- 142 -
<i>Tabela 18 – Tabela dos poços e o Índice GOD em Sidrolândia</i>	- 143 -
<i>Tabela 19 - Dados do Parâmetro G, do município de Sidrolândia</i>	- 147 -
<i>Tabela 20 Dados do Parâmetro O, do município de Sidrolândia</i>	- 149 -
<i>Tabela 21 – Dados do Parâmetro D, do município de Sidrolândia</i>	- 151 -
<i>Tabela 22 - Valores do índice IS em Sidrolândia</i>	- 156 -
<i>Tabela 23 - Tabela dos poços e o Índice IS em Sidrolândia</i>	- 157 -
<i>Tabela 24 - Dados do Parâmetro D, do município de Sidrolândia</i>	- 160 -
<i>Tabela 25 - Dados do Parâmetro R, do município de Sidrolândia</i>	- 161 -
<i>Tabela 26 - Dados do Parâmetro A, do município de Sidrolândia</i>	- 163 -
<i>Tabela 27 - Dados do Parâmetro T, do município de Sidrolândia</i>	- 166 -
<i>Tabela 28 - Dados do Parâmetro LU, do município de Sidrolândia</i>	- 168 -
<i>Tabela 29 – Classe reduzida e empreendimentos em Sidrolândia</i>	- 172 -
<i>Tabela 30 – Classe moderada e empreendimentos em Sidrolândia</i>	- 172 -
<i>Tabela 31 – Classe elevada e empreendimentos em Sidrolândia</i>	- 173 -
<i>Tabela 32 - Dados das fontes difusas do POSH em Sidrolândia</i>	- 180 -
<i>Tabela 33 - Uso do solo de Sidrolândia</i>	- 185 -
<i>Tabela 34 - Relação empreendimentos no POSH, GOD e IS em Sidrolândia</i>	- 194 -
<i>Tabela 35 - Relação entre uso do solo e POSH em Sidrolândia</i>	- 202 -
<i>Tabela 36 - Valores do Índice GOD nos poços em São Francisco de Assis</i>	- 212 -
<i>Tabela 37 - Dados dos poços e o Índice GOD em São Francisco de Assis</i>	- 213 -
<i>Tabela 38 - Dados do Parâmetro G, do município de São Francisco de Assis</i>	- 216 -
<i>Tabela 39 – Dados do Parâmetro O, do município de São Francisco de Assis</i>	- 219 -
<i>Tabela 40 - Dados do Parâmetro D, do município de São Francisco de Assis</i>	- 221 -
<i>Tabela 41 - Valores do índice IS em São Francisco de Assis</i>	- 225 -
<i>Tabela 42 - Tabela dos poços e o Índice IS em São Francisco de Assis</i>	- 226 -
<i>Tabela 43 - Dados do Parâmetro D, do município de São Francisco de Assis</i>	- 230 -
<i>Tabela 44 – Dados do Parâmetro R, do município de São Francisco de Assis</i>	- 231 -

<i>Tabela 45 - Dados do Parâmetro A, do município de São Francisco de Assis</i>	<i>_____ - 234 -</i>
<i>Tabela 46 – Dados do Parâmetro T, do município de São Francisco de Assis</i>	<i>_____ - 237 -</i>
<i>Tabela 47 – Dados do Parâmetro LU, do município de São Francisco de Assis</i>	<i>_____ - 239 -</i>
<i>Tabela 48 – Classe reduzido e empreendimentos em São Francisco de Assis</i>	<i>_____ - 242 -</i>
<i>Tabela 49 – Classe moderado e empreendimentos em São Francisco de Assis</i>	<i>_____ - 242 -</i>
<i>Tabela 50 – Classe elevado e empreendimentos em São Francisco de Assis</i>	<i>_____ - 243 -</i>
<i>Tabela 51 – Dados das fontes difusas do POSH em São Francisco de Assis</i>	<i>_____ - 250 -</i>
<i>Tabela 52 – Uso do solo de São Francisco de Assis</i>	<i>_____ - 252 -</i>
<i>Tabela 53 – Relação empreendimentos no POSH, GOD e IS em São Francisco de Assis</i>	<i>- 267 -</i>
<i>Tabela 54 – Relação entre uso do solo e POSH pontual em São Francisco de Assis</i>	<i>____ - 271 -</i>

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

μ s – microSiemens
 μ t - microTesla
A - Aquifer media
A - Argissolos
ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGEITEC – Agência de Informação Tecnológica
Al - alumínio
ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APP - Área de Proteção Permanente
AP - Antes do Presente
AP – planossolos
Aprosoja – Associação brasileira dos produtores de soja
Art – Anotação de Responsabilidade Técnica
As – arsênio
AVI – Aquifer Vulnerability Index
Ba - bário
BDG - Banco de Dados Geodésico
CaCO₃ – Carbonato de cálcio
CE - Condutividade elétrica
CEP – Código de Endereçamento Postal
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CEURH – Cadastro de Usuários de Recursos Hídricos
Cl - cloreto sódio
cm – centímetros
CNARH - Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento
CPRM - Serviço Geológico do Brasil
Cr - cromo
CX - cambissolos háplicos

D – depth

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DPI – Divisão de Processamento de Imagens

DRASTIC - Depth, Recharge, Aquifer media, Soil media, Topography, Impact of vadose zone, Hydraulic conductivity

DRH – Departamento de Recursos Hídricos

EEEB - Estação Elevatória de Esgoto Bruto

ELETRORAS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ESA - European Space Agency

ESRI - Environmental Systems Research Institute

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

F - fluoreto

FAMASUL – Federação da Agricultura e Pecuário do Mato Grosso do Sul

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS

FUNAI – Fundação Nacional do Índio

G - Groundwater occurrence

GEE - Google Earth Engine

GO - Goiás

GOD - Groundwater occurrence, lithology of the Overlying, Depth of groundwater

GX - Gleissolo

h - hora

hab. - habitantes

ha – hectares

IARC - Agência Internacional de Pesquisa em Câncer

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDW - Inverse Distance Weighted

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano

IMASUL - Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IRGA – Instituto Riograndense do Arroz

IS - Índice de Susceptibilidade

K - Condutividade hidráulica

kg - quilograma

km² - quilômetros quadrados

km³ - quilômetros cúbicos

L.s-1 .km-2 – Vazão específica por quilômetro

l – litros

LU – Land Use

LV – Latossolo vermelho

m - metros

m³ - metros cúbicos

MDT - Modelo Digital de Terreno

mg - miligramas

mha - milhões de hectares

MMA - Ministério do Meio Ambiente

Mn - manganês

MP – Ministério Público

MS - Mato Grosso do Sul

MT - Mato Grosso

N - norte

n^o - número

Na - sódio

ND - Nível Dinâmico

NE - Nível Estático

NE – nordeste

NO - noroeste

NO₂ - nitrito

NO₃ - nitrato

O - lithology of the Overlying

OD – Oxigênio Dissolvido

Pb - chumbo

PDF - Portable Document Format

PERH - Plano Estadual de Recursos Hídricos

pH - Potencial Hidrogeniônico

PIB - Produto Interno Bruto

POSH - Pollutant Origin and its Surcharge Hydraulically

R - Recharge
RIGEO - Repositório Institucional de Geociências
RL - Neossolo litólico
RQ - Neossolo quartzarênico
RS - Rio Grande do Sul
s – segundos
S – sul
SE - sudeste
Se - selênio
SO4 - sulfato
SAB – Sistema Aquífero Bauru
SAG - Sistema Aquífero Guarani
SANESUL - Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul
SASG - Sistema Aquífero Serra Geral
SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micros e Pequenas Empresas
SEDHAST - Secretaria de Estado de Direitos Humanos, Assistência Social e Trabalho
SECID/MS - Subsecretaria Especial de Cidadania / Mato Grosso do Sul
SEMA - Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Infraestrutura
SIAGAS - Sistema de Informação de Águas Subterrâneas
SIG - Sistema de Informações Geográficas
SIOUT / RS – Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul
SP - São Paulo
SPD – Sistema de Plantio Direto
SRTM – Shuttle Radar Topography Mission
STD - Sólidos Totais Dissolvidos
SW - sudoeste
T – Topography
Tiff – Tagged Image File Format
UPG - Unidade de Planejamento e Gerenciamento
UTC - Universal Coordinated Time
UTM – Universal Transversa de Mercator
VMP - Valores Máximos Permitidos
VRQ - Valores de Referência de Qualidade
ZAI - Zona Agroecológica recomendada para agricultura Intensiva

ZAS – Zona Agroecológica recomendada para agricultura Semi-intensiva

ZC – Zona Agroecológica recomendada para Conservação de recursos naturais

Zn - zinco

ZP – Zona Agroecológica recomendada para Pastagens

ZPE – Zona agroecológica recomendada para Pastagem Especial

ZR – Zona agroecológica recomendada para Recuperação ambiental

LISTA DE SÍMBOLOS

% - porcentagem

> - maior que

< - menor que

R\$ - Real

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	- 10 -
1.1 OBJETIVO GERAL	- 13 -
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	- 13 -
1.3 JUSTIFICATIVA	- 14 -
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	- 15 -
2.1 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: REVISÃO DE TERMOS	- 15 -
2.2 SISTEMAS AQUÍFEROS	- 19 -
2.3 USOS DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	- 24 -
2.4 ÍNDICES DE VULNERABILIDADE E ANÁLISE DE RISCO DE CONTAMINAÇÃO - 28	
-	
2.4.1 Índice GOD	- 32 -
2.4.2 Índice de Susceptibilidade	- 34 -
2.4.3 Índice POSH	- 35 -
2.4.4 Domínios Pedomorfoagroclicmáticos	- 37 -
2.4.5 Aplicabilidade dos índices de vulnerabilidade	- 39 -
2.5 SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO NO MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	- 44 -
3. DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	- 47 -
3.1 SIDROLÂNDIA (MS)	- 47 -
3.2 SÃO FRANCISCO DE ASSIS (RS)	- 67 -
4. CARACTERÍSTICAS E DESCRIÇÕES DOS POÇOS	- 88 -
4.1 SIDROLÂNDIA (MS)	- 88 -
4.2 SÃO FRANCISCO DE ASSIS (RS)	- 104 -
5. METODOLOGIA	- 127 -
5.1 MONTAGEM DA BASE DE DADOS	- 127 -
5.1.1 Inserção e tratamento dos dados intermediários	- 130 -
5.1.1.1 Conversão de coordenadas	- 130 -
5.1.1.2 Dados de topografia	- 131 -
5.1.1.3 Dados do mapa de uso do solo	- 131 -
5.1.2 Organização dos dados para os cálculos dos índices	- 132 -
5.2 CÁLCULO DOS ÍNDICES	- 132 -
5.2.1 Índice GOD	- 133 -
5.2.2 Índice de Susceptibilidade	- 133 -
5.2.3 Índice POSH	- 134 -

5.2.4	Domínios Pedomorfoagroclimáticos	- 136 -
5.3	GERAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS	- 137 -
5.3.1	Índice GOD	- 137 -
5.3.2	Índice de Susceptibilidade.....	- 137 -
5.3.3	Índice POSH.....	- 138 -
5.3.4	Domínios Pedomorfoagroclimáticos	- 138 -
6	RESULTADOS	- 139 -
6.1	SIDROLÂNDIA	- 139 -
6.1.1	Índice GOD	- 139 -
6.1.2	Índice de Susceptibilidade.....	- 152 -
6.1.3	Índice POSH.....	- 169 -
6.1.4	Uso e cobertura do solo.....	- 181 -
6.1.5	Domínios Pedomorfoagroclimáticos	- 185 -
6.1.6	Comparação entre os índices de vulnerabilidade	- 190 -
6.2	SÃO FRANCISCO DE ASSIS	- 208 -
6.2.1	Índice GOD	- 209 -
6.2.2	Índice de Susceptibilidade.....	- 222 -
6.2.3	Índice POSH.....	- 240 -
6.2.4	Uso e cobertura do solo.....	- 252 -
6.2.5	Domínios Pedomorfoagroclimáticos	- 254 -
6.2.6	Comparação entre os índices de vulnerabilidade	- 261 -
6.3	COMPARATIVO ENTRE MUNICÍPIOS	- 280 -
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	- 285 -
	REFERÊNCIAS	- 287 -

1. INTRODUÇÃO

A água é uma das substâncias mais importantes para a existência e manutenção da vida na Terra, fazendo parte de diversos processos, além de ser imprescindível em diferentes ramos da sociedade, como saúde, agricultura e indústria. Por ser algo basilar para a sobrevivência, desde muito tempo a água é objeto de estudo dos mais diferentes campos do conhecimento.

Mesmo a água sendo abundante no planeta, a maior quantidade é de água salgada, com 97,5%. Sendo apenas 2,5% de água doce no mundo; destas, 69% estão nas geleiras, 0,3% em rios e lagos e 29,6% são as águas subterrâneas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA, 2009). Por conta disto, a água subterrânea se torna uma opção viável, ainda mais se observarmos o aumento da demanda por este recurso.

As águas doces são todas aquelas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ppm, de acordo com a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA nº 357/2005. As águas superficiais podem ser classificadas como todas aquelas águas acumuladas na superfície, independentemente do tipo de manancial. Enquanto as águas subterrâneas são aquelas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo, segundo a Resolução CONAMA nº 396/2008. Muitas regiões possuem dificuldade de abastecimento, por isso, as águas subterrâneas são uma excelente opção de uso, além de garantir a manutenção da umidade do solo e a alimentação de rios e lagos.

A expansão urbana e a industrialização intensificaram o uso de recursos hídricos superficiais, seja para abastecimento, bem como, para os processos industriais; ocasionando uma pressão sobre os sistemas hídricos com a retirada excessiva de água e poluição destes mananciais. Devido ao alto custo para recuperação das águas superficiais e a busca de mais fontes de água potável, as águas subterrâneas são uma opção mais acessível, por estarem próximas a grandes municípios, o custo para retirada desta água é relativamente baixo e possuir uma boa qualidade da água (TAVARES, 2013; FOSTER & HIRATA, 1988).

Os mesmos motivos tornam as águas subterrâneas um recurso importante para a agricultura, visto que, a cada ano, cresce a produção de grãos no Brasil, isto leva a um aumento na demanda por água; apesar da agricultura utilizar em grande parte recursos hídricos superficiais, muitas vezes, é necessário o uso de mananciais subterrâneos.

Neste sentido, municípios que possuem um perímetro urbano bem estruturado, com indústrias diversas e, em conjunto, possuem grande área rural, com extensa produção

agropecuária, podem causar uma mudança significativa do ambiente, podendo degradar o mesmo.

O uso intensivo da terra pela agropecuária pode causar problemas de assoreamento do solo, assim como, o uso de pesticidas pela agricultura pode vir a contaminar água e solo. Os dois casos deixam vulnerável as águas subterrâneas, pois processos de erosão podem expor e assorear nascentes, assim como, o lançamento de pesticidas na superfície pode lixiviar e contaminar as águas em subsuperfície (GOMES *et al*, 2006). Além disto, a falta de saneamento em áreas urbanizadas também pode vir a contaminar, tanto quanto indústrias potencialmente poluidoras que não manejam corretamente seus resíduos. Assim sendo, as águas subterrâneas podem ser passíveis de contaminação por conta de uma ineficiência do sistema de esgoto sanitário e resíduos industriais (FOSTER *et al*, 2006).

Neste sentido, o município de Sidrolândia, Mato Grosso do Sul (MS), é um exemplo de onde há intensa urbanização, grande quantidade de indústrias e empreendimentos, associados a extensa área agropecuária. Com um consumo elevado de água subterrânea, pelo uso urbano e rural; mesmo estando próximo há inúmeros cursos d'água. Através do cadastro no portal do Sistemas de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS (2021), base de dados mantida pelo Serviço Geológico do Brasil, há 111 poços profundos registros sendo utilizados. Municípios vizinhos possuem uma quantidade de poços cadastrados muito menor, como Terenos e Maracaju que possuem 40 poços cada, Nova Alvorada do Sul com 27; Dois Irmãos do Buriti com 28, Rio Brillhante possui 57 poços; a diferença está na capital Campo Grande, possuindo 274 poços cadastrados.

Em contexto similar está inserido o município de São Francisco de Assis, Rio Grande do Sul (RS), com perímetro urbano bem estruturado, uma quantidade significativa de indústrias e empreendimentos e extensa área agropecuária. O uso de águas subterrâneas é extensivo, sua demanda é em grande parte para uso urbano, mas também há poços perfurados para uso industrial e irrigação; mesmo possuindo possantes recursos hídricos superficiais nas redondezas, o município possui 110 poços profundos cadastrados no SIAGAS (2021). Tanto São Francisco de Assis quanto os municípios no entorno possuem grande quantidade de poços perfurados cadastrados no sistema, como Alegrete com 277 poços, Itaqui 223, Manoel Viana 75, Santiago 99, São Vicente do Sul 33, Unistalda 36 e Cacequi 70 poços cadastrados cada.

Tanto as águas superficiais quanto as subterrâneas são passíveis de contaminação; as superficiais, pelo fácil acesso, acabam por sofrer de forma direta com a degradação ambiental. O uso intensivo do solo, o lançamento de efluentes para os rios, além dos usos das águas superficiais, impactam diretamente na qualidade delas. Enquanto as águas subterrâneas são

contaminadas, na maioria dos casos, de forma indireta. O uso das águas superficiais e do solo impactam nas águas subterrâneas, pois, apesar destas estarem protegidas através do solo e de rocha, alguns contaminantes podem lixiviar. Em épocas de chuvas mais intensas, há uma maior saturação do solo, infiltrando uma maior quantidade de água, junto com ela, pode vir a infiltrar contaminantes. Por conta disto é importante o cuidado com o uso e ocupação do solo e sua relação com as águas subterrâneas (CAUDURO *ET AL*, 2019). Foster & Hirata (1988) comentaram como certos locais são mais propensos à contaminação da água subterrânea, eles indicam que determinados tipos de solo e de rocha são mais favoráveis à percolação e lixiviação de cargas contaminantes, a depender, também do tipo de material jogado no solo. Rochas mais friáveis, ou aquíferos situados em certos tipos de estruturas de fraturas, são mais suscetíveis a esta contaminação. Neste sentido, estudos que visem a análise de vulnerabilidade e o risco de contaminação das águas subterrâneas são essenciais. Aquino *et al* (2017) classificaram a vulnerabilidade ambiental como “o grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas”; essa vulnerabilidade pode acontecer por características intrínsecas ao ambiente ou pela pressão causada por atividades antrópicas.

Nesta mesma linha de interpretação estão Foster & Hirata (1987), que caracterizam a vulnerabilidade natural do aquífero como sua capacidade protetora, quanto um solo consegue agir como filtro, retendo um contaminante e impedindo que este entre em contato com as camadas mais profundas de solo ou de água subterrânea. Sobre o risco de contaminação, Aquino *et al* (2017) consideraram que o risco está associado a probabilidade de um evento (esperado ou não) ocorrer num sistema, mudando o seu estado. Para Bós & Thomé (2012) e Lobo-Ferreira & Oliveira (2004) o risco de contaminação está relacionado aos tipos de poluentes que estão sendo descarregados no solo, devido às atividades exercidas na superfície. Em estudos sobre águas subterrâneas, se usa o termo análise de risco como sendo a interface de estudo entre a vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante potencial da superfície, tendo sido cunhado por Foster & Hirata, 1988.

Há inúmeros índices que visam avaliar a vulnerabilidade e o risco de contaminação das águas subterrâneas, cada um leva em conta uma diferente série de parâmetros, alguns são medidos e outros são análises da região. Cada um possui diferentes graus de dificuldade na obtenção dos dados, sendo o Índice GOD um dos que possui parâmetros mais fáceis de se adquirir. Por conta disto, Foster & Hirata (1988) criaram um método a fim de medir a vulnerabilidade natural de uma área, com isto, foi pensado o método GOD (Groundwater occurrence, lithology of the Overlying, Depth of groundwater). Este método é mais simples e

pensado para a realidade brasileira, onde não há a possibilidade de muitos gastos com monitoramento e, onde, muitas vezes, não há uma série de dados sobre os poços.

Outro índice para se analisar o potencial de risco de contaminação da água subterrânea é o IS (Índice de Susceptibilidade), elaborado por Ribeiro (2005). Este método foi criado para o uso em áreas com agricultura, visto a demanda por água, ao mesmo tempo que o uso de agrotóxicos poderia trazer malefícios para as águas subterrâneas. Por fim, o índice POSH (Pollutant Origin and its Surcharge Hydraulically) analisa o uso do solo na região; com a classificação dos empreendimentos e das fontes de contaminação pontual e difusa, gerando assim, as classes deste índice, onde indica as áreas com contaminantes em potencial (FOSTER *ET AL*, 2002). No contexto atual, índices que consigam determinar a vulnerabilidade das águas subterrâneas são essenciais, visto o uso intensivo dos solos. Usá-los para o estudo de como o uso e ocupação do solo impactam nas águas subterrâneas traz um olhar mais abrangente para a temática das águas subterrâneas, analisando para além dos parâmetros hidrogeológicos.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o risco de contaminação das águas subterrâneas nos municípios de São Francisco de Assis (RS) e Sidrolândia (MS).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a vulnerabilidade natural das águas subterrâneas dos municípios utilizando o índice GOD;
- Determinar e mapear o potencial poluidor das águas subterrâneas pelos índices IS e POSH, nos municípios;
- Comparar os resultados dos mapas de vulnerabilidade natural e de potencial poluidor de contaminação das águas subterrâneas para os municípios avaliados;

1.3 JUSTIFICATIVA

A relação da água subterrânea e sua contaminação está intimamente ligada ao uso e ocupação da terra, e aos processos de urbanização e de exploração do solo, os quais fornecerão indícios do quanto os mananciais subterrâneos estão em risco de contaminação. Se considerarmos que no Brasil há, em torno de, 344.859 poços cadastrados (SIAGAS, 2021), sem contar a grande quantidade de poços irregulares, há inúmeros trabalhos relacionados aos índices de vulnerabilidade e risco de contaminação das águas, mas poucos destes estudos se encontram na geografia. Visto a importância de se relacionar o uso e ocupação do território com a disponibilidade e qualidade da água subterrânea, este trabalho visa trazer um olhar geográfico, trazendo estas correlações aos trabalhos de caráter técnico com os índices.

Este estudo realizado em dois municípios distintos se justifica por entender que os dois municípios possuem uma base econômica muito similar, com a agropecuária; além de possuírem um centro urbano bem desenvolvido. Bem como, as duas cidades possuem uma demanda muito grande por água subterrânea, com grande número de perfurações de poços profundos, em contextos geológicos e hidrogeológicos semelhantes, sendo que os dois se encontram em maioria com domínio dos Sistema Aquífero Guarani (SAG) e Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), na maioria dos poços (ASSINE *ET AL*, 2004).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: REVISÃO DE TERMOS

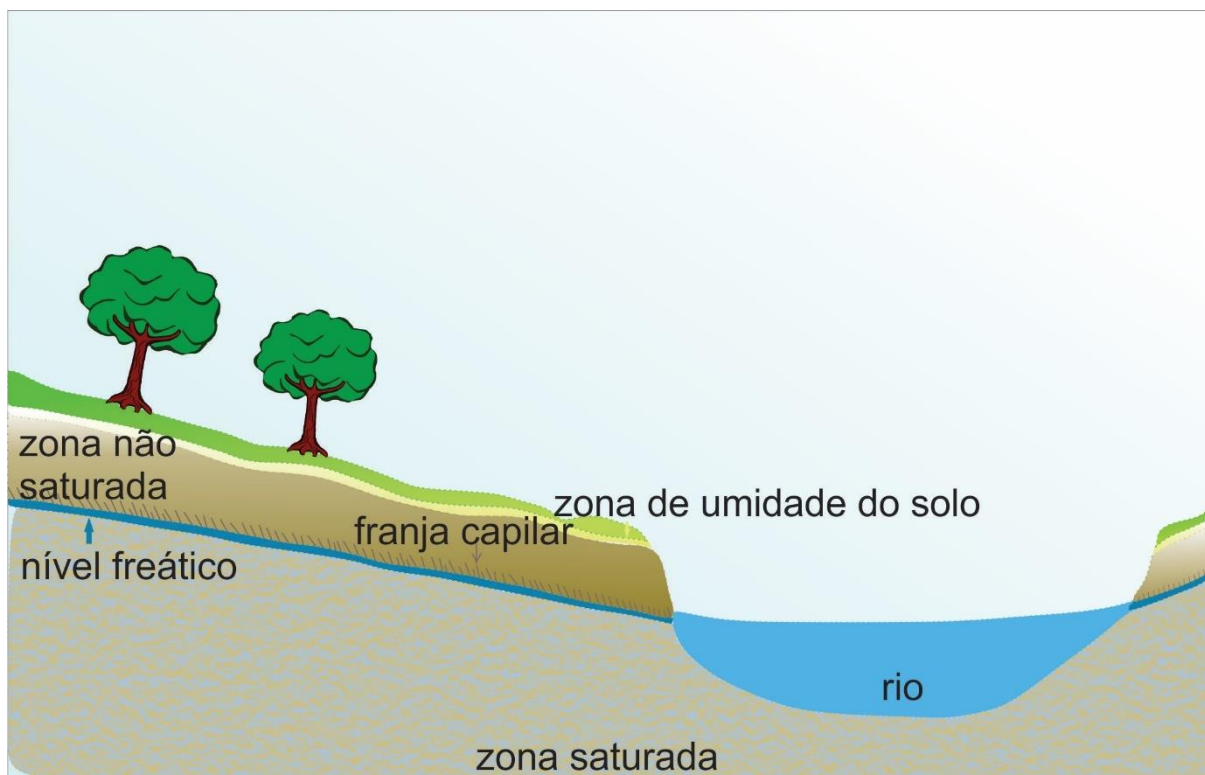
As águas em subsuperfície fazem parte do ciclo hidrológico, pois, após a precipitação, parte desta água infiltra e percola para o subsolo; sendo assim, estas águas são todas aquelas que ocorrem abaixo da superfície, preenchendo poros em rochas sedimentares, ou fraturas, falhas e fissuras em rochas ígneas e metamórficas (ABAS, 2021). Neste sentido, a hidrogeologia é a área de estudo das águas subterrâneas, suas ocorrências e interações (MMA, 2007).

No que tange a terminologias, em hidrogeologia se designa de água subterrânea como aquelas que se encontram na zona saturada, abaixo do nível freático. Neste sentido, se considera como lençol freático a camada que também se chama de nível freático, uma água encontrada mais próxima a superfície, sendo afetada diretamente pela vegetação e uso do solo, esta água pode infiltrar ou ser incorporada pela vegetação. E se denomina aquífero como sendo a unidade geológica onde a água fica armazenada (CPRM, 2021).

Durante a infiltração, uma parte da água fica retida mais próxima ao solo, na zona não saturada (ou zona vadosa), enquanto outra parte atinge a zona saturada, em maior profundidade, devido a ação da gravidade (MMA, 2007). Neste sentido, em um sistema aquífero há algumas sucessões de camadas. Começando pela camada vadosa, nela ocorre a zona de umidade do solo, sendo a parte mais superficial e onde há perda de água para a atmosfera. Também ocorre a zona intermediária, as vezes esta é inexistente, em outros casos são brejos e alagadiços. A última é a zona de franja de capilaridade, próxima ao nível d'água, com alta umidade (ABAS, 2021)

Entre a zona não saturada e a saturada, se encontra o nível freático (ou lençol freático), esta é a camada do topo da zona saturada. A zona saturada é a camada abaixo do nível freático, onde todos os vazios rochosos estão preenchidos com água, este manancial se move de forma muito lenta e, em alguns casos ocorrerá deságue de uma parcela de água para nascentes e olhos d'água, devido a diferença de pressão existente no interior da rocha e na atmosfera (Figura 01 - caracterização das zonas saturada e não saturada).

Figura 1 - Caracterização das zonas saturada e não saturada



Fonte: Modificado de Boscardin Borghetti *et al* (2004) *apud* ABAS (2021).

As águas subterrâneas possuem diferentes quantidades, cada aquífero têm diferentes taxas de recarga, alguns se recuperam mais lentamente, bem como, a diferença no armazenamento de água dos terrenos e a condutividade hidráulica (que é a taxa na qual a água se move dentro do meio). Também há variação da sua qualidade, influenciada pela composição das rochas, renovação das águas (sem levar em conta o meio externo, superfície) e as diferenças de propriedade e condições de bombeamento da água (ABAS, 2021).

Rebouças (2002) classifica como aquífero uma formação geológica que armazena água e permite transmissão desta água, no subsolo; podendo ter extensão de poucos até milhares quilômetros quadrados, bem como uma ampla variedade de espessuras.

Quanto aos tipos de aquífero, eles podem ser classificados quanto a litologia, como: aquífero poroso (ou sedimentar), fraturado (ou fissural) e cárstico. Os aquíferos porosos são formados por rochas sedimentares consolidadas, inconsolidadas e solos, a água circula entre os poros e pela variação de granulação das rochas; são importantes aquíferos devido à grande quantidade de água que armazenam; pela diferença de pressão e sua porosidade, a água flui para diversas direções (CPRM, 2021).

No aquífero fraturado a circulação se dá pelas fraturas, falhas e fendas entre as rochas ígneas e metamórficas. A capacidade de acumulação de água está relacionada a quantidade de

fraturas e suas intercomunicações, bem como a direção de fluxo destas águas. Já os aquíferos cársticos se dão pelas rochas calcárias ou carbonáticas, onde o armazenamento e distribuição das águas se dá entre as fraturas e descontinuidades da rocha, este tipo de rocha sofre dissolução do carbonato pela água; estes aquíferos podem formar rios subterrâneos, sendo heterogêneos (ABAS, 2021).

Outra classificação tem como base as formações geológicas não aquíferas, neste sentido se classifica como: aquífugo, aquítardo e aquícludo. O primeiro é uma formação geológica impermeável, que não transmite e nem armazena água. Aquítardo pode armazenar água, mas transmite lentamente e o aquícludo é uma formação geológica que armazena, mas a água não circula (COLERIDGE, 2006).

Também pode-se classificar um aquífero de acordo com a diferença de pressão, podendo ser: aquífero livre (ou freático) e aquífero confinado (ou artesianos). Os aquíferos livres são aqueles cuja formação geológica na base têm uma camada impermeável e, no topo, sua camada é permeável e aflorante em sua extensão. Os aquíferos livres possuem nível de água influenciado pelas chuvas, possuem uma recarga direta, e, por serem mais explorados, são os que apresentam maiores problemas com contaminação. Já os aquíferos confinados (ou artesianos) se constituem por uma camada permeável entre duas camadas de rochas impermeáveis, sendo que a pressão da água no topo da zona saturada é maior do que a pressão atmosférica, isso faz com que a água ascenda até camadas aflorantes, possuindo a recarga indireta (MMA, 2007).

Existe também o aquífero semiconfinado, ele se encontra com limites de rochas cuja permeabilidade é menor do que a da rocha aquífera. O fluxo preferencial da água subterrânea se dá na camada do aquífero; ou também, o fluxo pode se dar entre as camadas subjacentes e sobrejacentes (MMA, 2007).

Quando se perfura um poço confinado, a água irá subir, devido a diferença de pressão entre a superfície e a camada de rocha com água, subindo acima do teto do aquífero, a altura da água se chama de nível potenciométrico. Enquanto em um aquífero livre, o nível da água não varia pois não há diferença de pressão entre a água na rocha e a atmosfera; em aquífero livre o nível da água se denomina nível freático (ABAS, 2021).

O nível estático (NE) é a profundidade da água no poço em repouso, já o nível dinâmico (ND) corresponde ao nível da água quando o poço está bombeando, os dois são medidos em metros, a partir da superfície. O rebaixamento é a diferença entre o nível dinâmico e o nível estático, a vazão é obtida ao final do teste de bombeamento e a vazão específica é usado para

definir a capacidade de bombeamento dos poços, sendo a razão entre a vazão e o rebaixamento, dado em $m^3/h/m$ (ANA, 2016).

O teste de bombeamento determina a vazão do poço, a duração mínima do teste dura um intervalo de 24 horas, onde se mede o ND ao longo deste tempo e o quanto de água é explotada, após, se mede a recuperação do ND ao final de um tempo ou até que atinja o NE inicial, sendo o percentual de recuperação (ANA, 2016). Se considera condutividade hidráulica (k) como a facilidade com que a água se move dentro da rocha, pode ser considerado como a permeabilidade, medido geralmente em m/s .

Dos tipos de poços, os escavados (também chamados de poços caipiras, amazonas, cisternas ou cacimbas), são considerados de uso insignificante, podendo haver dispensa na outorga, se considera insignificante, via de regra, o uso igual ou menor a $10 m^3/dia$ (como para a legislação do Estado do Mato Grosso do Sul). Um poço raso capta água do nível freático, geralmente com profundidade máxima de 20 metros. Sua vazão é baixa, podendo secar em períodos de poucas chuvas. Sendo que os poços tubulares profundos captam água da zona saturada (ABAS, 2021 e ANA, 2016) – cisternas são reservatórios de água, tendo uso similar a uma caixa d'água, porém, em alguns trabalhos o termo se refere a poços rasos.

A zona de recarga são as áreas onde as águas infiltram, sendo, então, que há recarga direta nos aquíferos livres, e, nos aquíferos confinados, o reabastecimento ocorre em locais onde a formação geológica é aflorante. Também há o fluxo subterrâneo indireto, onde um aquífero é abastecido por outro. E a zona de descarga é onde as águas alimentam rios ou são as nascentes e olhos d'água (COLERIDGE, 2006).

A resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Esta resolução define como águas subterrâneas como todas as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo e define aquífero como o corpo hidrogeológico onde há capacidade de acumular e transmitir água. Dentre as classes, as águas subterrâneas estão divididas em seis, sendo:

- Classe especial: águas dos aquíferos destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação e as que contribuem diretamente para os trechos de corpos hídricos superficiais cujas classes também sejam especiais.
- Classe 1: água do aquífero sem alteração da sua qualidade por atividade antrópica e que não exijam tratamento para qualquer tipo de uso devido às suas características hidrogeológicas naturais.

- Classe 2: águas dos aquíferos sem alteração da sua qualidade por atividade antrópica e que podem exigir tratamento adequado a depender do seu uso, devido às suas características intrínsecas.
- Classe 3: águas dos aquíferos com alteração de sua qualidade por atividade antrópica, para as quais não são necessários tratamentos em função dessas alterações, mas que possam exigir tratamento adequado dependendo do uso, devido as suas características intrínsecas.
- Classe 4: água de aquífero com alteração da sua qualidade por atividade antrópica e que somente pode ser utilizada sem tratamento, para uso menos restritivo.
- Classe 5: água dos aquíferos que possam estar com alterações de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade de uso.

As classes 1 a 4 deverão ter padrões estabelecidos com base nos valores de referência de qualidade (VRQ) e de valores máximos permitidos (VMP) para cada uso preponderante, neste sentido, a classe 1 é a mais restritiva. Enquanto a classe 5 não terá condições e padrões de qualidade conforme a resolução.

2.2 SISTEMAS AQUÍFEROS

A Província Sedimentar do Paraná é um conjunto de bacias intracratônicas com um conjunto de rochas sedimentares e vulcânicas assentadas sobre rochas do escudo cristalino. Nesta província se encontram três áreas de sedimentação, separados por profundas discordâncias: a Bacia do Paraná, a Bacia Serra Geral e a Bacia Bauru. A província iniciou sua deposição durante o Paleozóico, no Ordoviciano, 470 milhões de anos - Ma, e se estendeu até o final do Mesozóico, no Cretáceo, cerca de 65 Ma (SILVA *ET AL*, 2003) [Figura 02 - Localização da Bacia do Paraná].

Figura 2 - Localização da Bacia do Paraná



Fonte: Adaptado de Milani (1997).

Segundo Milani (1997) o preenchimento da Bacia do Paraná se deu por quatro ciclos de subsidência (Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I e Gondwana II), além de uma fase rifte¹ e uma fase sinéclise¹. Estas sequencias ocorrem em distintos ambientes, gerando, assim, diferentes tipos de rochas. Das rochas da Bacia do Paraná com águas subterrâneas, Assine *et al* (2004) indicam que os arenitos das Formações Pirambóia e Botucatu são as rochas que armazenam o aquífero Guarani.

A Formação Botucatu possui um paleoambiente de um grande sistema eólico, similar a partes da Namíbia, com retrabalhamento dos grãos de areia, por conta disto, ocorre algumas discordâncias nos arenitos e os grãos possuem alta esfericidade; em áreas aflorantes, há ocorrência de estratificações cruzadas de grande porte, de idade cretácea (ASSINE *ET AL*, 2004). Enquanto a Formação Pirambóia é do período Triássico, com faixas descontínuas de

¹ Fase Rifte - ruptura da superfície ocasionada por tensões geradas por ascensão do magma. ¹ Fase Sinéclise - estrutura desenvolvida em plataforma continental, bacia ampla com mergulhos muito fracos e convergentes, com camadas sedimentares e espessas produzidas por lento abaullamento negativo da crosta ao longo do tempo (GLOSSÁRIO GEOLÓGICO ILUSTRADO 2021).

afloramento; quanto a evolução, se relaciona a deposições eólicas, com fácies de dunas, interdunas e lençóis de areia cortados por canais fluviais temporários. Nesta formação se encontram rochas com estratificações cruzadas e plano-paralelas, além de gretas de contração, relacionados a climas secos e úmidos, nesta formação há ocorrência de icnofósseis² (CAETANO-CHANG & WU, 2003).

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) constitui um manancial de água doce subterrânea, compreendendo uma área total de 1,2 milhões de km². Sendo estendido entre Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina. A maior ocorrência deste se encontra no Brasil, entre os estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo (CPRM, 2021).

O SAG possui uma média de espessura de 400m na borda leste da bacia, em sua faixa aflorante, porém, estas espessuras podem variar, havendo dois depocentros com espessuras maiores, um a norte com 600 m e outro a sul de 800 m. O SAG se encontra confinado pelos basaltos da Formação Serra Geral. Possui um estoque de água de 37.000 km³, com recargas estimadas de 166 km³/ano, de forma direta e indireta, o aquífero possui um volume de exploração disponível de 40 km³/ano (ASSINE *ET AL*, 2004).

Cerca de 70% do SAG se encontra com confinamento exercido pela Formação Serra Geral. As águas do SAG possuem boa potabilidade, variando bastante a sua salinidade. São classificadas como águas bicarbonatadas sódicas a cloro-sulfatadas sódicas. Algumas anomalias de fluoreto ocorrem no Paraná e em São Paulo. Possui grande variação de temperatura, tendo registros de até 65°C em alguns locais (REBOUÇAS, 2002). A capacidade hidráulica e permeabilidade variam muito ao longo do aquífero em virtude destes locais onde está confinado, bem como da diversidade de litologias.

O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) é formado por derrames basálticos e intrusões de diabásio, eles ocorrem por pela mesma extensão dos estados onde ocorre o SAG. As águas subterrâneas ocorrem através de falhas e fraturas nas rochas, localmente, ocorre uma alimentação do SASG pelas águas do SAG, que se encontram em um nível inferior. As principais áreas de descarga deste aquífero são as nascentes e rios (CETESB, 2021). Estas águas, a depender da espessura das camadas e o sistema de falhamentos, podem ser de um aquífero semiconfinado ou livre. A área de ocorrência do SASG é da ordem de 1.000.000 km²,

² Icnofóssil é qualquer impressão de atividade animal ou vegetal preservado em rochas. Por exemplo: pegadas, tocas, orifícios, bioerosão, marcas de alimentação (GLOSSÁRIO GEOLÓGICO ILUSTRADO, 2021).

ocorrendo, localmente, porções com discontinuidades por rochas sedimentares e brechas peperíticas (SCHEIBE & HIRATA, 2008).

Pelos parâmetros hidroquímicos, sugere-se uma mistura das águas do SAG com o SASG, inclusive, a ocorrência de flúor em águas no SASG em regiões onde o flúor é elevado em águas do SAG (NANNI, 2008). Scheibe & Hirata (2008) indicam que a relação entre o SAG e o SASG se dá por conta de uma série de lineamentos de grande extensão (Figura 03 - Localização do SAG).

Figura 3 - Localização do SAG



Fonte: Adaptado de Assine *et al* (2004).

O SAG possui um gigantesco volume de água, porém, se encontram restrições de exploração devido a características geométricas e hidráulicas de certas camadas de rocha; por conta disto, Foster *et al* (2011) definiram camadas de gerenciamento de recursos, com seus volumes seguros de extração. A área aflorante (livre) é a primeira camada, com renovação de água pela recarga natural, sendo vulnerável à atividade antrópica e, se for super explorada, há redução no fluxo de base dos rios. A zona coberta por menos de 100 m de rocha basáltica (semiconfinada) é a segunda camada, com recarga parcial. A terceira camada com cobertura de

basalto entre 100 m e 399 m (confinada intermediária), onde não há recarga significativa e até 10.000 anos de residência da água no aquífero. A quarta camada possui cobertura basáltica acima de 400 m (zona confinada profunda), com águas mais antigas, sem processo de renovação da água, eventualmente, ocorre, salinização e excesso de flúor. A quinta e última camada diz respeito à zona confinada com água subterrânea salina, restrita a ocorrência na Argentina.

O projeto 'Disponibilidade hídrica no Brasil', elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil, desenvolve um sistema a fim de difundir o conhecimento hidrogeológico do país, com isto, o mapa hidrogeológico do Brasil foi elaborado, com escala de 1:1.000.000. Assim sendo, este mapa possui 46 folhas englobando o território, a folha SH21 contempla o município de São Francisco de Assis (RS) e região. Já a folha SF21 abrange Sidrolândia (MS) e região (CPRM, 2014).

A primeira folha, que engloba o município de São Francisco de Assis, apresenta a ocorrência de aquífero Botucatu, aquífero Guará e aquífero Serra Geral. A Formação Hidrogeológica Botucatu ocorre subjacente ao Serra Geral, ocorrendo no oeste do RS, sendo aflorante na região de Quaraí; se constitui de arenitos eólicos, finos a médios, bem consolidados e bem selecionados. Sendo um aquífero homogêneo que pode apresentar profundidade superior a 800 m, varia conforme a geomorfologia local, são comuns capacidades específicas de 10 m³/h/m, sendo a produtividade alta; a norte do município alguns poços possuem produtividade muito baixa. Quanto à qualidade, no aquífero livre ocorre águas fracamente mineralizadas e com pH ácido, excesso de fluoreto pode ocorrer em áreas confinadas; na área confinada os sólidos totais dissolvidos (STD) variam entre 250 e 400 mg/l.

O Aquífero Guará, com área superficial de 247,9 km² na folha, ocorre em uma faixa norte-sul na metade leste da folha. Possui granulometria variando de fina a média nos arenitos, funciona como aquífero livre e /ou semiconfinado, com águas com baixo teor de mineralização. Possui produtividade muito alta e, localmente, baixa. A última unidade aquífera nas cercanias do município é o Aquífero Serra Geral, com área de 48.203 km² na folha, composta por derrames basálticos, com intenso fraturamento e zonas amigdaloides, ocorre derrames mais ácidos de riolitos e riodacitos no topo da seção desta folha. Com grande extensão regional, descontínuo e fraturado, possui grande variação no nível estático e capacidade específica. Na região a produtividade é baixa e muito baixa.

A segunda folha engloba o município de Sidrolândia, indica ocorrência de Unidades Hidrogeológicas Caiuá, Botucatu e Serra Geral. O Grupo Caiuá ocorre na folha de forma descontínua, recobrando o Aquífero Serra Geral, nas cotas mais altas, ocupa área de 27.245 km²; composto por arenitos finos a médios com alta porosidade, podendo ocorrer, localmente,

cimentação carbonática e intercalações de silte e argilito. Pode possuir camadas de até 100 m saturadas com produtividade variando de média a baixa. As águas são de boa qualidade, com valores baixos de STD e condutividade elétrica (CE), potencial hidrogeniônico (pH) em torno de 5 e dureza geralmente inferior a 10 mg CaCO₃/L.

A formação de aquífero Botucatu ocorre também de forma descontínua, numa área de 4.643 km² em direção N-S na folha, com a potenciometria indicando direção de fluxo da água para o Rio Paraná. Na região o aquífero é hidraulicamente contínuo e com boa permeabilidade, ocorrendo de forma livre ou confinada quando está subjacente ao aquífero Serra Geral e Bauru (Caiuá). Na região entre Sidrolândia e Dois Irmãos do Buriti há um falhamento ocasionando divisão de águas subterrâneas, com fluxo para leste e oeste. Possui produtividade moderada nas ocorrências livres e produtividade muito alta para o confinado. As vazões atingem valores entre 25 e 50 m³/h; nas áreas aflorantes as águas são bicarbonatadas cálcicas ou cálcico-magnesianas. Em áreas confinadas a classificação das águas são de bicarbonatadas cloretadas e sulfatadas sódicas. Com pH mais ácidos nas áreas aflorantes e alcalinas no confinado.

O último aquífero é o Serra Geral, este fornece a maior quantidade de água para a região, na folha possui extensão de 43.356 km², um aquífero descontínuo que ocorre de forma livre a confinada. A produtividade é baixa e, localmente, média; com boa qualidade, classificada como bicarbonatadas calco-magnesianas, com pH variando de 5,5 e 7,8 e CE entre 40 e 300 µS/cm.

2.3 USOS DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Rebouças (2001) chama atenção para o caráter único da água, que é, primordialmente, um bem ambiental, mas pode se tornar um bem econômico; para o autor, sendo a única matéria-prima capaz de gerar retorno sobre o manancial utilizado. Por conta disto, o uso eficiente da água, retirando menos e mantendo a proteção e qualidade, é de extrema importância. Sua valoração é difícil por ser de grande utilização e não haver substituição deste material. Rebouças (2001) ainda ressalta como a globalização e o sistema econômico vigente encaram a disponibilidade de água doce como um negócio, como fator econômico competitivo de mercado.

Dos recursos superficiais, 11% da vazão média dos rios são utilizadas, 70% desta utilização são para atividades agrícolas, 20% pela indústria e 10% para uso doméstico (REBOUÇAS, 2001). Para o nosso país, a oferta de água pode ser classificada como regular

em algumas regiões do semiárido brasileiro (consumo entre 1.000 e 2.000 m³/ano/hab), suficiente em regiões com clima úmido (consumo entre 2.000 e 10.000 m³/ano/hab), rico na maior parte do país (oferta variando de 10.000 e 100.000 m³/ano/hab) e muito rico na região amazônica (oferta acima de 100.000 m³/ano/hab) (REBOUÇAS, 2001).

A água subterrânea faz parte do ciclo hidrológico, pois, parte da água precipitada acaba infiltrando no solo e ocupando vazios em rochas; esta água pode voltar a superfície para abastecer rios. Estima-se que 1,1 trilhão de m³/ano de água estejam em subsuperfície, sua distribuição no território não é uniforme, bem como suas características hidrogeológicas e de produtividade; a última estimativa contabilizou 2,4 milhões de poços, sendo que destes, apenas 326 mil estão registrados no SIAGAS (ANA, 2021).

Segundo o relatório ‘Conjuntura dos recursos hídricos do Brasil’, aproximadamente 47% das sedes urbanas são atendidas por águas subterrâneas, seja exclusivamente ou para completar com as águas superficiais. Das interferências regularizadas cadastradas no CNARH (Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos), 43% é interferência estadual e subterrânea. Das interferências subterrâneas estaduais regularizadas (outorgadas e com uso insignificante) vigentes são de 101.074 mil; das que são somente outorgadas são 81.680 e, com apenas usos insignificantes são 19.394 (ANA, 2021). Segundo a Constituição de 1988, as águas subterrâneas são de domínio dos Estados e do Distrito Federal, por isso da necessidade de regularização para o seu uso.

Sobre os usos da água no território nacional, o mesmo relatório citado, indica que o abastecimento humano rural é feito por águas subterrâneas, em maioria, correspondendo a retirada de 34 m³/s. Dos usos dos recursos hídricos, aqueles que possuem maiores retiradas são a irrigação (1.038,1 m³/s), abastecimento urbano (505,7 m³/s), indústria (202,3 m³/s), uso animal (174,8 m³/s), termelétrica (92,9 m³/s) e mineração (36 m³/s). Destes usos, o abastecimento urbano tem retorno de 80%, enquanto na irrigação, o retorno fica em 28,37%; menos que a indústria (46,26%), mineração (70,8%), termelétrica (96,66); sendo similar ao abastecimento rural (19,94) e uso animal (25,11%).

O ‘atlas irrigação’ apresenta dados sobre a agropecuária e uso da água no território, sendo que a agricultura irrigada no Brasil possui 8,2 milhões de hectares (Mha) equipados para irrigação; onde 64,5% são com águas de mananciais e 35,5% fertirrigação com água de reuso. A estimativa de água consumida em 2019 foi superior a 941.000 l/s. Sendo que o potencial para expansão da agricultura irrigada é muito maior, podendo aumentar ainda 79% da área representada hoje (ANA, 2021).

A agricultura irrigada utiliza, por vezes, a água subterrânea, para isto, pode-se utilizar o método subterrâneo, onde há um controle do lençol freático, onde a água irá ser utilizada pelas raízes das plantas; a água subterrânea também pode ser utilizada no sistema de gotejamento. Neste mesmo atlas, indica que a área irrigável para usos agropecuários em 2019 foi de 55,85 Mha, destes, 2,43 Mha com água subterrânea. Onde 50% da captação de água bruta é destinada a irrigação (ANA, 2021).

Rebouças (2001) indica que o excedente da parcela infiltrada no solo irá alimentar os estoques do subsolo, e que estes podem vir a desaguar nos rios, durante os períodos sem chuvas. Sendo assim, quando há um rio perene, significa que os estoques de águas subterrâneas são suficientemente grandes para alimentar os fluxos de base dos seus rios durante todo o período de estiagem. A conexão entre as águas subterrâneas e superficiais fica evidente, pois quando a captação desordenada da água subterrânea de uma determinada bacia hidrográfica pode gerar a redução dos fluxos de base dos rios, e esta redução pode gerar graves consequências de âmbito social, ambiental e econômico.

Foster *et al* (2006) indicam que algumas práticas de cultivo podem vir a provocar grave contaminação, quando estas utilizam grandes quantidades de pesticidas, herbicidas, fungicidas e outros. Esta contaminação se dá de forma difusa e afeta, geralmente, áreas mais extensas.

Hirata *et al* (2015) menciona a alta vulnerabilidade do SAG à contaminação antrópica, por isso a importância do cuidado com a ocupação na área de entorno do poço perfurado e da área de zona de recarga de aquífero. Eles também mencionam que no estado de São Paulo 75% dos municípios são abastecidos com águas subterrâneas, a maioria com águas do SAG, o que mostra a importância deste manancial.

Hirata (1994), em seu doutorado, estudou como a ocupação desordenada do solo coloca em risco de contaminação as águas subterrâneas para o estado de São Paulo. Ele analisou o risco de contaminação associado a sistemas de saneamento *in situ*, onde encontrou 11% com potencial elevado e 9% com potencial moderado para infiltração de nitratos. Dos 573 municípios analisados, 57 indicaram índices elevados de pesticidas, 363 moderados e 140 reduzidos. Também encontrou valores elevados de fertilizantes nitrogenados associados as culturas de cana de açúcar, citrus e culturas anuais. Do mapeamento de vulnerabilidade, o autor encontrou maiores riscos de contaminação associados a postos de serviços, atividades industriais, deposição de resíduos sólidos e urbanizações irregulares. Ele também apresenta a técnica de perímetro de proteção de poços (PPP), que, em conjunto com os estudos de índices de vulnerabilidade, se tornam ferramentas úteis no monitoramento de contaminação dos poços.

Gomes (2003) ressalta que áreas de solo que funcionam como recarga do aquífero são

naturalmente frágeis à contaminação, bem como, são áreas com maior risco de erosão do solo, especialmente se for uma área com rocha sedimentar. Com isto, o autor indica o aumento da atividade erosiva em áreas de recarga, como nas nascentes do rio Araguaia (GO/MT) e alto Taquari (MS), bem como, rebaixamento do nível piezométrico de poços do SAG em torno de 40 m no período de estiagem em regiões de SP.

Foi proposto por Gomes (2003) um ordenamento agroambiental nestas áreas de recarga de aquífero, onde estabelece as faixas de uso do solo a partir das margens dos cursos hídricos, relacionando isso com o tipo de solo e profundidade do lençol freático. Com isto, em linhas gerais, até 100 m a partir da margem do rio seria para mata ciliar e espécies nativas. De 100 a 200 m espécies nativas com arbustivas nativas e apicultura. De 200 a 300 m espécies arbustivas nativas e pastagens. De 300 a 400 m pastagens com cultura anual de baixo impacto ambiental e manejo de solo. E acima de 400 m liberado para culturas anuais.

Gomes *et al* (2008) aborda o tema da agricultura e as áreas de recarga de aquífero, como estas áreas são frágeis, e como isto não é considerado quando há implantação de lavouras, eles citam que por toda a extensão do território onde aflora o aquífero Guarani, o uso e ocupação dos solos são bem diversificados e, além disto, cada estado possui uma produção maior de determinados cultivos, como a soja no MS e o arroz no RS. O uso intensivo associado à vulnerabilidade natural das áreas de recarga, colocam o aquífero em exposição, além de favorecer processos de formação de ravinas e voçorocas.

Scorza Junior *et al* (2016) usou um modelo matemático para simular cenários em séries temporais com dados climáticos de 35 anos, onde indicam diferentes tipos de solos, diferentes concentrações de agrotóxicos com uma profundidade de 5 m em subsuperfície; neste trabalho, se observou que a variação climática e os tipos de solos que influenciaram nas maiores concentrações de agrotóxicos, em especial solos mais arenosos com maior precipitação acumulada.

Hirata & Varnier (1998) abordam as questões relacionadas ao uso de águas subterrâneas pelo agronegócio, onde a mecanização e intensificação pode gerar problemas ambientais, como a erosão dos solos e salinização das águas, isto acontece por um manejo incorreto do solo. A salinização ocorre quando a irrigação é mal gerenciada, pois de 100% da água retirada, é utilizado um valor que varia de 40 a 80%, o restante se torna escoamento superficial ou infiltra. Com uma infiltração excessiva, ocorre a elevação do nível freático do aquífero, este nível freático mais alto, pode evaporar mais rapidamente no solo, e, quando evapora, há criação de sais. Ou seja, a salinidade está relacionada às taxas de infiltração e evaporação da água em conjunto com a qualidade original da água infiltrada. Os autores citam que águas do solo

possuem concentração de 2 a 3 vezes maiores de sais do que a água que, inicialmente, se destinou a irrigação (HOTES & PEARSON, 1977 *apud* HIRATA & VARNIER, 1998).

Lavar os sais do solo pode ajudar a diminuir estes, mas, em contrapartida, transfere o problema para o aquífero, pois, o excedente de sal, será enviado para algum recurso hídrico superficial, podendo infiltrar novamente. Além da salinização, há a contaminação por nitrogenados, a partir de fertilizantes, um solo permeável com espessura menor, ocorrência ininterrupta de chuvas e irrigação e continuidade de cultivo são a base para gerar este problema (HIRATA & VARNIER, 1998). Além destes, as contaminações por pesticidas que são mais difíceis de suprimir, apesar destes serem encontrados em menores quantidades de poços e concentrações, em estudos realizados nos Estados Unidos (HIRATA & VARNIER, 1998).

2.4 ÍNDICES DE VULNERABILIDADE E ANÁLISE DE RISCO DE CONTAMINAÇÃO

Figueiredo *et al* (2010) atenta a necessidade de definir o conceito de vulnerabilidade pois há muitos estudos sobre o tema e cada um possui metodologias distintas; para isto, elencaram como ordem de importância definir o conceito de vulnerabilidade, delimitar o sistema ambiental estudado e seus principais elementos constituintes; para, assim, organizar os indicadores de vulnerabilidade. Em pesquisa realizada pelos autores sobre a utilização da expressão vulnerabilidade, eles entendem que os estudos sobre vulnerabilidade “consideram pelo menos um dos fatores: exposição de um sistema a perturbações, sensibilidade do meio ou capacidade adaptativa”.

Para Villa e McLeod (2002) *apud* Figueiredo *et al* (2010) relacionam vulnerabilidade a processos intrínsecos que ocorrem dentro de um sistema, decorrente do grau de conservação e capacidade de recuperação após o dano e processos extrínsecos, decorrente de exposição a pressões.

Vulnerabilidade é caracterizada quando há perda de um elemento ou grupo dentro de uma área afetada, por causa de algum processo (PARIZZI, 2014).

Risco geológico, de acordo com Parizzi (2014), é a possibilidade de um fenômeno causar lesão ou perda de vida, danos materiais, perda de meios de subsistência ou de serviços, perturbação ambiental, econômica e social. Quando esta possibilidade se concretiza, torna-se um acidente, se o fenômeno ocorre sem danos, é um evento.

A suscetibilidade é a possibilidade de ocorrer um fenômeno, já o risco é o evento acompanhado de danos, com acidente. Cerri & Amaral (1998) elaboraram classes e subclasses de riscos, sendo os riscos ambientais a maior classe, por englobar todos os riscos físicos e biológicos. Já desastre é definido como o acontecimento cuja capacidade local de superação do problema requer ajuda externa, pois é de magnitude maior (PARIZZI, 2014).

Parizzi (2014) cita que a ocorrência de um desastre está ligado ao grau de vulnerabilidade do ambiente e da comunidade local, como exemplo, cita processos de inundação, pois ocorre, inicialmente, uma ocupação irregular em área não edificável, quem ocupou são pessoas cujas políticas públicas de acesso a moradias adequadas não as atenderam. Esta situação social é agravada pois estas pessoas moram em um local geograficamente instável, quando ocorre um fenômeno (chuvas intensas), este evento afeta as pessoas em situação mais desfavorável (vulneráveis).

O termo vulnerabilidade vem sendo usado, cada vez mais, visto os diversos episódios decorrentes das mudanças climáticas no mundo que afetam ecossistemas e populações. Por conta disto, para esse trabalho, o termo vulnerabilidade se refere a água e o quanto ela pode ser vulnerável a contaminação. A partir disto, o termo 'risco de contaminação' se refere aos poluentes descartados no solo e que podem contaminar as águas subterrâneas.

Foster (2014) aborda a ligação entre o uso do solo e as águas subterrâneas, por ser de boa qualidade, ela, cada vez mais, vem sendo usada pela agricultura, indústria, saneamento. No entanto, as mudanças no uso do solo podem impactar na quantidade e qualidade das águas subterrâneas. O autor levanta a questão de haver estudos sobre esta relação, mas não haver integralização entre estes estudos e as práticas ou com políticas públicas de cuidado do uso do solo e as áreas de recarga, bem como, águas subterrâneas.

Diversos usos do solo impactam negativamente o ambiente, de acordo com Foster (2014): a retirada de mata nativa aumenta o risco de erosão e aumento do escoamento superficial; o aumento das pastagens desencadeia em uma perda de nutrientes do solo; a agricultura de sequeiro pode levar ao aumento da lixiviação de agroquímicos. A irrigação pode saturar o solo e gerar sais (como citado anteriormente). O autor cita que a urbanização possui um fator diferente de contaminação, pois depende do tipo de urbanização e do próprio arcabouço hidroestratigráfico; e salienta que as áreas florestadas são as ideais para zonas de proteção de poços.

O desgaste do solo e má gestão dos recursos naturais são causas para problemas de contaminação do nosso ambiente, há maneiras específicas de se medir a vulnerabilidade das águas superficiais, bem como, as águas subterrâneas. Quanto ao que está em subsuperfície, dois

agentes podem barrar ou acelerar uma possível contaminação: o dejetos que está sendo lançado para o ambiente e a litologia que irá absorver este material; a interface entre estes dois irá ditar se determinado material irá contaminar ou não (vide figura 04 - Perigo de contaminação da água subterrânea).

A vulnerabilidade natural é o quanto um aquífero possui risco intrínseco de um contaminante ingressar no seu sistema; algum poluente pode estar no solo e infiltrar, a depender do tipo de solo e de rocha, este poluente poderia infiltrar e contaminar a água subterrânea; sendo assim, a litologia é fundamental para retenção e atenuação de contaminantes (FOSTER & HIRATA, 1987).

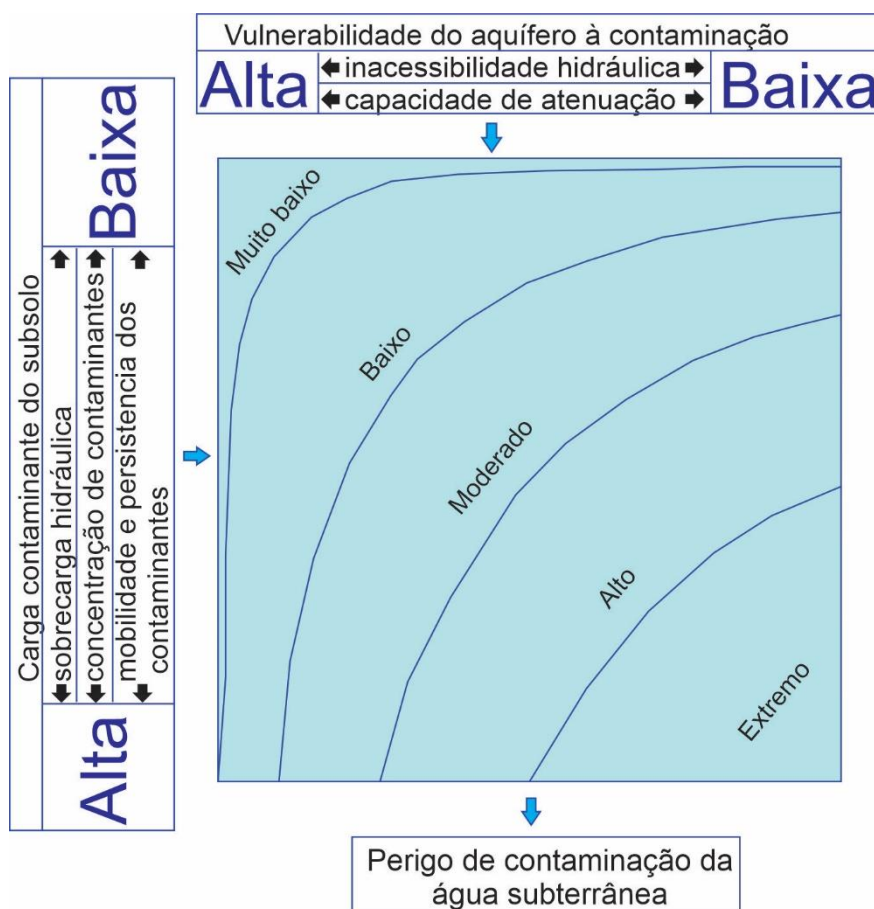
A vulnerabilidade pode ser estabelecida como o potencial de suscetibilidade do aquífero frente a algum tipo de poluidor (RIBEIRO, 2005). Foster *et al* (2013) afirma que as águas subterrâneas são vulneráveis por conta da variação da proteção natural e a capacidade de filtrar o contaminante na zona vadosa ou aquela zona que se encontra acima do aquífero; os autores também citaram que a conexão dos processos físicos, químicos, biológicos e hidrogeológicos no sistema é que torna um ambiente mais ou menos vulnerável.

As águas subterrâneas são mais suscetíveis a contaminação devido a atividades antrópicas (BÓS & THOMÉ, 2012). O risco de contaminação do aquífero depende das características dele e do tipo de poluente ingressante no meio (LOBO FERREIRA & OLIVEIRA, 2004). A análise de risco é a correlação entre a vulnerabilidade natural do aquífero e o potencial de contaminação de um agente poluidor específico (FOSTER & HIRATA, 1988). Santos *et al* (2010) expõe a avaliação do risco das águas subterrâneas, identifica quais, ou qual parte, do aquífero é mais vulnerável à contaminação.

Há muitos índices que estudam a vulnerabilidade de águas subterrâneas, o uso de determinado índice tem relação com os parâmetros que cada um se baseia. Ribeiro (2005) menciona que há uma grande variedade de parâmetros que podem ser utilizados e a diferença de uso será por critérios técnicos, levando a diferentes interpretações. O autor também cita que o índice a ser usado precisa levar em consideração a vulnerabilidade intrínseca, que leva em consideração questões do meio biótico.

Já a análise de risco de contaminação da água subterrânea se dá quando a vulnerabilidade do aquífero é alta, possuindo baixa capacidade de atenuação e baixa inacessibilidade hidráulica; além de carga contaminante do subsolo alta, com alta sobrecarga, alta concentração de contaminantes e alta mobilidade e persistência de contaminantes (Figura 04).

Figura 4 - Perigo de contaminação da água subterrânea



Fonte: Adaptado de Foster *et al* (2006).

Chrispim (2016) cita que para o mapeamento é muito importante a escala, para caracterizar o meio e o uso do solo, com isto, ela usa em seu trabalho um índice de vulnerabilidade geral e um de vulnerabilidade específica. A autora destaca que a vulnerabilidade não é uma causa exclusiva, mas uma indicação de regiões onde há maior risco de ocorrer. Entretanto, precisa-se analisar a longo prazo a qualidade das águas subterrâneas, visto que não há aquíferos não vulneráveis, depende do substrato e do tipo de emissão, como exemplo, é citado os nitratos, que podem levar anos até atingir o lençol freático.

Meaulo (2004) *apud* Chrispim (2016) se atenta ao fato de que para o planejamento municipal, a escala utilizada é de 1:50.000, uma escala grande para detectar questões mais específicas, por isso dá importância do mapeamento de detalhe.

Chrispim (2016) e Ribeiro (2005) usam os termos vulnerabilidade geral e específica, enquanto Foster & Hirata (1988) e Foster *et al* (2013) usam os termos vulnerabilidade natural e risco de contaminação, dito isto, esta dissertação utiliza a abordagem de Foster & Hirata (1988) e todas associadas a estes autores. Sendo a análise de risco de contaminação a interface entre a vulnerabilidade natural e o potencial de contaminação.

Existem muitos métodos para determinação dos índices de vulnerabilidade e risco de contaminação, Chrispim (2016) faz uma análise e menciona que os parâmetros considerados devem ser levados em consideração na escolha. A autora elenca os principais, dentre eles existe o DRASTIC, muito usado nos Estados Unidos para pesquisa entre a vulnerabilidade e uma carga contaminante específica. Outro muito comum é o método GOD, visto ele ser um método que não utiliza muitos parâmetros e, estes, são de fácil obtenção. Este índice é amplamente usado na América Latina, onde foi idealizado primeiramente por Foster (1987) e foi sendo adaptado ao longo dos anos, com uma última versão em Foster *et al* (2006).

Dos métodos para avaliar a vulnerabilidade natural, o DRASTIC (Depth to groundwater Recharge Aquifer characteristic Soil media Topography Impact of the insaturated zone Conductivity hydraulic – D: Profundidade da zona não-saturada do solo, R: Recarga do aquífero, A: Característica do aquífero, S: Solos, T: Topografia, I: Impacto na zona não saturada, C: Condutividade hidráulica) é muito conhecido e conceituado, porém, a aquisição dos dados é mais complicada, em especial para a realidade brasileira, onde ainda não há condições para maiores análises. O DRASTIC não foi pensado para grandes profundidades do aquífero, também não foi pensado para vazamentos de tanques enterrados. Sendo que este índice foi utilizado como base para a criação do Índice de Susceptibilidade (RIBEIRO, 2005). Outro método bem-conceituado é o AVI (vulnerabilidade intrínseca), ele considera a recarga do aquífero e a profundidade do nível d'água, calculando o tempo de percurso da água entre as fendas. O valor resultante é colocado em uma tabela onde são separadas 5 classes com características e tempos distintos em que um contaminante poderá atingir um aquífero.

Das metodologias, o AVI, muitas vezes, é um que determina com maior precisão, porém, mesmo não utilizando tantos dados, encontrar os valores de condutividade hidráulica, gradiente hidráulico e porosidade são difíceis. Em contrapartida, o GOD gera um resultado significativo com poucos dados. As três metodologias citadas não levam em conta variações no lençol freático ou conexões entre as águas subterrâneas e superficiais, composição química do solo ou umidade específica do solo (GUIGUER & KOHNKE, 2002).

2.4.1 Índice GOD

O método GOD de análise de vulnerabilidade à contaminação intrínseca utiliza três parâmetros, sendo muito utilizado no país, visto que seus parâmetros são de fácil aquisição, se comparado a outros índices, e têm apresentado bons resultados. O método foi elaborado levando

em consideração a realidade brasileira, onde a aquisição dos parâmetros é difícil e, onde muitos poços não possuem determinados dados, elaborado por Foster (1987), Foster e Hirata (1988) e Foster *et al* (2006). Nele, se utilizam os parâmetros:

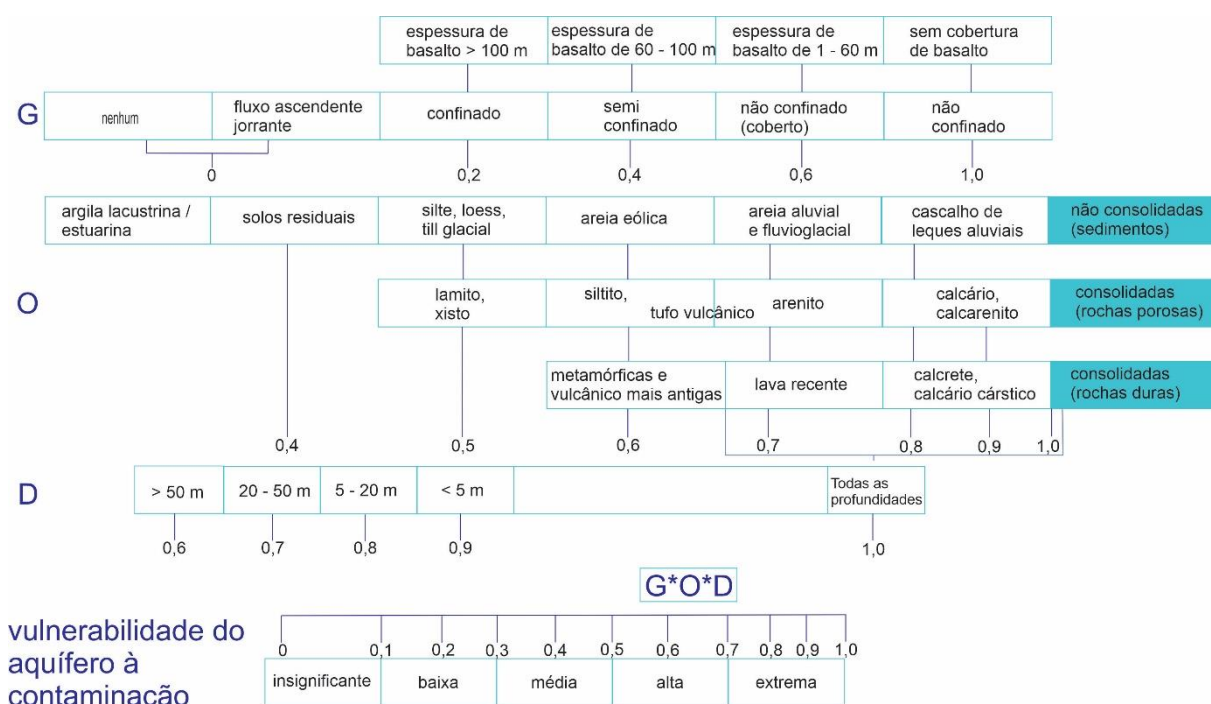
a) G: Groundwater occurrence (tipo de ocorrência da água subterrânea): este dado se encontra no cadastro de poços do SIAGAS, podendo ser: livre, coberto, semi-confinado, confinado ou jorrante. Cada poço possui um tipo de ocorrência, como na região ocorre aquífero fissural, foi usado para classificar, a proposta de Foster *et al* (2006) onde é atribuído um determinado valor ao aquífero fissural de acordo com a extensão da camada de basalto.

b) O: Lithology of the overlying (litologia): dado encontrado no cadastro de poços do SIAGAS. Classifica a litologia na camada acima da zona saturada, ou a camada acima do topo do aquífero, os parâmetros podem variar entre sedimentos, rochas sedimentares, rochas ígneas e metamórficas.

c) D: Depth of groundwater (profundidade): variando entre surgência de água até profundidades maiores de 50 metros. É a distância até a zona saturada ou até o teto do aquífero, este parâmetro também se encontra no cadastro dos poços no SIAGAS.

Cada parâmetro recebe uma pontuação, após isto, os três são multiplicados e classificados conforme as classes de vulnerabilidade (figura 05, caracterização do índice GOD).

Figura 5 – Caracterização do índice GOD



Fonte: Adaptado de Foster *et al* (2006).

2.4.2 Índice de Susceptibilidade

Este modelo de análise foi desenvolvido por Ribeiro (2005), ele foi pensado como uma alternativa a outro modelo de análise de vulnerabilidade que é muito utilizado, o DRASTIC. Enquanto alguns parâmetros são iguais (D, R, A, T), os parâmetros S (solos), I (litologia da zona saturada) e C (condutividade hidráulica) são retirados e, no lugar, é colocado o LU (uso do solo). Sendo eles:

a) D: Depth (profundidade): que pode variar de inferior a 1,5 a superior a 30,5 metros. O valor da profundidade até a camada saturada de água, no caso, para aquíferos livres, a profundidade até o nível estático, igual ao parâmetro D do GOD.

b) R: Recharge (recarga do aquífero): pode variar de inferior a 21 mm/ano até 254 mm/ano. Este dado pode ser calculado (há vários métodos para calcular a recarga para determinados tipos de rocha) ou retirado de bibliografias. A recarga leva em consideração a precipitação média anual na área, a taxa de infiltração da litologia localizada, a vegetação e dados de evapotranspiração.

c) A: Aquifer media (litologia do meio aquífero): pode variar de rochas mais selantes como argilitos, até rochas menos selantes como arenitos. Como elaborado por Ribeiro (2005) o meio aquífero se refere a litologia e ocorrência de fraturas na zona saturada, essa zona possui características tais como porosidade, transmissividade e condutividade hidráulica que influenciam diretamente no transporte e propagação dos contaminantes. O grau de faturamento do aquífero deverá ser considerado, pois quanto maior a densidade das fraturas, maior será o fluxo na zona saturada, e conseqüentemente, maior a vulnerabilidade do aquífero.

d) T: Topography (declividade): pode variar de inferior a 2% a superior a 18%. A topografia define a probabilidade de algum contaminante seguir ou então, permanecer em um local e infiltrar. O gradiente hidráulico, direção de fluxo e o tipo de solos estão relacionados com a topografia do terreno (RIBEIRO, 2005).

e) LU: Land use (uso do solo): este pode variar a depender do uso, maiores valores se relacionam a descargas industriais frequentes, até valores menores, de áreas agrícolas heterogêneas. Este valor é muito importante e, graças a ele, gera muita variação, o uso do solo é dividido em classes, sendo que a cada classe foi atribuído um valor.

Ribeiro (2005) propôs multiplicar o parâmetro LU por 10, após, Veríssimo (2010) propôs colocar todos os parâmetros com a multiplicação por 10; a fim de visualizar melhor as mudanças nos valores do IS. Além das diferenças no uso dos parâmetros entre os métodos

DRASTIC e IS, eles se diversificam ao elencarem pesos diferentes a cada parâmetro. Sendo assim, após classificar cada parâmetro segundo os critérios estabelecidos, estes são multiplicados para o peso de cada parâmetro e, após, os resultados são somados (figura 06, caracterização do índice IS).

Figura 6 – Caracterização do Índice IS

D		R		A		T	
Profundidade (m)	Pontuação	Recarga (mm/ano)	Pontuação	Litologia	Pontuação	Declividade (%)	Pontuação
< 1,5	100	< 21	10	Argilito	20	< 2	100
1,5 - 4,6	90	21 - 102	30	Rocha metamórfica	30	2 - 6	90
4,6 - 9,1	70	102 - 178	60	Rocha metamórfica / ígnea alterada	40	6 - 12	50
9,1 - 15,1	50	178 - 254	80	Til glacial	50	12 - 18	30
15,1 - 22,9	30	> 254	90	Calcário / argilito estratificado	60	> 18	10
22,9 - 30,5	20			Arenito maciço	60		
> 30,5	10			Calcário maciço	80		
				Arenito a basalto	80		
				Basalto	90		
				Calcário carsificado	100		

LU		Parâmetros	
Uso do solo	Pontuação	Parâmetros	Peso
Descargas industriais, zona de lixos	100	D	0,186
Perímetros regados, arrozais	90	R	0,212
Pedreiras, estaleiros	80	A	0,259
Aeroportos, zonas portuárias, redes de autoestrada e rede ferroviária	75	T	0,121
Espaço de atividades industriais, comerciais, espaços verdes e urbanos		LU	0,222
Zonas com equipamentos desportivos para ocupação			
Malha urbana contínua			
Malha urbana descontínua	70		
Culturas permanentes			
Pastagens	50		
Territórios agroflorestais			
Áreas agrícolas heterogêneas			
Meios aquáticos			
Florestas, superfícies com água	0		

$$IS = D \cdot 0,186 + R \cdot 0,212 + A \cdot 0,259 + T \cdot 0,121 + LU \cdot 0,222$$

VULNERABILIDADE DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	
85 - 100	Muito alta
65 - 85	Alta
45 - 65	Intermediária
0 - 45	Baixa

Fonte: Adaptado de Ribeiro (2005).

2.4.3 Índice POSH

Com base no trabalho proposto por Foster *et al* (2002), o método POSH indica se uma atividade possui potencial de geração de carga contaminante para o sistema aquífero. Estas fontes podem ser pontuais ou difusas, das fontes pontuais são designados diferentes empreendimentos com potencial poluidor, como as empresas do tipo 1, 2 e 3; além de outros empreendimentos como: postos de gasolina, cemitérios, vias de transporte de produtos perigosos e oficinas mecânicas. Das fontes difusas se encontram as práticas agrícolas e saneamento, o método POSH significa:

- a) P: Pollutant (poluente).
- b) O: Origin and its (origem e sua).

c) S: Surcharge (sobretaxa).

d) H: Hydraulically (hidráulica).

Esta classificação considera o tipo de atividade, seu potencial poluidor e a carga hidráulica associada; estas fontes podem ser classificadas como reduzida, moderada ou elevada.

A partir do mapa de uso e cobertura do solo, juntamente com dados do IBGE cidades e os dados de licenciamentos de empreendimentos que se pode efetuar esta análise. Para isto, é necessário saber o tipo de atividade e sua localização, assim, pode-se adicionar ao mapa de uso do solo as coordenadas dos empreendimentos, junto com seu potencial poluidor, classificados em alto, médio e baixo (nos endereços eletrônicos nos institutos licenciadores estaduais, onde se têm acesso aos dados sobre tipo de empreendimento, potencial poluidor e localização); dados sobre outros tipos de empresas (como as atividades comerciais do tipo postos de gasolina, hospitais, empresas diversas) podem ser encontradas no IBGE cidades e em listas de empreendimentos das cidades (como a *econodata*). Estes estabelecimentos encontrados são elencados como fontes pontuais de contaminação.

Concomitantemente, se elabora o POSH difuso, a partir dos dados de rede de esgoto, disposição de resíduos e práticas agrícolas; para isto, no IBGE cidades se encontram os dados de saneamento e população, onde, se elabora a densidade populacional para o centro urbano. Quanto as práticas agrícolas, tanto o IBGE como dados de cooperativas, sindicatos e das prefeituras, se faz a relação do tipo de cultura e manejo do solo. Na agropecuária, as áreas com alto potencial de contaminação são aquelas com culturas intensivas em solos bem drenados; e as áreas com baixo potencial poluidor onde há rotação de culturas e manejo de solo adequado. Trabalhos citam a importância de se delimitar um raio de influência de 200 metros a partir do ponto de lançamento de resíduos, como elaborado por Capalonga (2019). Não é o caso desta dissertação, visto que a área rural dos municípios se encontra de maneira mais expressiva e, se fosse delimitar este raio, um se sobreporia a outro. Assim, pode-se localizar as fontes pontuais e difusas de possíveis áreas com perigo de contaminação (figura 07 com a caracterização do índice POSH, o potencial de geração de carga contaminante) e cortar a área onde foi constatado o difuso (corte do município, sede e também as áreas com plantação que use químicos).

Figura 7 – Caracterização do Índice POSH

Potencial de geração de carga contaminante no subsolo		Elevado	Moderado	Reduzido
Fontes de contaminação	Disposição de resíduos sólidos	Resíduos industriais do tipo ^{3,**} de origem desconhecida	Chuva > 500 mm/a com resíduos residenciais / agroindústrias / indústrias do tipo 1, ^{**} ou todos os demais casos	Chuva < 500 mm/a com resíduos residenciais / agroindústrias / indústrias do tipo 1 ^{**}
	Áreas industriais [*]	Indústrias do tipo 3 ^{**} ou qualquer atividade que manuseie > 100 kg/d de produtos perigosos tipo 2	Indústrias tipo 2 ^{**}	Indústrias tipo 1 ^{**}
	Lagoas de águas residuais	Todos os resíduos industriais tipo 3, ^{**} qualquer efluente (exceto esgoto residencial se a área > 5 ha)	Esgoto residencial se a área for > 5 ha	Águas residuais residenciais, mistas, urbana agroindustriais e de mineração de não metálicos
	Outros (urbano)	Oficinas mecânicas	Postos de gasolina, vias de transportes com tráfego regular de produtos químicos perigosos	Cemitérios
	Mineração e exploração de petróleo	Operações em campos de petróleo, mineração de metais	Extração de materiais inertes	--
	Práticas agrícolas	Culturas comerciais intensivas, geralmente monoculturas em solos bem drenados ou com baixa eficiência em irrigação, pastos intensivos em campos intensamente fertilizados	Rotação entre duas culturas, intermediário entre o elevado e reduzido	Rotação das culturas, terra para pasto extensivo, sistemas de cultivo ecológico, plantações com alta eficiência de irrigação em regiões áridas e semi-áridas
	Fontes difusas: Saneamento in situ	Cobertura da rede de esgoto inferior a 25% e densidade populacional superior a 100 pessoas/ha	Cobertura da rede de esgoto entre 25 - 75% e densidade populacional entre 100 - 550 pessoas/ha	Cobertura da rede de esgoto superior a 75% e densidade populacional inferior a 550 pessoas/ha
<p>*solos contaminados de indústrias abandonadas devem ter a mesma classificação que a própria indústria. ** indústrias tipo 1: madeiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos indústrias tipo 2: fábrica de borracha, papel e celulose, indústrias têxteis, fertilizantes, usinas elétricas, fábricas de detergente e sabão. indústrias tipo 3: oficinas de engenharia, refinaria de gás/ petróleo, fábricas de produtos químicos, farmacêuticos, plástico, pesticidas, curtumes, indústria de eletrônicos e processamento de metal.</p>				

Fonte: Adaptado de Foster *et al* (2006), elaboração própria (2021).

2.4.4 Domínios Pedomorfoagroclicmáticos

Gomes *et al* (2006) classificou as áreas de recarga do SAG nos Domínios Pedomorfoagroclicmáticos; anteriormente proposto por Gomes (2003) e, que, com o tempo, foi se aprimorando. Sendo muito importante para o estudo na interface da agricultura com o meio ambiente; este índice caracteriza o risco e contaminação, para isto, considera o tipo de solo, morfologia do relevo, uso agrícola e clima.

Em seguida, Gomes *et al* (2008) associou os Domínios pedomorfoagroclicmáticos com o risco de contaminação da água subterrânea e o risco de erosão do solo. Onde, a partir do diagrama, quanto maior a probabilidade de contaminação da água subterrânea, menor a

probabilidade de erosão do solo. E vice e versa, pois quanto maior a possibilidade de erosão do solo, menor é a possibilidade de contaminação da água subterrânea.

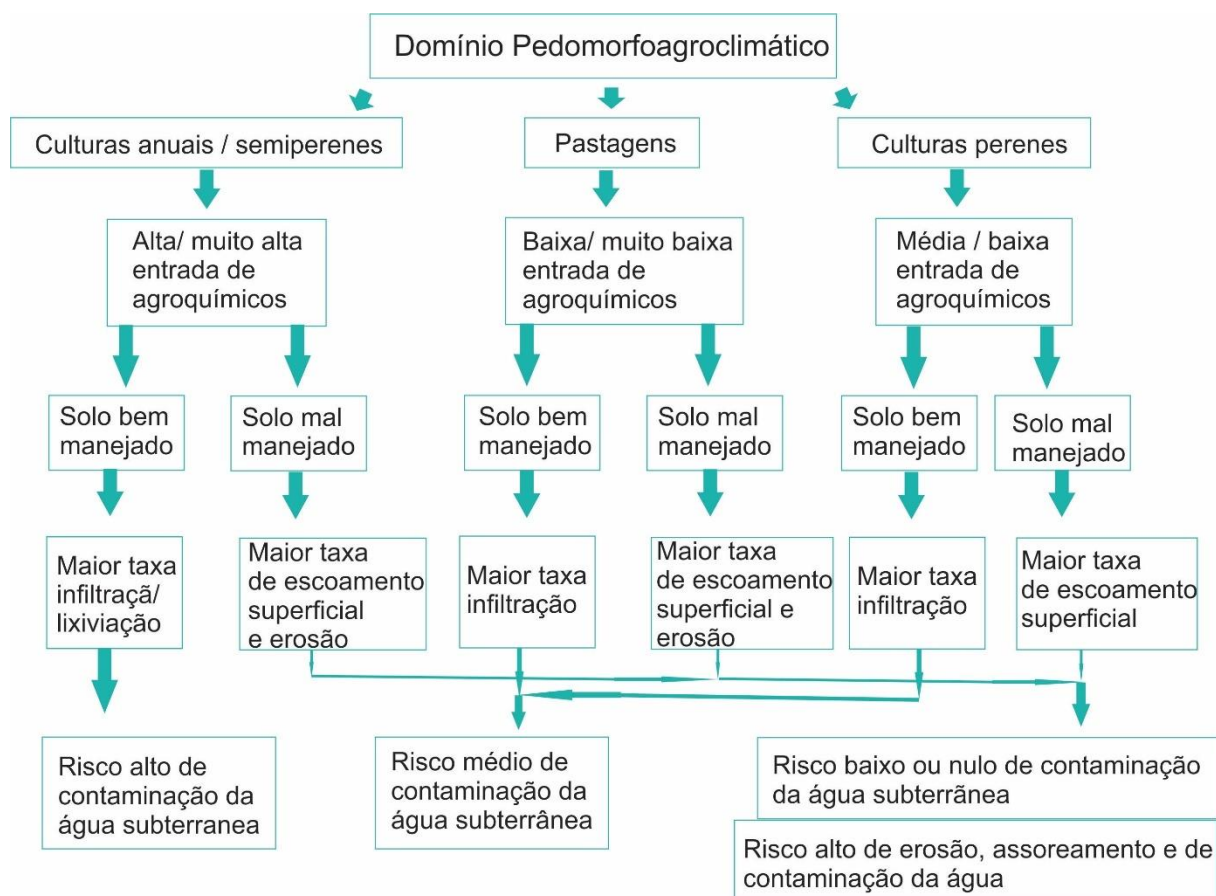
Sendo assim, Gomes *et al* (2008) propôs uma classificação conforme o tipo de cultura da área, onde caracteriza os domínios pedomorfoagroclicmáticos. Para isto, se utiliza de dados sobre as áreas rurais locais, sobre agricultura e pecuária, se a pecuária é em solo bem manejado, se a agricultura está situada em solo com manejo correto e, se utiliza pesticidas. Para isto, diversas fontes de dados são necessários, e, por vezes, estes dados se encontram incompletos ou de difícil acesso, pois para cada fazenda precisa-se saber se utiliza agroquímicos e como é feito o reparo do solo, a fim de caracterizar os tipos de agricultura e pecuária que ocorrem no município (figura 08, com a caracterização dos domínios pedomorfoagroclicmáticos).

Para esta classificação, é de extrema importância o mapa de uso e cobertura do solo, pois este ajuda a entender a dinâmica de ocupação da área, a partir disto, utilizar técnicas de SIG a fim de aprimorar e diferenciar os tipos de culturas.

A proposta de Gomes *et al* (2008) é a junção dos conhecimentos dos Domínios Morfoclimáticos, proposto por Ab'Saber (1970), com os Domínios Pedobioclimáticos, proposto por Resende *et al* (1995), incorporando o uso agrícola do solo. A proposta é interessante pois consegue reunir diversos conhecimentos e, é importante para a manutenção de solo e águas; mas deve-se atentar a outros trabalhos de Gomes (2003, 2006) onde o autor propõe classes de incorporação da agricultura de acordo com as distancias em relação aos recursos hídricos.

O próprio autor se preocupa em abordar a questão do ordenamento ambiental e a importância de se atentar aos tipos de culturas cultivadas nas áreas de recarga do aquífero; e como o manejo incorreto do solo pode prejudicar as águas subsuperficiais.

Figura 8 - Caracterização dos Domínios pedomorfoagroclimáticos



Fonte: Adaptado de Gomes *et al* (2008).

2.4.5 Aplicabilidade dos índices de vulnerabilidade

Brito & Reginato (2018) relacionaram o GOD e o POSH ao Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Porto Alegre, onde o valor de GOD é médio na maior parte da área, no entanto, o POSH é elevado na maior parte da área. Para os autores, isto não indica um risco de contaminação, mas reforça a importância da fiscalização para que empreendimentos potencialmente poluidores não ocorram de forma irregular.

Cutrim & Campos (2010) também elaboraram trabalho relacionando o GOD e POSH para Rondonópolis (MT), nele os autores se atentam ao fato de como a má construção de um poço pode influenciar na contaminação de uma região. Este estudo identificou a maior área com GOD desprezível; enquanto o POSH, a maioria das fontes pontuais se situam em áreas onde o GOD é moderado. Neste trabalho, o parâmetro G (tipo de aquífero) do GOD, foi caracterizado como coberto, pois a sua cobertura superior era de neossolo quartzênico, o que os autores relatam possuir boa capacidade de infiltração.

Já Capalonga (2019) utilizou o DRASTIC para calcular a vulnerabilidade natural, em conjunto com o POSH, para fontes pontuais de contaminação. Com isto, o autor encontrou uma classificação moderada de vulnerabilidade, para o vale do Taquari. O autor alerta para o fato de, apesar de não encontrar áreas onde o POSH e o DRASTIC sejam elevados, que um contaminante pontual pode entrar por fraturas nas rochas e se inserir no sistema aquífero. Outra questão levantada é sobre a escala e a importância de mapeamentos geológicos de detalhe, a fim de se conhecer melhor os sistemas de lineamentos e falhamentos regionais, para, assim, ter mais detalhamento de onde uma contaminação seria mais possível. Neste trabalho citado, a maioria dos poços são fraturados do SASG, onde o autor considerou a profundidade da camada de basalto para indicar o tipo de aquífero, por possuir grande espessura, Capalonga (2019) caracteriza o SASG como confinado na região.

Kemerich *et al* (2011) realizou o GOD para um bairro com cemitério, neste estudo, os autores também mencionam o fato de encontrar poços escavados e nascentes, cuja retirada de água é insignificante, mas que pode acabar sendo contaminado; da mesma forma, encontraram poços irregulares, sendo um risco para a qualidade do manancial. Neste trabalho, o parâmetro G do GOD foi considerado como livre para todo o bairro.

Pontes (2009) estudou os poços perfurados no campus da UFMS, em Campo Grande, através do método GOD e DRASTIC, estes poços estão inseridos no SASG. Pelo GOD a maior parte da área possui vulnerabilidade média, e pelo DRASTIC a vulnerabilidade é moderada a baixa; nas áreas onde o GOD é elevado, o DRASTIC também é alto. A maioria dos poços está inserido na vulnerabilidade moderada, sendo que há um hospital no campus, este está inserido nesta vulnerabilidade média.

A autora não encontrou no local uma atividade poluidora em regiões com vulnerabilidade alta. E considerou o aquífero basáltico livre para toda a região, independente da profundidade deste. Pontes (2009) considerou a importância de análises químicas para monitorar a qualidade da água, em especial quando há grande variação do nível freático.

Borba *et al* (2016) utilizou duas técnicas de análise de risco de contaminação da água subterrânea, levando em conta o uso e ocupação do solo; assim, eles utilizaram o IS e o POSH em um município com aquífero fraturado; para a região encontraram uma maioria de índice de risco de contaminação moderado a alto.

Neste trabalho, os autores retiraram os valores de recarga do IS de literatura. A maior parte da água subterrânea se encontra em profundidade superior a 30,5 m; com um mapa de uso do solo construído com informações da USGS; os valores de IS ficaram maiores em áreas onde o nível da água subterrânea era mais raso. A área urbana, bem como, as principais atividades

poluidoras do município, se encontram em um valor de IS variando de médio a alto; apesar da profundidade da água subterrânea ser maior. Também nestes locais com o IS mais elevado, se encontram as áreas de agricultura do município. O POSH foi elaborado no Google Earth, a partir das coordenadas dos estabelecimentos poluidores, salientando também, a importância do monitoramento de novos empreendimentos e a importância dos planos ambientais para Bacias Hidrográficas.

Já Borba *et al* (2020) abordam a importância de se incorporar ferramentas como o IS na elaboração de planos ambientais municipais; os autores elaboraram o IS para uma região inserida no SASG no RS; a região estudada possui forte produção pela suinocultura, sendo que o lançamento destes efluentes pode acarretar em contaminação de solo, água, além de prejudicar qualidade do ar e acarretar em possíveis doenças para a população; sendo esta atividade muito realizada, é de vital importância o cuidado. A maior parte da área possui classe moderada a baixa, mantendo condições naturais boas de proteção do aquífero; sendo as áreas próximas a centros urbanos as que possuem maior potencial poluidor, os autores ressaltam a importância do cuidado com o saneamento, além do manejo adequado na suinocultura.

Löbler *et al* (2014) utilizou o GOD para o município de Nova Palma (RS), onde ocorre o SASG e o SAG, este último se encontra em confinamento e livre; sendo que este município é abastecido por estas águas. Da área, a maioria se encontra nas classes de vulnerabilidade média e alta, porém, é significativo o valor da classe extrema. As áreas com maiores classes de vulnerabilidade se encontram próximas aos rios, sendo as áreas mais alagáveis e, por conta disto, há o cultivo de arroz, com a utilização de fertilizantes.

Para este trabalho, os autores consideraram os derrames basálticos como selantes da água do SAG. O GOD analisa a vulnerabilidade natural e não leva em consideração a utilização do solo; porém, os autores indicaram que grande parte de empreendimentos se encontram nas classes mais altas de vulnerabilidade do aquífero, Löbler *et al* (2014) destaca a importância de elaborar planos de fiscalização para o município a fim de prevenir possíveis contaminações.

Reginato & Ahlert (2013) estudaram aquíferos fraturados e o índice de vulnerabilidade natural, utilizando os métodos GOD e DRASTIC. Para os dois índices, as classes de vulnerabilidade moderada e baixa foram a maioria; havendo poucas discrepâncias entre os dois índices. Para este trabalho, os autores estabeleceram um valor do parâmetro G do GOD de 0,5 (entre semiconfinado e coberto) visto que o aquífero é basáltico e espesso; porém, devido a fraturas e falhas nas rochas, não é aconselhado se considerar como um aquífero confinado. Por conta disto, é de especial interesse o estudo dos fraturamentos e falhas em rochas ígneas e como estas interferem na quantificação, qualidade e vulnerabilidade das águas subterrâneas.

Diferente de Lastoria (2002) que caracterizou o SASG como livre para áreas do MS e, com isto, em trabalhos de vulnerabilidade com GOD considerou este como um aquífero livre, com o valor do parâmetro G igual a 1.

Chrispim (2016) também analisou dados de diversos poços rasos da Bacia de Campos, através dos métodos DRASTIC, GOD e IS; em sua tese, a autora analisou uma série de métodos, já aqui citados, após, escolheu um método para indicar a vulnerabilidade natural e outro para o risco de contaminação. Em conjunto, a autora comparou dois métodos de vulnerabilidade natural, usando um que abrangesse mais parâmetros (DRASTIC) e outro com menos parâmetros (GOD). Com isto, a autora constatou que, para a análise de sua área de trabalho, a diferença de resultados é ínfima, não dando margem a diferenças de interpretações.

Sobre o IS, a autora menciona o fato de que ele foi pensado para ser uma alternativa ao DRASTIC, sendo bem estabelecido em áreas de agricultura; a partir disto, o IS necessita de vários parâmetros, um deles, de recarga. Por conta disto, a autora separou um capítulo de sua tese para comparar o valor de recarga retirado de literatura para a região da Bacia de Campos, bem como, o cálculo de recarga, através do método de Thornthwaite & Mather (1955). O cálculo do IS foi elaborado usando os dois valores de recarga, e apesar dos valores de recarga serem levemente diferentes, o valor do IS não muda sua classificação final.

Por fim, Chrispim (2016) indica o IS como o melhor parâmetro para se trabalhar, por ser considerado o mais preciso, e por levar em conta o parâmetro uso da terra. Este parâmetro é crucial para o resultado, sendo essencial para a tomada de decisões de órgãos gestores quanto ao uso do solo e os níveis de contaminação do subsolo. Em seu trabalho, a autora utilizou o método Thornthwaite & Mather (1955), considerando este o melhor pois leva em consideração uma série histórica de 42 anos; em comparação com outros métodos, como o de variação do nível estático, que leva em consideração um ano.

Auzani (2010) realizou uma análise de uso e cobertura do solo para os anos de 1989, 1999 e 2009; bem como realizou estudo de vulnerabilidade através dos métodos DRASTIC e GOD para a região de Vila Kramer, em São Francisco de Assis. A partir disto, o que a autora observou foi, de acordo com as classes hipsométricas, a minoria das terras está no intervalo 0 – 100 m nas planícies aluviais; no intervalo 101 – 200 m estão as áreas planas e suave onduladas com presença de pecuária; nos intervalos 201 – 300 m a maior percentagem das terras estão com campos de pecuária e agricultura; as áreas de encostas da Formação Serra Geral e uma janela de Formação Botucatu se encontram no maior intervalo, de 401 – 500 m.

A evolução no uso da terra apresenta que a mata nativa diminuiu de 1989 a 2009, diminuindo em 26,32%, estando associada aos locais mais íngremes da formação Serra Geral,

além das matas ciliares. Houve um aumento da classe floresta implantada de 1999 para 2009 e pode estar relacionado ao incentivo da plantação de eucalipto para corte. A classe campo, que são áreas de recarga direta pela litologia de arenito, compreende a vegetação rasteira e pastagens, com aumento de apenas 10,16% de 1989 até 2009. Na classe cultura, encontraram pequenas propriedades, mas não muito significativo. Na classe solo exposto houve decréscimo, estando em 2,79% para 2009. A classe arenização inclui os areais, ravinas e voçorocas, diminuindo de 1989 a 1999 e estabilizando em 2009, ocupando 53%; por fim, as áreas de APP da Vila Kramer ocupam 8,91% (AUZANI, 2010).

Com os parâmetros, Auzani (2010) realizou o IS e o DRASTIC com valor de recarga retirados de Hausmann (1995). Para a metodologia GOD, todas as classes foram encontradas, sendo que para o DRASTIC variou menos as classes.

Pinheiro *et al* (2015) aplicou o GOD e o POSH em Santa Maria (RS), por ser um município com grande atividade industrial e população numerosa, é um local importante para o estudo de águas subterrâneas e o seu risco de contaminação, visto que esta região sofre com a escassez hídricas nas épocas mais secas do ano para o RS, com isto, o uso de águas subterrâneas é de extrema importância. Neste trabalho foram atribuídos o parâmetro G do GOD como livre, semiconfinado e confinado, com base nos perfis do SIAGAS. Os autores constataram que a vulnerabilidade média e alta está a norte e sul do município, sendo a parte central os valores mais baixos. Quanto ao POSH, os estabelecimentos com índices moderado e elevado de risco de contaminação, estão, em maioria, nas áreas com classe de GOD baixa e moderada.

Foster *et al* (2006) sabia da importância de se analisar os aquíferos fraturados, e visto que, até então, não haviam elaborado um esquema para o GOD onde pudesse correlacionar os estratos ígneos de aquíferos, os autores o elaboraram, reorganizando o parâmetro tipo de aquífero (G) com base na espessura da camada basáltica. Isto foi muito importante por nortear os trabalhos, contudo, é importante se analisar o sistema de fraturamentos. Por conta disto, a importância de se estudar localmente a geologia, a fim de ver se, mesmo com grande espessura de basalto, há um sistema de fraturamentos onde seja possível a rápida absorção de contaminantes pelo sistema aquífero.

Foster *et al* (2006) ainda cita que, o método subestima a vulnerabilidade de aquíferos fraturados. Os autores também o comparam com outros métodos de análise de vulnerabilidade e concluem que “a inclusão de um parâmetro que expresse a mobilidade do contaminante na zona saturada é uma complicação desnecessária”; e os autores observam o fato de que o uso do solo altera outros fatores e que é especial se atentar as atividades exercidas na superfície. Bem

como, os autores também falam sobre como a exploração excessiva pode variar a profundidade do lençol freático; outro fator é a presença de corpos d'água indefinidos (intermitentes ou permanentes) pois estes podem influenciar na capacidade de atenuação dos sedimentos de fundo. Assim como, argilas extremamente consolidadas que podem fraturar, perdendo sua capacidade de impermeabilidade. Por fim, o GOD não avalia contaminantes que estão abaixo do subsolo.

Todos estes pontos negativos são intrínsecos a todos os índices de vulnerabilidade natural, por isso a importância de se associar eles ao risco de contaminação. Em síntese, mesmo com uma análise mais completa do risco, há lacunas no conhecimento.

Dos Domínios morfoagroclimáticos, Gomes *et al* (2008) delimitaram 10 para áreas de afloramento do aquífero Guarani. Para o estado do Mato Grosso do Sul, a área de afloramento do Guarani é praticamente toda extensão da Bacia Hidrográfica do Alto Taquari e na região do município de Coxim e arredores; com áreas de recarga direta e diferença entre vegetação, pastagens nativas e pastagens cultivadas; com neossolo quartzarênico órtico, precipitação média anual de 1.460 mm e temperatura média anual de 23,5 °C. Para o Rio Grande do Sul, foram separados 3 domínios, para a região estudada, a área é Borda Planalto Médio / Missões, onde identificaram lençol freático bastante raso e situação mais vulnerável a contaminação por agrotóxicos; havendo predomínio de pastagens, precipitação média anual de 2.000 mm, temperatura média anual de 18 a 22 °C e argilossolo vermelho textura média. A partir disto, Gomes *et al* (2008) elaborou o diagrama dos domínios pedomorfoagroclimáticos, visando a identificação de áreas com maior detalhe.

2.5 SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO NO MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Sensoriamento remoto é uma área das ciências onde se obtém informações de algum ponto sobre a superfície terrestre através de satélite, estes contêm sensor capaz de emitir e /ou receber energia eletromagnética refletida na Terra (INPE, 2021).

O uso de geoprocessamento para análises ambientais é largamente difundido, sendo uma ferramenta essencial para a visualização fidedigna da realidade e análises de grandes extensões sem a necessidade de visitas ao local, diminuindo custos e otimizando o tempo de análise. O geoprocessamento trabalha com produções cartográficas e envolve desde a coleta, geração e finalização de materiais como mapas e arquivos digitais; em sistemas específicos, dentro do

Sistema de Informações Geográficas (SIG). SIG é definido como um sistema de processamento de dados gráficos e alfanuméricos a fim de realizar análises (INPE, 2021).

Foster *et al* (2013) indica que os mapas de vulnerabilidade de contaminação são elaborados em um ambiente de SIG para identificar as áreas que possuem maior suscetibilidade de contaminação, sendo parte crucial do trabalho.

Para os cálculos de vulnerabilidade, o trabalho em SIG é essencial para se obter a base a respeito do tipo de aquífero, estruturas, litologias e outros. Os dados retirados são todos cartográficos, o que é melhor visualizado e trabalhado em SIG.

Borba *et al* (2016) também fala da importância do SIG para a obtenção de resultados e de como o geoprocessamento é importante para a identificação e monitoramento de áreas, sendo esta ferramenta essencial para o trabalho. Para o cálculo de análise de risco de contaminação o geoprocessamento é essencial, desde a utilização de *softwares* de localização, como também traçar raios de influência.

Alves & Nascimento (2021) utilizam de geoprocessamento para estimar áreas de recarga de aquífero em uma área com rochas ígneas fraturadas, onde se conseguiu relacionar os poços com maiores vazões com os mapas de lineamentos da região. Pfaltzgraff *et al* (2002) utilizaram técnicas de sensoriamento remoto para indicar áreas mais propícias a água subterrânea para uma quadricula no município de Salgueiro (PE), com este trabalho os autores concluíram que as áreas com poços mais produtivos estão em áreas com intenso fraturamento.

Magnoni (2020) em sua dissertação estimou a recarga de águas subterrâneas através de sensoriamento remoto utilizando o Google Earth Engine (GEE), em um trabalho em nuvem; por conta disto, traz novas perspectivas, com a possibilidade de trabalhar com maiores dados e com uma maior diversidade destes. Na área, o autor estimou a recarga para a equação do balanço hídrico e estimou a flutuação do nível freático, a partir de séries temporais de precipitação, evapotranspiração e escoamento superficial. Para o estudo, se considerou um atraso entre o volume excedente do balanço hídrico e a recarga efetiva, para a estimativa de flutuação do nível freático, foram considerados os melhores valores com poços mais rasos; apesar de problemas para relacionar a variável escoamento superficial, o trabalho é importante pois se propõe a fazer de forma remota um trabalho cuja prática é em campo.

Suertegaray *et al* (1996) utilizaram técnicas de sensoriamento remoto a fim de mapear processos erosivos, onde se verifica a expansão dos areas e retração de lavouras e áreas de matas. Os autores elaboraram o mapa de uso do solo a partir de imagens, elaboraram a análise temporal para 1964 e 1989, onde se diagnosticou as mudanças na cobertura do uso da terra, alcançando bons resultados na diferenciação das classes de uso.

Nunes *et al* (2006), utilizou o processamento de imagens para quantificar as áreas de recarga de aquífero, em Portugal; eles utilizaram as técnicas de classificação supervisionada e não-supervisionada, onde encontraram discrepâncias pois agruparam mais de um grupo na não supervisionada. Por fim utilizaram um método híbrido para análise multitemporal na ocupação agrícola da região. Também elaboraram uma classificação de vegetação e uma relacionada a biomassa; os autores elaboraram saídas de campo para tomada de pontos de controle, com auxílio de GPS para efetuar correções e utilizar de apoio para o trabalho de gabinete. Este trabalho é muito didático na elaboração das classificações, além do trabalho com muitos dados e escala de detalhe muito alta. Após, os autores identificaram as áreas de irrigação que estão inseridas na região; a classificação irrigada também utilizou de classificação supervisionada e não supervisionada, onde ocorreram diferenças nas classificações supervisionadas e não supervisionadas. Os resultados identificaram de forma correta e precisa muitos alvos, apresentando a importância deste tipo de trabalho e como o trabalho em gabinete no ambiente SIG é uma ferramenta fundamental do trabalho científico.

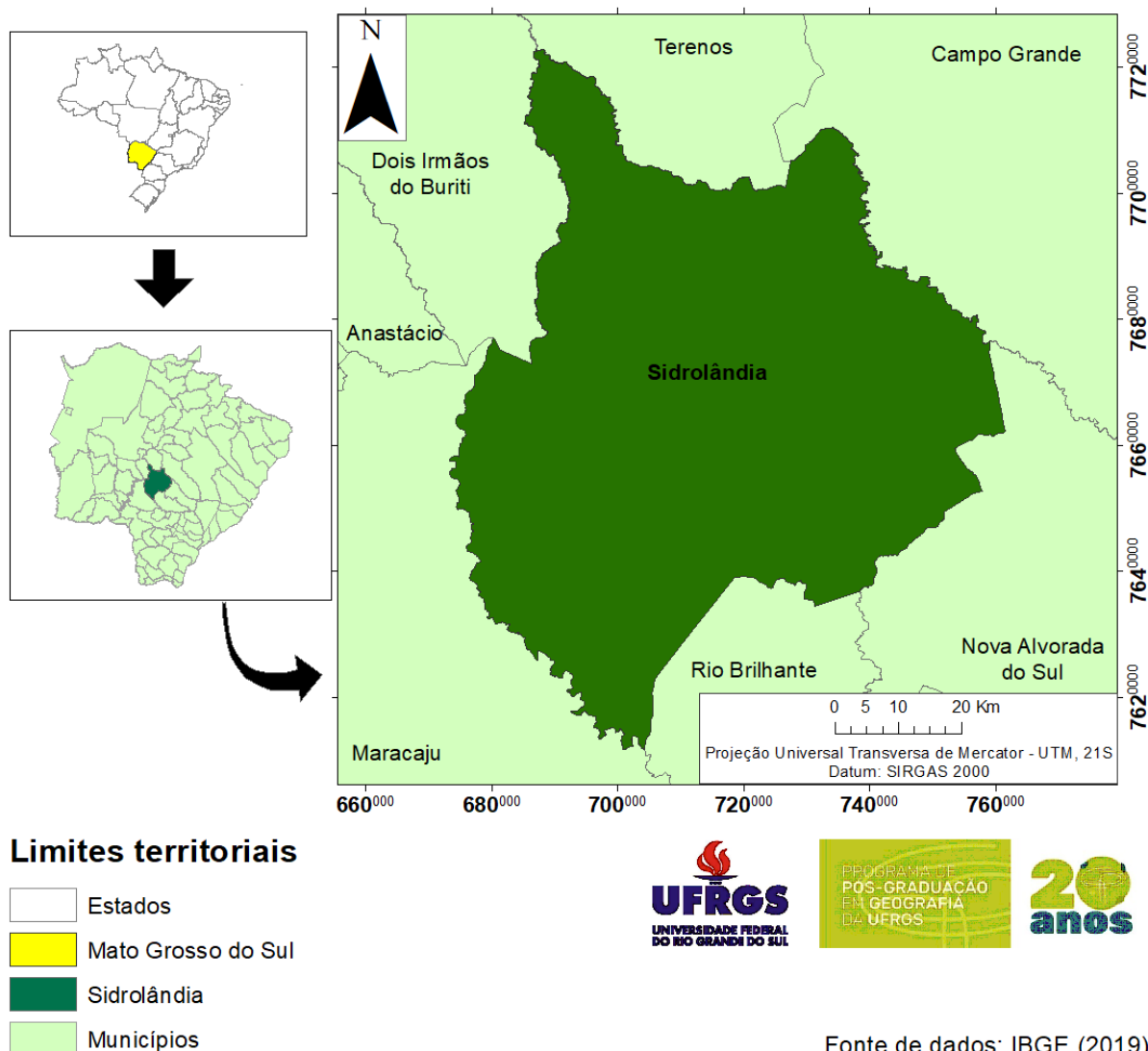
3. DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

3.1 SIDROLÂNDIA (MS)

O município estudado se encontra a, aproximadamente, 70 km da capital do estado do Mato Grosso do Sul, Campo Grande (figura 09, localização do município de Sidrolândia). Possui área de 5.265,695 km², pertencendo a região centro norte do MS, possui uma população estimada de 59.245 pessoas em 2020, densidade de 7,9 hab./km². O município possui um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,686, considerado médio; nele, a população de maioria considerada branca e parda, com a maioria na faixa etária dos 30 aos 49 anos, a diferença entre os sexos femininos e masculinos é pequena. A proporção de pessoas ocupadas em relação à população total era de 16,1%, destes 88% das pessoas estão ocupadas em setores agropecuários, destes trabalhadores 60% são do sexo masculino (IBGE CIDADES, 2020).

Apesar de serem a minoria, a região possui aldeias indígenas, da etnia Terena, compondo em torno de 2.113 pessoas residentes do município, segundo a Subsecretaria Especial de Cidadania (SECID/MS, 2019); no limite municipal também possui um assentamento quilombola, o assentamento Jiboia que possui uma fábrica de doces, implantada por um convenio entre a Secretaria de Estado de Direitos Humanos, Assistência Social e Trabalho (SEDHAST) e a ELETROBRAS (SEDHAST, 2015 e SECID, 2019).

Figura 9 - Localização do município de Sidrolândia



Fonte: Elaboração própria (2022).

Os distritos municipais são: sede (Sidrolândia), Capão Seco e Quebra Coco (Figura 10 - Distritos de Sidrolândia). Sobre o processo de urbanização da região, seu histórico de povoamento é antigo, com resquícios arqueológicos datados de 12.000 AP (Antes do Presente) encontrados no noroeste do estado (SCHMITZ,2015), ao longo de 8.400 anos houve evolução da ocupação indígena ao longo do Rio Paraguai (SCHMITZ & ROGGE, 2015), sendo que estes povos viviam de caça, pesca e agricultura.

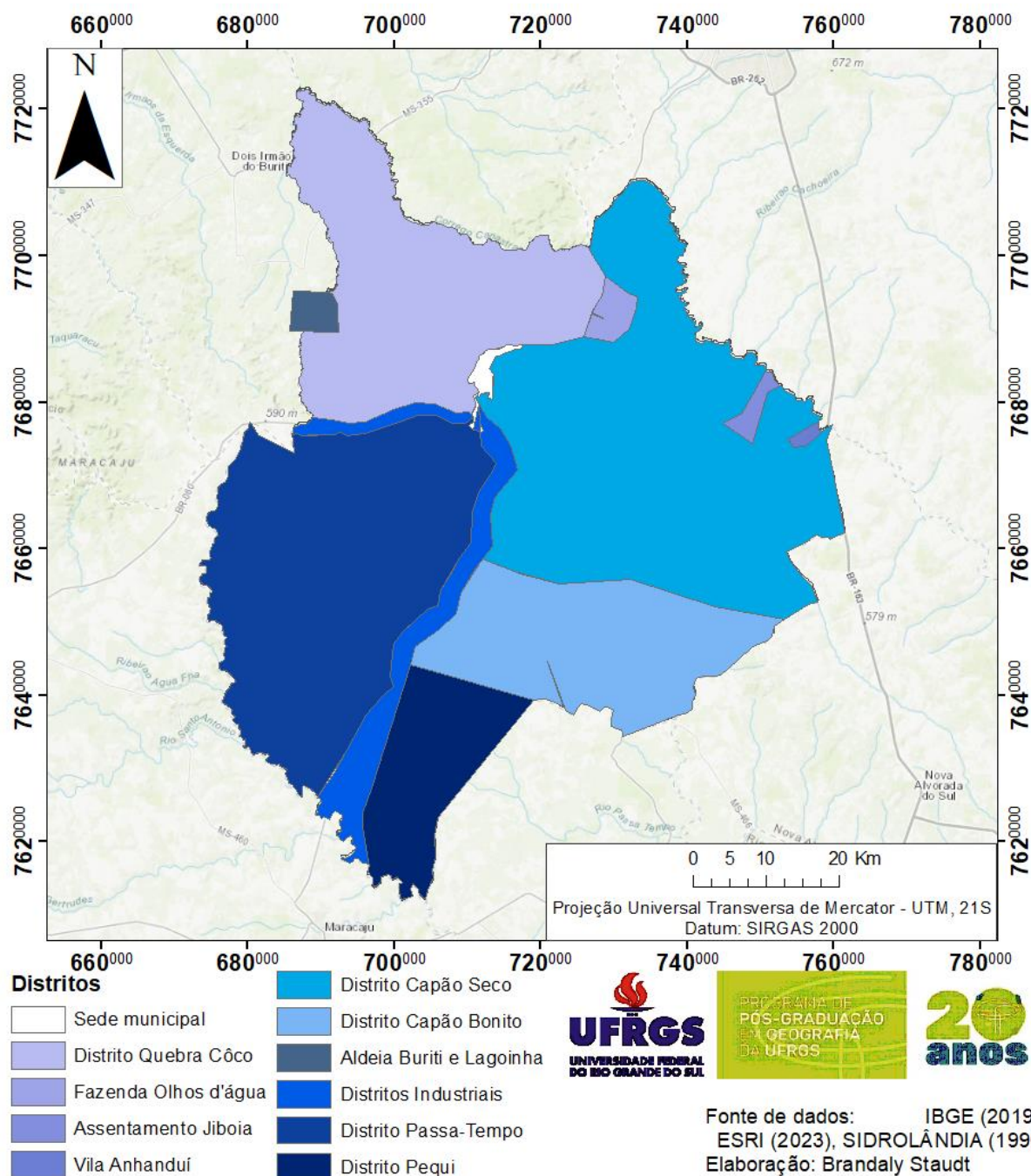
Isto mudou com a ocupação europeia, com a invasão e destruição das terras; além de ameaça e morte de diversos grupos étnicos, como os Guarani, Kaiowá, Terena, Mbya. Após a Guerra do Paraguai essa ocupação do centro-oeste se tornou sistemática, expulsando pessoas de suas terras e usando-as de mão-de-obra de exploração regional (FUNAI, 2021).

Desde o século XVII aquelas terras foram usadas para pastagens, mais tarde, com a instauração da política de “Marcha para o Oeste”, em 1943, houve o incentivo à ocupação de colonos nestas terras, onde se acentuaram os confrontos pois áreas designadas para os colonos eram, de fato, de grupos indígenas que viviam muito antes nestas terras (FUNAI, 2021).

Isto está intimamente ligado ao processo de crescimento da região de Sidrolândia, onde, em meados do século XIX uma família se instalou, com as primeiras fazendas de gado, posteriormente, outras famílias se instalaram para a pecuária. Assim foi se seguindo o povoamento da região, até 1870, quando duas famílias (uma de Cuiabá e outra de Lages) se instalaram na localidade onde fundaram diversas fazendas; mais tarde, estas duas famílias se uniram através do casamento de seus filhos. Com isto, uma área muito extensa ficou sob tutela de Sidrônio Antunes de Andrade; em 1942 ele resolveu lotear uma parte de suas terras, denominando o loteamento de Sidrolândia.

Em seguida, em 1944 foi criada a estação ferroviária da região, a estação Anhanduí, que ligava Campo Grande à Ponta Porã, com isto, a localidade se desenvolveu rapidamente como área de pastagens e agricultura. Em 01/12/1948, pela lei estadual n° 207 é criado o distrito de Sidrolândia, subordinado ao município de Campo Grande; após, em 11/12/1953 pela lei estadual n° 684 que Sidrolândia foi elevado à categoria de município. Em 1979 foi fundado o distrito de Capão Seco e, em 1982, é anexado o distrito de Quebra Coco (IBGE BIBLIOTECA, 2009).

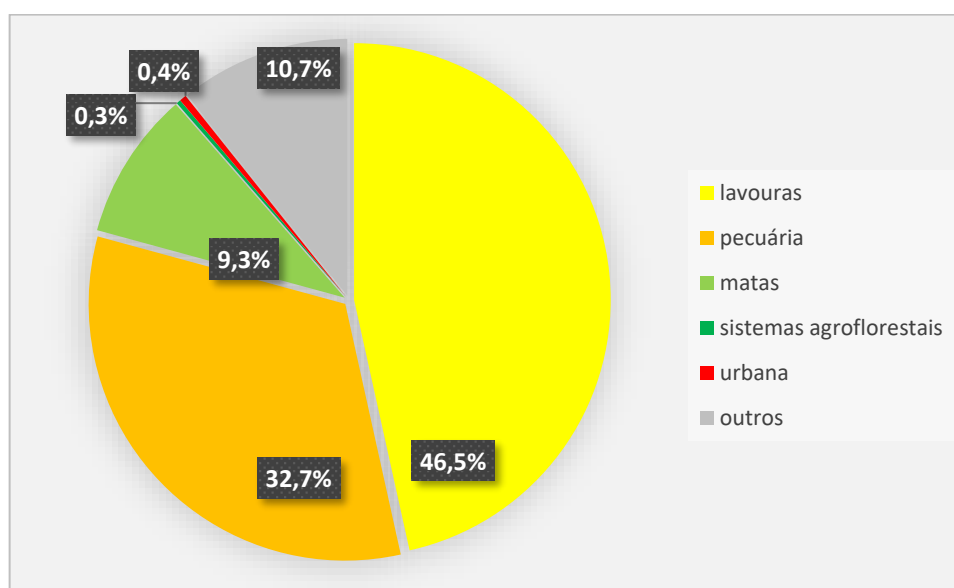
Figura 10 - Distritos de Sidrolândia



Fonte: Elaboração própria (2022).

Com um PIB per capita de R\$ 38.621,63, o comércio de produtos e serviços é o que gera maior renda local, porém, a agropecuária é a atividade econômica que gera maior valor bruto; onde 245.006 ha são para lavouras, 172.233 ha para a pecuária, 49.153 ha para matas ou florestas e 1.419 ha para sistemas agroflorestais (figura 11 com o gráfico de uso do território em Sidrolândia); com 655 ha de área irrigada (0,13%). Quanto a indústria, o cadastro identificaram 944 unidades locais, sendo 904 empresas ou organizações atuantes.

Figura 11 - Uso do território em Sidrolândia



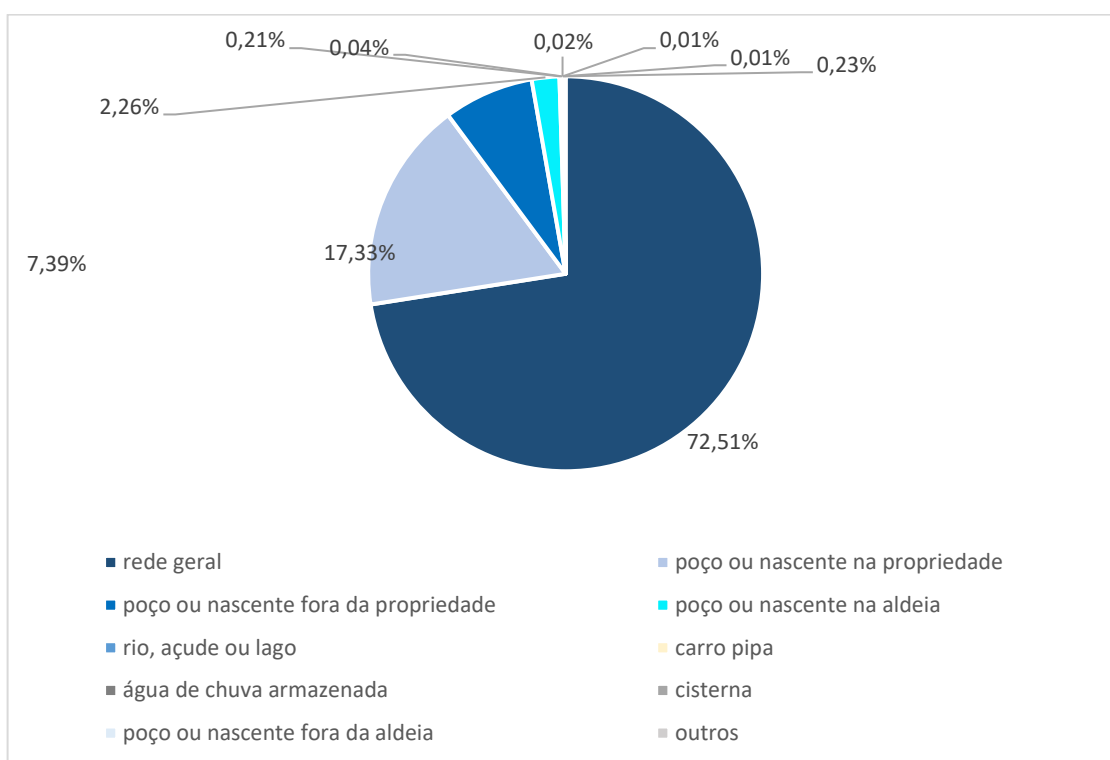
Fonte: Adaptado de IBGE Cidades (2020), elaboração própria (2021).

No limite municipal, os dados de pesquisa nacional de saneamento básico é de 2008, com um volume de água tratada de 6.341 m³ por dia, com 12.301 unidades de estabelecimentos abastecidos (de um total de 13.131 domicílios). E, apesar da grande quantidade de córregos na região, o abastecimento público se dá unicamente através de poços artesianos, segundo a Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul – SANESUL (SANESUL, 2016).

Dos dados de 2010, o esgotamento sanitário por rede geral de esgotos e fossa séptica estava em 19% dos domicílios municipais (IBGE CIDADES, 2020). Sobre isto, a cidade possui uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e uma Estação Elevatória de Esgoto Bruto (EEEB), além do projeto para implantação de mais 13 áreas de EEEB (SANESUL, 2016). A destinação do lixo nos domicílios se organiza da seguinte forma: coletada para 8.426 moradias, enterrado em 868 domicílios, 01 domicílio jogado, 3.674 domicílios queimados e 117 possuem outro destino nos domicílios (CENSO, 2010).

Enquanto que a forma de abastecimento da água se realiza da seguinte forma: 9.550 por rede geral, 2.283 em poço ou nascente na propriedade, 973 poço ou nascente fora da propriedade, 298 poço ou nascente na aldeia, 27 em rio, açude ou lago, 05 de carro pipa, 02 em água da chuva armazenada, 01 em cisterna, 01 em poço ou nascente fora da aldeia e 30 de outras formas (CENSO, 2010) [Figura 12 – Abastecimento de água municipal em Sidrolândia]. O município é cortado por algumas rodovias, entre as principais estão a BR – 060 (que corta na direção NE – SW), a MS – 162, MS – 455 e a MS – 258.

Figura 12 – Abastecimento de água municipal em Sidrolândia



Fonte: Adaptado de IBGE Cidades (2020), elaboração própria (2022).

A região tem como bioma o Cerrado, com vegetação aluvial nas margens dos cursos d'água; no município há o contato entre a savana estépica e a floresta estacional, muito antropizada e transformada em áreas de pastagens (EMBRAPA, 2021).

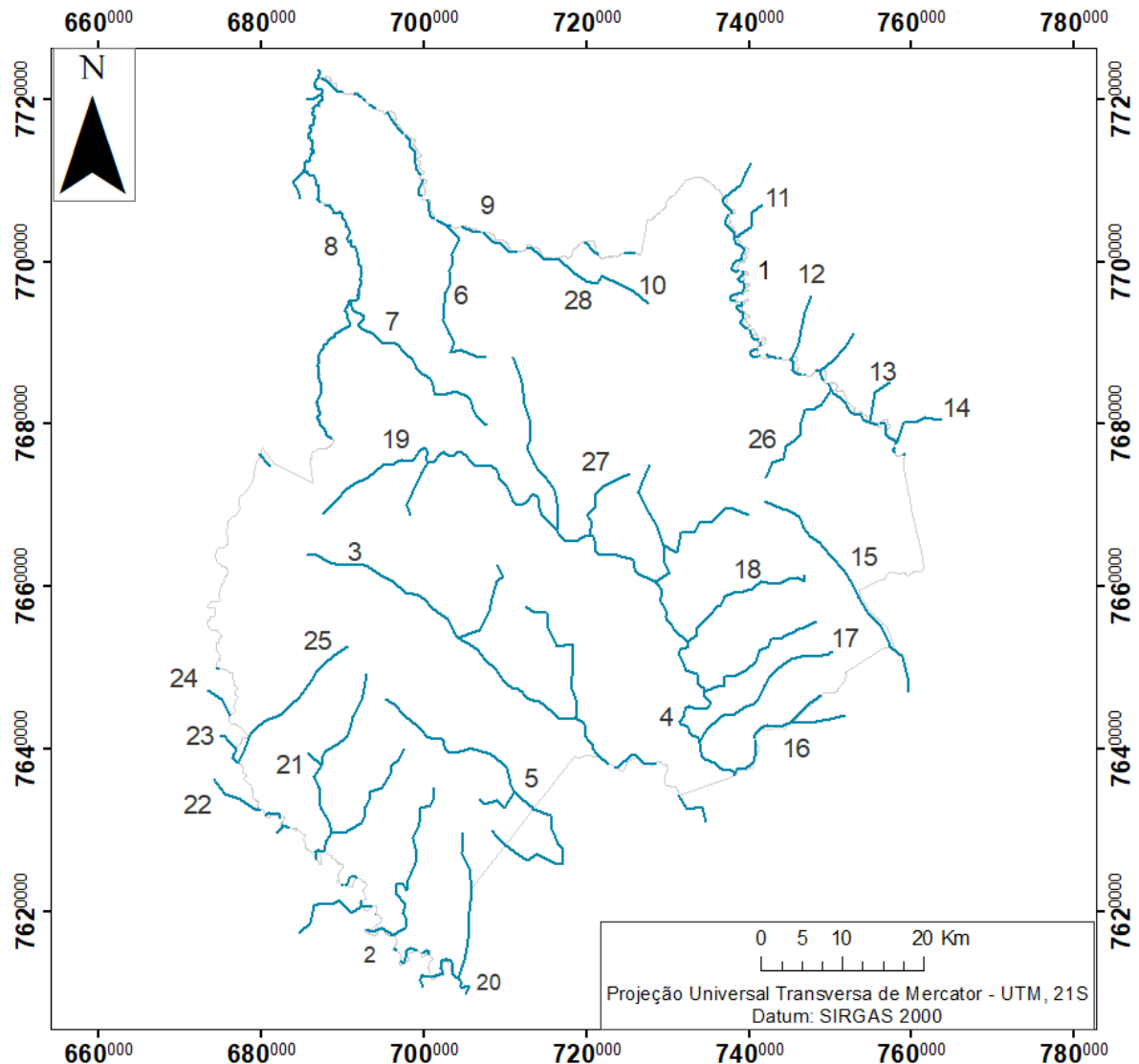
Possui clima tropical, predominantemente chuvoso, sendo úmido a sub-úmido, segundo classificação climática de Koppen-Geiger, com subtipo Cfa, com clima temperado úmido com verão quente. Correspondendo a novembro, dezembro e janeiro os meses mais chuvosos, com precipitação variando de 150 a 170 mm / mês, com período seco inferior a quatro meses. As temperaturas variam de 22 a 35 graus Celsius o ano todo. Está inserido no fuso horário UTC – 4, hora do Amazonas.

A altitude geométrica é de 468 metros, segundo o Relatório de Estação Geodésica, do marco que se encontra na usina de reciclagem de lixo da prefeitura municipal (IBGE – BDG, 2007).

Sobre a hidrografia, o município é banhado pelo rio Anhanduí, que passa pelo lado leste, na região de Capão Seco; rio Brilhante, se encontra no limite sul, vizinho ao município de Maracaju; rio Serrote este sendo um afluente do rio Vacaria; o rio Vacaria também passa pelo limite municipal, além do rio Brilhante; estando na Bacia do Rio Paraná (GOOGLE EARTH,

2021 e IBGE CIDADES, 2020). Outros córregos e rios que o município possui: Canastrão, Conrado, São Bento, Alegre, Buriti, Jenipapo, Passatempo, Belchior, Almirante, Piau, Amambai (figura 13 com os recursos hídricos de Sidrolândia). O município está inserido na UPG Ivinhema; tendo maior uso da água superficial para a dessedentação animal (PERH, 2010).

Figura 13 - Recursos hídricos de Sidrolândia



Legenda

- Hidrografia
- limite municipal

- | | | |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1 - Rio Anhanduí | 11 - Córrego 3 barras | 21 - Córrego Jenipapo |
| 2 - Rio Brilhante | 12 - Ribeirão Cachoeira | 22 - Córrego Santo Antônio |
| 3 - Rio Serrote | 13 - Córrego Progresso | 23 - Córrego Água Fria |
| 4 - Rio Vacaria | 14 - Córrego Pouso Alegre | 24 - Córrego Esperança |
| 5 - Córrego Passatempo | 15 - Córrego Barra Funda | 25 - Córrego Alegre |
| 6 - Córrego Canastrão | 16 - Córrego Piau | 26 - Córrego São Bento |
| 7 - Córrego Conrado | 17 - Córrego Almirante | 27 - Córrego Amambai |
| 8 - Córrego Buriti | 18 - Córrego Campeiro | 28 - Córrego Iguatemi |
| 9 - Córrego Belchior | 19 - Córrego São Bento | |
| 10 - Cachoeira da Conquista | 20 - Córrego Cachoeira | |



Fonte de dados: IBGE Cidades (2020),
IBGE (2019), CPRM (2009),
PERH MS (2010),
GOOGLE EARTH (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de IBGE (2019), IBGE Cidades (2020), CPRM (2009), PERH MS (2010) e GOOGLE EARTH (2021); elaboração própria (2022).

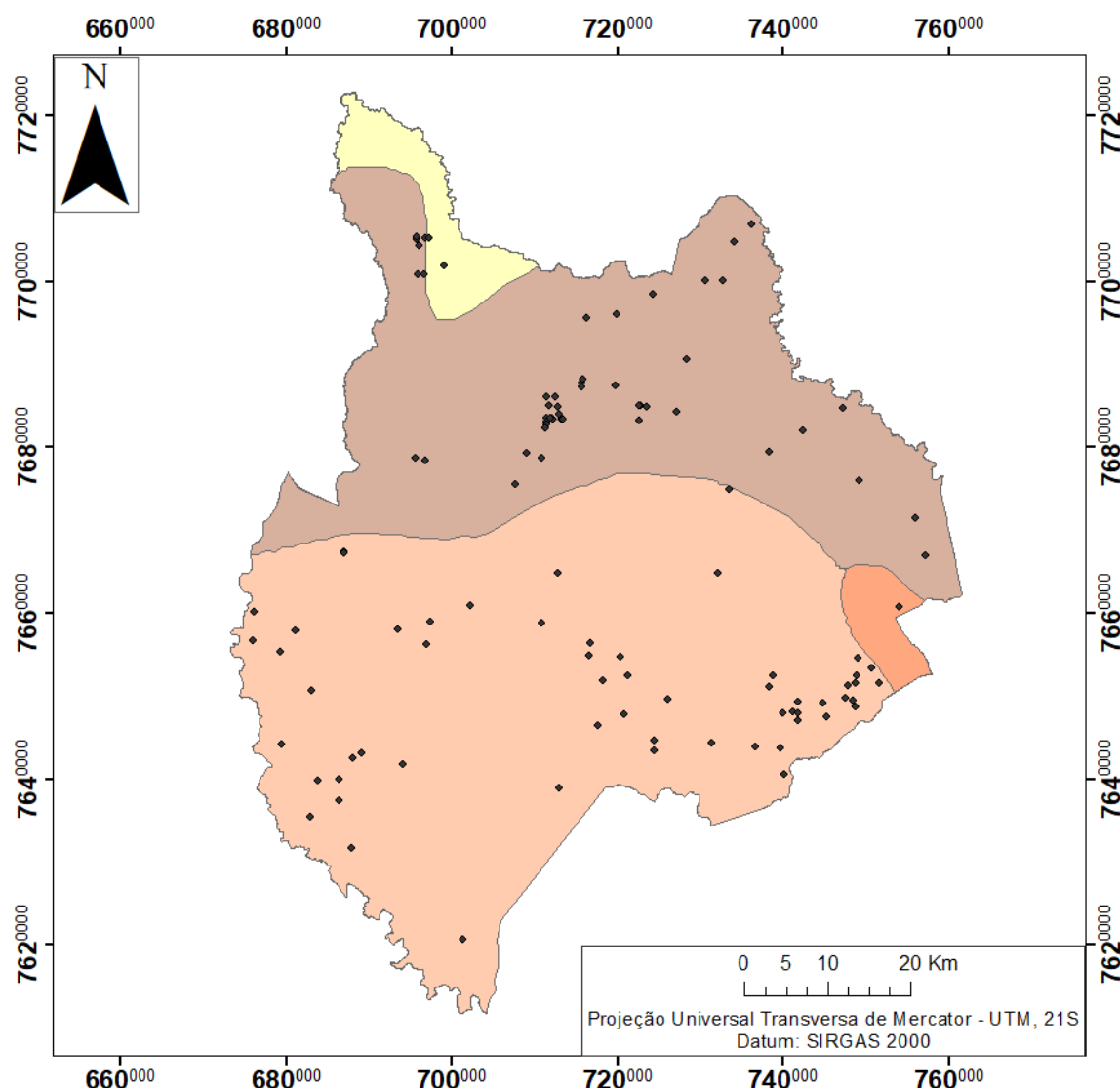
Quanto aos solos, o que se observa é a ocorrência dos solos de alteração de basalto, latossolo vermelho foi observado através dos dados de poços cadastrados pela CPRM; o

município é coberto, em maioria, por latossolo vermelho escuro, bem drenado, mineral e profundo, ideal à agricultura, segundo o Zoneamento Agroecológico de Sidrolândia - MS (EMBRAPA, 2011), a seguir, a figura 14 com o mapa de solos de Sidrolândia.

A diferença entre os solos se dá na composição, onde o latossolo vermelho (LV) distroférico, ocorre predominantemente em áreas de relevo plano e suave ondulado, possui altos teores de ferro e uma baixa fertilidade, necessitando de adubação, assim como o latossolo vermelho distrófico. O latossolo vermelho (LV) eutroférico também possui altas taxas de ferro, porém possui alta fertilidade (EMBRAPA SOLOS, 2021).

Em menores proporções, estão os: neossolo litólico (RL) eutrófico, neossolo quartzarênico (RQ) órtico e gleissolo (GX) háplico tb distrófico. Os Neossolos litólicos são solos rasos, estando associados a presença de rochas, pouca profundidade e relevo com maior declividade, a fertilidade está associada a presença de alumínio, neste sentido, os eutróficos são bem férteis. Enquanto neossolos quartzarênicos possuem textura arenosa, cor amarelada, ocorrendo em relevo plano ou suave ondulado, devendo se atentar com a erosão; sendo que o órtico não possui restrição de uso e manejo. Por fim, os gleissolos háplicos se situam nas partes mais baixas da planície aluvial, associado a organossolos, sendo os tb distróficos os que possuem baixa atividade de argila e baixa fertilidade (EMBRAPA SOLOS, 2021).

Figura 14 - Mapa de solos de Sidrolândia



Legenda

- ♦ Localização dos poços

Tipo de solos

- LV Distroférico+LV Distrófico+LV Eutroférico
- LV Distroférico+RL Eutrófico
- LV Distrófico+RQ Órtico+GX Háptico Distrófico
- LV Distrófico+LV Distroférico+RQ Órtico



Fonte de dados: CPRM (2009), EMBRAPA (2001), IBGE (2019) e SIAGAS (2021)

Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2001), CPRM (2009), IBGE (2019) e SIAGAS (2021); elaboração própria (2022).

O município se encontra nas unidades geoambientais da região dos patamares e escarpas da borda ocidental da Bacia do Paraná, região da borda do planalto basáltico, região pantaneira, região dos planaltos rampeados e região do planalto basáltico (RIGEO, 2009). A primeira ocorre exclusivamente na área norte e nordeste do município, o segundo ocorre pela maior parte do município, em área central e limites sul, leste e oeste; a terceira unidade ocorre em uma área

a norte / noroeste e a última ocorre apenas no limite leste (EMBRAPA, 2011 *APUD* BRASIL, 1982).

De acordo com a base de dados do Serviço Geológico, as litologias encontradas em Sidrolândia são Arenito e Dacito, e as unidades estratigráficas são Formação Botucatu, Formação Serra Geral e Grupo Caiuá (figura 15, mapa litológico de Sidrolândia, e figura 16, mapa litoestratigráfico e estruturas de Sidrolândia, respectivamente).

Segundo Gastmans (2007) a formação Botucatu aflora nas escarpas da Serra de Maracaju no estado, próximo à área de Sidrolândia; há também o contato entre esta formação e a Formação Serra Geral. A formação Botucatu é constituída de litologias areníticas quartzosas com estratificação cruzada de coloração rósea ou amarelada até avermelhada, de granulação fina a média, de subarredondados a arredondados e de boa esfericidade. Rocha Campos & Farjallat (1966) verificaram afloramento da Formação Botucatu de espessura de 200 metros, na rodovia BR-060, entre Campo Grande e Camapuã, localizada a norte da capital.

A formação Serra Geral é constituída por rochas vulcânicas, que se encontram sobrepostas aos arenitos eólicos da Formação Botucatu, ocorrendo derrames de sul para norte em um intervalo de tempo de 3 Ma. Machado *et al* (2009) encontraram afloramento da formação Serra Geral sobreposto a afloramento da formação Botucatu no município de Camapuã, com contato concordante e abrupto. Afloramento da Formação Botucatu em Campo Grande indicaram período de umidade entre a sedimentação dos arenitos.

Machado *et al* (2009) constataram rochas basálticas alteradas por processos de oxidação e argilização. Na região de Campo Grande e sul do estado, localizaram afloramentos de rocha maciça, hipocristalina, com granulometria variada, além de disjunções colunares. Sendo que os autores caracterizaram os basaltos da região contendo plagioclásio, piroxênio, magnetita/ilmenita, olivina e apatita. Neste trabalho, as amostras coletadas na região de Campo Grande indicaram pela geoquímica as rochas sendo basaltos, enquanto na base cartográfica do Serviço Geológico a região aparece contendo dacitos, a diferença entre eles é a quantidade de SiO₂ (basalto < 52%, as duas são máficas e afaníticas).³

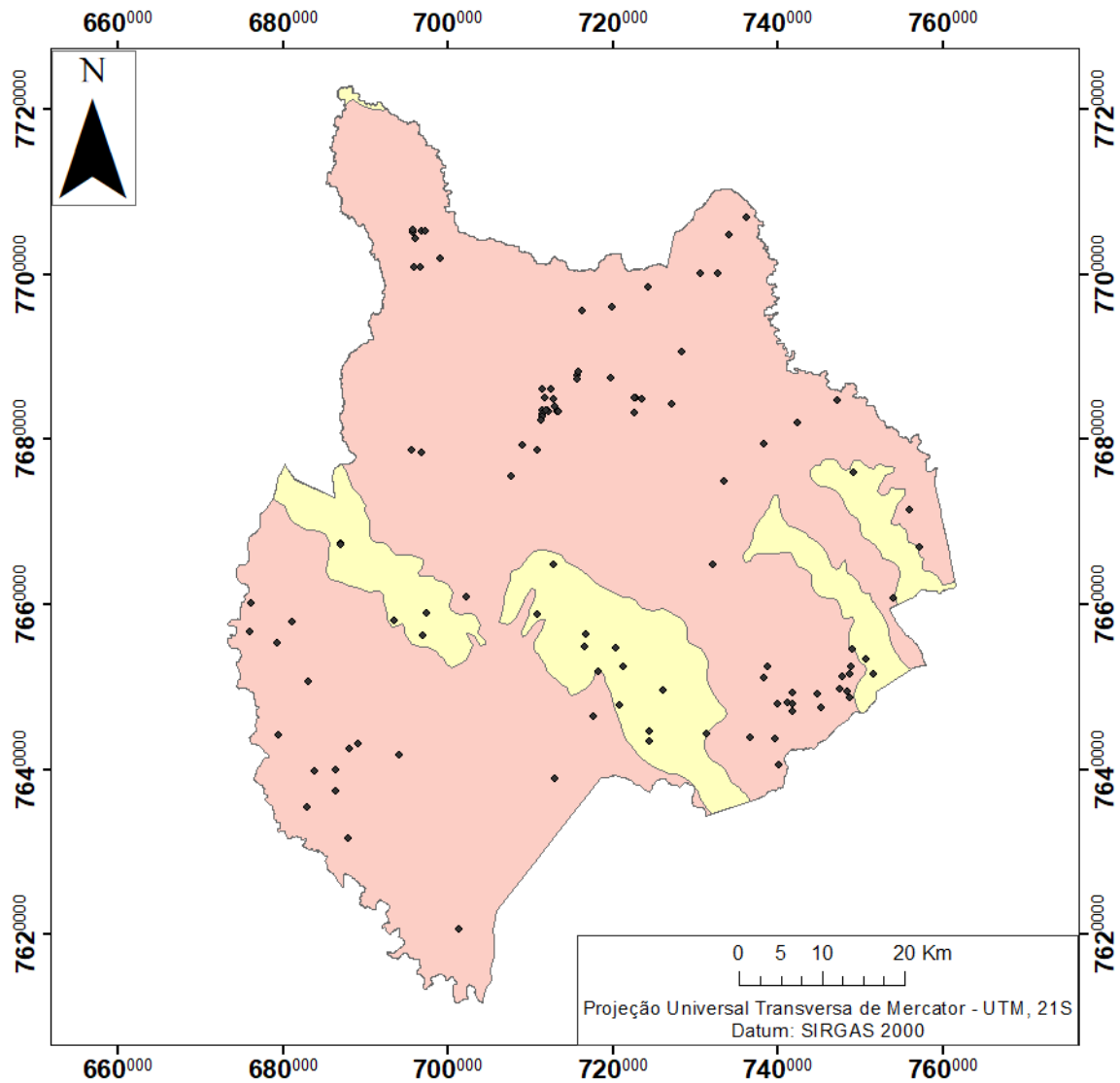
Assine *et al* (2004) coloca que a relação entre a formação Serra Geral e Botucatu ocorre de forma concordante e interdigitada. Lastoria (2002) identificou camadas de até 300 metros de basalto, nos poços no município de Maracajú (município vizinho a Sidrolândia). Sobreposto a

³ Rochas máficas são rochas ígneas ricas em elementos ferromagnesianos e pobres em sílica. Rochas afaníticas são as rochas com uma granulometria muito fina de cristais, estes não são distinguíveis a olho nu (GLOSSÁRIO GEOLÓGICO ILUSTRADO, 2021).

estes basaltos, ocorrem os sedimentos do Grupo Caiuá, estes sedimentos ocorrem por conta de um quadro estrutural presente na região. A área estudada, segundo Lastoria *et al* (2006), possui um controle tectônico estrutural, na direção de NW pelo alinhamento Guapiara e a oeste na Serra de Maracaju. De acordo com o mapeamento elaborado pela CPRM (2012), a maioria dos lineamentos possuem direção NW – SE.

O Grupo Caiuá corresponde a depósitos do Cretáceo Superior, formados posteriormente aos derrames basálticos, sendo o último episódio de deposição da Bacia do Paraná, este grupo é dividido entre as Formações Rio Paraná, Goio Erê e Santo Anastácio (CPRM, 2012). Constituído por arenitos marrom-avermelhado a arroxeadado (Fm. Rio Paraná) e cinza-arroxeadado (Fm. Santo Anastácio), finos a médios e bem arredondados, quartzosos a arcóseos. Com deposição desértica, em complexos de grandes dunas amalgamadas, com fácies interdunas (Fm. Rio Paraná) e dunas médias (Fm. Santo Anastácio) (FERNANDES & COIMBRA, 1994).

Figura 15 - Mapa litológico de Sidrolândia



Legenda

- ♦ Localização dos poços

Litologias

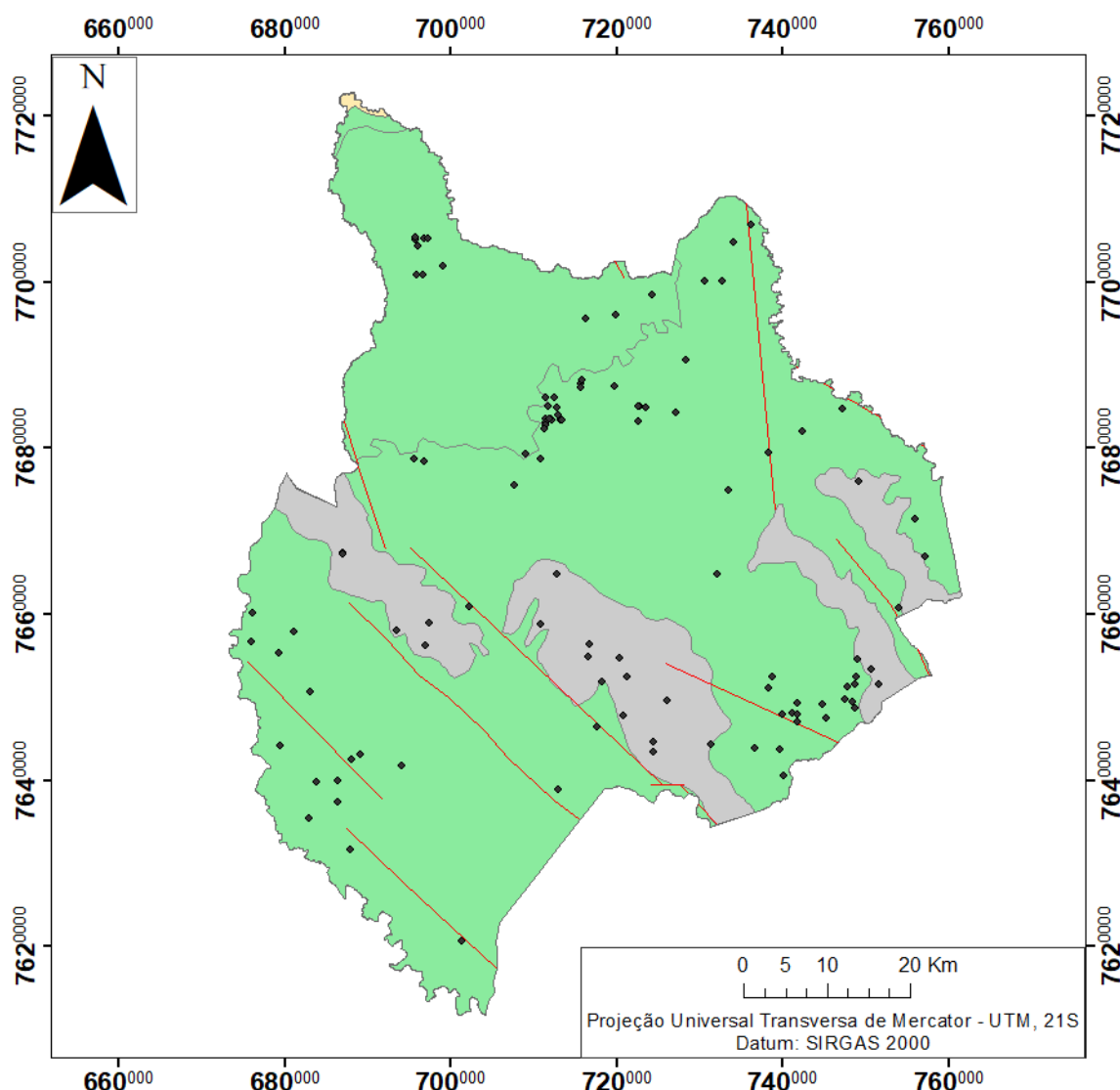
- Arenito
- Dacito



Fonte de dados: CPRM (2009),
IBGE (2019) e SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), CPRM (2012) e IBGE (2019), elaboração própria (2022).

Figura 16 - Mapa litoestratigráfico e estruturas de Sidrolândia



Legenda

- ♦ Localização dos poços
- Estruturas
- Formação Botucatú
- Formação Serra Geral
- Grupo Caiuá



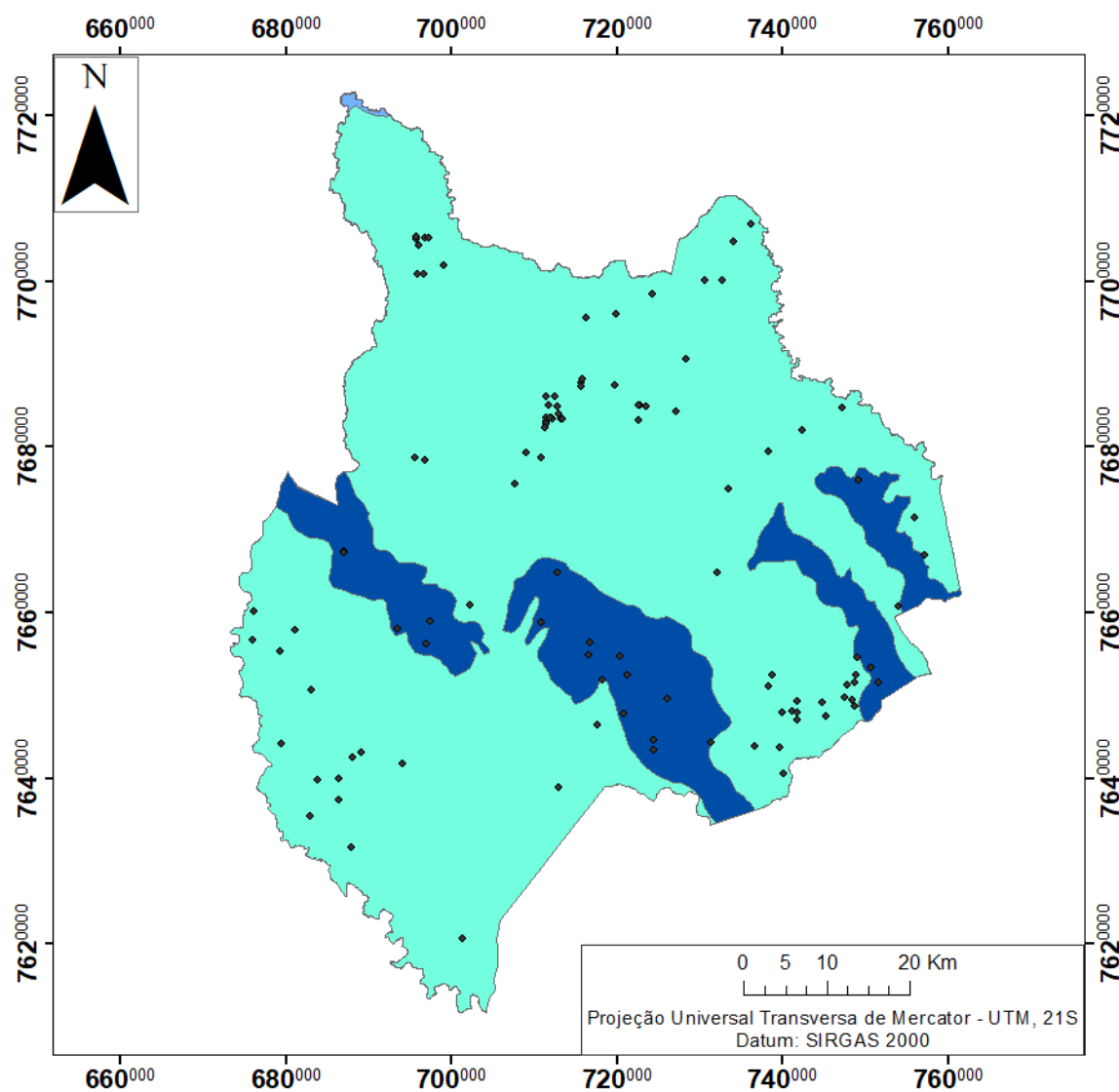
Fonte de dados: CPRM (2009),
IBGE (2019) e SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), CPRM (2012) e IBGE (2019), elaboração própria (2021).

Sobre a hidrogeologia, a figura 17 apresenta o mapa hidroestratigráfico de Sidrolândia simplificado. Lastoria *et al* (2006) estudaram o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na região de Campo Grande, onde os poços apresentaram a maioria das profundidades entre 100 e 150 m, observando que não há relação entre profundidade dos poços e vazão; eles elaboraram um mapa potenciométrico (mapa de intersecção entre cotas do terreno, nível estático dos poços e

as direções de fluxo da água) para este sistema aquífero, onde Sidrolândia possui uma potenciometria de 400 metros e direção de fluxo sul, em direção ao município de Dourados.

Figura 17 - Mapa hidroestratigráfico de Sidrolândia



Legenda

- ♦ Localização dos poços

Hidroestratigrafia

- Aquífero Bauru
- Aquífero Guarani
- Aquífero Serra Geral



Fonte de dados: IMASUL (2019),
IBGE (2019) e SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de IBGE (2019), SIAGAS (2021) e IMASUL (2019); elaboração própria (2021).

Os autores citados acima identificaram que em pedreiras da região, onde o fraturamento é horizontal, ocorre queda de água entre as rochas. Eles concluíram que para a região estudada,

o aquífero basáltico se comporta de forma livre; também indicaram que o nível piezométrico (nível em que a água está com a pressão atmosférica) do Sistema Aquífero Guarani (SAG) é superior ao SASG, oportunizando um fluxo ascendente, ou seja, pode ocorrer, localmente, alimentação do aquífero basáltico pelo aquífero arenítico. As águas do SASG são geralmente bicarbonatadas calco-magnesianas, com alguns pontos sendo influenciados por mistura das águas do SAG.

Sobre o SAG, Gastmans *et al* (2010) o considera como aquífero confinado, em estudo realizado na região de Campo Grande, por estar com basaltos sobrepostos. Gastmans e Kiang (2005) estudaram uma parte do SAG aflorante em MS, onde este ocorre na porção centro oeste do estado, em uma faixa aflorante de norte a sul do estado. As rochas mergulham para leste, em direção ao centro da Bacia do Paraná, estando recobertos pelos basaltos, as águas subterrâneas também circulam nesta forma radial. Sendo que os poços perfurados possuem vazões de poucos metros cúbicos até 320 m³/h, sendo a maioria com vazões de 40 m³/h.

Segundo Gastmans e Kiang (2005), as águas no estado são classificadas como bicarbonatada cálcica e subordinadamente como bicarbonatada sódica. Os autores elaboraram o diagrama de Piper para classificação das águas e foram encontrados três grupos, as águas dos poços perfurados em áreas de recarga do SAG possuem uma maior salinidade; com dissolução de cátion cálcio e do ânion bicarbonato. As amostras de águas dos poços onde há mistura das águas do SAG e SASG apresentam um enriquecimento em magnésio. Enquanto amostras de água do SAG onde este se encontra confinado, há aumento de sódio.

Lastoria *et al* (2006) indicaram que a químicas das águas do SASG e do SAG ao sul do MS é similar, indicando a interconectividade destas águas; os autores elencaram a alta demanda por água para abastecimento urbano e uso agroindustrial, com isto, o fluxo de água descendente pode tornar as águas dos aquíferos vulneráveis a contaminação por agroquímicos aplicados na região, por conta das zonas de fraturas e em áreas onde a espessura de basalto é menor. Quanto ao fluxo ascendente, os autores indicam que os poços com maiores vazões podem ser explicados pela alimentação do SASG com águas do SAG; sendo que isto ajuda na manutenção do nível de base de rios nos domínios dos derrames basálticos.

Sobre o Sistema Aquífero Bauru – Caiuá, este é a parte inferior do Sistema Aquífero Bauru (SAB), sendo considerado um aquífero do tipo poroso, uniforme e livre (localmente pode ser semiconfinado), com espessura média de 80 metros e vazões variando de 20 a 200 m³/h. O SAB no estado do MS não possui uma rede de monitoramento, contando com estudos da SANESUL; sendo que estes encontraram fontes difusas de contaminação da água subterrânea por agrotóxicos e fossas rudimentares, também indicaram os principais usos da água, sendo a

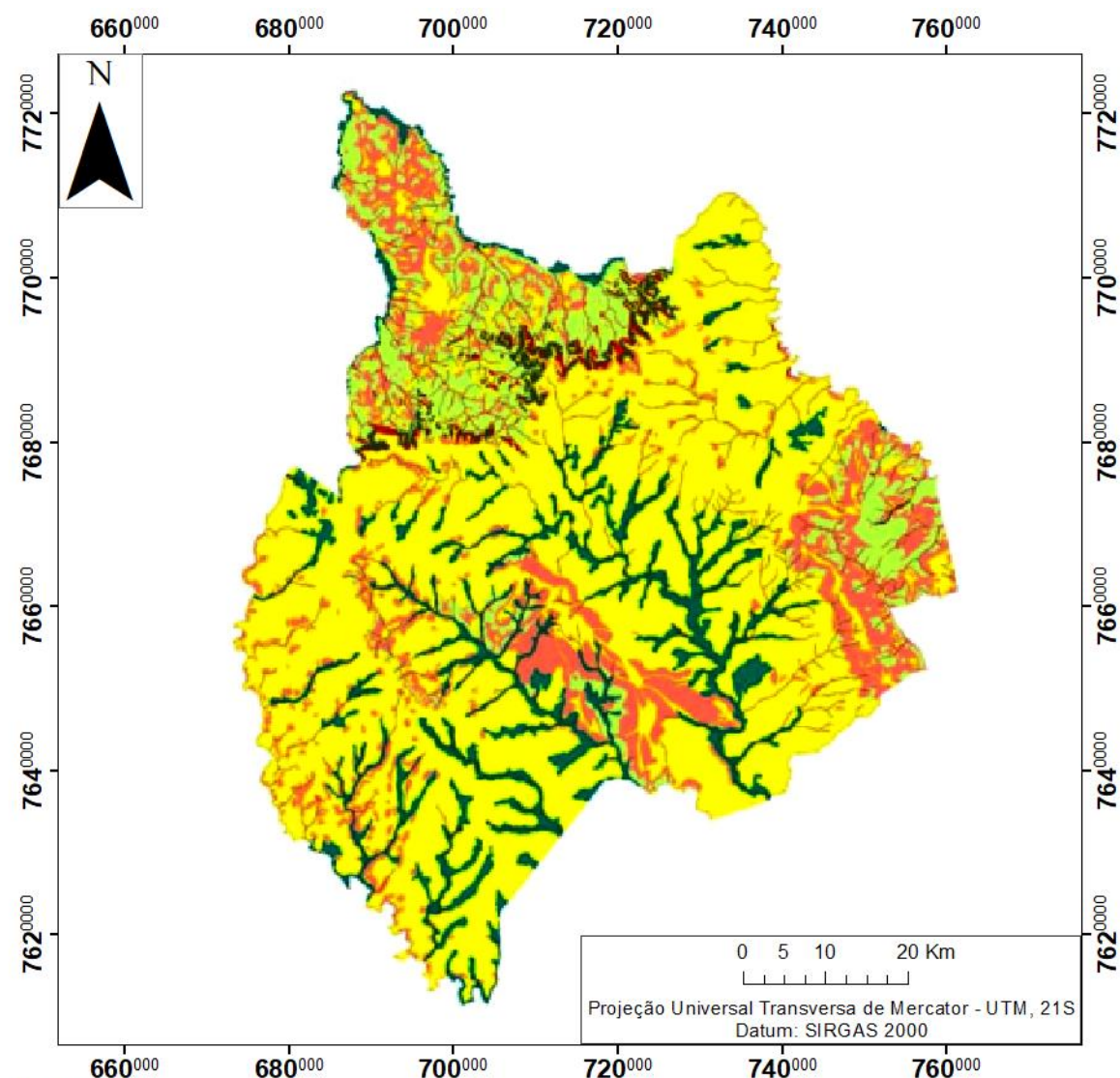
dessedentação animal, irrigação e abastecimento urbano. O SAB no estado possui águas bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas cálcio-magnesianas (CPRM, 2012).

Sobre o uso da terra, cerca de 90% das terras são utilizadas para pastagens e agricultura, estando muito antropizadas, somente 10% apresentam certo grau de preservação. Foram seis as zonas agroecológicas apresentadas: recomendada para agricultura intensiva, semi-intensiva, para pastagem, pastagem especial, conservação dos recursos naturais e recuperação ambiental (EMBRAPA, 2011).

As zonas recomendadas para utilização com agricultura intensiva ocorrem em relevo plano e uma pequena parte em um suave ondulado; estas áreas correspondem à 60% da área, sendo que já se encontram exploradas. As zonas recomendadas para utilização com agricultura semi-intensiva ocorrem no mesmo tipo de relevo, a maior parte já está em uso pela agropecuária; cerca de 10% ainda apresentam vegetação natural e, se encontram nesta zona devido ao seu potencial natural de erosão. As zonas recomendadas para conservação dos recursos naturais representam 2,2% das terras municipais e possuem restrição relacionada a legislação ambiental, geralmente associadas a APP. Nos municípios, as APP's estão ao longo dos rios, cursos d'água, lagoas e nascentes, além da borda de chapadas.

As zonas recomendadas para recuperação ambiental se encontram sendo utilizadas para pastagens, apesar de serem consideradas áreas de APP pela legislação ambiental; é uma área que corresponde a 2,7% do município, com características semelhantes à zona acima, sendo recomendado o uso destas áreas como corredores ambientais. As zonas recomendadas para pastagens equivalem a 11% do município, estando em maioria nas áreas de relevo ondulado suave, estando, em maior parte, sendo usadas para agropecuária; esta zona tem baixa reserva de nutrientes no solo, com baixas retenção de água. As zonas recomendadas para pastagem especial equivalem a 10% do município, ocorrendo em áreas de várzea, sendo que estão sendo usadas para agricultura. A declividade inferior a 8% em maior parte do município, propicia a mecanização agrícola (EMBRAPA, 2011) (Figura 18 – Zonas agroecológicas do município de Sidrolândia).

Figura 18 – Zonas agroecológicas do município de Sidrolândia



Legenda

- ZAI
- ZAS
- ZP
- ZPE
- ZC
- ZR



Fonte de dados: EMBRAPA (2011)

Elaboração: Brandaly Staudt

Na legenda: ZAI – Zona agroecológica recomendada para agricultura intensiva; ZAS – Zona agroecológica recomendada para agricultura semi-intensiva; ZP – Zona agroecológica recomendada para pastagens; ZPE – Zona agroecológica recomendada para pastagem especial; ZC – Zona agroecológica recomendada para conservação de recursos naturais; ZR – Zona agroecológica recomendada para recuperação ambiental.

Fonte: Recorte do mapa de Zoneamento Agroecológico do município de Sidrolândia – MS (EMBRAPA, 2011).

O Mato Grosso do Sul é um dos estados que mais utiliza o sistema de plantio direto na palha (SPD), com isto, se reduz o revolvimento da terra na implantação da cultura agrícola,

reduzindo erosão e perda de nutrientes do solo, esta técnica não é uma novidade, mas nos últimos 20 anos se popularizou entre os agricultores (Federação da Agricultura e Pecuária de Mato Grosso do Sul - FAMASUL, 2021). No município, das áreas destinadas a lavoura (figura 11) 63,33% ha são destinados a este método de plantio.

Segundo o boletim EMBRAPA (2011), algumas áreas de preservação não estão sendo respeitadas; e, apesar do bom potencial para agropecuária, são necessárias práticas de conservação do solo e de recuperação ambiental, além das já implementadas. Abaixo, tabela 01, com relação das principais atividades agropecuárias em Sidrolândia (MS).

Tabela 1 – Principais atividades agropecuárias em Sidrolândia (MS)

		área colhida (ha)
lavoura permanente	urucum	60
	palmito	29
	café	25
	banana	57
	limão	02
	mamão	04
	girassol	600
	maracujá	03
	TOTAL	780
	lavouras temporárias	algodão
abóbora		67
amendoim		09
arroz		230
aveia		1.000
cana-de-açúcar		5.045
feijão		400
mandioca		450
milho		200
soja		230.000
melancia		50
melão		02
abacaxi		50
sorgo		250
trigo		4.000
batata doce		05
tomate		01
TOTAL	243.229	
produção florestal	silvicultura	921
		produção (m³)
extração vegetal	madeira em tora	697
	lenha	1.215
		quantidades

pecuária	bovinos	221.945 cabeças
	galináceos	7.548.720 cabeças
	suínos	8.113 cabeças
	ovelhas	9.517 cabeças
	equinos	6.827 cabeças
	caprinos	380 cabeças
	leite de vaca	8.958 (x1.000) l
	lã	753 Kg
	mel de abelha	15.369 Kg
	búfalo	62 cabeças
aquicultura	pacu	90.000 Kg
	tilápia	340.000 Kg
		Estabelecimentos (unidades)
adubação	fazem	1.209
	não fazem	2.877
agrotóxicos	usam	851
	não usam	3.235
lavouras	permanentes	619
	temporárias	1.553
	cultivo de fores	16
pastagens	naturais	2.056
	plantadas em boas condições	1.510
	plantadas em más condições	64
áreas de mata	naturais	15
	destinadas a APP e reserva legal	540
	florestas plantadas	154
	agroflorestal	16
sistema de preparo de solo	cultivo convencional	531
	cultivo mínimo	665
	plantio direto na palha	482
áreas irrigadas	possuem	169
tratores	possuem	591
semeadeira/ plantadeira	possuem	282
colheitadeira	possuem	216
adubadeira	possuem	243

Fonte: Adaptado por IBGE Cidades (2020), elaboração própria (2021)

Das culturas acima citadas, Pignati *et al* (2017) indicaram que as culturas que mais usam agroquímicos no país são a soja, milho e cana-de açúcar. Outras culturas temporárias que utilizam muitos defensivos agrícolas na área também são o tomate, algodão e limão (PIRES *ET AL*, 2005).

Medici *et al* (2021) pesquisaram tecidos, patas e conteúdo intestinal de antas (*Tapirus terrestris*) atropeladas em estradas no bioma Cerrado no MS, onde encontraram concentrações

muito acima das indicadas para o consumo de diversos tipos de compostos químicos utilizados como defensivos agrícolas; dentre eles, carbamatos (aldicarbe e carbaril), também encontraram organofosforados (diazinon, malathion e mevinphos), piretróides (deltametrina e permetrina), além de metais pesados (cádmio e chumbo). Os autores não encontraram evidências de ingestão de iscas envenenadas, o que leva a crer que estes compostos estão no solo, água e ar e são oriundos de atividades agropecuárias.

Com isto, vários problemas são encontrados, como a pulverização aérea de inseticidas, que é muito comum no estado, sendo a cana-de açúcar a cultura em que se usa mais este método de aplicação (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018). Outros problemas que ficam evidentes são a contaminação do solo e recursos hídricos e, a partir disto, impacta nos habitats de animais silvestres, prejudicando a vida destes, bem como, a vida humana, com isto o Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018) indicou que o estado do Mato Grosso do Sul foi o maior consumidor de agrotóxicos; o estudo indicou um aumento de uso no período de tempo estudado, de 2007 a 2015, sendo que em 2015 foram utilizados 24,3 kg/ha.

O relatório também indica o aumento das notificações de intoxicação por agrotóxicos da população, enquanto ocorreram 139 casos em 2007, aumentou para 237 em 2014. Na região de Dourados foram encontradas concentrações elevadas de pesticidas, formicidas e larvicidas nas águas do rio Dourados, o que implicou em decisão judicial sentenciando o governo do estado a realizarem pesquisas periódicas na água consumida pela população de Dourados, sendo o objetivo do Ministério Público - MP - apurar a relação destes resíduos com o aumento no número de casos de câncer registrados na região (MP NOTÍCIAS, 2018). O contrabando de agrotóxicos é outro problema grave, com inúmeros casos sendo reportados em noticiários (última notícia no estado: MINISTÉRIO DA JUSTIÇA E SEGURANÇA PÚBLICA, 2022), em Sidrolândia, há notícias de jornal que reportam o contrabando e transporte ilegal de agrotóxico (POLÍCIA RODOVIARIA FEDERAL, 2021).

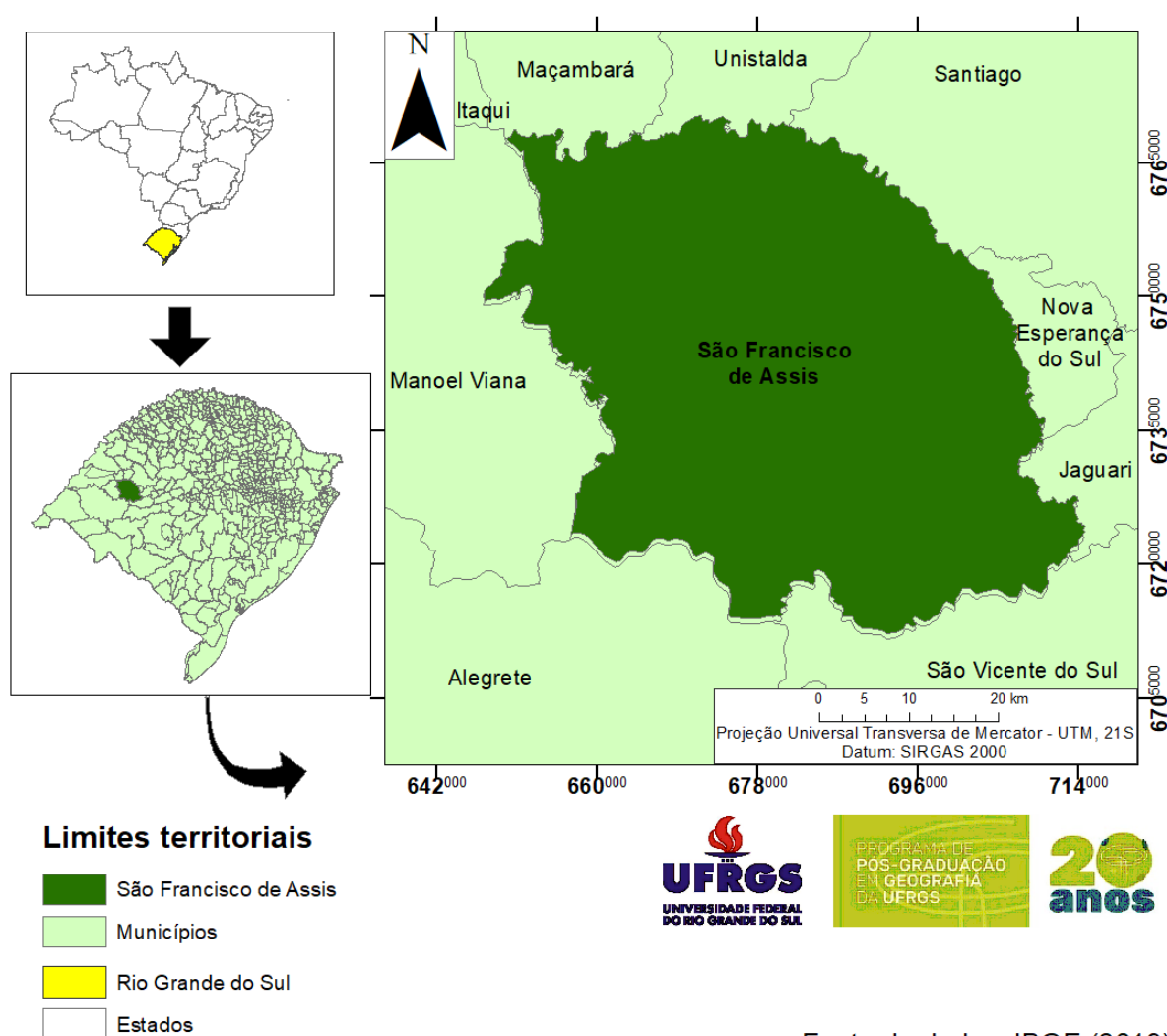
3.2 SÃO FRANCISCO DE ASSIS (RS)

Este município do centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul se encontra há cerca de 430 quilômetros da capital Porto Alegre (figura 19, de localização do município de São Francisco de Assis). Possui área de 2.506,975 km² e população de 19.254 pessoas, com densidade demográfica de 7,68 hab./km², segundo o censo 2010 (IBGE CIDADES, 2020). O

IDH é considerado médio com valor de 0,675. A maioria da população é considerada de cor branca; a diferença entre os sexos feminino e masculino é pequena (feminino levemente superior) e faixa etária majoritariamente de 40 a 49 anos.

O percentual de pessoas ocupadas está em 10,5%, destes, a maioria possui trabalho em ocupações elementares (incluem os profissionais de serviços como limpeza, alimentação, manutenção...) e com trabalhos na área de agropecuária, florestas, caça e pesca. Dos trabalhadores do campo, 1.497 são do sexo masculino e 879 femininos (IBGE CIDADES, 2020). Não foram encontradas áreas demarcadas para terras indígenas ou quilombolas.

Figura 19 - Localização do município de São Francisco de Assis



Fonte de dados: IBGE (2019)

Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Elaboração própria (2022).

Os distritos que o compõem são: sede (São Francisco de Assis), Beluno, Boa Vista e Toroquá, desde 1995 permanece esta divisão (Figura 20 – Distritos de São Francisco de Assis). Quanto ao povoamento, segundo o endereço eletrônico do município (2021) a região era conhecida como a terra dos Tapes, sendo morada para diversas etnias indígenas como: Tapes, Guaranis, Minuanos, Guenos, Carijós, Arachanes, Charruas, Caaguas e Guaranás.

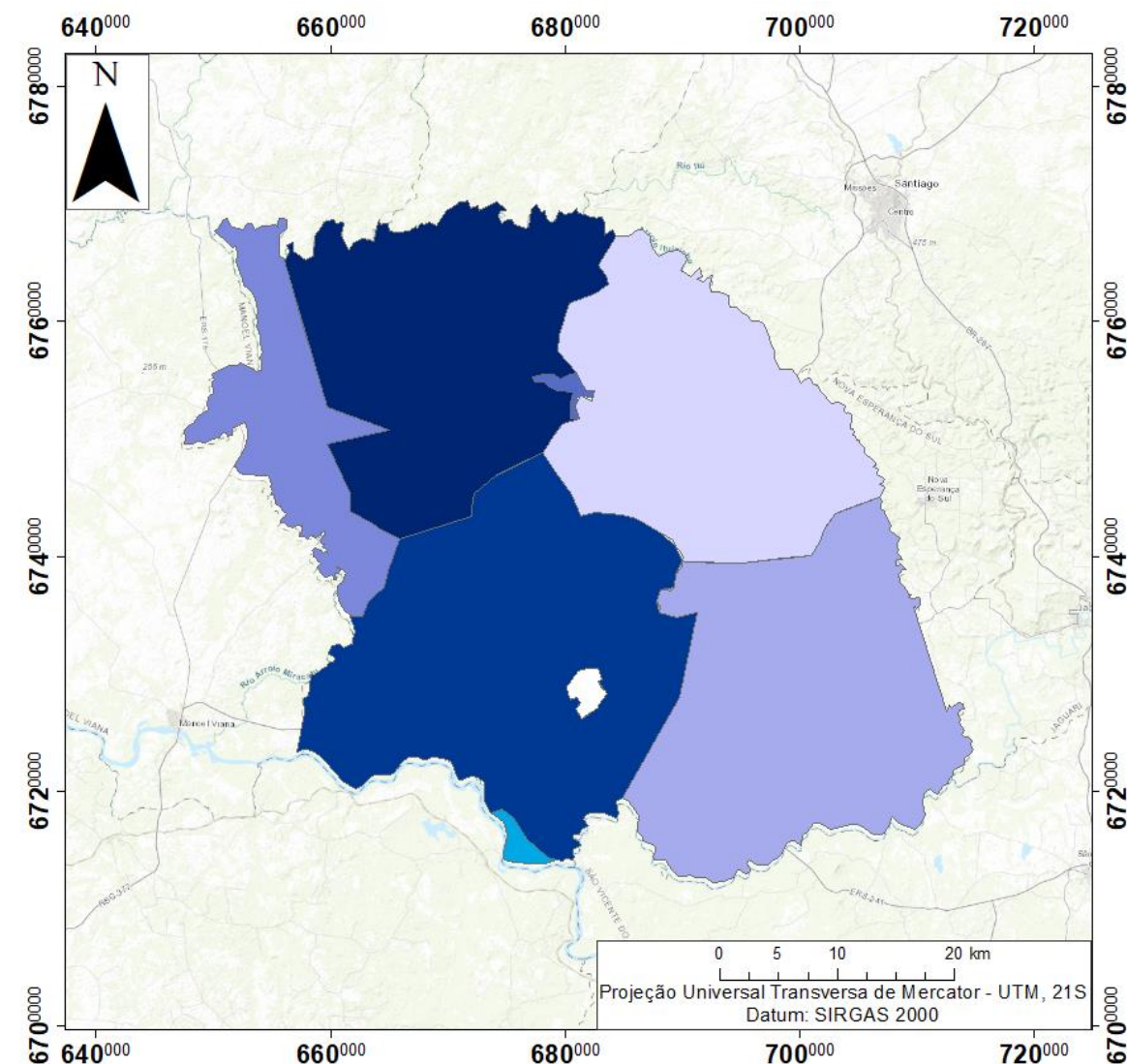
O povoamento desta região do estado se deu em diversas etapas, com as fundações jesuíticas, a partir de 1626, os povos nativos foram perdendo suas terras, estas ocupações jesuíticas serviram também para garantir a posse destas terras pela Coroa Portuguesa, com ocupação açoriana e, posteriormente, ocupação militar (THOMÁS, 1976; RIO GRANDE DO SUL, 2021). Combates entre portugueses e espanhóis, bem como ações anteriores, levaram ao extermínio da maioria da população indígena da região.

A pecuária era uma prática comum, porém, se encontrava em estagnação e a chegada dos imigrantes europeus para povoar o estado já era uma realidade. Com o processo de colonização, a partir de 1870, houve o aumento da agricultura em todo o estado e, ao longo das décadas, alguns grupos partiram das áreas em que se instalaram inicialmente para colonizarem o interior do estado também (RIO GRANDE DO SUL, 2021).

Em 1627 foi criado, por Roque Gonzales, a terceira redução jesuítica no Rio Grande do Sul na área próxima à estudada; já em 1801 foi criado o forte São Francisco de Assis, as duas construções se instalaram nas proximidades de grandes rios da região. Em 1809 começou o povoamento em torno do forte, a região pertencia ao município de Itaqui, que, em 1857, é denominado como distrito de São Francisco de Assis. Mais tarde, foi desmembrado e recebeu a categoria de vila em 04/01/1884. Em 1891 foram criados os distritos de Boa Vista, Nova Beluno e Toroquá, estes foram incorporados à vila.

Mais tarde, em 1909, foi criado o distrito de Nova Esperança, que alguns anos depois seria delegado para outro município; São Francisco de Assis recebeu a titulação de município em 31 de março de 1938. No intervalo entre 1909 e 1988, houve muitas constituições e mudanças nos distritos da vila e posterior município; em 1988 eram os distritos de São Francisco de Assis, Beluno, Manuel Viana e Toroquá. Até 1992 foi esta constituição, até o distrito de Manuel Viana ser desmembrado e se tornar o município de Manoel Viana. Com isto, Boa Vista volta a ser distrito, junto com os outros três (Sede, Beluno e Toroquá), e, desde 1995, mantém-se esta divisão territorial (IBGE BIBLIOTECA, 2007).

Figura 20 - Distritos de São Francisco de Assis



Legenda

Distritos		
Sede municipal	Vila Kramer	5° Distrito
Distrito Beluno	Praia do Jacaquá	1° Distrito
Distrito Toroquá		
Distrito Boa Vista		



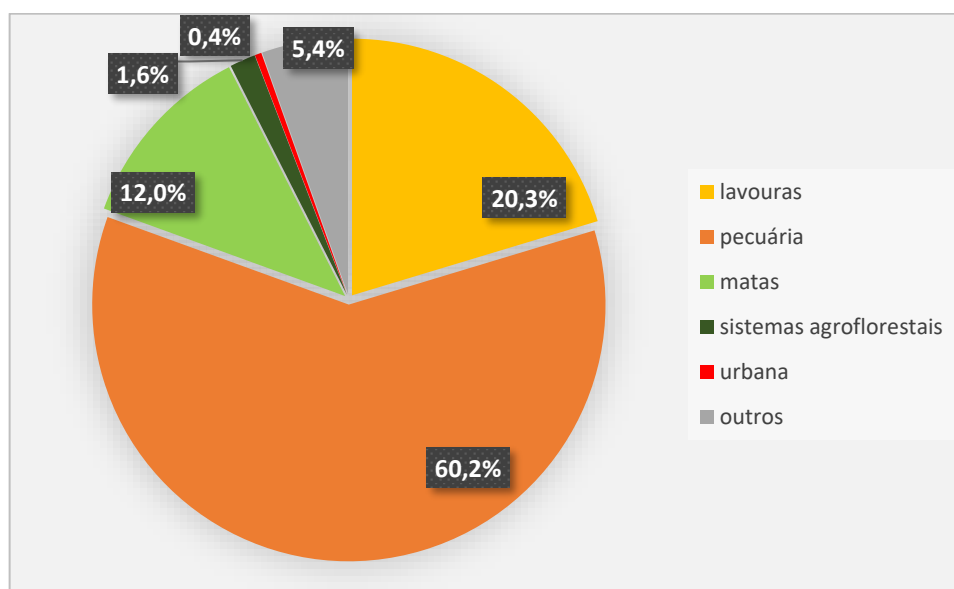
Fonte de dados: IBGE (2019),
ESRI (2022), SÃO FRANCISCO DE ASSIS (1990)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Elaboração própria (2022).

Com um PIB per capita de R\$ 26.750,31 (CENSO, 2018), o comercio de produtos e serviços gera grande parte da renda municipal, entretanto, a agropecuária é responsável pelo maior valor bruto. Da agropecuária, 50.969 ha são para lavouras, 150.945 ha para a pecuária, 30.043 ha para matas ou florestas e 4.066 ha para sistemas agroflorestais; com 4.257 ha de área

irrigada (como pode ser visto na figura 21, gráfico de uso do território de São Francisco de Assis). Quanto a indústria, o cadastro identificaram 352 unidades locais, sendo 340 empresas ou organizações atuantes. Para localidade, o volume de água tratada é de 3.010 m³ por dia, com 5.862 unidades de estabelecimentos abastecidos (de um total de 6.811 domicílios), de acordo com o censo (2008).

Figura 21 - Uso do território de São Francisco de Assis

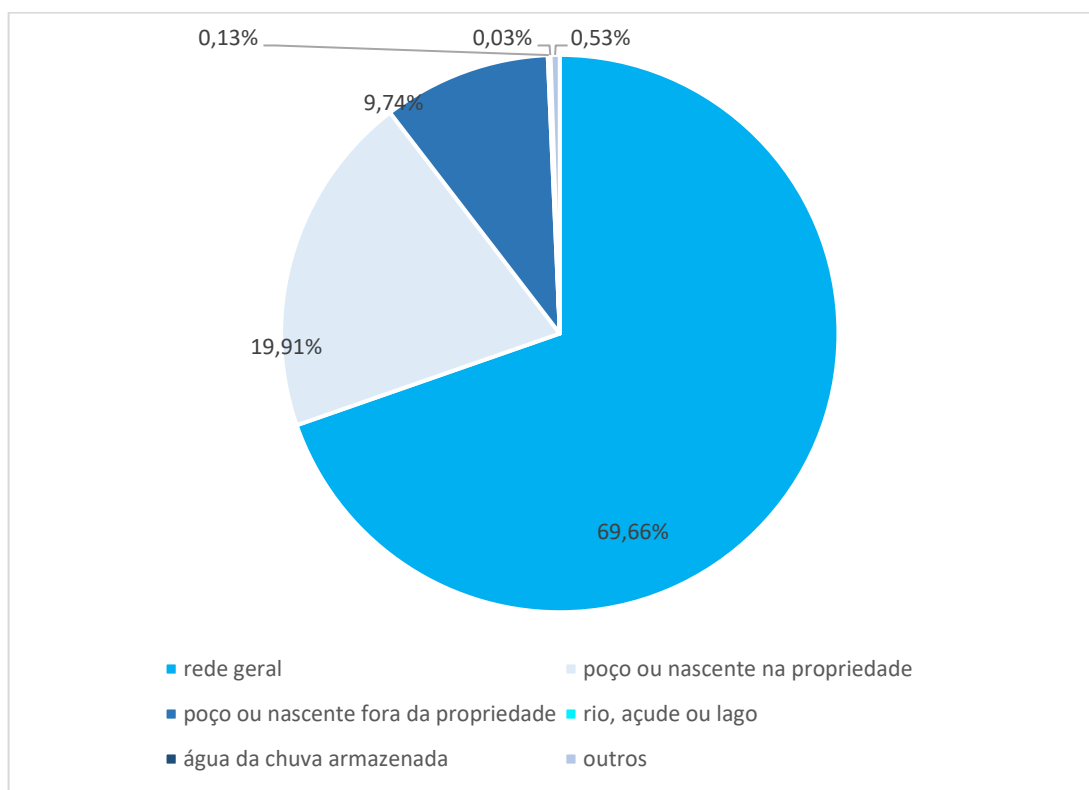


Fonte: Adaptado de IBGE Cidades (2020), elaboração própria (2021).

Mesmo sendo um município dividido por diversos mananciais, a captação de água é feita apenas com poços profundos para captação de água subterrânea para abastecimento público, segundo a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN, 2021). O esgotamento sanitário adequado estava em 25,4% dos domicílios municipais (1.729 domicílios), de acordo com o censo (2010) (IBGE CIDADES, 2020), se entende por adequado a rede geral de esgotos e fossa séptica. Sobre o saneamento, a cidade possui uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

O destino do lixo é coletado para 4.850 domicílios, queimado em 1.466 propriedades, enterrado em 357, jogado em 42 e jogado em rio ou lago em 01 domicílio, 91 possuem outro destino. A forma de abastecimento da água é em rede geral em 4.742 domicílios, poço ou nascente na propriedade em 1.355 propriedades, 663 poço ou nascente fora da propriedade, 02 em água da chuva armazenada, 09 em rio, açude ou lago e 36 possuem outra forma de abastecimento (CENSO, 2010) [figura 22, abastecimento de água municipal em São Francisco de Assis]. Quanto a malha rodoviária, as principais são: RS – 241, que cruza a sede municipal, e a BR - 377.

Figura 22 – Abastecimento de água municipal em São Francisco de Assis



Fonte: Adaptado de IBGE Cidades (2020), elaboração própria (2022).

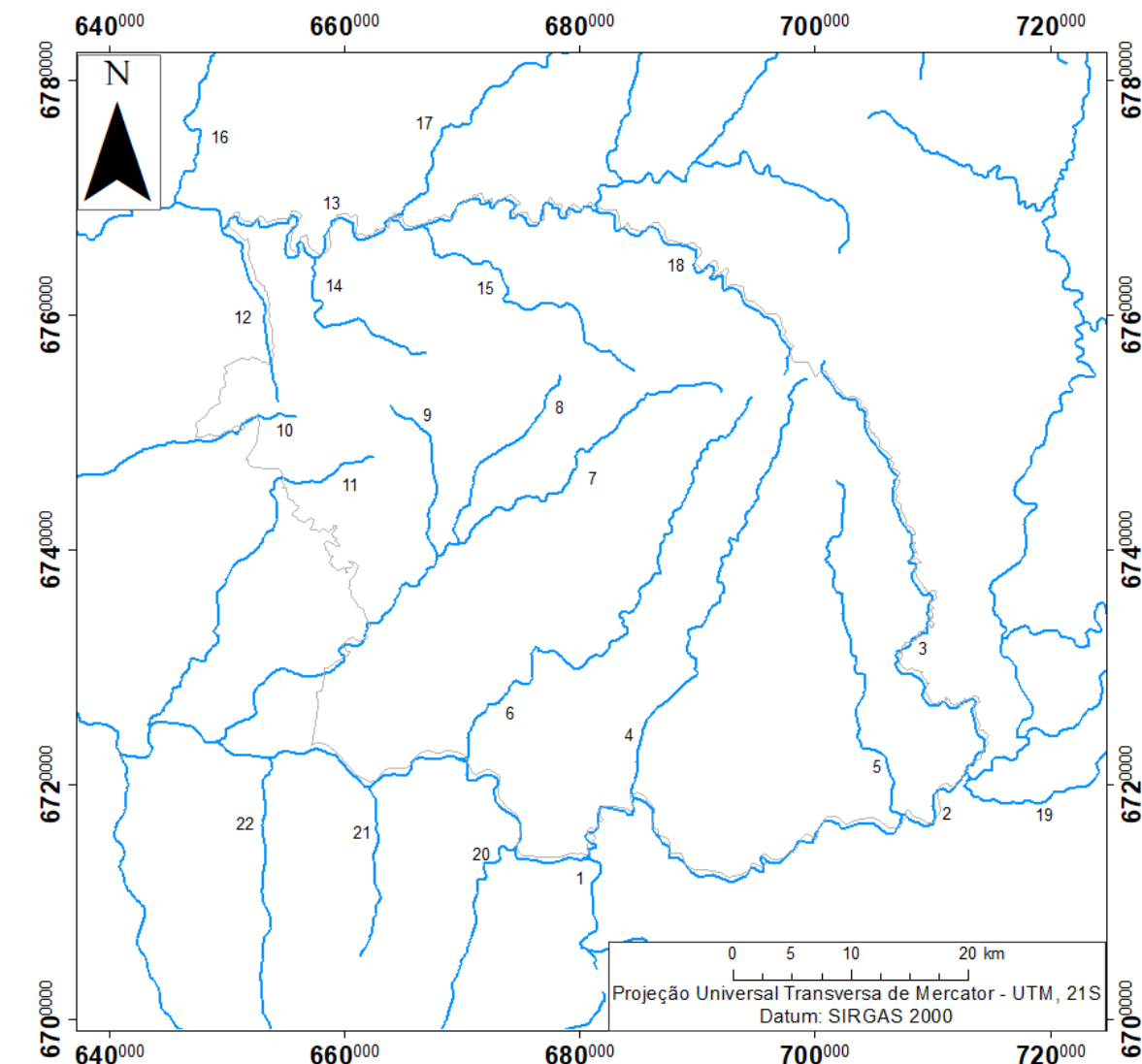
O município está inserido nos biomas Mata Atlântica e Pampa; quanto a vegetação, caracteriza-se por características de savanas e estepes, segundo Freitas (2006); o autor citado também indica uma alta diversidade na região, com espécies dominantes de gramíneas reptantes, assim como em áreas específicas, espécies arbustivas e subarbustivas.

O município possui clima subtropical úmido, Cfa, segundo classificação climática de Köppen-Geiger; com abril/ maio e setembro a dezembro sendo os meses mais chuvosos, variando de 94 a 213 mm/ mês, com período seco inferior a quatro meses. Quanto as temperaturas, varia de 9°C a 32°C, com diferenciação entre as quatro estações, sendo os meses frios de maio a julho, e os mais quentes de dezembro a março (IRGA, 2021). Está inserido no fuso horário UTC - 3, hora de São Paulo.

Com uma altitude ortométrica de 239,6 m; segundo o Relatório de Estação Geodésica, com uma estação localizada em um morro à 20 km a sudeste da cidade (IBGE - BDG, 2017). A respeito dos recursos hídricos, no limite sul é banhado pelo Rio Ibicuí e o Rio Jaguari, cuja foz é o rio Ibicuí, e a norte o Rio Itu. Outros corpos hídricos existentes na região, e que são de grande importância, são: arroio Piquiri, arroio Inhandiju, arroio Jaguari-mirim, arroio Ituzinho, arroio Inhacundá, sanga Taquari, sanga Santa Rosa, sanga Maratiga, sanga do Lajeado, arroio

Piraju, arroio Caraguataí, arroio Miracatu, arroio da Areia (GOOGLE EARTH, 2021 e IBGE CIDADES, 2020); abaixo figura 23 com alguns dos principais recursos hídricos de São Francisco de Assis.

Figura 23 - Recursos Hídricos de São Francisco de Assis



Legenda

- hidrografia
- limite municipal

- | | | |
|--------------------------|------------------------|-----------------------|
| 1 - Rio Ibicuí | 8 - Sanga Taquari | 17 - Arroio Itú-Mirim |
| 2 - Rio Jaguari | 9 - Arroio da Areia | 18 - Arroio Ituzinho |
| 3 - Arroio Piquiri | 10 - Arroio Piraju | 19 - Arroio da Divisa |
| 4 - Arroio Jaguari-Mirim | 11 - Arroio Caraguataí | 20 - Arroio Jacaquá |
| 5 - Arroio Inhandiju | 12 - Sanga do Lajeado | 21 - Sanga da Divisa |
| 6 - Arroio Inhacundá | 13 - Rio Itu | 22 - Arroio São João |
| 7 - Arroio Miracatu | 14 - Sanga Maratiga | |
| | 15 - Sanga Santa Rosa | |
| | 16 - Arroio Puitá | |



Fonte de dados: IBGE Cidades (2021), IBGE (2019), CPRM (2009), ESRI (2022), GOOGLE EARTH (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de IBGE (2019), IBGE Cidades (2021), CPRM (2009) e GOOGLE EARTH (2021), elaboração própria (2022).

São Francisco de Assis está inserido na Unidade de Planejamento e Gerenciamento (UPG) da Bacia do rio Ibicuí, tendo como principais usos: abastecimento público, dessedentação animal, irrigação e abastecimento industrial (Secretaria Estadual do Meio Ambiente e infraestrutura - SEMA, 2011).

Se observa a ocorrência dos solos de alteração de basalto, pelos dados de poços do SIAGAS, bem como, pelo trabalho de Klamt & Beatty (1972) [figura 24, mapa de solos de São Francisco de Assis], no qual eles caracterizam os solos da região, sendo solos de alteração e arenitos em topo de colinas, enquanto que, em encostas, ocorre solos de intemperismo originados de basaltos e de solos de níveis superiores; o que estes autores observaram é que estas áreas com maiores declividades apresentam maior fertilidade natural, sendo os preferidos pelos agricultores.

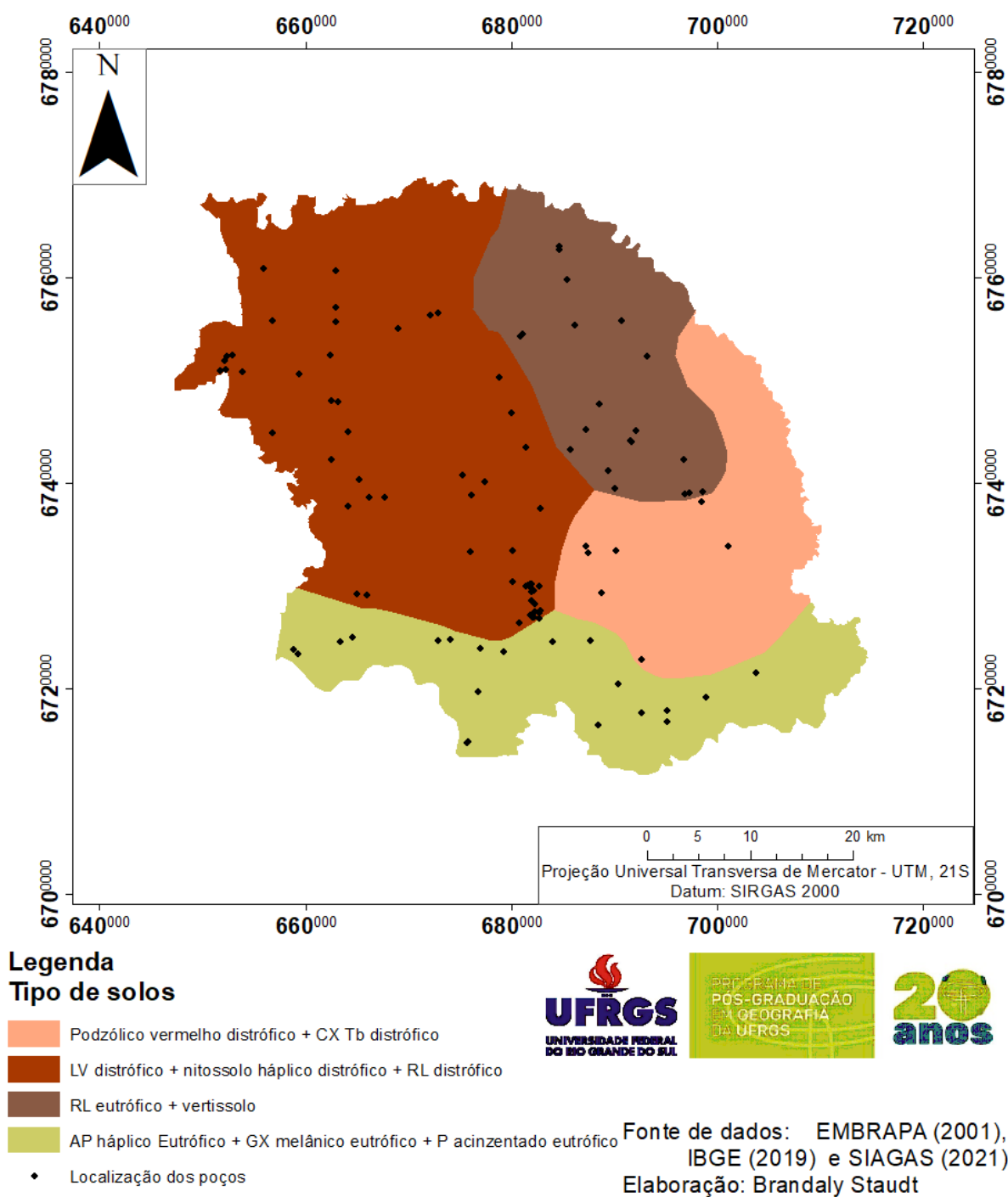
O município possui uma diversidade grande de solos, dentre eles o latossolo vermelho (LV) é muito comum no centro-oeste, sudeste e sul do país, nele, há extensa produção de grãos. São solos profundos e porosos, porém, o distrófico possui baixa fertilidade. Os cambissolos háplicos (CX) Tb distróficos são comum em relevo com declive acentuado, com pequena profundidade, os distróficos com baixo índice de fertilidade e argila. O podzólico vermelho distrófico são solos minerais, não-hidromórficos com grandes diferenças texturais; os distróficos possuem limitação de fertilidade, podendo apresentar problema com a adubação e calagem se o relevo for ondulado a forte-ondulado; por isto a importância de se utilizar as práticas de conservação do solo (EMBRAPA, 2021).

Na agronomia o nitossolo háplico distrófico é muito importante, correspondendo a antiga terra roxa estruturada, mesmo os distróficos tendo baixa fertilidade, com a aplicação de corretivos, eles se tornam muito bons para agropecuária, por outro lado, possuem alto risco de erosão quando ocorrem em relevos acidentados. Associados a estes estão os Neossolos litólicos (RL), estes são solos rasos, com pouca profundidade e risco de erosão, sendo os distróficos com pouca fertilidade e os eutróficos alta fertilidade. Estes solos são indicados para preservação de fauna e flora, porém, no sul do país, seu uso também se relaciona a pastagem. Ocorre associado a esses os vertissolos, estes possuem alto teor de argila ao longo do perfil, em períodos secos, se criam feições morfológicas de superfícies de fricções; sendo pouco permeáveis (EMBRAPA, 2021).

Os planossolos (AP) háplicos eutróficos possuem boa base nutricional, mas é um solo muito adensado, difícil para a penetração das raízes; possuem risco de erosão em função do seu contraste textural; ele é muito comum no RS. O gleissolo (GX) melânico eutrófico tem alto teor de matéria orgânica, com bom desenvolvimento para as raízes; ocorre em relevo plano de

várzea e está relacionado ao nível elevado do lençol freático, sendo necessário a drenagem do solo. O último tipo de solo que se encontra no município, argissolo (P) acinzentado eutrófico, se desenvolve a partir de materiais argilosos, apresentam restrição de drenagem nas camadas superiores do solo (EMBRAPA, 2021).

Figura 24 - Mapa de solos de São Francisco de Assis



Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), EMBRAPA (2021) e IBGE (2019), elaboração própria (2022).

Sobre o relevo, segundo Trentin (2007), o município possui quatro principais variações: áreas suavemente onduladas, vertentes onduladas, áreas fortemente onduladas e vertentes escarpadas com declividade superior a 15%.

Quanto as unidades geoambientais, Trentin (2007) distinguiu ao longo do rio Itu, onde está inserido o município de São Francisco de Assis, sendo assim, ele distinguiu quatro unidades geoambientais para o município. A primeira é a unidade II, caracterizada por relevo plano a suavemente ondulado, com solos bem desenvolvidos, latossolos arenosos e planossolos. A unidade IV é a segunda encontrada na cidade, é encontrada no alto curso da bacia hidrográfica do rio Itu, em áreas de topo de colinas, com relevo levemente ondulado a plano, ela possui em sua maioria Neossolos. A terceira é a unidade VI, com relevo possuindo colinas relacionadas a cerros, e relevo fortemente ondulado a ondulado; com solos de alteração de basalto. A última unidade é a unidade VII, com um relevo possuindo vertentes escarpadas e fortemente ondulado; com solos rasos relacionados aos basaltos da região.

De acordo com a base de dados do Serviço Geológico, as litologias encontradas em São Francisco de Assis são arenitos e basaltos, das Formações Botucatu, Guará, Sanga do Cabral e Serra Geral. A Formação Serra Geral, com rochas de origem vulcânica do Cretáceo Inferior; fácies Gramado, com derrames basálticos de 132 milhões de anos, granulares finos a médio, melanocrático, enquanto a fácies Caxias variam de intermediárias a ácidas, riodacitos, de 131 milhões de anos, mesocráticas (CPRM, 2009 e SCHERER *ET AL*, 2000).

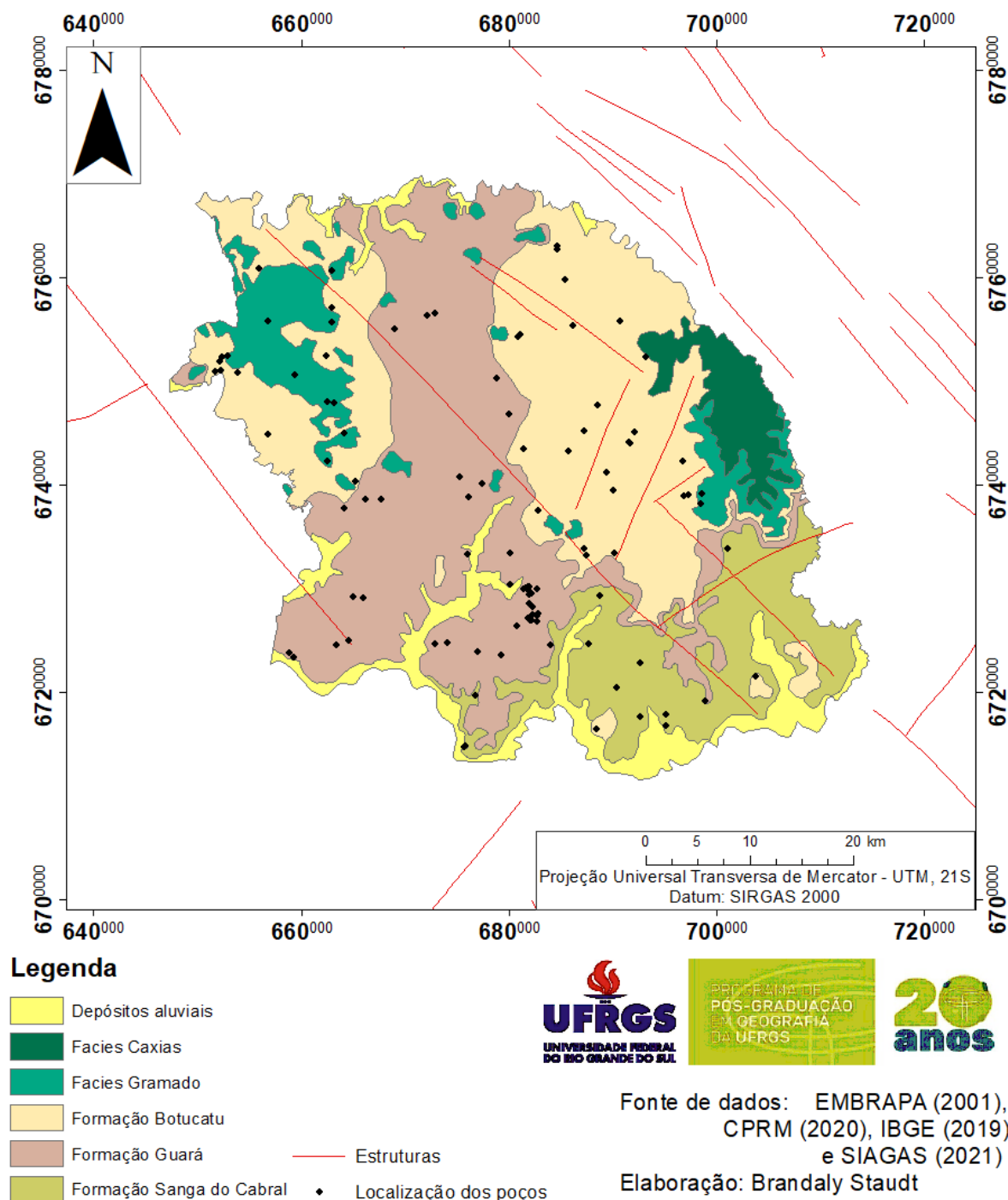
A Formação Botucatu de origem eólica, do Cretáceo Inferior, aparece intercalada com os basaltos, bem como, na base deles, estes arenitos possuem alta esfericidade com grãos bem arredondados, possuindo arenitos finos a grossos com estratificação cruzadas de pequeno a grande porte (CPRM, 2009 e SCHERER *ET AL*, 2000).

A Formação Guará se caracteriza por arenitos finos a conglomeráticos de origem fluvial com processos eólicos associados, datada do Jurássico Superior, pode possuir cores mais esbranquiçadas a avermelhadas, com intercalações de pelitos ou com matriz argilosa, ocasionalmente, além das ocorrências de icnofósseis. Sua espessura varia de 60 a 100 m e se distribui de maneira contínua pelo oeste do RS.

Por fim, há a ocorrência da Formação Sanga do Cabral, em menor proporção; de origem fluvial, possuindo exemplares fósseis, os arenitos são tabulares a lenticulares e conglomerados, do Triássico Inferior. Possui espessuras variando de 10 a 50 m, com fácies de pelito, arenitos finos e conglomerados, com estruturas de fluxo de alta velocidade e lâmina d'água de pouca espessura, constituindo canais fluviais rasos. No município, pode-se verificar, pela literatura, um alinhamento NW-SE (CPRM, 2009 e SCHERER *ET AL*, 2000), a seguir, figura 25 com o

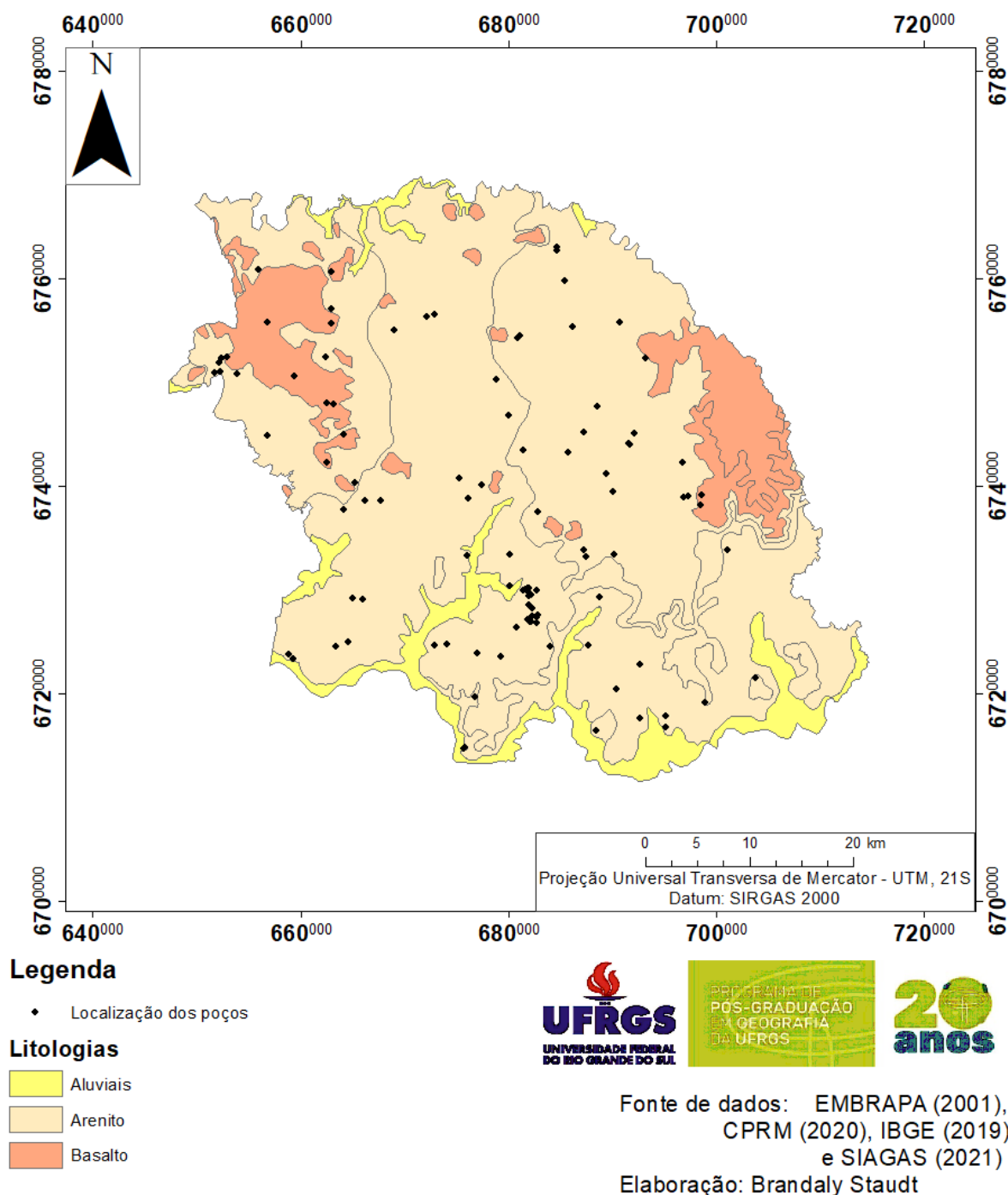
mapa litoestratigráfico e de estruturas de São Francisco de Assis, e a figura 26, com o mapa litológico de São Francisco de Assis.

Figura 25 - Mapa litoestratigráfico e de estruturas de São Francisco de Assis



Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2001), IBGE (2019), SIAGAS (2021) e CPRM (2009), elaboração própria (2022).

Figura 26 - Mapa litológico de São Francisco de Assis



Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2001), IBGE (2019), SIAGAS (2021) e CPRM (2009), elaboração própria (2022).

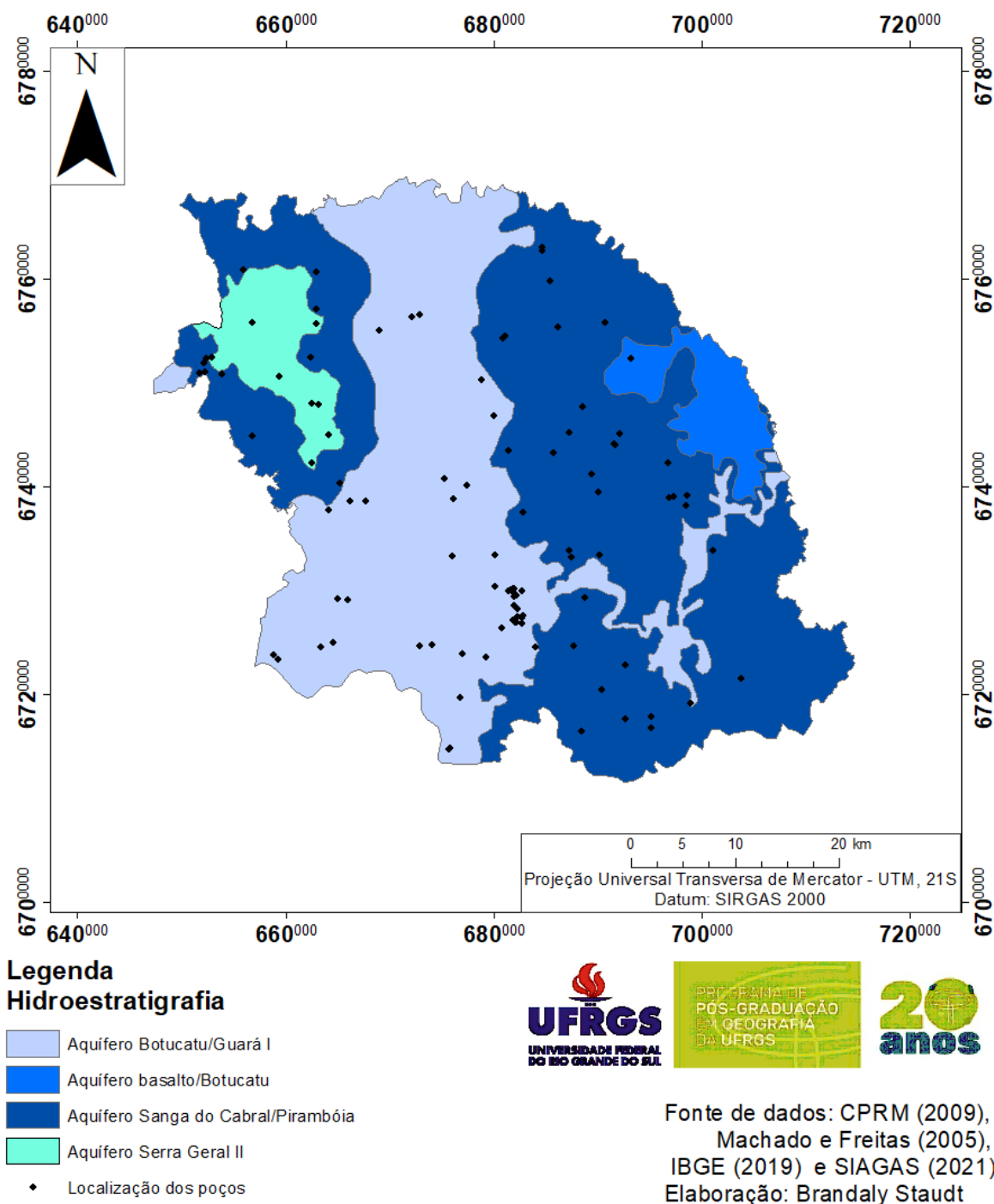
Sobre a hidrogeologia, o Serviço Geológico possui o mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul, elaborado por Machado e Freitas (2005), nele, a região possui os sistemas aquíferos: Botucatu / Guará I, Sanga do Cabral / Pirambóia, Serra Geral II, basalto / Botucatu (vide figura 27, mapa hidrogeológico de São Francisco de Assis). Estes sistemas apresentados possuem diferenças entre si.

O Botucatu / Guará I é arenítico e possui cimento argiloso e intercalação pelítica, além da capacidade específica variando entre 1 e 3 m³/h/m na área aflorante, enquanto na área confinada é de 4 m³/h/m, possuindo vazão média. O Sanga do Cabral / Pirambóia é siltico-arenítico com níveis de matriz argilosa, e sua capacidade específica varia de 0,5 a 1,5 m³/h/m, com vazões baixas.

O Serra Geral II possui litologia de riolitos, riolacitos e basaltos fraturados⁴, a capacidade específica é inferior a 0,5 m³/h/m, porém, em áreas onde há arenitos na base ou há muito fraturamento, pode haver valores superiores a 2 m³/h/m. Por fim, o basalto/ Botucatu estão em áreas com morro de basalto onde a base possui arenitos Botucatu, os poços são de baixíssimas vazões, os dois possuem vazões muito baixas, em média.

⁴ Riolito é uma rocha vulcânica ácida (mais de 66% de sílica), enquanto basalto é uma rocha vulcânica básica (de 45% a 52% de sílica) (GLOSSÁRIO GEOLÓGICO ILUSTRADO, 2021).

Figura 27 - Mapa hidrogeológico de São Francisco de Assis



Fonte: Adaptado de Machado e Freitas (2005), CPRM (2009), SIAGAS (2021) e IBGE (2019); elaboração própria (2021).

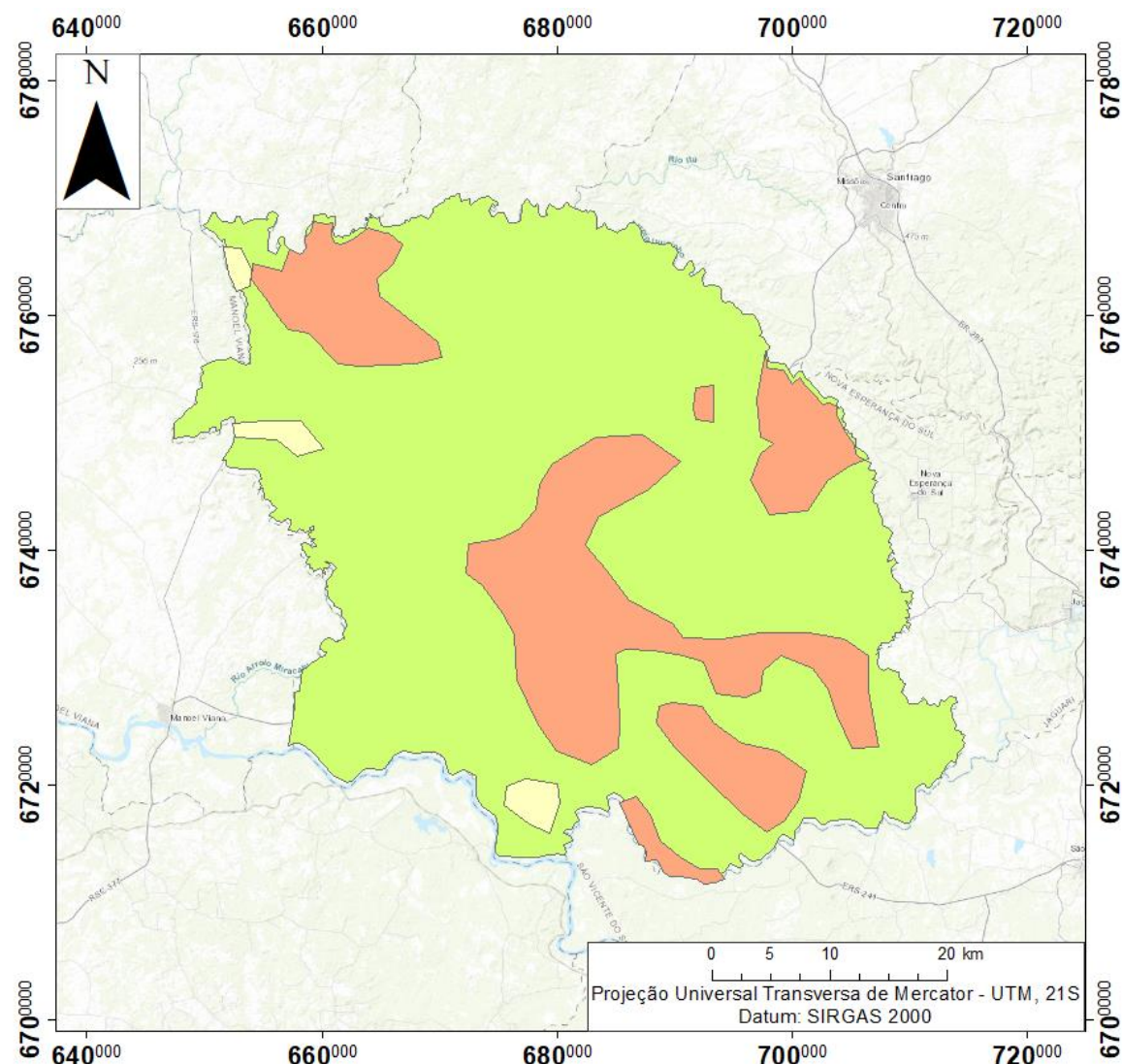
O mapa potenciométrico elaborado por Machado (2005) para o sistema aquífero Guarani (SAG) compartimentado, indica que na região ele é aflorante com potencimetria de 200 m com fluxo para sudoeste; com um sistema de fraturamento para NW-SE. Quanto a qualidade das águas, as Formações Botucatu e Guará possuem baixos valores de salinidade, entre 100 e 400 mg/l; enquanto o Sanga do Cabral um pouco mais elevado. O SAG se encontra

confinado, pelas litologias vulcânicas da formação Serra Geral, o aquífero Botucatu é o que possui maior área confinada. A quantidade de sólidos totais dissolvidos - STD - no aquífero Guará raramente ultrapassa 250 mg/l, exceto nas áreas urbanas (MACHADO, 2005).

No relatório da SEMA (2011) para o Rio Ibicuí, o município se encontra no médio Ibicuí/Itu, sendo que no mapa de uso e cobertura vegetal, boa parte da área são destinadas a agropecuária e campo, com áreas menores de mata nativa, orizicultura e área urbana. Quanto à adequação do uso do solo, a maioria se encontra com uso coerente, mas há áreas com risco potencial e pequenos trechos subutilizados, superutilizado e área urbana (Figura 28, Mapa de adequação do uso do solo de São Francisco de Assis).

Neste relatório para a área da Bacia do Rio Ibicuí (RS) as áreas com risco potencial se devem a solos com limitações agrícolas ocupados pela agropecuária, sendo áreas mais suscetíveis a degradação; estando relacionados a drenagem dos solos, presença de argilas expansivas, que dificultam a mecanização agrícola, causando compactação dos solos. Também há riscos de suscetibilidade por conta de processos de erosão e arenização, relacionados à litologias areníticas; estes solos requerem um uso cauteloso, com plantas recuperadoras do solo e lotação adequada de animais no pasto. Áreas subutilizadas são bons solos para agricultura que estão ocupados por campo nativo; enquanto que áreas superutilizadas são aquelas com solos contendo problemas de conservação, sendo associados a culturas anuais, pecuária e reflorestamento; a categorização das áreas indica usos preferenciais. (SEMA, 2011).

Figura 28 - Mapa de adequação do uso do solo de São Francisco de Assis



Adequação de uso do solo

Legenda

- Uso coerente
- Risco pontencial
- Subutilizado



Fonte de dados: SEMA (2011),
ESRI (2022) e IBGE (2019)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado do mapa de Adequação de Uso do Solo, do Relatório do diagnóstico e prognóstico dos recursos hídricos (SEMA, 2011).

Segundo Trentin (2007), a vegetação nativa costuma recobrir as vertentes dos morros. Para o autor, o uso incorreto do plantio direto é uma forma de aumentar a degradação do solo, como um manejo errado do gado, falta de rotatividade de culturas, além do uso do fogo como prática de limpeza. Outra questão apontada é o reflorestamento comercial, grandes áreas com

Pinus e Eucalipto para a indústria, e isto sendo feito de forma indiscriminada no solo, acaba por prejudicá-lo.

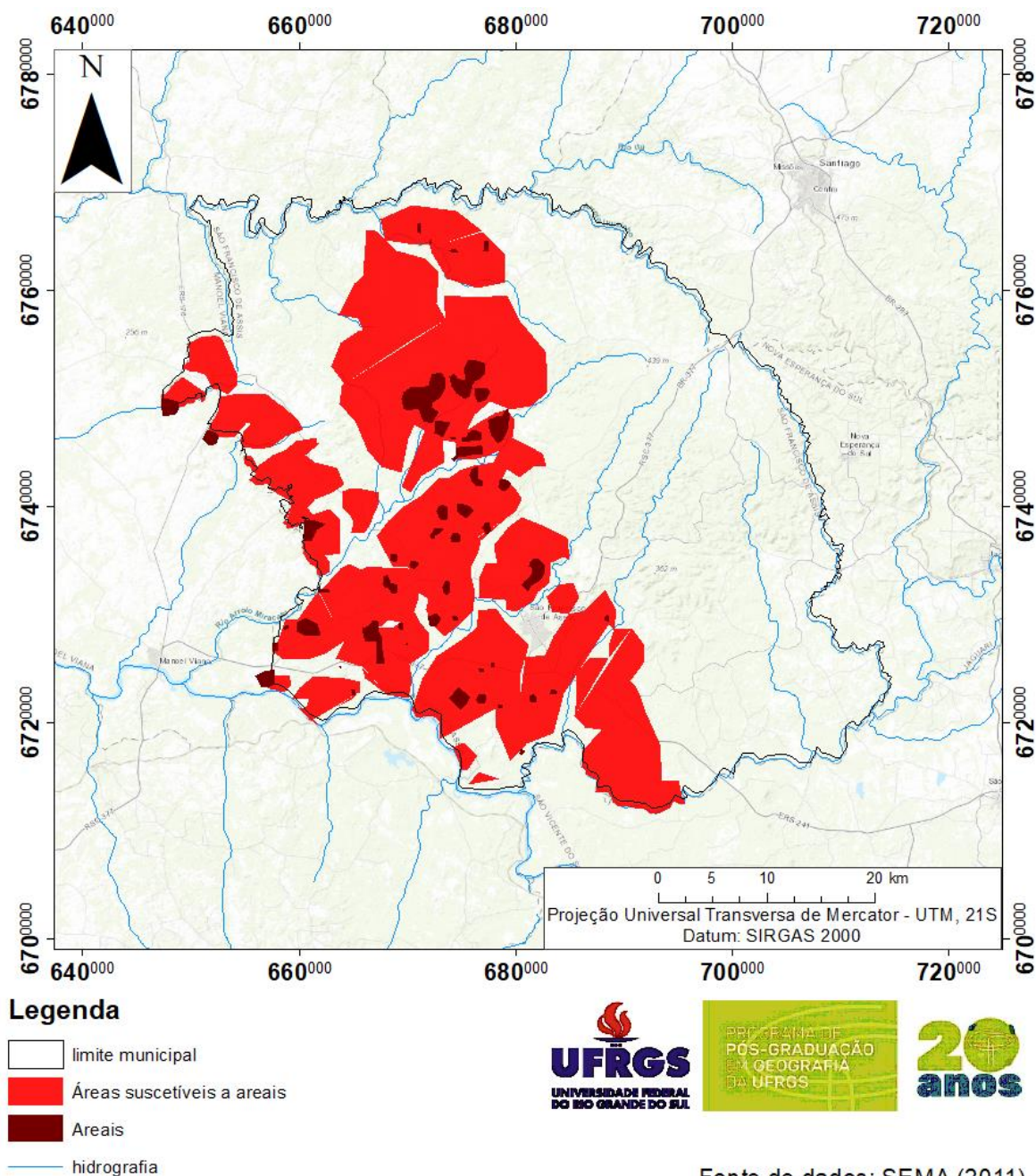
Silva (2009) aborda a ocorrência dos areais em substrato arenoso, decorrente, em grande parte de deposição eólica, sendo a vegetação de campo como a original. O autor também indica que a ocorrência dos areais segue um padrão de localização, estando, em maioria, nas médias vertentes das colinas.

Suertegaray (1987) indica a dominância de processos de criação de ravinas e voçorocas, associados a bacias de captação fluvial à montante. A autora analisou amostras de solo destes areais, onde encontrou solos com altos teores de areia nestas áreas de ravinas e voçorocas, sem a cobertura vegetal. Estes areais são feições de paisagem pretérita, de um ambiente de dinâmica hídrica e eólica com solos frágeis; associados, atualmente, ao uso intensivo do solo (VERDUM, 1997).

A constante mobilidade dos sedimentos pouco ou inconsolidados dificultam na fixação da vegetação, o que facilita processos de retrabalhamento; com isto, uma dinâmica onde processos hídricos superficiais, como ravina ou voçoroca, associados a fortes chuvas, transportam e depositam areias, dando origem aos areais, estes, com a ação dos ventos, estão em constante transformação (SUERTEGARAY *ET AL*, 2005).

Abaixo a figura 29, de localização dos areais no município de São Francisco de Assis; através deste mapa, as áreas com areais e suscetíveis a criação deles no município, se localizam ao centro-oeste do município, em direção a Manoel Viana, e ao centro-sul, em direção a Alegrete.

Figura 29 – Localização dos areais no município de São Francisco de Assis



Fonte de dados: SEMA (2011),
ESRI (2022) e IBGE (2019)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado do mapa de Localização dos areais e áreas suscetíveis à arenização, do Relatório do diagnóstico e prognóstico dos recursos hídricos (SEMA, 2011).

Foi observado que áreas de proteção ao longo dos cursos dos rios não se encontram preservadas em sua totalidade, por vezes não é obedecido o limite delimitado pela legislação de Área de Proteção Permanente (APP) em cursos de rios. Em alguns casos, a mata ciliar se encontra quase inexistente, o que acarreta o aumento do assoreamento de canais de drenagem

(TRENTIN, 2007). A seguir, tabela 02, com as principais atividades agropecuárias de São Francisco de Assis.

Tabela 2 – Principais atividades agropecuárias de São Francisco de Assis (RS)

		área colhida (ha)
plantação permanente	laranja	23
	tangerina	02
	uva	09
	noz	08
	Pêssego	04
	TOTAL	46
lavoura temporária	soja	53.000
	arroz	4.000
	milho	6.000
	trigo	2.943
	fumo	850
	melancia	500
	mandioca	300
	sorgo	150
	aveia	1.000
	feijão	110
	batata-doce	50
	cana-de-açúcar	12
	Melão	25
	TOTAL	68.940
produção florestal	silvicultura	7.882
		produção (m³)
extração vegetal	madeira em tora	50
	lenha	130
		quantidades
pecuária	bovinos	159.000 cabeças
	galináceos	44.800 cabeças
	bubalinos	396 cabeças
	suínos	3.200 cabeças
	ovelhas	22.315 cabeças
	equinos	4.578 cabeças
	caprinos	50 cabeças
	leite de vaca	2.000 (x 1.000) L
	lã	53.000 Kg
	mel de abelha	78.000 Kg
aquicultura	carpa	9.100 Kg
		Estabelecimentos (unidades)
adubação	fazem	1.644
	não fazem	678

agrotóxicos	usam	1.305
	não usam	1.017
lavouras	permanentes	88
	temporárias	1.519
	cultivo de flores	02
pastagens	naturais	2.138
	plantadas em boas condições	853
	plantadas em más condições	63
áreas de mata	naturais	410
	destinadas a APP e reserva legal	1.305
	florestas plantadas	238
	agroflorestal	430
sistema de preparo do solo	cultivo convencional	834
	cultivo mínimo	440
	plantio direto na palha	821
áreas irrigadas	possuem	71
tratores	possuem	1.271
semeadeira/ plantadeira	possuem	718
colheitadeira	possuem	225
adubadeira	possuem	175

Fonte: Adaptado de IBGE Cidades (2020), elaboração própria (2021).

Para São Francisco de Assis, as principais culturas são soja e trigo, que, segundo Pignati *et al* (2017) são cultivos onde o uso de defensivos agrícolas é intenso, em torno de 17,7 l/ha. O fumo também é um cultivo com grande utilização de agrotóxicos, em média 60 l/ha, outros cultivos com grande uso são o arroz 10 l/ha e milho 7,4 l/ha (PIGNATI *ET AL*, 2017).

Das lavouras permanente, a laranja é a que possui maior índice de agrotóxicos, segundo o Relatório Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos, segundo este, o agrotóxico mais encontrado é o imidacloprido, também foram encontrados o carburofurano (ANVISA, 2019).

O estado do Rio Grande do Sul é um dos que mais comercializaram agrotóxicos no ano de 2014, com 126.024.581,21 kg, o que equivale a 13,74 kg/ha segundo o Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018). Este mesmo relatório indicou uma incidência de 2,34 (por 100 mil hab.) para intoxicação de agrotóxicos, a taxa de letalidade por intoxicação ficou em 3,77 para o ano de 2014. Ainda sobre o relatório, o estado possui cadastro de 84 empresas de aviação especializadas em pulverização aérea de agrotóxico; sendo que as principais culturas que utilizam deste método são a soja, arroz, algodão, cana-de-açúcar, trigo, banana, milho, feijão (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018).

Em pesquisas o que se averiguou foram denúncias de transporte irregular de agrotóxico na região de São Francisco de Assis, também foram encontradas nos arquivos do Ministério Público investigação de pesca irregular do peixe Dourado - *Salminus brasiliensis* - espécie em extinção, bem como, apreensão de redes de pesca ilegal; também houve condenação por extração ilegal de areia no rio Ibicuí no município (MINISTÉRIO PÚBLICO, 2014; JFRS, 2016; G1 RS, 2021).

4. CARACTERÍSTICAS E DESCRIÇÕES DOS POÇOS

4.1 SIDROLÂNDIA (MS)

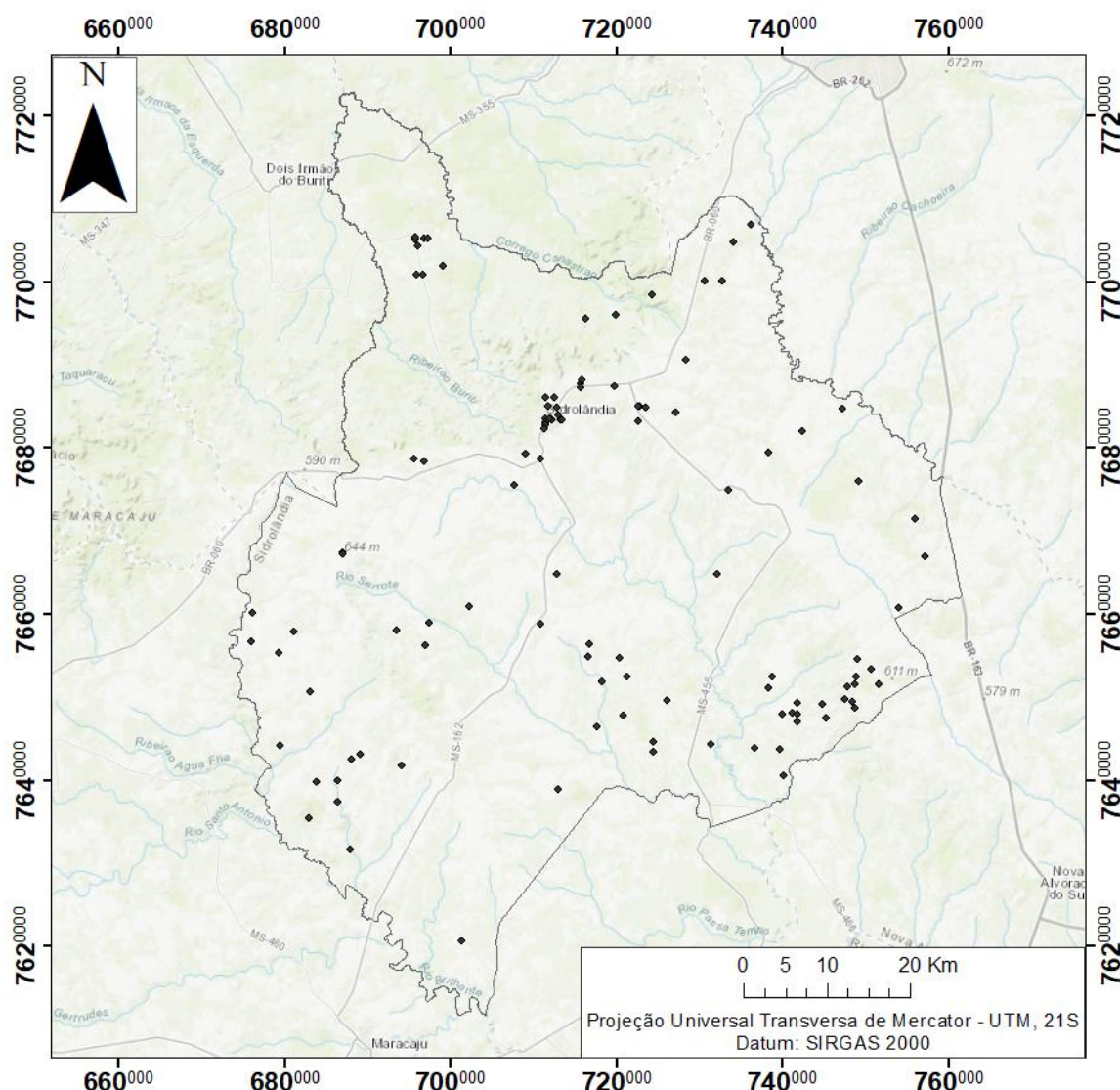
O município possui 113 poços perfurados, destes, 86 não possuem dados construtivos e/ou geológicos completos; dos 27 poços com dados construtivos completos, somente 9 deles possuem dados de análises químicas (Figura 30 – Localização dos poços em Sidrolândia). Os poços com dados construtivos, em maioria, são os localizados na área urbana municipal, sendo praticamente $\frac{1}{4}$ dos poços cadastrados. Estes valores de poços com dados completos são muito baixos, se levar em consideração que pela lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1.997 (que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos), a construção de poços para extração de água sem a devida autorização se constitui em infração.

Para se perfurar um poço, é necessário a autorização do órgão estadual; para isto, se necessita de autorização para perfurar, ficando a cargo de uma empresa de perfuração, sendo eles responsáveis pela obra; o poço deve ser construído de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (normas nº 12.212 e nº 12.244); após, é necessário obter outorga de uso da água junto ao órgão estadual, isso é de responsabilidade do proprietário do poço.

Pela lei nº 3.183, de 21 de fevereiro de 2.006 (Dispõe sobre a administração, a proteção e a conservação das águas subterrâneas de domínio do Estado e dá outras providências) do estado do MS, é necessário o estudo hidrogeológico, projeto e obra elaborados por profissionais capacitados, com a comprovação de anotações de responsabilidade técnica – art, para a elaboração do poço profundo.

Há a necessidade de se averiguar estes dados dos poços cadastrados no SIAGAS; isto indica uma falta de colaboradores, seja para a fiscalização e averiguação destes dados, bem como, para alimentar o banco de dados de forma completa. Apesar do SIAGAS ser um banco de dados cujas análises são cedidas pelos operadores dos poços, o que justifica o baixo número de poços com dados completos, entretanto, em outras bases de dados onde é obrigatória a inserção destes dados, como a plataforma *Cerberus*, mantida pela IMASUL, o cadastro dos poços também se encontra muito abaixo da quantidade de poços realmente perfurados.

Figura 30 - Localização dos poços em Sidrolândia



Legenda

- ◆ Localização dos poços



Fonte de dados: ESRI (2022),
IBGE (2019) e SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021) e IBGE (2019); elaboração própria (2022).

Dos poços, a maioria foi perfurado na década de 2.000, estando a maioria localizados na área rural do município, com 94 poços profundos, sem ter uma quantificação dos poços rasos. Segundo a Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Mato Grosso do Sul nº 40 de 03 de outubro de 2016, onde estabelece os critérios de uso dos recursos hídricos subterrâneos considerados insignificantes, são considerados usos insignificantes captações de

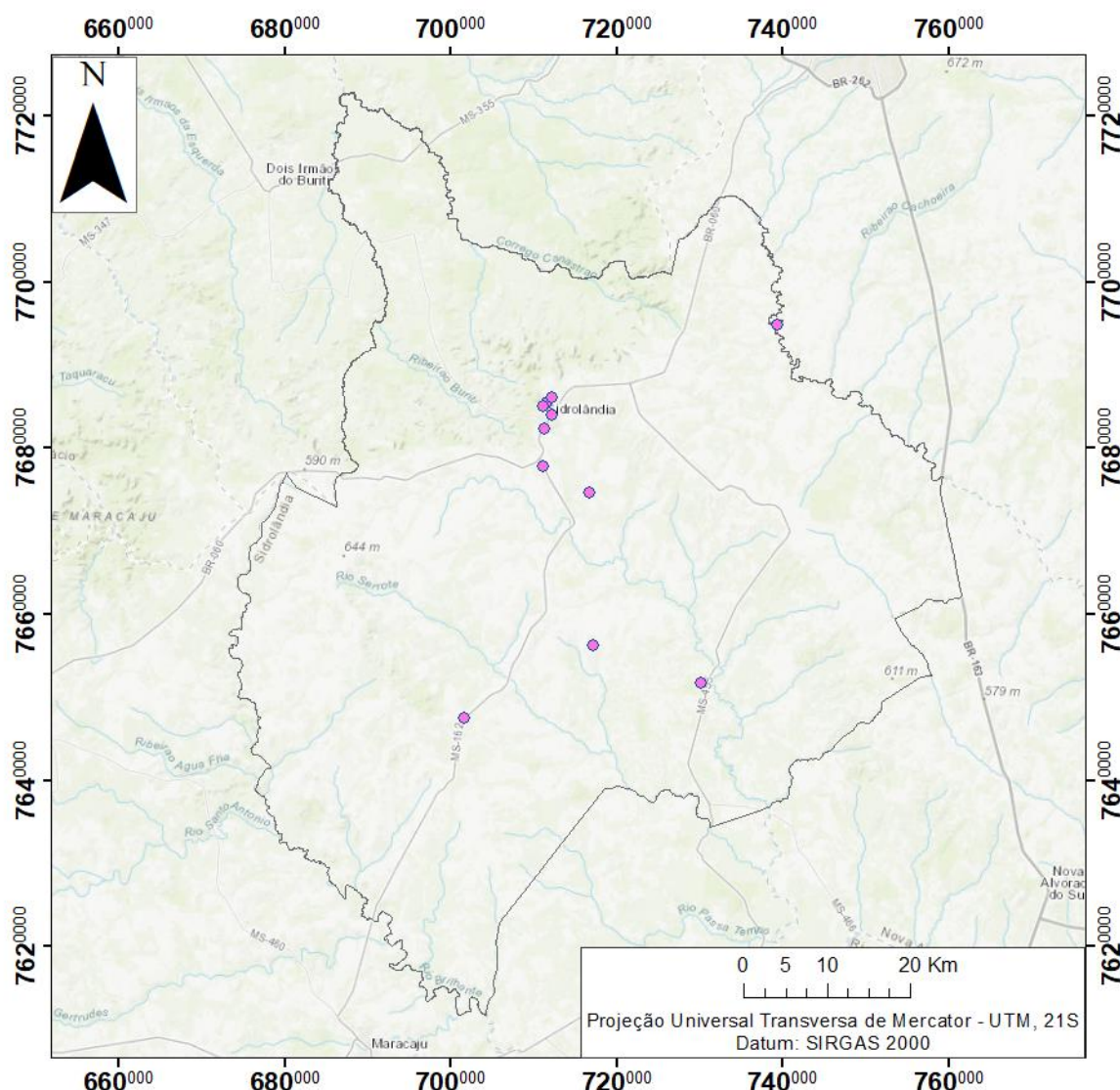
água subterrânea através de poços manuais independente da vazão ou profundidade, captações que atendam a necessidade de pequenos núcleos populacionais no meio rural.

Outros que independem de outorga do poder público são captações de poços tubulares em área não servida de rede pública de abastecimento, cujo volume seja igual ou inferior a 10 m³/dia, isto limitado por empreendimento ou propriedade; há também isenção de outorga um usuário com vários pontos de captação se o somatório das vazões for até 10 m³/dia. O uso insignificante deve ser registrado no Cadastro Estadual de Usuário de Recursos Hídricos – CEURH/MS, após a validação deste uso pela IMASUL, o uso considerado insignificante recebe certificado, com prazo de 10 anos, recebendo também outorga de direito de uso do recurso hídrico; com fiscalização feita pela IMASUL.

Com a isenção e uso, o que se observa é a diferença entre a quantidade de água retirada dos aquíferos e a quantidade cadastrada. Quanto a outorga de uso da água dos poços rasos, o cadastro é obrigatório, podendo ser passível de penalidades, porém, no sistema de consulta de licenças emitidas pelo estado, *Cerberus*, aparecem apenas 11 autorizações para uso de poços. Sem dados no endereço eletrônico da prefeitura (Figura 31, com localização dos poços cadastrados em Sidrolândia no *Cerberus*).

Se observa incongruências dos dados, de acordo com o Censo (IBGE, 2010) 2.581 domicílios utilizam poço ou nascente na propriedade (ou aldeia) para o abastecimento de água, porém entre os poços cadastrado (com e sem dados construtivos) somados aos dados de poços rasos, eles totalizam 124 dados de poços. Alguns locais pesquisados possuem dados cuja disponibilidade é facultativa, porém, em outras bases é obrigatória a disponibilidade, o que justifica a preocupação com a diferença nos dados. Além disso, a dificuldade em se acessar estes dados de acesso público, também deve ser levada em conta pois dificulta uma série de estudos que poderiam ser aprimorados.

Figura 31 – Localização dos poços cadastrados em Sidrolândia no Cerberus



Legenda

- ◆ Poços rasos cadastrados
- limite municipal



Fonte de dados: ESRI (2022),
IBGE (2019) e IMASUL (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de IMASUL (2021) e IBGE (2019), elaboração própria (2022).

Dos poços cadastrados e com dados expostos, a maior profundidade é de 440 metros, encontrado em área urbana e utilizado para o abastecimento público. Isto vem ao encontro dos dados da SANESUL, pois o abastecimento público é feito com águas subterrâneas.

A maioria dos poços possuem a profundidade entre 100 a 150 m, mesma profundidade encontrada por Lastoria *et al* (2006) para o município vizinho, Campo Grande. Os poços se encontram, em maioria, perfurados em litologia aflorante de basalto, estando dispostos em solo

argiloso; mesmo dado encontrado pelo IMASUL (2019). Sobre a geologia, a grande maioria dos poços se encontra com camadas de basaltos da Formação Serra Geral em superfície e, em profundidade, com arenitos da Formação Botucatu; 18 poços estão dispostos assim, com a retirada de água acontecendo nesta camada de arenito (Tabela 03, com dados do SIAGAS em Sidrolândia).

Tabela 3 - Dados dos poços do SIAGAS em Sidrolândia

Litologia aflorante		Profundidade	
Basalto	17	Até 100 m	6
Arenito	5	De 101 a 150 m	16
Argilito	3	De 151 a 200 m	3
Solo	2	Acima de 201 m	3
Solo		Nível estático	
Arenoso	3	Até 10 m	8
Argiloso	19	De 11 a 20 m	5
Argilo-siltoso	3	De 21 a 50 m	5
Areia argilosa	2	De 51 a 100 m	2
Argila	1	Acima de 101 m	4
Litologia do aquífero		Ano	
Arenito	20	Década 1970	1
Basalto	7	Década 1980	3
		Década 1990	4
		Década 2000	14
		Década 2010	2
		Década 2020	2

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Sobre a hidrogeologia, 22 poços estão dispostos no sistema aquífero Bauru, o restante dos 113 poços se encontra no sistema aquífero Serra Geral (Tabela 04, com dados dos mapas de Sidrolândia). Relacionando os dados do SIAGAS de litologia da zona saturada com os dados da IMASUL de hidroestratigrafia; dos poços com litologia de arenito na zona saturada, 03 deles estão na formação hidroestratigráfica aquífero Bauru, enquanto o restante (17) se encontra na formação Serra Geral. Ao passo que, a litologia de basalto, todos (07) estão na formação aquífera Serra Geral, a grande maioria dos poços não possuem os dados geológicos dos poços (Figura 32, relação entre litologia da zona saturada e hidroestratigrafia em Sidrolândia).

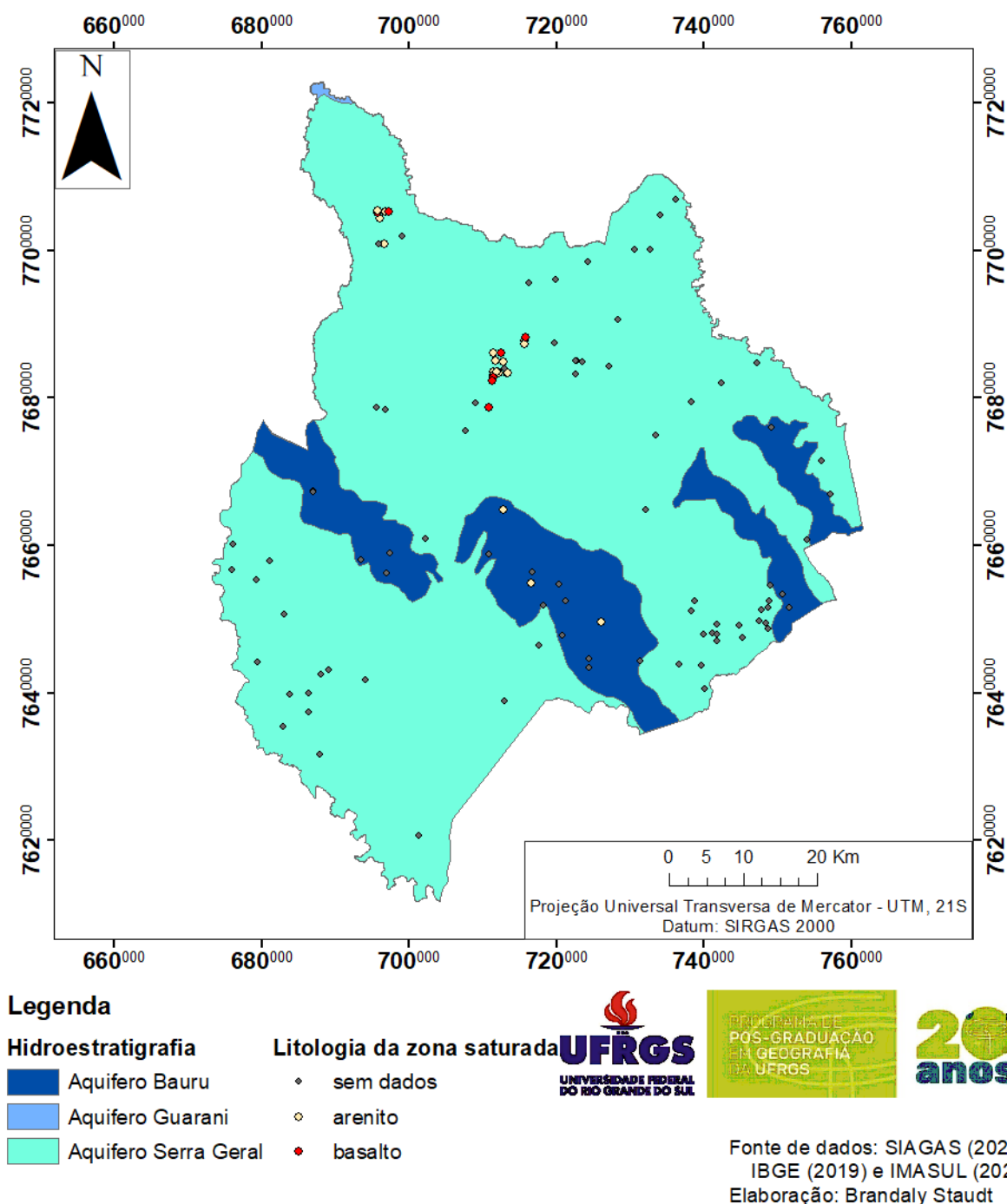
Tabela 4 - Dados dos mapas de Sidrolândia

Solo	57
LV distroférrico + LV distrófico + LV eutroférrico	

LV distroférico + Neossolo litólico eutrófico	53
LV distrófico + Neossolo quartzarênico órtico + gleissolo háplico distrófico	02
LV distrófico + LV distroférico + Neossolo quartzarênico órtico	01
Litologia aflorante	
Arenito (Grupo Caiuá)	22
Basalto (Formação Serra Geral)	91
Estruturas de falha / fratura	
Perfurados em estruturas	08
Sem estruturas grandes	105
Recursos hídricos	
Perfurados perto de recursos	33
Em outros locais	80
Hidroestratigrafia	
Aquífero Bauru	22
Aquífero Serra Geral	91

Fonte: Adaptado de CPRM (2009), CPRM (2021), EMBRAPA (2001), FRANZINI (2016), GOOGLE EARTH (2021), IBGE Cidades (2020), IMASUL (2021) e SIAGAS (2021); elaboração própria (2022).

Figura 32 - Relação entre litologia da zona saturada e hidroestratigrafia em Sidrolândia

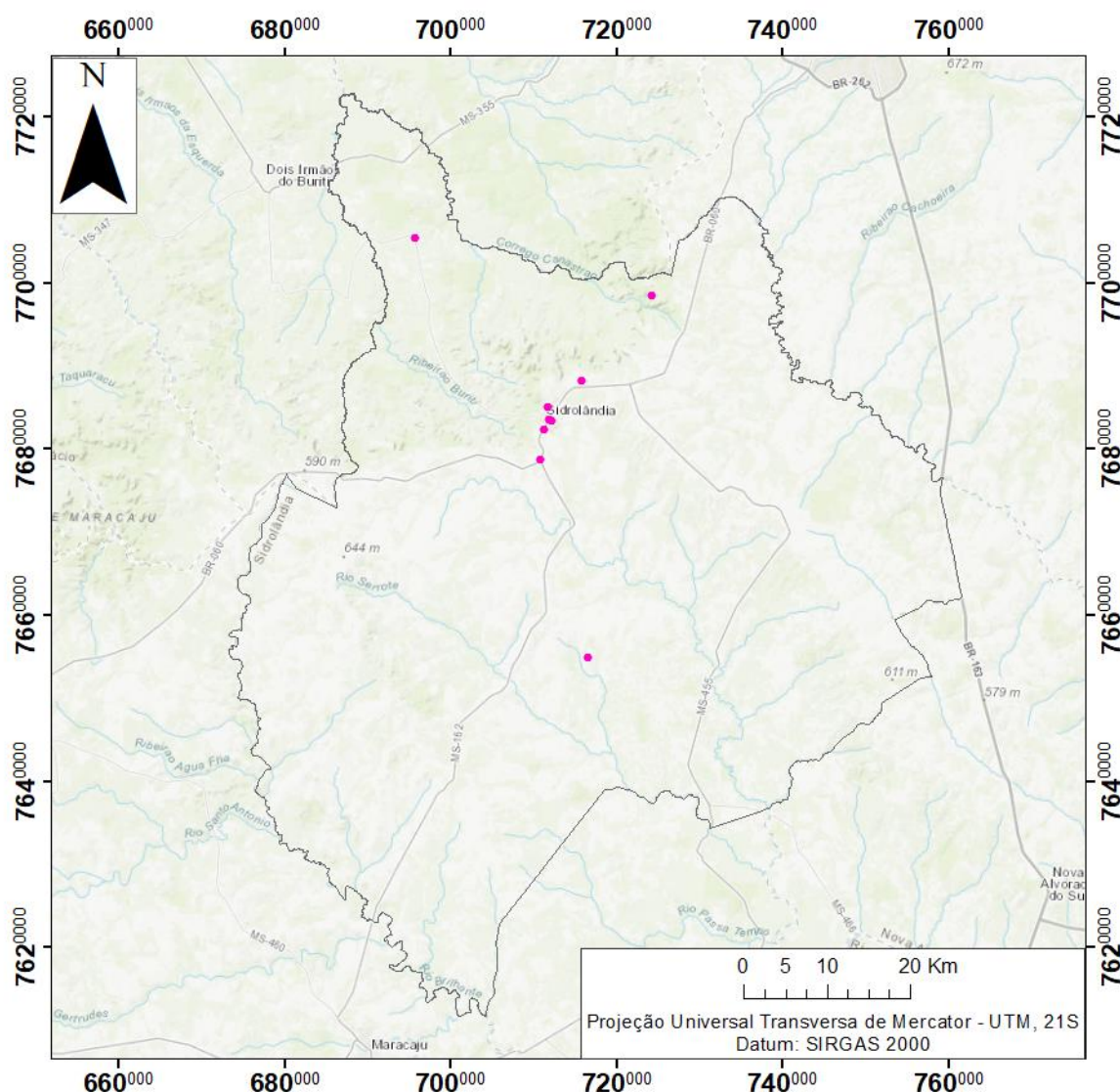


Fonte: Adaptado de IBGE (2019), SIAGAS (2021) e IMASUL (2021); elaboração própria (2022).

Dos poços cadastrados no sistema SIAGAS, muitos não discriminaram o uso da água, outros indicaram uso para consumo humano; destes que não citaram o uso, estão localizados em área rural. Quanto aos dados de análises químicas, 09 poços possuem estes dados, que incluem: pH, temperatura, turbidez e condutividade elétrica (Figura 33, localização dos poços com dados de análises químicas em Sidrolândia). Das análises dos resultados analíticos, 05 destes possuem análises para cálcio, cloreto, dureza total e nitratos. Também há dados de sílica,

magnésio, fluoretos, ferro total, sulfato, bário, lítio e potássio; porém estes dados estão em apenas um ou dois poços. Um fator prejudicial para uma análise mais aprofundada é a falta de monitoramento da qualidade da água. As amostras não possuem dados de coliformes termotolerantes, Oxigênio Dissolvido (OD) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), essenciais para o consumo humano das águas.

Figura 33 – Localização dos poços com análises químicas em Sidrolândia



Legenda

- Poços com análises químicas



Fonte de dados: SIAGAS (2021),
IBGE (2019) e ESRI (2022)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021) e IBGE (2019), elaboração própria (2022).

Outra questão é sobre a disposição, por serem os locais com maior cobertura de solo e menor cobertura de basalto, os locais próximos a rios e córregos são ideais para a perfuração de poços, onde 33 poços estão dispostos adjacentes a recursos hídricos, cerca de outros 30 poços também se encontram próximos a recursos hídricos. Sobre os rios, o Vacaria e o rio Serrote cruzam o município, enquanto os rios Anhanduí e o Brilhante delimitam os limites leste e oeste do município.

O rio Vacaria passa acerca da área urbana municipal, com nascente no norte do município, ele desagua no rio Ivinhema, alguns córregos próximos são afluentes (Saltinho, Alegre, Alvorada, Taquarussu) sendo muito usado para agropecuária, possui vazão específica média de $10 \text{ ls}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ - vazão média mensal*área da estação – [vazão média entre o período de 1976 a 2006] (ARAI, 2010). O rio Serrote, que passa na metade sul do município até o limite municipal com Rio Brilhante, com nascente na Fazenda Passa Tempo e foz no rio Vacaria, é usado para agropecuária, não possui dados de vazão. O rio Anhanduí que delimita os limites municipais de Sidrolândia e a capital Campo Grande e Nova Alvorada do Sul, boa parte do seu curso se encontra em intensa área urbana, recebendo altas taxas de efluentes, com inúmeros pontos de monitoramento na capital, por conta de sua fragilidade ambiental, possui vazão média de $7 \text{ ls}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (RODRIGUES *ET AL*, 2009).

O rio Brilhante delimita o limite de Sidrolândia com o município de Rio Brilhante, também deságua no rio Ivinhema, suas margens são ocupadas por fazendas, com atividade rural e recreativa, também têm afluentes de córregos (Arara, Pampa, Veado), possui vazão média de $12 \text{ ls}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (ARAI, 2010). O município está inserido na Bacia do rio Ivinhema, sendo sua foz o rio Paraná, a vazão específica média do rio Paraná é de $11,8 \text{ ls}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (ANA, 2013), para se ter uma ideia de como os rios citados acima possuem vazões relevantes que contribuem para o rio Paraná.

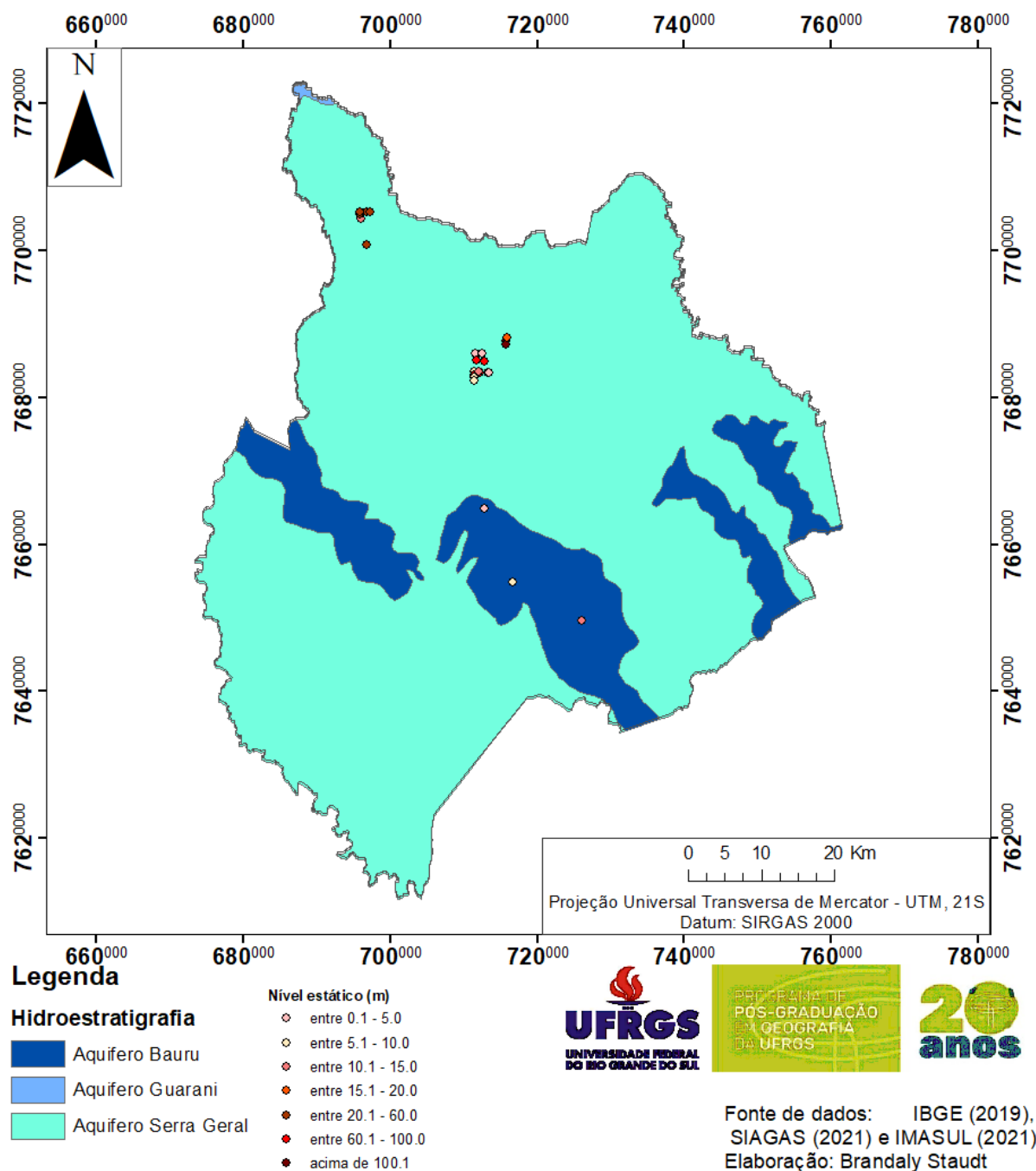
Mesmo havendo grande contribuição de água superficial, uma retirada excessiva de água subterrânea também pode acarretar em diminuição do aporte de água para estes mananciais, em especial nas épocas de seca, onde a alimentação destes rios e córregos ocorrem por nascentes de água subterrânea.

Dos poços cadastrados, todos aparecem em situação de bombeamento ativo. Quanto ao nível estático, os poços com dados construtivos, dois poços possuem os maiores níveis estáticos (NE), de 138,9 m, os dois não especificam o uso da água, entretanto, segundo as coordenadas da boca do poço, estes se encontram em uma área com indústria. A maioria dos poços possui NE de até 10 m (Tabela 04 acima), os dois poços com maiores valores de NE estão em litologia de subsuperfície de arenito. A maioria dos poços com menor NE estão no SASG e SAB, os com

valores de NE acima de 51 m estão no SASG (Figura 34, relação do NE com a hidrogeologia em Sidrolândia).

A grande maioria dos poços foi perfurado em basalto, mas a retirada de água está nas camadas mais profundas, de arenito; com retirada de água do SAG; sendo que eles estão em latossolo vermelho distroférico + neossolo litólico eutrófico. Os poços mais produtivos também estão inseridos neste contexto; os poços mais produtivos não necessariamente são os mais profundos, não tendo relação entre a vazão e a profundidade, assim como Lastoria *et al* (2006) havia averiguado para Campo Grande.

Figura 34 – Relação do NE com a hidrogeologia em Sidrolândia



Fonte: Adaptado de IBGE (2019), SIAGAS (2021) e IMASUL (2021), elaboração própria (2022).

Sobre a produtividade dos poços, os perfurados no SASG possui a maior produtividade, os que possuem maior vazão após estabilização estão com litologia de arenito na zona vadosa. Dos poços perfurados no SAB, todos eles possuem uma produtividade menor (até 20 m³/h), sendo abaixo do monitorado pela SANESUL, cujos poços monitorados indicam variações entre 20 a 200 m³/h. Enquanto os poços perfurados no SASG possuem todos os tipos de produtividade (variando de 4 a 200 m³/h). Lastoria *et al* (2006) indicou uma vazão média de poços do SASG

de 21,88 m³/h, similar ao encontrado com os dados para Sidrolândia. Não estão cadastrados poços perfurados no SAG.

Como não há dados completos de poços cadastrados, não se consegue averiguar a relação da produtividade dos poços com o fraturamento, porém, o que se observa é que os poços com maiores produtividades se encontram na direção que indicavam os trabalhos de Gastmans & Kiang (2005) e Gastmans *et al* (2010), quando estudaram municípios da região metropolitana de Campo Grande, onde indicaram que a direção da água subterrânea indicava uma direção a sul, sentido Sidrolândia; os autores também demonstraram uma produtividade variando bastante, de 8 até 320 m³/h, com média encontrada dos poços de 40 m³/h, enquanto que, com os dados do SIAGAS para o município, a média foi de 27,4 m³/h.

Em geral, a produtividade é muito boa. Para atender a demanda, é necessário a elaboração de estudo a partir do consumo atual de água, para definir a demanda diária. A partir disto, um poço para atender a demanda de um sítio, geralmente utiliza uma vazão de 1 a 2 m³/h (PERFURARTE, 2020). Para uso industrial e irrigação, é interessante um estudo do balanço hídrico, pois leva em consideração o uso da água, a região e o clima; mas fazendo um cálculo simplista, para irrigação de 1 ha são utilizados em torno de 2 m³/h de água (EMBRAPA, 2019), sendo essa a vazão média ideal para cada hectare, de modo geral, pois cada caso requer estudo.

O comprimento e filtro do poço influenciam na vazão, porém, o poço deve ser pensado para ter um tempo de recarga, com vistas a isto, um poço que leva um tempo maior de recarga em 24 horas, deve possuir uma boca de poço menor, e um filtro que capte menos água por hora, para, assim, dar o tempo da recarga; isto pode ser calculado e pensado com o teste de bombeamento⁵ (obrigatório para a perfuração de poço profundo).

Os poços com dados químicos estão no aquífero Serra Geral e um no aquífero Bauru. Dos poços com dados químicos, o pH ficou com valor médio de 6,3; porém, um ponto possui pH de 2,00, este está localizado na área urbana, ao lado de um posto de combustível e possui utilização para consumo humano, com profundidade de 12,4 m e vazão de 15,6 m³/h, localizado em basalto com a zona vadosa em arenito. Um segundo poço possui valor de 5,9, este se localiza também em área urbana, na Cargill Agrícola S.A., com uso industrial, este possui profundidade de 7 m e vazão de 4,5 m³/h, com litologia de basalto tanto da zona saturada como da não saturada. Os outros poços possuem valores de pH variando de 6 a 7,4. Dos outros dados

⁵ Teste de bombeamento – O teste dura 24 horas e registra o fluxo de água do poço, calculando o quanto rebaixa o nível da água, além de determinar quanto tempo leva para recarregar. Também gera informações quanto a hidrodinâmica e características do poço, ajudando no dimensionamento e colocação do poço (PERFURARTE, 2020)

químicos, eles ficaram muito esparsos, como pode ser visto abaixo (Tabela 05, com valores das análises químicas em Sidrolândia).

Tabela 5 - Valores das análises químicas em Sidrolândia

Código do poço	pH	CE (µS/cm)	Temperatura (C°)	Qualidade (PT/CO)	Turbidez (NTU)
3500022813	7,3	—	29	—	—
3500022816	7,4	133,1	30,2	—	—
3500026915	6	—	—	5	0,5
3500027225	2	—	14,2	—	0,4
3500027247	7,4	113,3	26,4	—	—
3500027317	5,9	6,2	25	5	0,7
3500045184	7,08	—	28,2	0,5	0,9
3500045669	6,8	—	—	15	2
3500045691	6,4	—	19,9	—	0,2

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Segundo a portaria Gabinete do Ministro/Ministério da Saúde nº 888, de 4 de maio de 2021, altera o anexo da Portaria nº 05, que “dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade”, para a potabilidade da água deve ser com pH variando de 6 a 9 em mananciais superficiais, com os valores de cloro residual livre e temperatura variando de 15 a 25 °C. Quanto ao valor de turbidez, o valor em amostras de água subterrânea, após a filtração rápida deve ser de 0,5 μ T em 95% das amostras.

Segundo a portaria, para manancial superficial, é necessária uma amostra a cada 2 horas, para parâmetros de turbidez, cor aparente e pH, enquanto que para mananciais subterrâneos é necessária 1 amostra por semana, a quantidade de pontos amostrais é uma para cada 1.000 habitantes. Outros parâmetros, como coliformes fecais, são necessárias duas amostras semanais para águas superficiais e uma semanal para subterrâneas, a quantidade de pontos amostrais depende da população abastecida, para Sidrolândia, com quase 60.000 habitantes, seriam 25 + 1 para cada 2.000 habitantes.

As amostras do SIAGAS não passaram por tratamento, mas tendo em vista que muitos destes poços são utilizados para consumo humano sem tratamento, principalmente em uso considerado insignificante, tendo como base isto, duas das análises possuem valores de pH fora do recomendado, com 2,0 e 5,9; sendo o poço com pH mais ácido tendo uso para consumo

humano, algum tratamento é utilizado para potabilidade. Quanto a turbidez, três amostras estão acima de 0,5, sendo duas de uso industrial e uma de uso rural.

Sobre os outros parâmetros, a mesma diretriz indica padrões de potabilidade para as seguintes substâncias que aparecem nas amostras: fluoreto 1,5 mg/L, bário 0,7 mg/L, nitritos 1,0 mg/L, nitrato 10 mg/L, cloreto 250 mg/L, dureza total 300 mg/L, ferro 0,3 mg/L, manganês 0,1 mg/L, sódio 200 mg/L, sólidos dissolvidos totais (SDT) 500 mg/L, sulfato 250 mg/L. O que se observa, primeiramente, nas amostras, são quantidades de dados insuficientes de análises químicas, sendo difícil a elaboração de trabalhos no âmbito de qualidade da águas dos mananciais subterrâneos. Outra questão que se observa é que das poucas amostras químicas, uma delas tem valor levemente elevado de bário (amostra 3500027247), este é um poço situado no SAB, com a zona vadosa de arenito e não vadosa possuindo camadas de basaltos. O restante está dentro dos parâmetros de potabilidade, apesar de saber que há necessidade de coletas periódicas de amostras para análise (Tabela 06, com outros elementos químicos em Sidrolândia).

Gastmans e Kiang (2005) classificaram três grupos de águas, onde indicaram maior salinidade onde há recarga do SAG e em áreas confinadas há aumento de sódio; enquanto os locais com mistura de águas do SAG e SASG possuem valor elevado de magnésio. Das poucas amostras, uma possui valor mais elevado do magnésio (3500045669), localizado na área rural do SASG. Enquanto os valores de sódio são todos baixos, de cálcio há duas amostras com valores mais altos (3500022813 e 3500045184), encontrados no SASG, onde, segundo os autores citados acima, há subordinadamente águas bicarbonatadas cálcicas.

Cardoso *et al* (2020) estudaram a qualidade das águas de poços tubulares de Campo Grande, capital do MS, onde indicaram qualidade boa para uso recreativo e relativamente boa para consumo humano. Quanto ao parâmetro pH, encontraram poços o SAB com valor entre 5 e 6, já no SASG entre 4 e 5 em áreas próximas a córregos, onde há mistura com águas superficiais. Há poucos poços com dados de nitratos, porém, dos que possuem, os valores mais elevados estão encontrados em área rural e possuem usos menos restritivos. O que os autores concluíram foram a falta de análises em poços tubulares cadastrados, e, que poços com dados, alguns possuem valores em desacordo com os estabelecidos pelas legislações, os autores indicaram a perfuração de poços de monitoramento para a capital.

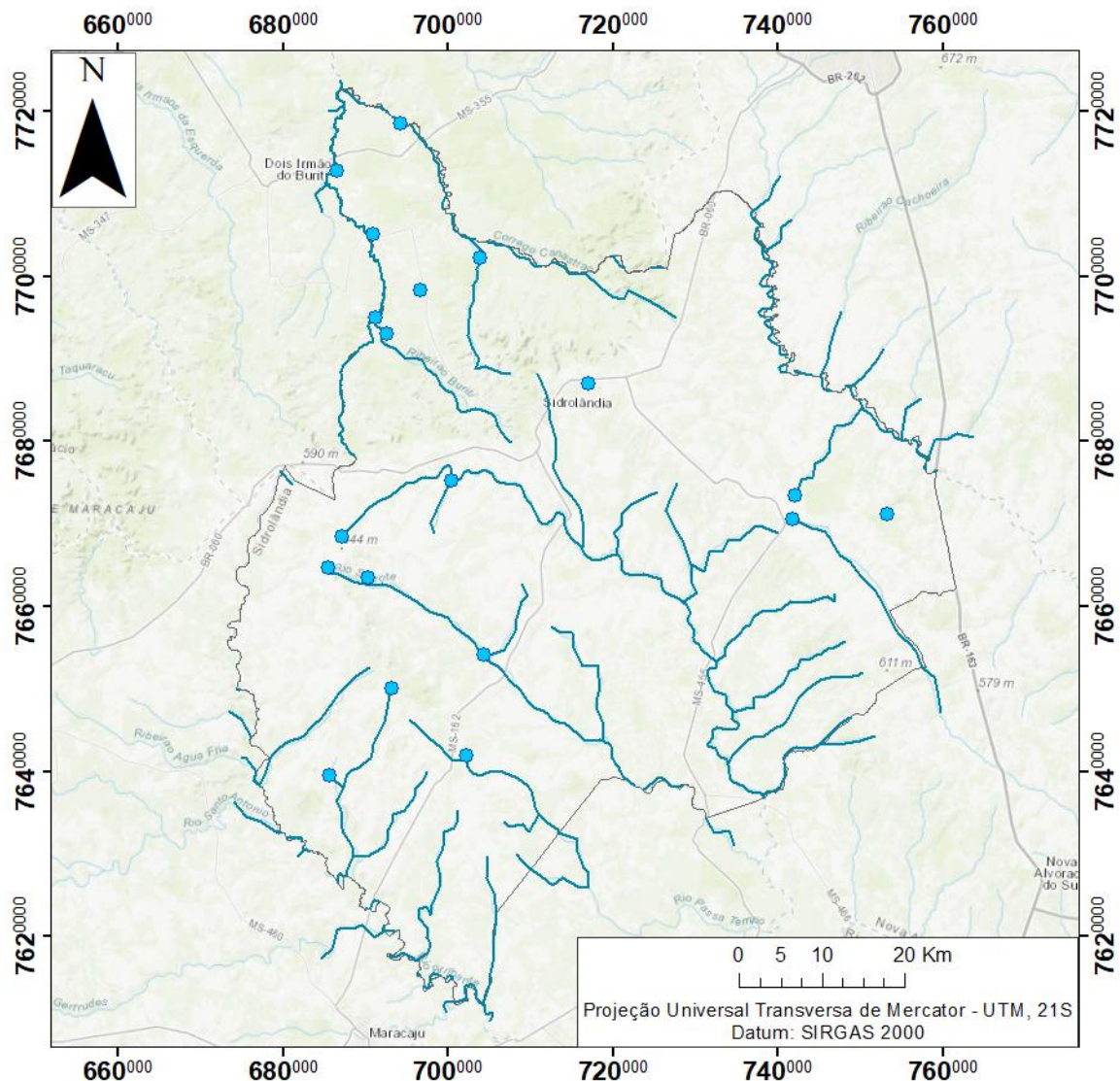
Tabela 6 - Valores de outros elementos químicos em Sidrolândia

Código do poço	cálcio mg/L (ppm)	cloro mg/L (ppm)	potássio mg/L (ppm)	magnésio mg/L (ppm)	sódio mg/L (ppm)	silica mg/L (ppm)	sulfato mg/L (ppm)	SOT mg/L	alcalinidade mg/L (ppm)	estroncio mg/L (ppm)	silício mg/L (ppm)	ferro total mg/L	nitratos mg/L (ppm)	PO4 mg/L (ppm)	fluoreto mg/L (ppm)	manganês mg/L (ppm)	bário mg/L (ppm)	lítio mg/L (ppm)	dureza mg/L (ppm)	nitritos mg/L (ppm)	
3500022813	17,3	0,39	0,94	6,81	5,17	23,1	0,11	140,82	99,2	0,02	10,78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3500022816	9,56	0,37	1,44	4,99	4,41	16,52	0,3	97,52	64,3	0,11	7,11	0,02	0,3	0,43	0	0	0	0	0	0	
3500026915	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
3500027225	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
3500027247	5,5	0,58	1,3	2,8	1,7	38,23	0,29	90,9	36,9	0,14	16,44	0,02	0	0,74	0,07	0,02	0,72	0,001	0	0	
3500027317	—	7,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,006	1,45	—	0,03	0,057	—	—	—	34,3	0,01
3500045184	16,48	4,36	—	15,15	—	5,19	—	—	—	—	—	—	2,33	—	—	—	—	—	—	—	—
3500045669	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3500045691	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Dos poços cadastrados, em nenhum deles ocorre surgência do aquífero; quanto às áreas de nascentes, o que se observa é a ocorrência em córregos e rios, como o rio Serrote e o rio Vacaria, além deles, alguns córregos como aqueles relacionados ao rio Serrote e ao rio Vacaria, além de ser cabeceira do Buritizinho, Retiro Seco e Marimbondo (Figura 35, mapa com localização de algumas nascentes em Sidrolândia).

Figura 35 – Mapa com localização de algumas nascentes em Sidrolândia



Legenda

- Hidrografia
- Nascentes



Fonte de dados: CPRM (2009),
 IBGE (2019), ESRI (2022)
 e EMBRAPA (2011)
 Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de CPRM (2009), EMBRAPA (2011) e IBGE (2019), elaboração própria (2022).

As cotas dos poços ficam em uma média similar àquela indicada pelo IBGE para o município, de 468 metros (IBGE – DGE, 2017); além de constatar que em alguns alinhamentos se encontram alguns rios do município, com um alinhamento NW-SE. Em algumas estruturas se encontram alguns córregos, como o córrego Santa Luzia, córrego Passatempo, rio Brillante, rio Serrote e rio Anhanduí. Pelas unidades geoambientais elencadas no zoneamento agroecológico (EMBRAPA, 2011), os poços cadastrados, em maioria, estão na região do

planalto basáltico, alguns na região da borda do planalto basáltico e poucos na região dos planaltos rampeados. Ainda pelo zoneamento agroecológico, das seis áreas propostas neste relatório, os poços se encontram na zona recomendada para agricultura intensiva, zona recomendada para agricultura semi-intensiva, zona recomendada para pastagens e zona recomendada para pastagem especial.

Dos 86 poços cadastrados sem dados de construção e geológicos 76 estão em área rural, os outros 10 estão em área urbana, porém, em área distrital e não a sede, no distrito de Capão Bonito, com 08 poços e o restante em área urbana, pela SANESUL. O uso da água nos 86 poços não foi discriminado, porém, tendo em vista que estes possuem proprietários que são pessoas físicas (com exceção de dois da SANESUL), se considera que o uso da água seja para abastecimento urbano privado e agropecuária nos 84 poços com dados incompletos; os dois restantes são poços para abastecimento urbano público, perfurados em 2020 pela SANESUL.

Dos poços com dados completos (27), 15 estão na sede urbana municipal, 05 estão no distrito de Quebra Côco e 01 no Capão Bonito, o restante estão em áreas rurais longe de vilarejos. Destes poços, 09 estão em nome de pessoas físicas, o restante pessoas jurídicas, 09 da SANESUL e os demais em nome de indústrias diversas, algumas são pequenas indústrias, as maiores cadastradas são: Cargill Agrícola S.A., LAR Cooperativa agroindustrial, Cooperativa Agroindustrial Alfa, Seara Alimentos LTDA e JBS Alimentos S/A. Incluindo os poços com cadastro completo e incompleto de pessoas físicas, um proprietário possui cadastro de 05 poços, outros 02 proprietários possuem 02 poços cada; enquanto que a SANESUL possui 11 poços cadastrados; todos os poços se encontram com bombeamento ativo e são considerados poços tubulares. Os poços cadastrados no IMASUL, não possuem dados de natureza do poço ou uso da água, bem como não cita a quantidade de água retirada, mas dos poços, 02 são de pessoas físicas, 03 são da SANESUL, 01 de prefeitura, 03 de indústrias, 01 da companhia de transmissão de energia e 01 em nome da secretaria do estado de justiça e segurança, este último foi perfurado para abastecimento da população do Assentamento Jiboia.

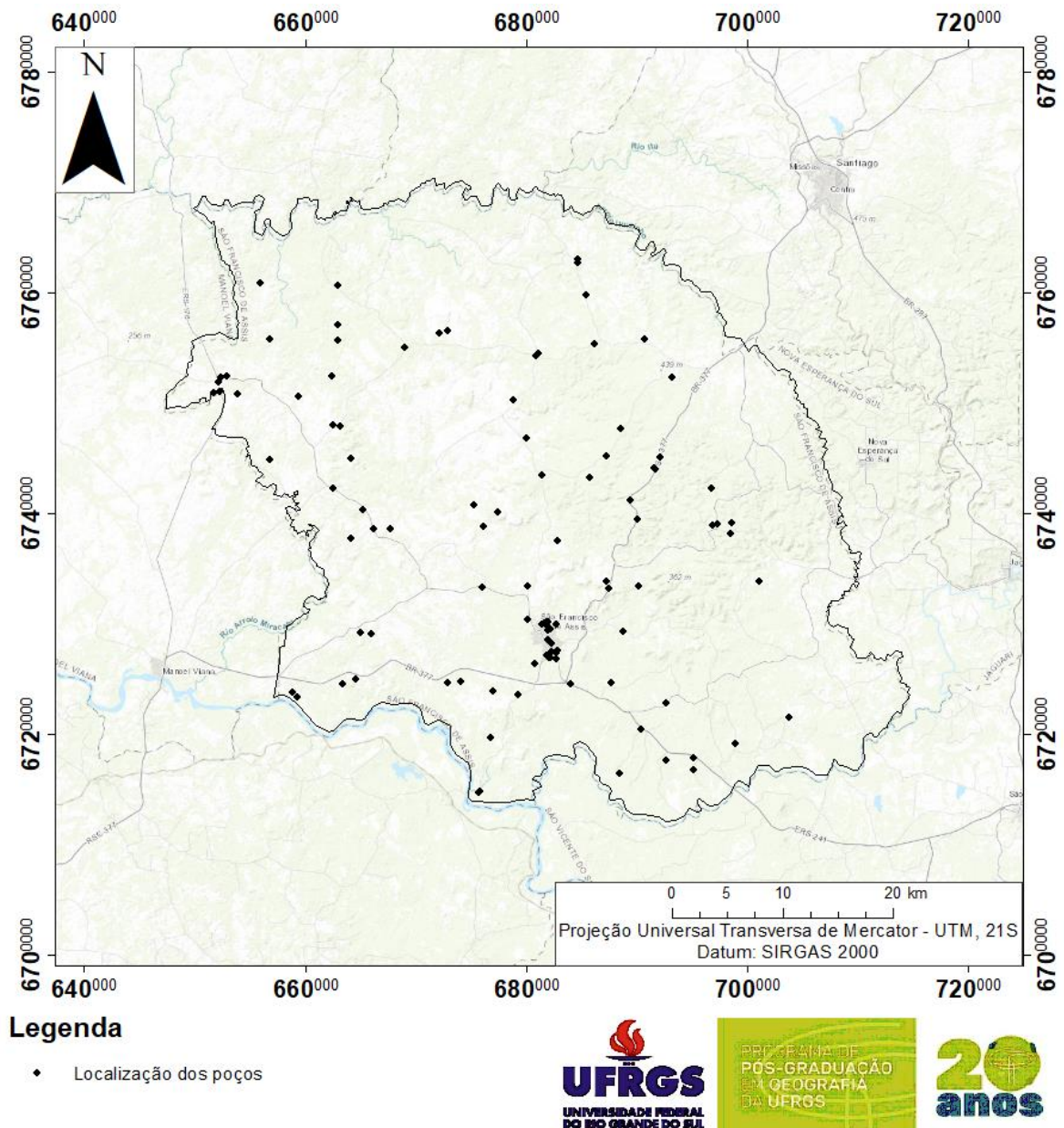
4.2 SÃO FRANCISCO DE ASSIS (RS)

O município possui 110 poços perfurados, destes 29 não possuem dados construtivos e/ou geológicos completos. Dos 81 poços com dados construtivos completos, 18 possuem dados de análises químicas (Figura 36 – Localização dos poços em São Francisco de Assis). Dos poços com dados construtivos, 22 estão localizados na área urbana municipal, sendo que os

poços se encontram dispersos pela área municipal. Em torno de ¼ dos poços não possuem dados construtivos, estes devem ter seus dados completos de acordo com a lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1.997, que institui a Política Nacional de Recursos hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Através do decreto 42.047, de 26 de dezembro de 2002, onde se regulamenta disposições da lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994 (que institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos), com alterações relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos no estado, os estudos hidrogeológicos, projetos, e obras de captação de águas subterrâneas deverão ser realizados por profissionais, empresas ou instituições habilitadas, exigindo ART, sendo que estes estudos e os projetos das obras devem ser protocolados junto ao DRH. Sendo a outorga condicionada aos objetivos do Plano Estadual de Recursos Hídricos e aos planos de bacias, levando em consideração fatores econômicos e sociais.

Figura 36 - Localização dos poços em São Francisco de Assis



Fonte de dados: SIAGAS (2021),
ESRI (2022) e IBGE (2019)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021) e IBGE (2019); elaboração própria (2022).

Dos poços, muitos não possuem a data de perfuração, alguns da CORSAN são bem antigos, de 1975, havendo também grande quantidade perfurados em 1997 e 2004. Os poços perfurados antes de 2.000 são em áreas rurais, com exceção de 03 poços perfurados pela CORSAN. Enquanto os poços perfurados em 2004, 17 estão em área urbana, na sede, enquanto os demais se encontram em variadas localidades. A quantidade de poços pode não estar atualizada no SIAGAS pois, conforme o decreto nº 7.535 de 26 de julho de 2011, que institui o

Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água – ‘Água para todos’, nele há o fomento à implantação de equipamentos e infraestrutura para captação de água de diversos tipos, além da articulação para a regulação do uso, sendo assim, pode haver um acréscimo de poços na região.

Segundo a resolução nº 92, de 05 de novembro de 2008, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos, o enquadramento das águas deve considerar as especificidades dos corpos de água, o enquadramento deve ser desenvolvido em conformidade com o plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica, com diagnóstico, prognóstico, propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento e programa de efetivação. O diagnóstico deve conter a caracterização da bacia, com seu uso e ocupação do solo, quantidade e qualidade da água, com seus usos preponderantes; identificação, localização e quantificação das cargas de fontes de poluição pontuais e difusas atuais; potencialidade e qualidade natural das águas subterrâneas; mapeamento de áreas vulneráveis a risco de contaminação, poluição, superexploração, conflitos de usos, cheias, erosão e subsidência; além de outros dados políticos, legais e socioeconômicos. A classe 5 para águas subterrâneas é a que possui critério menos restritivos de uso.

Enquanto a resolução nº 92, de 05 de novembro de 2008, estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro, onde os órgãos gestores deverão promover estudos hidrogeológicos a serem executados por entidades públicas ou privadas. Os planos de recursos hídricos devem delimitar as áreas de recarga de aquífero e definir zonas de proteção no processo de análise e deferimento de outorga de direitos de uso das águas subterrâneas, deve ser considerados os estudos, sendo que as captações devem obedecer às normas técnicas vigentes, além de haver disponível medidas que permitam coleta de água, bem como medições de nível e vazão para o monitoramento.

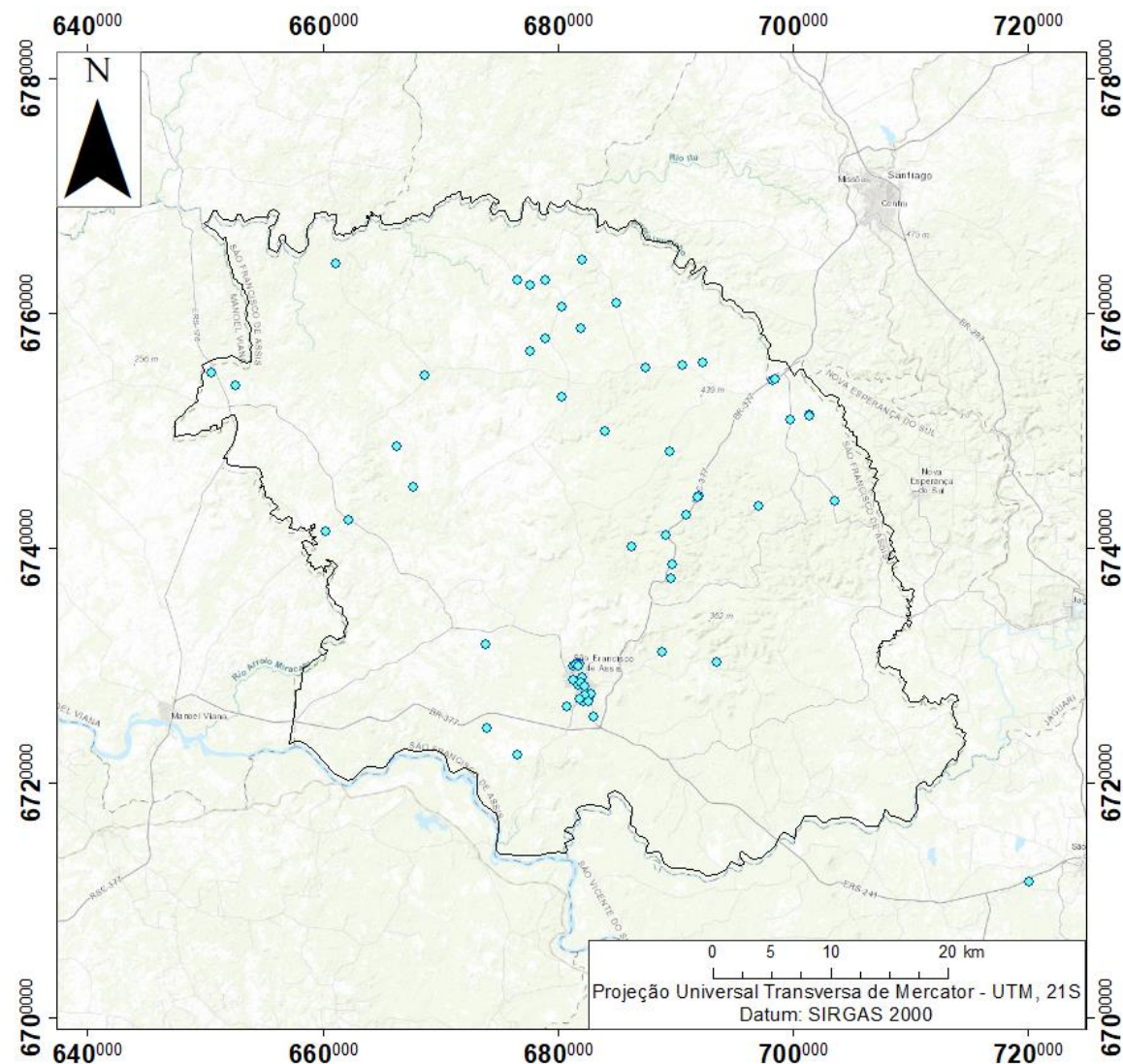
A perfuração de um poço deve estar em conformidade com estas questões, sendo necessário para a licença de perfuração. A outorga será emitida pelo Departamento de Recursos Hídricos mediante autorização ou licença de uso, quando referido os usos que alterem as condições quantitativas das águas; alterações no projeto devem ser aprovadas pelo DRH e FEPAM; sendo de responsabilidade do DRH a criação do cadastro geral de usuários de água, contendo as informações técnicas dos pedidos (Decreto Estadual nº 42.047, de 26 de dezembro de 2002, onde regulamenta disposições relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas no RS).

Em áreas com rede pública de abastecimento, os poços são tolerados para agricultura, floricultura e indústria. Quanto a dispensa de outorga, estas são designadas para os usos insignificantes, com até 2 m³/dia (ou 0,023 l/s) de retirada ou para a satisfação das necessidades básicas da vida em locais onde não haja rede pública disponível (Resolução nº 91, de 17 de agosto de 2011, onde aprova os critérios para o uso dos recursos hídricos e as vazões de derivação abaixo das quais a outorga poderá ser dispensada e Resolução nº 255, de 05 de dezembro de 2017, estabelece critérios gerais de outorga das captações de águas subterrâneas: usos permitidos e valores de referência das vazões a serem outorgadas).

De acordo com o Sistema de Outorga de água do Rio Grande do Sul (SIOUT RS), há o cadastro de 68 poços de 2017 até 2021, estes poços não estão no SIAGAS e se referem a poços profundos perfurados, principalmente, para consumo humano e dessedentação animal. Estes poços não podem ser utilizados para os índices pois não possuem dados de litologias de zona saturada e não saturada, porém possuem dados de boca do poço e profundidade de perfuração. A maioria destes poços possuem vazão de até 2 m³/h, com exceção de 07 poços com vazões maiores, nem todos os poços possuem estes dados, sendo que estes poços com vazões de até 2 m³/h possuem dispensa de outorga (figura 37 – localização dos poços cadastrados no SIOUT RS em São Francisco de Assis e tabela 07 – Dados dos poços cadastrados no SIOUT RS em São Francisco de Assis).

Estes poços se encontram em todas as camadas hidrogeológicas, com um poço no aquífero Serra Geral II, 05 no aquífero basalto/Botucatu, 24 no aquífero Sanga do Cabral/Pirambóia e o restante, 38, no aquífero Botucatu/Guará I. Destes, 43 estão localizados em áreas rurais, enquanto o restante em área urbanizada.

Figura 37 - Localização dos poços cadastrados no SIOUT RS em São Francisco de Assis



Legenda

- ◆ Poços SIOUT RS



Fonte de dados: DRH/SEMA RS (2022)
ESRI (2022) e IBGE (2019)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de DRH / SEMA RS (2022) e IBGE (2019), elaboração própria (2022).

Tabela 7 - Dados dos poços cadastrados no SIOUT RS em São Francisco de Assis

Vazão (m ³ /h)		Usos	
até 2	37	Abastecimento público	11
de 2,1 a 10	9	Consumo humano	13
de 10,1 a 30	3	Dessedentação animal, consumo humano	23
de 30,1 a 50	4	Dessedentação animal, irrigação	1
de 50,1 a 70	1	Dessedentação animal, irrigação, piscicultura, consumo humano	1

Proprietário		Industrial	5
CORSAN	18	Irrigação, consumo humano	1
Município	3	Tamponado	13
Pessoa jurídica	2		
Pessoa física	43		
Empresa	2		

Fonte: Adaptado de DRH / SEMA RS (2022), elaboração própria (2022).

A SEMA publicou uma Instrução normativa nº03 de 2021, onde dispensa a necessidade de outorga do uso da água para solicitar financiamento e licenciamento ambiental para atividades de irrigação e dessedentação animal na safra 2021/2022; porém, para a isenção, o empreendedor deve ter realizado pedido de outorga ou dispensa no SIOUT. Não há dados sobre águas subterrâneas no endereço eletrônico da prefeitura; de acordo com o Censo (IBGE, 2010) 1.355 domicílios utilizam poço ou nascente na propriedade para o abastecimento de água; porém entre os poços cadastrado (com e sem dados construtivos) no SIAGAS e os dados cadastrados no SIOUT, soma-se 178 poços, o que indica que o uso de águas subterrâneas é maior do que o assinalado.

Dos poços cadastrados e com dados expostos, a maior profundidade é de 180 metros, encontrado em área rural e utilizado para o abastecimento urbano e agropecuário, com o proprietário sendo uma pessoa física. Neste sentido, a CORSAN possui 22 poços cadastrados no SIAGAS, confirmando o que já constava no site da CORSAN, de que o abastecimento municipal de água era fornecido de fonte subterrânea.

A maioria dos poços possuem a profundidade entre 51 a 100 m, poços se encontram, em maioria, perfurados em litologia aflorante de arenito. Quanto aos solos, a maioria dos poços não indica o tipo de solo no local, dos 27 com dados de solos, 22 são arenosos, 07 são areno-argilosos, 05 argilosos e 01 siltoso. Sobre a geologia, a grande maioria dos poços se encontra com retirada de água nas camadas de arenito, com 69 poços; estando nas Formações Botucatu, Guará, Pirambóia, Sanga do Cabral e Rosário do Sul. Os dados de litologia e hidroestratigrafia são similares aos encontrados por Machado e Freitas (2005) e CPRM (2009).

Das feições geomorfológicas, a maioria se encontra em morrotes, 19 deles estão na área rural, na área urbana as feições são de morrote, colina, terraço fluvial e planalto. Os poços mais produtivos se encontram nos morrotes (Tabela 08, com dados SIAGAS em São Francisco de Assis).

Tabela 8 - Dados dos poços do SIAGAS em São Francisco de Assis

Litologia aflorante		Profundidade		Feição geomorfológica		Nível estático	
Arenito	41	Até 50m	38	Brejo	1	Até 10m	35
Argilito	5	De 51 a 100m	40	Chapada	8	De 11 a 20m	18
Basalto	21	De 101 a 150m	15	Colina	10	De 21 a 30m	5
Diabásio	7	De 151 a 200m	3	Encosta	20	De 31 a 70m	19
Siltito	6			Morroto	36	De 71 a 100m	3
Solo	9			Planalto	2		
Litologia do aquífero		Ano		Serra	11		
Arenito	69	Década 1970	1	Terraço fluvial	8		
Basalto	19	Década 1990	24	vale aberto	4		
		Década 2000	49				
		Década 2010	3				

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Sobre a hidroestratigrafia, 55 poços estão dispostos nos aquíferos Sanga do Cabral / Pirambóia. 47 no aquífero Botucatu / Guará I, o restante se encontra no sistema aquífero Serra Geral II e basalto / Botucatu. Poucos poços estão dispostos em cima de estruturas, apenas 07; a grande maioria dos poços se encontram em litologia de arenito, 94, enquanto 65 poços se encontram em latossolo vermelho distrófico + nitossolo háplico distrófico + neossolo litólico distrófico (Tabela 09, com dados dos mapas em São Francisco de Assis).

Tabela 9 - Dados dos mapas em São Francisco de Assis

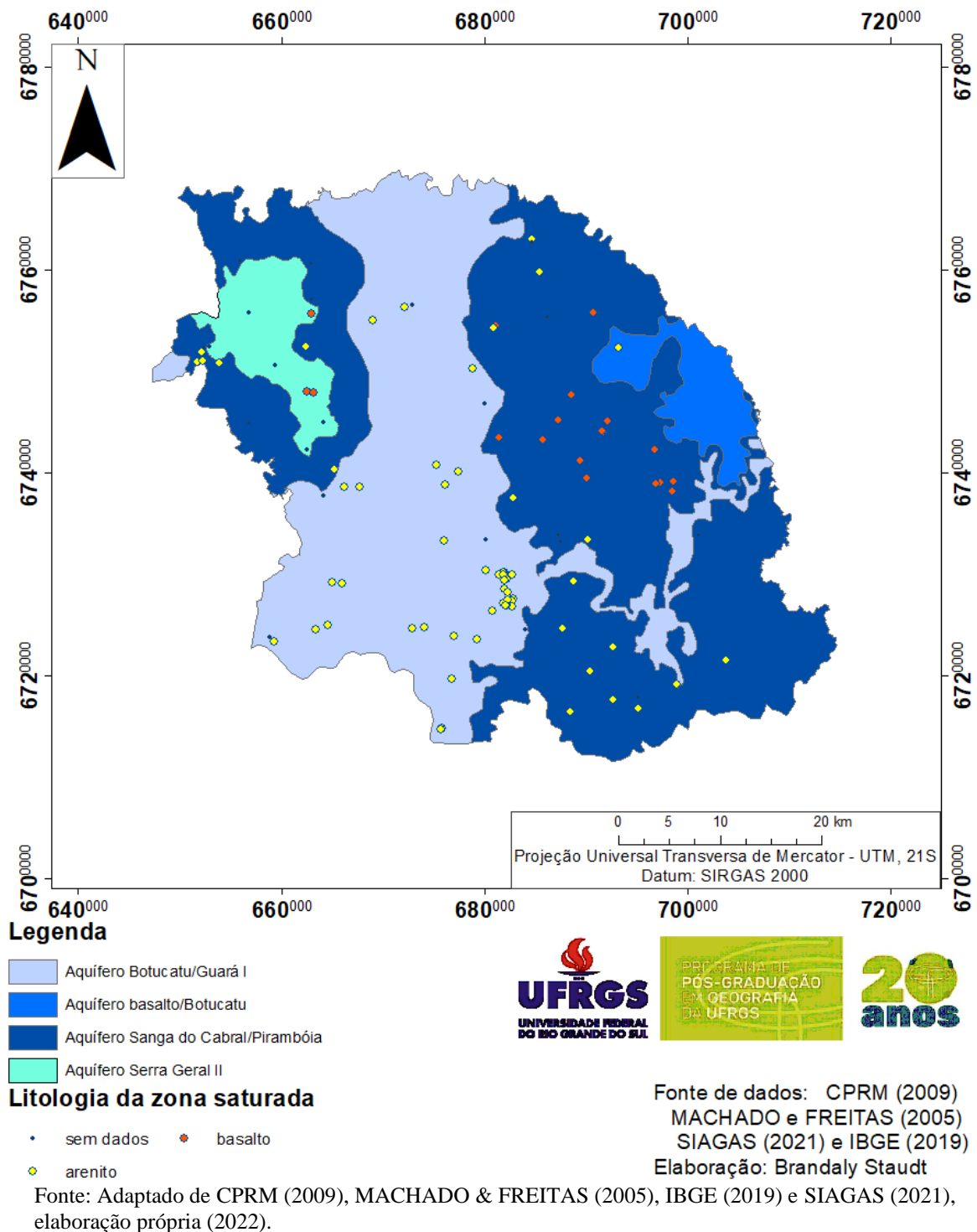
solo	
Podzólico Vermelho distrófico + Cambissolo háplico Tb distrófico	6
Latossolo VD + Nitossolo HD + Neossolo litólico distrófico	65
Neossolo litólico eutrófico + vertissolo	20
Planossolo HE + Gleissolo melânico eutrófico + Argissolo acinzentado eutrófico	19
litologia aflorante	
aluviais	3
Arenito	94
Basalto	13
estrutura de falha / fratura	
perfurados em estruturas	7
sem grandes estruturas	103
Recursos Hídricos	
perfurado perto de recursos	11
em outros locais	99
Hidroestratigrafia	
Guará	47
basalto/Botucatu	1

Sanga do Cabral/ Botucatu	55
Serra Geral II	7

Fonte: Adaptado de CPRM (2009), CPRM (2021), FRANZINI (2016), EMBRAPA (2001), GOOGLE EARTH (2021), IBGE Cidades (2020) e SIAGAS (2021); elaboração própria (2022).

Relacionando os dados do SIAGAS de litologia da zona saturada com os dados da CPRM de hidroestratigrafia; dos poços com litologia de arenito na zona saturada, estes se encontram no SAG, nos seguintes sistemas aquíferos: 05 deles estão no aquífero Serra Geral II, 01 no aquífero basalto / Botucatu, 18 no aquífero Sanga do Cabral / Pirambóia e 45 no aquífero Botucatu / Guará I. Enquanto que em litologia de basalto, 03 estão no Serra Geral II e 16 no Sanga do Cabral / Pirambóia (Figura 38, relação entre litologia da zona saturada e hidroestratigrafia em São Francisco de Assis).

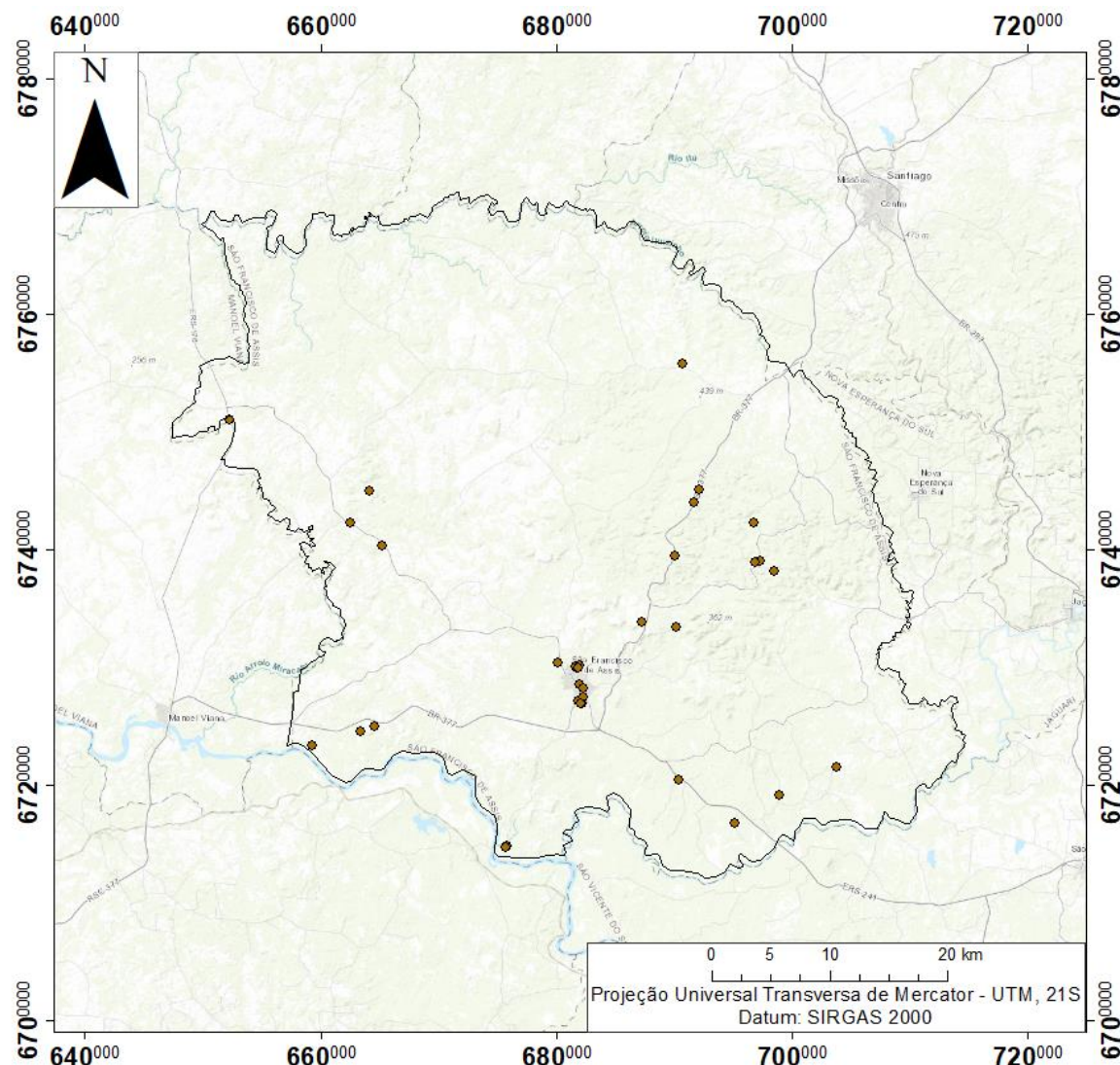
Figura 38 - Relação entre litologia da zona saturada e hidroestratigrafia em São Francisco de Assis



Dos poços cadastrados no sistema SIAGAS, 54 poços são destinados ao abastecimento humano, 02 estão sem uso e 01 destinado a lazer, o restante não discriminou o uso destinado; estando localizados por todo território. Quanto aos dados de análises químicas, 38 poços possuem alguns destes dados: pH, temperatura, turbidez e condutividade elétrica (Figura 39,

localização dos poços com dados de análises químicas em São Francisco de Assis). Das análises dos resultados analíticos, 18 destes possuem análises químicas para alguns destes elementos: alumínio, alcalinidade total, arsênio, bário, bicarbonato, boro, brometo, cádmio, cálcio, cloreto, cobalto, chumbo, cobre, cromo, dureza total, estrôncio, ferro, fluoretos, potássio, lítio, manganês, magnésio, molibdênio, níquel, nitratos, resíduos secos, sílica, selênio, sódio, sólidos totais dissolvidos, sulfato, vanádio, zinco. Neste município, também há a falta de dados e de monitoramento, apesar de alguns dados serem de disponibilidade facultativa, em outras bases de dados a inserção é obrigatória, sendo que, mesmo assim, a disponibilidade para a população, é de difícil visualização.

Figura 39 - Localização dos poços com análises químicas em São Francisco de Assis



Legenda

- Poços com análises químicas



Fonte de dados: IBGE (2019)
ESRI (2022) e SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

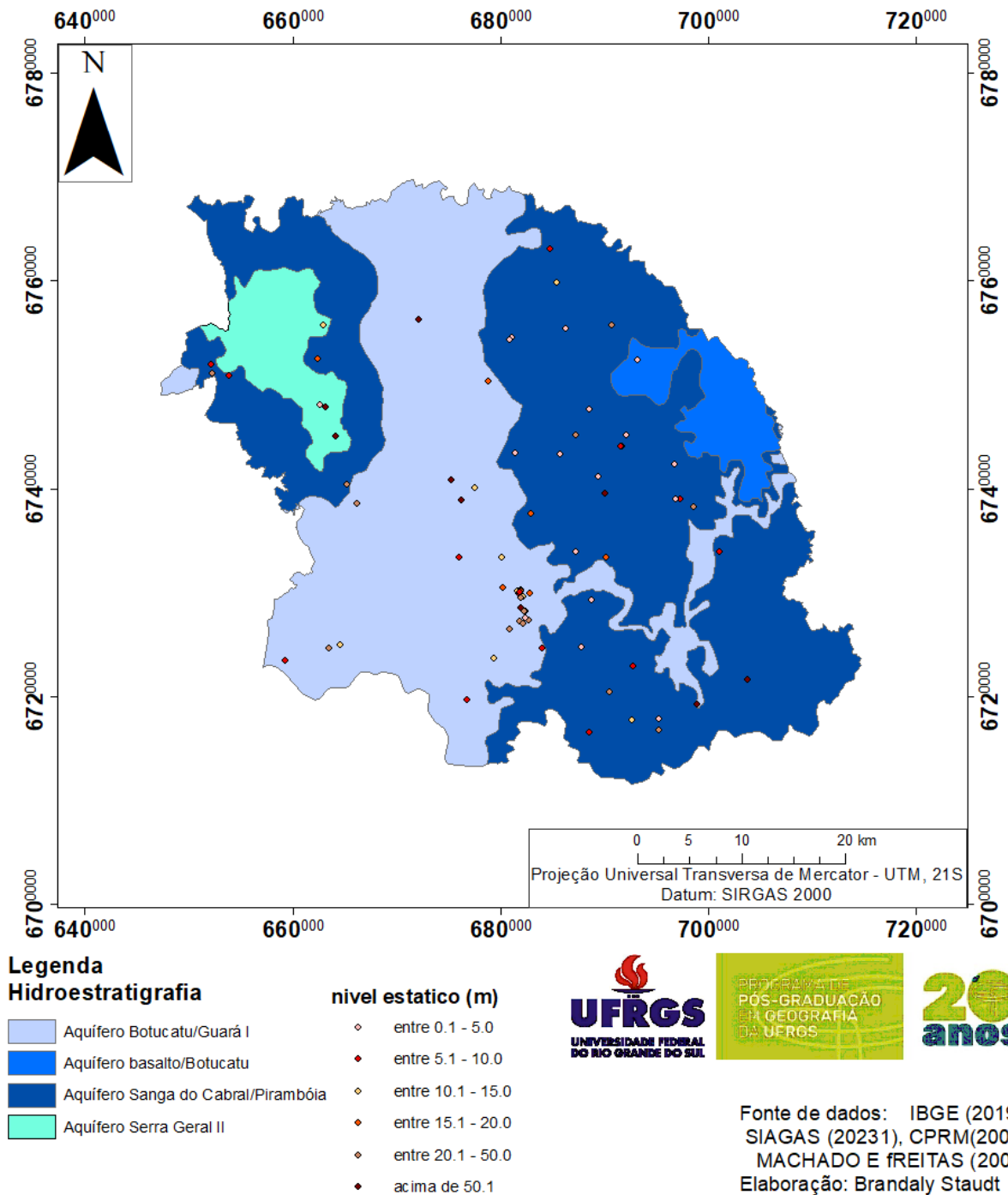
Fonte: Adaptado de IBGE (2019) e SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Dos poços cadastrados, 02 são poços de monitoramento da CPRM, 13 são obstruídos, 08 estavam parados ou abandonados, 01 seco e o restante bombeando. Os poços de monitoramento se encontram na área rural (01) e na área urbana (01), os poços abandonados se encontram na área rural, bem como o poço seco; os poços obstruídos se encontram 06 em área rural e o restante na urbana. Quanto ao nível estático, dos poços com dados construtivos, o maior nível estático se encontra em um poço com 80 m, estando abandonado, em imagens de satélite, a

região do poço se encontra com cultura permanente, estando com litologia de aquífero de arenito, no aquífero Botucatu / Guará. A maioria dos poços possui NE de até 10 m, com 35, estando localizados em maioria no aquífero Sanga do Cabral / Pirambóia, 06 no Botucatu/Guará I e 01 no Serra Geral II (Tabela 09 acima). Enquanto o NE variando de 11 a 20 m se encontram nos aquíferos Sanga do Cabral / Pirambóia, Botucatu / Guará e Serra Geral II; de 21 a 30 m se encontram nos aquíferos Botucatu/Guará I e Sanga do Cabral / Pirambóia; por fim, de 31 a 70 m estão nos aquíferos Botucatu/Guará I, Sanga do Cabral / Pirambóia e Serra Geral II (Figura 40, relação do NE com a hidrogeologia em São Francisco de Assis).

Grande parte dos poços foram perfurados em arenitos, sendo a retirada de água também ocorrendo em camadas areníticas. Os poços mais produtivos se encontram em uma das formações areníticas do SAG, o Guará, localizados na sede municipal, estes 06 poços com vazão após estabilização igual ou superior a 40 m³/h possuem litologia da zona não saturada de arenito (03), argilito (02) e basalto (01) com a zona saturada de arenito. Os poços mais produtivos não são os mais profundos, dos com maior produtividade, a profundidade varia de 65 a 103 m. Enquanto os poços mais profundos, um se encontra seco, outro abandonado (sem dados de vazão) e o outro com vazão de 07 m³/h.

Figura 40 - Relação do NE com a hidrogeologia em São Francisco de Assis



Fonte: Adaptado de IBGE (2019), MACHADO & FREITAS (2005), SIAGAS (2021) e CPRM (2009), elaboração própria (2022).

Sobre a produtividade dos poços, os perfurados no aquífero Sanga do Cabral / Pirambóia, se encontra produtividade máxima de 18,28 m³/h, dos 20 poços neste aquífero, 14 possuem vazões abaixo de 10 m³/h. Do Aquífero Botucatu / Guará I, além dos poços mais produtivos, há poços com 31 m³/h e 19,8 m³/h, a maioria varia de 1 a 12,7 m³/h. Dos 02 poços perfurados na unidade hidroestratigráfica Serra Geral II, as vazões são bem baixas, abaixo de 4,5 m³/h. Os

poços com produtividade de dispensa de outorga, até 2 m³/h, se encontram nos aquífero Botucatu / Guará I (03), Sanga do Cabral / Pirambóia (05) e um no Serra Geral II. Os poços com as maiores produtividades possuem uso para consumo, com exceção de um cujo uso se encontra para lazer; sendo que estes poços estão em posse da CORSAN e da prefeitura.

Como não há dados completos de poços cadastrados, não se consegue averiguar a relação da produtividade dos poços com o fraturamento, entretanto, os poços mais produtivos não se encontram em zonas com falhamento evidente; sendo que os poços situados em zonas de falhamentos possuem vazões em torno de 5 m³/h.

Freitas *et al* (2004) identificaram o município com aquíferos fissurais Serra Geral, porosos Eo-Cretáceos e porosos Triássicos; em uma seção tipo de Jaguari – Santiago - São Francisco de Assis - Manoel Viana, nesta seção se identificou o contato entre litologias da Formação Serra Geral com as rochas gonduânicas, que correspondem ao topo silicificado da Formação Guará, algumas rochas desta formação se encontram muito alteradas e com processos de formação de voçorocas.

O mapa hidrogeológico do estado do RS identifica produtividades elevada (com vazões específicas entre 1,60 m³/h/m e 4,0 m³/h/m) e moderada (com vazões específicas entre 0,40 m³/h/m e 1,60 m³/h/m) para o município. Enquanto dos aquíferos, o município possui os porosos com produtividade média e baixa; com a produtividade média as vazões variam de 10 a 40 m³/h, porém, o SAG apresenta grandes variações, sendo menores em áreas aflorantes, mas chegando a 300 m³/h em área confinada, seu nível estático se encontra próximo a superfície, geralmente; e por possuir grande diversidade litológica, os valores de recarga e vazão são igualmente variáveis. Os poços de produtividade baixa, variando entre 3 a 10 m³/h, apesar de serem aquíferos porosos possuem limitações devido a litologias e direções de fluxo da água subterrânea. No município também apresenta uma porção de aquífero fissural com produtividade média, com características muito variadas.

Machado (2005) aponta que a formação Sanga do Cabral possui aquíferos livres do SAG bastante heterogêneos. Na região de São Francisco de Assis o curso da água subterrânea possui fluxo norte-sul, em direção ao rio Ibicuí; devido ao sistema de falhamento, os níveis estáticos nas unidades Botucatu e Guará são profundos, tendo sua captação inviável em alguns pontos; sem contar alguns pontos onde poços no aquífero Botucatu se encontram secos, o mesmo ocorre na unidade Serra Geral, com vazões baixas e por vezes secos.

Os poços com dados químicos estão nos aquíferos Serra Geral II, Botucatu/ Guará I, Sanga do Cabral / Pirambóia. Dos poços com dados químicos, o valor de pH foi, em média, de 6,4; com o menor valor de pH em 4,1, localizado no Sanga do Cabral/ Pirambóia, sendo um poço

usado para abastecimento urbano em área rural. 10 poços cadastrados no SIAGAS possuem valor de pH inferior a 6,0, estes se encontram em maioria nas unidades hidroestratigráficas Botucatu / Guará I, um no Serra Geral II e dois no Sanga do Cabral / Pirambóia; com 04 deles na sede municipal, tendo uso principal para abastecimento humano, sendo 04 poços da CORSAN e outros 04 com abastecimento doméstico e um para lazer. Os dados de pH se encontram em maioria na parte centro-sul do município, com valores variando de 6,0 a 8,6 (Tabela 10, com valores das análises químicas em São Francisco de Assis).

Tabela 10 - Valores das análises químicas em São Francisco de Assis

Código do poço	pH	Sólidos sedimentáveis (mg/l)	CE (µS/cm)	Temperatura (C°)	Turbidez (NTU)
430000970	5.4	74.4	56	-	-
430001111	7.7	171	222	-	-
430008254	7.9	-	-	-	1.7
430008255	6.5	-	-	-	1
430008256	7.1	-	-	-	-
430008257	6.1	-	-	-	0.5
430008258	7.5	-	-	-	3.8
430008259	7.1	-	-	-	-
430008262	5.4	-	85	21	-
430008263	5.6	-	73	21	-
430008267	4.3	-	168	21	-
430008268	4.9	-	61	21	-
430008269	6.3	-	44	19	-
430008273	6	-	67	21	-
430008274	4.1	-	18	19.5	-
430008276	7.4	-	238	20	-
430008277	7	-	183	22	-
430008279	7.6	-	203	20	-
430008280	5.5	-	113	18.5	-
430008281	7.4	-	242	19.5	-
430008283	7.2	-	183	19.5	-
430008284	7.4	-	194	21	-
430008285	7	-	283	21	-
430008286	6.6	-	143	21	-
430008297	4.9	-	31	21	-
430008298	5.4	-	58	21	-
430008299	4.5	-	26	20.5	-
430008300	4.2	-	97	21.5	-
430008301	7.7	-	304	22.5	-
430021273	8.63	-	480	-	0.19
430021416	7.6	-	204	21.8	0.25
430021417	6.4	-	51.3	23.5	2.6

4300021418	7.9	–	301	–	0.9
4300021419	6.4	–	29	21.5	3.2
4300021420	8.6	–	401	22	2.6
4300024865	6.4	–	51.3	–	2.6
4300027478	5.5	–	–	–	0.3
4300027614	6.2	–	92.5	22	0.21

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Segundo o Ministério da Saúde (BRASIL, 2021) o valor de pH ideal varia de 6,0 a 9,0; com base nisto, 10 poços se encontram com valores prejudiciais para consumo humano. Os dados do SIAGAS de coleta e análise de água não passaram por tratamento, bem como, há apenas uma coleta de água analisada para estes poços com dados, sendo o ideal um número maior de análises, para São Francisco de Assis é necessária 01 amostra por semana, com um ponto amostral para cada 1.000 habitantes por ser um município abastecido por água subterrânea, para dados de pH, temperatura, cor e turbidez. Enquanto que para coliformes fecais, OD e DBO são necessárias 01 amostra semanal, com as quantidades de pontos amostrais de 1 para cada 1.000 habitantes.

A turbidez deve ficar em 0,5 uT em 95% das amostras após a filtragem; as amostras não passaram pelo processo, mas os poços se encontram com valores excedentes de turbidez em 08 poços. Sendo que os valores de cloro residual livre e temperatura variam de 15 a 25 °C, nos poços a temperatura se encontra neste intervalo.

Os poços com turbidez elevada se encontram em área rural (04) e urbana (04), sendo 05 deles da prefeitura e uso em parque de exposição, balneário e abastecimento; os outros 03 são da CORSAN, usado para abastecimento público.

Sobre os outros parâmetros químicos, há uma diversidade de parâmetros analisados, dos poços, 03 deles possuem análise de parâmetros químicos, mas não possuem dados de pH e turbidez. Dos 18 poços com análise de alguns elementos, se observa a quantidade baixa de poços com amostras disponíveis, bem como, a falta de dados apresentados de forma contínua.

Sobre os valores, a portaria que indica os padrões de potabilidade (Brasil, 2021), indica os seguintes valores para substâncias que aparecem nas amostras: cloreto (Cl) 250 mg/L, dureza total 300 mg/L, sódio (Na) 200 mg/L, nitrato (NO₃) 10 mg/L, sulfato (SO₄) 250 mg/L, manganês (Mn) 0,1 mg/L, ferro total 0,3 mg/L, alumínio (Al) 0,2 mg/L, sólidos dissolvidos totais (SDT) 500 mg/L, nitrito (NO₂) 1,0 mg/L, cromo (Cr) 0,05 mg/L, zinco (Zn) 5 mg/L, bário (Ba) 0,7 mg/L, arsênio (As) 0,01 mg/L, fluoreto (F) 1,5 mg/L, chumbo (Pb) 0,01 mg/L, selênio (Se) 0,01 mg/L.

01 amostra possui valor elevado para manganês, 03 possuem valores elevados para ferro total, 05 possuem valores elevados para alumínio, os demais elementos estão dentro dos padrões da portaria (Tabela 11, com outros elementos químicos em São Francisco de Assis). Destas amostras com valores elevados, o de alumínio se localizam no aquífero Botucatu / Guará I, em área urbana, sendo que 04 deles são da CORSAN para abastecimento público e 01 da CPRM para monitoramento. Das amostras com ferro total elevado, 02 são as mesmas que possuem o alumínio elevado também, sendo que estes dois se encontram obstruídos; e outra é um outro poço da CORSAN usado para abastecimento público, localizado também em área urbana no aquífero Botucatu / Guará I. A amostra com valor de manganês elevado é do poço da CPRM com valor de alumínio elevado.

A amostra de arsênio se encontrou no limite do aceitável, localizado no aquífero Sanga do Cabral / Pirambóia, em uma fazenda e este estava parado. Todos estes poços possuem litologia do aquífero de arenito e da zona não saturada de argilito, diabásio, basalto e arenito. Machado (2005) havia elencado a boa qualidade das águas, com baixos valores de SDT e apenas a salinidade no Sanga do Cabral sendo mais elevada. Por fim, as amostras não possuem dados de coliformes termotolerantes, OD e DBO, essenciais para o consumo humano das águas.

Tabela 11 – Valores de outros elementos químicos (mg/l) em São Francisco de Assis

Código	Ca	Cl	Dureza Total	HCO3	K	Mg	Na	NO3	SO4	Alcalinidade total	Mn	Ferro total	Al	SiO2	SDT	NO2	Resíduo seco
430000970	5,2	7,2	24	14,5	1,3	2,3	2	0,2	4,3	12	-	-	-	-	-	-	-
4300001111	7,2	6,4	42	156	4,2	6,6	37,4	-	4,8	126	0,05	0,01	-	-	-	-	-
4300008254	20	10	32	100	-	2,7	-	-	0,6	82	-	0,1	1,3	48,6	156,1	-	-
4300008255	15	3	40	58,6	-	2,2	10	0,53	4,3	48	-	0,1	1,6	26,4	-	0,01	103,1
4300008256	14	-	-	-	-	1,9	13,8	-	2,3	-	-	-	-	20,4	101	-	-
4300008257	6,6	13	10	8,5	-	0,06	-	-	0,1	7	-	0,1	-	14,3	29,5	-	-
4300008258	20	13	55	96	-	5,3	-	-	8	79	0,02	0,5	1,7	40,8	199,5	-	-
4300008259	12	7	15	22	-	1,4	-	-	1,8	19	0,07	0,9	6,6	133,6	431,8	-	-
4300008265	4,3	9,6	19,3	-	1,1	2,1	1,5	-	-	-	-	-	0,0015	-	66	-	104
4300020124	1,7	-	-	-	0,46	1,34	1,65	-	-	-	0,03	0,023	-	-	-	-	-
4300020535	8,5	-	-	-	2,54	3,58	13,7	-	-	-	0,21	-	0,26	-	-	-	-
4300021273	2,8	7,1	75,7	256	3	1,7	68	0,21	15,4	256	0,02	0,04	0,05	-	269	0,04	-
4300021416	22	-	63	119	-	2	20	0,48	0,95	97	-	-	-	-	131	-	-
4300021418	2	4	6	181	1,3	0,2	71	-	3,9	148	0,03	-	-	-	208	-	-
4300021419	2	-	11	10	-	2	-	1,01	0,37	8	-	-	-	-	32	-	-
4300021420	3	8,7	13	104	-	1	89	0,29	36,4	249	-	-	-	-	261	-	-
4300024865	2	-	14	18	-	2	-	1,68	0,28	15	-	-	-	-	46	-	-
4300027478	1,4	4	10	2,4	1	1,6	7	-	0,7	2	0,03	1,9	-	13,5	41,2	-	-
Código	Cr	Zn	Ba	Sr	Co	Cu	As	B	F	Ni	Pb	Se	Li	V	Mo	Bromet	Co3
430000970	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4300001111	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4300008254	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4300008255	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4300008256	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4300008257	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4300008258	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4300008259	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4300008265	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4300020124	-	0	0,09	0,023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4300020535	-	0	0,266	0,085	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4300021273	0	0,1	0,1	0,02	0,02	0,01	0,01	0,07	0,2	0,01	0	0,005	0,02	0,003	0,2	4	-
4300021416	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-
4300021418	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
4300021419	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
4300021420	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26	-	-	-	-	-	-	-	99
4300024865	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-
4300027478	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Legenda: Na tabela, a unidade de cada parâmetro químico está em mg/l (ppm). Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Os poços próximos a recursos hídricos são 11, estando próximos ao arroio Miracatu, Inhacundá e Jaguari-Mirim. O arroio Inhacundá passa acerca da área urbana municipal, com diversas nascentes que alimentam o arroio a norte do município e deságua no rio Ibicuí, possui grandes propriedades agropastoris, destinadas a plantações de soja, milho e criação de gado e ovelhas (SANGOI, 2006). O rio Ibicuí na região possui uma vazão total de 9,78 hm³/ano, com águas destinadas ao abastecimento, preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas, recreação de contato primário e irrigação de hortaliças (SEMA, 2011). O rio Jaguari deságua no rio Ibicuí, com nascente em Tupanciretã, com vazão 4,78 hm³/ano. Basso e Verdum (2006) estudaram dados de qualidade e vazão de alguns arroios no município, o arroio Caraguataí variou ao longo de 10 meses na nascente e na foz, o menor valor foi na terceira amostra da nascente de 0,11 m³/s (julho) e o maior na foz da primeira amostra, com 4,61 m³/s (setembro), com vazão média da nascente de 0,5 m³/s e a média da foz de 3,56 m³/s. Diferente do arroio Miracatu, que possui vazões maiores, com o menor valor na nascente da terceira amostra (mês de julho) com 0,87 m³/s e a maior amostra na foz da primeira amostra (setembro)

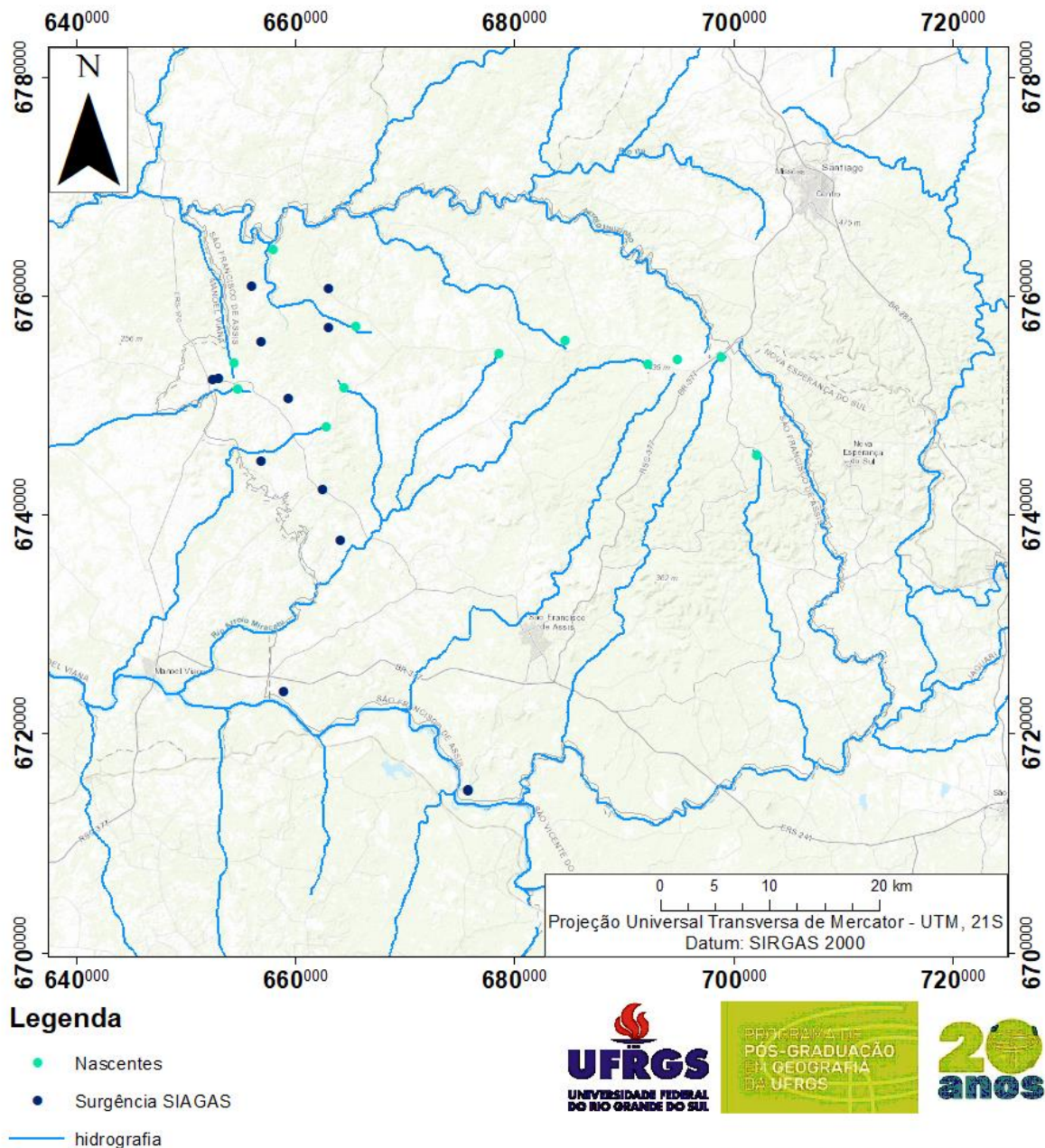
de 35,9 m³/s; com vazão média na nascente de 3,66 m³/s, enquanto a média na foz é de 23,41 m³/s.

Mesmo havendo grande contribuição de água superficial, uma retirada excessiva de água subterrânea também pode acarretar em diminuição do aporte de água para estes mananciais, em especial nas épocas de seca, onde a alimentação destes rios e córregos ocorrem por nascentes de água subterrânea. Em especial nos meses menos chuvosos, de meados de março a meados de julho; isto vem ao encontro dos dados acima de vazão, que são maiores nos meses mais chuvosos (entre setembro a março), com uma precipitação média anual de 1.800 mm. O mês menos chuvoso é agosto com 94,3 mm e o mais chuvoso outubro com 190 mm, mas num geral com uma quantidade parecida de chuva, com exceção a julho e agosto (IRGA, 2022).

Dos poços cadastrados, 13 encontram surgência do aquífero, estes se encontram em área rural, nos aquíferos Serra Geral II (05), Sanga do Cabral/ Pirambóia (05) e Botucatu / Guará I (03). Estas áreas de surgência se encontram em área de encosta na maioria (08), três destes com surgência possuem dados de análises químicas, o ultimo possui valor de pH abaixo do ideal para consumo (4300021418, 4300008301 e 4300000970). Estes poços com nascentes são utilizados para abastecimento doméstico, com dois deles em litologia aluvionar, 06 em litologia de basalto e o restante de arenito, apenas dois destes com surgência possuem dados construtivos.

O município possui grande quantidade de nascentes, estas se manifestam na grande quantidade de córregos e arroios na região; quanto às áreas de nascentes, o que se observa é a ocorrência em córregos e rios, como o rio Serrote e o rio Vacaria, além deles, alguns córregos como aqueles relacionados ao rio Serrote e ao rio Vacaria, além de ser cabeceira do Buritizinho, Retiro Seco e Marimbondo, entre outros (Figura 41, mapa com localização de algumas nascentes em São Francisco de Assis).

Figura 41 Mapa com localização de algumas nascentes em São Francisco de Assis



Fonte de dados: DRH / SEMA RS (2022), SEMA (2011), IBGE (2019), ESRI (2022), SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de DRH / SEMA RS (2022), SEMA (2011), IBGE (2019) e SIAGAS (2021); elaboração própria (2022).

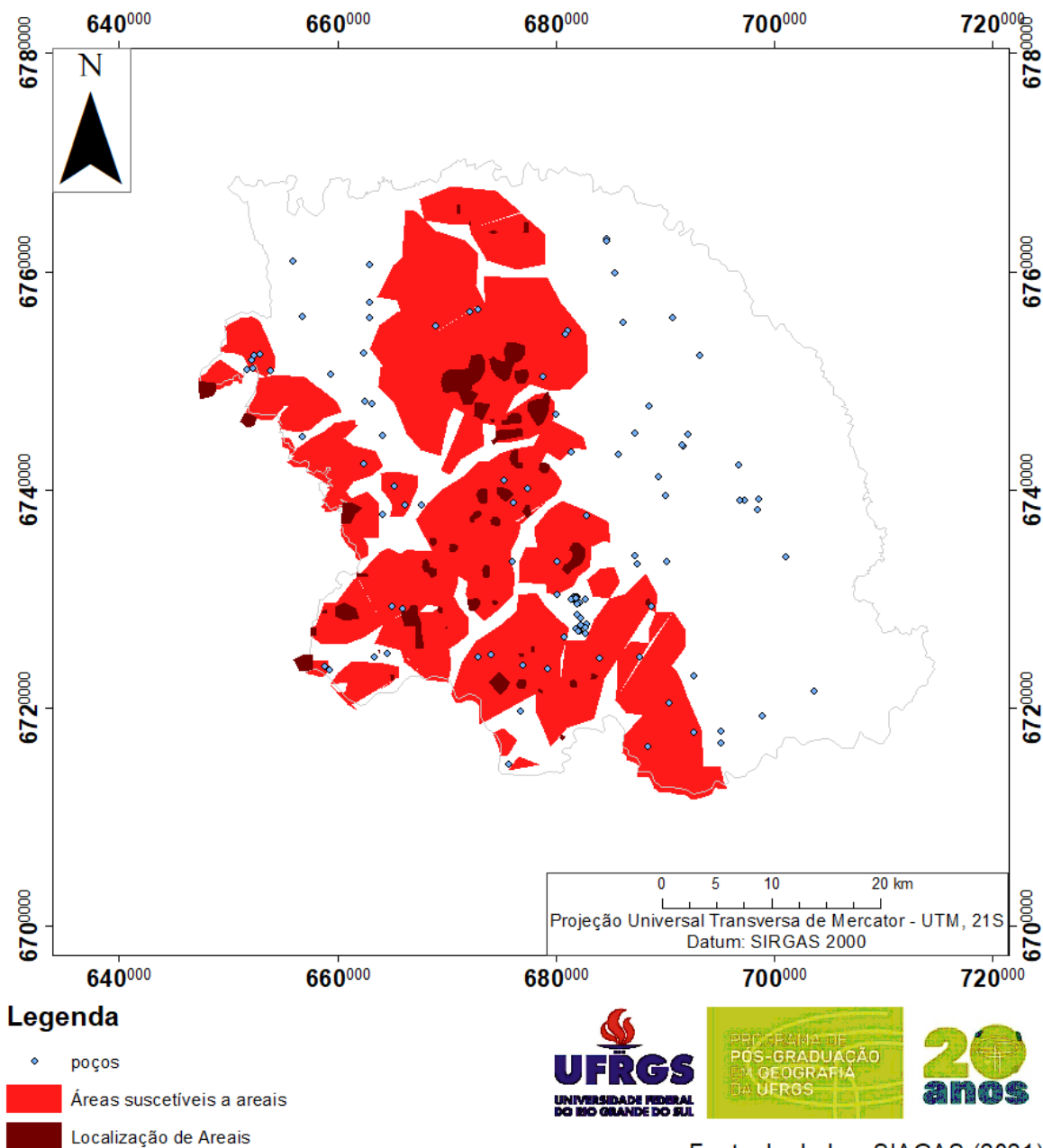
As cotas do terreno dos poços ficam em um valor médio de 200,96 m, similar àquela indicada pelo IBGE para o município, de 239,6 metros (IBGE – BDG, 2017); além de constatar que os alinhamentos localizados no município não possuem relação com os rios no município, enquanto os alinhamentos possuem direção NO-SE, os rios possuem uma direção à sul, sudoeste; em direção ao rio Ibicuí e onde se localizam as cotas mais baixas do terreno. Os poços

se encontram perfurados em todas as áreas elencadas pelo relatório da SEMA (2011) com uso subutilizado, uso adequado e risco potencial; das unidades geoambientais. Sangoi (2006) elaborou o mapa geoambiental para o arroio Inhacundá, que se localiza no município, pela análise do autor, as áreas com areais e processos de voçorocamentos estão em declividades menores que 12%, altitudes até 300 m e predominância de arenitos fluviais; se localizando em grandes propriedades, com agropecuária, com exceção dos processos que ocorrem próximos ao arroio, onde ocorre em área de várzea e mata de galeria.

Dos 29 poços cadastrados sem dados de construção e geológicos, apenas 02 estão em área urbana, os outros estão dispersos pela área rural. Em 07 poços o uso destes é doméstico, o restante não foi discriminado; destes não discriminados, a CORSAN é proprietária de 03, os outros 26 poços são de propriedade de pessoas físicas. Dos poços com dados completos (81), 27 estão na sede urbana municipal, 01 no distrito de Beluno, 02 no distrito de Boa Vista, 02 na vila Kraemer e o restante se encontra disperso pela área rural do município. Destes poços, 19 são da CORSAN, 02 da CPRM, 13 da prefeitura, 01 do INCRA, 03 da comunidade Rincão das luzes, 02 da comunidade de Encruzilhada, 01 da comunidade Picada do padre, 01 da Associação comunitária da Vila Beluno, 01 da Associação de moradores de espinilho, 01 do sindicato rural, 01 em propriedade do balneário Jacaquá, 01 da associação atlética banco do Brasil, 02 em indústrias pequenas e o restante em nome de pessoas físicas. Os poços do SIOUT, 19 estão em área urbana, 01 no distrito de Beluno, 01 na vila Kraemer e o restante esparsos ao longo de toda área. Estes poços, 18 são da CORSAN, 03 são da prefeitura, 01 da associação comunitária Cerro dos Telles, 03 de indústria (Granol indústria, comercio e exportação S/A; BC comercio de cereais, cooperativa agrícola mista General Osório LTDA.) e o restante em nome de pessoas físicas.

Por fim, alguns poços se encontram próximos a areais e processos de voçorocas, os que se encontram vizinhos são: 4300008274, 4300008297, 4300000961, 4300000966, 4300001130, 4300001131 e 4300008264. Destes, apenas um é da CORSAN, este se encontra obstruído, o restante com proprietários sendo pessoa física, com bombeamento ativo, e uso principal para abastecimento humano privado. Dos poços do SIOUT, dois se encontram próximos a areais, estes com uso para irrigação, dessedentação animal e consumo humano (Figura 42 – Localização dos poços e dos areais em São Francisco de Assis).

Figura 42 Localização dos poços e dos areais em São Francisco de Assis



Fonte de dados SIAGAS (2021)
IBGE (2019), SEMA (2011)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SEMA (2011), SIAGAS (2021) e IBGE (2019), elaboração própria (2022).

5. METODOLOGIA

5.1 MONTAGEM DA BASE DE DADOS

Para o levantamento dos dados dos poços nas regiões, se utilizou o endereço eletrônico do Serviço Geológico do Brasil, na base de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) onde possui diversos dados dos poços cadastrados, como: código do poço, proprietário, uso da água, cota, localidade, coordenadas, situação do poço, profundidade, geologia, litologia das zonas saturada e não saturada, tipo de aquífero, solos, vazão, nível dinâmico e nível estático, surgência, temperatura, turbidez, Condutividade elétrica (CE), potencial Hidrogeniônico (pH) e elementos majoritários e traço nos poços (Tabela 12 – Dados utilizados, formatos e fontes dos poços).

Tabela 12 - Dados utilizados, formatos e fontes dos poços

Item	Dado	Unidade de medida	Tipo	Disposição	Escala	Formato	Fonte
1	Código dos poço	nº de identificação	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
2	Proprietário	pessoa física ou jurídica	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
3	Uso da água	tipo de uso	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
4	Cota do terreno	metros	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
5	Localidade	endereço	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
6	Coordenadas dos poço	UTM, SIRGAS2000	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
7	Situação dos poços	bombeando, parado ou seco	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
8	Profundidade útil dos poços	metros	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
9	Formação geológica nos poços	tipo	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
10	Litologia zona saturada dos poços	tipo	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
11	Litologia zona não saturada dos poços	tipo	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
12	Tipo de aquífero nos poços	tipo	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
13	Solos nos poços	tipo	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
14	Nível dinâmico de cada poço	metros	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
15	Nível estático de cada poço	metros	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
16	Vazão após estabilização de cada poço	m ³ /h	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
17	Surgência nos poços	sim ou não	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
18	Temperatura da água nos poços	C°	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
19	Turbidez nas amostras dos poços	NTU	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
20	CE nas amostras dos poços	µs/cm	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
21	pH nas amostras dos poços	pH	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021
22	Elementos majoritários e traço nos poços	mg/L (ppm)	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIAGAS, 2021

Fonte: Elaboração própria (2022).

No endereço eletrônico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) se retirou dados vetoriais dos estados brasileiros e limites municipais com a escala de 1:50.000. No endereço eletrônico do Serviço geológico do Brasil, se encontraram os relatórios técnicos e mapas em PDF para solos, litologias, litoestratigrafia, recursos minerais, geologia, hidrogeologia, fraturas, assentamentos e malha urbana nos estados do Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul, além de dados vetoriais em escala 1:50.000. Arquivos de hidrologia e hidroestratigrafia foram obtidos através do Repositório Institucional do Serviço Geológico do Brasil (RIGEO), em escala 1:50.000; se comparou este dado com os de Machado (2005) e

IMASUL (2019), com as escalas de 1:750.000 e 1:500.000, respectivamente. Se utilizou dados de solo da EMBRAPA (2021), com escala de 1: 5.000.000; além de dados de curvas de nível do INPE (2021), com escala de 1: 250.000. E dados de uso do solo da Agência Espacial Europeia – ESA – (2020), com escala de 1: 30.000 (Tabela 13 – Dados utilizados, formatos e fontes vetoriais e imagens raster).

Tabela 13 – Dados utilizados, formatos e fontes vetoriais e imagens raster

Item	Dado	Unidade de medida	Tipo	Disposição	Escala	Formato	Fonte
23	Limites estaduais	–	vetorial	–	1:50.000	shapefile	IBGE, 2020
24	Limites municipais	–	vetorial	–	1:50.000	shapefile	IBGE, 2020
25	Litologias estaduais	–	vetorial	–	1:50.000	shapefile	CPRM, 2009
26	Solos estaduais	–	vetorial	–	1:50.000	shapefile	CPRM, 2009
		–	raster	–	1:5.000.000	tiff	EMBRAPA, 2021
27	Litoestratigrafia estaduais	–	vetorial	–	1:50.000	shapefile	CPRM, 2009
28	Hidrografias estaduais	–	vetorial	–	1:50.000	shapefile	RIGEO, 2014
29	Hidroestratigrafia estaduais	–	vetorial	–	1:50.000	shapefile	RIGEO, 2014
		–	raster	–	1:750.000	tiff	MACHADO, 2005
		–	raster	–	1:500.000	tiff	IMASUL, 2019
30	Fraturas estaduais	–	vetorial	–	1:50.000	shapefile	CPRM, 2009
31	Recursos minerais estaduais	–	vetorial	–	1:50.000	shapefile	CPRM, 2009
32	Assentamentos	–	vetorial	–	1:50.000	shapefile	CPRM, 2009
33	Malhas urbanas	–	vetorial	–	1:50.000	shapefile	CPRM, 2009
34	Curvas de nível	metros	vetorial	–	1:250.000	shapefile	INPE, 2021
35	Mapa de uso do solo	–	vetorial	–	1:30.000	shapefile	ESA, 2020

Fonte: Elaboração própria (2022).

Foram utilizados, também, dados de nascentes, agricultura e abastecimento de água, retirados dos endereços eletrônicos do Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul (SIOUT) e Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL). Bem como, foram utilizados dados do IBGE Cidades sobre agropecuária, abastecimento de água e uso de agroquímicos nos municípios. Para os dados de utilização de agroquímicos, também foram utilizados dados do Cadastro Rural (2021), Sindicato Rural de Sidrolândia (2022) e Associação Brasileira dos Produtores de Soja - Aprosoja (2022). Para a localização das fazendas nos municípios, utilizou os dados da Aprosoja (2022), Sindicato Rural de Sidrolândia (2022), Cadastro rural (2021), SEBRAE (2019) e a visualização da região através do Google Earth Pro (Tabela 14 – Dados utilizados, formatos e fontes para planilhas e índices).

Tabela 14– Dados utilizados, formatos e fontes para planilhas e índices

Item	Dado	Unidade de medida	Tipo	Disposição	Escala	Formato	Fonte
36	Localização de cacimbas e nascentes	UTM, SIRGAS2000	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	SIOUT, 2022
		UTM, SIRGAS2000	coordenada geográfica	pontos no município	–	tabela	IMASUL, 2021
37	Agropecuária nas regiões	hectares	numérico	valor geral no município	–	tabela	IBGE CIDADES, 2020
38	Uso de agroquímicos nas regiões	estabelecimentos	numérico	valor geral no município	–	tabela	IBGE CIDADES, 2020
		UTM, SIRGAS2000	coordenada geográfica	endereço no município	–	tabela	APROSOJA, 2022
		UTM, SIRGAS2000	coordenada geográfica	endereço no município	–	tabela	SIND. RURAL DE SIDROLÂNDIA, 2022
		UTM, SIRGAS2000	coordenada geográfica	endereço no município	–	tabela	CADASTRO RURAL, 2021
39	Abastecimento de água nos municípios	m ³ e unidades abastecidas	numérico	valor geral no município	–	tabela	IBGE CIDADES, 2020
40	Localização de fazendas nas regiões	UTM, SIRGAS2000	coordenada geográfica	endereço no município	–	tabela	APROSOJA, 2022
		UTM, SIRGAS2000	coordenada geográfica	endereço no município	–	tabela	SIND. RURAL DE SIDROLÂNDIA, 2022
		UTM, SIRGAS2000	coordenada geográfica	endereço no município	–	tabela	CADASTRO RURAL, 2021
		UTM, SIRGAS2000	coordenada geográfica	valor geral no município	–	tabela	SEBRAE, 2019
		UTM, SIRGAS2000	coordenada geográfica	localização no município	–	tabela	Google Earth Pro, 2021

Fonte: Elaboração própria (2022).

Para o cálculo dos índices GOD e IS, se utilizou os dados encontrados no banco de dados do SIAGAS, são eles: dados de litologia, profundidade, tipo de aquífero e uso do poço (Tabela 12 – Dados utilizados, formatos e fontes dos poços). Foram necessários os dados de recarga para as duas regiões para utilizar no cálculo do IS, estes foram retirados da literatura, a partir do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Mato Grosso do Sul (PERH – MS, 2010) e Hausman (1995). Além da localização das coordenadas dos poços no *Software* Google Earth Pro, com a visualização do ponto e seu entorno para uso do solo no poço. Também houve a necessidade do dado de topografia em percentagem, para isto se utilizou imagens do banco de dados do Topodata (INPE, 2021) (Tabela 15 – Dados utilizados, formatos e fontes para os índices).

Para a elaboração do índice POSH, foram utilizados dados encontrados em listas de empreendimentos das cidades, sendo encontrados no banco de dados Econodata (2021). Além destes dados sobre a localização dos empreendimentos, foram adicionados dados encontrados nos endereços eletrônicos da IMASUL e FEPAM. Sobre os tipos de empresas, foram reunidos dados do IBGE Cidades (2020), Serviço Brasileiro de Apoio à Micro e Pequena Empresa - SEBRAE (2019) e das prefeituras municipais. Para a elaboração do índice POSH para fontes difusas, foi delimitado o polígono da sede urbana municipal, através dos arquivos vetoriais, após, foi retirado o dado de população urbana e rede coletora de esgoto do IBGE Cidades (2020) (Tabela 15 – Dados utilizados, formatos e fontes para os índices).

Para o POSH difuso e os domínios pedomorfoagroclimáticos é necessário delimitar as áreas com atividade agropecuária, para isto, foi necessário encontrar os locais onde há criação de animais e cultivos, onde foram utilizadas diversas fontes para se encontrar os locais das fazendas e criações, foram utilizados dados da SEBRAE, APROSOJA, IMASUL, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler (FEPAM), EMBRAPA, Sindicato dos Agricultores de Sidrolândia e IBGE Cidades (Tabela 14 – Dados utilizados, formatos e fontes para planilhas e índices). A tabela dos domínios reúne dados de topografia e forma de relevo

(GOMES ET AL, 2006; PACHECO, 1956, EMBRAPA, 2011), solos (CPRM, 2009; SIAGAS 2021; EMBRAPA, 2021), principais culturas (IBGE CIDADES, 2020), precipitação média anual (IRGA, 2020) e temperatura média anual (IRGA, 2020) (Tabela 15 – Dados utilizados, formatos e fontes para os índices), além de levantar dados sobre utilização de agroquímicos nos municípios (IBGE CIDADES, 2020; CADASTRO RURAL, 2021; APROSOJA, 2022; SINDICATO RURAL DE SIDROLÂNDIA, 2022).

Tabela 15 – Dados utilizados, formatos e fontes para os índices

Item	Dado	Unidade de medida	Tipo	Disposição	Escala	Formato	Fonte
41	Valor de recarga RS	mm/ano	numérico	valor da região	–	tabela	HAUSMAN, 1995
42	Valor de recarga MS	mm/ano	numérico	valor da região	–	tabela	PERH MS, 2010
43	Localização dos empreendimentos	UTM, SIRGAS2000	coordenada geográfica	endereço no município	–	tabela	ECONODATA, 2021
		UTM, SIRGAS2000	coordenada geográfica	endereço no município	–	tabela	IMASUL, 2021
		UTM, SIRGAS2000	coordenada geográfica	endereço no município	–	tabela	FEPAM, 2021
44	Saneamento nos municípios	%	numérico	valor geral no município	–	tabela	IBGE CIDADES, 2020
45	Populações	habitantes	numérico	valor geral no município	–	tabela	IBGE CIDADES, 2020
46	Tipos de empresas	estabelecimentos	numérico	valor geral no município	–	tabela	IBGE CIDADES, 2020
		estabelecimentos	numérico	endereço no município	–	tabela	Prefeituras municipais
		estabelecimentos	numérico	valor geral no município	–	tabela	SEBRAE, 2019
47	Curvas de nível	metros	vetorial	–	1:250.000	shapefile	INPE, 2021
48	Formas de relevo nas regiões	–	raster	para a região	1:5.000.000	tabela	GOMES ET AL, 2006
		–	literatura	para a região	–	tabela	PACHECO, 1956
		–	raster	para a região	1:750.000	tabela	EMBRAPA, 2011
49	Médias climatológicas dos locais	°C	numérico	valor geral no município	–	tabela	IRGA, 2020
50	Uso do solo no poço	UTM, SIRGAS2000	coordenada geográfica	localização no município	–	tabela	Google Earth Pro, 2021
51	Precipitação	mm/mês	numérico	valor geral no município	–	tabela	IRGA, 2020

Fonte: Elaboração própria (2022).

5.1.1 Inserção e tratamento dos dados intermediários

Alguns dados intermediários foram necessários, para isto, este capítulo apresenta as etapas para a geração destes dados.

5.1.1.1 Conversão de coordenadas

Para a organização dos dados, os endereços dos empreendimentos e as fazendas/chácaras foram pesquisadas no *software* Google Earth Pro, para aquisição das coordenadas, estas estavam em grau/minuto/segundo. As coordenadas dos poços do banco de dados do SIAGAS também se encontravam em diferentes sistemas de coordenadas, por conta disto, tanto as coordenadas dos poços do SIAGAS, quanto a localização dos empreendimentos e fazendas foram convertidas. A uniformização das coordenadas foi feita utilizando o aplicativo *online* Calculadora Geográfica da Divisão de Processamento de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DPI – INPE), para converter todos os pontos para o sistema UTM datum

SIRGAS 2000, estas coordenadas foram adicionadas aos demais dados retirados dos poços, dos empreendimentos e fazendas, e inseridos em tabela do *software* Office Excel (Tabela 16 – Dados com necessidade de conversão).

Tabela 16 – Dados com necessidade de conversão

Dado	tipo de entrada do dado	Formato da entrada	tipo de saída do dado	Formato da saída
Coordenadas dos poço	pontos no município	wgs84 ou lat/long	coordenada geográfica	UTM, SIRGAS2000
Localização dos empreendimentos	endereço no município	cep e nº	coordenada geográfica	UTM, SIRGAS2000
	endereço no município	cep e nº	coordenada geográfica	UTM, SIRGAS2000
Localização de cacimbas e nascentes	pontos no município	nome da localidade e sítio	coordenada geográfica	UTM, SIRGAS2000
	pontos no município	nome da localidade e sítio	coordenada geográfica	UTM, SIRGAS2000
Uso de agroquímicos nas regiões	endereço no município	nome do sítio/chácara/fazenda	coordenada geográfica	UTM, SIRGAS2000
	endereço no município	nome do sítio/chácara/fazenda	coordenada geográfica	UTM, SIRGAS2000
	endereço no município	nome do sítio/chácara/fazenda	coordenada geográfica	UTM, SIRGAS2000
Localização de fazendas nas regiões	endereço no município	nome do sítio/chácara/fazenda	coordenada geográfica	UTM, SIRGAS2000
	endereço no município	nome do sítio/chácara/fazenda	coordenada geográfica	UTM, SIRGAS2000
	endereço no município	nome do sítio/chácara/fazenda	coordenada geográfica	UTM, SIRGAS2000
	valor geral no município	nome do sítio/chácara/fazenda	coordenada geográfica	UTM, SIRGAS2000
	localização no município	lat/long	coordenada geográfica	UTM, SIRGAS2000

Fonte: Elaboração própria (2022).

5.1.1.2 Dados de topografia

Para o cálculo do IS, é necessário o dado de topografia de cada município, este valor deve se encontrar em percentual para cada coordenada dos poços nos municípios. Para isto se utilizou imagens do banco de dados do Topodata (INPE, 2021), este é um banco de dados elaborado a partir de imagens SRTM. Foram selecionados dados de altitude para os dois municípios, estes foram inseridos no *software* ArcGis 10, onde foi elaborado o mapa das curvas de nível com os valores das curvas em percentual, com isto, se adiciona as coordenadas dos poços ao mapa, e em cada ponto de poço, se encontra a declividade no ponto, este dado é adicionado à tabela do dado de topografia.

5.1.1.3 Dados do mapa de uso do solo

Para a comparação entre os empreendimentos e o uso do solo, foi utilizado o mapa de uso do solo da Estação Espacial Europeia - *European Space Agency* – ESA. Este mapa de uso do solo foi elaborado a partir de imagens Sentinel-2, com resolução de 10 m para toda a cobertura terrestre; na plataforma onde se encontra o mapa *online*, possui a opção de *download* de áreas selecionadas do mapa, foram selecionadas as áreas municipais, adquiridas e

adicionadas ao ArcGis 10 para visualizar o uso do solo nos municípios (ESA, 2020) e para cada poço.

5.1.2 Organização dos dados para os cálculos dos índices

Os dados utilizados para o cálculo do índice GOD foram utilizados a partir da planilha com dados dos poços e a inserção dos resultados em ambiente SIG foi realizada após o cálculo e conversão das coordenadas. Para o cálculo do IS, litologia, solos e recarga são dados utilizados a partir de planilhas. O dado de topografia foi exportado em formato tabular, a partir dos dados vetoriais, e inseridos na planilha com os demais dados. Por fim, o uso do solo é encontrado a partir da visualização do ponto onde se localiza o poço e o seu entorno, no *software* Google Earth Pro, e a relação do uso da água do poço no local.

Já o índice POSH para fontes pontuais de contaminação, se utilizou os dados de planilha do levantamento dos empreendimentos; para a comparação entre os empreendimentos e o uso do solo, foi utilizado o mapa de uso do solo da ESA.

Para a elaboração das fontes difusas do índice POSH, foi utilizado dados vetoriais e tabulares, primeiro se delimitou o polígono da área urbana e se calculou a área deste. Depois, se calculou a densidade demográfica na sede urbana municipal [densidade = habitantes/área], a relação entre este valor e o percentual da rede coletora de esgoto foi disposto em uma tabela. Também se organizou os dados de agropecuária para a classificação do POSH difuso e domínios pedomorfoagroclimáticos, a partir dos dados coletados de fazendas e sítios, de localização e o tipo de agropecuária, estes foram organizados em planilha e, após, vetorizados, para a delimitação das áreas.

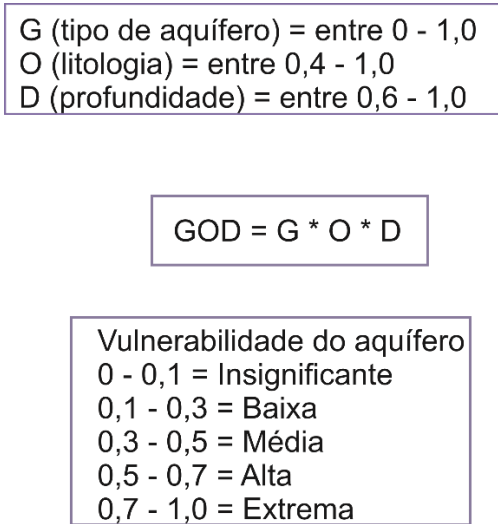
5.2 CÁLCULO DOS ÍNDICES

Para o município de Sidrolândia foram utilizados os 26 poços com dados completos, enquanto, São Francisco de Assis, foram utilizados os 81 poços com dados completos, estes foram utilizados para o cálculo dos índices GOD e IS. Para o POSH, foram encontrados dados de 278 empreendimentos em Sidrolândia e 266 empreendimentos em São Francisco de Assis.

5.2.1 Índice GOD

O método utilizado avalia a vulnerabilidade intrínseca do aquífero, ele foi elaborado por Foster *et al* (2006), como pode ser visto no item 2 - fundamentação teórica, 2.4 - índices de vulnerabilidade e análise de risco de contaminação, 2.4.1 - índice GOD. O índice foi calculado para cada poço, em formato tabela no *software* Office Excel, onde cada um dos três parâmetros utilizados recebe uma pontuação específica – cada uma variando entre 0 e 1 - e, após, as três pontuações são multiplicadas, gerando um valor final que pode variar de 0 a 1 (Figura 43 – expressão GOD).

Figura 43 - Expressão GOD



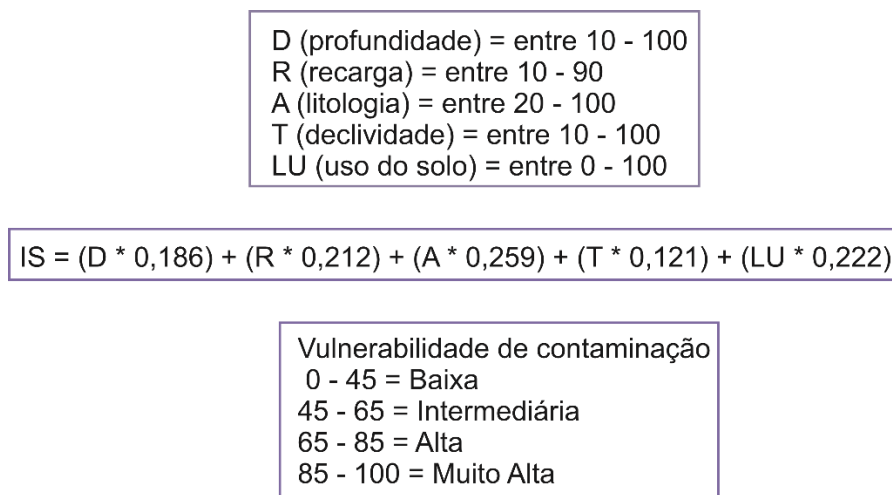
Fonte: Elaboração própria (2022).

5.2.2 Índice de Susceptibilidade

Este método analisa o risco de contaminação e foi desenvolvido por Ribeiro (2005), como pode ser visto no subitem 2.4.2 – Índice IS da fundamentação teórica. O índice foi elaborado no *software* Office Excel e utiliza cinco parâmetros; três deles, profundidade, recarga e litologia, são dados retirados de tabelas; enquanto o dado de declividade é oriundo de dado vetorial, através do mapa das curvas de nível; e o uso do solo na área do poço foi retirado da tabela sobre uso da água, bem como, foi visualizado a localização do poço no mapa do Google Earth Pro para averiguar o entorno da área do poço. Cada parâmetro recebe uma pontuação conforme o seu tipo, onde cada um pode variar entre 0 e 100. Após a pontuação, cada parâmetro

pontuado é multiplicado por um peso específico e, após, os cinco valores são somados, seu valor final pode ficar em torno de 0 a 100 [Figura 44 – Expressão IS].

Figura 44 – Expressão IS

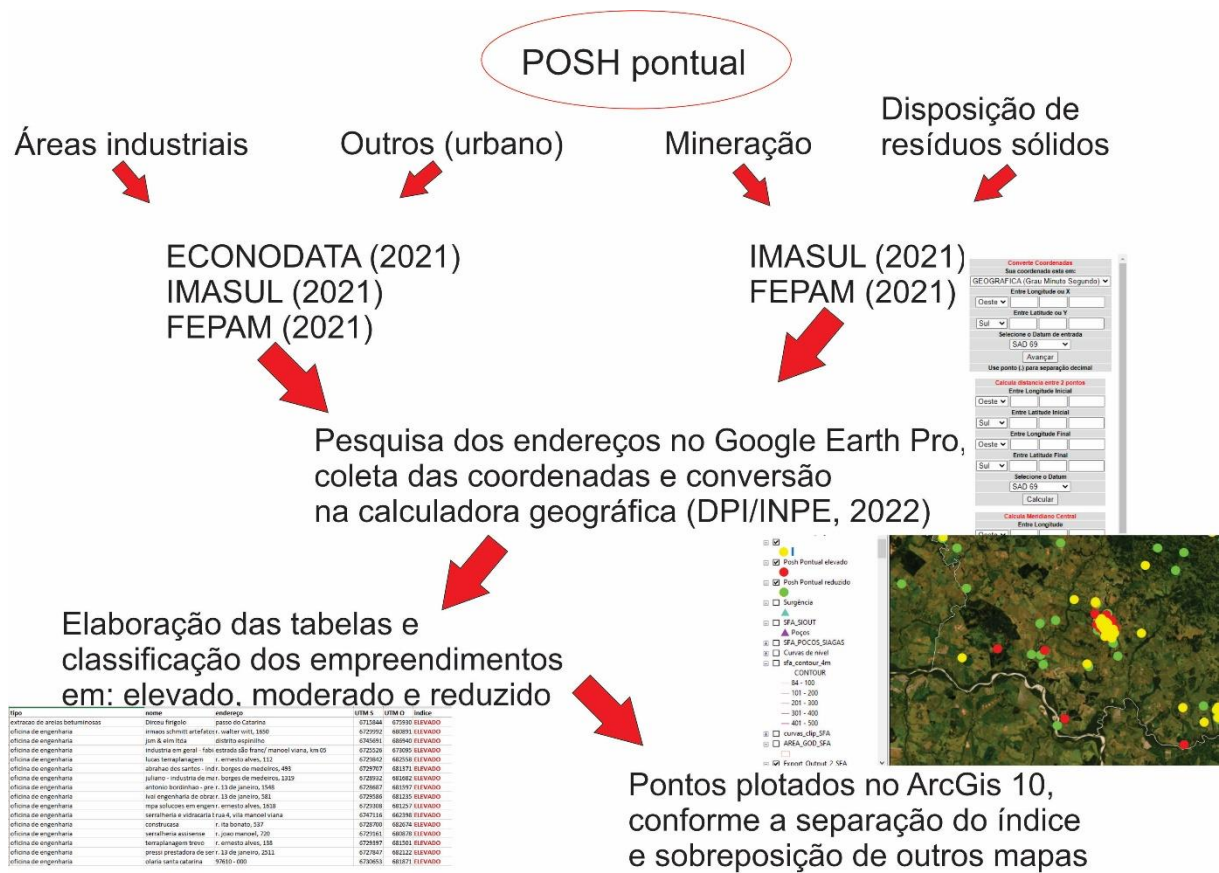


Fonte: Elaboração própria (2022).

5.2.3 Índice POSH

Elaborado a partir do trabalho proposto por Foster *et al* (2002) e Foster *et al* (2006), onde são indicadas fontes de contaminação da água subterrânea e seu respectivo potencial poluidor (como pode ser visto na fundamentação teórica, subitem 2.4.3). Para a confecção, os empreendimentos organizados na tabela foram classificados conforme seu potencial poluidor, esta classificação considera o tipo de indústria e o tipo de resíduo gerado. As indústrias tipo 3 são classificados com potencial elevado de contaminação, as indústrias tipo 2 com potencial moderado e as indústrias tipo 1 com potencial reduzido de contaminação da água subterrânea. Quanto as atividades minerárias, exploração de petróleo e metais são classificadas com potencial elevado de contaminação e de materiais inertes com potencial moderado. Sobre as atividades urbanas diversas, os cemitérios possuem potencial poluidor reduzido, postos de gasolina e rodovias com tráfego de perigosos com potencial moderado e oficinas mecânicas com potencial poluidor elevado de contaminação da água subterrânea. Cada empreendimento foi classificado conforme estes parâmetros, visualizado na tabela de Foster *et al* (2006), sendo o resultado gerado em formato tabular e expressado em mapas para melhor visualização (Figura 45 – Esquema metodologia POSH pontual).

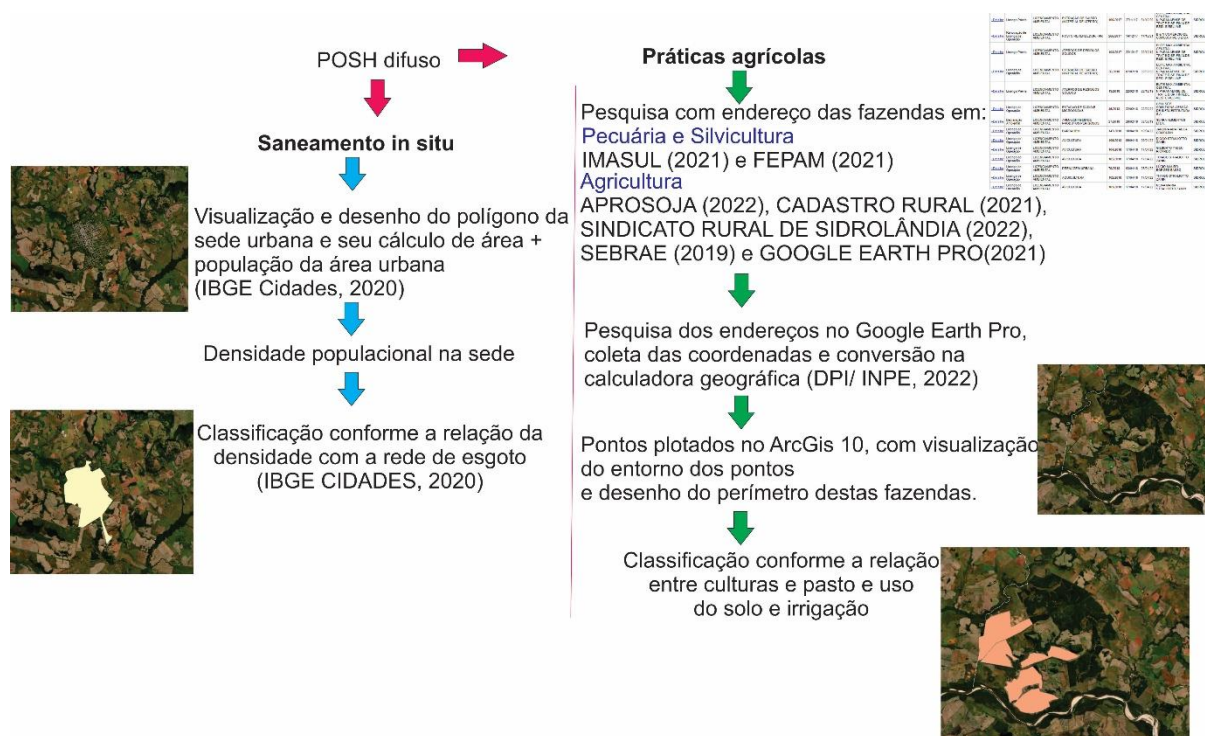
Figura 45 – Esquema metodologia POSH pontual



Fonte: Elaboração própria (2022).

Para a determinação da classe do índice POSH para fontes difusas, o saneamento in situ foi determinado para a sede urbana, relacionando a densidade populacional e a cobertura da rede coletora de esgoto, conforme definido por Foster *et al* (2006). A classe do saneamento foi encontrada a partir da relação do dado vetorial, área da sede urbana calculada no *software* ArcGIS 10, com dados tabulares, de população e saneamento. Para áreas de agropecuária, se indicou o tipo de cultura, pecuária e tipo de solo (se este é bem drenado ou não), e a partir do proposto por Foster *et al* (2006) se relacionou cada ponto encontrado com atividade agropecuária nas classes do índice, para, após, inserir no ambiente SIG; este dado foi encontrado em forma tabular e inserido no SIG para melhor visualização (Figura 46 – Esquema metodologia POSH difuso).

Figura 46 – Esquema metodologia POSH difuso



Fonte: Elaboração própria (2022).

5.2.4 Domínios Pedomorfoagroclimáticos

Gomes *et al* (2008) propôs a criação dos Domínios pedomorfoagroclimáticos, com a relação de dados climáticos, geográficos, biológicos e agropecuários (conforme pode ser visto na fundamentação teórica, item 2.4.4); com isto, o autor delimitou estes domínios para algumas áreas do país, e este método foi tratado aqui, a partir de trabalhos do mesmo autor. Os dados foram reunidos e organizados conforme o trabalho elaborado por Gomes *et al* (2008), onde elaboraram uma tabela para cada município com os dados topográficos, solos, principais culturas, precipitações médias anuais e temperaturas médias anuais. Estas tabelas foram comparadas ao trabalho de Gomes *et al* (2008).

Após esta etapa, é utilizada a Figura 08 de caracterização dos Domínios pedomorfoagroclimáticos para comparar os tipos de agricultura, para isto, foram utilizadas as áreas que foram delimitadas no POSH difuso para a agropecuária, em formato vetorial, e elas foram separadas conforme os tipos de culturas anuais, pastagens e culturas perenes. A partir da análise do uso de agroquímicos encontrados nos municípios e o manejo de solo, são separadas nas classes, conforme o trabalho de Gomes *et al* (2008).

5.3 GERAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS

Os dados que já se encontravam vetorizados foram adicionados ao ambiente SIG para confecção dos mapas. Com estes dados no ambiente de geoprocessamento, foi organizado o *datum*, sistema de coordenadas e elaborado o recorte dos dados vetoriais para as áreas municipais; todas as etapas para a espacialização de dados foram realizadas com o aplicativo ArcGis 10. Após, foram agregados os dados das tabelas e associados aos dados vetoriais. Com isto, foram elaborados os mapas encontrados nos capítulos: descrição das áreas de estudo e características e descrições dos poços.

5.3.1 Índice GOD

Para analisar a distribuição espacial do índice GOD, os dados pontuais foram interpolados utilizando o método IDW. Os dados de entrada foram: as coordenadas dos poços, parâmetro tipo de aquífero, parâmetro litologia e parâmetro profundidade, gerando os mapas intermediários de parâmetro G, parâmetro O e parâmetro D. Depois se utilizou os dados de entrada: coordenadas dos poços e valor total, para a geração do mapa índice GOD.

As áreas foram calculadas a partir da geração de um mapa de classes e, com este, foi calculado a área de cada uma das classes. Os resultados tanto das áreas como o posicionamento das classes foram comparados com os dados que já estão inseridos na base de dados a partir de análise visual.

5.3.2 Índice de Susceptibilidade

Para analisar a distribuição espacial do índice IS, os dados pontuais foram interpolados utilizando o método IDW. Para a confecção dos mapas dos parâmetros, foram utilizados os dados de entrada: coordenadas dos poços, profundidade, recarga, litologia, topografia e uso do solo; gerando os mapas intermediários de parâmetro D, parâmetro R, parâmetro A, parâmetro T e parâmetro LU. Depois se utilizou os dados de entrada: coordenadas dos poços e valor do IS, para a geração do mapa índice IS.

Este mapa contínuo foi fatiado em classes, estas foram estipuladas conforme as separações das classes do índice; após, as classes foram calculadas para se delimitar a área de cada classe. Os resultados foram comparados com outros dados da base de dados a partir de análise visual.

5.3.3 Índice POSH

Para o índice POSH, os dados tabulares foram adicionados ao *software* ArcGis 10, com isto, os empreendimentos foram inseridos como pontos ao SIG. Após, se inseriu os dados vetoriais de uso do solo, para averiguar a relação entre empreendimentos e o uso do solo. O mesmo foi feito para fontes difusas de contaminação, onde as fazendas foram importadas como pontos, além da inserção do *basemap*, disponível no aplicativo. Se visualizou e delimitou o polígono das áreas de interesse, que são a sede urbana e fazendas com culturas e criações, além da respectiva classificação.

5.3.4 Domínios Pedomorfoagroclicmáticos

A representação visual foi realizada conforme o elaborado para o POSH difuso, a partir dos polígonos determinados para as fazendas e chácaras com dados de agropecuária e agrotóxicos, a classificação foi realizada a partir dos critérios de Gomes *et al* (2008). A identificação foi elaborada a partir de análise visual, através do *basemap*, disponível no SIG, onde se identificou, também, áreas que não possuem dados completos na classificação do POSH difuso, como aquelas áreas onde há agricultura mas não se tem os dados quanto ao uso de agrotóxico, assim como, não se tem o dado exato sobre o tipo de cultura. Também a sede municipal, pequenos perímetros urbanos, localidades e chácaras isoladas, estas foram delimitadas conforme polígono visualizado. Nas áreas com falta de dados sobre uso de químicos, foi considerado como baixa utilização de defensivos agrícolas e solo bem manejado; diferente das áreas onde há dados.

6 RESULTADOS

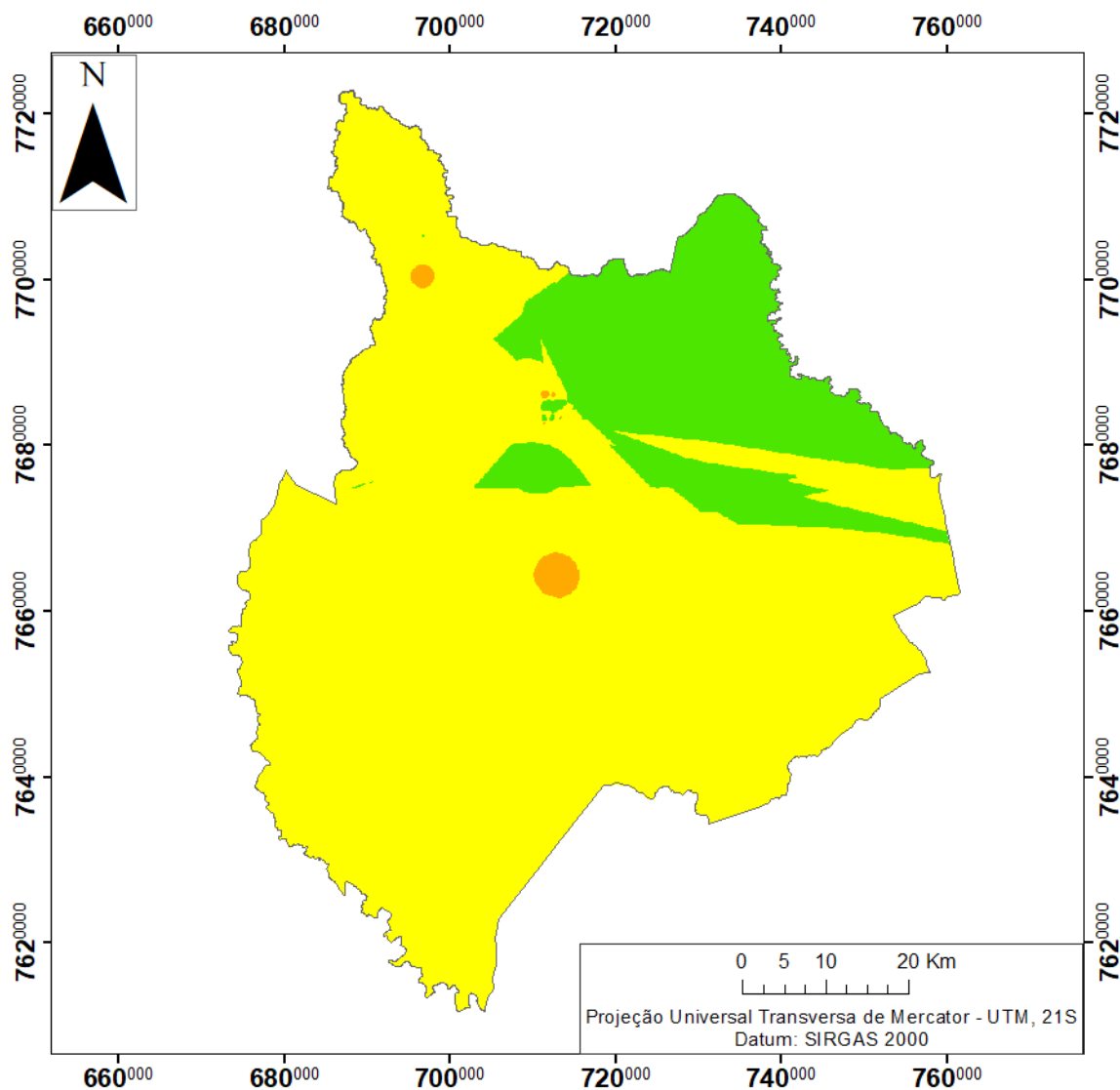
6.1 SIDROLÂNDIA

O município possui 113 poços perfurados, porém, apenas 26 destes poços possuem dados construtivos e geológicos. Estes poços com dados completos se encontram, em maioria, na sede urbana, a seguir os dados relativos aos índices foram elaborados com base nestes poços com dados completos.

6.1.1 Índice GOD

Os valores do Índice GOD apresentaram variação espacial, sendo observadas quatro classes: insignificante, baixa, média e alta (Figura 47 – Índice GOD em Sidrolândia e Figura 48 – Valores de GOD nos poços em Sidrolândia). A classe média ocorre em 80,3% do território, a classe baixa ocorre em 19,11% da área, a classe alta ocorre em 0,58% e a insignificante em 0,008% do território.

Figura 47 – Índice GOD em Sidrolândia



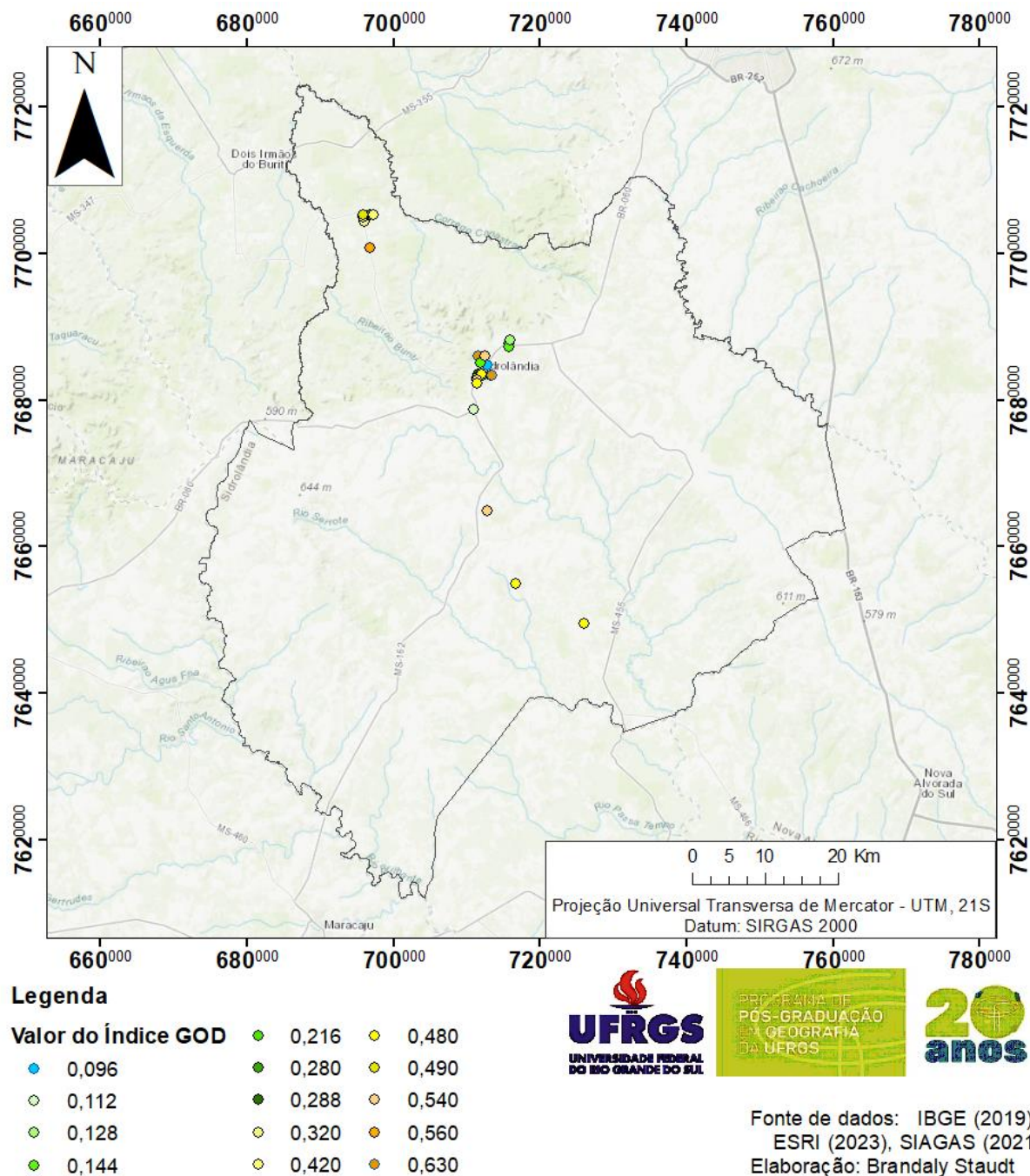
- Legenda**
- Insignificante
 - Baixa
 - Média
 - Alta
 - Extrema



Fonte de dados: IBGE (2019),
SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2021).

Figura 48 – Valores de GOD dos poços em Sidrolândia



Legenda: O valor em azul designa a classe insignificante, os tons de verde a classe baixa e os tons em amarelo a classe média e os tons em laranja a classe alta. Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021) e IBGE (2019), elaboração própria (2022).

Quando são avaliados apenas os poços com dados, em apenas um foi observada a classe insignificante, em 11 a classe baixa e 07 em ambas classes, média e alta. Quanto a distribuição espacial, verificou-se que os poços com classe de vulnerabilidade média encontram-se dispersos e os poços das classes baixas e altas estão concentrados (Tabela 17 – Valores do índice GOD nos poços em Sidrolândia).

Tabela 17 - Valores do índice GOD nos poços em Sidrolândia

codigo	G	O	D	GOD	Classe
3500022649	1	0.6	0.8	0.48	media
3500022804	1	0.7	0.8	0.56	alta
3500022805	1	0.4	0.8	0.32	media
3500022806	1	0.4	0.7	0.28	baixa
3500022807	1	0.6	0.9	0.54	alta
3500022808	0.6	0.6	0.8	0.288	baixa
3500022809	0.6	0.6	0.8	0.288	baixa
3500022810	1	0.7	0.9	0.63	alta
3500022811	0.6	0.6	0.6	0.216	baixa
3500022812	0.4	0.4	0.6	0.096	insignificante
3500022813	0.4	0.6	0.6	0.144	baixa
3500022814	0.4	0.6	0.6	0.144	baixa
3500022815	0.4	0.6	0.6	0.144	baixa
3500022816	0.4	0.6	0.6	0.144	baixa
3500023045	0.4	0.6	0.6	0.144	baixa
3500026915	0.4	0.4	0.7	0.112	baixa
3500027194	1	0.6	0.9	0.54	alta
3500027195	1	0.7	0.9	0.63	alta
3500027219	1	0.6	0.7	0.42	media
3500027225	1	0.6	0.8	0.48	media
3500027247	1	0.6	0.8	0.48	media
3500027274	1	0.6	0.7	0.42	alta
3500027283	1	0.6	0.9	0.54	alta
3500027317	1	0.6	0.8	0.48	media
3500045669	0.4	0.4	0.8	0.128	baixa
3500045691	1	0.7	0.7	0.49	media

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

A classe insignificante está localizada na sede urbana, poço com litologia de zona saturada de arenito e não saturada de argilito, com solo argiloso e hidroestratigrafia do aquífero Serra Geral, com profundidade do nível estático de 68,5 m e vazão do poço de 16,5 m³/h, com seu uso para consumo urbano.

A classe baixa está localizada em área de distritos, na sede urbana e área rural mais afastada. Com profundidade variando de 10 a 138,9 m e vazão do poço variando de 9 a 200 m³/h; com solo argiloso, arenoso, argila e argilo-siltoso. Litologia da zona vadosa de arenito e basalto e litologia de zona não vadosa em maioria de basalto. Hidroestratigrafia pertencendo ao SASG; com usos para abastecimento industrial, urbano privado e um urbano público.

A classe média ocorre em área distrital e sede urbana. Com poços de profundidade variando entre 7 e 31 m e vazão de 4,5 a 25 m³/h, estando em unidade hidroestratigrafica de SASG e SAB. Solos arenosos e argilosos, com litologia das zonas saturada de arenito e basalto e não saturada com maioria de basalto. Com usos para abastecimento urbano e industrial.

A classe alta ocorre em área urbana e distrital, com poços cujas profundidades são bem variantes, entre 2,5 a 29,5 m e vazão entre 2,8 a 52,8 m³/h; litologia da zona vadosa de arenito e basalto e zona não vadosa com arenito e basalto. Na hidroestratigrafia estão inseridos no SASG e SAB, possuindo solo bem variado, com argiloso, argilo-siltoso e arenoso. Com uso predominante de abastecimento urbano público, também com abastecimento urbano privado e industrial (tabela 18, tabela dos poços e o índice GOD em Sidrolândia).

Na área urbana prevaleceu a classe baixa, com 06 poços relacionados à sede municipal e outros 05 na área rural, relacionados aos distritos; a classe média possui 02 poços em área urbana e 04 em área distrital, neste sentido, a área urbana também concentrou a maioria dos poços com a classe alta, enquanto apenas 01 se encontra em distrito.

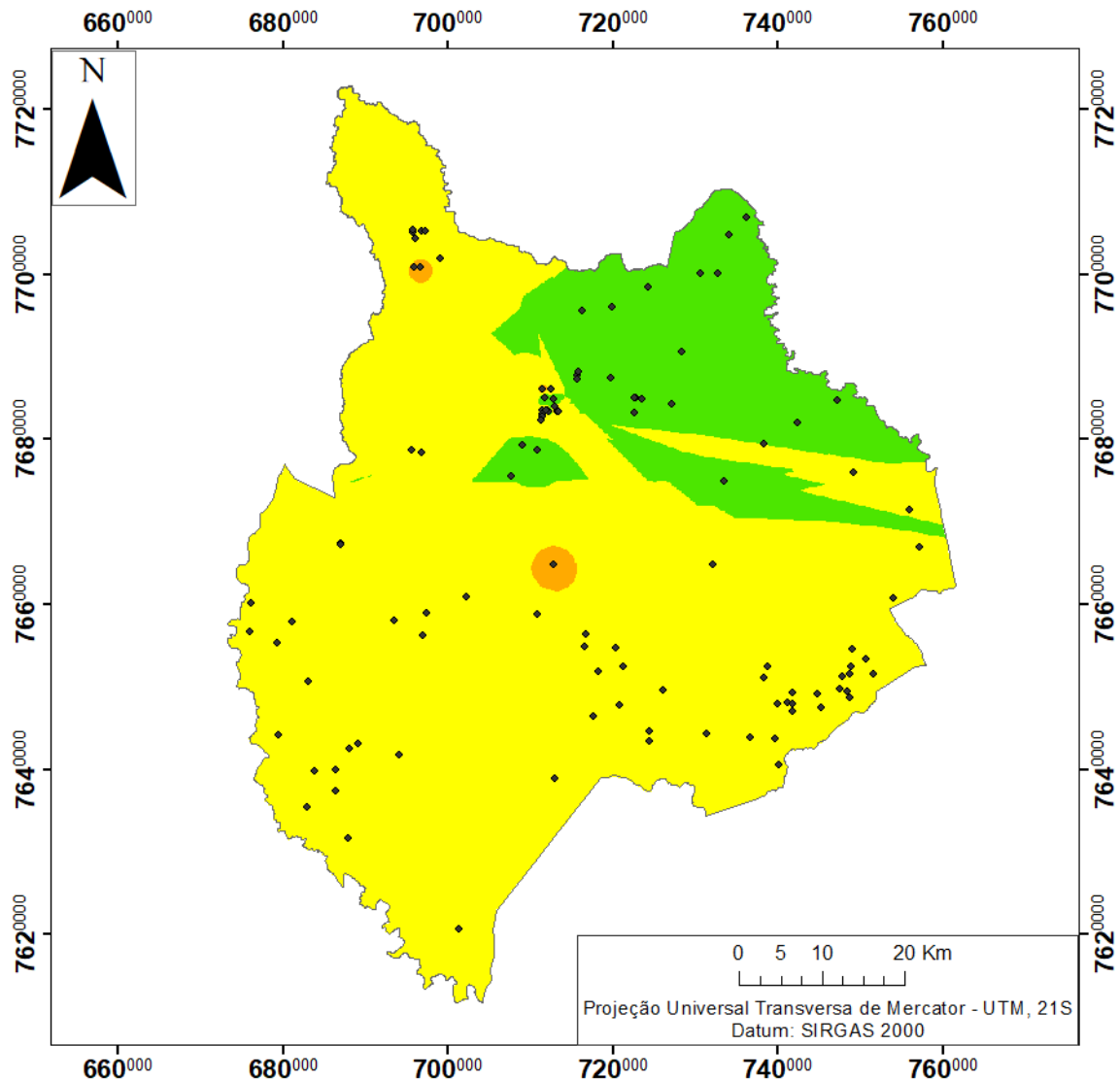
Da localização dos poços, tanto os com dados construtivos quanto os sem dados completos, 01 se encontra na classe insignificante, 28 na classe baixa, 75 na classe média e 07 na classe alta (Figura 49 – Localização dos poços e o índice GOD em Sidrolândia).

Tabela 18 – Tabela dos poços e o Índice GOD em Sidrolândia

GOD	Quantidade	Localização	Litologia zona saturada	Litologia zona não sat	Solo	Hidroestratigrafia	NE (m)	Vazão do poço (m ³ /h)	Abastecimento
Insignificante	1	01 área urbana	arenito	argilito	argiloso	SASG	68,5	16,5	urbano
Baixa	11	04 distritos, 01 rural, 06 área urbana	09 arenito e 02 basalto	10 basalto, 01 solo, 01 argilito	01 arenoso, 06 argiloso, 02 argila, 02 argilo-siltoso	SASG	10 a 138,9	9 a 200	urbano 01 público, 08 privado e 02 industrial
Média	7	06 distritos e 01 área urbana	04 arenito e 03 basalto	05 basalto, 01 solo, 01 arenito	02 arenoso e 05 argiloso	05 SASG e 02 SAB	7 a 31	4,5 a 25	06 urbano público e 01 industrial
Alta	7	06 área urbana e 01 distritos	04 arenito e 03 basalto	03 arenito e 04 basalto	05 argiloso, 01 argilo-siltoso e 01 arenoso	06 SASG e 01 SAB	2,5 a 29,5	2,8 a 52,8	05 urbano público, 01 privado e 01 industrial

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Figura 49 Localização dos poços e o índice GOD em Sidrolândia



Legenda

• Localização dos poços

GOD

- Insignificante
- Baixa
- Média
- Alta
- Extrema



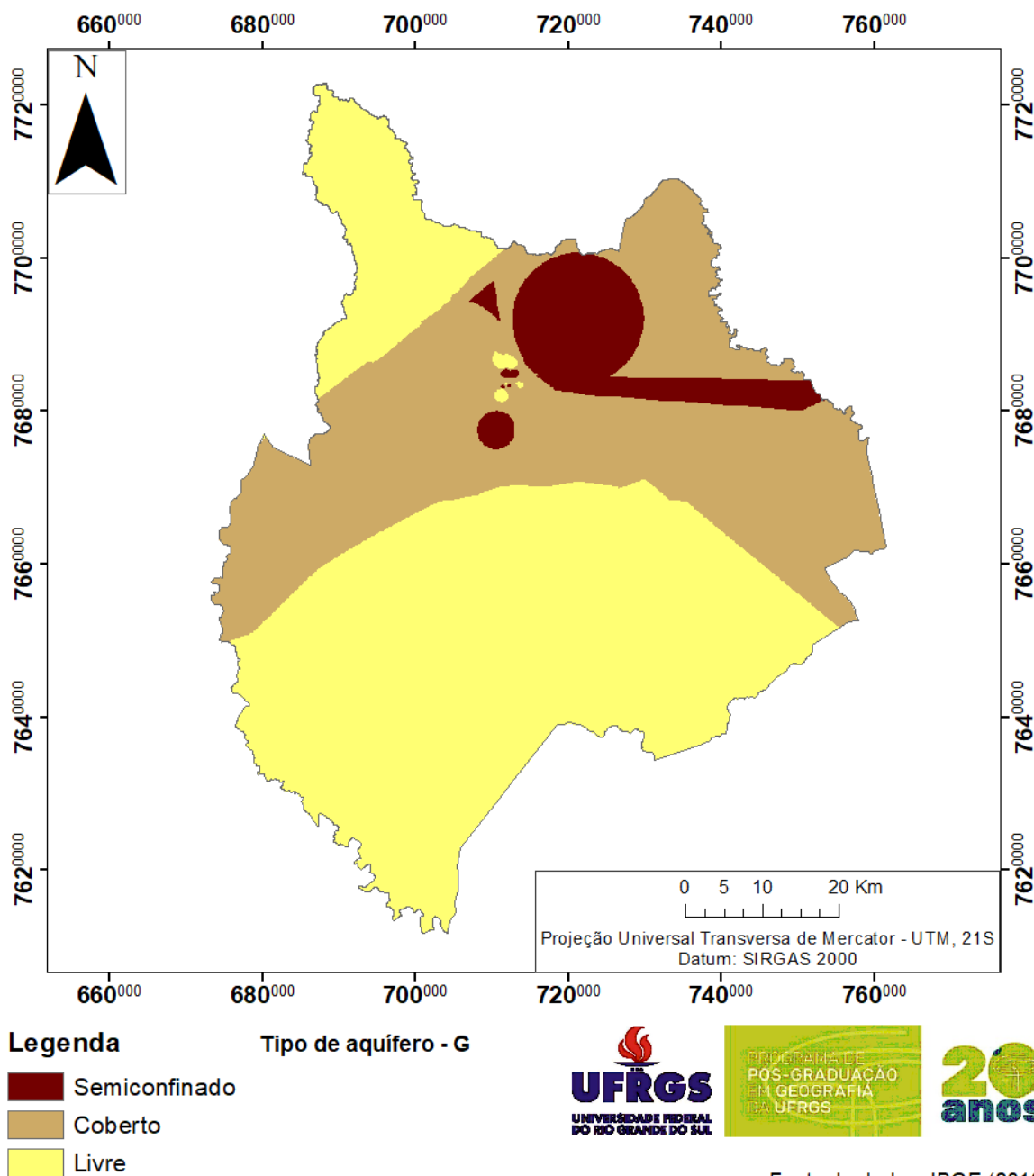
Fonte de dados: IBGE (2019),
SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021) e IBGE (2019), elaboração própria (2022).

Sobre os parâmetros para determinação do GOD, o parâmetro G (tipo de ocorrência da água subterrânea) se encontra em maioria no SASG, com valores dos parâmetros variando de 0,4 a 1 (Figura 50 -Parâmetro G, do município de Sidrolândia), com base na relação entre a profundidade do nível da água, a litologia da camada aquífera e não aquífera. No SAB ocorrem três poços categorizados como não confinado (parâmetro 1,0). Dos 08 poços semiconfinados (parâmetro 0,4), um possui índice GOD insignificante e os demais baixa, estando metade na

área urbana, com uso em abastecimento urbano público e privado e poços em área de agroindústria. Dos 03 poços não confinados (cobertos) (parâmetro 0,6), todos estão em área urbana, com índice GOD baixo e uso em abastecimento urbano privado e uso industrial. Os poços mais dispersos na área são os 15 poços classificados como não confinados, eles possuem diferentes índices de GOD, como baixo, médio e alto; possuindo usos em abastecimento urbano público e agroindustrial, estando em área rural e área urbana (Tabela 19 – Dados do Parâmetro G, do município de Sidrolândia).

Figura 50 – Parâmetro G, do município de Sidrolândia



Fonte de dados: IBGE (2019),
SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

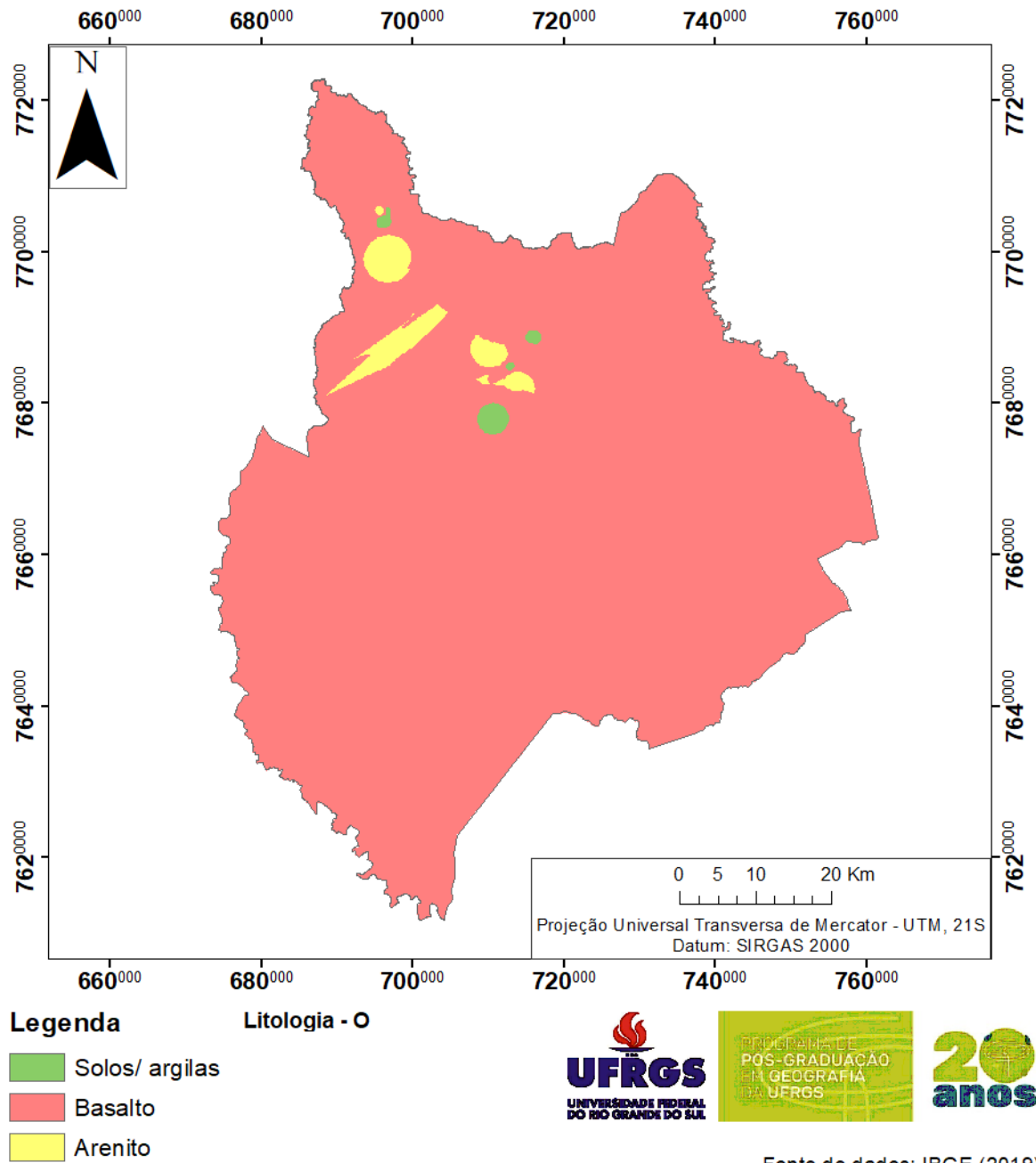
Tabela 19 - Dados do Parâmetro G, do município de Sidrolândia

Parâmetro G	GOD	Localização	Uso
Semiconfinados	01 Insignificante	04 área urbana	04 urbano público e privado
	07 Baixos	04 distritos	04 industrial
Cobertos	03 Baixos	03 área urbana	01 industrial
			02 urbano privado
Não confinados	01 Baixo	07 área urbana	13 urbano público
	07 Médio	08 área rural e distritos	02 industrial
	07 Alto		

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

O parâmetro O (litologia da zona não saturada) variou de 0,4 a 0,6 no parâmetro, com 05 poços com solos residuais, 17 com rochas de siltitos, vulcânicas e metamórficas e 04 com arenitos (Figura 51 – Parâmetro O, do município de Sidrolândia). Os três poços cadastrados no SAB, estão com cobertura de siltito ou vulcânica, o restante se encontra no SASG. Dos poços com solos residuais (parâmetro 0,4), um possui índice GOD médio, um insignificante e os demais baixa, estando em área urbana, com uso em abastecimento urbano público, privado e industrial. Os poços com vulcânicas (parâmetro 0,6) possuem índice GOD baixo, médio e alto, estando em área de lavoura e em indústrias / agroindústria, com uso da água para abastecimento urbano público, privado e industrial. Quanto aos poços com arenitos (parâmetro 0,7), o GOD variou entre médio e alto, servindo para abastecimento urbano público e agroindustrial (Tabela 20 – Dados do Parâmetro O, do município de Sidrolândia).

Figura 51 Parâmetro O, do município de Sidrolândia



Fonte de dados: IBGE (2019),
SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

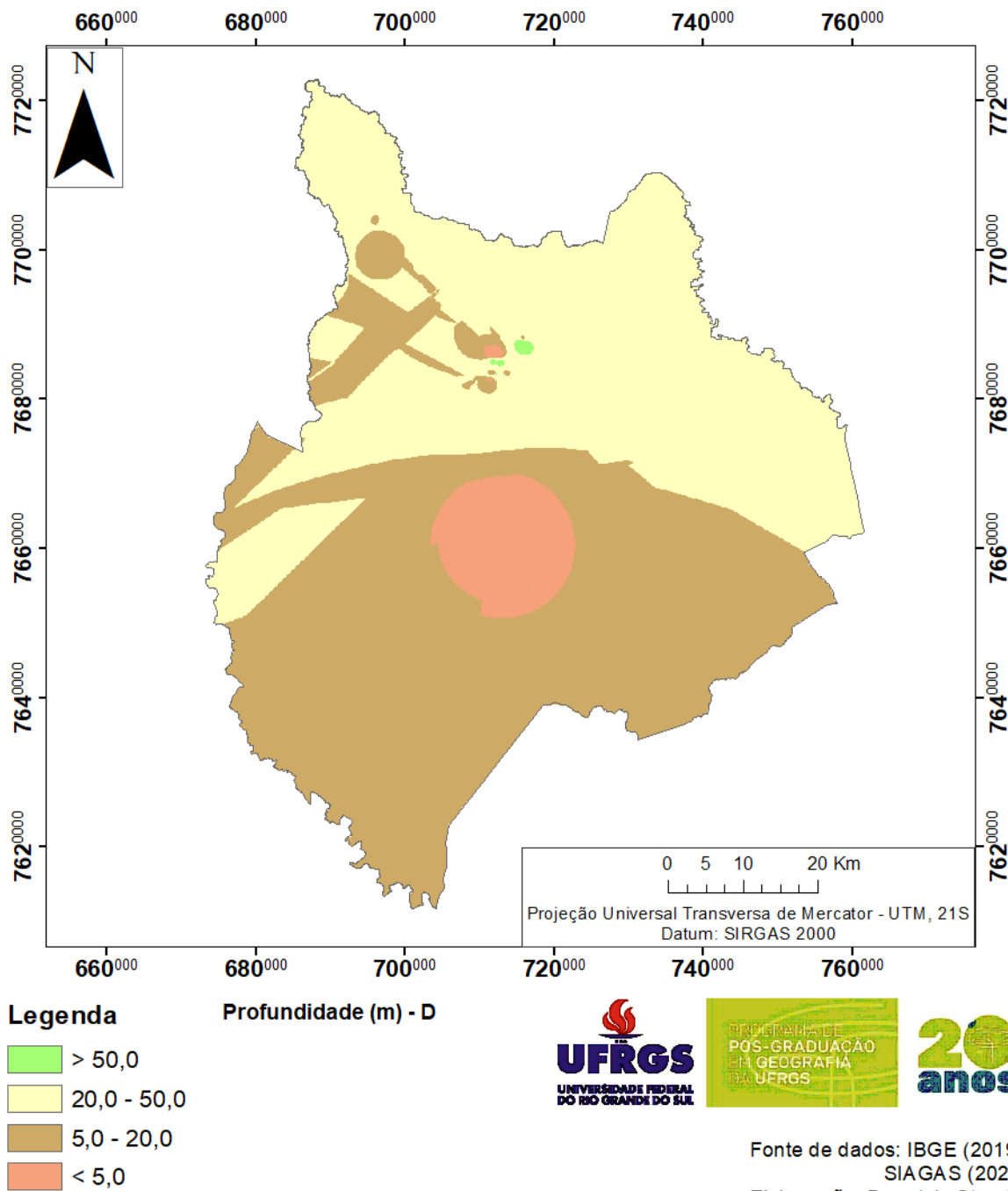
Tabela 20 Dados do Parâmetro O, do município de Sidrolândia

Parâmetro O	GOD	Localização	Uso
solos	01 Insignificante	04 distritos	03 urbano público e privado
	03 Baixo	01 área urbana	02 industrial
	01 Médio		
silícios, vulcânicas e metamórfica	08 Baixo	01 área rural	12 urbano público e privado
	05 Médio	10 área urbana	05 industrial
	04 Alto	06 distritos	
arenitos	01 Médio	01 área urbana	02 urbano público 01 privado
	03 Alto	03 distritos	01 industrial

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

O parâmetro D (profundidade até o topo do aquífero) variou entre os índices 0,6 a 0,9 (Figura 52 – Parâmetro D, do município de Sidrolândia). Dos três poços cadastrados no SAB, um deles possui profundidade menor que 5 metros de profundidade e o restante entre 20 a 50 metros, o restante dos poços se encontra no SASG. São 07 poços com profundidade maior que 50 metros (parâmetro 0,6); possuindo índice GOD insignificante e baixo, estando a maioria em área urbana e utilizado para abastecimento urbano e industrial. Dos 05 poços com profundidade entre 20 e 50 metros (parâmetro 0,7), possuem índice GOD baixa, média e alta; com localização no distrito de Quebra Coco e área urbana, para uso em indústria e abastecimento urbano público. As profundidades entre 05 e 20 metros (parâmetro 0,8) possuem 09 poços; com índice GOD baixo, médio e alto, localizados em área urbana e rural, com usos em abastecimento agroindustrial e urbano. Por fim, 05 poços possuem profundidade menor que 5 metros (parâmetro 0,9), possuindo índice GOD alto; estes possuem uso em abastecimento urbano público e industrial (Tabela 21 – Dados do Parâmetro D, do município de Sidrolândia).

Figura 52 - Parâmetro D, do município de Sidrolândia



Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Tabela 21 – Dados do Parâmetro D, do município de Sidrolândia

Parâmetro D	GOD	Localização	Uso
> 50m	01 Insignificante	05 área urbana	05 urbano privado
	06 Baixo	02 distritos	02 industrial
20 a 50m	02 Baixo	04 distritos	01 industrial
	02 Médio	01 área urbana	04 urbano público
	01 Alto		
05 a 20m	03 Baixo	01 área rural	05 urbano público, 02 privado
	05 Médio	05 distritos	02 industrial
	01 Alto	03 área urbana	
< 05m	05 Alto	04 área urbana	04 urbano público
		01 distrito	01 industrial

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

O que se observa é a ausência de valores nulos, bem como, a ausência de valor máximo na litologia e profundidade. Sendo que apenas dois poços unificaram os maiores valores encontrados nos dois poços (3500022810 e 3500027195), estes possuem índice GOD alto, com o mesmo valor de 0,63. Os valores de GOD mais altos estão associados às amostras de aquífero do tipo livre (ou sem cobertura de basalto), com litologia de basalto (duas amostras eram de arenito fino), pouco profundo (com exceção de uma amostra, com profundidade de 29 m mas cobertura de basalto).

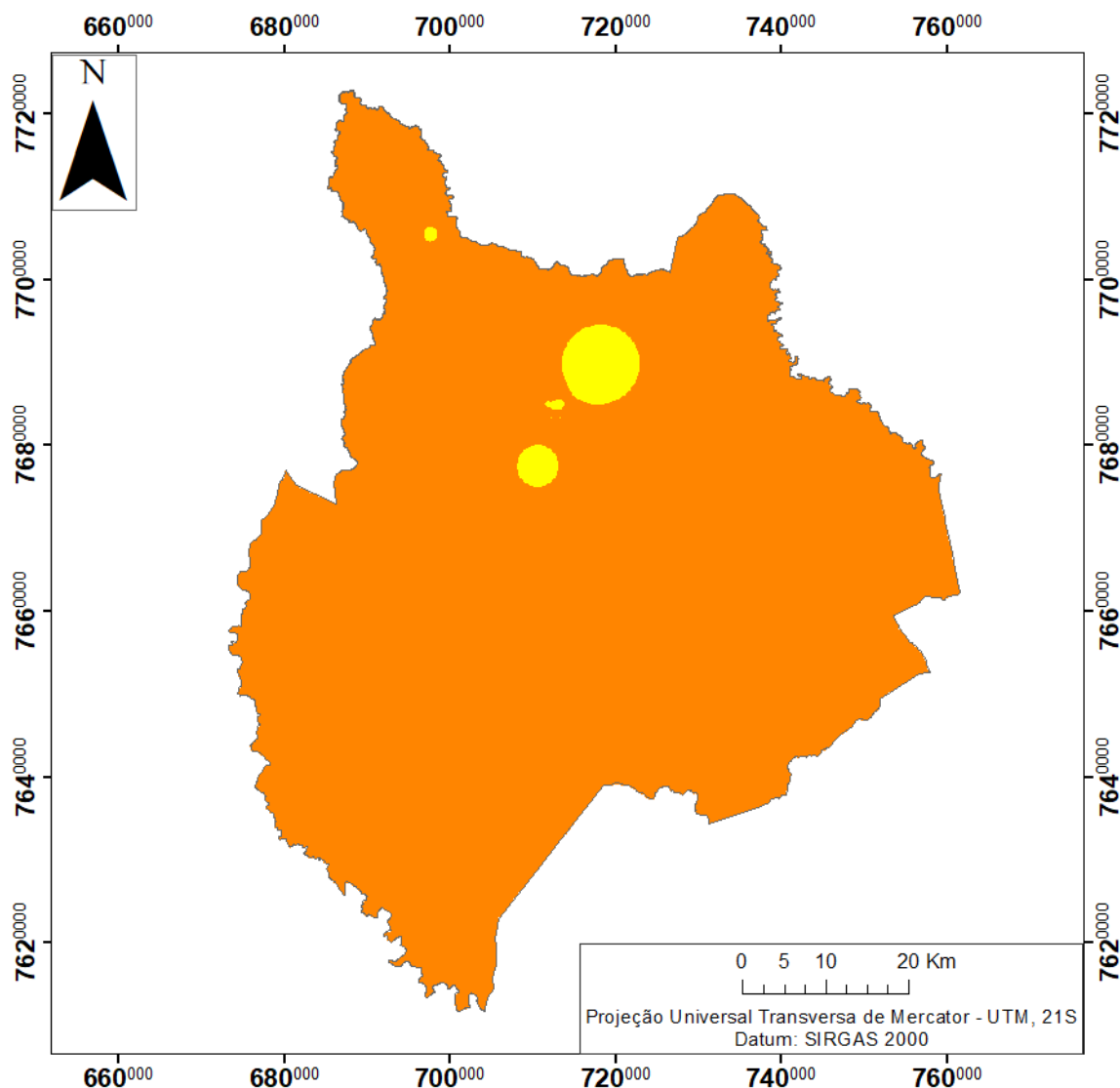
Se observa que a interpolação pelo método IDW, por vezes, mantem de forma similar a área de índices que possuem valores bem diferentes; como no exemplo do tipo de aquífero, onde colocou áreas grandes para o índice semiconfinado e livre, sendo que um possui 17 poços e o outro 05. Entretanto, o método indica de forma mais evidente os parâmetros. Outra questão é sobre os poços com dados estarem, em maioria, muito agrupados na sede municipal, sendo que aqueles poucos nas outras áreas, acabam sendo os valores índices para extrapolar para as extremidades da área. Isto incorre em um problema quanto a disposição e escala pois os poços não se encontram dispostos de maneira uniforme pelo território, o que leva a uma generalização de uma grande parte da área rural com base em poucos poços.

Apesar da pouca quantidade de poços com dados completos no município, os que constam, já identifica a necessidade de cuidado com o uso do solo na região. Com isto, se indica que as áreas com maiores suscetibilidades se encontram esparsas, sendo a sede urbana e áreas com indústrias as que possuem a classe alta do GOD. Algumas áreas com o GOD médio se encontram em áreas urbanizadas, tanto da sede como de distritos. O mesmo ocorre para áreas com GOD baixo, porém, a classificação baixa se encontra mais concentrada na sede do que nas outras áreas.



6.1.2 Índice de Susceptibilidade

A respeito do Índice de Susceptibilidade (IS), ocorreram duas das quatro classes: intermediária e alta (Figura 53 – Índice IS em Sidrolândia e Figura 54 – Valores de IS em Sidrolândia). A classe alta ocorre em 80% do território, seguido pela classe intermediária ocorrendo em 20% de território.

Figura 53 - Índice IS em Sidrolândia



Legenda

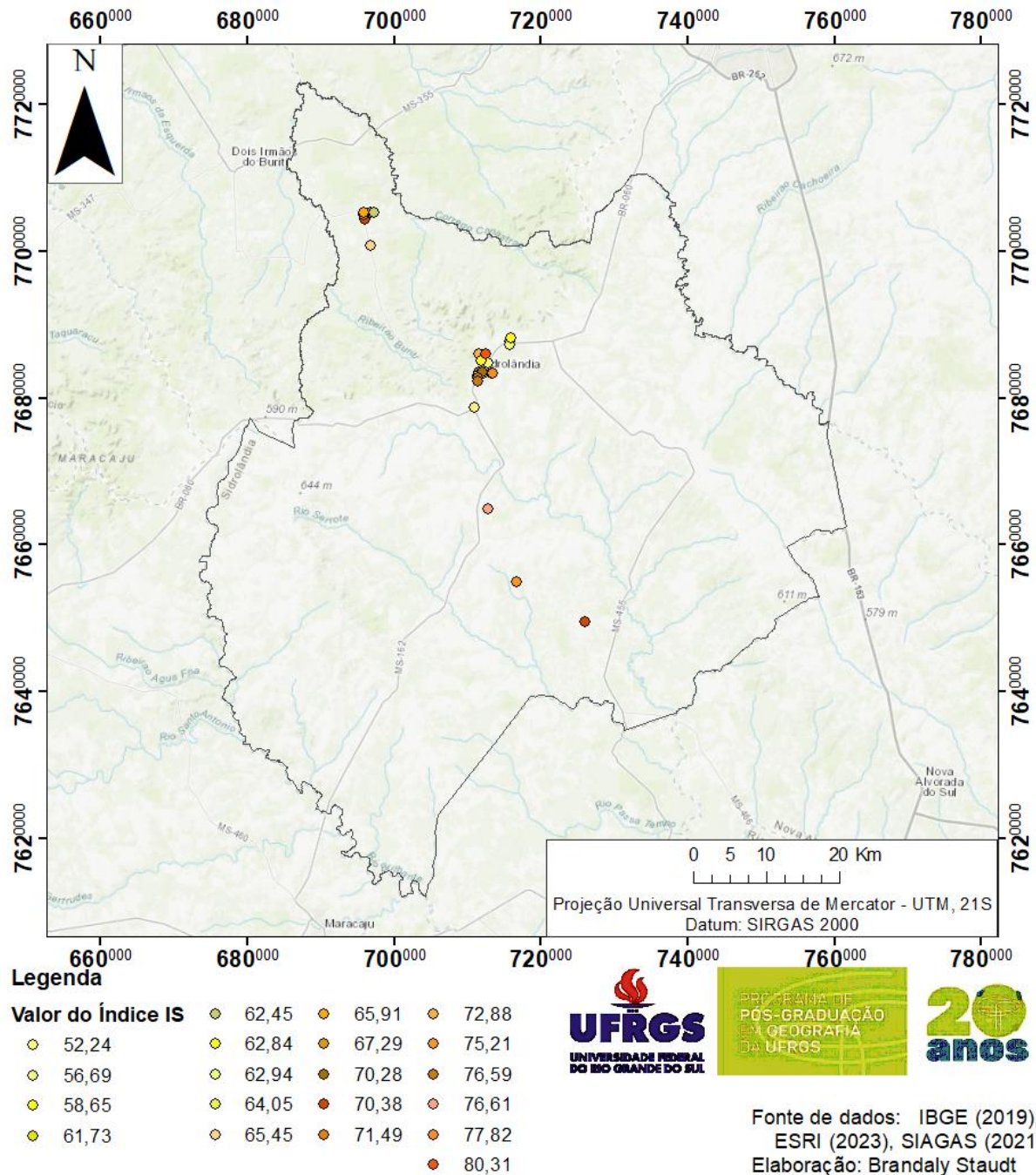
-  Baixa
-  Intermediária
-  Alta
-  Muito alta



Fonte de dados: IBGE (2019),
SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2021).

Figura 54 - Valores de IS em Sidrolândia



Legenda: Tons em amarelo pertencem a classe intermediária e tons em laranja a classe alta. Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021) e IBGE (2019), elaboração própria (2022).

Dos poços com dados, 10 possuem a classe intermediária e 16 na classe alta. A localização destes poços que garante a disposição das classes no mapa, os poços com classe alta estão localizados tanto na área central como nos poços localizados em áreas longe da urbana, enquanto os poços da classe média ficaram concentrados na sede do município (Tabela 22 – Valores do índice IS em Sidrolândia).

A classe intermediária está localizada em área urbana e distrital, os poços possuem litologia de zona saturada de arenito e basalto. Na camada não saturada de argilito e basalto com solo argiloso e argilo-siltoso. Sobre a hidroestratigrafia, estão localizados no SASG, com profundidade do nível estático variando de 18 m a 138,9 m e vazão do poço de 16,5 m³/h a 200 m³/h, seu uso é de abastecimento urbano público e privado e uso industrial.

A classe alta está localizada de forma mais espaçada no território, com poços na sede municipal, no distrito de Capão Bonito, Quebra Coco e em fazendas ou áreas isoladas dos distritos. Os poços com litologia de zona saturada variam de arenito e basalto, e não saturada de arenito, basalto e solo. Com solo variando de argila, argiloso, solo arenoso e areno-argiloso. Sobre a hidroestratigrafia, estão localizados 03 no SAB e o restante no SASG, com profundidade do nível estático variando de 2,57 m a 31 m e vazão do poço variando de 4 m³/h a 52,8 m³/h, com uso para abastecimento urbano público, privado e industrial [Tabela 23 – Tabela dos poços e o Índice IS em Sidrolândia].

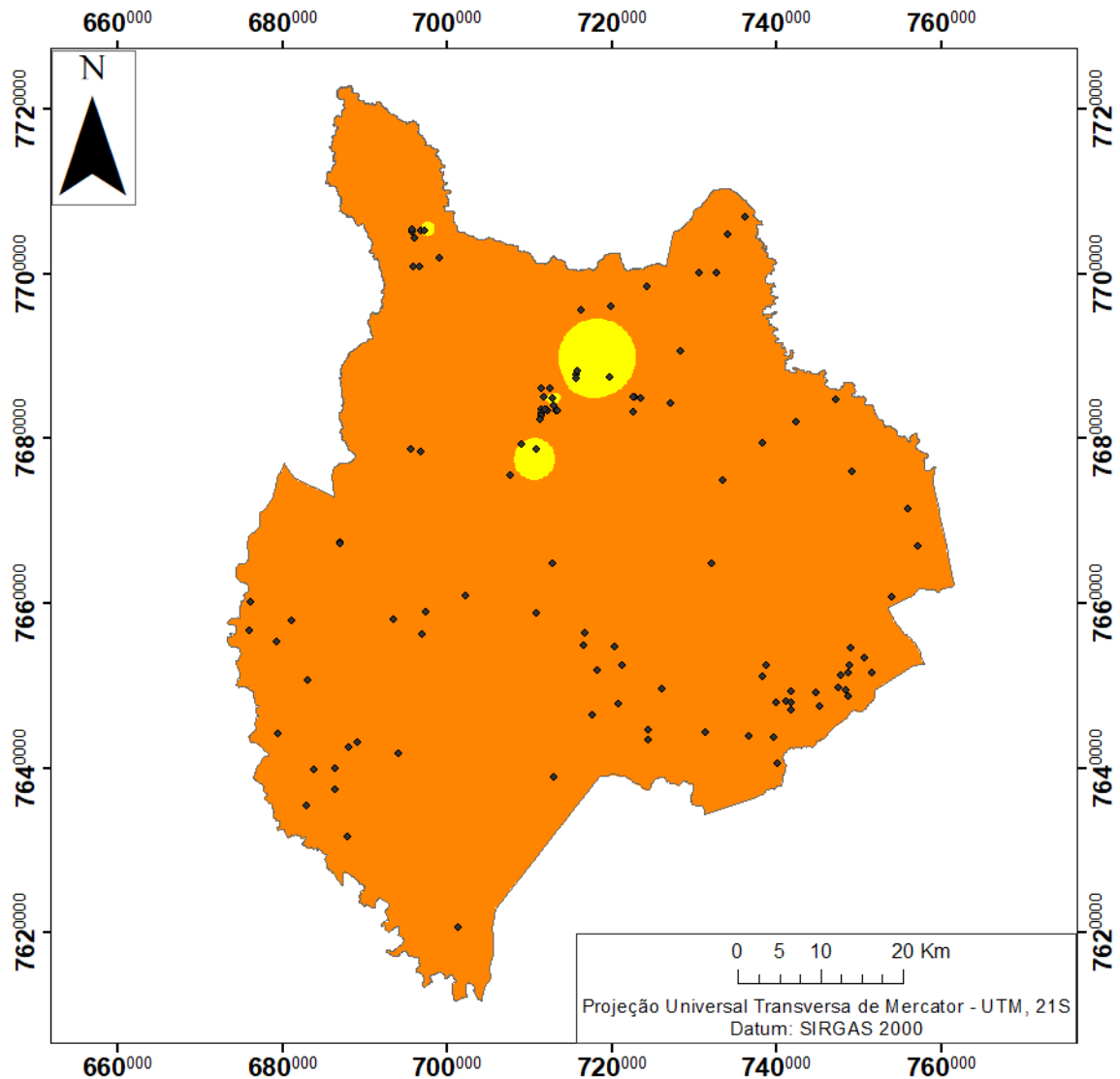
Sobre a localização dos poços, tanto os com dados construtivos, como os sem dados; 10 se encontram na classe intermediário e o restante na classe alta do índice de susceptibilidade (Figura 55 – Localização dos poços e o índice IS em Sidrolândia).

Tabela 22 - Valores do índice IS em Sidrolândia

Código	D	R	A	T	LU	IS	Classe
3500022649	50	60	80	100	70	70.38	alta
3500022804	30	60	80	90	70	65.45	alta
3500022805	50	60	80	100	70	70.38	alta
3500022806	20	60	80	100	75	65.91	alta
3500022807	90	60	80	100	70	77.82	alta
3500022808	50	60	80	100	75	71.49	alta
3500022809	50	60	80	100	75	71.49	alta
3500022810	90	60	80	50	75	72.88	alta
3500022811	10	60	80	100	70	62.94	intermediária
3500022812	10	10	60	100	75	48.27	intermediária
3500022813	10	60	80	100	75	64.05	intermediária
3500022814	10	60	80	90	70	61.73	intermediária
3500022815	10	60	60	100	75	58.87	intermediária
3500022816	10	60	80	90	75	62.84	intermediária
3500023045	10	60	80	90	70	61.73	intermediária
3500026915	20	10	90	100	75	57.9	intermediária
3500027194	90	60	90	100	75	81.52	alta
3500027195	90	60	80	100	70	77.82	alta
3500027219	20	60	90	100	75	68.5	alta
3500027225	50	60	80	100	75	71.49	alta
3500027247	70	60	80	100	75	75.21	alta
3500027274	20	60	90	90	75	67.29	intermediária
3500027283	70	60	90	100	75	77.8	alta
3500027317	70	60	90	100	75	77.8	alta
3500045669	30	10	90	100	70	58.65	intermediária
3500045691	20	60	80	100	75	65.91	alta

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Figura 55 - Localização dos poços e o Índice IS em Sidrolândia



Legenda

♦ Localização dos poços

IS

- Baixa
- Intermediária
- Alta
- Muito alta



Fonte de dados: IBGE (2019),
SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021) e IBGE (2019), elaboração própria (2022).

Tabela 23 - Tabela dos poços e o Índice IS em Sidrolândia

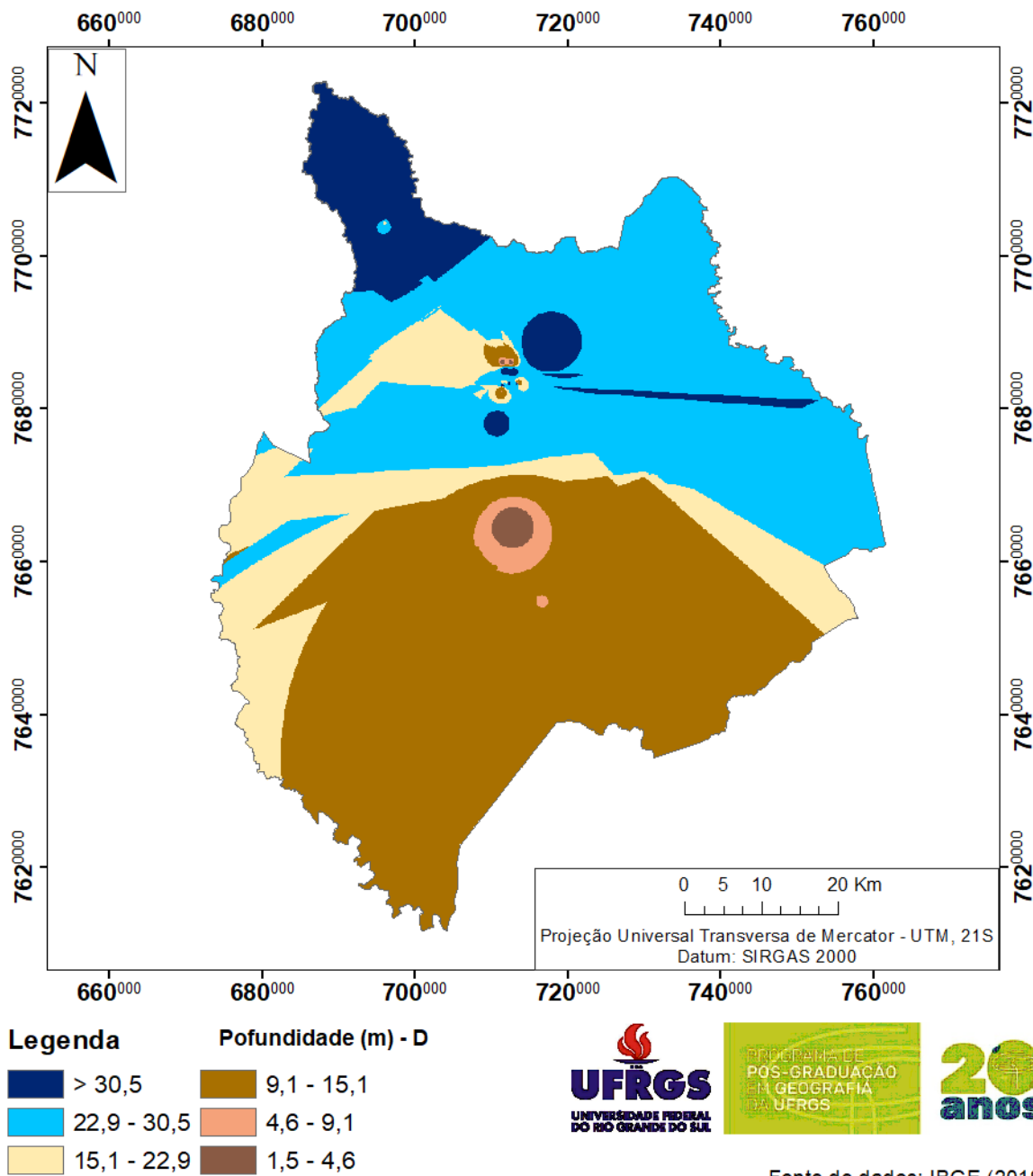
IS	Quantidade	Localização	Litologia zona saturada	Litologia zona não sat	Solo	Hidroestratigrafia	NE	Vazão do poço	Abastecimento
Intermediário	10	01 distrito, 09 área urbana	03 basalto, 07 arenito	02 argilito, 08 basalto	08 argiloso, 02 argilo-siltoso	SASG	18 a 138,9m	16,5 a 200 m³/h	02 urbano público, 04 privado e 04 industrial
Alto	16	10 distritos, 06 área urbana	05 basalto, 11 arenito	10 basalto, 02 solo, 04 arenito	argila, argiloso, arenoso e areno-	03 SAB, 13 SASG	2,57 a 31m	4 a 52,8 m³/h	07 urbano público, 06 privado e 03 industrial

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Sobre cada parâmetro para determinação do IS, o primeiro deles, o parâmetro D (profundidade até o topo do aquífero) variou entre os valores 10 a 90 (Figura 56 – Parâmetro D, do município de Sidrolândia), este parâmetro se encontra da mesma forma que a profundidade do GOD, com variação dos parâmetros de cada índice. Dos três poços cadastrados no SAB, um deles possui profundidade variando entre 1,5 – 4,6, o segundo com profundidade entre 4,6 – 9,1 e o último, de 9,1-15,1 metros; o restante se encontra no SASG. São 04 poços com profundidade entre 1,5 – 4,6 metros (parâmetro 90); possuindo IS alto, estando em área urbana e distrital e servindo para abastecimento urbano privado e público. Dos 03 poços com profundidade entre 4,6 – 9,1 metros (parâmetro 70) possuem IS alto; com localização em área urbana e distritos, para uso em indústria e abastecimento urbano público.

As profundidades entre 9,1 – 15,1 metros (parâmetro 50) possuem 05 poços; com IS alto, localizados em área urbana e distrital, com usos em abastecimento urbano. 02 poços possuem profundidade entre 15,1 – 22,9 metros (parâmetro 30) possuindo IS intermediário e alto; estes têm uso em abastecimento urbano. Profundidades entre 22,9 – 30,5 (parâmetro 20) com 05 poços, possuindo IS intermediário e alto; localizados em maioria no distrito de Quebra Coco, estes com uso em abastecimento urbano público e industrial. Por fim, 07 poços possuem profundidades maiores que 30,5 (parâmetro 10), com índice IS intermediário, localizados em área urbana e distritos, para abastecimento urbano privado e industrial (Tabela 24 – Dados do Parâmetro D, do município de Sidrolândia).

Figura 56 - Parâmetro D, do município de Sidrolândia



Fonte de dados: IBGE (2019),
SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

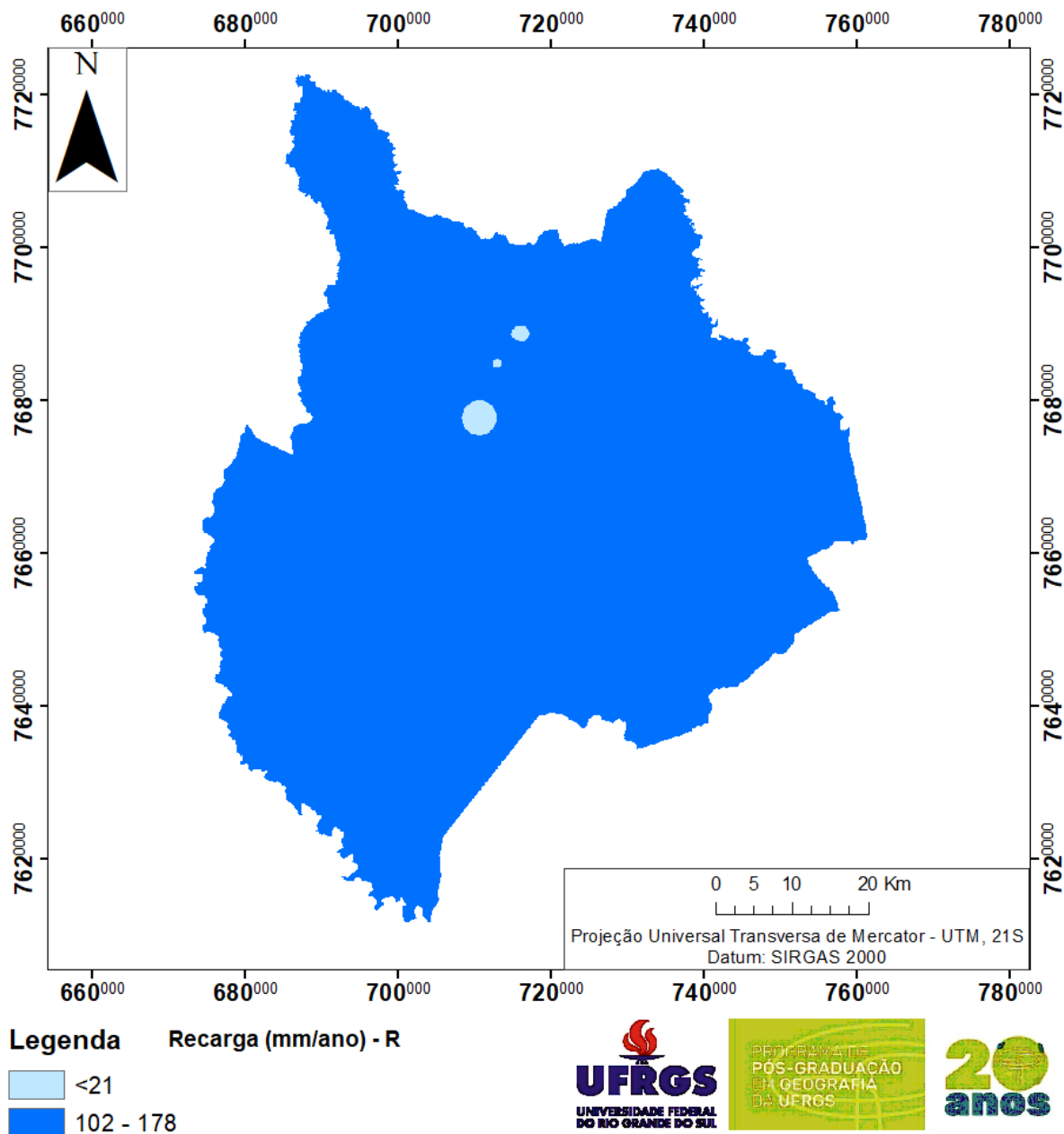
Tabela 24 - Dados do Parâmetro D, do município de Sidrolândia

Parâmetro D	IS	Localização	Uso
> 30,5m	07 Intermediário	02 distritos	02 industrial
		05 área urbana	05 urbano privado
22,9 - 30,5	02 Intermediário	04 distritos	04 urbano público
	03 Alto	01 área urbana	01 industrial
15,1 - 22,9	01 Intermediário	02 distritos	01 urbano público
	01 Alto		01 industrial
9,1 - 15,1	05 Alto	03 área urbana	02 urbano privado
		02 distritos	03 público
4,6 - 9,1	03 Alto	01 área urbana	01 industrial
		02 distritos	02 urbano público
1,5 - 4,6	04 Alto	01 área urbana	03 urbano público,
		03 distritos	01 privado

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

O parâmetro R (recarga do aquífero) se encontra com maioria com índices variando de 102 – 178 mm/ano, com pontuação 60 pelo parâmetro, possuindo 17 poços com recarga de 120 mm/ano, 06 poços com recarga de 128 mm/ano. O restante se encontra no parâmetro menor que 21 mm/ano, com pontuação 10 (Figura 57 -Parâmetro R, do município de Sidrolândia). Os poços com recarga de 128 mm/ano estão relacionados aos arenitos, enquanto o valor de 120 mm/ano se relaciona às rochas basálticas, conforme a literatura descrita na metodologia. Os locais com menores recargas estão relacionados aos argilitos na zona não saturada, nestes locais a classe do índice é intermediário, localizando-se na área urbana e distrital, com uso em abastecimento urbano público e industrial (Tabela 25 – Dados do Parâmetro R, do município de Sidrolândia).

Figura 57 - Parâmetro R, do município de Sidrolândia



Fonte de dados: SIAGAS (2021),
IBGE (2019), PERH MS (2010)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de PERH MS (2010) e SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

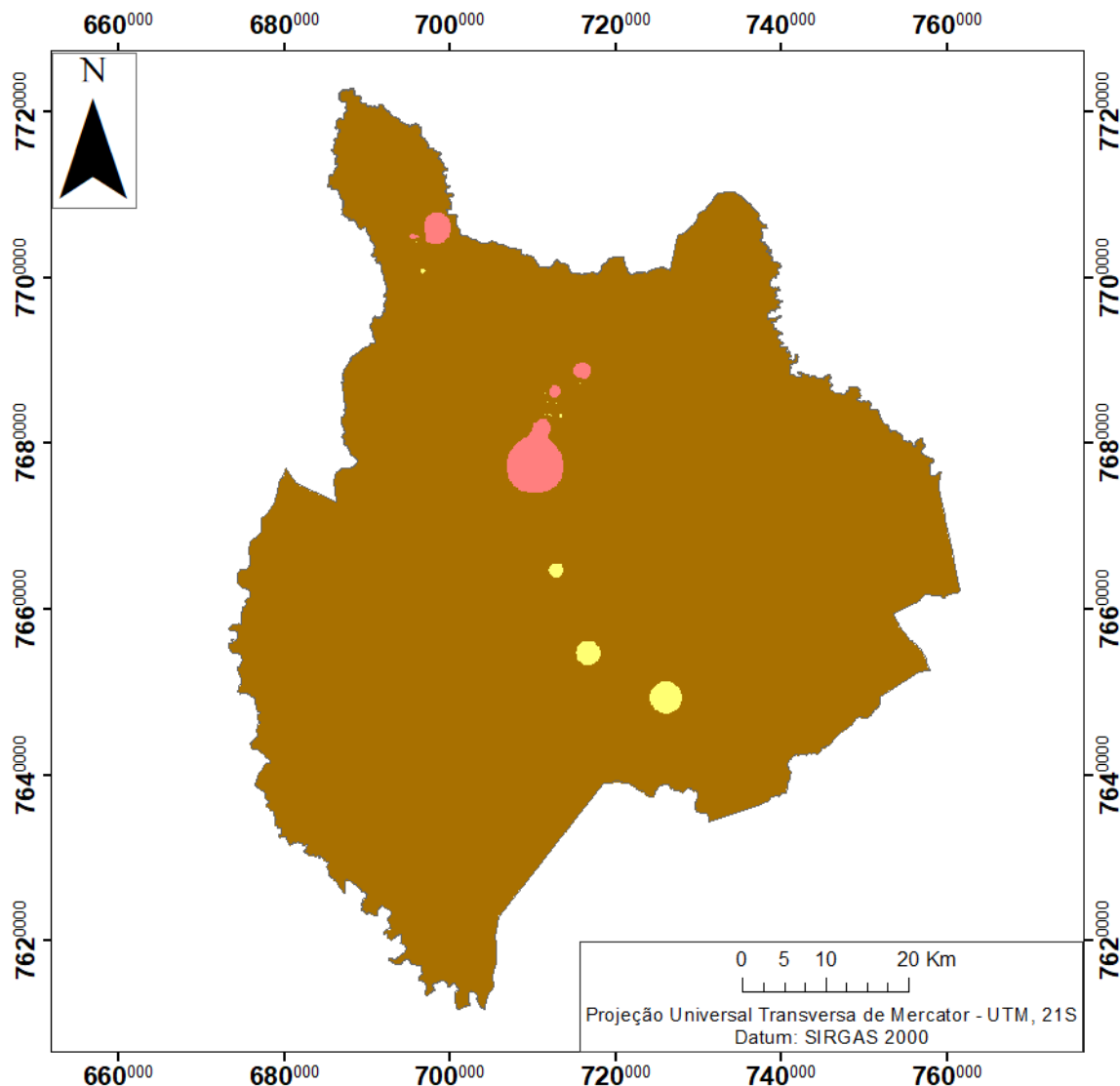
Tabela 25 - Dados do Parâmetro R, do município de Sidrolândia

Parâmetro R	IS	Localização	Uso
< 21 mm/ano	02 Intermediário	01 distrito	01 urbano privado
		01 área urbana	01 industrial
102 - 178 mm/ano	08 Intermediária	12 distritos	08 urbano público
	16 Alta	12 área urbana	12 privado, 04 industrial

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

O parâmetro A (geologia da zona aquífera) variou de 80 a 90 no parâmetro, este parâmetro é similar ao visto na hidrogeologia da área. Com 07 poços com geologia do meio aquífero de basalto e o restante com meio aquífero com basalto e arenito (Figura 58 – Parâmetro A, do município de Sidrolândia). Dos poços com basalto no meio aquífero, possuem índice alto e intermediário. Estes poços se encontram em área urbana, na maioria, e seu uso preponderante é para abastecimento urbano público, estando no SASG. Os poços onde varia a litologia de arenito e basalto, a maioria possui índice alto, estando no restante da área (Tabela 26 – Dados do Parâmetro A, do município de Sidrolândia).

Figura 58 - Parâmetro A, do município de Sidrolândia



Legenda **Litologia do meio - A**

- Arenito
- Basalto a Arenito
- Basalto



Fonte de dados: IBGE (2019),
SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Tabela 26 - Dados do Parâmetro A, do município de Sidrolândia

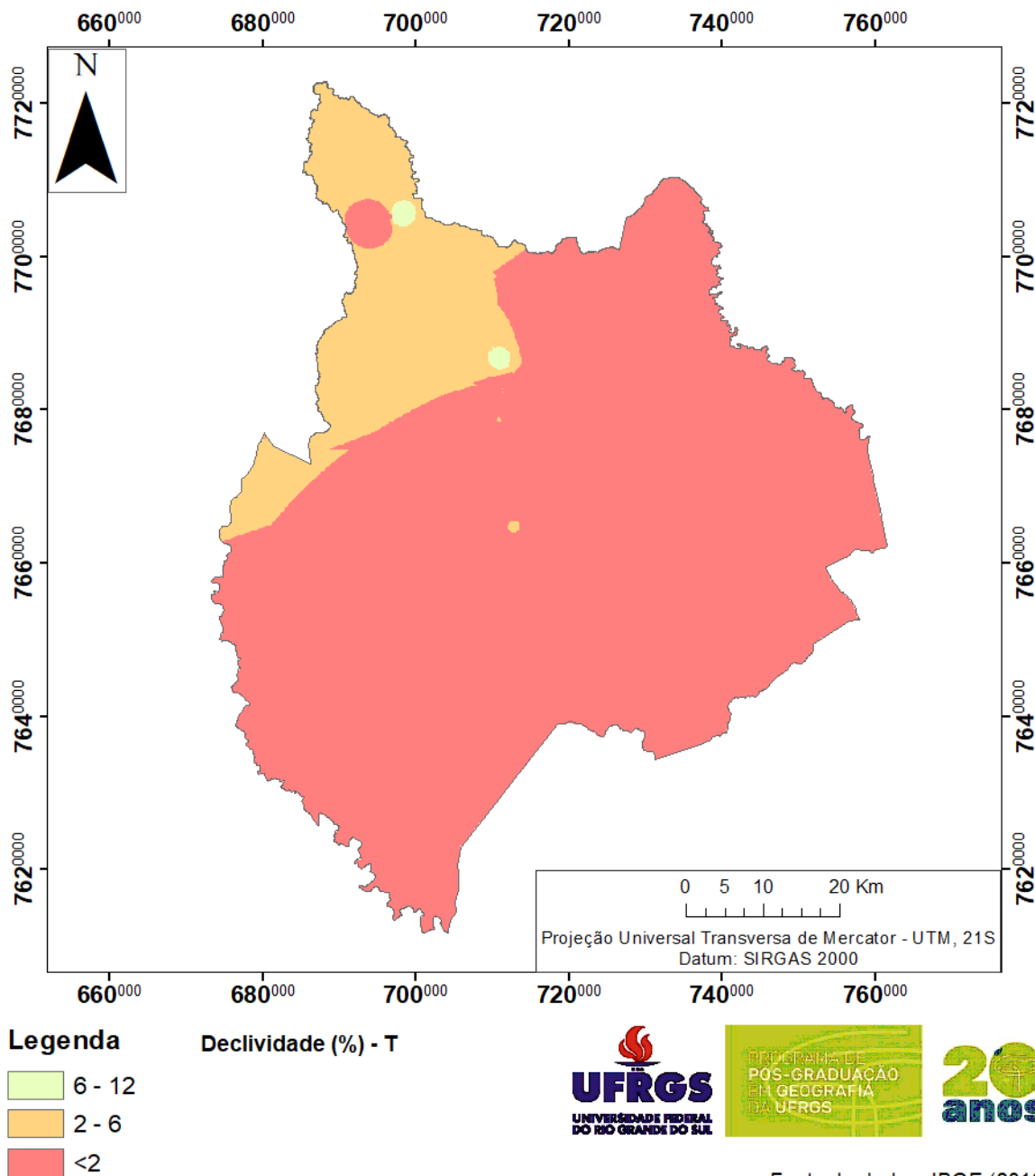
Parâmetro A	IS	Localização	Uso
Arenito	04 Alto	04 distritos	02 público, 02 privado
Basalto / Arenito	07 Intermediário	05 distritos	08 urbano público
	08 Alto	10 área urbana	09 privado, 02 industrial
Basalto	03 Intermediário	04 distritos	03 industrial
	04 Alto	03 área urbana	04 urbano público

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

O parâmetro T (declividade) variou de 50 a 100 no parâmetro, com 01 poço com declividade entre 06 – 12% (parâmetro 50), 05 poços com declividade entre 02 – 06% (parâmetro 90) e 20 poços com declividade menor que 02% (parâmetro 100) (Figura 59 – Parâmetro T, do município de Sidrolândia). Na região a declividade é muito baixa, por isto os valores altos para este parâmetro, o que indica que a água tende a infiltrar e, no caso de haver contaminante na superfície, a probabilidade é alta deste infiltrar e ser conduzido até o aquífero livre.

A declividade mais alta favorece o escoamento superficial, com isso, é menor probabilidade de infiltração de contaminante; por isto a importância do mapa topográfico, a análise das curvas de nível e a elaboração do modelo digital de elevação (Figura 60 – MDE de Sidrolândia). O poço com declividade maior está no SASG, com IS alto, estando localizado no Distrito de Quebra Coco, com abastecimento urbano. Dos poços com variação de 02 – 06%, um se encontra no SAB, o restante no SASG; estando em área rural e urbana para usos urbano e industrial da água; e valores de IS intermediário e alto. Os poços com as menores declividades se localizam 02 no SAB e o restante no SASG, com IS alto e intermediário; estando em área distrital e urbana com abastecimento urbano privado, público e industrial (Tabela 27 – Dados do Parâmetro T, do município de Sidrolândia).

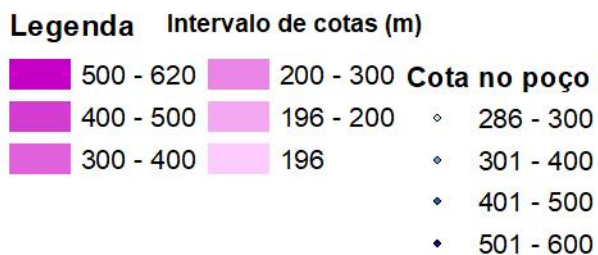
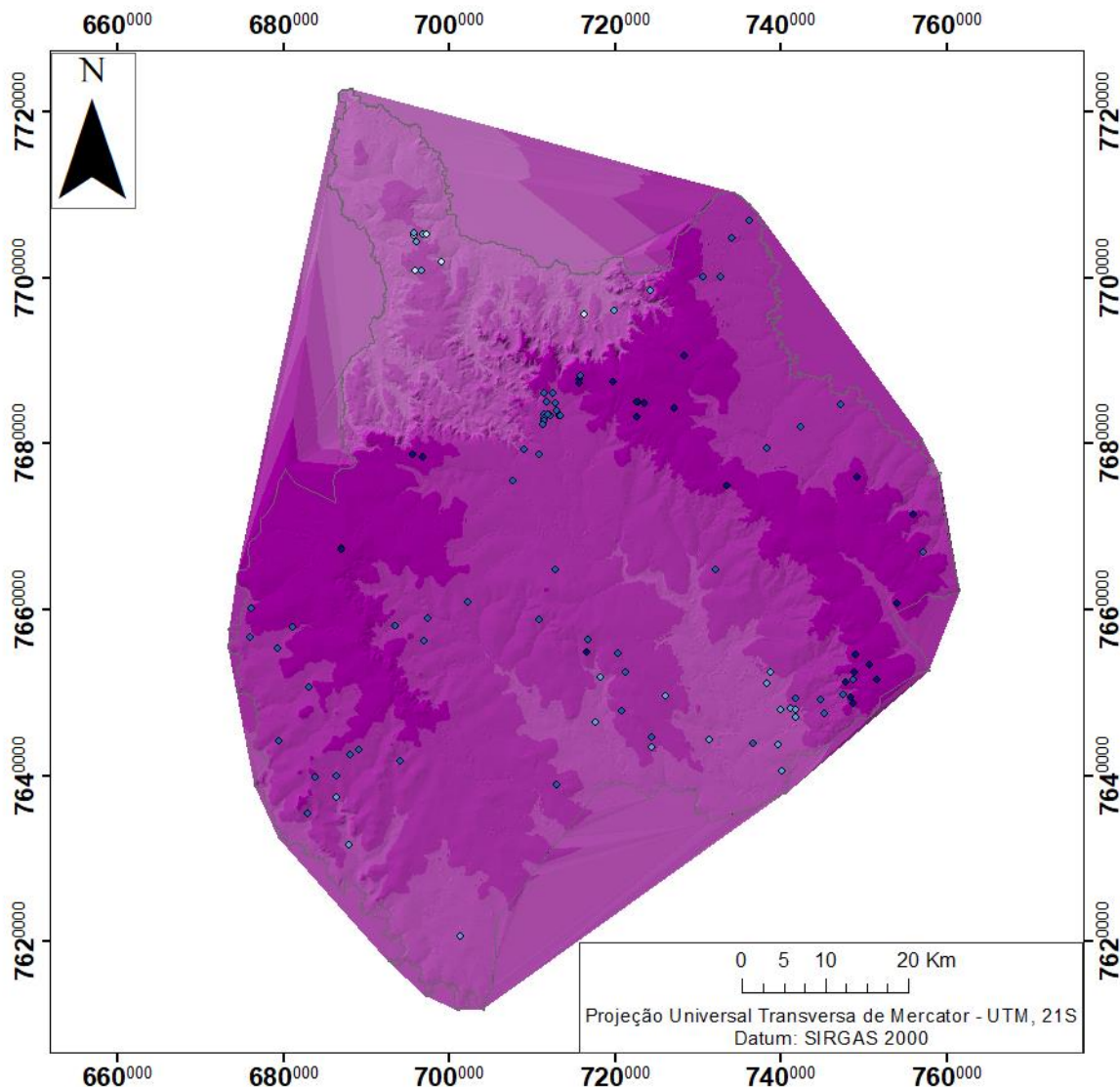
Figura 59 - Parâmetro T, do município de Sidrolândia



Fonte de dados: IBGE (2019),
SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021) e INPE (2021), elaboração própria (2022).

Figura 60 - MDE de Sidrolândia



Fonte de dados: IBGE (2019), INPE (2021), SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de IBGE (2019), SIAGAS (2021) e INPE (2021), elaboração própria (2022).

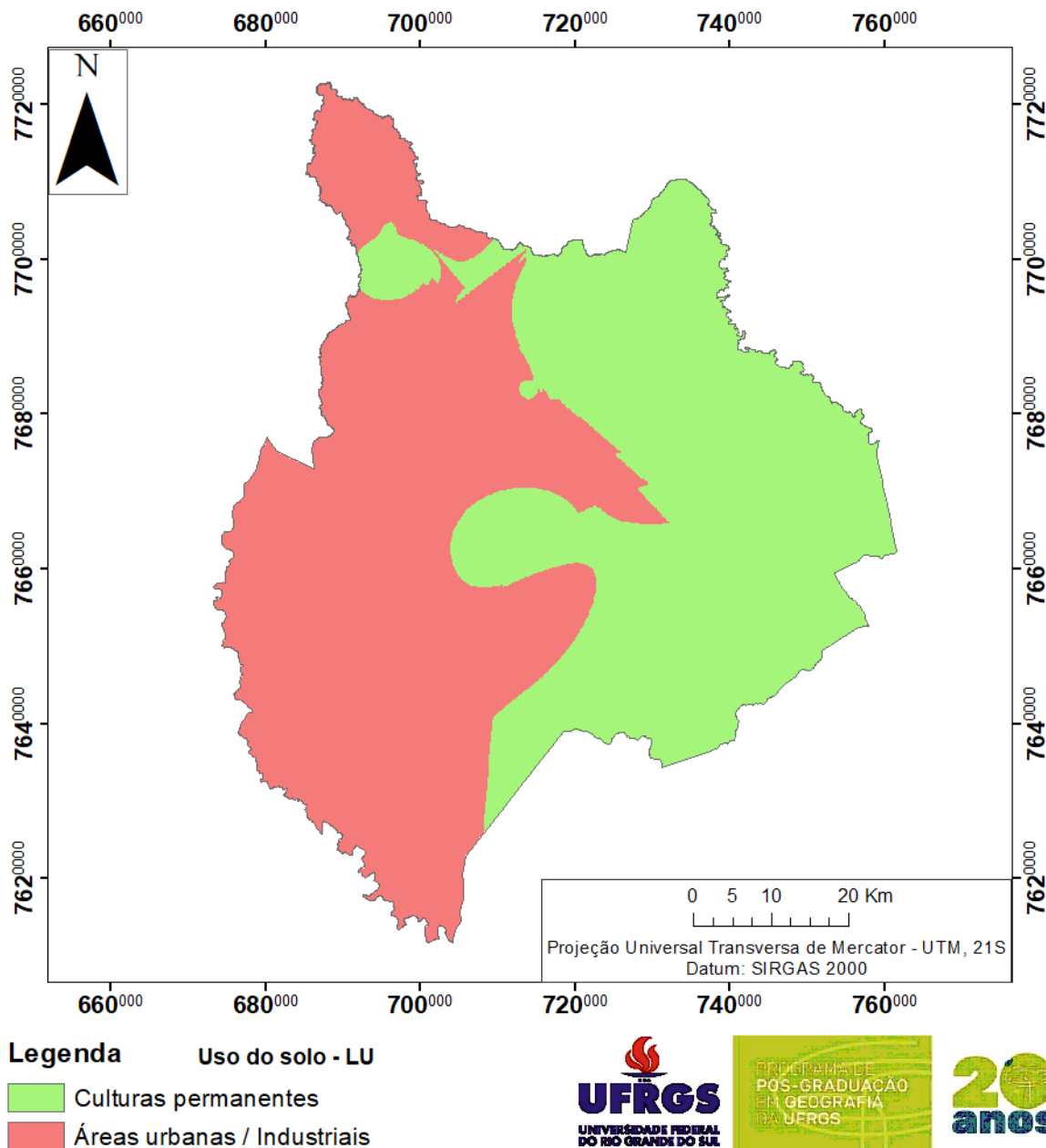
Tabela 27 - Dados do Parâmetro T, do município de Sidrolândia

Parâmetro T	IS	Localização	Uso
06 - 12%	01 Alto	distrito	urbano público
2 - 6%	04 Intermediário	03 distritos	02 urbano público
	01 Alto	02 área urbana	01 privado, 02 industrial
< 2%	06 Intermediário	10 distritos, 01 rural	06 urbano público
	14 Alto	09 área urbana	10 privado, 04 industrial

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

O parâmetro LU (uso do solo) no município ficou entre 70 e 75, com 09 poços com valor 70 do parâmetro e o restante com 75 (Figura 61 – Parâmetro LU, do município de Sidrolândia). Os 09 poços são considerados malha urbana descontínua e culturas permanentes, localizados no SAB (02) e o restante no SASG, localizados em área urbana e distritos; com uso para abastecimento industrial, urbano privado e público; possuindo IS intermediário e alto. Os 17 poços considerados espaços de atividades industriais, comerciais e malha urbana contínua; se localizam 01 no SAB e o restante no SASG. O IS é alto e intermediário, com abastecimento urbano privado, público e industrial (Tabela 28 – Dados do Parâmetro LU, do município de Sidrolândia).

Figura 61 - Parâmetro LU, do município de Sidrolândia



Fonte de dados: IBGE (2019),
SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Tabela 28 - Dados do Parâmetro LU, do município de Sidrolândia

Parâmetro LU	IS	Localização	Uso
Malha urbana descontínua	04 Intermediário	06 distritos	03 urbano público
	05 Alto	03 área urbana	03 privado e 03 industrial
Malha urbana contínua	06 Intermediário	07 distritos	08 urbano público
	11 Alto	10 área urbana	06 privado e 03 industrial

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

O que se observa é a ausência de valores nulos, bem como, a ausência de valor máximo nos parâmetros D, R, A e LU, somente o parâmetro T possui valores máximos. Enquanto dos valores mínimos, os parâmetros D e R possuem mínimas. Sobre isto, nenhum poço unifica os maiores valores em todos os parâmetros, apesar dos dois maiores valores possuírem maiores índices em 04 dos 05 parâmetros; sendo os poços com maiores valores o 3500027194 com 81,52 e 3500027195 com 77,82, estando no IS alto; localizados em área urbana.

Os valores de IS foram mais elevados em todas as amostras com pouca profundidade e pouca declividade; já as amostras com valores mais baixos estão relacionadas a grande profundidade, baixa recarga e uma declividade levemente mais alta, os dois menores valores são 48,27 (3500022812) e 57,90 (3500026915), estando no IS intermediário; localizados em área urbana.

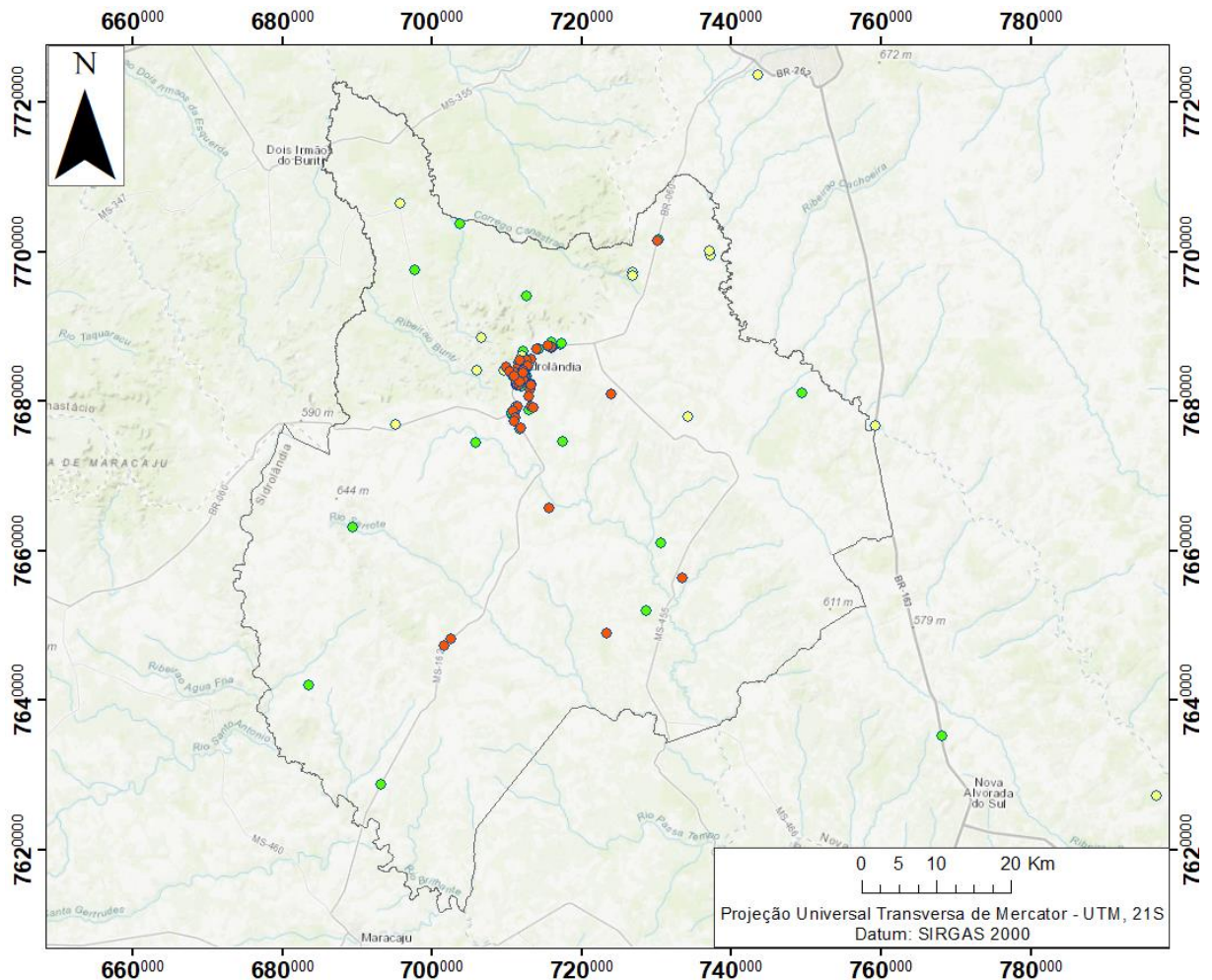
Aqui também se observa que a interpolação pelo método IDW, por vezes, extrapola um valor em detrimento do outro, como no cálculo do IS, onde uma classe possui 10 poços (intermediária) e a outra 16 (alta), sendo uma grande diferença, mas, pela interpolação, ela foi extrapolada, com a classe alta ocupando 80% de área e a outra apenas 20%. O parâmetro LU se identifica boa parte com áreas industriais e urbanas pois onde o poço foi perfurado eram estas áreas, apesar de seu entorno ser de culturas permanentes, em alguns casos. Como a maioria dos poços com dados completos se encontram em área urbana, os poucos que se encontram em área rural, extrapolam estes poucos poços para uma área muito maior de influência, com isto, se encontra um problema quanto a dispersão dos poços e escala de trabalho pois estes não se encontram de maneira uniforme por todo o território.

A baixa declividade do município foi determinante para classificar a maioria dos poços classe alta; sendo que os poços cadastrados nas áreas rurais esparsas estão todos com a classe alta, enquanto os poços perfurados em áreas distritais e a sede intercalam com a classe alta e intermediária. Com isto, o que se pode inferir é que as áreas com maiores suscetibilidades se encontram em trechos da sede urbana, bem como, nas áreas de agropecuária. Toda malha municipal é suscetível à contaminação através de diferentes fontes, através do método IS, por conta disto, medidas mitigadoras devem ser realizadas a fim de manter a qualidade dos mananciais.

6.1.3 Índice POSH

O levantamento das empresas locais identificou 278 empreendimentos passíveis de classificação pelo índice POSH para fontes pontuais de contaminação, do total de 944 empreendimentos levantados pelo IBGE Cidades (2020). Destes, 92 estão na classe reduzida, 106 estão na classe moderada e 80 estão na classe elevada (Figura 62 – Índice POSH pontual em Sidrolândia). O levantamento dos empreendimentos considera a tabela elaborada por Foster *et al* (2002) onde sintetiza o potencial poluidor e carga hidráulica dos principais tipos de empreendimentos urbanos e rurais e os categoriza. Seis pontos de empreendimentos se encontram fora dos limites municipais, porém, são as coordenadas disponíveis dos empreendimentos no endereço eletrônico da IMASUL (2021), por conta disto, eles foram adicionados aos mapas do índice POSH pontual; destes seis, três se encontram mais distantes.

Figura 62 - Índice POSH pontual em Sidrolândia



Legenda

POSH pontual

- ELEVADO
- MODERADO
- REDUZIDO



Fonte de dados: IBGE (2019),
ESRI (2022), SIAGAS (2021),
IMASUL (2021)
e ECONODATA (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de ECONODATA (2021), IMASUL (2021), IBGE (2019) e IBGE (2020), elaboração própria (2022).

Das classes deste índice, o reduzido possui uma variedade de 18 tipos de empreendimentos, sendo a classe com maior variedade de empreendimentos. O tipo de empreendimento mais numeroso são as indústrias alimentícias, com 32 empreendimentos, sendo eles a ampla maioria, os outros empreendimentos possuem quantidades menores, totalizando os 92 empreendimentos (Tabela 29 – Classe reduzido e empreendimentos em Sidrolândia).

Tabela 29 – Classe reduzida e empreendimentos em Sidrolândia

Indústria alimentícia	32
Mineração minerais não metálicos	9
Destilaria de álcool e açúcar	7
Carvoaria	6
Subestação de energia	6
Aquicultura	5
Clínica veterinária	5
Aproveitamento de material lenhoso	4
Laboratórios de análises	4
Madeireira	3
Fábrica de móveis	2
Cabos de telecomunicações	2
Estação de rádio e microondas	2
Tratamento de água	1
Cemitério	1
Carvão vegetal	1
Recreação e lazer	1
Silvicultura	1

Fonte: Adaptado de ECONODATA (2021), IMASUL (2021) e IBGE (2020), elaboração própria (2021).

A classe moderada é a que possui a maior quantidade de empreendimentos no município, 106; com uma variedade de 13 tipos de empreendimentos. Destes, o tipo com mais quantidade de empreendimento é a fabricação e/ou armazenamento de fertilizantes, com 44 empreendimentos; o segundo maior possui a metade, a avicultura possui 22 empreendimentos; o segundo e terceiro empreendimentos também são numerosos (Tabela 30 – Classe moderado e empreendimentos em Sidrolândia).

Tabela 30 – Classe moderada e empreendimentos em Sidrolândia

Fabricação e/ou armazenamento de fertilizantes	44
Avicultura	22
Postos de combustíveis	13
Transporte de produtos perigosos	11
Usina de triagem	4
Criação de aves de postura	4
Aterro	2
Armazenagem de químicos	1
Aterro de resíduos sólidos	1
Compostagem	1
Confinamento bovino	1
Fabricação de detergentes sintéticos	1
Suinocultura	1

Fonte: Adaptado de ECONODATA (2021), IMASUL (2021) e IBGE (2020), elaboração própria (2021).

A classe elevada é a que possui a menor quantidade de empreendimentos, com 80; possuindo uma variedade de 12 tipos de empreendimentos. Destes, a que possui mais atividades são as oficinas mecânicas, com 21; a segunda e terceira possuem a mesma quantidade: oficinas de engenharia [estas são toda e qualquer atividade que vise consertar, instalar, operar, conservar, adaptar, reparar, transportar ou demolir peças, equipamentos, acessórios e obras] e depósito de agrotóxicos com 16 cada; também há grande quantidade de abatedouros, com 09, o restante dos empreendimentos possui menores quantidades (Tabela 31 – Classe elevado e empreendimentos em Sidrolândia).

Tabela 31 – Classe elevada e empreendimentos em Sidrolândia

Mecânica	21
Oficinas de engenharia	16
Depósito de agrotóxicos	16
Abatedouro	9
EEE	4
Linha de transmissão de energia elétrica acima de 7.94 KV	4
ETE	3
Fabricação de fertilizantes e/ou agroquímicos	2
Hospital com procedimento complexo	2
Lixão	1
Posto de recebimento de embalagens de agrotóxicos	1
Recuperação e refino de solventes óleos minerais vegetais e animais	1

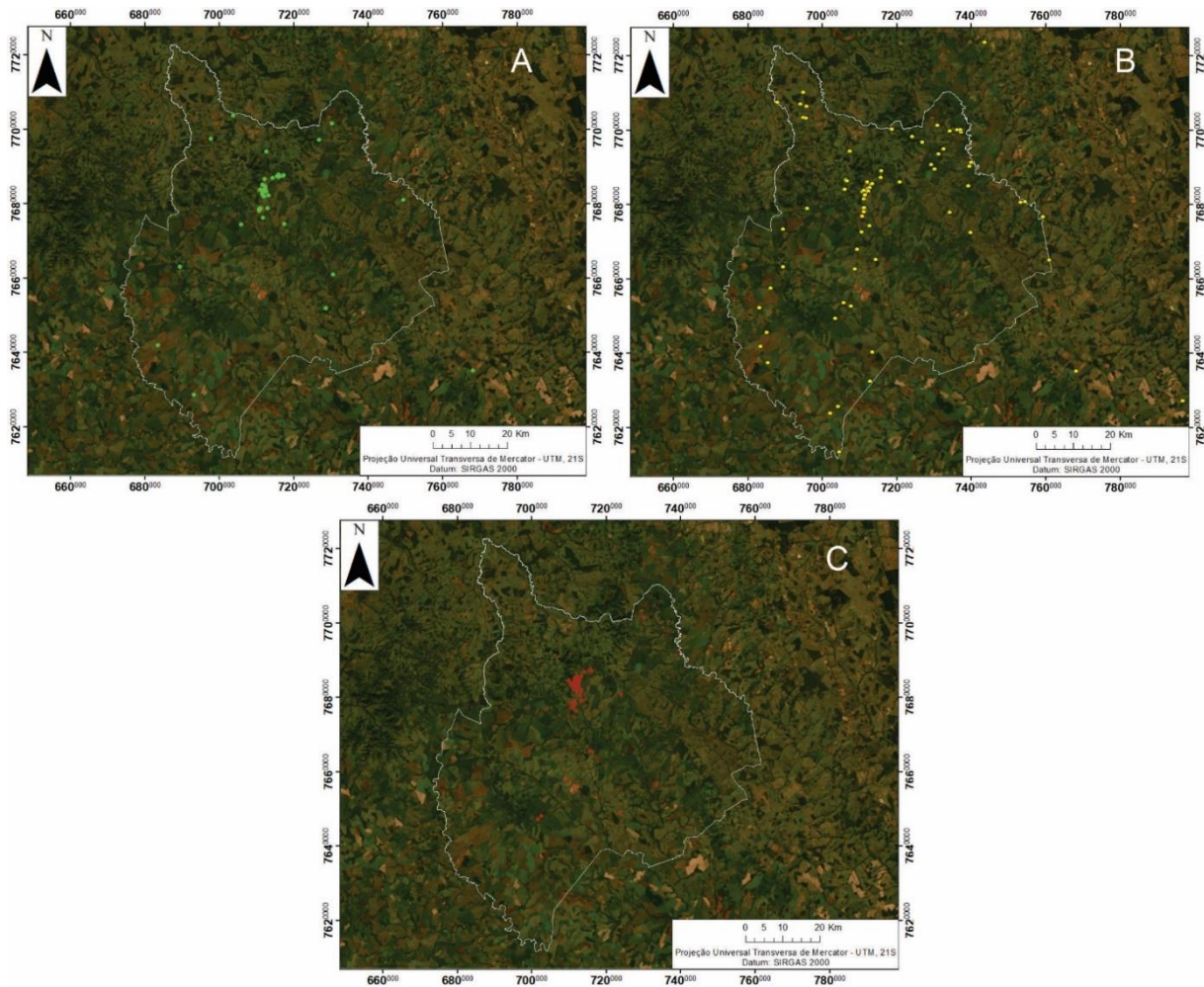
Fonte: Adaptado de ECONODATA (2021), IMASUL (2021) e IBGE (2020), elaboração própria (2021).

As três classes se encontram, em maioria, no perímetro urbano, tanto relacionado a sede quanto aos distritos. Das classes, a reduzida se apresenta mais espaçada pelo território municipal, apesar de estar mais associado aos perímetros urbanos, tanto a sede quanto aos distritos. A classe moderada está muito associada à reduzida, apesar de estar mais circunscrita aos perímetros urbanos. Por último, a classe elevada, que se encontra majoritariamente na sede municipal (Figura 63 – Mosaico de Sidrolândia com as classes separadamente – a. reduzido; b. moderado; c. elevado).

Os empreendimentos da classe reduzida se encontram nas três unidades hidroestratigráficas: SAG, SASG e SAB. Enquanto as classes moderada e elevada ocorrem nas unidades SASG e SAB; estando todas as classes dispostas em todos tipos de solos e muitos empreendimentos próximos a recursos hídricos superficiais.

Em relação aos poços cadastrados no SIAGAS, se observa que a classe POSH reduzido se encontra em locais onde há poços na área dos empreendimentos na sede municipal e na metade sul do município; enquanto a classe moderada, se concentra na área urbana. Os empreendimentos na classe elevada se encontram próximos de alguns pontos de poços na sede municipal e a norte do município. Há uma grande variedade de poços sem dados construtivos, estes poços se encontram em áreas próximas a alguns empreendimentos da classe reduzida e moderada. Isto ocorre porque a maioria destes poços se localizam em áreas de fazenda, onde há atividades que se incluem nestas classes (como exemplo, produção de alimentos, criação de aves de postura, abate, transporte de fertilizantes e/ou agrotóxicos) [Figura 64 – Localização dos poços e o índice POSH pontual em Sidrolândia].

Figura 63 – Mosaico de Sidrolândia com as classes separadamente – a. reduzido; b. moderado; c. elevado



Legenda

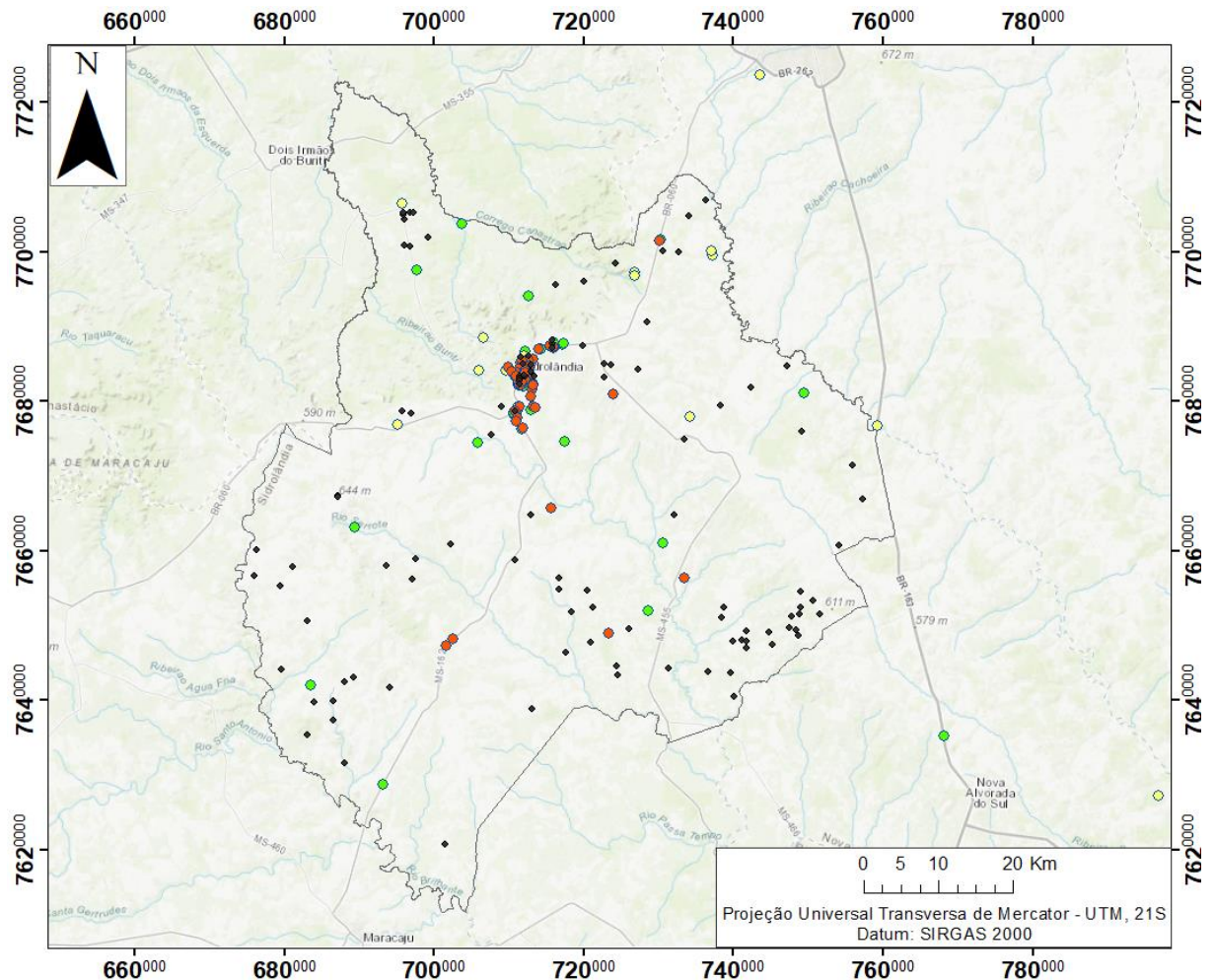
-  limite municipal
-  POSH pontual Reduzido
-  POSH pontual Moderado
-  POSH pontual Elevado



Fonte de dados: IBGE (2019),
ESRI (2022), IMASUL (2021)
e ECONODATA (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de ECONODATA (2021), IMASUL (2021), IBGE (2020) e IBGE (2019), elaboração própria (2022).

Figura 64 - Localização dos poços e o índice POSH pontual em Sidrolândia



Legenda

POSH pontual

- ELEVADO
- MODERADO
- REDUZIDO
- ◆ Localização dos poços



Fonte de dados: IBGE (2019),
ESRI (2022), SIAGAS (2021),
IMASUL (2021)
e ECONODATA (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de ECONODATA (2021), IMASUL (2021), IBGE (2019) e SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

O que se observa é que as três classes estão relacionadas entre si e estas, relacionadas a atividades agropecuárias; como exemplo, a grande quantidade de mecânicas, onde muitas são especializadas em caminhões. Caminhões estes que fazem tanto o transporte de produtos perigosos, como também, transporte de grãos e animais. O que se observa é que mesmo estando em área urbana, a maioria das atividades encontradas nos centros estão relacionadas às atividades agropecuárias, como na questão de armazenamento e venda de fertilizantes e agrotóxicos. Com base nos dados de empreendimentos, o que se observa são as áreas mais suscetíveis a contaminação da água subterrânea os perímetros urbanos e as principais rodovias

municipais, onde ocorre tanto o transporte dos produtos perigosos, quanto estão localizados diversos empreendimentos, sendo a BR-060 e MS-162.

Quanto ao índice POSH para fontes difusas, na área urbana se relaciona com o saneamento in situ, avaliado com base na densidade demográfica da sede municipal e a cobertura da rede coletora de esgoto sanitário. Sidrolândia possui área de 18,83 km² na sede urbana, com uma população urbana residente de 26.364 habitantes (IBGE, 2010); com uma densidade demográfica de 1.400 hab/km². A cobertura da rede de esgotamento sanitário é de 19% (IBGE, 2010), com isto, o parâmetro saneamento in situ se enquadrando na classe elevada, pois a densidade na sede não é elevada, mas o tratamento de esgoto é inferior ao recomendado por Foster *et al* (2006).

Em áreas de agricultura e pecuária, os principais meios de vulnerabilidade estão no uso intensivo do solo, em monoculturas em solos pobres e com baixa eficiência na irrigação, em solos fertilizados e a pastagem intensiva, a partir daí, a vulnerabilidade diminuiu à medida que o solo é melhor conservado, com variedade de culturas e sistemas agroflorestais, com pasto extensivo.

Observando os dados de área plantada de soja no município, ela abarca toda a área de lavoura estabelecida pelos dados do IBGE cidades (2020); sendo que o município foi o 16^o maior produtor de soja no país em 2020 (EMBRAPA, 2021). Notícias recentes indicam o aumento da área de lavoura de soja, a safra 2020/2021 foi de 983.911,32 toneladas do grão; isto se deu devido a combinação do aumento de área plantada com o aumento da produtividade. A área plantada aumentou de 184.000 hectares na safra 2015/2016 para 244.000 hectares em 2020/2021. Para isto, se diminuiu as áreas de pastagens, bem como a incorporação de áreas de lotes da reforma agrária que antes eram destinadas à agricultura familiar e agora se incorporaram a produção em larga escala., exemplo disso são os assentamentos Jiboia, Vacaria, Geraldo Garcia, Eldorado, Capão Bonito e Santa Terezinha (CANAL RURAL, 2022; EMBRAPA, 2021; SIDROLÂNDIA NEWS, 2022).

Como a soja possui um ciclo muito curto, após a colheita e o próximo plantio, outras variedades podem ser plantadas, como milho, a cana-de-açúcar e o sorgo, caso que ocorre no município (REGIÃO NEWS, 2021). A região do distrito de Anhanduí, onde havia pastagens, também foi arrendada para produção de soja, o que se observa é que de 2017 para 2020 houve aumento significativo da lavoura de soja; os dados do Censo agropecuário de 2017 do IBGE para agora, as divisas entre área de lavoura e pastagens variou bastante (APROSOJA, 2022).

Para a análise, se delimitou as áreas com lavoura de soja, para, posteriormente, averiguar a metodologia de plantio. Para a localização das lavouras, foram relacionados os dados do IBGE

com dados da APROSOJA e da Associação de Agricultores de Sidrolândia, posteriormente, para averiguar quais plantios utilizam agrotóxicos, se relacionou estes dados com os dados de compradores de agrotóxicos e de quais fazendas estes compradores eram proprietários, sendo as fazendas com lavouras de soja, milho, algodão e cana-de-açúcar os maiores compradores.

No município, a cultura da soja soma 2.440,00 km², estas foram encontradas; porém, não há distinção entre a soja convencional e a soja transgênica; e, a área com agricultura que se utiliza de agrotóxicos é cerca de 23%, porém, não há a localização das mesmas. As pastagens em más condições não foram adicionadas pois não há a localização das mesmas. O zoneamento agroecológico do município indica algumas áreas onde a legislação para áreas de APP não está sendo acatada e onde, também, se encontra pecuária em más condições de solo, estas se encontram acerca das áreas com plantações de soja, sendo que, por conta do avanço do plantio, a pecuária pode ter diminuído. As áreas de pastagens naturais em boas condições equivalem a 1.710,56 km², enquanto áreas de florestas plantadas e sistemas agroflorestais somam 35 km² (IBGE, 2017; EMBRAPA, 2011; APROSOJA, 2022).

Não se sabe, em hectares, de quanto agrotóxico é utilizado, sabe-se a quantidade de estabelecimentos, porém, nem todas as fazendas possuem os dados de área disponíveis; outra questão é que no Brasil houve incremento do uso da soja transgênica, esta possui uso menor de agrotóxicos pois já é pensada para não sofrer com o impacto de insetos. No Brasil há 44,2 milhões de hectares de soja transgênica, no Mato Grosso do Sul, 87,5% da cultura de soja é transgênica (CAMPO GRANDE NEWS, 2020). Porém, não se encontrou os dados de localização da soja transgênica, bem como, se há a plantação da soja orgânica.

Na classificação do índice POSH, as áreas de agricultura de soja se enquadram na classe moderada pois estas utilizam grande quantidade de fertilizantes e água (auxiliando na lixiviação de químicos), bem como, a agricultura é intensiva, com rotação entre culturas, com uso do solo excessivo, por fim, alguns locais utilizam agrotóxicos. Enquanto as pastagens naturais e em boas condições, lavouras temporárias e permanentes em boas condições, bem como de flores e florestas plantadas, sistemas agroflorestais e áreas naturais receberam a classe reduzida, no índice. Com isto, a classe elevada correspondendo a 0,4% da área total, a classe moderada corresponde a 45,6% enquanto a área reduzida equivale a 54% (Figura 65 – índice POSH difuso em Sidrolândia e Tabela 32 – Dados das fontes difusas do POSH em Sidrolândia).

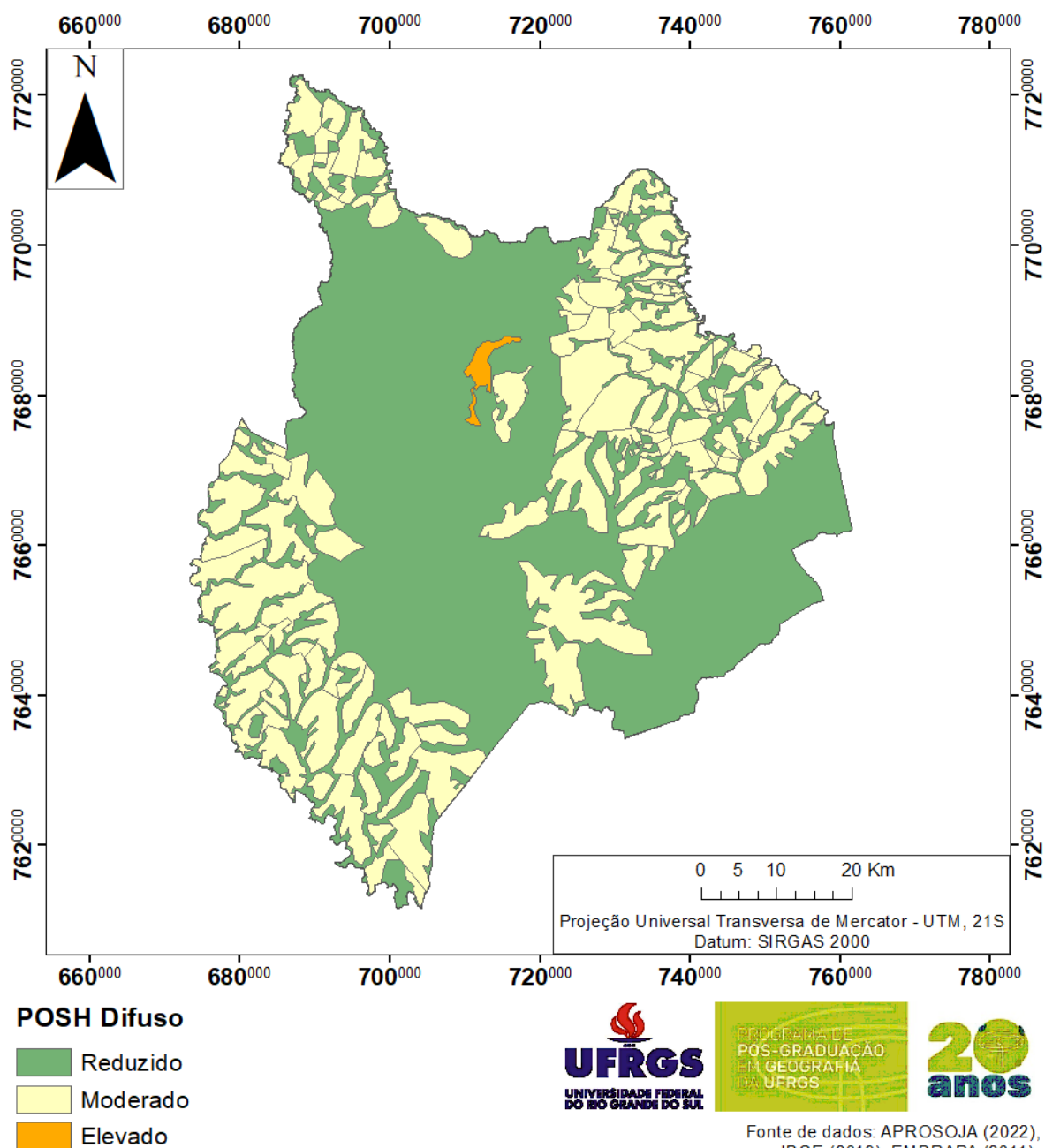
As áreas restantes (10,8%) que não foram somadas na sede urbana, nem na área rural, foram considerados pequenos perímetros urbanos (como os distritos de Capão Bonito, Capão Seco e Quebra Coco), áreas onde se localizam recursos hídricos e/ou áreas agroindustriais, com isto, estas foram consideradas com o POSH difuso reduzido por ter um índice de chuvas menor

que 500 mm/ano, entretanto, devido à falta de dados para o índice difuso, este valor pode ser subestimado, estas áreas fora das categorias se enquadram na categoria outros da Figura 11, de uso do território.

Relacionando os dados das fontes difusas do índice POSH aos poços cadastrados, 21 poços estão na classe alta, 44 estão na classe moderada e 46 na classe reduzida (Figura 66 – Localização dos poços e o índice POSH difuso em Sidrolândia).

A área mais suscetível a contaminação no município está sob a área urbana, que concentra a maior quantidade de empreendimentos e onde a densidade demográfica é alta em relação ao saneamento; as outras áreas passíveis se encontram em regiões extensas do município, onde há pouca população, mas um uso intensivo do solo. Por fim, cabe ressaltar que o traçado das áreas de fazenda fora elaborado a partir da visualização das mesmas em imagens de satélite, visto que, estas fazendas possuem localização em ponto e não o seu polígono; outra questão é que alguns dados não estão atualizados, sendo datados de 2010; com isto, algumas regiões podem ter mudado a cultura ou mudado a técnica de plantio, ou o uso de defensivos. Com isto, cabe mais estudos no âmbito de conseguir se diferenciar os tipos de plantios na área a fim de se demarcar com maior precisão as localidades que utilizem os químicos e onde o POSH estaria elevado.

Figura 65 – Índice POSH difuso em Sidrolândia



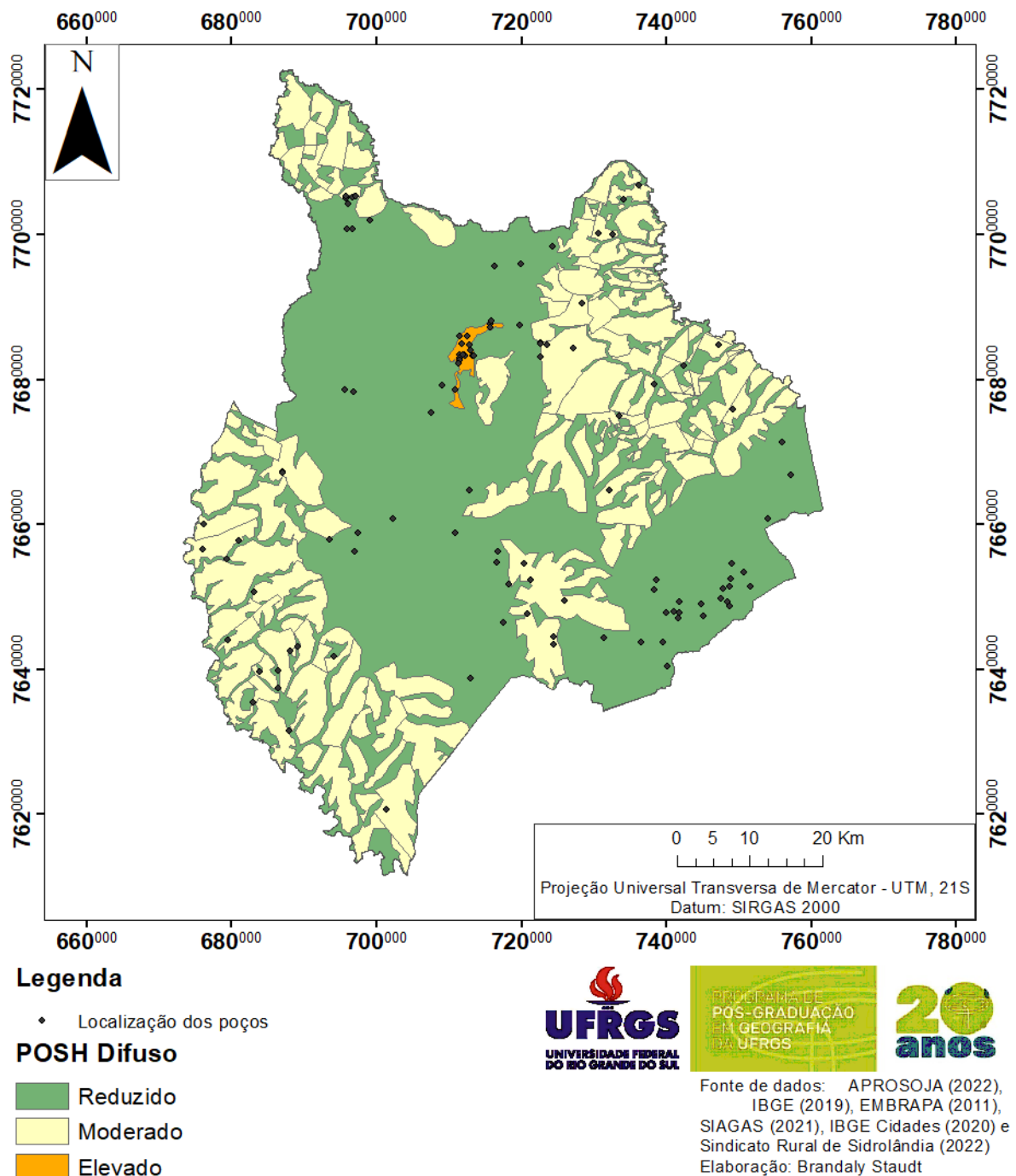
Fonte: Adaptado de APROSOJA (2022), EMBRAPA (2011), IBGE (2019), IBGE Cidades (2020) e Sindicato Rural de Sidrolândia (2022); elaboração própria (2022).

Tabela 32 - Dados das fontes difusas do POSH em Sidrolândia

		POSH Difuso	Área
Fontes difusas	Saneamento In Situ	Elevado	18,83 km ²
Práticas agrícolas	Soja	Moderado	2.440 km ²

Fonte: Adaptado de IBGE Cidades (2020), APROSOJA (2022), EMBRAPA (2011), Sindicato Rural de Sidrolândia (2022), elaboração própria (2022).

Figura 66 - Localização dos poços e o Índice POSH difuso em Sidrolândia



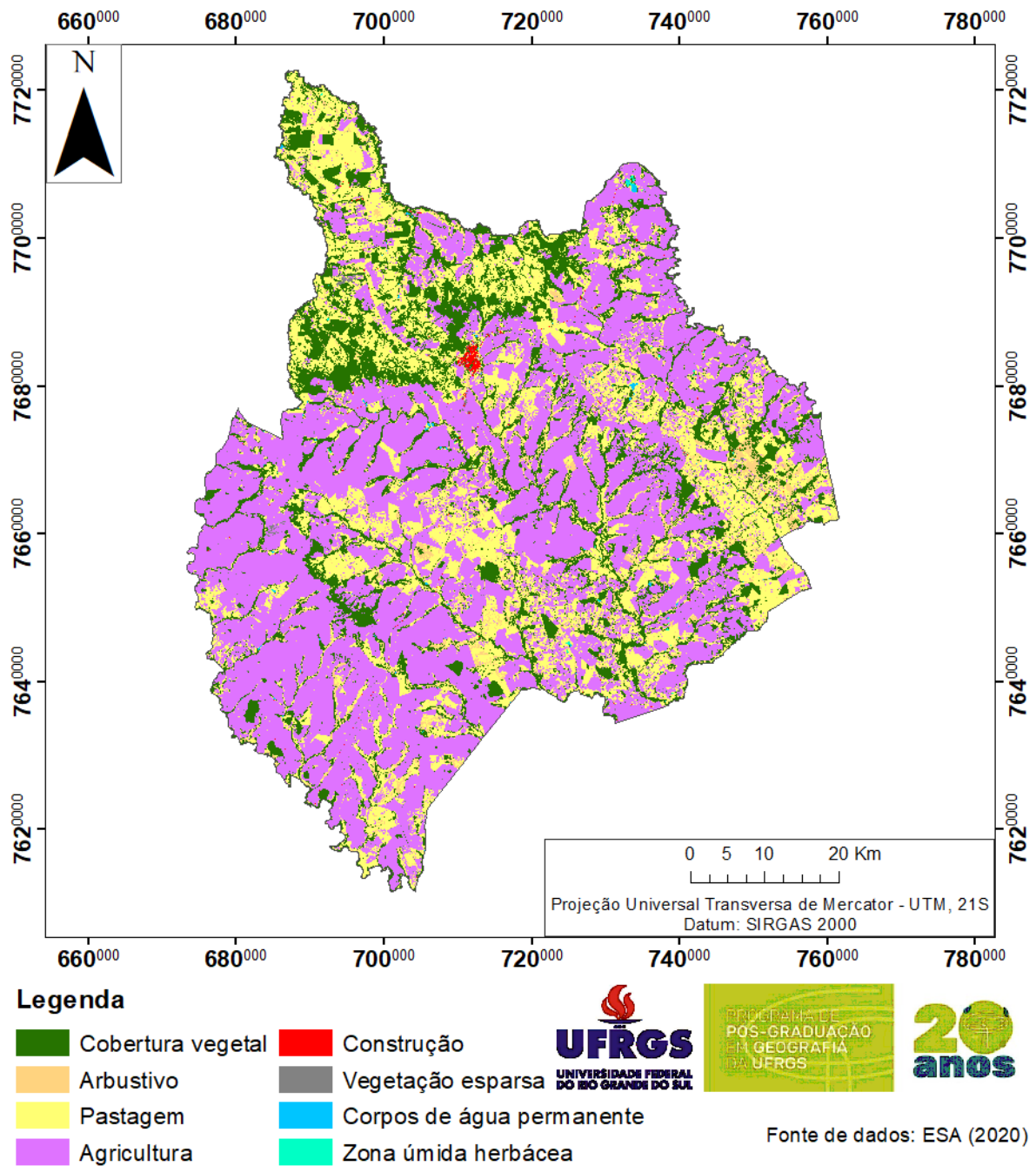
Fonte: Adaptado de APROSOJA (2022), EMBRAPA (2011), IBGE (2019), IBGE Cidades (2020) SIAGAS (2021) e Sindicato Rural de Sidrolândia (2022); elaboração própria (2022).

6.1.4 Uso e cobertura do solo

A partir do mapa de uso do solo da ESA, foi analisado o uso do solo em Sidrolândia (Figura 67 – Mapa de uso do solo de Sidrolândia), se observa, primeiramente, que grande parte do município possui uso do solo para agricultura e pastagem. A área de agricultura se apresenta em maioria, seguido por pastagens, com a cobertura verde mais esparsa, relativa à mata ciliar de córregos e rios, com exceção de um trecho a noroeste do município que é mais amplo. O mapa de uso do solo encontrou lagos e açudes de grande expressão e, a classe construções, está bem delimitada ao perímetro urbano central. Se observa também que alguns pontos com classe arbustiva se encontram associados à agricultura.

Mais da metade da área é relativo à agropecuária, sendo que zonas herbáceas úmidas e arbustivo estão associados às áreas de lavoura e dessedentação animal. Em detalhe, se observa que a classificação do solo delimitou pequenos trechos urbanos e estradas como construções, corpos da água permanente em lagos e grandes açudes próximos das áreas de agropecuária, enquanto que as zonas herbáceas úmidas estão associadas as zonas de pastagens e aos corpos da água permanentes. Se observa que em área de vegetação, cuja maioria está associada às APP, não há a delimitação das águas dos rios e córregos, a exceção está em trechos do córrego Lajedo, do rio Anhanduí, córrego Alegre e córrego São Bento. A vegetação esparsa interceptou trechos como áreas no entorno de agroindústrias, algumas estradas vicinais e trechos onde o solo aparece revolvido, associados sempre às áreas de agricultura. A agricultura corresponde a 30,7%, a pecuária possui 26,2%, a cobertura vegetal com 14,6%, classe arbustiva de 12,4%, construções com 10,9%, esparsa com 3,7% e zona herbácea com 1,5%.

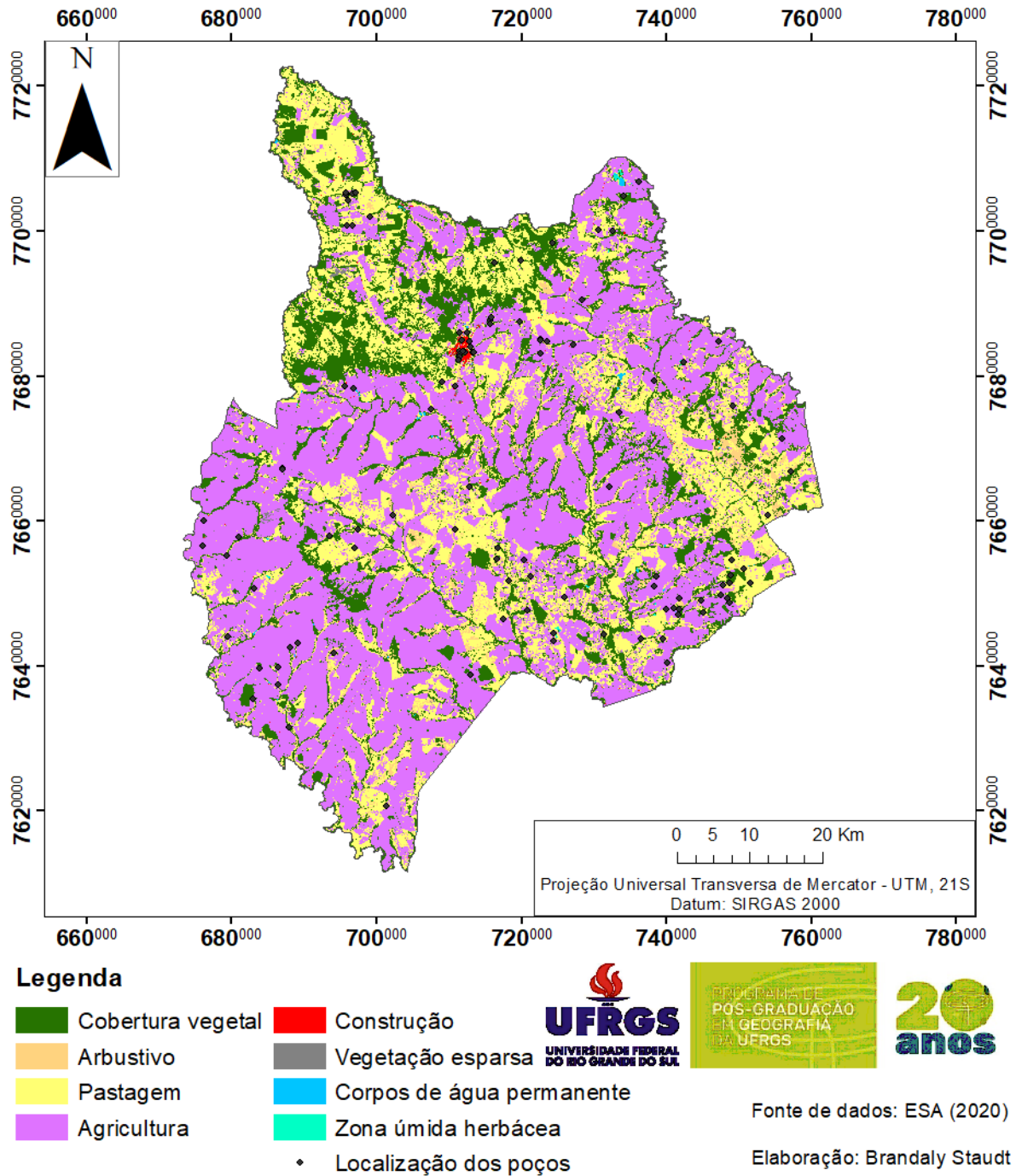
Figura 67 – Mapa de uso do solo de Sidrolândia



Fonte: Adaptado de ESA (2020), elaboração própria (2022).

A localização dos poços se encontra nas seguintes áreas de uso do solo: 41 em área de agricultura, 24 em área de pastagem, 11 em área arbustiva, 06 em cobertura vegetal, 23 em áreas de construções e 06 em vegetação esparsa (Figura 68 – Mapa de uso do solo e os poços de Sidrolândia e Tabela 33 – Uso do solo de Sidrolândia).

Figura 68 - Mapa de uso do solo e os poços de Sidrolândia



Fonte: Adaptado de ESA (2020) e SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Tabela 33 - Uso do solo de Sidrolândia

MAPA USO DO SOLO		
Classes	Área	Quantidade de poços
Agricultura	30,7%	41
Pecuária	26,2%	24
Cobertura vegetal	14,6%	6
Classe arbustiva	12,4%	11
Construções	10,9%	23
Esparsa	3,7%	6
Zona herbácea	1,5%	–

Fonte: Adaptado de ESA (2020) e SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

6.1.5 Domínios Pedomorfoagroclimáticos

Gomes *et al* (2006) delimitou os domínios pedomorfoagroclimáticos para as áreas de abrangência do aquífero Guarani, mas, como os próprios autores propõem, há a necessidade de se realizar trabalhos em escala regional, com maior grau de detalhamento. Para estes autores, os domínios são estruturados a partir da precipitação e temperatura média anuais, culturas predominantes, solos e faixas de ocorrência. Para o MS, os autores delimitaram o domínio abaixo, na região entre Pedro Gomes e Camapuã, no centro do estado e distante cerca de 230 km de Sidrolândia; a fim de conectar as informações, foi elaborada uma tabela similar para o município. Onde pode-se averiguar que para Sidrolândia – ao sul da região do alto Taquari -, a precipitação média anual e temperatura são mais elevados e, o uso do solo, é mais diversificado.

Quanto ao tipo de solo, no alto Taquari se encontra neossolos quartzarênicos, estes são profundos e porosos; assim como Sidrolândia, onde latossolos vermelhos também são porosos e profundos, porém, costumam ter alta fertilidade (AGEITEC, 2022) (Figura 69 – Domínio Pedomorfoagroclimático do Alto Taquari, MS e Figura 70 – Domínio Pedomorfoagroclimático em Sidrolândia / MS).

Figura 69 - Domínio Pedomorfoagroclimático do Alto Taquari / MS

Domínio Pedomorfoagroclimático	Solo	Culturas Predominantes	Precipitação Média Anual (mm)	Temperatura Média Anual (°C)
Alto Taquari	RQ	Pastagem nativa Pastagem cultivada	1460	23,5

Fonte: Recorte de Gomes *et al* (2006).

Figura 70 - Domínio Pedomorfoagroclimático em Sidrolândia / MS

Domínio Pedomorfoagroclimático	Solo	Culturas Predominantes	Precipitação Média Anual (mm)	Temperatura Média Anual (°C)
Região pantaneira e planaltos	Latossolo vermelho	Pastagem nativa Soja	1600	26,0

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2011), EMBRAPA (2021), IBGE Cidades (2020), IRGA (2021) e RIGEO (2009); elaboração própria (2022).

Com estas informações, Gomes *et al* (2006) distinguiram as culturas que utilizam agrotóxicos, como as culturas de cana, soja e milho; sendo que a precipitação e temperatura vão influenciar no processo de deslocamento destes químicos pelo solo. Para o estado do MS, os autores indicaram um risco baixo de contaminação, a partir dos domínios.

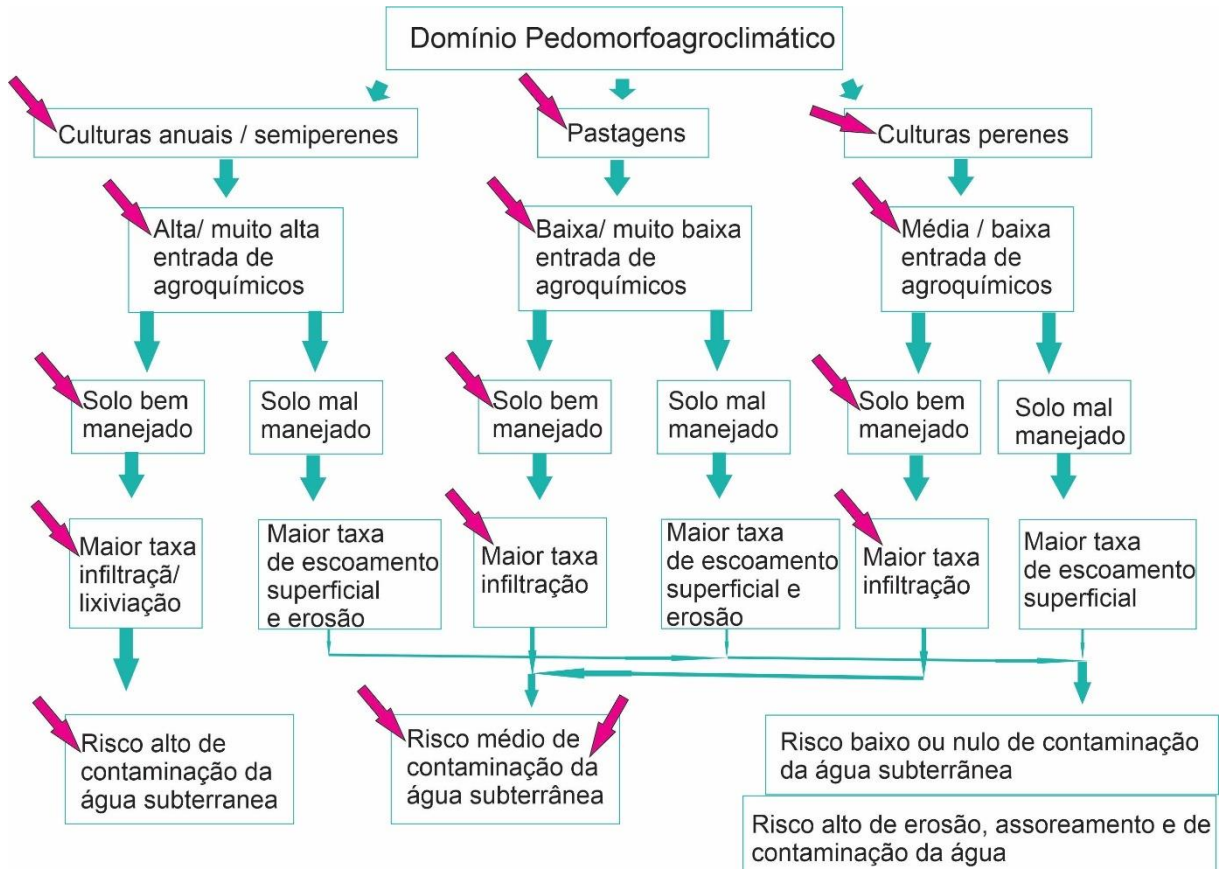
Segundo o IBGE, 32,7% do território municipal são de pastagens, 0,3% de sistemas agroflorestais e 46,5% de lavouras, destas últimas, 0,26% são áreas irrigadas (Figura 2 – Uso do território, capítulo 2); enquanto no que se relaciona ao uso de agrotóxicos, 851 estabelecimentos utilizam (cerca de ¼ do total de estabelecimentos). Para o município, o sistema de plantio direto é largamente difundido, com 63,33% das áreas de lavoura utilizando este método; apesar disto, o uso de agrotóxicos na região é habitual, com diferentes metodologias de pulverização. Enquanto ao que se refere das áreas de lavoura, a maior área são de lavouras temporárias, onde a soja é dominante em toda extensão territorial, como culturas secundárias, se encontram as da cana-de-açúcar, trigo, algodão e aveia (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018; FAMASUL, 2021; IBGE CIDADES, 2020).

Como no município grande parte da área é destinada ao plantio de soja, a maior área foi elencada como culturas anuais / semiperenes, entretanto, foi considerado as áreas de pastagens pois, segundo os dados do IBGE, estas áreas são significativas para região; como Sidrolândia possui, também, culturas permanentes, como laranja, café, mamão e a silvicultura, também se elencou as culturas perenes. Para os três parâmetros, foi caracterizado como solo bem manejado, pois em áreas de lavoura, o método do SPD é largamente disseminado, bem como, não há comentários no relatório das zonas agroecológicas do município (EMBRAPA, 2011).

Sobre um manejo ruim na lavoura, do contrário, o mesmo relatório versa sobre solos com processos erosivos em áreas de pastagens, porém, isto incorre no mesmo problema encontrado para o POSH difuso, pois não há a localização destas áreas, bem como, não há a determinação de quais fazendas possuem um manejo incorreto do solo, por conta disto, se ignorou este dado, considerando todas as pastagens como em bom estado. Na Figura 71 – Domínios Pedomorfoagroclimáticos destacados de Sidrolândia, estão destacados com as setas

rosas os tipos de culturas e pastagens encontradas, o uso de químicos em determinados tipos de solo. Com base no índice criado por Gomes *et al* (2008), o risco de contaminação da água subterrânea varia de médio a alto no município.

Figura 71 - Domínio Pedomorfoagroclimático destacados de Sidrolândia

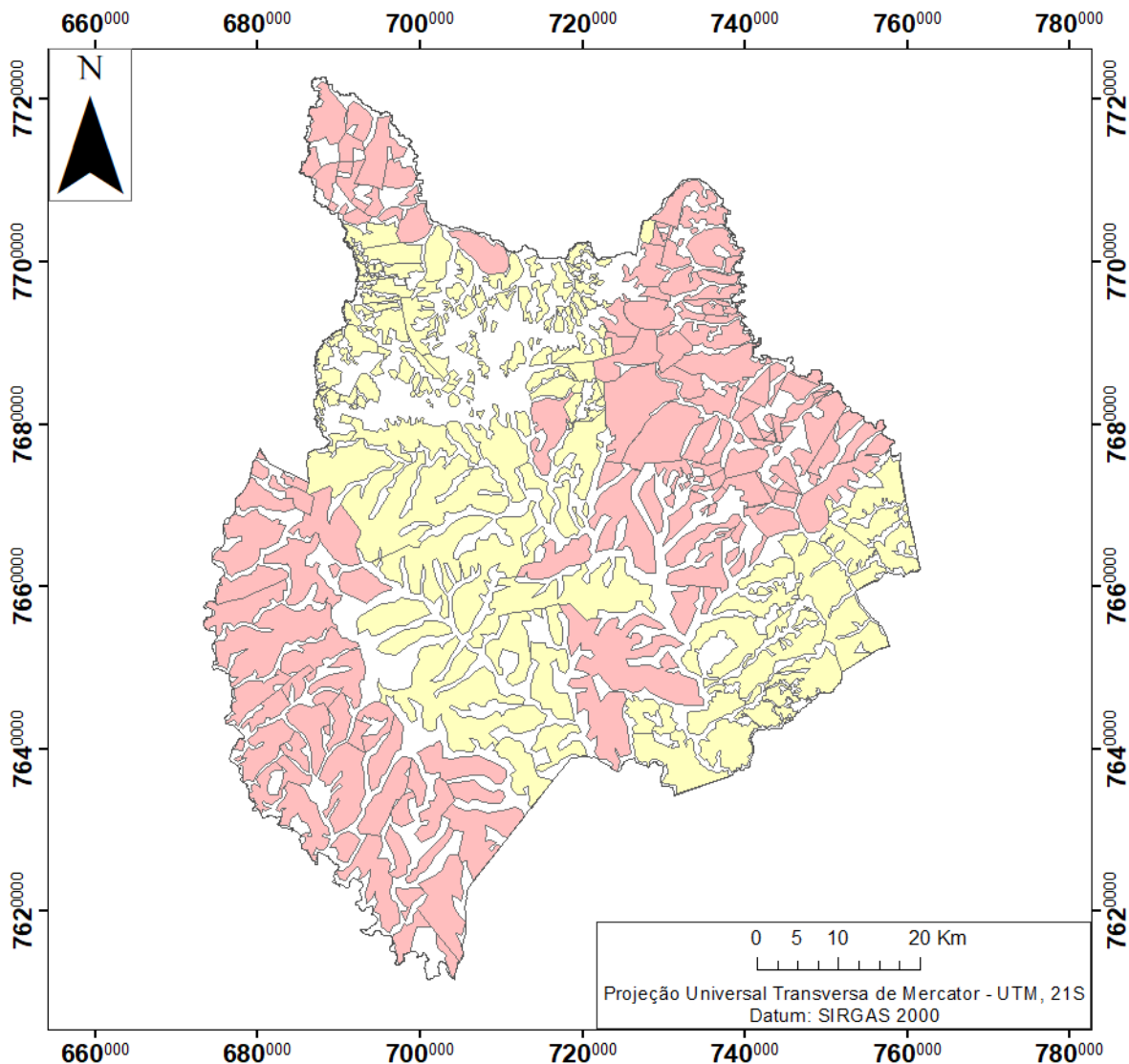


Legenda: Seta rosa indica o uso de solo, entrada de químico para cada tipo de uso, em solo bem ou mal manejado, com maior taxa de infiltração ou maior taxa de escoamento superficial e o risco de contaminação.

Fonte: Adaptado de Gomes *et al* (2008); elaboração própria (2022).

Por fim, com a sobreposição dos dados de agricultura e as imagens de satélite, se delimitou as áreas com risco de contaminação da água subterrânea a partir de fontes difusas oriundas de atividades agropecuárias (Figura 72 – Risco de contaminação por atividades agropecuárias em Sidrolândia).

Figura 72 - Risco de contaminação por atividades agropecuárias em Sidrolândia



Risco de contaminação da
água subterrânea associado
aos Domínios Pedomorfoagroclicmáticos

Legenda

- Risco médio
- Risco alto



Fonte de dados: APROSOJA (2022),
IBGE (2019), EMBRAPA (2011),
IBGE Cidades (2020) e
Sindicato Rural de Sidrolândia (2022)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de APROSOJA (2022), EMBRAPA (2011), IBGE (2019), IBGE Cidades (2020) e Sindicato Rural de Sidrolândia (2022); elaboração própria (2022).

O que se identifica, à primeira vista, é a similaridade com o mapa do POSH difuso, isto por conta dos dados utilizados, pois são levantados os dados de agricultura e pecuária já abordados. Os dados utilizados podem estar subutilizados pelos mesmos motivos do POSH difuso, a falta de detalhe sobre todos os empreendimentos que utilizam agrotóxicos, a

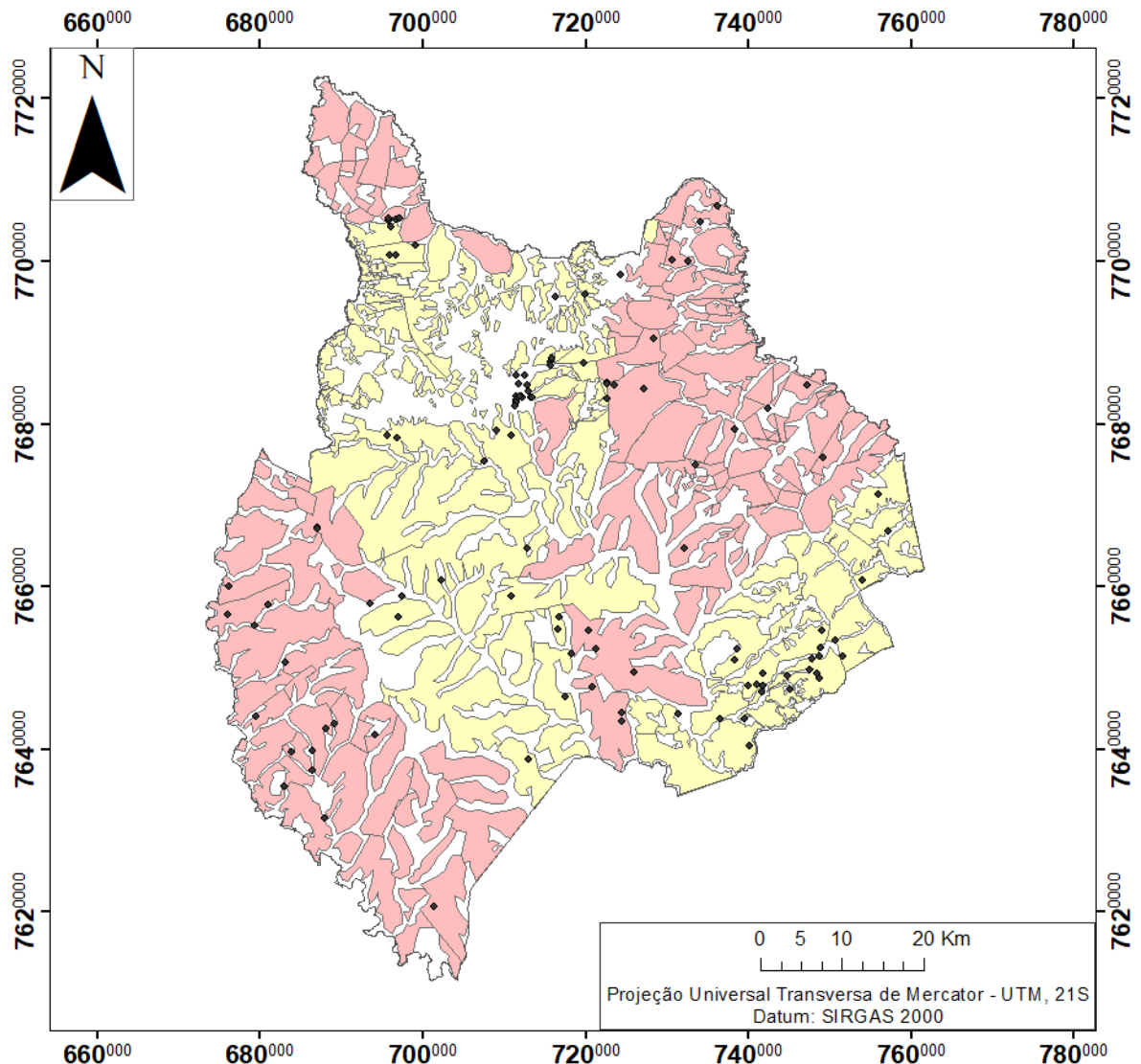
localização exata das fazendas e o desenho do seu polígono; bem como, o polígono de onde se localizam as áreas de pastagens, a fim de identificar quais estão em boas ou em más condições.

Barbosa *et al* (2011) utilizou este método em uma área em São Paulo, onde distinguiram as culturas entre anuais, perenes e semi-perenes e o mapa de uso e classificação do solo; por ser uma monocultura em solo bem manejado, eles caracterizaram a área com risco médio a alto de contaminação da água subterrânea. Os autores relacionaram estes dados com outros índices, um deles foi o POSH, sendo que os resultados do POSH para fontes difusas foram similares aos domínios pedomorfoagrocliclimáticos, assim como ocorreu em Sidrolândia.

Gomes *et al* (2008) cita que áreas de recarga de aquífero são, naturalmente, vulneráveis a contaminação e, ainda, onde os aquíferos são sedimentares, há o risco de alta suscetibilidade à erosão do solo; sendo que isto é elevado quando há o uso de agrotóxicos, o autor deu exemplo do uso intenso do solo em áreas de recarga, como no alto Taquari /MS. Tanto Barbosa *et al* (2011) quanto Gomes *et al* (2006), Gomes *et al* (2008) e Gomes (2003) estudaram aquíferos areníticos, para Sidrolândia foi-se adotado os mesmos parâmetros, porém, parte significativa da área possui aquífero basáltico. Um estudo detalhado dos lineamentos da região traria um maior grau de detalhamento dos locais onde o risco é maior, pois o aquífero basáltico se comporta de forma diferente ao arenítico, podendo se comportar de maneira confinada a livre, a depender dos lineamentos.

Dos poços cadastrados, 67 deles se encontram em áreas de risco médio de contaminação por atividades agropecuárias e 44 deles em risco alto de contaminação da água subterrânea (Figura 73 – Localização dos poços e o Risco de contaminação por atividades agropecuárias em Sidrolândia).

Figura 73 - Localização dos poços e o Risco de contaminação por atividades agropecuárias em Sidrolândia



Risco de contaminação da
água subterrânea associado
aos Domínios Pedomorfoagroclimáticos

Legenda

- Risco médio
- Risco alto
- Localização dos poços



Fonte de dados: APROSOJA (2022),
IBGE (2019), EMBRAPA (2011),
SIAGAS (2021), IBGE Cidades (2020) e
Sindicato Rural de Sidrolândia (2022)
Elaboração: Brandaly Staudt

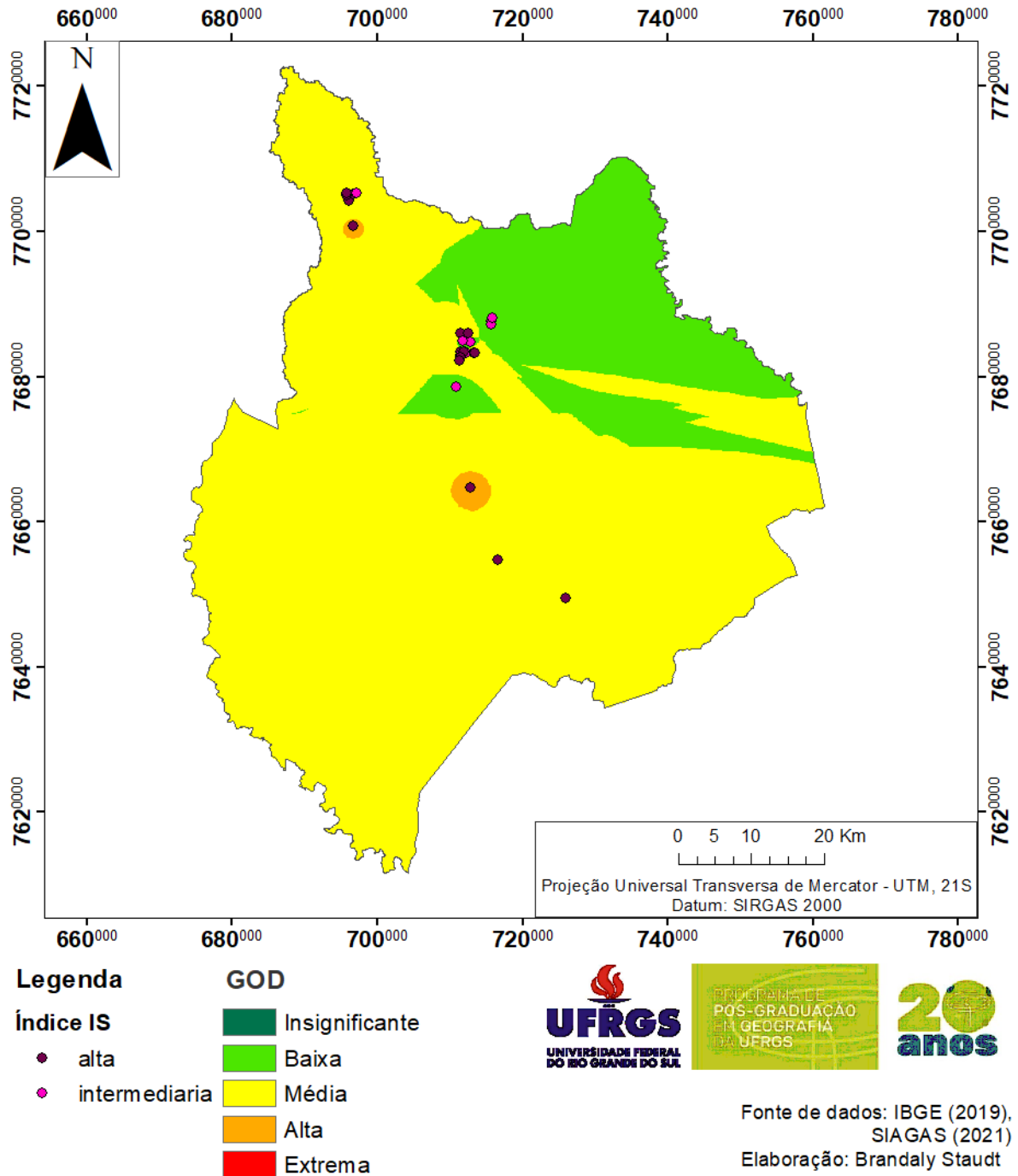
Fonte: Adaptado de APROSOJA (2022), EMBRAPA (2011), IBGE (2019), IBGE Cidades (2020), SIAGAS (2021) e Sindicato Rural de Sidrolândia (2022); elaboração própria (2022).

6.1.6 Comparação entre os índices de vulnerabilidade

Com a sobreposição dos dados de GOD e IS, se observou que em áreas com GOD nas classes baixa e insignificante, se encontrou o IS na classe intermediária; e onde o GOD estava nas classes média e alta, se encontrou a classe alta no IS (Figura 74 – Relação de GOD e IS em Sidrolândia).

Em detalhe, três poços com GOD baixo, estão com IS alto (3500022806, 3500022808, 3500022809), o primeiro dele está no distrito de Quebra Coco e os outros dois na sede municipal, com abastecimento urbano privado; estes possuem valores de IS maiores com os parâmetros mais elevados de litologia do aquífero, declividade e uso do solo; estes parâmetros diferem dos parâmetros do GOD. Um poço com índice GOD alto se encontra com IS intermediário (3500027274), se encontra na área urbana e é utilizado para abastecimento urbano público, neste poço, a topografia é mais elevada, o valor de uso do solo é igual aos poços citados e os outros parâmetros possuem valores menores no IS; enquanto no GOD o índice alto se deve ao tipo de aquífero livre com cobertura de basalto. Em âmbito geral, os índices GOD e IS coincidem.

Figura 74 - Relação de GOD com o IS em Sidrolândia

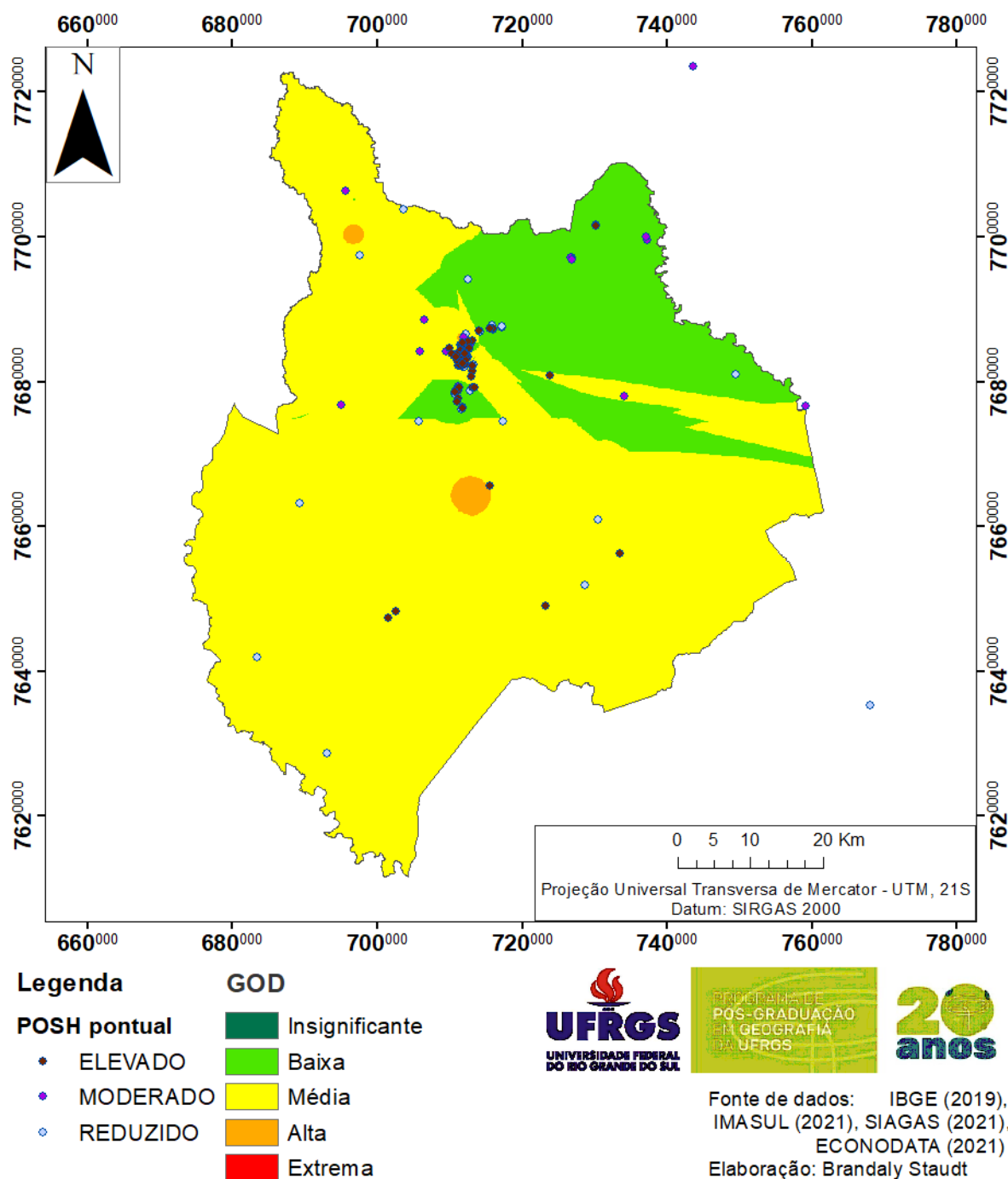


Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Quanto a relação entre os Índices GOD e POSH para fontes pontuais, a área urbana onde se concentram a maioria dos empreendimentos, estes se encontram na classe média do GOD, enquanto no IS intercalam entre o elevado e o intermediário. Dos empreendimentos com classificação elevada no POSH, 16 se encontram na área com índice GOD baixo, um empreendimento elevado se encontra no índice GOD alto e o restante está no GOD médio, 63.

Quanto ao POSH moderado, este se encontra em todas as categorias do índice GOD; com um na classe insignificante, três na alta, 26 na classe baixa e 76 na média. A classe reduzida no POSH também se encontra em todas as classes do índice GOD, estando 01 na classe insignificante, 31 na baixa, 01 na alta e 59 na média (Figura 75 – Relação GOD e POSH pontual em Sidrolândia).

Figura 75 -- Relação GOD e POSH pontual em Sidrolândia



Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), ECONODATA (2021) e IMASUL (2021); elaboração própria (2022).

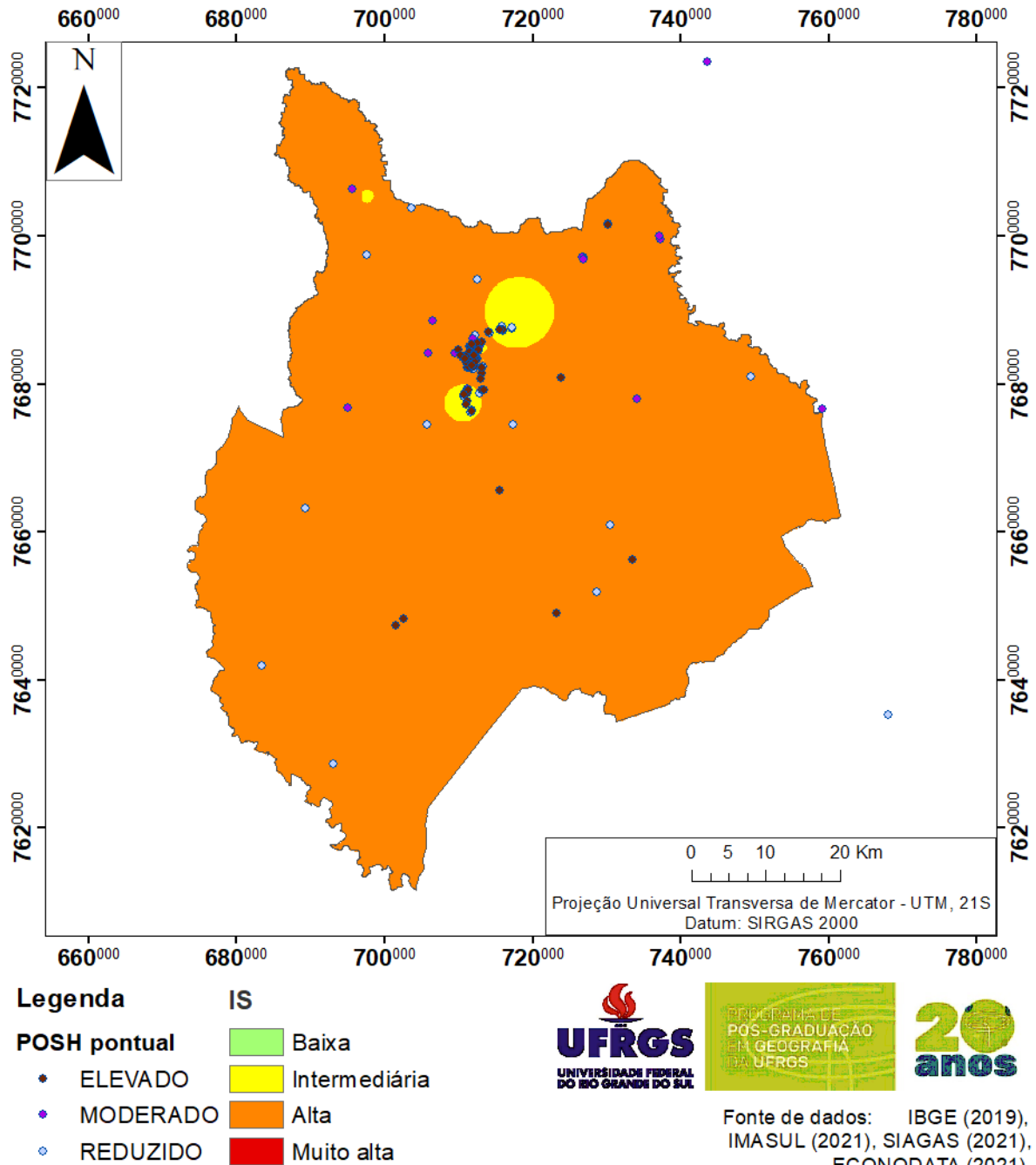
Relacionando o IS ao POSH, se observa que o uso do solo intenso na região eleva o valor do IS; e, onde este uso é elevado, há, também, uma pressão com as grandes quantidades de empreendimentos poluidores de classe elevada. Inclusive na área urbana, onde há as duas classes, há uma grande pressão, com grandes quantidades de empreendimentos e de classes elevadas. Como o IS possui o parâmetro uso do solo, este traria resultados similares, inclusive, aos valores do POSH pontual, pois na maioria dos locais onde possui a classe do POSH elevada o IS também é alto. Porém, há locais onde a classe do IS é intermediário e o POSH é elevado, isto se deve pelos fatores intrínsecos do aquífero, como tipo de solo, profundidade até a zona saturada e topografia (Figura 76 – Relação do IS com o POSH pontual em Sidrolândia e Tabela 34 – Relação empreendimentos no POSH, GOD e IS em Sidrolândia).

Tabela 34 - Relação empreendimentos no POSH, GOD e IS em Sidrolândia

POSH	GOD	IS
Elevado	16 baixo	50 intermediária
	63 médio	30 alta
	01 alto	
Moderado	01 insignificante	44 intermediária
	26 baixo	62 alta
	76 médio	
	03 alto	
Reduzido	01 insignificante	54 intermediária
	31 baixo	38 alta
	59 médio	
	01 alto	

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), ECONODATA (2021), IMASUL (2021) e IBGE Cidades (2020), elaboração própria (2022).

Figura 76 - Relação IS e POSH pontual em Sidrolândia

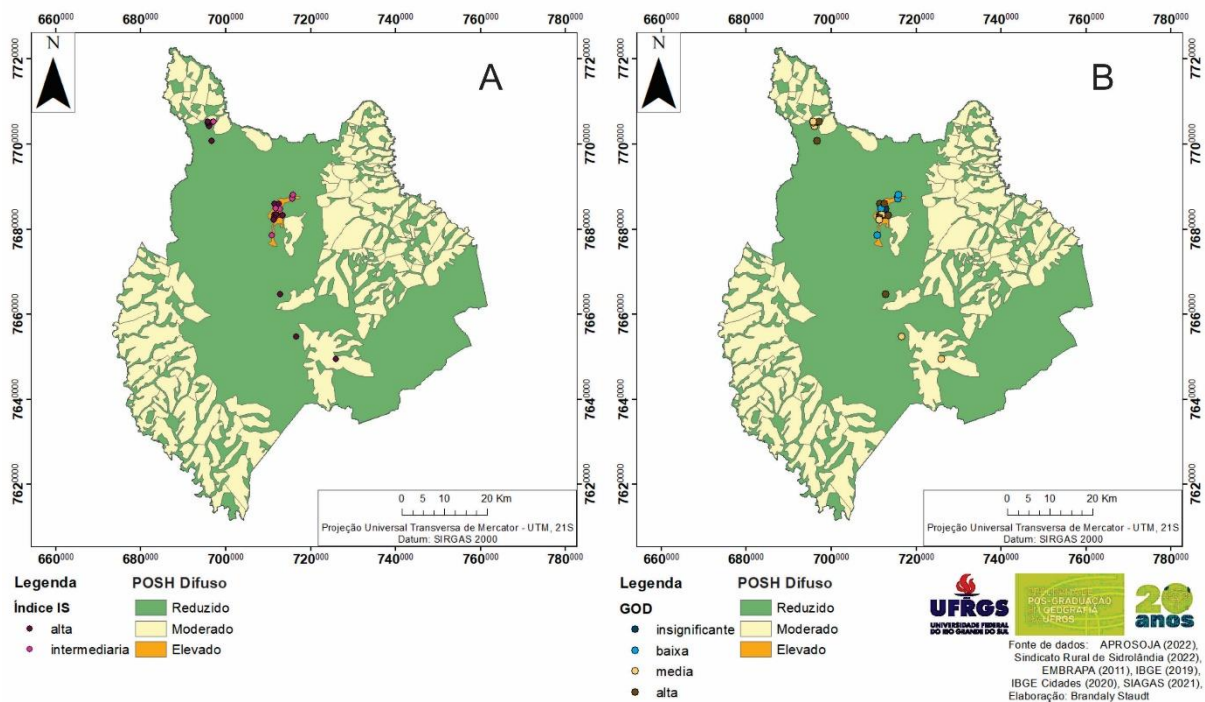


Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), ECONODATA (2021) e IMASUL (2021); elaboração própria (2022).

O que se constata, a partir da relação entre os índices de susceptibilidade e o POSH difuso, que onde encontra-se o POSH elevado, há o IS alto e intermediário, contudo, muitos pontos com IS alto se localizam em áreas de risco difuso reduzido. Com relação ao GOD, as classes insignificante e baixa se localizam em área de risco elevado de contaminação difusa, em contrapartida, onde o GOD é médio e alto, o risco de contaminação difusa é, em maioria, reduzido. Isto indica que segundo parâmetros intrínsecos do aquífero ele possui uma

vulnerabilidade média a alta onde o risco de contaminação difusa é baixo; há menor pressão do uso do solo em locais onde o aquífero possui características próprias que o tornam mais vulnerável. Em contraposição à área urbana, onde os parâmetros intrínsecos de vulnerabilidade do aquífero é baixo, porém, o risco de contaminação por fontes difusas é alto, pois há maior pressão com o uso do solo (Figura 77 – Relação POSH Difuso e IS (a) / relação POSH Difuso e GOD (b) em Sidrolândia).

Figura 77 - Relação POSH difuso e IS (a) / POSH difuso e GOD (b) em Sidrolândia



Fonte: Adaptado de APROSOJA (2022), EMBRAPA (2011), IBGE (2019), IBGE Cidades (2020), SIAGAS (2021) e Sindicato Rural de Sidrolândia (2022); elaboração própria (2022).

Cutrim & Campos (2010) utilizaram a relação entre os índices GOD e POSH para averiguar a vulnerabilidade e risco de contaminação em Rondonópolis (MT), onde indicaram as fontes de contaminação como urbana, porém, um dado importante é a indicação de exploração de águas subterrâneas sem a estrutura técnica adequada, o que traz um passivo que a longo prazo pode se agravar. O mesmo tende a ocorrer na maioria dos locais, onde poços do tipo cacimba também podem vir a ser construídos de forma incorreta, acarretando numa possível contaminação.

Pontes (2009) elaborou sua dissertação na região do campus da UFMS em Campo Grande, onde elaborou os índices GOD e DRASTIC para região; para o DRASTIC, ela utilizou os valores de recarga da literatura, também se percebe a baixa declividade do terreno. No campus, há predominância do aquífero basáltico, que a autora classificou como livre em toda

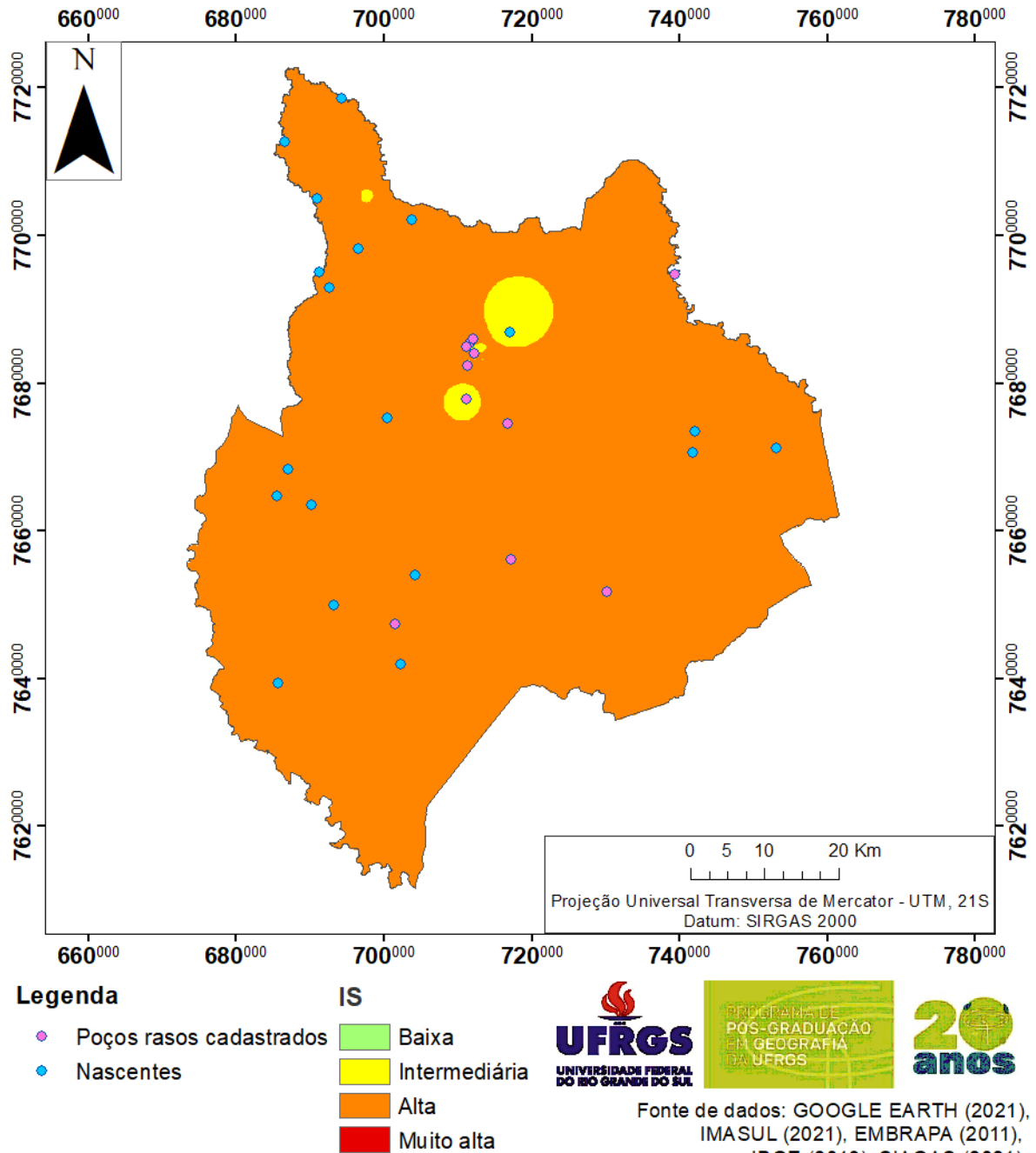
sua extensão, sem considerar a camada de basalto, apesar de, na maioria dos poços estudados, a camada basáltica possuir no máximo 20 m. Neste sentido, muitos dados coincidem para o município de Sidrolândia, porém, por conta da diferença na espessura das camadas basálticas, é ponderado a espessura destas camadas.

Pontes (2009) discute um fato muito importante, sobre a disposição dos poços e escala de trabalho, sobre como a má disposição dos poços pode levar a erros de interpretação, bem como, da importância de uma rede de monitoramento, ela trabalhou com um poço para cada 10 hectares; neste sentido, Sidrolândia possui uma média de 1 poço - com dados construtivos - para cada 19.500 ha, sendo que a disposição destes poços não é uniforme; o que indica que os dados para a cidade, bem como os resultados, podem estar subestimados.

Por fim, a mesma dissertação indicou um fluxo da água subterrânea do campus da UFMS em direção ao sul e sudoeste, assim como indicou Lastoria *et al* (2006) para Campo Grande, onde a água segue em sentido a Sidrolândia. Para o Campus da UFMS os índices GOD e DRASTIC indicaram classes similares (PONTES, 2009), bem como, para o município as classes dos índices GOD e IS também foram similares.

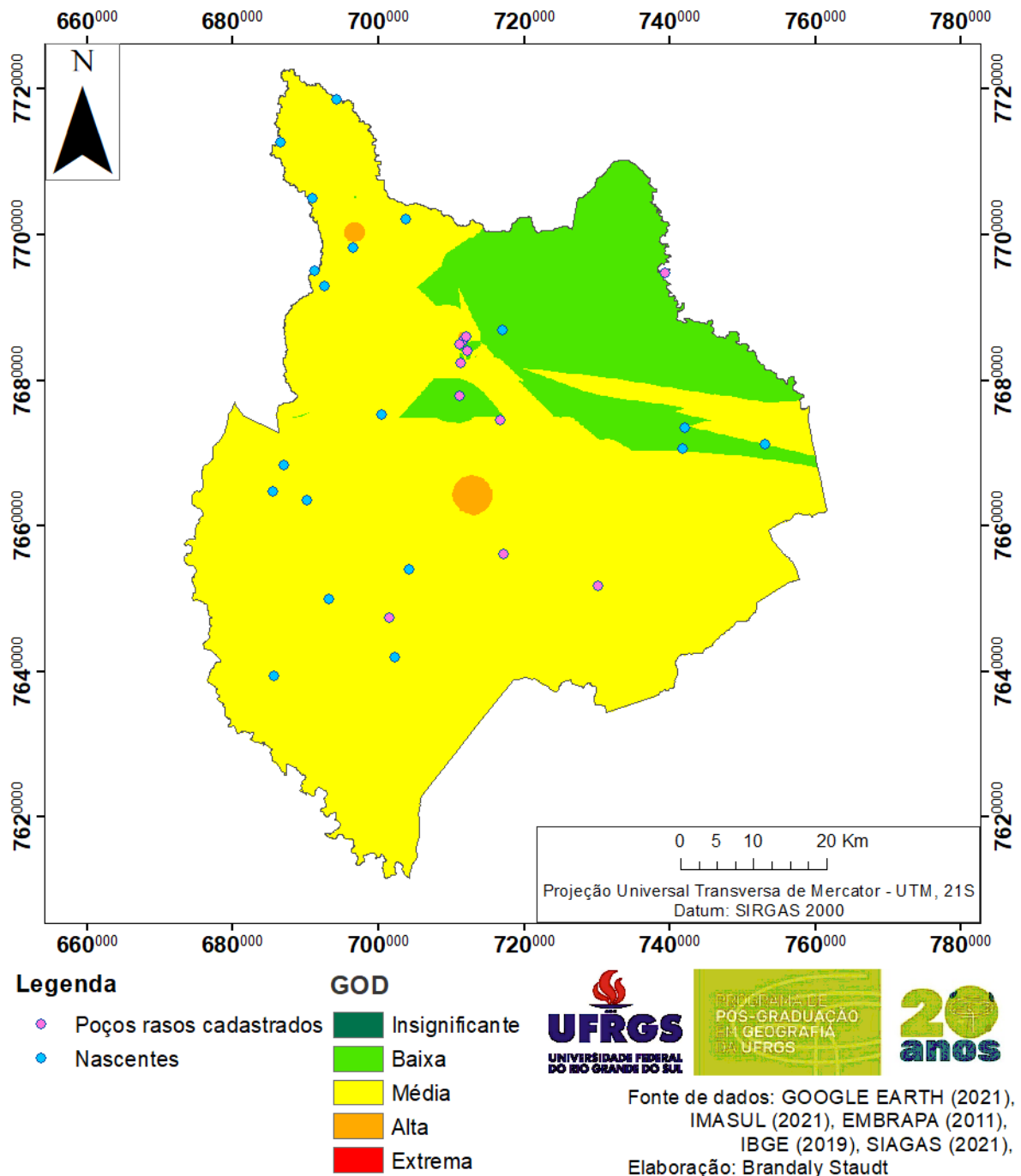
Do índice IS, 04 dos poços rasos se encontram na classe intermediária e a restante alta, 07. Enquanto das áreas de nascente, apenas 01 se encontra na classe intermediária, as outras 18 se encontram na classe alta do IS. Do índice GOD, 02 dos poços rasos se encontram na classe baixa, 09 média e 01 na classe alta. Enquanto das áreas de nascente, 04 se encontram na classe baixa e os outros 15 na média (Figura 78 – Relação entre o IS e poços rasos e nascentes em Sidrolândia e Figura 79 – Relação entre o GOD e poços rasos e nascentes em Sidrolândia).

Figura 78 - Relação entre o IS e poços rasos e nascentes em Sidrolândia



Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2011), IMASUL (2021), SIAGAS (2021), GOOGLE EARTH (2021) e IBGE (2019); elaboração própria (2022).

Figura 79 – Relação entre o GOD e poços rasos e nascentes em Sidrolândia

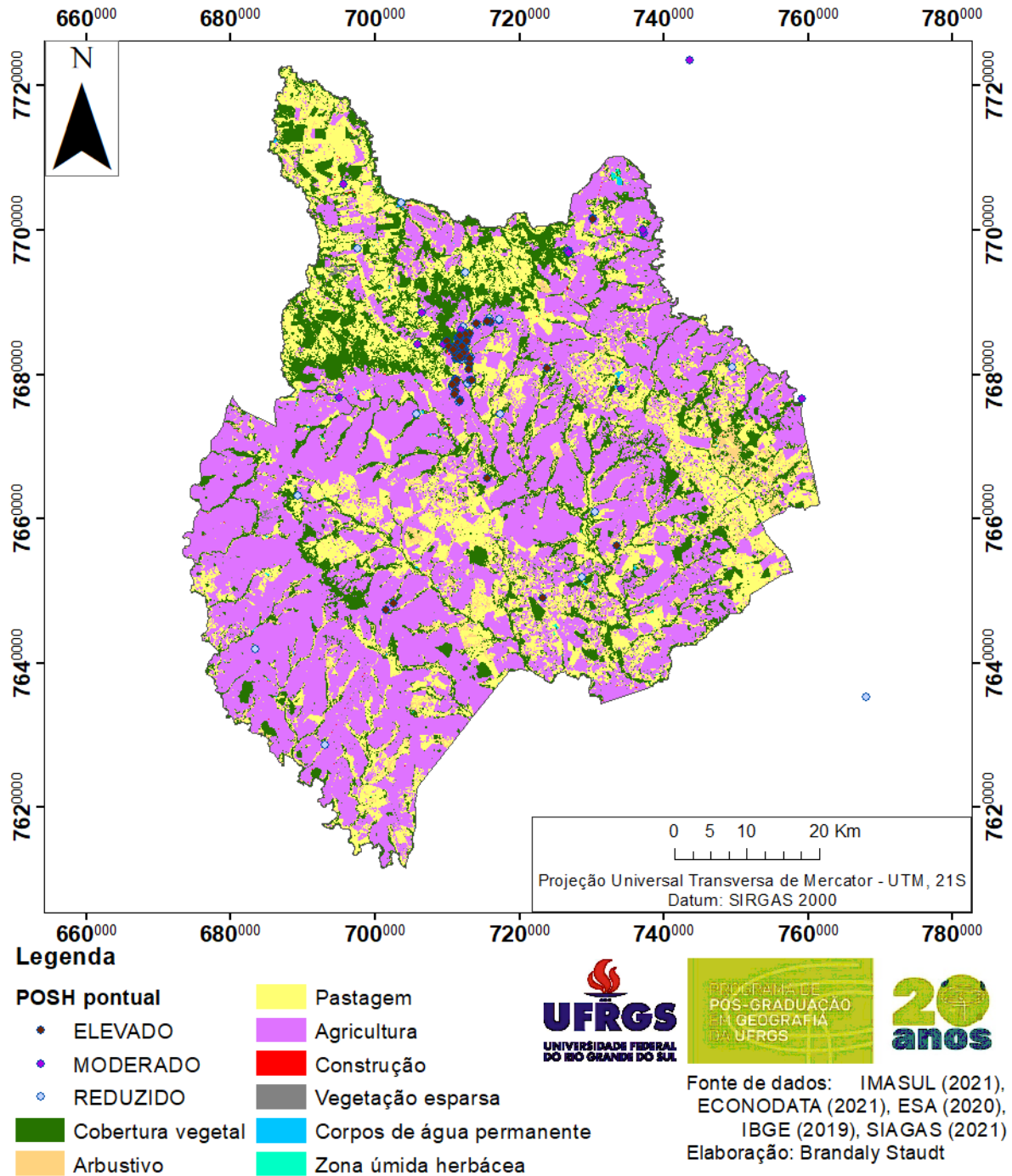


Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2011), IMASUL (2021), SIAGAS (2021), GOOGLE EARTH (2021) e IBGE (2019); elaboração própria (2022).

A relação entre o mapa de uso e ocupação do solo e o índice POSH pontual, indica que a maioria dos empreendimentos se encontram em áreas de construções, porém, estes empreendimentos estão relacionadas às atividades agropecuárias. O município se relaciona, em maioria, com as atividades agropecuárias, seja na quantidade de oficinas mecânicas voltadas ao conserto de caminhões, as indústrias e oficinas de engenharia voltadas à manutenção de

estruturas voltadas a armazenagem de grãos, fertilizantes ou agrotóxicos, bem como, atividades envolvidas diretamente com a agropecuária, como a criação e abate de animais. Outras atividades que se relacionam são a grande quantidade de postos de gasolina na região, assim como de agroindústrias voltadas a produção de alimentos; outra questão vinculada está no transporte de produtos perigosos e o transporte de produtos gerados pelas atividades elaboradas na área rural (Figura 80 – Relação uso do solo e POSH em Sidrolândia e Tabela 35 – Relação entre uso do solo e POSH pontual em Sidrolândia).

Figura 80 - Relação uso do solo e POSH pontual em Sidrolândia



Fonte: Adaptado de ESA (2020), ECONODATA (2021) e IMASUL (2021); elaboração própria (2022).

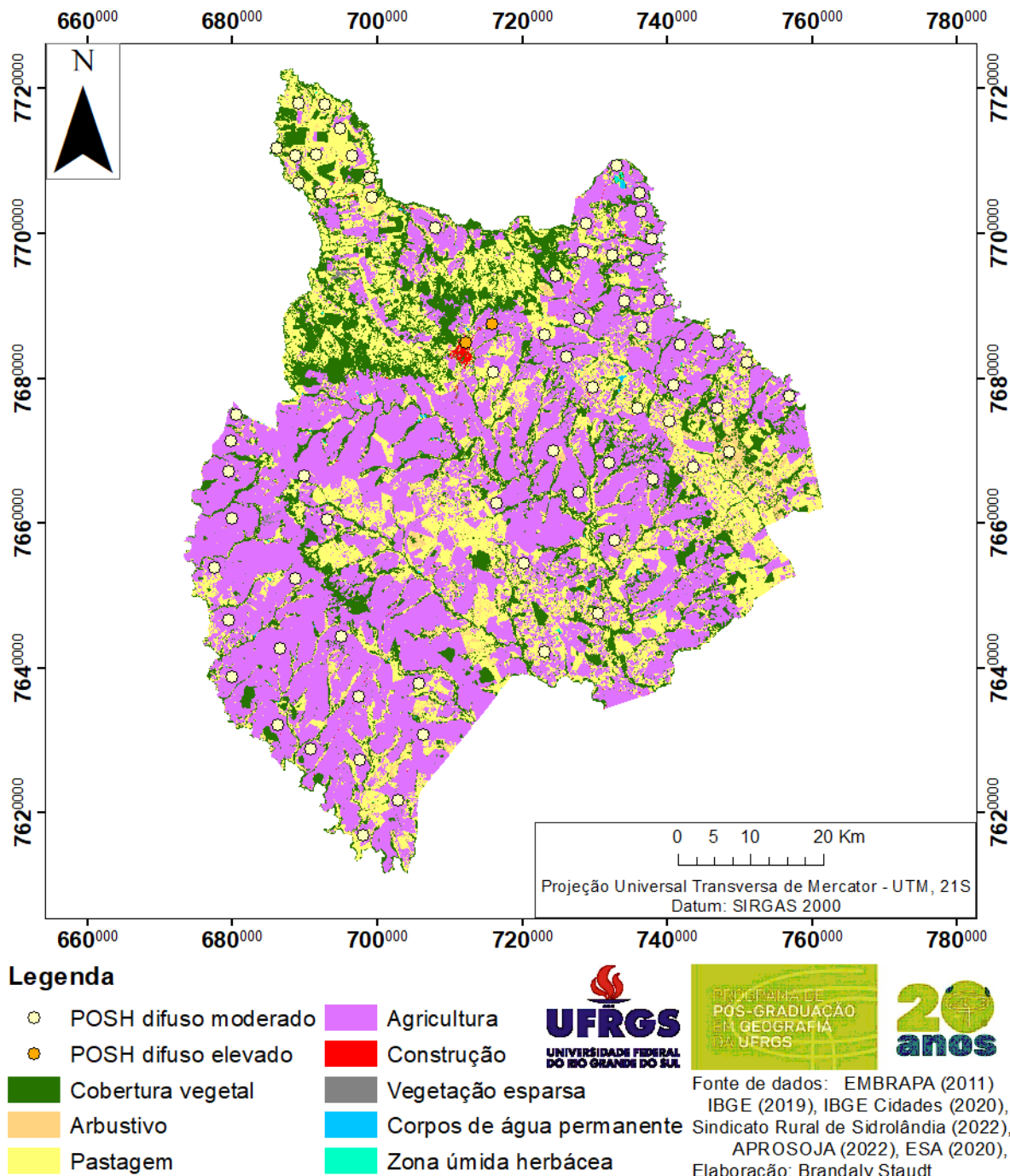
Tabela 35 - Relação entre uso do solo e POSH em Sidrolândia

Reduzido	Total	92
	Construções	65
	Agricultura	9
	Pastagens	8
	Vegetação esparsa	8
	Arbustivo	2
Moderado	Total	106
	Construções	93
	Áreas esparsas	6
	Pastagens	5
	Agricultura	2
Elevado	Total	80
	Construções	67
	Pastagens	6
	Vegetação esparsa	5
	agricultura	1
	Arbustivo	1

Fonte: Adaptado de ESA (2020), ECONODATA (2021) e IMASUL (2021); elaboração própria (2022).

Relacionando o mapa de uso do solo ao mapa do índice POSH para fontes difusas, o que se pode averiguar é a correspondência entre a classe construção com a classe elevada vinculada a sede municipal; outras áreas de construções se localizam em áreas difusas moderadas. Áreas de agricultura se localizam, de maneira geral, onde a contaminação difusa é moderada. Já as áreas de pastagens se encontram em áreas difusas moderadas e reduzidas, estando a maioria na reduzida. As áreas de vegetação e água se encontram em algumas porções na contaminação difusa moderada, porém, a maioria está na reduzida (Figura 81 – Relação entre uso do solo e POSH difuso em Sidrolândia).

Figura 81 - relação do uso do solo e POSH difuso em Sidrolândia



Fonte: Adaptado de ESA (2020), APROSOJA (2022), EMBRAPA (2011), IBGE Cidades (2020) e Sindicato Rural de Sidrolândia (2022); elaboração própria (2022).

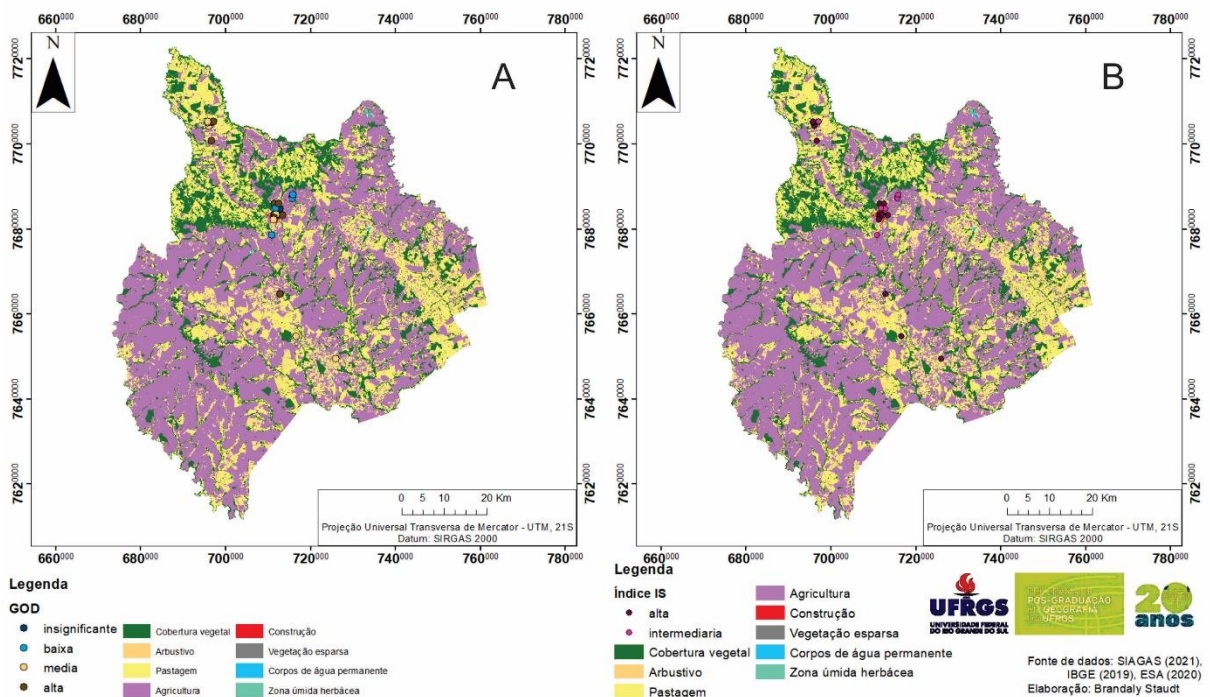
Em relatório elaborado para o município, indicou que 90% das terras já estão antropizadas, sendo que 10% apresentam sua cobertura original (EMBRAPA, 2011); neste sentido, o mapa de uso do solo indicou 85,4% do solo antropizado. Pelo relatório da EMBRAPA (2011) as zonas recomendadas para agricultura intensiva são as mesmas em que o mapa de uso do solo classificou como agricultura; a zona agroecológica recomendada para agricultura semi-

intensiva se encontra como áreas de agricultura e pecuária. Enquanto as zonas recomendadas para pastagem especial (EMBRAPA, 2011) são aquelas elencadas como pastagens no mapa de uso do solo. Porém, as zonas agroecológicas recomendadas para pastagem especial, conservação dos recursos naturais e para recuperação ambiental, são aquelas em que estão as áreas de vegetação e água pelo mapa de uso do solo.

Se observa que em áreas de construções há a maioria dos poços cadastrados no município, onde se encontram a maioria dos empreendimentos que possuem potencial poluidor. Nas regiões de construções há uma pressão maior ao sistema; em contrapartida, pelos parâmetros intrínsecos ao meio biótico, a região apresenta vulnerabilidade média, visto no GOD, enquanto que no IS a vulnerabilidade destas áreas de construções varia de intermediária a alta, pois este índice leva em consideração os parâmetros próprios da geologia bem como o uso destas áreas.

Pelo índice GOD, as áreas com predominância de agricultura e pecuária possuem o índice variando de insignificante, baixo, médio e alto; isto acontece pois leva em consideração padrões apenas do meio aquífero e não sua relação com o ambiente. Pelo índice de susceptibilidade, as áreas de agricultura e pecuária se encontram com a classe alta, isto acontece porque o índice possui o parâmetro de uso do solo, onde classifica os tipos de cultura existente (permanente e temporária) com valores elevados (Figura 82 - Mosaico do mapa de uso do solo com os índices GOD e IS em Sidrolândia).

Figura 82 - Mosaico do mapa de uso do solo com os índices GOD (a) e IS (b) em Sidrolândia



Fonte: Adaptado de ESA (2021) e SIAGAS (2021); elaboração própria (2022).

Por fim, considerando-se o IS, as áreas com classe intermediária são vulneráveis, pois, parte se encontram em área urbana, onde se encontram grandes quantidades de empreendimentos de classe POSH elevado. Enquanto que o restante da área municipal, com classe IS alta, se encontram inúmeros empreendimentos de classe moderada e elevada.

Ainda, se considerarmos o POSH difuso, algumas áreas de agricultura e pecuária exercem pressão demasiada sob o solo, trazendo vulnerabilidade às águas subterrâneas, as áreas com classe moderada do POSH são as mesmas apresentadas como alto no IS, enquanto no GOD estas áreas variaram entre média e baixa.

Manzano (2018) evidenciou que o uso de água subterrânea abastece praticamente metade da população de Campo Grande, onde encontrou elevado valor de nitrato para águas dos poços do SAB e do SASG. A autora também encontrou valores similares aos de Sidrolândia para as vazões das águas dos poços.

Arruda (2017) em sua dissertação também analisou a vulnerabilidade intrínseca através do GOD e AVI (Índice de Vulnerabilidade do Aquífero), onde indicou resultados similares entre os dois parâmetros; o autor identificou o parâmetro profundidade do nível freático como determinante para vulnerabilidade, bem como para Sidrolândia. Batista *et al* (2017) utilizou o índice GOD para APA do Córrego Guariroba, em Campo Grande, onde indicou a vulnerabilidade média e alta; neste trabalho os autores encontraram o aquífero livre do SAB;

nesta APA vigoram alguns programas de incentivo à práticas conservacionistas, porém, o estudo indica que cerca de 80% da área é utilizada para pastagens; além da boa capacidade de infiltração, a distância até o lençol freático é baixa, o que aumenta a vulnerabilidade natural; assim como em Sidrolândia. O que se pode averiguar com relação aos estudos elaborados para o município de Campo Grande, é que, naturalmente, toda a região já possui uma classe média a alta de vulnerabilidade à contaminação, oriunda das características intrínsecas do aquífero. Com o uso acentuado para agropecuária e atividades poluidoras de elevado grau, além de uma vulnerabilidade média a alta, se aumenta o risco de contaminação, variando de média a alto, caso não sejam tomadas medidas de cuidado para proteção do solo e das águas subterrâneas.

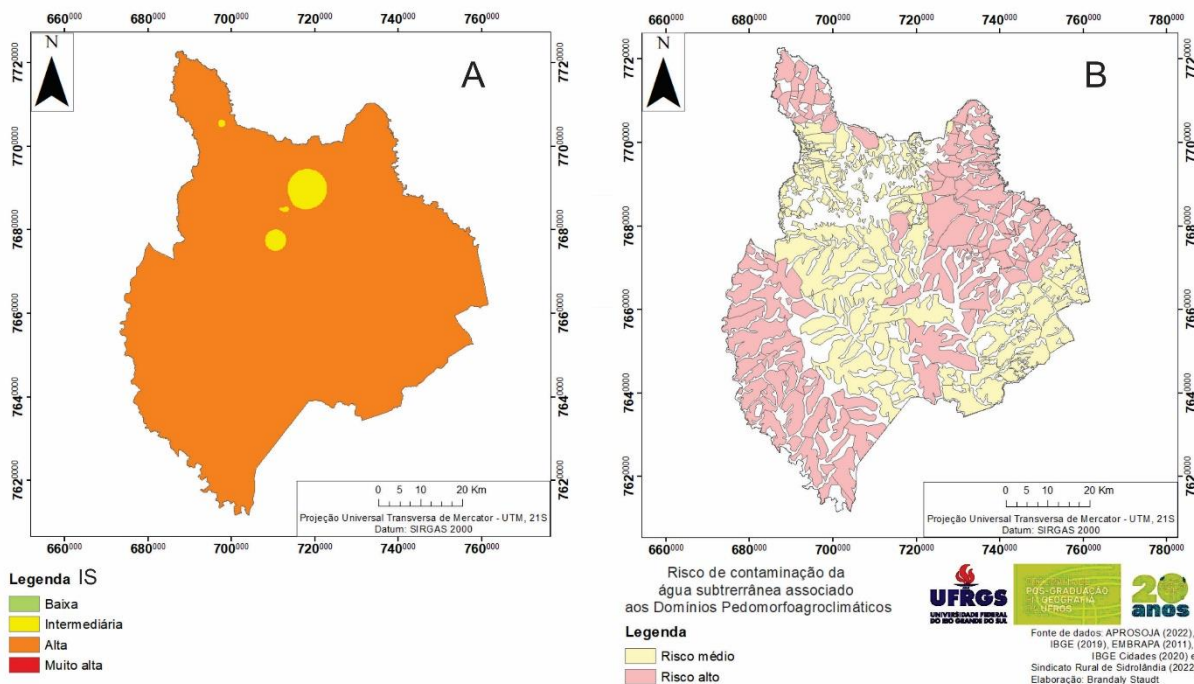
Em outra região, Borba *et al* (2020), utilizou o IS para avaliar a vulnerabilidade a contaminação, onde indicou que áreas próximas a centros urbanos apresentaram os valores mais elevados, bem como, poços mais rasos são os que possuem maior valor de IS; isto ocorre de forma semelhante em alguns poços de Sidrolândia, e como pode ser visto, a profundidade é determinante na caracterização, assim como, o uso do solo no IS é um parâmetro que torna este índice tão eficiente.

Barbosa *et al* (2011) avaliou o perigo de contaminação por atividades agrícolas, para isto, os autores utilizaram os índices GOD, POSH e os domínios pedomorfoagroclicmáticos. Como para a região que os autores pesquisaram, há monoculturas em clima úmido, eles elencaram elas com potencial elevado de contaminação pelo POSH difuso. Pela proposta de Gomes *et al* (2008), os autores classificaram com risco alto a médio de contaminação por conta das práticas de manejo do solo bem drenado. Este estudo foi regional para São Paulo, sendo que os autores destacam a importância de estudos de detalhe. Por conta da grande área de abrangência, os autores propuseram colocar praticamente todas as áreas de cultura como risco elevado; diferente de Sidrolândia, onde se delimitou as áreas agrícolas de soja; porém, para o município, como não se tem dados exatos do uso de agroquímicos, se colocou a área com risco moderado de contaminação pelo POSH. Os autores orientam que os cenários mais graves são aqueles onde as atividades que geram carga contaminante elevada ocorre em áreas de vulnerabilidade alta de aquífero; por fim, os autores citaram a importância de se adicionar o saneamento in situ para o estudo de fontes difusas de contaminação; assim como foi elaborado para Sidrolândia.

Relacionando os dados do IS aos dados dos domínios pedomorfoagroclicmáticos, se observa que as áreas com as classes mais altas coincidem, nos dois índices; como o IS considera o uso do solo, este parâmetro foi determinante para a similaridade dos índices (Figura 83 - Relação entre o IS e o risco de contaminação através dos domínios pedomorfoagroclicmáticos

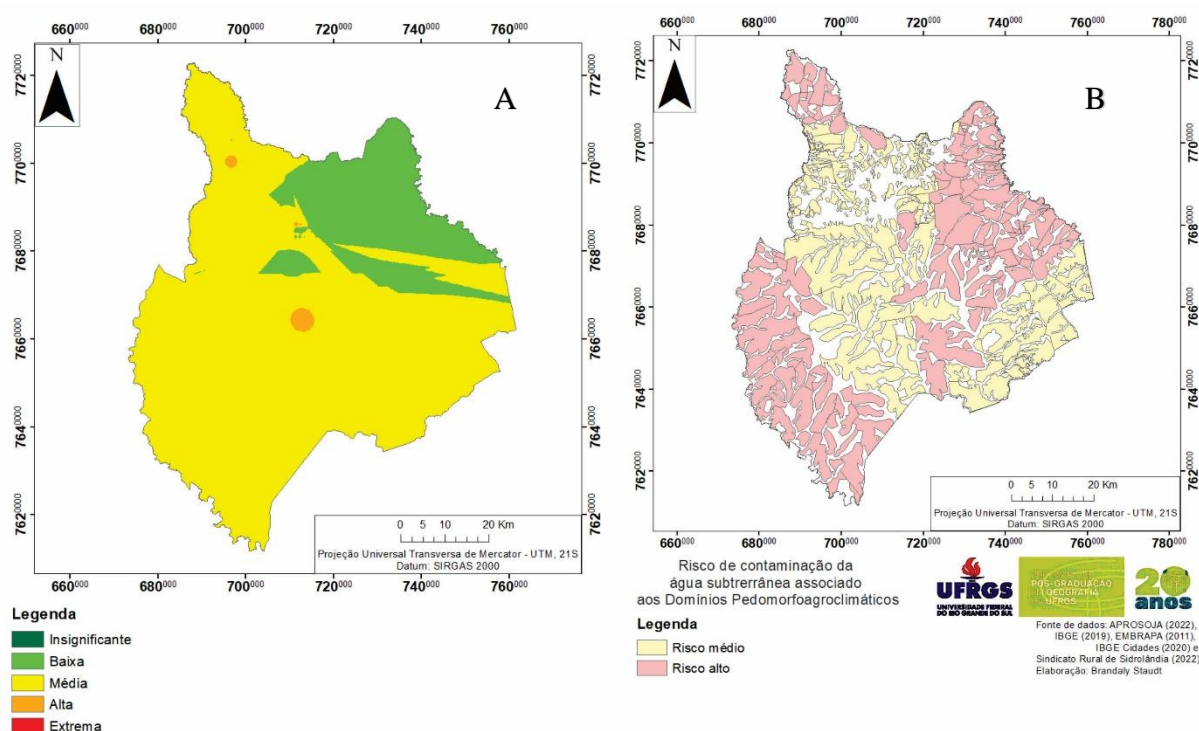
em Sidrolândia). Quando se relaciona o índice GOD, de vulnerabilidade intrínseca ao aquífero, aos dados dos domínios Pedomorfoagroclimáticos, de risco de contaminação a partir de fontes agrícolas; se observa que, os locais com risco alto de contaminação da água subterrânea, possuem uma vulnerabilidade média e baixa; e os locais onde a vulnerabilidade natural é alta, o risco de contaminação é moderado. Se observa que, na região, o aquífero possui parâmetros que evitam a percolação de contaminantes até a zona saturada, porém, pode não ser o suficiente, devido ao intenso uso do solo (Figura 84 - Relação entre o GOD e o risco de contaminação através dos domínios pedomorfoagroclimáticos em Sidrolândia).

Figura 83 - Relação entre o IS (a) e o risco de contaminação através dos domínios pedomorfoagroclimáticos (b) em Sidrolândia



Fonte: Adaptado de APROSOJA (2022), EMBRAPA (2011), IBGE (2019), IBGE Cidades (2020) SIAGAS (2021) e Sindicato Rural de Sidrolândia (2022); elaboração própria (2022).

Figura 84 - Relação entre o GOD (A) e o risco de contaminação (B) através dos domínios pedomorfoagroclimáticos em Sidrolândia



Fonte: Adaptado de APROSOJA (2022), EMBRAPA (2011), IBGE (2019), IBGE Cidades (2020), SIAGAS (2021) e Sindicato Rural de Sidrolândia (2022); elaboração própria (2022).

Verifica-se que o município de Sidrolândia possui uma vulnerabilidade natural variando entre insignificante a alta, estando em maioria média; porém, devido ao uso do solo e características físicas (como solo e topografia), elevam estas classes, colocando a região com uma classe média a alta de vulnerabilidade a contaminação das águas subterrâneas. Contudo, o uso do solo em fontes pontuais e difusas exercem pressões sob o solo, corroborando o quanto a região possui um risco alto para a contaminação, sendo importante o cuidado no manejo do solo para a região. O saneamento in situ indicou a necessidade de se pensar na melhora do saneamento, a área urbana, como um todo, exerce forte pressão ao sistema aquífero; além do uso do solo na agricultura, seu aumento ao longo dos anos, também aumentam este risco, em especial onde se utiliza agroquímicos. Apesar da boa capacidade do aquífero em conter contaminantes, a pressão exercida pelo intenso uso do solo aumenta o risco de contaminação, sendo necessária medidas para a redução do uso destes químicos e cuidados no uso do solo.

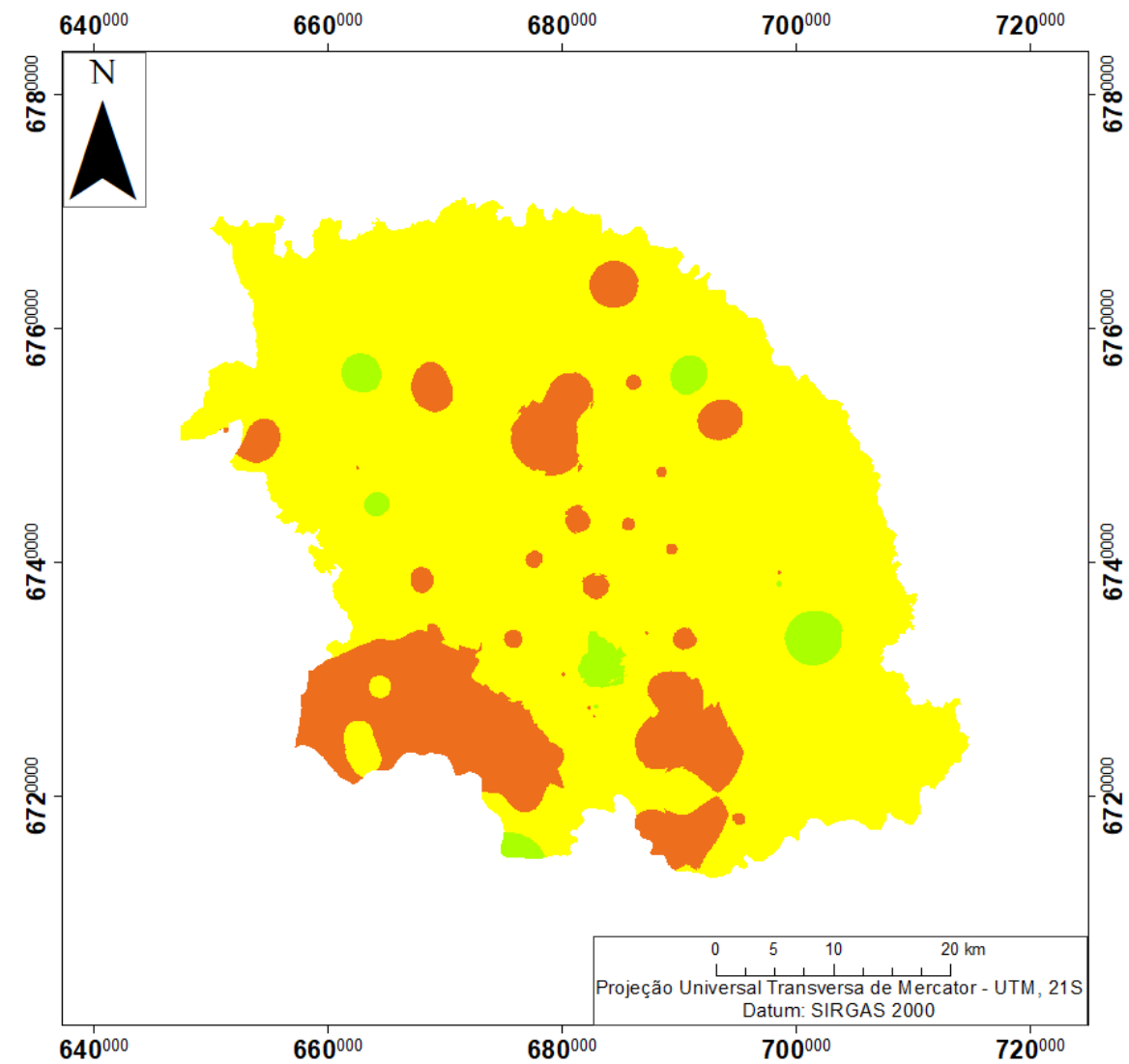
6.2 SÃO FRANCISCO DE ASSIS

O município possui 110 poços perfurados, destes, 95 poços possuem dados construtivos e geológicos completos. Estes poços com dados completos se encontram por todo território municipal, se encontrando 22 na sede municipal e, o restante, esparsos pelo território.

6.2.1 Índice GOD

O índice GOD variou, ocorrendo as classes: baixa, média e alta (Figura 85 – Índice GOD de São Francisco de Assis e Figura 86 – Valores de GOD de São Francisco de Assis). A classe média ocorre em 71,32% do território, a classe alta ocorre em 25,62% da área e a classe baixa ocorre em 3,06%.

Figura 85 – Índice GOD em São Francisco de Assis



Legenda

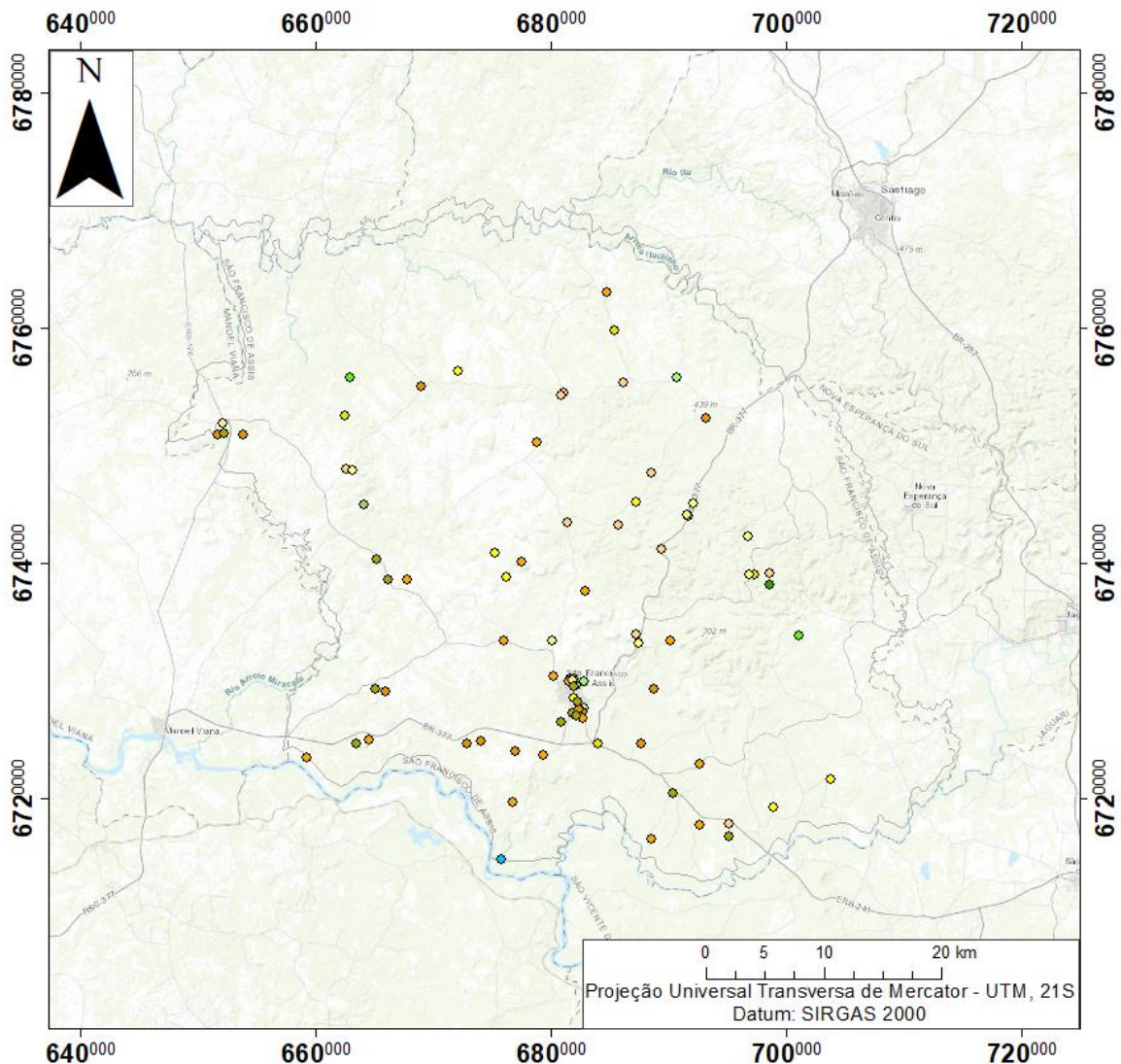
Índice GOD

- Insignificante
- Baixo
- Médio
- Alto
- Extremo

Fonte de dados: IBGE (2019),
SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021) e IBGE (2019), elaboração própria (2021).

Figura 86 - Valores de GOD em São Francisco de Assis



Legenda

GOD	
● 0,06	● 0,224
○ 0,144	● 0,24
● 0,168	● 0,252
● 0,192	● 0,28
● 0,196	● 0,32
	● 0,36
	● 0,42
	● 0,48
	● 0,49
	● 0,54
	● 0,56
	● 0,63



Fonte de dados: IBGE (2019), ESRI (2022), SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Legenda; no mapa, em azul a classe insignificante, os valores em verde a classe baixa, em amarelo valores da classe média e em laranja os valores da classe alta. Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Quando são avaliados apenas os poços com dados, 44 na classe alta, 26 na classe média e 25 na classe baixa. Quanto a distribuição espacial, verificou-se que os poços com classe de vulnerabilidade média se encontram dispersa, enquanto a classe alta se encontra, em maioria, na metade sul do município, e a classe baixa se concentra na área urbana (Tabela 36 – Valores do Índice GOD nos poços de São Francisco de Assis).

Tabela 36 - Valores do Índice GOD nos poços em São Francisco de Assis

código	G	O	D	GOD	Classe	código	G	O	D	GOD	Classe	código	G	O	D	GOD	Classe
430000942	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300001141	1	0.7	0.9	0.63	alta	4300008283	1	0.7	0.7	0.49	media
430000960	1	0.7	0.9	0.63	alta	4300001142	1	0.7	0.9	0.63	alta	4300008284	1	0.7	0.9	0.63	alta
430000961	1	0.7	0.9	0.63	alta	4300001143	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300008285	1	0.7	0.7	0.49	media
430000966	1	0.7	0.9	0.63	alta	4300001145	0.6	0.6	0.9	0.324	media	4300008286	1	0.7	0.6	0.42	media
430000974	0.6	0.6	0.9	0.324	media	4300001146	0.6	0.6	0.8	0.288	baixa	4300008287	1	0.7	0.8	0.56	alta
430000975	0.6	0.6	0.8	0.288	baixa	4300008254	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300008288	0.4	0.6	0.6	0.144	baixa
430000977	1	0.7	0.9	0.63	alta	4300008255	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300008289	0.6	0.6	0.7	0.252	baixa
430000981	0.6	0.6	0.9	0.324	media	4300008256	0.6	0.6	0.8	0.288	baixa	4300008290	0.6	0.6	0.6	0.216	baixa
430000982	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300008257	1	0.7	0.9	0.63	alta	4300008291	0.6	0.6	0.9	0.324	media
430000984	0.6	0.6	0.9	0.324	media	4300008258	0.6	0.5	0.8	0.24	baixa	4300008293	0.6	0.6	0.8	0.288	baixa
4300001111	0.6	0.6	0.7	0.252	baixa	4300008259	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300008294	0.6	0.6	0.7	0.252	baixa
4300001112	1	0.7	0.9	0.63	alta	4300008260	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300008295	1	0.7	0.9	0.63	alta
4300001113	0.6	0.6	0.9	0.324	media	4300008261	0.4	0.5	0.8	0.16	baixa	4300008296	1	0.7	0.6	0.42	media
4300001114	0.6	0.6	0.9	0.324	media	4300008262	0.6	0.6	0.6	0.216	baixa	4300008297	1	0.7	0.8	0.56	alta
4300001115	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300008263	1	0.5	0.7	0.35	media	4300008298	0.6	0.6	0.7	0.252	baixa
4300001116	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300008264	0.6	0.6	0.7	0.252	baixa	4300008299	1	0.7	0.8	0.56	alta
4300001117	0.6	0.6	0.9	0.324	media	4300008265	1	0.7	0.7	0.49	media	4300008300	1	0.7	0.9	0.63	alta
4300001127	1	0.7	0.9	0.63	alta	4300008266	1	0.7	0.7	0.49	media	4300008301	1	0.7	0.6	0.42	media
4300001128	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300008267	0.4	0.5	0.7	0.14	baixa	4300008314	1	0.7	0.8	0.56	alta
4300001129	1	0.7	0.9	0.63	alta	4300008268	1	0.5	0.7	0.35	media	4300020124	1	0.7	0.7	0.49	media
4300001130	1	0.7	0.9	0.63	alta	4300008269	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300020535	1	0.7	0.7	0.49	media
4300001131	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300008270	0.6	0.6	0.6	0.216	baixa	4300021273	1	0.7	0.7	0.49	media
4300001132	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300008271	0.6	0.6	0.6	0.216	baixa	4300021416	1	0.7	0.6	0.42	media
4300001133	1	0.7	0.7	0.49	media	4300008272	0.6	0.6	0.8	0.288	baixa	4300021417	1	0.7	0.8	0.56	alta
4300001134	0.4	0.5	0.7	0.14	baixa	4300008273	1	0.7	0.7	0.49	media	4300021418	1	0.7	0.6	0.42	media
4300001135	0.4	0.6	0.8	0.192	baixa	4300008276	0.4	0.6	0.6	0.144	baixa	4300021419	1	0.7	0.7	0.49	media
4300001136	1	0.7	0.9	0.63	alta	4300008277	0.6	0.6	0.8	0.288	baixa	4300021420	1	0.7	0.6	0.42	media
4300001137	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300008278	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300024865	1	0.7	0.8	0.56	alta
4300001138	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300008279	1	0.7	0.9	0.63	alta	4300027478	0.4	0.5	0.7	0.14	baixa
4300001139	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300008280	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300027614	0.6	0.6	0.7	0.252	baixa
4300001140	1	0.7	0.8	0.56	alta	4300008281	1	0.7	0.9	0.63	alta	4300027685	1	0.7	0.8	0.56	alta
						4300008282	0.6	0.6	0.7	0.252	baixa	4300008274	1	0.7	0.9	0.63	alta

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021); elaboração própria (2022).

A classe baixa está localizada em área rural e na sede municipal, com profundidade variando de 9,3 m a 80 m e vazão do poço variando de 1,5 a 58,06 m³/h; possuindo solo arenoso, areno-argiloso, silto-argiloso e argiloso. Litologia da zona vadosa variando de arenito, argilito, basalto, diabásio e siltito; e zona saturada de arenito e basalto. Localizados em hidroestratigrafia pertencendo ao SASG; nos aquíferos Botucatu / Guará I, Sanga do Cabral/ Pirambóia e Serra Geral II com usos de poços em abastecimento urbano privado, urbano público e uso em indústria.

A classe média ocorre por todo território, com poços de profundidade variando entre surgência a 66,2 m e vazão de 1,0 a 75 m³/h, estando em unidade hidroestratigráfica de aquífero Sanga do Cabral / Pirambóia, aquífero Serra Geral II e aquífero Botucatu / Guará I. Possui solos arenosos, com litologia das zonas saturada de arenito e basalto e não saturada variando de arenito, basalto, siltito e solos. Com usos para abastecimento urbano público, oriundo de poços da prefeitura, companhia de água e comunidades, 02 sem uso, para monitoramento da CPRM e o restante de abastecimento privado.

A classe alta ocorre bem disperso pelo município, apesar de se encontrar mais concentrado ao centro sul, a maioria está em área rural, destes, 02 no distrito de Boa Vista, 01 na vila Toroquá, e o restante esparsos; com poços de profundidades entre 1,0 a 16,9 m e vazão

entre 1,5 a 9,5 m³/h; litologia de arenito em maioria, na zona saturada e não saturada. Com poços inseridos no aquífero Sanga do Cabral/ Pirambóia, aquífero basalto/Botucatu e Botucatu/Guará I, com uso de abastecimento urbano elaborado pela prefeitura e associações, abastecimento público pela CORSAN e o restante para abastecimento doméstico (Tabela 37 – Dados dos poços e o Índice GOD em São Francisco de Assis).

Tabela 37 - Dados dos poços e o Índice GOD em São Francisco de Assis

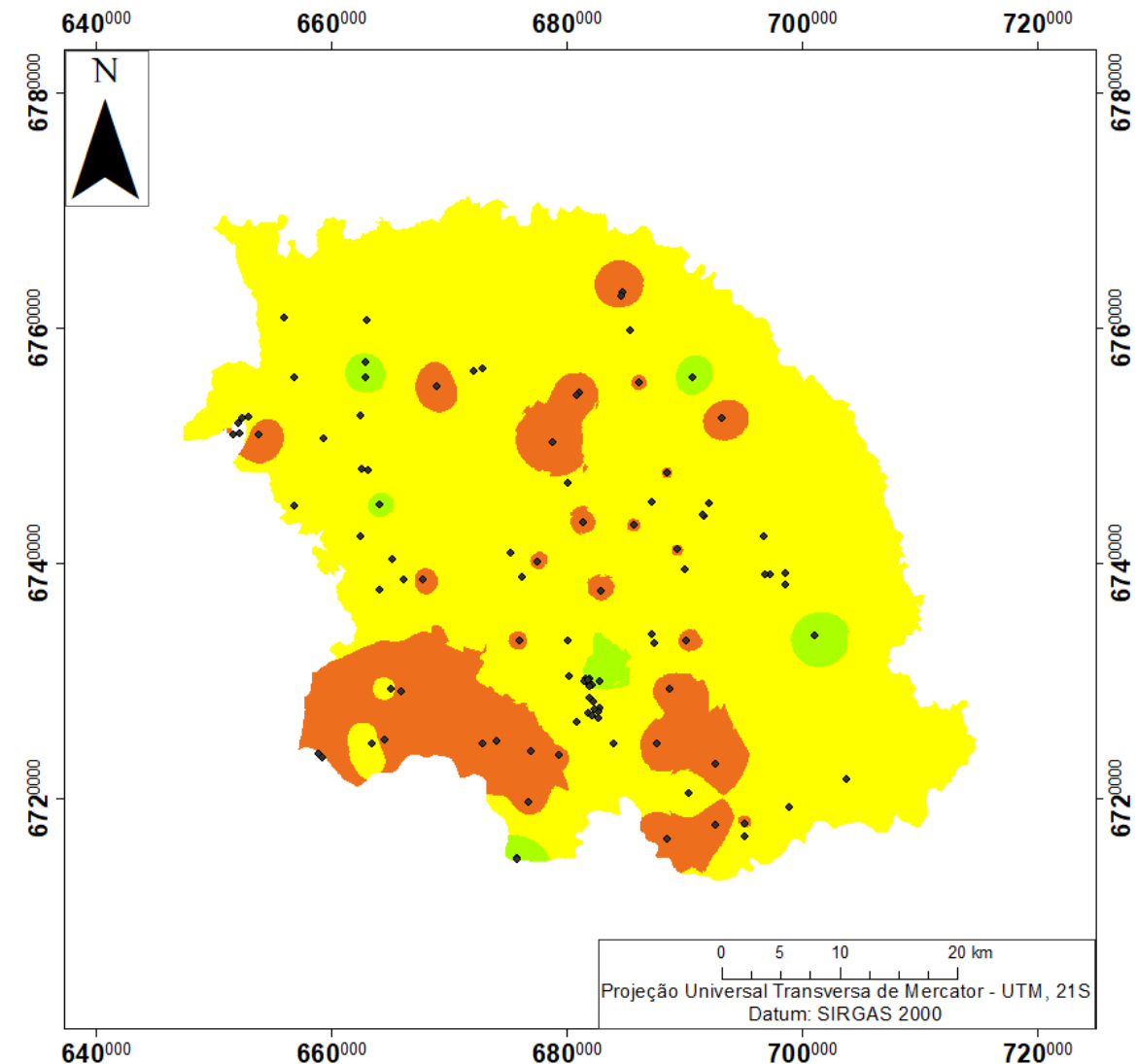
GOD	Quantidade	Localização	Litologia zona saturada	Litologia zona não sat	Solo	Hidroestratigrafia	NE	Vazão do poço	Abastecimento
Baixa	25	16 área urbana, 09 área rural	18 arenito, 07 basalto	14 basalto, 03 argilito, 03 diabásio, 02 siltito, 03 arenito	08 arenoso, 09 areno-argiloso, 04 silto-argiloso, 05 argiloso	15 Botucatu/ Guará I, 08 Sanga do Cabral/ Pirambóia, 02 Serra Geral II	9,3 a 80m	1,5 a 58,06 m ³ /h	15 urbano público, 09 urbano privado e 01 industrial
Média	26	06 área urbana, 20 área rural	20 arenito, 06 basalto	06 basalto, 02 solo, 02 siltito, 14 arenito, 02 argilito	16 arenoso, 06 argiloso, 04 silto-argiloso	14 Sanga do Cabral/ Pirambóia, 10 Botucatu/ Guará I, 02 Serra Geral II	surgência a 66,2m	1,0 a 75 m ³ /h	12 urbano público, 02 monitoramento, 11 urbano privado e 01 lazer
Alta	44	08 área urbana, 36 área rural	35 arenito, 09 basalto	29 arenito, 04 diabásio, 02 siltito, 01 argilito, 01 basalto, 07 solo arenoso	40 arenoso, 03 areno-argiloso, 01 argiloso	18 Sanga do Cabral/ Pirambóia, 25 Botucatu/ Guará I, 01 basalto/ Botucatu	1,0 a 16,9m	1,5 a 9,5m ³ /h	19 urbano público, 01 lazer, 24 urbano privado

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021); elaboração própria (2022).

Na área urbana a classe baixa possui mais poços, seguido pela alta e média. A classe baixa com 09 poços, a média 06 e a alta com 08 poços. A área rural do município possui muitos poços perfurados, com 15 na classe baixa, 20 na média e 35 na alta.

A localização dos poços, com e sem dados construtivos, indica uma maioria de poços na classe alta com 44 poços; seguido pela classe média, com 42 poços e a classe baixa com 25 poços (Figura 87 – Localização dos poços e o índice GOD em São Francisco de Assis).

Figura 87 – Localização dos poços e o índice GOD em São Francisco de Assis



Legenda

- ♦ localização dos poços
- Índice GOD**
- Insignificante
 - Baixo
 - Médio
 - Alto
 - Extremo



Fonte de dados: IBGE (2019),
SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

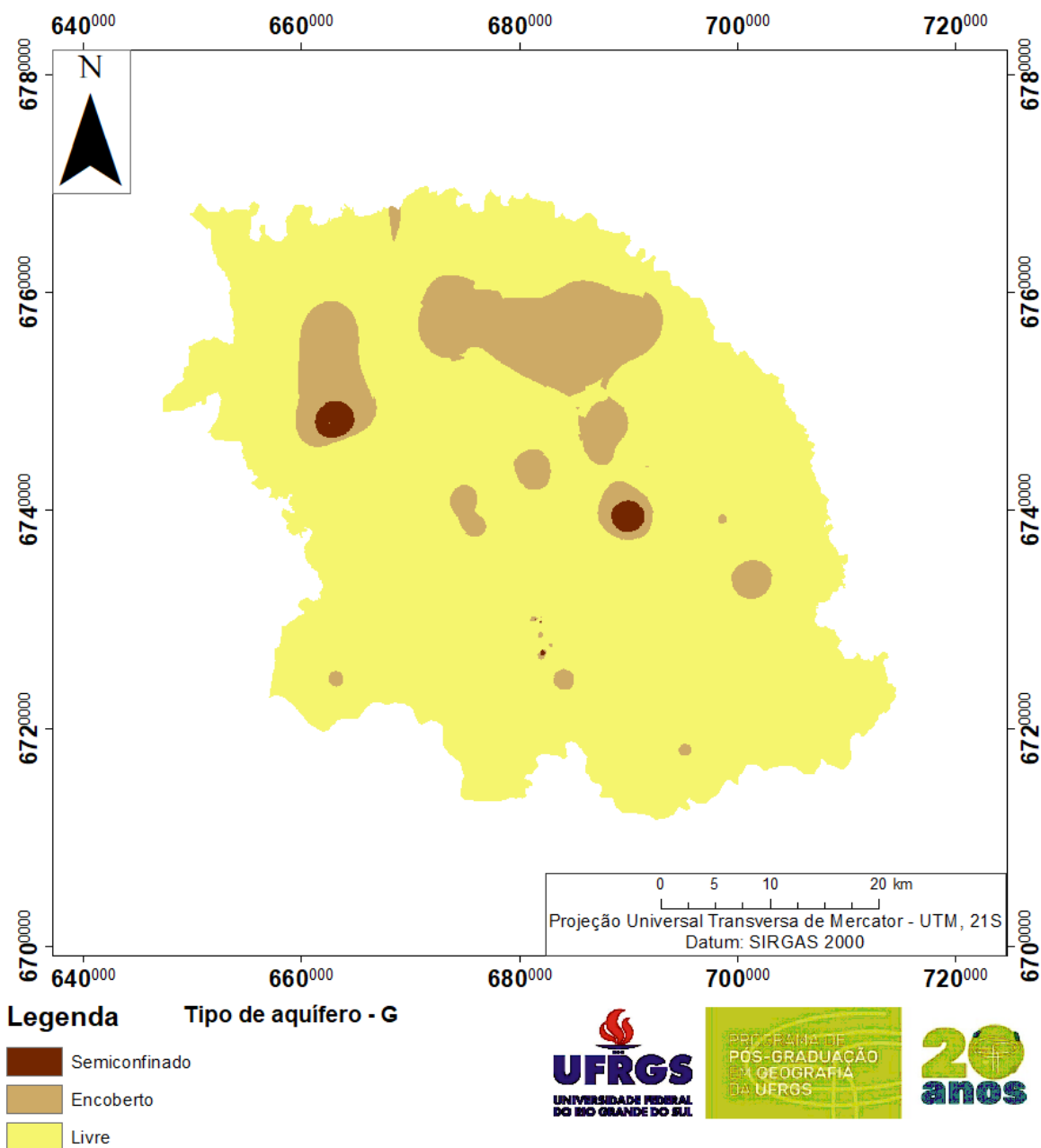
Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021) e IBGE (2019), elaboração própria (2022).

Sobre os parâmetros para determinação do GOD, o parâmetro G (tipo de ocorrência da água subterrânea) possui valores dos parâmetros variando de 0,4 a 1, sendo a maioria do tipo livre (Figura 88 -Parâmetro G, do município de São Francisco de Assis). A categoria semiconfinada recebe o valor de 0,4 no parâmetro tipo de aquífero, o 0,6 de não confinado (coberto) e o 1,0 de não confinado (livre). Dos 07 poços semiconfinados, 01 está no aquífero Serra Geral II, 01 no Sanga do Cabral/Pirambóia e 05 no Botucatu/ Guará I; sendo que dos

semiconfinados todos estão com índice GOD baixo. Dos 26 poços não confinados (coberto), 02 se encontram no aquífero Serra Geral II, 13 no Sanga do Cabral/ Pirambóia e 11 no Botucatu/Guará I. Dos poços não confinados – cobertos – 18 estão na classe baixa e 08 na classe média do GOD. Por fim, os 62 poços não confinados (livre), 01 se localiza no aquífero Serra Geral II, 01 no basalto/Botucatu, 25 no Sanga do Cabral/Pirambóia e 35 no Botucatu/Guará I. Dos poços não confinados – livres – 44 estão na classe alta, 16 na média e 02 na extrema. Dos poços semiconfinados, 05 são da CORSAN, um deles se encontra obstruído, e dois são de comunidade, um deles obstruído.

Dos poços confinados (coberto), 04 são da CORSAN, destes 03 obstruídos; 1 do sindicato rural que está abandonado, um de comunidade, 03 de prefeitura, sendo um abandonado e um obstruído, os demais são de pessoas físicas, estando 02 parado, 02 abandonados e um obstruído. Dos poços não confinados (livre), 10 são da CORSAN, com 05 obstruídos, 07 de associações, sendo 02 obstruído e 01 parado; 08 são da prefeitura, sendo 01 abandonado, os 02 da CPRM que não são usados, dois usados para recreação e o restante perfurado em diversas áreas, estando um obstruído e um parado (Tabela 38 – Dados do parâmetro G, do município de São Francisco de Assis).

Figura 88 – Parâmetro G, do município de São Francisco de Assis



Fonte de dados: SIAGAS (2021)
IBGE (2019)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Tabela 38 - Dados do Parâmetro G, do município de São Francisco de Assis

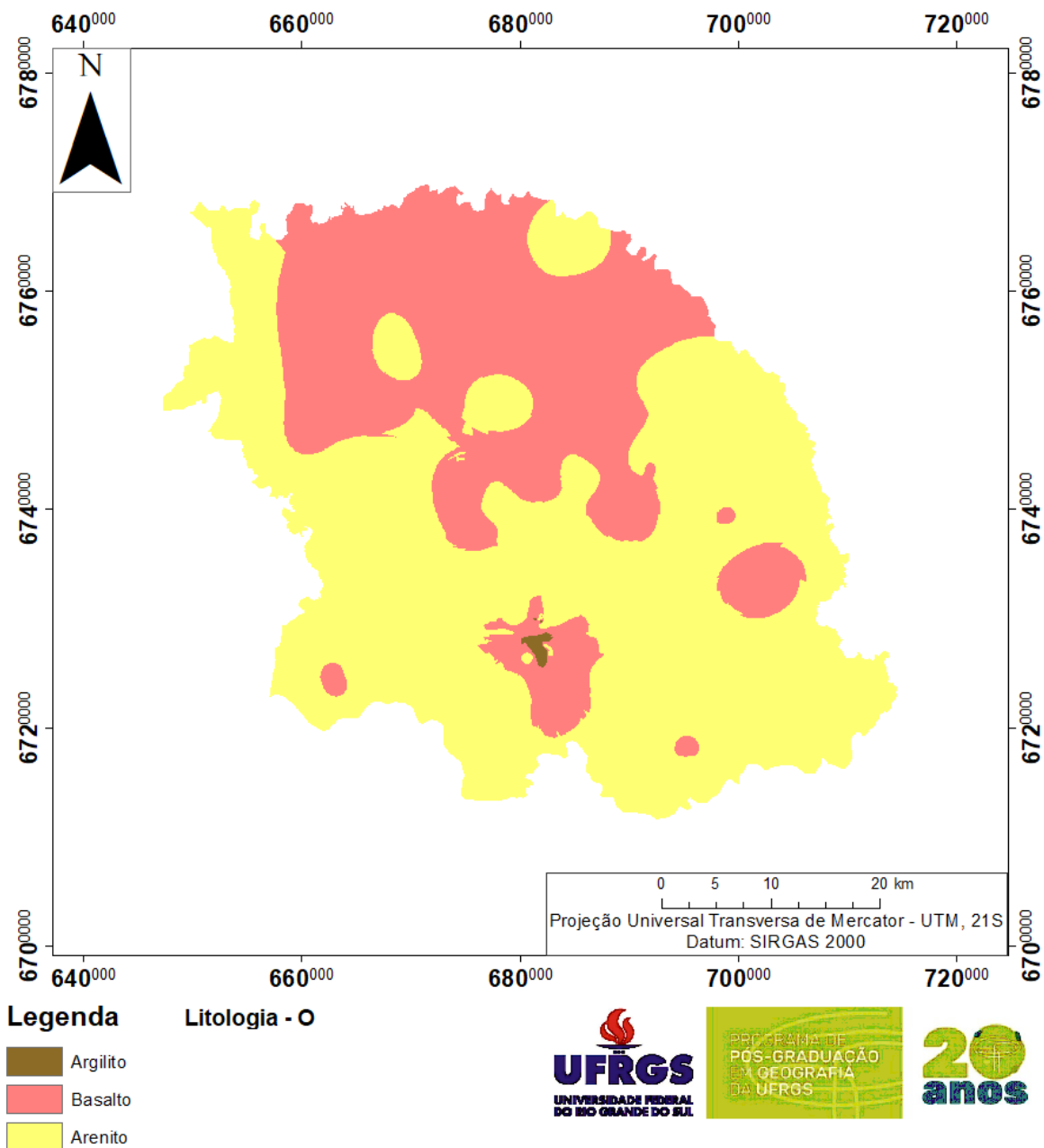
Parâmetro G	GOD	Localização	Uso
Semiconfinados	07 Baixo	03 área urbana	07 urbano público
		04 área rural	
Cobertos	08 Baixo	06 área urbana	10 urbano público
	18 Médio	20 área rural	14 privado, 02 industrial
Não confinados	18 Médio	13 área urbana	31 urbano público
	44 Alto	49 área rural e distr	29 privado, 02 monitoramento

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

O parâmetro O (litologia da zona não saturada) variou de 0,5 a 0,7; sendo o 0,5 equivalente a solos, silte, lamito e xisto; 0,6 equivalente a areia, siltito, tufo vulcânico, metamórficas e vulcânicas antigas; e 0,7 de areia aluvial, arenito e lava recente. Com o valor de 0,7 se encontram 47 poços de arenito e 12 de solos aluvionares; com o valor 0,6 se encontra com 24 poços de basalto e 04 diabásio; por último, o valor 0,5 se encontra em 03 poços com siltitos e 05 argilito (Figura 89 – Parâmetro O, do município de São Francisco de Assis). Os poços com argilito e siltito, (0,5), se encontram na área urbana, estando no aquífero Botucatu/Guará I. O índice GOD se encontra médio em dois poços com siltito e o restante baixo; todos são poços da CORSAN e metade se encontra obstruído. Dos poços com basaltos e diabásios, (0,6), o índice varia entre baixo e médio, se localizando nos aquíferos Serra Geral II (03), Sanga do Cabral/Pirambóia (15) e Botucatu/Guará I (10).

Dos poços com areias aluviais e arenitos, eles possuem índice GOD médio, alto e extremo. Um deles se encontra no aquífero Serra Geral II, um no basalto/Botucatu, 25 no Sanga do Cabral/Pirambóia e 33 no Botucatu/Guará I. Sendo que de todos estes poços, dois são da CPRM para monitoramento, 08 são da prefeitura, destes 02 estão parados, 07 de associações, com um parado e um abandonado, um com uso de lazer e o restante uso doméstico, destes, 02 estão parados (Tabela 39 – Dados do parâmetro O, do município de São Francisco de Assis).

Figura 89 - Parâmetro O, do município de São Francisco de Assis



Fonte de dados: SIAGAS (2021)
IBGE (2019)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Tabela 39 – Dados do Parâmetro O, do município de São Francisco de Assis

Parâmetro O	GOD	Localização	Uso
solos	05 Baixo	03 área rural	08 urbano público
	02 Médio	05 área urbana	
	01 Alto		
siltitos, vulcânicas e metamórfica	20 Baixo	23 área rural	12 urbano público e 13 privado
	08 Médio	05 área urbana	03 industrial
arenitos	16 Médio	09 área urbana	27 urbano público, 29 privado
	43 Alto	50 área rural	02 monitoramento, 01 lazer

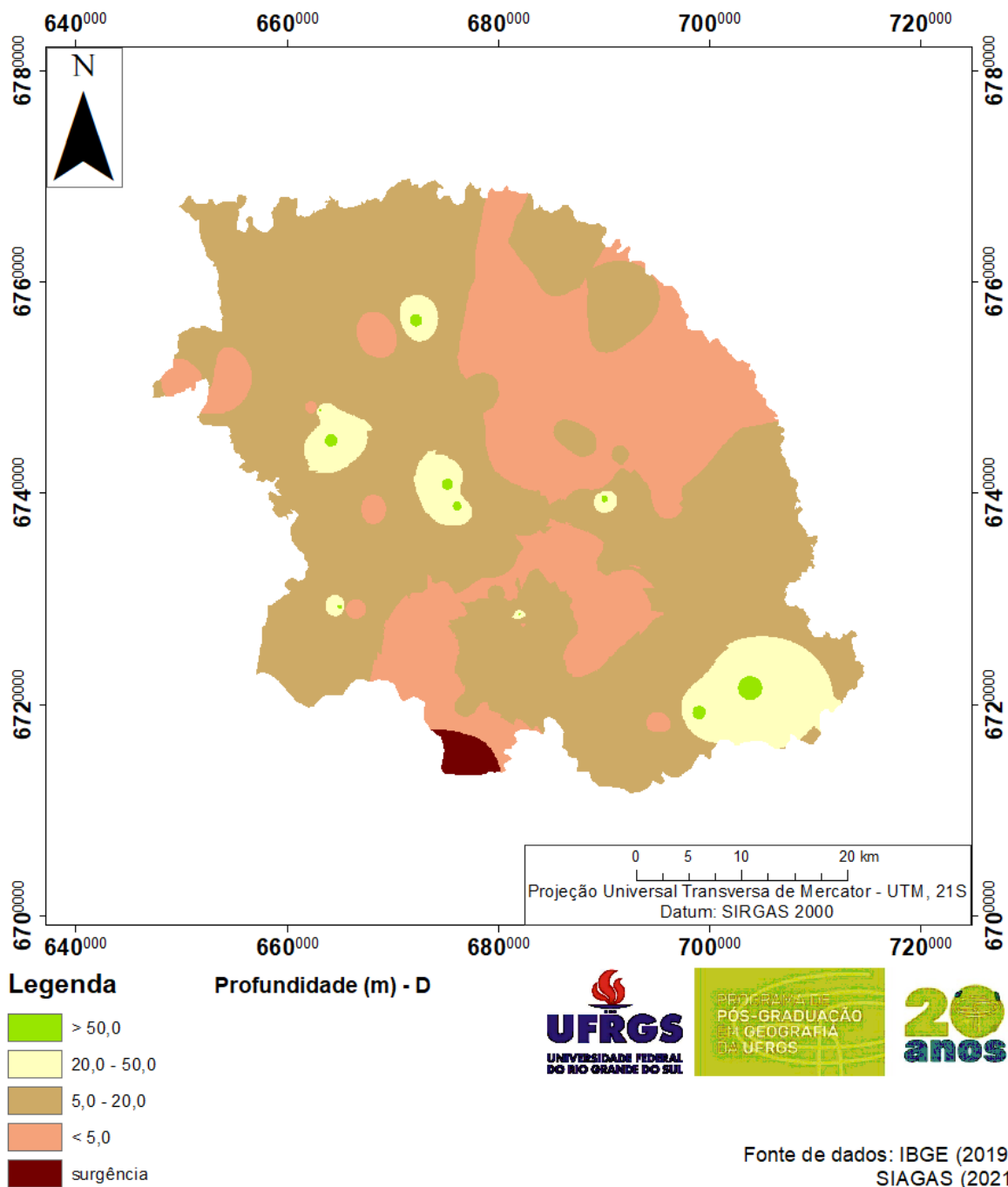
Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

O parâmetro D (profundidade até o topo do aquífero) variou entre os valores de 0,6 a 1,0 (Figura 90 – Parâmetro D, do município de São Francisco de Assis); onde 0,6 caracteriza a profundidade maior que 50 metros e fluxo jorrante, 0,7 a profundidade entre 50 e 20 m, 0,8 a profundidade entre 20 e 5 m e 0,9 a profundidade menor que 5 metros. 13 poços possuem valor de 0,6 no índice, com profundidades entre 52,2 a 80 m. Estes se encontram com o GOD baixo e médio, encontrando-se nos aquíferos Serra Geral II, Sanga do Cabral/Pirambóia e Botucatu/Guará I. Com usos no abastecimento doméstico, destes, 01 está obstruído, 02 parado e um abandonado. Nesta mesma categoria estão enquadrados os dois poços com surgência de aquífero, visto que estes possuem fluxo da água ascendente e jorrante devida à diferença de pressão entre o aquífero e a superfície. Por conta disto, a profundidade até o topo do aquífero é maior, os dois poços se encontram com bombeamento ativo, sendo um da prefeitura e outro de um balneário, os dois próximos a praia do Jacaquá.

Quanto a categoria 0,7, 20 poços estão neste intervalo, com valores de profundidade variando entre 21 a 50 m. Estes possuem índices GOD baixo e médio, se encontrando nos aquíferos Sanga do Cabral/ Pirambóia e Botucatu/Guará I; com 04 poços parados e 02 obstruídos. Na categoria 0,8 são encontrados 36 poços, com profundidades variando de 5,3 a 16,9 m. Este intervalo possui índice GOD baixo e alto, localizados nos aquíferos Serra Geral II, Botucatu/Guará I e Sanga do Cabral/Pirambóia. Deste intervalo, 08 estão obstruídos e 04 parado, sendo utilizado para abastecimento doméstico público e privado.

A categoria 0,9 possui 26 poços, com profundidades variando de 0,2 a 5 m; com índice GOD médio e alto. Estes se localizam nos aquíferos Serra Geral II, Sanga do Cabral/Pirambóia, basalto/Botucatu e Botucatu/Guará I. Destes poços, 02 estão abandonados e 01 obstruído, sendo que a maioria são de pessoas físicas para uso doméstico, 04 de associações, 02 da CORSAN e 01 da prefeitura (Tabela 40 – Dados do parâmetro D, do município de São Francisco de Assis).

Figura 90 – Parâmetro D, do município de São Francisco de Assis



Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Tabela 40 - Dados do Parâmetro D, do município de São Francisco de Assis

Parâmetro D	GOD	Localização	Uso
> 50m	07 Baixo	03 área urbana	07 urbano público
	04 Médio	08 área rural	04 privado
20 a 50m	07 baixo	12 área rural	02 monitoramento
	13 Médio	08 área urbana	12 urbano público, 06 privado
05 a 20m	11 Baixo	27 área rural	18 urbano público
	25 Alto	09 área urbana	16 privado, 02 industrial
< 05m	19 Alto	04 área urbana	08 urbano público
	07 Médio	22 área rural	16 privado, 01 lazer, 01 industrial
Surgência	02 Médio	02 área urbana	01 lazer, 01 urbano público

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

O que se observa é ausência de valor mínimo do parâmetro G, em contrapartida, se encontram nos parâmetros O e D. Enquanto isso, há valores máximos para os parâmetros G e D, sendo que o parâmetro O é o único onde não há. Se observa que muitos poços do SIAGAS possuem surgência, entretanto, não entraram na análise do GOD pois não possuem os parâmetros para cálculo do índice; por conta disto, apenas dois poços com surgência foram incluídos no GOD. Dois poços, 09 deles possuem os maiores valores da classe alta, onde o valor de GOD foi 0,63; estes poços se encontram, em maioria, a sul e sudoeste do município, e pontos esarços a noroeste e norte. De cada parâmetro, os valores mais comuns foram o 1 para o G, 0,7 para o O e 0,8 para o D; sendo assim, os poços são, em média, do tipo livre, com litologia de arenito ou solos aluvionares e profundidade entre 20 – 5 m.

Se observa que a interpolação pelo método IDW, por vezes, unifica alguns pontos e outros não, como no mapa de interpolação do GOD, onde a classe média possui 24 poços, mas pelo interpolador, se encontra em 71,3% da área, se interpreta isto pelo fato dos poços com valor médio de GOD estarem bem dispersos por toda a área municipal, isto acaba unificando diversos pontos, em especial, aqueles onde não se encontram mais dados. Os poços com a classe alta são a maioria, com 44, porém, pelo interpolador ele possui menor área (25,6%); apesar de se encontrar pontos ao norte, a maioria deles se encontram próximos, ao sul e sudoeste do município. Por fim, a classe baixa possui 25 poços, mas em área pelo interpolador, se encontra em 2,9%, apesar de ser pouco, ele se encontra muito associado à classe média, além disto, se encontra bem concentrado na área urbana.

O interpolador ajuda na compreensão dos dados, onde se encontra de forma evidente as classes. Sobre os parâmetros, o mapa de tipo de aquífero, G, o livre se encontra em 2/3 dos poços, o que fica evidente no mapa, bem como os outros dois valores. O mapa de litologia do topo do aquífero, O, também interpreta os dados das tabelas, fica claro os dados, onde argilito e siltito se encontram concentrados na área urbana e o restante de litologias areníticas, cerca de

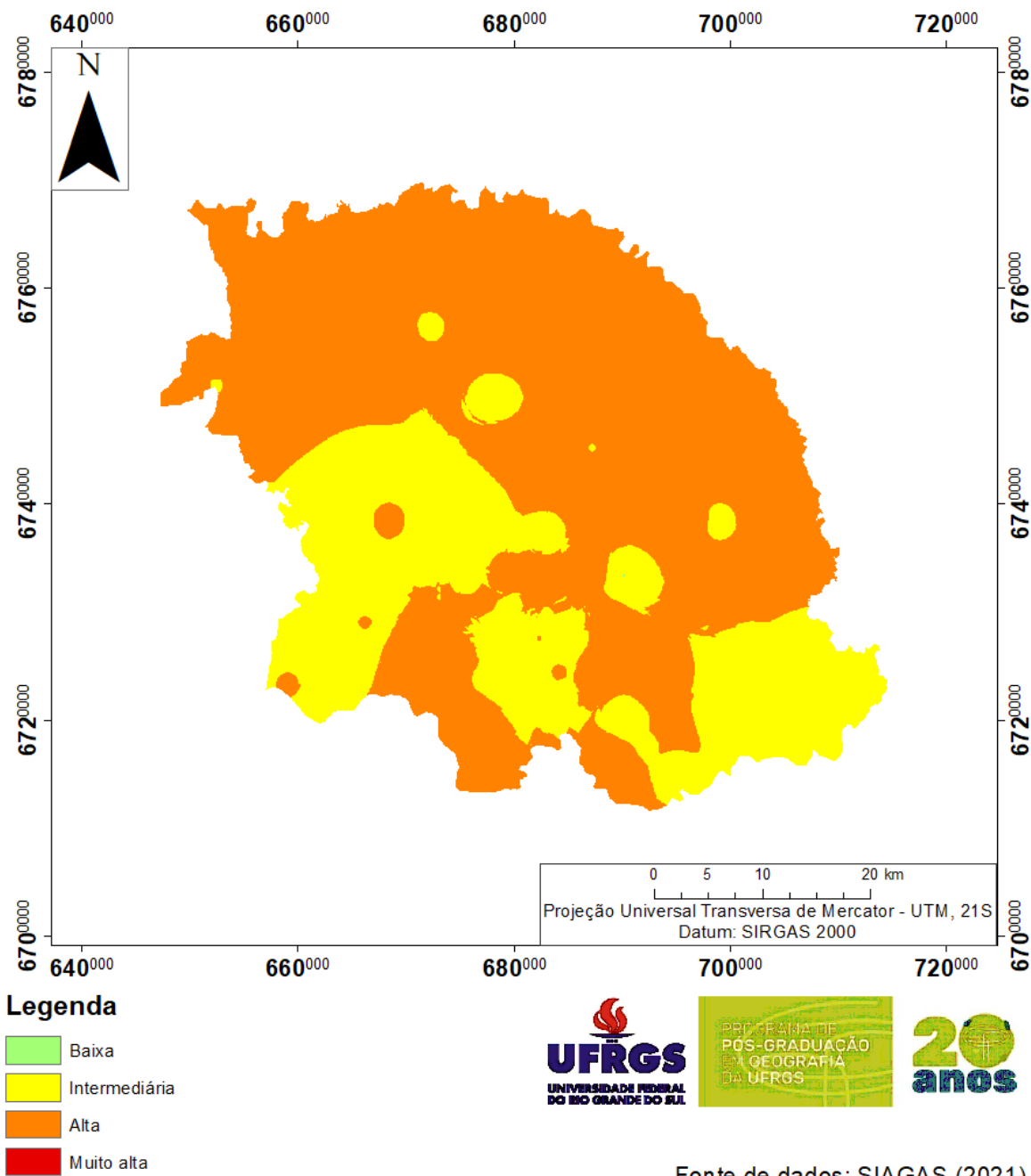
2/3 dos poços; as vulcânicas antigas aparecem concentradas mais ao norte do município. Por último, o mapa de profundidade, D, indica a maioria de poços com profundidade entre 5 a 20 m, 1/3 dos poços, o outro 1/3 se encontra com poços com menos de 5 m de profundidade, por fim, o último 1/3 dos poços intercala as profundidades entre 20 – 50 m e acima de 50 m.

No município se encontrou muitos poços com dados e estes se encontraram de forma espacializada, o que auxiliou na identificação de locais com maiores vulnerabilidades, isto ajudou na identificação de áreas com índices mais altos. Com isto, o que se observou é o grau de vulnerabilidade mais alto em áreas ao sul do município e ao longo do rio Ibicuí. O uso dos poços no município se vincula ao abastecimento urbano privado e público, com poucos usos para outras atividades, sendo que muitos destes poços se encontram obstruídos ou abandonados (parados). Um fator determinante para a vulnerabilidade natural do aquífero neste caso é a pouca profundidade da água subterrânea e litologias areníticas, se concentrando a sul, sudoeste e pontos específicos ao centro e norte.

6.2.2 Índice de Susceptibilidade

Para o Índice de susceptibilidade (IS) foram verificadas apenas duas classes: intermediária e alta (Figura 91 – Índice IS em São Francisco de Assis e Figura 92 – Valores de IS em São Francisco de Assis). A classe alta ocorre em 68,8% do território, seguido pela classe intermediária que ocorre em 31,2% de território.

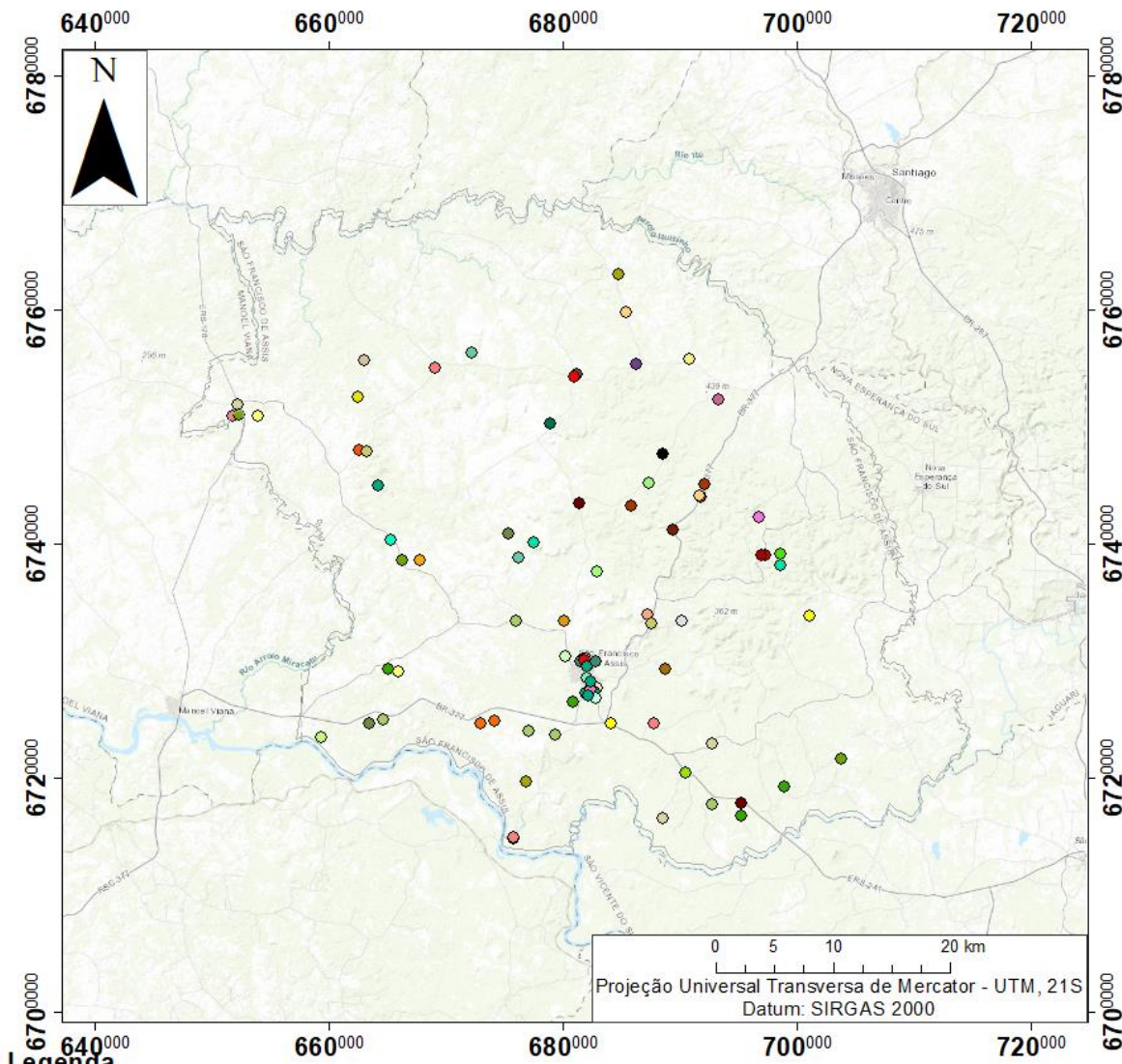
Figura 91 - Índice IS em São Francisco de Assis



Fonte de dados: SIAGAS (2021)
IBGE (2019)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2021).

Figura 92 - Valores de IS em São Francisco de Assis



Legenda

Valores do IS	59.52	63.99	68.92	74.50
○	50.99	59.62	64.05	69.17
○	54.50	60.27	64.32	70.06
○	55.31	60.89	65.20	70.28
●	55.43	61.38	65.44	71.43
●	56.55	61.48	65.53	71.76
●	57.66	61.94	66.18	72.54
●	57.76	62.59	66.66	72.64
●	58.87	62.84	66.92	72.88
●	59.15	62.94	66.99	73.29
●	59.48	63.90	67.71	74.36
●				82.27



Fonte de dados: IBGE (2019), ESRI (2022), SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Dos poços com dados, 46 estão na classe intermediária e 49 na classe alta. A localização destes poços que garante a disposição das classes no mapa, os poços com classe alta estão

dispersos por toda área, enquanto poços com classe intermediária se encontram concentrados em certas áreas do município (Tabela 41 – Valores do índice IS em São Francisco de Assis).

Tabela 41 - Valores do índice IS em São Francisco de Assis

Código	D	R	A	T	LU	IS	Classe	Código	D	R	A	T	LU	IS	Classe
4300000942	70	60	60	90	70	67.71	alta	4300008265	10	60	60	90	75	57.66	intermediária
4300000960	90	60	60	90	50	66.99	alta	4300008266	30	60	60	90	75	61.38	intermediária
4300000961	100	60	60	100	70	74.5	alta	4300008267	10	60	60	90	75	57.66	intermediária
4300000966	100	60	60	100	50	70.06	alta	4300008268	10	60	60	90	75	57.66	intermediária
4300000974	90	60	90	90	50	74.76	alta	4300008269	70	60	80	100	75	75.21	alta
4300000975	50	60	90	90	70	71.76	alta	4300008270	10	60	80	90	75	62.84	intermediária
4300000977	100	60	60	100	70	74.5	alta	4300008271	10	60	80	100	70	62.94	intermediária
4300000981	90	60	90	100	75	81.52	alta	4300008272	50	60	90	50	70	66.92	alta
4300000982	30	60	60	50	70	55.43	intermediária	4300008273	20	60	60	90	75	59.52	intermediária
4300000984	100	60	90	90	70	81.06	alta	4300008274	90	60	90	50	70	74.36	alta
4300001111	20	60	90	90	70	66.18	alta	4300008275	10	60	90	100	70	65.53	alta
4300001112	90	60	60	100	70	72.64	alta	4300008277	70	60	90	90	70	75.48	alta
4300001113	100	60	90	100	70	82.27	alta	4300008278	50	60	80	90	70	69.17	alta
4300001114	90	60	90	90	70	79.2	alta	4300008279	90	60	80	90	75	77.72	alta
4300001115	30	60	60	90	70	60.27	intermediária	4300008280	70	60	90	90	75	76.59	alta
4300001116	50	60	60	50	70	59.15	intermediária	4300008281	100	60	80	90	70	78.47	alta
4300001117	100	60	90	90	50	76.62	alta	4300008282	10	60	90	50	70	59.48	intermediária
4300001127	90	60	60	90	50	66.99	alta	4300008283	20	60	80	90	50	59.15	intermediária
4300001128	70	60	60	90	70	67.71	alta	4300008284	90	60	80	50	75	72.88	alta
4300001129	100	60	60	90	70	73.29	alta	4300008285	20	60	60	100	70	59.62	intermediária
4300001130	100	60	60	90	70	73.29	alta	4300008286	10	60	60	90	75	57.66	intermediária
4300001131	50	60	60	90	70	63.99	intermediária	4300008287	70	60	60	100	70	68.92	alta
4300001132	50	60	60	90	70	63.99	intermediária	4300008288	10	60	90	100	70	65.53	alta
4300001133	10	60	60	90	70	56.55	intermediária	4300008289	30	60	80	100	70	66.66	alta
4300001134	20	60	60	90	75	59.52	intermediária	4300008290	10	60	80	100	70	62.94	intermediária
4300001135	50	60	80	90	75	70.28	alta	4300008291	70	60	80	100	75	75.21	alta
4300001136	90	60	80	90	75	77.72	alta	4300008293	50	60	80	90	70	69.17	alta
4300001137	50	60	80	50	75	65.44	alta	4300008294	10	60	90	90	70	64.32	intermediária
4300001138	50	60	60	90	70	63.99	intermediária	4300008295	90	60	80	90	75	77.72	alta
4300001139	70	60	60	100	70	68.92	alta	4300008296	10	60	60	90	70	56.55	intermediária
4300001140	70	60	60	100	70	68.92	alta	4300008297	50	60	60	100	70	65.2	alta
4300001141	100	60	60	100	70	74.5	alta	4300008298	10	60	80	90	75	62.84	intermediária
4300001142	90	60	60	90	70	71.43	alta	4300008299	50	60	60	90	70	63.99	intermediária
4300001143	50	60	60	90	70	63.99	intermediária	4300008300	90	60	60	90	75	72.54	alta
4300001145	90	60	90	90	70	79.2	alta	4300008314	50	60	80	90	75	70.28	alta
4300001146	50	60	90	50	70	66.92	alta	4300020124	10	60	60	100	70	57.76	intermediária
4300008254	30	60	60	90	75	61.38	intermediária	4300020535	10	60	60	90	75	57.66	intermediária
4300008255	50	60	80	90	75	70.28	alta	4300021273	10	60	60	90	70	56.55	intermediária
4300008256	50	60	80	90	75	70.28	alta	4300021416	10	60	60	90	70	56.55	intermediária
4300008257	90	10	60	90	75	61.94	intermediária	4300021417	30	60	60	50	50	50.99	intermediária
4300008258	50	10	60	90	75	54.5	intermediária	4300021418	100	10	60	100	70	63.9	intermediária
4300008259	50	10	80	100	75	60.89	intermediária	4300021419	10	60	60	100	70	57.76	intermediária
4300008260	30	60	60	90	75	61.38	intermediária	4300021420	10	60	60	100	70	57.76	intermediária
4300008261	30	60	60	100	75	62.59	intermediária	4300024865	30	60	60	100	70	61.48	intermediária
4300008262	10	60	80	100	75	64.05	intermediária	4300027478	10	60	60	90	75	57.66	intermediária
4300008263	10	60	60	100	75	58.87	intermediária	4300027614	10	60	60	90	75	57.66	intermediária
4300008264	20	10	80	100	75	55.31	intermediária	4300027685	30	60	60	100	75	62.59	intermediária
								4300008301	100	60	60	100	70	74.5	alta

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

A classe intermediária possui poços em área urbana, mas a maioria em área rural. A litologia do meio aquífero é, em maioria, de arenito, litologia de zona não saturada variando entre basalto, diabásio, arenito e solo. A classe intermediária está localizada por todos os tipos de solo, os poços se encontram no aquífero Serra Geral II, aquífero Sanga do Cabral/Pirambóia e aquífero Botucatu/Guará I. Os poços possuem profundidade do nível estático variando entre 1,91 m a 80 m e vazão do poço de 1,5 m³/h a 58,06 m³/h, seu principal uso é para abastecimento, em posse da CORSAN (17), prefeitura (08), CPRM (02), INCRA (01) e o restante pessoa física (16) e jurídica (02); destes, 02 são de monitoramento, 05 parado e 09 obstruído.

A classe alta está localizada de forma mais espaçada no território, com poços na sede municipal e em área rural. A litologia do meio aquífero intercala entre arenito e basalto, destes, 15 deles possuem intercalação entre arenito a basalto entre as camadas não saturada e saturada. A classe alta ocorre em todos os tipos de solo e em todos os tipos de aquífero. Com profundidade do nível estático variando de 2,57 m a 31 m e vazão do poço variando de 1,5 m³/h a 10,0 m³/h, com uso majoritário para abastecimento urbano, sendo 05 da CORSAN, 05 da prefeitura, 08 de associações, o restante de pessoa física e jurídica. Destes poços, 06 se encontram parados, 04 obstruídos e 01 seco (Tabela 42 – Tabela dos poços e o Índice IS em São Francisco de Assis).

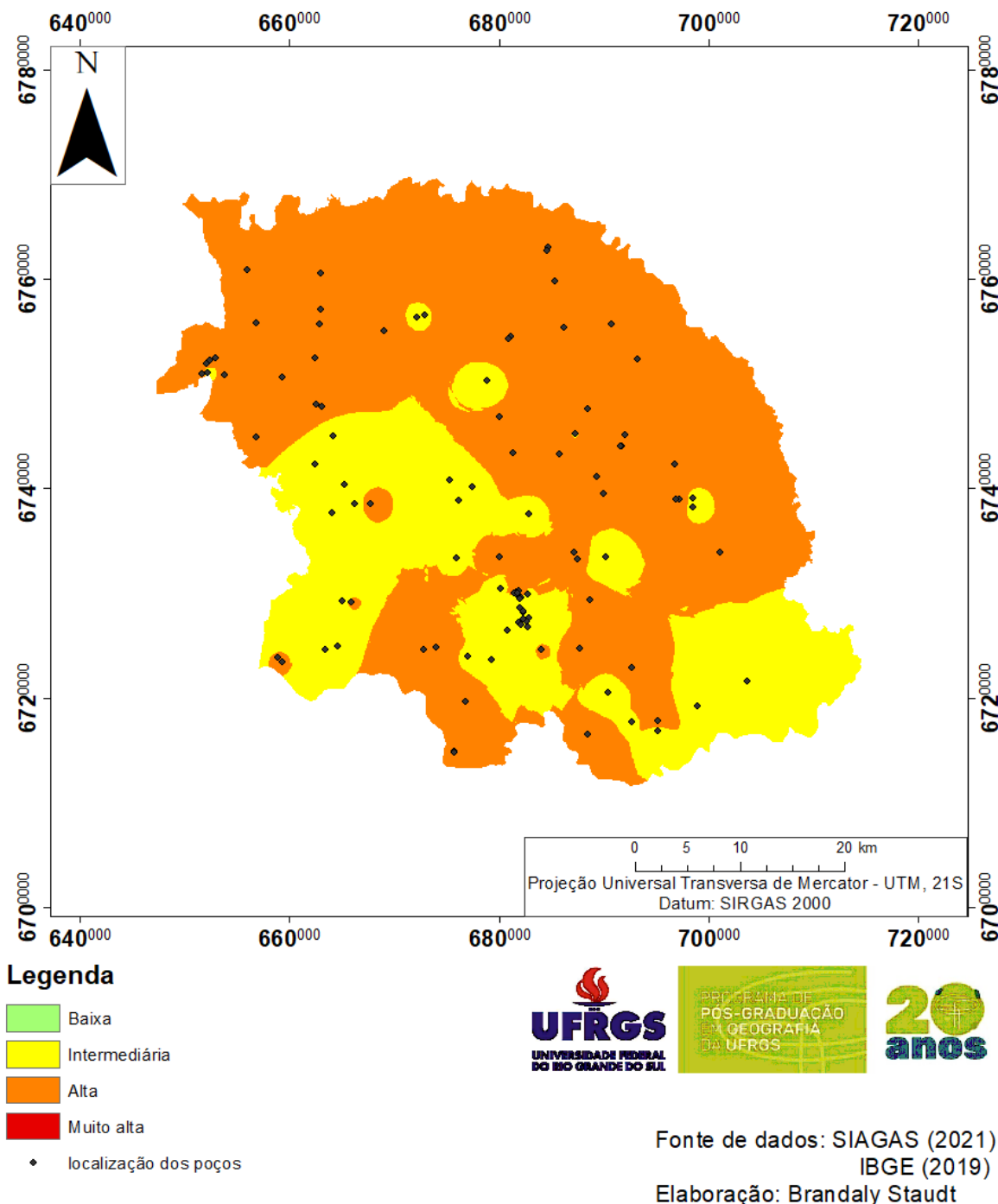
Sobre a localização dos poços, tanto os com dados construtivos, como os sem, 60 se encontram na classe alta e 51 na classe intermediária do índice de susceptibilidade (Figura 93 – Localização dos poços e o índice IS em São Francisco de Assis).

Tabela 42 - Tabela dos poços e o Índice IS em São Francisco de Assis

IS	Quantidade	Localização	Litologia zona saturada	Litologia zona não sat	Solo	Hidroestratigrafia	NE	Vazão do poço	Abastecimento
Intermediário	46	29 área rural, 17 área urbana	03 basalto, 43 arenito	22 arenito, 05 argilito, 07 basalto, 02 diabásio, 06 siltito, 03 solo	11 argiloso, 13 areno-argiloso, 22 arenoso	34 Botucatu/Guará I, 11 Sanga do Cabral/Pirambóia, 01 Serra Geral II	1,91 a 80m	1,5 a 58,06 m ³ /h	26 urbano público, 16 privado, 02 monitoramento 02 industrial
Alto	49	44 área rural, 05 área urbana	15 basalto, 34 arenito	13 basalto, 05 diabásio, 06 solo, 25 arenito	22 arenoso, 11 argiloso, 16 areno-argiloso	27 Sanga do Cabral/Pirambóia, 18 Botucatu/Guará I, 03 Serra Geral II, 01 basalto/Botucatu	2,57 a 31m	1,5 a 10,0 m ³ /h	18 urbano público, 29 privado e 02 lazer

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Figura 93 - Localização dos poços e o Índice IS em São Francisco de Assis



Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

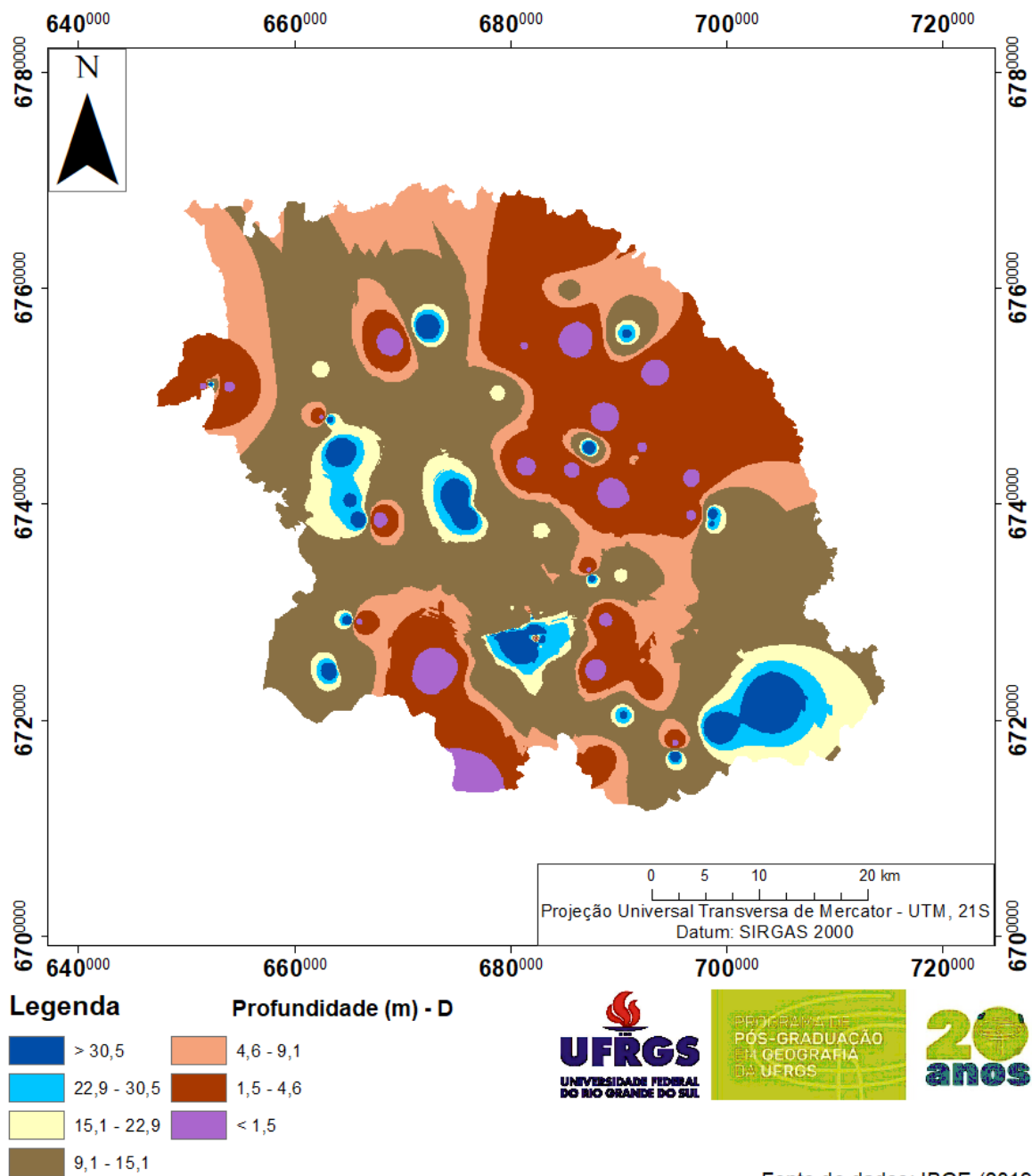
Sobre os parâmetros para determinação do IS, o primeiro parâmetro D (profundidade até o topo do aquífero) variou entre os índices 10 a 100 (Figura 94 – Parâmetro D, do município de São Francisco de Assis), este parâmetro também se encontra no índice GOD, variando os limites de profundidade do parâmetro para cada índice. Da profundidade, 24 poços possuem o parâmetro 10, destes, a profundidade variou entre 33 a 80 m. Com IS intermediário e alto, se encontrando nos aquíferos Serra Geral II, Botucatu/Guará I, Sanga do Cabral/Pirambóia. Para

o parâmetro 20, foram encontrados 06 poços, com profundidades entre 22,9 a 30 m; destes, apenas 01 possui IS alto, os outros são intermediários. Eles se encontram nos aquíferos Sanga do Cabral/Pirambóia e Botucatu/Guará I, este último em área urbana, o restante em área rural.

Do parâmetro 30, foram encontrados 10 poços, com profundidades variando entre 15,4 a 22,9 m. Sobre o IS, estão nas classes intermediária e alta; estando nos aquíferos Sanga do Cabral/Pirambóia e a maioria no Botucatu/Guará I. Sobre o parâmetro 50, 18 poços foram contabilizados, com IS intermediário e alto. Com as profundidades entre 9,3 a 15 m; estando nos aquíferos Serra Geral II, Sanga do Cabral/Pirambóia e Botucatu/Guará I, deste último aquífero, 05 estão em área urbana. 09 poços foram encontrados com parâmetro 70, estes possuem IS alto. Estes poços possuem profundidades variando de 5,3 a 9 m; estando nos aquíferos Sanga do Cabral/Pirambóia e Botucatu/Guará I, apenas 01 está em área urbana.

Do parâmetro 90, foram encontrados 16 poços, com profundidades variando entre 1,6 a 4 m. Estes possuem IS intermediário e alto; estando nos aquíferos Serra Geral II, basalto/Botucatu, Sanga do Cabral/Pirambóia e Botucatu/Guará I; com 02 deles em área urbana. Do parâmetro 100, foram encontrados 12 poços, estes possuem IS intermediário e alto. Eles possuem profundidade variando de surgência a 1,2 m, localizados nos aquíferos Sanga do Cabral/Pirambóia e Botucatu/Guará I, nenhum se encontra na sede urbana (Tabela 43 – Dados do parâmetro D, do município de São Francisco de Assis).

Figura 94 – Parâmetro D, do município de São Francisco de Assis



Fonte de dados: IBGE (2019),
SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

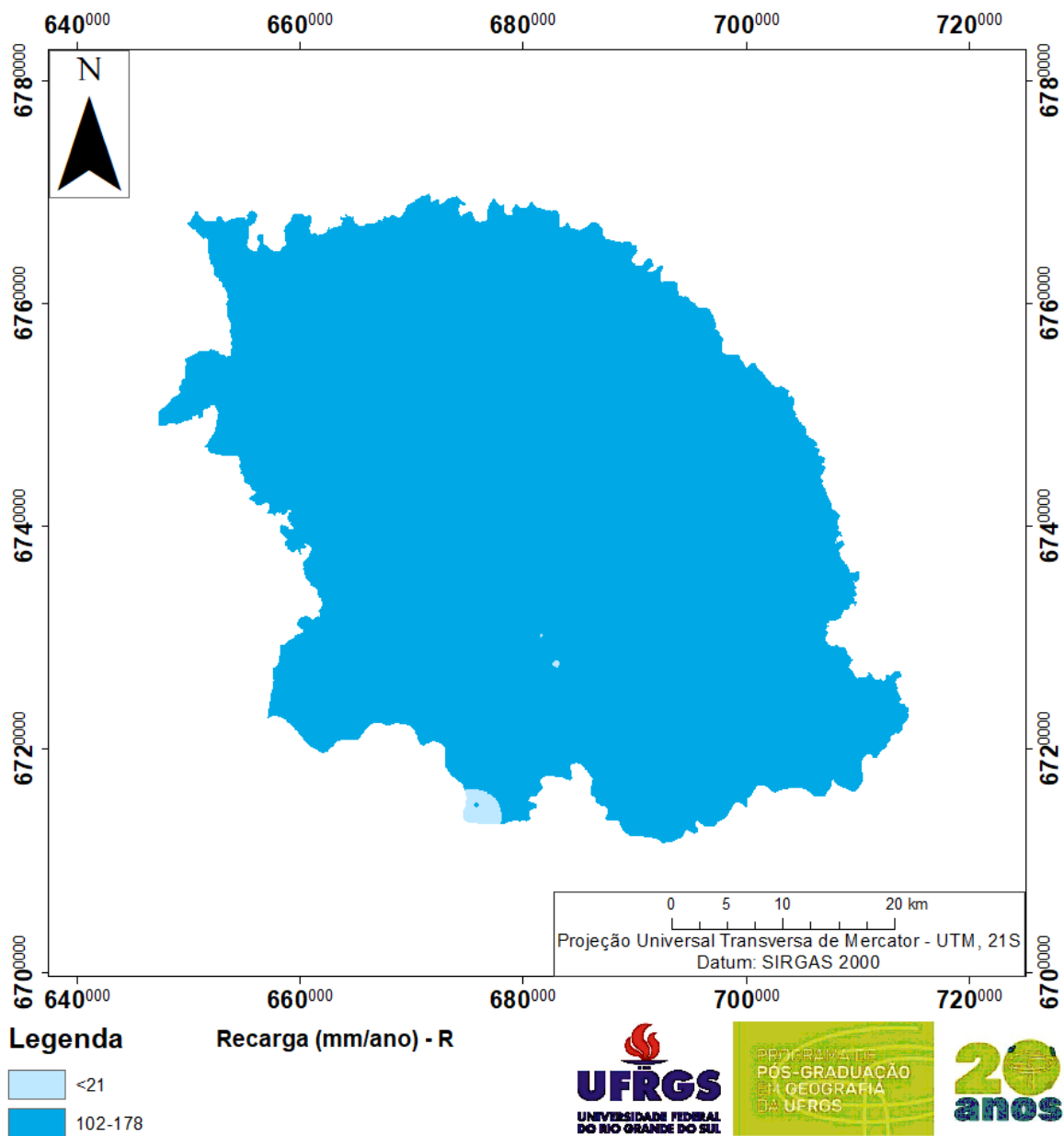
Tabela 43 - Dados do Parâmetro D, do município de São Francisco de Assis

Parâmetro D	IS	Localização	Uso
> 30,5m	22 Intermediário	15 área rural	02 monitoramento, 02 industrial
	02 Alto	09 área urbana	14 urbano público, 06 privado
22,9 - 30,5	05 Intermediário	05 área rural	02 urbano público
	01 Alto	01 área urbana	04 privado
15,1 - 22,9	09 Intermediário	06 área rural	07 urbano público
	01 Alto	04 área urbana	02 privado, 01 lazer
9,1 - 15,1	07 Intermediário	05 área urbana	09 urbano privado
	11 Alto	13 área rural	09 público
4,6 - 9,1	09 Alto	01 área urbana	05 urbano público,
		08 área rural	04 privado
1,5 - 4,6	14 Alto	02 área urbana	08 urbano público,
	02 Intermediário	14 área rural	08 privado
< 1,5	01 Intermediário	12 área rural	03 urbano público, 01 lazer
	11 Alto		

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

O parâmetro R (recarga do aquífero) se encontra com maioria com índices variando de 102 – 178 mm/ano, com pontuação 60 pelo parâmetro, possuindo 68 poços com recarga de 128 mm/ano e 22 poços com recarga de 125 mm/ano. O restante se encontra no parâmetro menor que 21 mm/ano, com pontuação 10 (Figura 95 -Parâmetro R, do município de São Francisco de Assis). Os poços com recarga de 128 mm/ano estão relacionados aos arenitos, enquanto o valor de 125 mm/ano se relaciona às rochas basálticas. Os locais com menores recargas estão relacionados aos argilitos na zona não saturada, nestes locais o IS ficou com índice intermediário, localizando-se na área urbana e um deles bem a sul, destes 05 poços com menor valor de recarga, 04 se encontram obstruídos (Tabela 44 – Dados do parâmetro R, do município de São Francisco de Assis).

Figura 95 - Parâmetro R, do município de São Francisco de Assis



Fonte de dados: IBGE (2019),
HAUSMAN (1995),
SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de HAUSMAN (1995) e SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

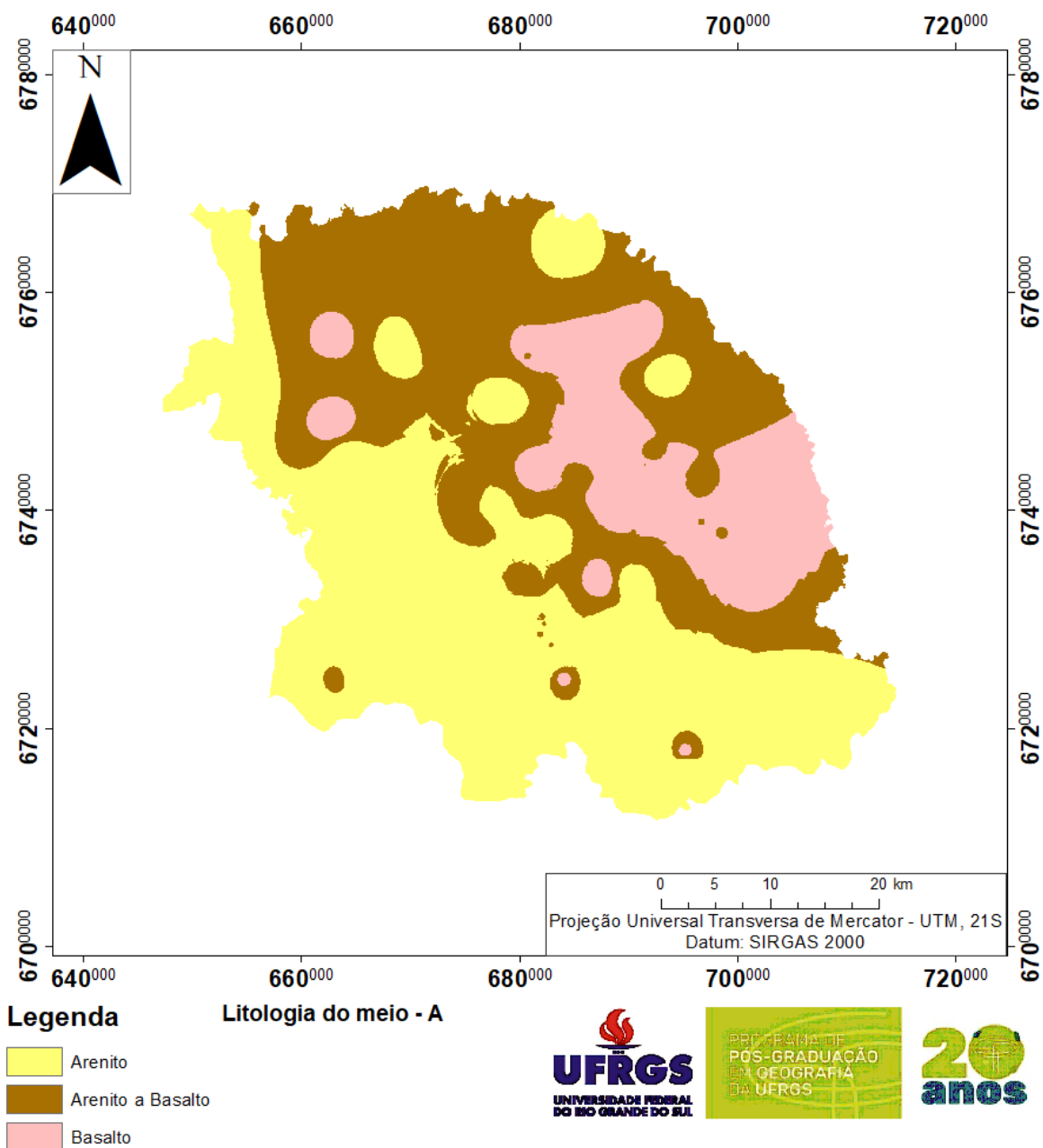
Tabela 44 – Dados do Parâmetro R, do município de São Francisco de Assis

Parâmetro R	IS	Localização	Uso
< 21 mm/ano	05 Intermediário	01 área rural	04 urbano privado
		04 área urbana	01 lazer
102 - 178 mm/ano	41 Intermediário	72 área rural	41 urbano público, 44 privado
	49 Alto	18 área urbana	01 lazer, 02 industrial, 02 monitoramento

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

O parâmetro A (geologia da zona aquífera) variou de 60 a 90 no parâmetro, sendo a geologia do meio aquífero predominante de arenito. Com 53 poços de arenito, variando de fino a maciço, estes ficaram no parâmetro 60; onde o IS é intermediário e alto. No parâmetro 80, ficaram as litologias variando de basalto a arenito no meio aquífero, com 24 poços, estes estão com IS intermediário e alto. Por fim, 18 poços possuem geologia do meio aquífero de basalto em grande parte da zona vadosa e basalto na camada aquífera, onde o parâmetro é 90, estando com IS alto e intermediário (Figura 96 – Parâmetro A, do município de São Francisco de Assis). Dos poços com basaltos no meio aquífero, estes se encontram nos aquíferos Serra Geral II (03) e no Sanga do Cabral/Pirambóia (15); os poços variando de basalto a arenito estão nos aquíferos Botucatu/Guará I (15) e Sanga do Cabral/Pirambóia (09); por fim, os poços com litologia de arenito, que são a maioria, se encontram em todos os aquíferos do município (Tabela 45 – Dados dos parâmetros A, do município de São Francisco de Assis).

Figura 96 - Parâmetro A, do município de São Francisco de Assis



Fonte de dados: SIAGAS (2021)
IBGE (2019)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

Tabela 45 - Dados do Parâmetro A, do município de São Francisco de Assis

Parâmetro A	IS	Localização	Uso
Arenito	36 Intermediário	40 área rural	26 urbano público, 01 lazer
	17 Alto	13 área urbana	02 monitoramento, 24 privado
Basalto / Arenito	08 Intermediário	16 área rural	17 urbano público, 04 privado
	16 Alto	08 área urbana	02 industrial, 01 lazer
Basalto	02 Intermediário	18 área rural	05 urbano público
	16 Alto		13 privado

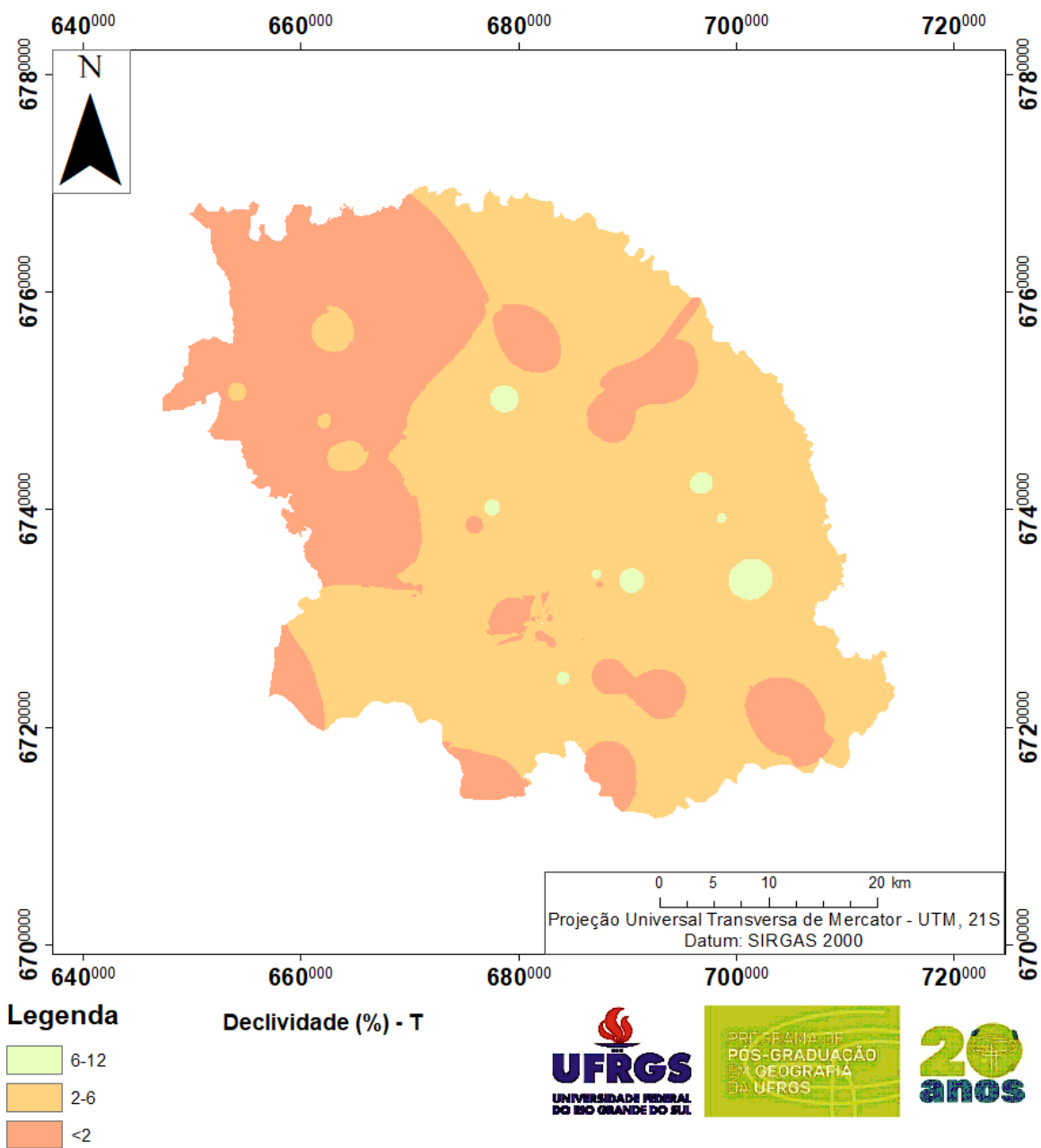
Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

O parâmetro T (declividade) variou de 50 a 100 no parâmetro, com 08 poços com declividade entre 6 – 12% (50), 55 poços com declividade entre 2 – 6% (90) e 32 poços com declividade menor que 2% (100) (Figura 97 – Parâmetro T, do município de São Francisco de Assis). Na região a declividade é muito baixa, sendo ainda mais na região do trecho do rio Ibicuí. Por isto os valores altos no parâmetro declividade, com isto, as águas tendem a se infiltrar, podendo conduzir contaminantes até o aquífero.

As declividades mais altas favorecem o escoamento superficial, a análise das curvas de nível indica que as curvas de nível mais altas se encontram a nordeste do município, sendo que pela cota dos poços, disponível no SIAGAS, as cotas mais altas também a nordeste do município (Figura 98 – MDE de São Francisco de Assis); em contra partida a topografia mais alta no município se encontra em pontos bem específicos do município. Dos poços com parâmetro 50, se encontram nos aquíferos Botucatu/Guará I (03) e Sanga do Cabral/Pirambóia (05), em determinados pontos do município em direção a nordeste. No parâmetro 90, os poços se encontram nos aquíferos Serra Geral II (02), Botucatu/Guará (31), Sanga do Cabral/Pirambóia (22). Por fim, os poços com parâmetro 100 estão nos aquíferos basalto/Botucatu (01), Serra Geral II (01), Sanga do Cabral/Pirambóia (12) e Botucatu/Guará I (18).

Nas três categorias do parâmetro declividade, constam poços com as classes intermediária e alto, sendo que a maioria dos poços de classe alta se encontram com a declividade entre 2 – 6% (Tabela 46 – Dados do parâmetro T, do município de São Francisco de Assis).

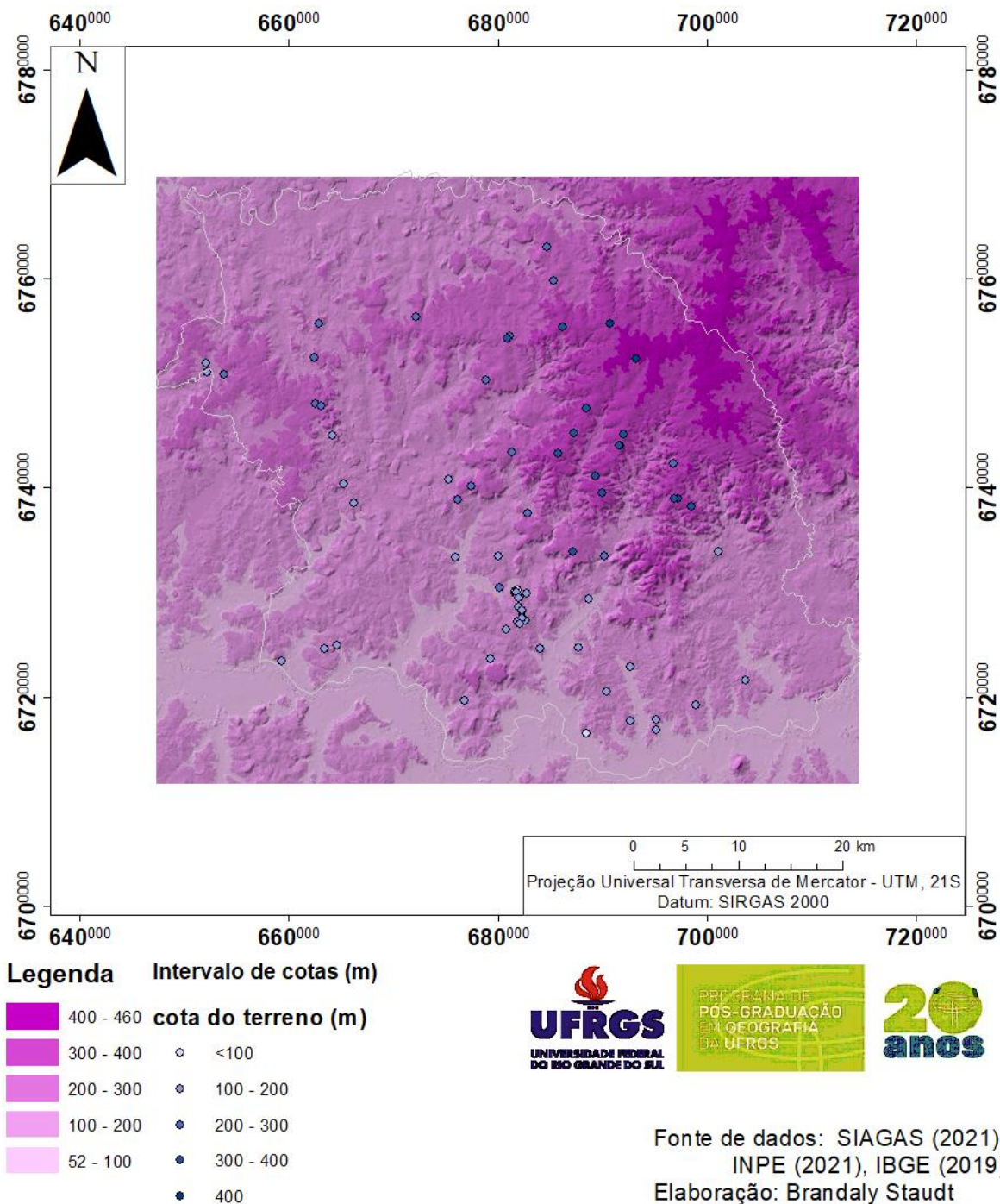
Figura 97 – Parâmetro T, do município de São Francisco de Assis



Fonte de dados: SIAGAS (2021)
INPE (2021), IBGE (2019)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021) e INPE (2021), elaboração própria (2022).

Figura 98 - MDE de São Francisco de Assis



Fonte: Adaptado de IBGE (2019), SIAGAS (2021) e INPE (2021), elaboração própria (2022).

Tabela 46 – Dados do Parâmetro T, do município de São Francisco de Assis

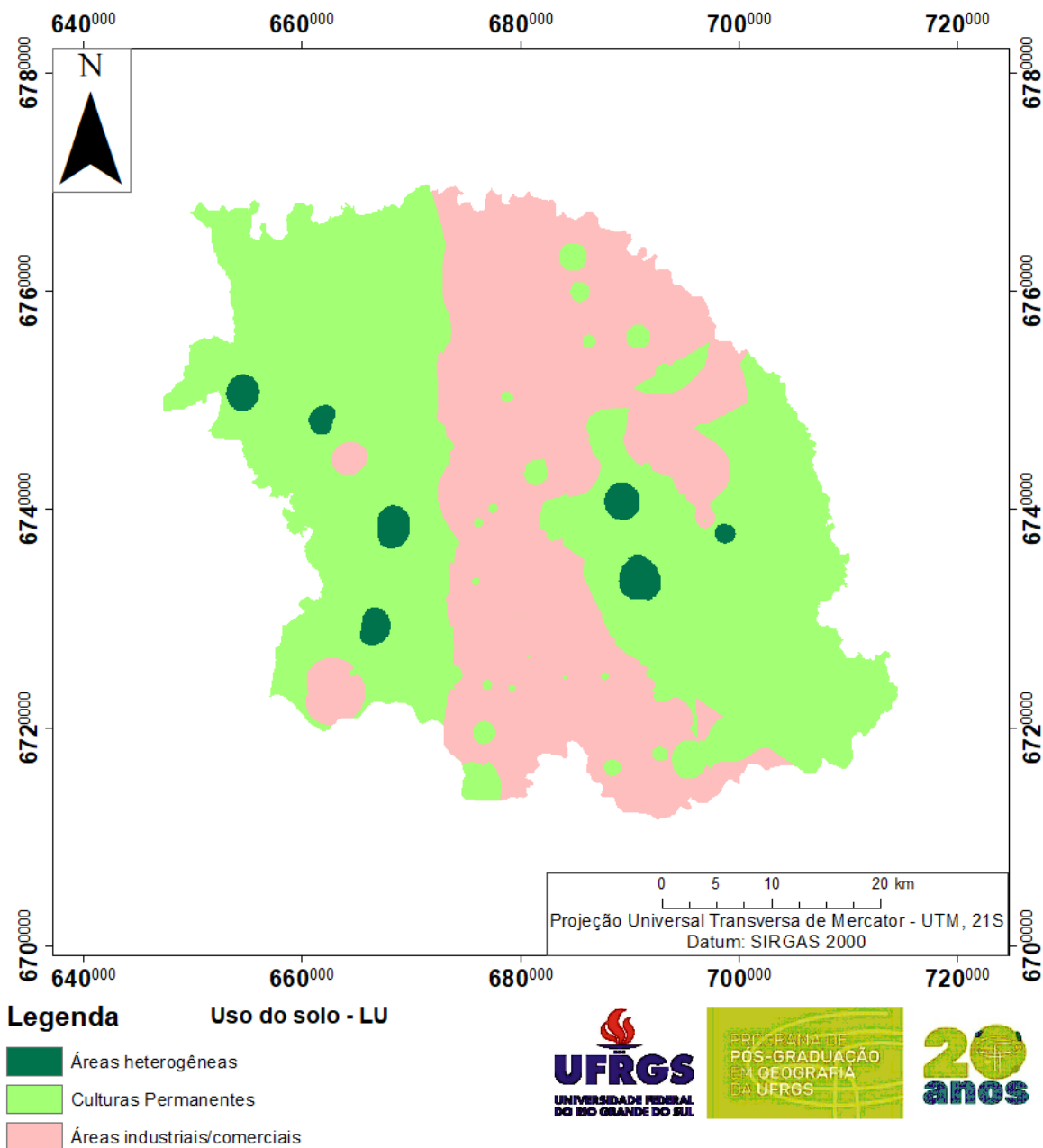
Parâmetro T	IS	Localização	Uso
06 - 12%	04 Intermediário	08 área rural	03 urbano público
	04 Alto		05 privado
2 - 6%	28 Intermediário	41 área rural	29 urbano público, 01 monitoramento
	27 Alto	14 área urbana	23 privado, 02 industrial
< 2%	14 Intermediário	26 área rural	14 urbano público, 01 monitoramento
	18 Alto	06 área urbana	16 privado, 01 lazer

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

O parâmetro LU (uso do solo) no município ficou entre 50 a 75, com 07 poços com valor 50 do parâmetro, 51 poços com parâmetro 70 e o restante, 37 poços, com parâmetro 75 (Figura 99 – Parâmetro LU, do município de São Francisco de Assis). Os poços com parâmetro 50, são aqueles com pastagens e área agrícolas heterogêneas, estando nos aquífero Serra Geral II (01), Sanga do Cabral/Pirambóia (04) e Botucatu/Guará I (02).

Os poços com parâmetro 70 se localizam nos aquíferos basalto/Botucatu (01), Serra Geral II (02), Sanga do Cabral/Pirambóia (28), Botucatu/Guará I (20); este parâmetro considera a malha urbana descontínua e culturas permanentes. Por fim, o parâmetro 75 está relacionado a malha urbana contínua, indústrias e espaços de atividades comerciais; se localizam nos aquíferos Serra Geral II (01), Sanga do Cabral/Pirambóia (08) e maioria no Botucatu/Guará I (28) [Tabela 47 – Dados do parâmetro LU, do município de São Francisco de Assis].

Figura 99 - Parâmetro LU, do município de São Francisco de Assis



Fonte de dados: SIAGAS (2021)
GOOGLE EARTH (2021), IBGE (2019)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021) e GOOGLE EARTH (2021), elaboração própria (2022).

Tabela 47 – Dados do Parâmetro LU, do município de São Francisco de Assis

Parâmetro LU	IS	Localização	Uso
Áreas agrícolas heterogêneas	02 Intermediário	07 área rural	02 urbano público
	05 Alto		05 privado
Malha urbana descontínua	22 Intermediário	50 área rural	13 urbano público, 01 lazer
	29 Alto	01 área urbana	36 privado, 01 monitoramento
Malha urbana contínua	22 Intermediário	16 área rural	29 urbano público, 01 lazer
	15 Alto	21 área urbana	05 privado, 02 industrial

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

A princípio, se observa que os menores valores para os parâmetros estão no D e R, em poucas amostras. Enquanto os valores máximos foram encontrados nos parâmetros D e T, sendo mais constante no parâmetro D. Nenhum poço unifica todos os valores máximos encontrados para os parâmetros, sendo que onde unifica dois valores máximos, dos parâmetros D e T, um ficou com IS intermediário pois o valor do parâmetro R era muito baixo, o restante, 06 poços, estão com IS alto, com o valor de R mais elevado. Nenhum dos poços unifica os menores valores para os índices, sendo que dois poços possuem valores menores de D e T.

O menor valor de IS é o poço 4300021417, com 50.99, nele os valores de D, T e LU são mais baixos, mas somente o de LU é o mais baixo do parâmetro. Este poço é perfurado pela prefeitura localizado em um parque de exposições. O maior valor de IS é o poço 430001113, com valor de 82.27, nele os valores de D, R, A e T são os mais altos encontrados para os poços. Este poço se encontra com abastecimento doméstico, em área rural. Outros poços possuem valores acima de IS, o 4300000981, com IS de 81.52, unifica os maiores valores de R, A, T e LU; e o 4300000984, com valor de IS de 81.06, com D, R, A sendo os parâmetros com os valores mais altos. Estes dois poços se encontram próximos, em área rural ao norte do município, com uso para abastecimento doméstico.

Apesar da quantidade próximas das classes intermediária e alta nos poços do SIAGAS, com 46 e 49 respectivamente, a interpolação pelo método IDW acentuou a classe alta do IS, com 68,8% e intermediário com 31,2%. O que se percebe é que a classe alta se encontra tanto em poços próximos uns aos outros, quanto em vários poços distribuídos amplamente pelo município. Já a classe intermediária se encontra bem concentrada na área urbana, e em poços pela metade sul do município.

Não há um parâmetro único que mude o valor de forma acentuada do IS, verifica-se que o parâmetro R quando está baixo, a classe fica intermediária, apesar de que na maioria deles, o D também tem valores menores. Num geral, a união de vários parâmetros mais altos que

caracteriza o IS como mais elevado; por exemplo, a união de valores máximos de D e T, ou então, valores mais altos de D, A, T e LU.

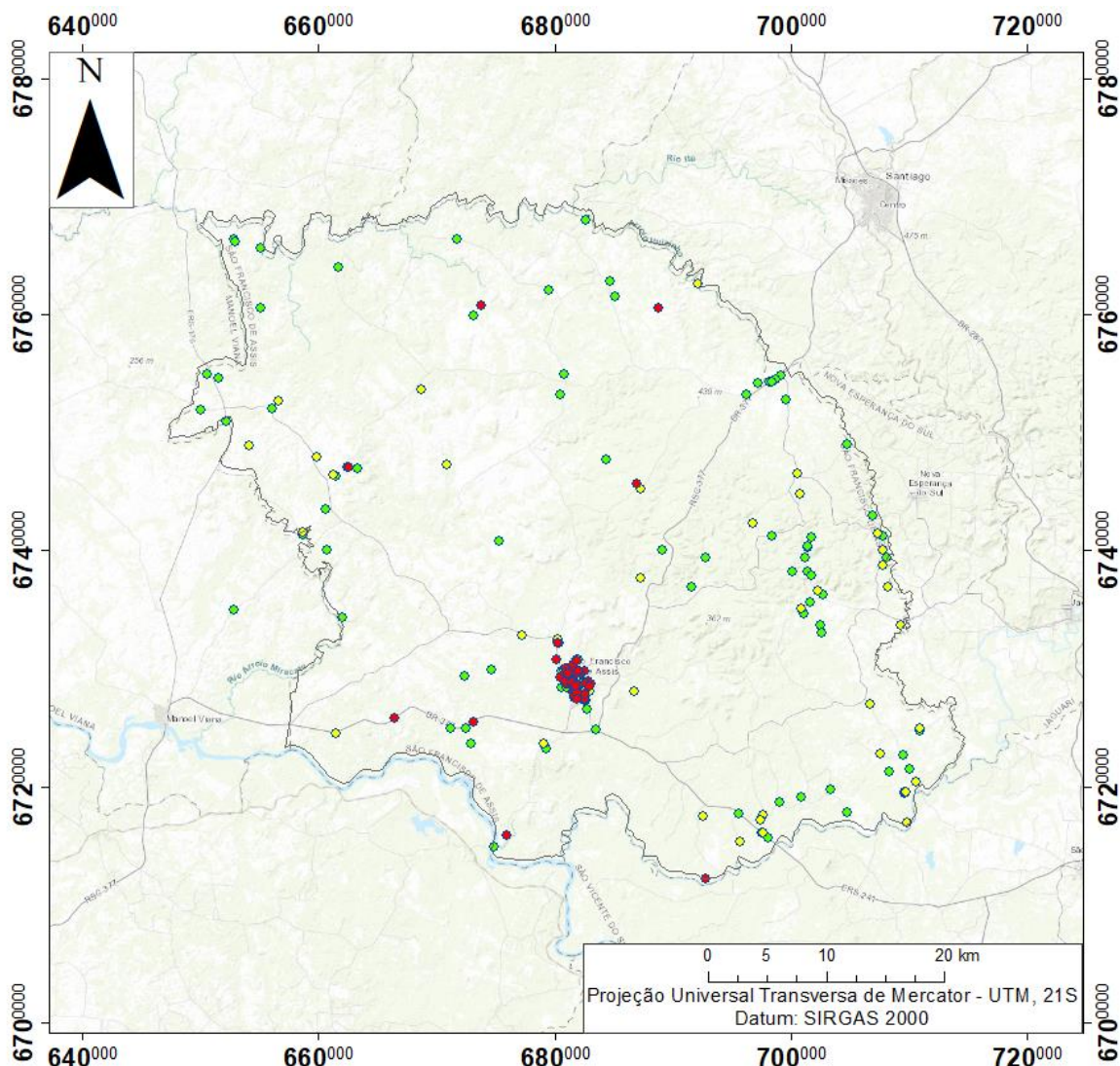
As áreas com IS alto estão, em maioria, com parâmetro A de basalto e arenito a basalto. Assim como, áreas onde há poços com declividades menores, a classe alta é a maioria. Locais com áreas de atividade urbana e industrial também se localizam com IS alto, majoritariamente. No município, o valor de IS se encontra no intervalo entre os valores de 56 a 79 para a maioria dos poços, neste intervalo abarca parte da classe intermediária e parte alta do índice.

Pode-se inferir que o município possui uma homogeneidade em diversos parâmetros, como o R, A, T e LU, isso explica a pouca variação nos valores de IS. O parâmetro D é o que mais oscila, nos poços onde ele é mais elevado, outros parâmetros se encontram mais baixos. O IS não apresentou de uma forma tão clara as variações do município, indicando as áreas com classe alta a metade centro – nordeste, a sede municipal e as áreas ao sul com surgência de aquífero. Não se encontra um ponto crítico para risco de contaminação no município, pois este possui certa similaridade nos parâmetros do índice, devido a isto, uma grande área requer atenção quanto a contaminação da água subterrânea, pois se encontra em uma classe alta, por conta disto, é necessário um plano de ação a longo prazo para manter a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos.

6.2.3 Índice POSH

O levantamento das empresas locais averiguou 266 empreendimentos que são levados em consideração para o índice POSH Pontual, do total de 340 empreendimentos atuantes levantados pelo IBGE Cidades (2020). Destes, 130 estão na classe reduzida, 77 estão na classe moderada e 59 estão na classe elevada (Figura 100 – Índice POSH pontual em São Francisco de Assis). O levantamento dos empreendimentos considera os empreendimentos passíveis de contaminação das águas subterrâneas, elaborada por Foster *et al* (2002) onde sintetiza o potencial poluidor e carga hidráulica dos principais tipos de empreendimentos urbanos e rurais e os categoriza.

Figura 100 – Índice POSH pontual em São Francisco de Assis



Legenda

Índice POSH pontual

- ELEVADO
- MODERADO
- REDUZIDO



Fonte de dados: FEPAM (2021), ESRI (2022), IBGE (2019), ECONODATA (2021), GOOGLE EARTH (2021)
 Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de ECONODATA (2021), FEPAM (2021), GOOGLE EARTH (2021), IBGE (2019) e IBGE (2020), elaboração própria (2022).

Das classes deste índice, o reduzido possui a maior quantidade de empreendimentos, com 130. Possuindo uma variedade de 16 tipos de empreendimentos, sendo a armazenagem de grãos o tipo com maior quantidade de empreendimentos, com 42; em segundo lugar se encontram as indústrias alimentícias, com 21 empreendimentos e em terceiro a silvicultura com 14. Os demais tipos de empreendimentos possuem menores quantidades, quatro tipos de

empreendimentos possuem apenas 01 empresa cada (Tabela 48 – Classe reduzido e empreendimentos em São Francisco de Assis).

Tabela 48 – Classe reduzido e empreendimentos em São Francisco de Assis

Armazenagem de grãos	42
Indústria alimentícia	21
Silvicultura	14
Extração argila	9
Cemitério	8
Fábrica de móveis	7
Madeireira	5
Recreação e lazer	5
Laboratórios de análises	4
Extração de basalto	4
Clínica veterinária	4
Serraria com desdobramento de madeira	3
Fabricação de embalagens de papel	1
Subestação	1
Piscicultura	1
Distribuição de cabos de telecomunicações	1

Fonte: Adaptado de ECONODATA (2021), FEPAM (2021), GOOGLE EARTH (2021) e IBGE (2021), elaboração própria (2021).

A classe moderada é a que possui a maior quantidade de tipos de empreendimentos no município, com 19. Com uma quantidade total de 77 empreendimentos, onde o tipo que possui as maiores quantidades é a avicultura, com 14 empreendimentos. Nesta classe, muitos tipos possuem poucos empreendimentos cada, como exemplo, 09 tipos possuem 01 empreendimento cada. Em contrapartida, os tipos com maiores quantidades de empreendimentos também possuem valores similares, sendo que os quatro primeiros (avicultura, confinamento bovino, fabricação ou armazenamento de fertilizante e transporte de produtos perigosos) possuem valores próximos de exemplares (Tabela 49 – Classe moderado e empreendimentos em São Francisco de Assis).

Tabela 49 – Classe moderado e empreendimentos em São Francisco de Assis

Avicultura	14
Fabricação e ou armazenamento de fertilizantes	12
Transporte de produtos perigosos	11
Confinamento bovino	11
Posto de combustível	7

Criação de bovinos para corte	4
Usina de reciclagem	3
Aterro controlado	2
Industria têxtil	2
Fábrica de calçados	2
Armazenagem de químicos	1
Extração de materiais inertes	1
Captação, tratamento e distribuição de água	1
Aterro com triagem	1
Processamento de resíduo sólido urbano	1
Fabricação de fraldas descartáveis	1
Fabricação de desinfetantes	1
Fábrica de celulose	1
Ranicultura	1

Fonte: Adaptado de ECONODATA (2021), FEPAM (2021), GOOGLE EARTH (2021) e IBGE (2021), elaboração própria (2021).

A classe elevada é a que possui a menor quantidade e tipos de empreendimentos. Com um total de 59 empreendimentos, a maioria deles são de oficinas mecânicas, seguido por oficinas de engenharia. Esta classe possui uma variedade de 11 tipos de empreendimentos, onde 06 deles possuem apenas um empreendimento cada, e o restante também possui poucos exemplares (Tabela 50 – Classe elevado e empreendimentos em São Francisco de Assis).

Tabela 50 – Classe elevado e empreendimentos em São Francisco de Assis

Oficina mecânica	21
Oficina de engenharia	17
Armazenagem de agrotóxico	9
Abatedouro	4
Hospital	2
Distribuição de energia	1
Gasoduto Uruguaiana - triunfo (projeto em andamento)	1
Extração de areias betuminosas	1
Fabricação de embalagens metálicas	1
ETE	1
Posto de recebimento de embalagens de agrotóxicos	1

Fonte: Adaptado de ECONODATA (2021), FEPAM (2021), GOOGLE EARTH (2021) e IBGE (2021), elaboração própria (2021).

As três classes se encontram, em maioria, no perímetro urbano, em especial a sede municipal e a região de Toroquá, apesar de se encontrar muitos pontos por toda área. Das três classes, a reduzida é a que se encontra por todo o perímetro municipal ainda que a maioria se concentra na sede municipal, a classe moderada se encontra bem dispersa pelo território, com

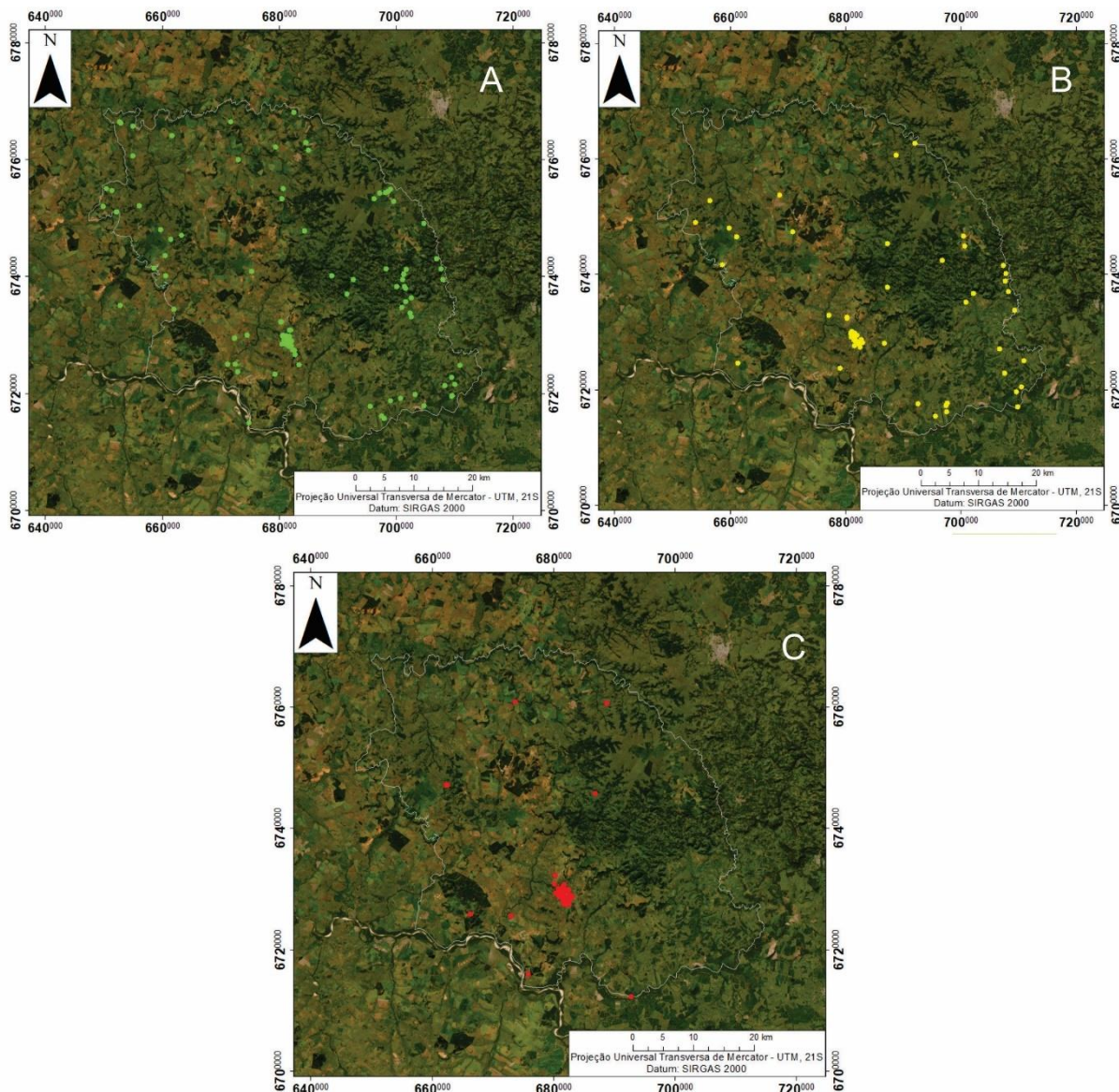
exceção da região noroeste do município, estando em maioria em perímetro urbano. Enquanto a classe elevada se encontra localizada predominantemente na sede urbana do município (Figura 101 – Mosaico de São Francisco de Assis com as classes separadamente – a. reduzido; b. moderado; c. elevado).

Os empreendimentos da classe reduzida e moderada se encontram em todas as unidades hidrogeológicas, Botucatu/ Guará I, basalto/Botucatu, Sanga do Cabral / Pirambóia e Serra Geral II; apesar da maioria se encontrar no aquífero Botucatu / Guará I, a classe reduzida se encontra com mais exemplares nos outros aquíferos do que a classe moderada. No aquífero Serra Geral II, 03 são da classe reduzida e 02 da moderada. Do aquífero basalto / Botucatu se encontra com 02 empreendimentos na classe moderada e 07 na reduzida, e o aquífero Sanga do Cabral / Pirambóia, a classe moderada têm 26 empreendimentos e a reduzida possui 45. Enquanto a classe elevada se encontra majoritariamente no aquífero Botucatu / Guará I, com apenas 01 no Serra Geral II e 03 no Sanga do Cabral / Pirambóia. A maioria dos empreendimentos se encontram próximos a recursos hídricos superficiais, a exceção são os empreendimentos na área urbana central do município; os empreendimentos se encontram em todos os tipos de solos, mas em litologia de arenito, predominantemente, para todas as classes do POSH.





Em relação aos poços cadastrados no SIAGAS, se observa que a classe POSH reduzido se encontram associada a alguns poços, tanto no perímetro urbano, quanto em áreas rurais, apesar de muitos empreendimentos estarem em áreas sem poços. A classe moderada se encontra em áreas próximas a poços apenas em alguns locais na sede municipal, enquanto que na área rural não há correlação. Por fim, a classe elevada se encontra próxima a poços em 03 pontos da área urbana e em 02 na área rural, apenas. Grande parte dos poços estão na área rural, porém, estes não se encontram associados a empreendimentos passíveis de classificação no POSH, e os que se encontram associados, se relacionam com armazenagem de grãos, silvicultura, lazer, criação de bovinos, oficinas mecânicas e oficinas de engenharia (Figura 102 – Localização dos poços e o índice POSH pontual em São Francisco de Assis).

Dos poços do SIOUT, a classe do POSH reduzido se encontra próximo a poucos poços, bem como da classe moderada e elevada, onde poucos empreendimentos do índice se encontram em áreas do raio de influência dos poços. Os poços próximos a empreendimentos se encontram próximos a cemitério, indústrias alimentícias, serraria, armazenagem de grãos, usina de reciclagem, fabricação ou armazenamento de fertilizantes, oficina mecânica e oficina de engenharia.

Figura 101 – Mosaico de São Francisco de Assis com as classes separadamente – a. reduzido; b. moderado; c. elevado



Legenda

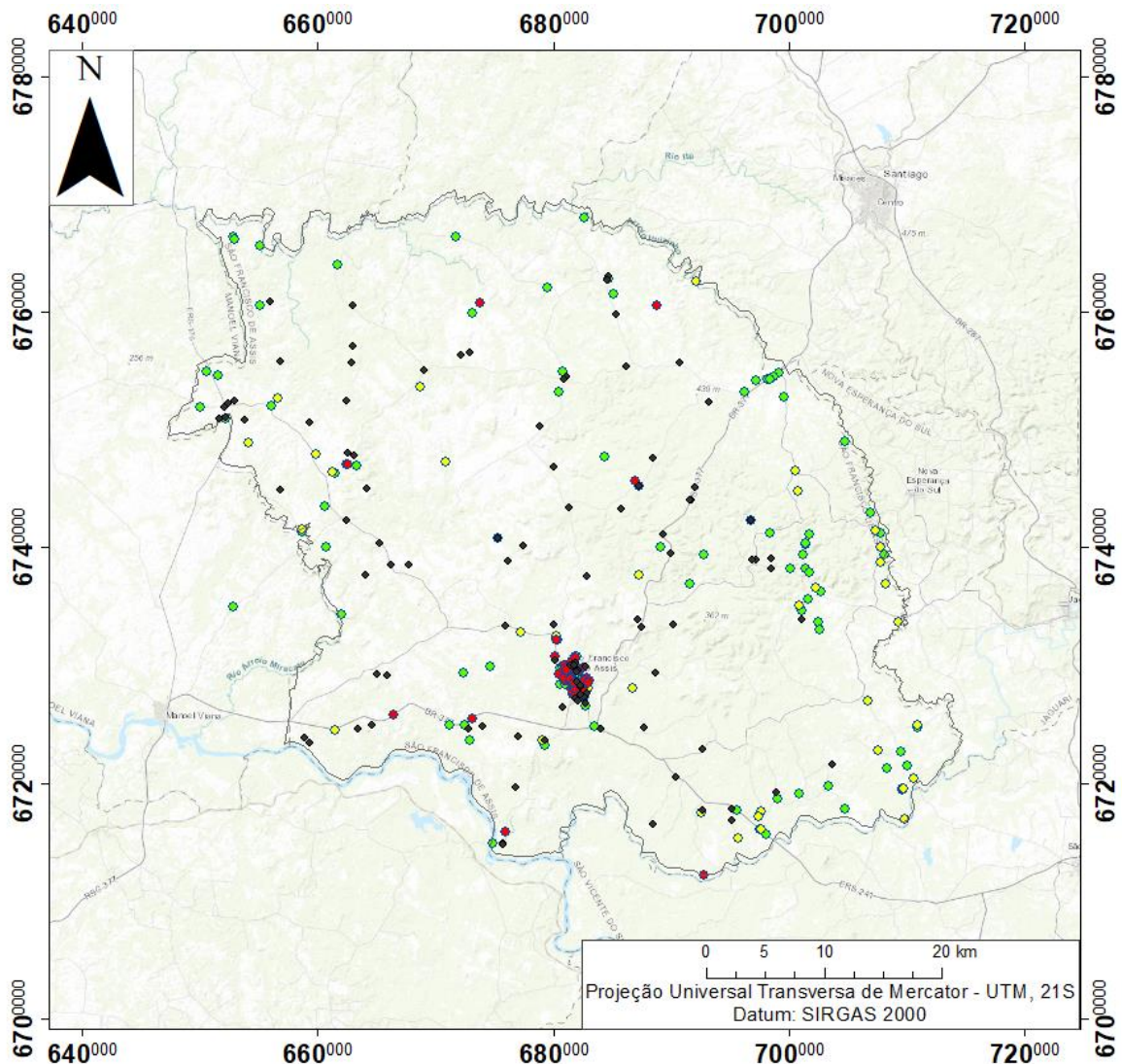
-  limite municipal
-  POSH pontual reduzido
-  POSH pontual moderado
-  POSH pontual elevado



Fonte de dados: FEPAM (2021),
ESRI (2022), IBGE (2019),
SIAGAS (2021), ECONODATA (2021),
GOOGLE EARTH (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de ECONODATA (2021), FEPAM (2021), GOOGLE EARTH (2021), IBGE (2019) e IBGE (2021), elaboração própria (2022).

Figura 102 - Localização dos poços e o índice POSH pontual em São Francisco de Assis



Legenda

Índice POSH pontual

- ELEVADO
- MODERADO
- REDUZIDO
- ◆ localização dos poços



Fonte de dados: FEPAM (2021), ESRI (2022), IBGE (2019), SIAGAS (2021), ECONODATA (2021), GOOGLE EARTH (2021)

Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de ECONODATA (2021), FEPAM (2021), IBGE (2021), IBGE (2019), GOOGLE EARTH (2021) e SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

O que se observa das três classes, é que a elevada é muito restrita ao perímetro urbano central, enquanto as classes reduzidas e moderada se encontram mais disseminadas, por vezes estas duas classes se encontram relacionadas, como a armazenagem de grãos e a armazenagem de fertilizantes e agrotóxicos. O que se observa é que apesar de vários locais de confinamento bovino, há poucos abatedouros; e o transporte de produtos perigosos se encontram mais

restritos, apesar da grande quantidade de armazenamento de grãos. No município, os empreendimentos de classificação do POSH são de maioria do ramo agropecuário, porém os empreendimentos de risco mais elevado de contaminação, se relacionam a oficinas mecânicas e oficinas de engenharia. Das mecânicas, a maioria delas são de carros e motos, enquanto as oficinas de engenharia são aqueles empreendimentos relacionados a construções e obras de imóveis.

O município possui a maioria das atividades voltadas ao setor agropecuário, com o POSH se observa essa tendência, mesmo na área urbana, muitas atividades se encontram relacionadas ao meio rural, como o armazenamento de fertilizantes, transporte de produtos perigosos; apesar da área urbana possuir sua industrialização a parte, como indústria têxtil, de fabricação de fraldas e embalagens, mesmo que empresas de porte pequeno. Se observa que as áreas mais suscetíveis a contaminação da água subterrânea são a sede municipal e as principais rodovias, em especial a BR-377 e a RS-241.

Quanto ao POSH Difuso, na área urbana se relaciona com o saneamento in situ, onde se avalia a densidade demográfica da sede municipal e a cobertura da rede coletora de esgoto sanitário. São Francisco de Assis possui área de 1.428 ha na sede urbana, e uma população urbana residente de 13.495 habitantes (IBGE, 2010); com uma densidade demográfica de 9,45 hab/ha. A cobertura da rede de esgotamento sanitário é de 25,4 % (IBGE, 2010), com isto, o saneamento in situ se encontra na classe moderada.

Nas áreas com agropecuária, a vulnerabilidade está no uso intensivo do solo, em monoculturas em solos pobres e com baixa eficiência na irrigação, em solos fertilizados e a pastagem intensiva, a partir daí, a vulnerabilidade diminuiu à medida que o solo é melhor conservado, com variedade de culturas e sistemas agrofloretais, com pasto extensivo. No caso do município, as áreas onde se localizam os areais possuem uma classe elevada para contaminação, por serem regiões com vulnerabilidade natural devido à baixa eficiência na irrigação, apesar de não serem áreas utilizadas para agricultura e serem bem concentradas.

O Censo IBGE (2019) indicou maior uso da terra para pastagens, porém, os dados do IBGE cidades (2020) e da SEBRAE (2019) indicam uma grande área para lavoura. Dos tipos de lavoura, a maioria são temporárias, com 53.000 ha para soja; estas lavouras temporárias possuem a rotação de culturas entre a soja, sorgo, cana-de-açúcar, mandioca e fumo. Segundo o SEBRAE (2019), 45.006,288 ha de soja, 3.449,184 ha de arroz, 2.503,44 ha de milho, 1.112,64 ha de fumo e o mesmo para trigo. Com 2.325 propriedades rurais, um pouco mais da metade utiliza agrotóxicos.

O município de São Francisco de Assis é um grande produtor da região, com valores altos em várias culturas, sendo o 5º maior produtor de melancia do estado, com 10.000 toneladas produzidas. Mas a maior lavoura temporária é de soja, com 83.422 toneladas produzidas (CENSO AGROPECUÁRIO, 2020 e RIO GRANDE DO SUL, 2021).

A análise das áreas fica dificultada por ser difícil de identificar cada tipo de plantio, não foram encontradas as áreas detalhadas onde há os plantios, assim como, é difícil encontrar as áreas que utilizam agrotóxicos. As lavouras que mais utilizam agrotóxicos são de: soja, milho, cana-de-açúcar e fumo, mas não há as delimitações destas áreas. Procurando por algumas áreas em site de busca, foram encontradas imagens e a localização de algumas fazendas, entretanto, o polígono das áreas não estava delimitado, ficando a cargo das imagens de satélite.

Mesmo tendo estudos indicando que áreas onde seriam de APP, por vezes, não são respeitadas, não há a localização de onde isto ocorre. Assim como, não há a delimitação de quais são áreas de lavoura e quais são de pecuária. Pelo IBGE, área de lavoura temporária compõe cerca de 50 ha, enquanto a pecuária compõe cerca de 150.00 ha (vide figura 11 – de uso do território, na caracterização do município).

Não se tem ideia, em hectares, de quanto agrotóxico é utilizado, sabe-se a quantidade de estabelecimento, porém, cada estabelecimento possui uma área distinta, e as fazendas não possuem dados acerca do uso de agrotóxicos ou transgênicos.

Na indicação das classes do POSH, as áreas de agricultura de soja receberam a classe moderada pois, apesar de não ter a área exata das fazendas, a maioria delas utiliza agroquímicos, além disto, utilizam grande quantidade de fertilizantes e água (auxiliando na lixiviação de químicos). Enquanto as pastagens naturais e em boas condições, lavouras permanentes em boas condições, bem como de flores e florestas plantadas, sistemas agroflorestais e áreas naturais receberam a classe reduzida, no índice.

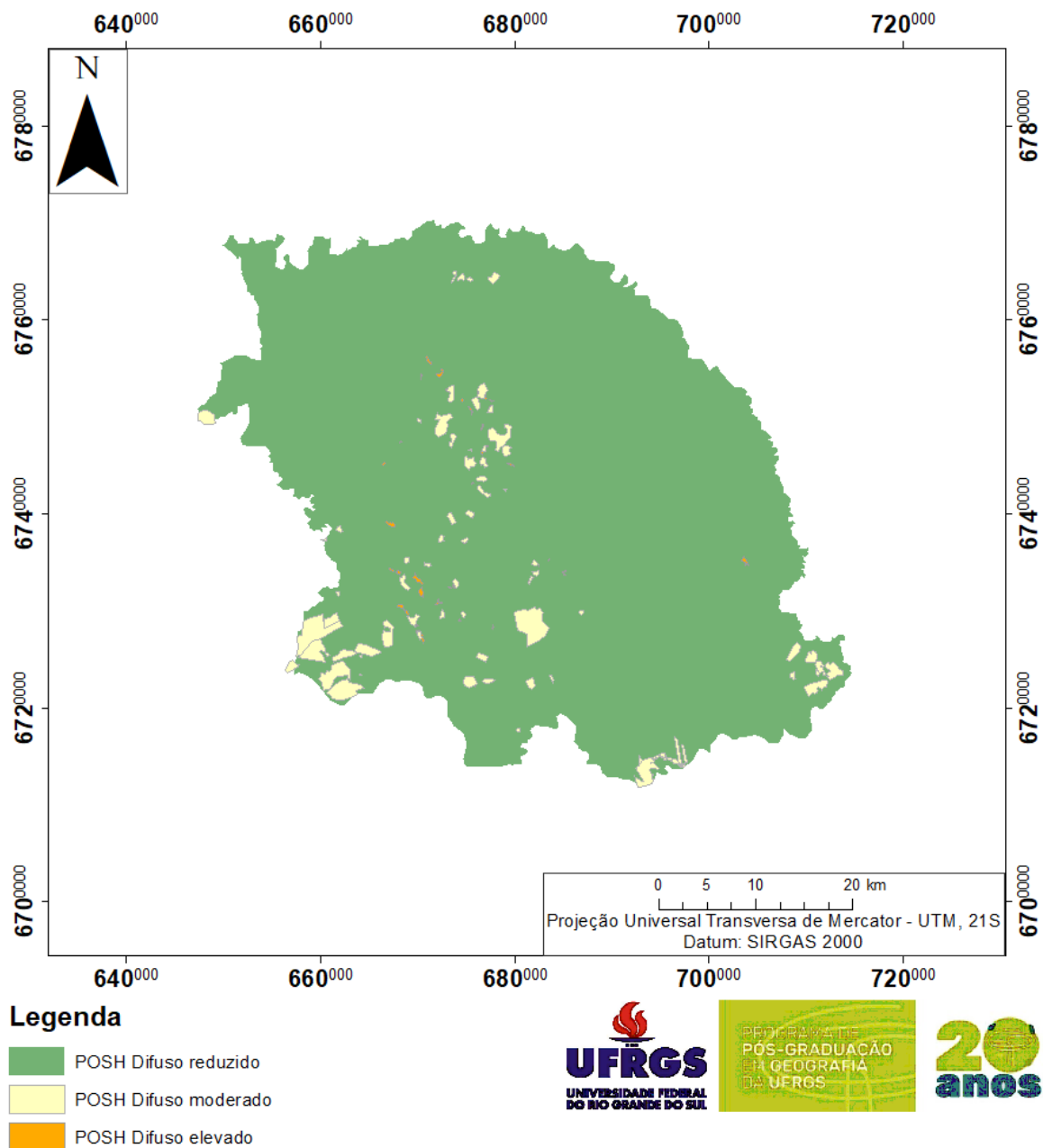
A classe elevada no município, foi delimitada apenas nas áreas com localização dos areais e processos mais intensos de voçoroca, por se tratar de uma morfologia que pode vir a fragilizar áreas de nascentes e olhos d'água. Com isto, a classe elevada correspondendo a 0,3% da área total, a classe moderada corresponde a 4,1% enquanto a área reduzida equivale a 95,6% (Figura 103 – índice POSH difuso em São Francisco de Assis).

As áreas restantes (5,4%) que não foram somadas na sede urbana, nem na área rural, foram considerados pequenos perímetros urbanos e/ou áreas agroindustriais, com isto, estas foram consideradas com o POSH difuso reduzido por ter um índice de chuvas menor que 500 mm/ano, entretanto, devido à falta de dados para o índice difuso, este valor pode ser

subestimado, estas áreas fora das categorias se enquadram na categoria outros da Figura 21, de uso do território.

As áreas mais suscetíveis a contaminação no município está sob os areais, onde a erosão do solo pode impactar nas zonas de descarga do aquífero. Sobre as áreas com risco moderado, estas também requerem atenção, principalmente aquelas onde há o uso de agrotóxicos em culturas temporárias. Para o município, vale o estudo para diferenciar os tipos de plantio e delimitar quanto ao uso de químicos, a fim de dar maior precisão às localidades que utilizem os químicos e onde o POSH estaria elevado (Tabela 51 – Dados das fontes difusas do POSH em São Francisco de Assis).

Figura 103 – Índice POSH difuso em São Francisco de Assis



Fonte de dados: SEMA (2011), IBGE (2019), ESRI (2022), SIAGAS (2021)
 Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de IBGE (2019), IBGE Cidades (2020), SEMA (2011); elaboração própria (2022).

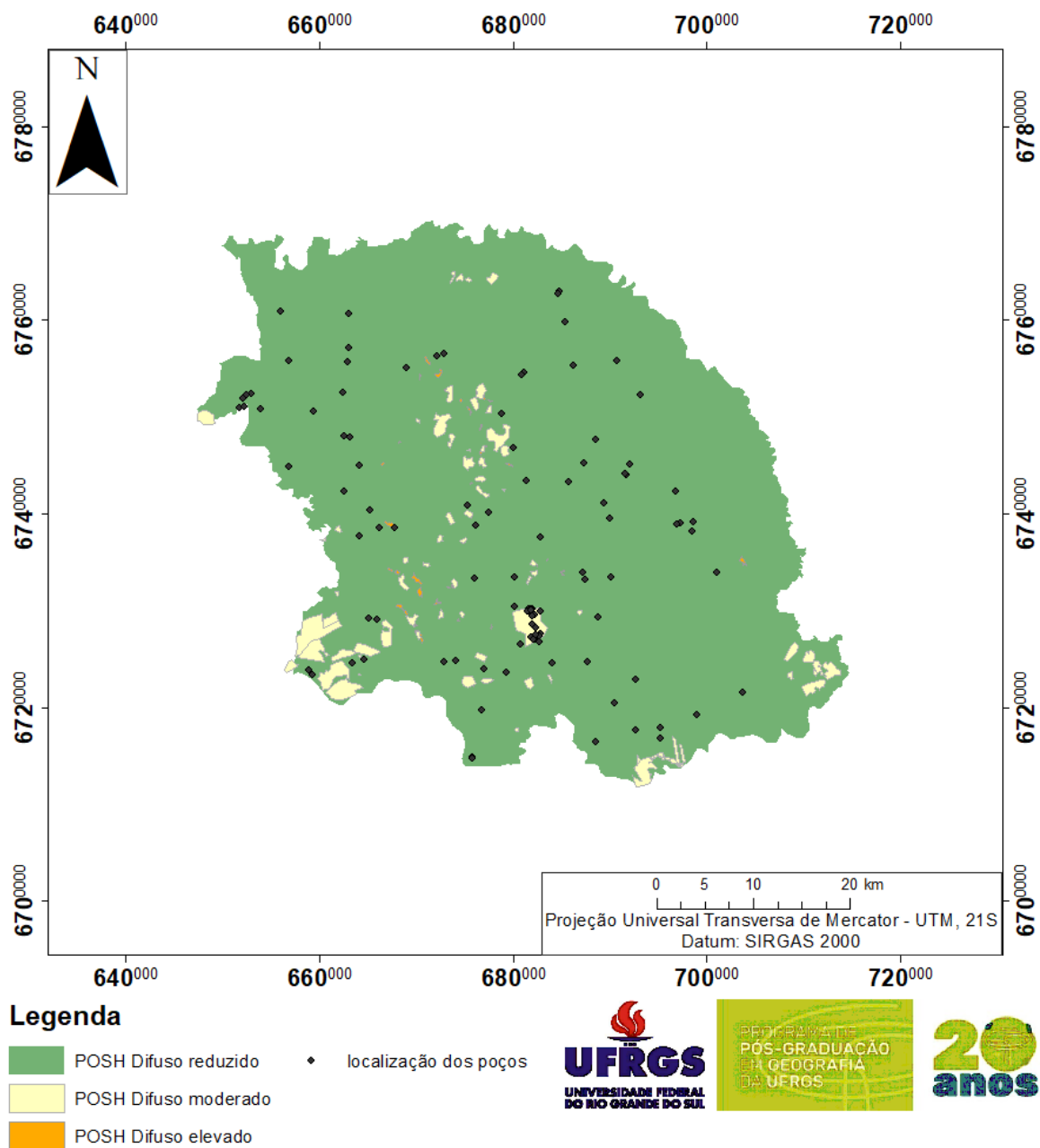
Tabela 51 – Dados das fontes difusas do POSH em São Francisco de Assis

		POSH Difuso	Área
Fontes difusas	Areais	Elevado	7,52 km ²
	Saneamento In Situ	Moderado	14,28 km ²
Práticas agrícolas	Soja	Moderado	530 km ²
	Pecuária	Moderado	150.945 km ²

Fonte: Adaptado de IBGE Cidades (2020), SEMA (2011), elaboração própria (2022).

Da localização dos poços, 02 deles se encontram em área de classe elevada, 22 poços na classe moderada e o restante na classe reduzida, pelo POSH difuso (Figura 104 – Localização dos poços e o índice POSH difuso em São Francisco de Assis).

Figura 104 – Localização dos poços e o Índice POSH difuso em São Francisco de Assis



Fonte de dados: SEMA (2011), IBGE (2019), ESRI (2022), SIAGAS (2021)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de SEMA (2011), IBGE Cidades (2020), IBGE (2019) e SIAGAS (2021); elaboração própria (2022).

6.2.4 Uso e cobertura do solo

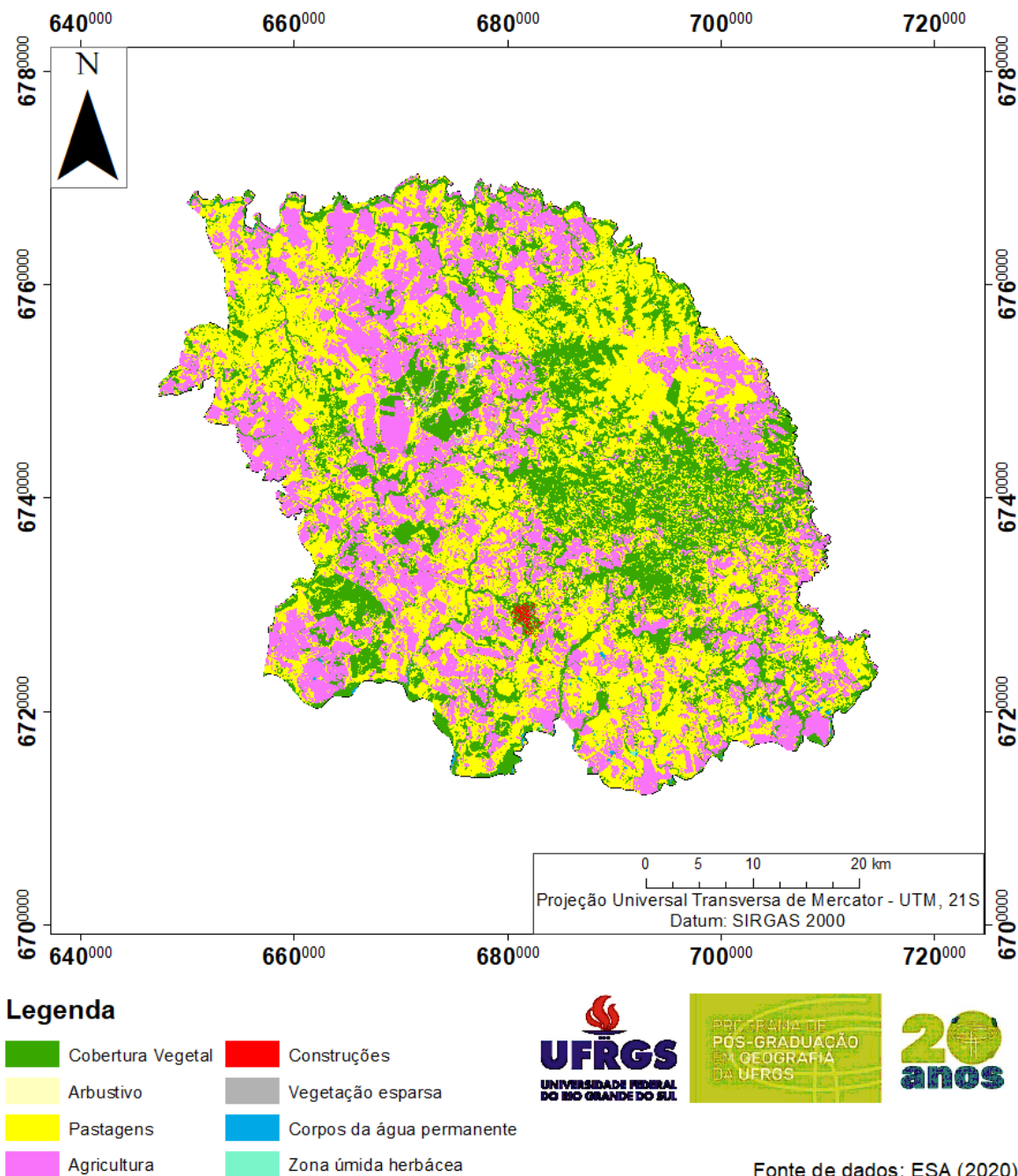
Com o mapa de uso do solo elaborado pela ESA, se estudou o município de São Francisco de Assis (Figura 105 – Mapa de uso do solo de São Francisco de Assis), onde se observa, primeiramente, que o uso do solo no município é bem expressivo na agricultura e pastagem, com a classe construções delimitada na sede municipal. Se observa que a cobertura verde é bem ampla no município, inclusive permeando toda margem do rio Ibicuí. Nesse sentido, o rio Ibicuí foi todo delimitado, já o rio Itu, algumas partes foi delimitado, em outras se confunde com a cobertura verde. A área urbana ficou bem restrita a sede, enquanto o traçado das principais rodovias que cortam o município, se encontra com a classe construções ou vegetação esparsa. A classe vegetação esparsa está delimitada de forma interessante, onde se observa que ruas e estradas de chão estão nesta classe, bem como, locais onde há a transição entre APP e área de pastagem. Os areais encontrados no município estão na classe de vegetação esparsa também. A agricultura corresponde a 18%, a pecuária possui 34,7%, a cobertura vegetal com 17,2%, classe arbustiva de 8,2%, construções com 4,6%, esparsa com 14,6%, corpos da água permanentes com 1,8% e zona herbácea com 0,9%. A classificação de uso do solo delimitou bem as classes como, vegetação, pecuária e agricultura (Tabela 52 – Uso do solo de São Francisco de Assis).

Tabela 52 – Uso do solo de São Francisco de Assis

MAPA USO DO SOLO		
Classes	Área	Quantidade de poços
Pecuária	34,7%	60
Agricultura	18%	10
Cobertura vegetal	17,2%	10
Esparsa	14,6%	4
Classe arbustiva	8,2%	–
Construções	4,6%	27
Corpos d'água	1,8%	–
Zona herbácea	0,9%	–

Fonte: Adaptado de ESA (2020) e SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

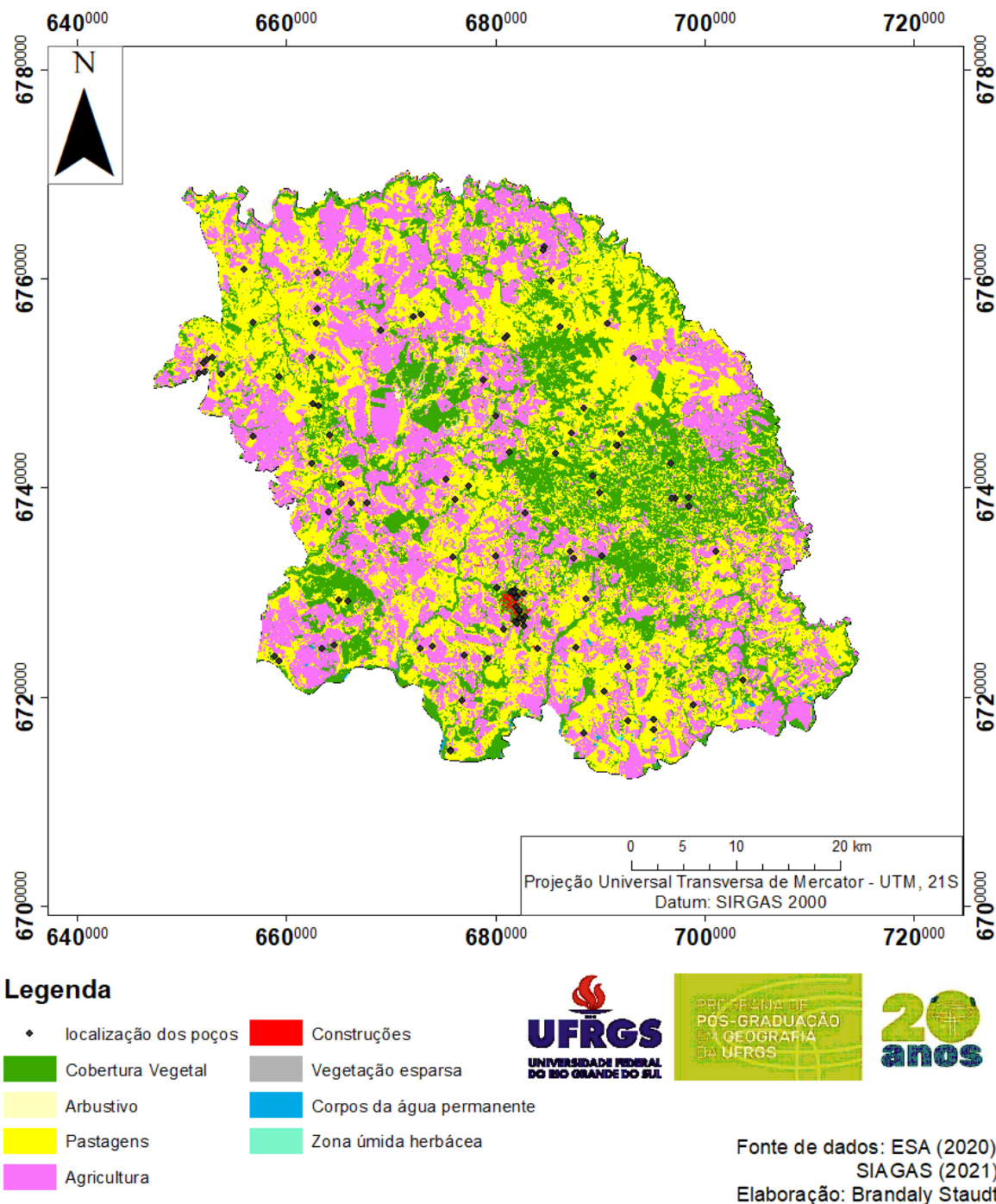
Figura 105 – Mapa de uso do solo de São Francisco de Assis



Fonte: Adaptado de ESA (2020), elaboração própria (2022).

A localização dos poços se encontra nas seguintes áreas de uso do solo: 10 em área de agricultura, 60 em área de pastagem, 10 em cobertura vegetal, 27 em áreas de construções e 04 em vegetação esparsa (Figura 106 – Mapa de uso do solo e os poços de São Francisco de Assis).

Figura 106 – Mapa de uso do solo e os poços de São Francisco de Assis



Fonte: Adaptado de ESA (2020) e SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

6.2.5 Domínios Pedomorfoagroclimáticos

Na área de abrangência do aquífero Guarani, Gomes *et al* (2006) delimitou os domínios pedomorfoagroclimáticos, porém, é uma área com ampla extensão, necessitando de trabalhos em escala regional, com maior grau de detalhamento. Os domínios são estruturados a partir da

precipitação e temperatura média anual, culturas predominantes, solos e faixas de ocorrência. Para o RS, os autores delimitaram três domínios, Serra gaúcha/ Encosta inferior nordeste, Borda do planalto/ Missões e Campanha. São Francisco de Assis está na região das missões (PACHECO, 1956), este domínio compreende a região dos municípios de São Borja até Santo Ângelo e de Cerro Largo até São Francisco de Assis. Neste sentido, foi elaborado somente para o município este domínio. O que se pode averiguar é que há uma leve variação dos dados de precipitação e temperatura, quanto ao uso do solo, há mudança pela incorporação da soja, cultivo este que aumentou muito ao longo dos anos.

Quanto aos solos, Gomes *et al* (2006) indicaram a ocorrência de Argissolo Vermelho (PVq), este possui altos teores de ferro do material originário, com fertilidade natural variável. Dados da CPRM (RIGEO, 2009) indicam uma maior variedade de solos, com latossolo vermelho distrófico e podzólico vermelho distrófico também possuem esta natureza com altos teores de ferro, o primeiro é argiloso, por vezes pobre, com facilidade para degradação por compactação e erosão; o segundo possui baixo teor de argila, rico em nutrientes. O Neossolo litólico eutrófico e planossolo háplico eutrófico também são encontrados nos municípios, os dois possuem riqueza em nutrientes, são solos pouco profundos, com risco de erosão pela diferença textural (Figura 107 – Domínio Pedomorfoagroclimático do RS e Figura 108 – Domínio Pedomorfoagroclimático em São Francisco de Assis/RS).

Figura 107 – Domínio Pedomorfoagroclimático do RS

Domínio Pedomorfoagroclimático	Solos	Culturas predominantes	Precipitação média anual (mm)	Temperatura média anual (°C)
Serra Gaúcha/ Encosta inferior nordeste	Cxve	Uva	2.470	< 18
Borda do Planalto / Missões	PVq	Pastagem	2.000	18 a 22
Campanha	RQ e PVq	Arroz irrigado/pastagem	1.190	20 a 24

Fonte: Recorte de Gomes *et al* (2006).

Figura 108 - Domínio Pedomorfoagroclimático em São Francisco de Assis/RS

Domínio Pedomorfoagroclimático	Solos	Culturas predominantes	Precipitação média anual (mm)	Temperatura média anual (°C)
Missões	Latossolo vermelho, Neossolo, Podzólico, planossolo	Pecuária, soja	1.800	23,0

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2021), EMBRAPA (2021), IBGE Cidades (2020), IRGA (2021) e RIGEO (2009); elaboração própria (2022).

Gomes (2003) estudou uma fazenda no município de Manoel Viana, localizada nas margens do rio Ibicuí, onde encontrou cultivo intensivo de arroz, sendo que o autor detectou o uso de *glifosato*, *propanil*, *clomazone*, *bentazon* e *trifluralina*. O autor sugere estabelecer faixas de uso agrícola ou de cobertura vegetal a partir das margens de uso d'água, levando em consideração o tipo de solo, profundidade do lençol freático e distância dos cursos d'água. De acordo com este estudo, esta cultura de arroz deveria estar a mais de 400 metros de distância do rio Ibicuí, o que não foi constatado pelo autor.

Glifosato é um herbicida, muito usado em folhas perenes e gramíneas que competem com culturas, sendo muito eficiente. Pode ser utilizado com outros herbicidas, bem como, pode ser utilizado na água. Apesar de ser considerado pouco tóxico, se encontram espécies vegetais resistentes a este químico, o que leva ao aumento de seu uso, isto ocasiona concentrações mais altas dele, inclusive, na cultura plantada; sendo que a ampla utilização deste químico leva a uma destruição de ambientes naturais e fontes de alimentos de alguns pássaros e anfíbios, levando a redução de populações, bem como a destruição de habitat (AMARANTE JUNIOR ET AL, 2002).

Apesar da fabricante *Monsanto* indicar uma toxicidade baixa, e a própria Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) considerá-lo pouco tóxico, a utilização deste agrotóxico está relacionada ao aumento de doenças neurodegenerativas e outras. Estudos indicam a relação entre o uso do herbicida e o aumento na incidência de câncer e hipotireoidismo. Um estudo recente indica um duplo efeito do glifosato, tóxico e proliferativo, em células da tireoide humana, uma das pesquisadoras indica que alguns herbicidas vendidos possuem composição variada, parte de *glifosato*, porém, os outros ingredientes da composição química do herbicida são, por vezes, mais prejudiciais, sendo que estes outros ingredientes não costumam ser especificados no rótulo do produto. Por fim, a autora expõe que, teoricamente, herbicidas cuja base seja o glifosato não são absorvidos pelo corpo humano, entretanto, estudos já detectaram este no sangue de agricultores, sendo que, a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) já concluiu que o *glifosato* tem potencial carcinogênico (Jornal da UNICAMP, 2022; DAL BÓ CRUZ ET AL, 2022)

O defensivo agrícola *propanil*, é um dos mais utilizados para a cultura do arroz, enquanto o *clomazone* é utilizado em diversas culturas, os dois são herbicidas, sendo o *clomazone* pré-emergente e o *propanil* pós-emergente [herbicida pré-emergente são utilizados antes da emergência das 'ervas daninhas', enquanto o pós-emergente funciona como estratégia complementar ao pré-emergente, para impedir o crescimentos de 'daninhas' no campo] (AGROLINK, 2022). Rios (2008) em seu estudo experimental, indica que a mineralização do

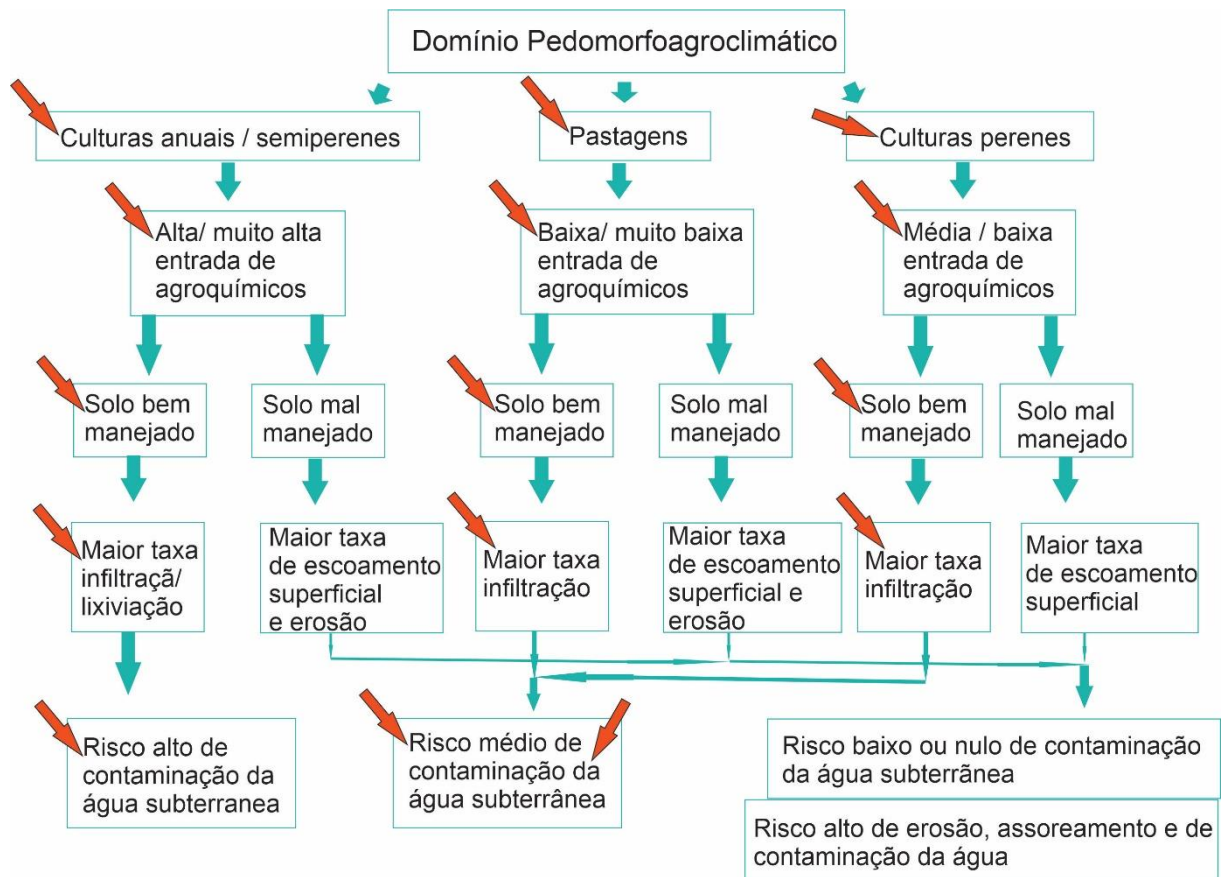
propanil ocorre em lugares com maior conteúdo de água no solo, sendo que, a presença concomitante do *propanil* com o *clomazone*, acelera o processo de mineralização, se ligando a partículas do solo em forma de resíduo-ligado. Dos outros químicos comentados por Gomes (2003), *trifluralina* é um pré-emergente enquanto o *bentazon* é pós-emergente; os dois são herbicidas seletivos, usados, especialmente, em gramíneas (AGROLINK, 2022).

Segundo o IBGE, 60,2% do território municipal são utilizadas para pecuária, 20,3% para lavoura, 0,4% para sistemas agroflorestais; das lavouras, 8,35% são áreas irrigadas (Figura 21 – Uso do território em São Francisco de Assis); enquanto no que se relaciona ao uso de agrotóxicos, um total de 1.305 estabelecimentos utilizam eles (um pouco mais da metade do total de estabelecimentos). Para o município, o sistema de cultivo tradicional e de plantio direto são os mais utilizados. O SPD ajuda na redução da utilização de agrotóxicos, além de diminuição da perda de condição do solo; enquanto o sistema convencional exige a preparação do solo, com aração e gradagens para depois estabelecer a cultura, isto reduz a fertilidade do solo, assim como, incentiva processos de erosão do solo. Das áreas para pecuária, a maioria são naturais e em boas condições; enquanto das áreas de lavoura, a grande maioria são temporárias, sendo a soja a cultura dominante, com a intercalação de milho, trigo, sorgo, aveia, cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2021; IBGE CIDADES, 2020).

Segundo o IBGE, grande parte da área é destinada para pecuária, em solo bem manejado, sendo que esta possui risco médio de contaminação da água subterrânea. Na área municipal, poucas áreas são perenes, em solo bem manejado, o que também indica risco médio de contaminação da água subterrânea. Por fim, das culturas anuais com entrada de agroquímicos em solos bem manejados, estes possuem maior taxas de infiltração, o que indica um risco alto de contaminação das águas subterrâneas. Como a maior parte da agricultura e das culturas permanentes se encontram com boas condições de solo, foram consideradas todas as áreas com boas condições de solo.

Das culturas anuais, algumas não se encontram em boas condições de solo, porém, não foi encontrada a localização destas lavouras, por conta disto, não se considerou este dado, considerando toda a área com boas condições de solo. Por fim, não se encontrou a localização de todas as áreas de agricultura temporária, por conta disto, se considerou apenas aquelas que foram encontradas a localização das fazendas. O mesmo impasse que ocorre para o POSH difuso, pois não há a marcação da localização de todas as áreas de agropecuária, o que cada fazenda produz. Na Figura 109 – Domínios Pedomorfoagroclicmáticos destacados em São Francisco de Assis, a seta laranja indica os tipos de uso do solo na agropecuária, a entrada de químicos e o tipo de solo.

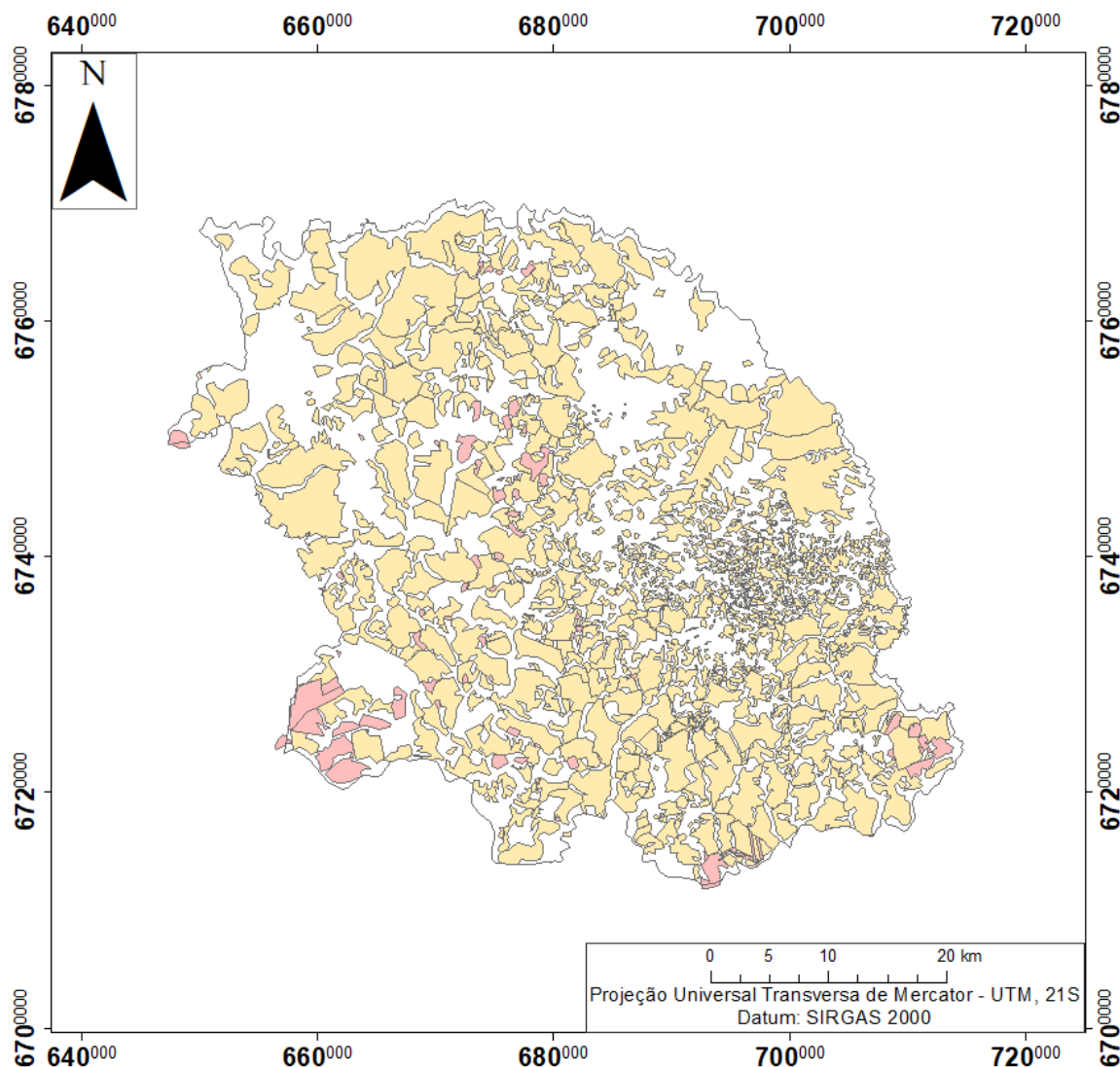
Figura 109 – Domínios Pedomorfoagroclimáticos destacados em São Francisco de Assis



Legenda: Seta laranja indica o uso de solo, entrada de químico para cada tipo de uso, em solo bem ou mal manejado, com maior taxa de infiltração ou maior taxa de escoamento superficial e o risco de contaminação.
Fonte: Adaptado de Gomes *et al* (2008); elaboração própria (2022).

Com base no trabalho de Gomes *et al* (2008), se observa que o risco de contaminação da água subterrânea varia de médio a alto para São Francisco de Assis. Após, se sobrepôs os dados de agropecuária com as imagens de satélite, onde se delimitou as áreas com risco de contaminação da água subterrânea a partir de fontes difusas oriundas de atividades agropecuárias (Figura 110 – Risco de contaminação por atividades agropecuárias em São Francisco de Assis).

Figura 110 – Risco de contaminação por atividades agropecuárias em São Francisco de Assis



Risco de contaminação das águas subterrâneas associado aos Domínios Pedomorfoagroclicmáticos

Legenda

- Risco médio
- Risco alto



Fonte de dados: IBGE (2019),
IBGE Cidades (2020),
SEMA (2011), RS (2021),
ESRI (2022)

Elaboração: Brandaly Staudt

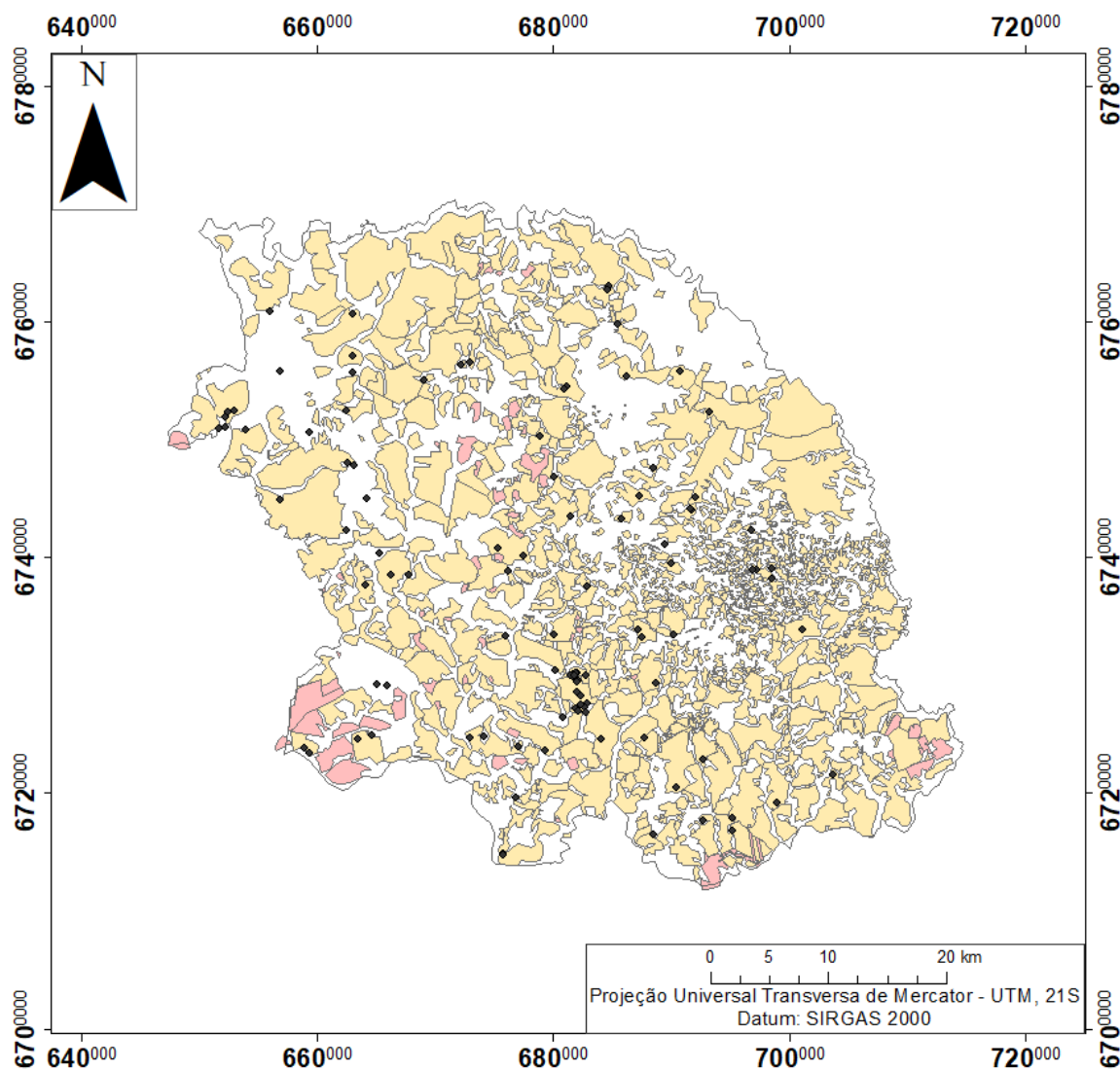
Fonte: Adaptado de IBGE (2019), IBGE Cidades (2020) SEMA (2011) e RS (2021); elaboração própria (2022).

O mapa dos domínios pedomorfoagroclicmáticos ficou similar ao mapa de POSH difuso, isto se deve ao fato de se utilizar os mesmos dados agropecuários. Como alguns dados não foram encontrados ou não puderam ser utilizados, algumas áreas podem estar em uma classificação diferente das encontradas pelos mapas.

Gomes *et al* (2008) cita que áreas de recarga de aquífero são, naturalmente, vulneráveis a contaminação e, ainda, onde os aquíferos são sedimentares, há o risco de alta suscetibilidade

à erosão do solo; sendo que isto é elevado quando há o uso de agrotóxicos. Neste sentido, São Francisco de Assis possui uma ampla região de litologia arenítica, com ampla expressão de aquífero arenítico. Para a região das Missões, Gomes *et al* (2008) identificaram lençol freático raso, com situação mais vulnerável para contaminação por agrotóxicos. Todos os poços cadastrados se encontram em áreas de risco médio de contaminação por atividades agropecuárias (Figura 111 – Localização dos poços e o Risco de contaminação por atividades agropecuárias em São Francisco de Assis).

Figura 111 - Localização dos poços e o Risco de contaminação por atividades agropecuárias em São Francisco de Assis



Risco de contaminação das águas subterrâneas associado aos Domínios Pedomorfoagroclicmáticos

Legenda

- Risco médio
- Risco alto
- localização dos poços



Fonte de dados: IBGE (2019), IBGE Cidades (2020), SEMA (2011), RS (2021), SIAGAS (2021), ESRI (2022)
Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de IBGE (2019), IBGE Cidades (2020), SIAGAS (2021) SEMA (2011) e RS (2021); elaboração própria (2022).

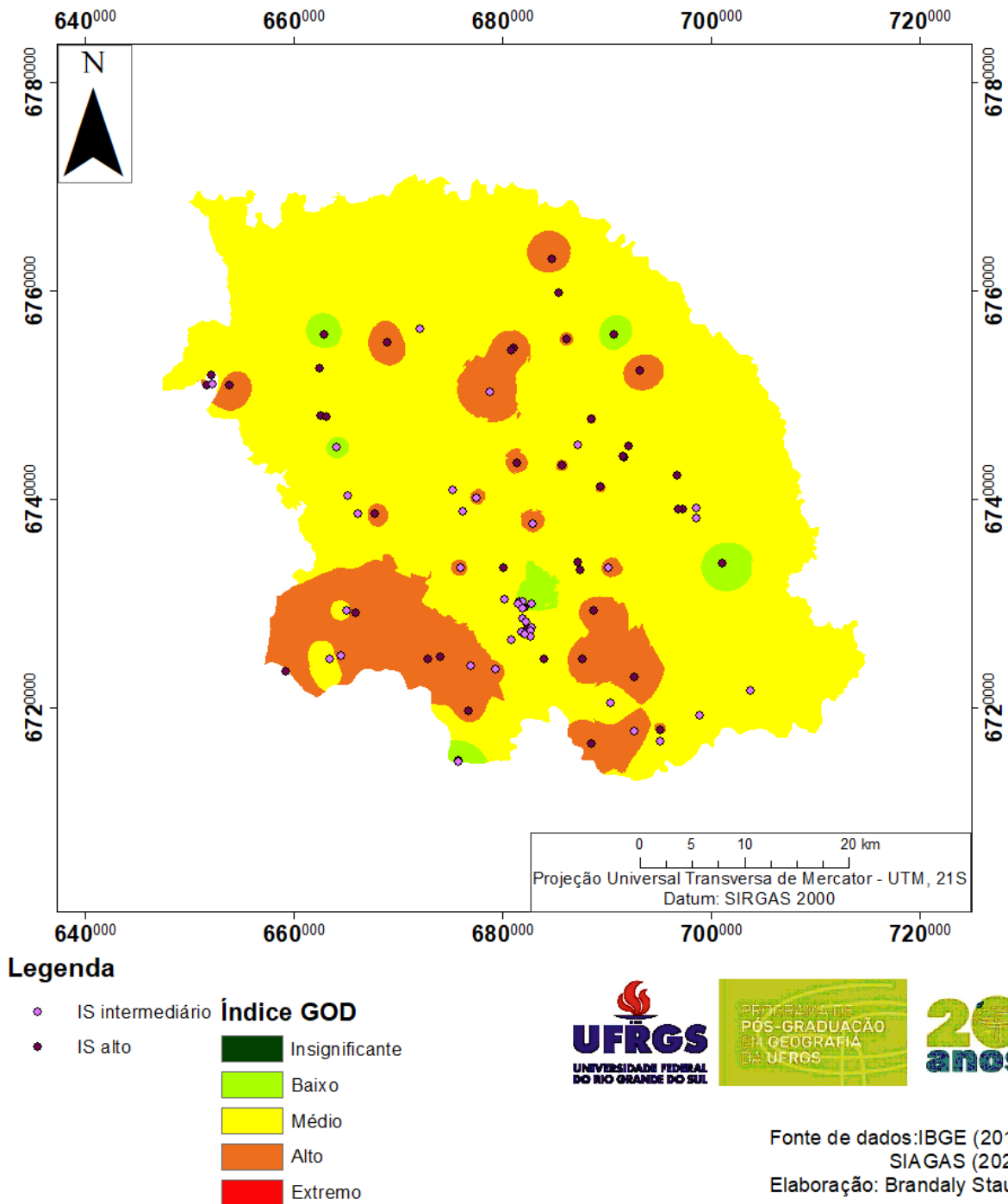
5.2.6 Comparação entre os índices de vulnerabilidade

A sobreposição dos dados de GOD e IS, indica áreas onde o GOD é baixo, não necessariamente possuem o IS baixo, na maioria dos locais, especialmente das áreas rurais, o IS é alto onde o GOD é baixo. O GOD médio na área urbana, se relaciona com o IS intermediário; porém, em outras áreas de GOD médio o IS se encontra intermediário e alto. Em áreas com o GOD alto, o IS também é alto, com algumas exceções (Figura 112 – Relação entre os índices GOD e IS em São Francisco de Assis).

Os poços com os maiores valores da classe alta do índice GOD se encontram na classe alta do IS, o que indica que a baixa profundidade até o lençol freático, litologia de arenito, em conjunto com o uso do solo pela agropecuária, são fatores determinantes para elevar o potencial de contaminação do aquífero.

Os valores mais elevados de IS, indicaram classe média no GOD, apesar da pouca profundidade, o tipo de aquífero encoberto diminui sua vulnerabilidade natural; porém, este parâmetro não é considerado no IS, e, com a união do tipo de rocha, com a pouca profundidade e uso do solo moderadamente intenso, colocaram os poços 4300000981, 4300000984 e 4300001113 com os valores mais elevados da classe alta. Dos menores valores de IS, com classe intermediária, 4300021417, se encontra com GOD alto, em especial pelo tipo de aquífero, livre, enquanto no IS, o que diminui sua vulnerabilidade é a topografia e o uso do solo, que é misto com vegetação nativa. Da classe baixa do GOD, 05 poços possuem o valor 0,14, eles unificam uma profundidade maior, com um tipo de aquífero semiconfinado. Destes poços, apenas um possui IS alto, os demais são intermediários, o poço com valor alto unificou parâmetros de topografia e uso do solo mais altos; parâmetros que não se encontram no GOD.

Figura 112 – Relação entre os índices GOD e IS em São Francisco de Assis



Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), elaboração própria (2022).

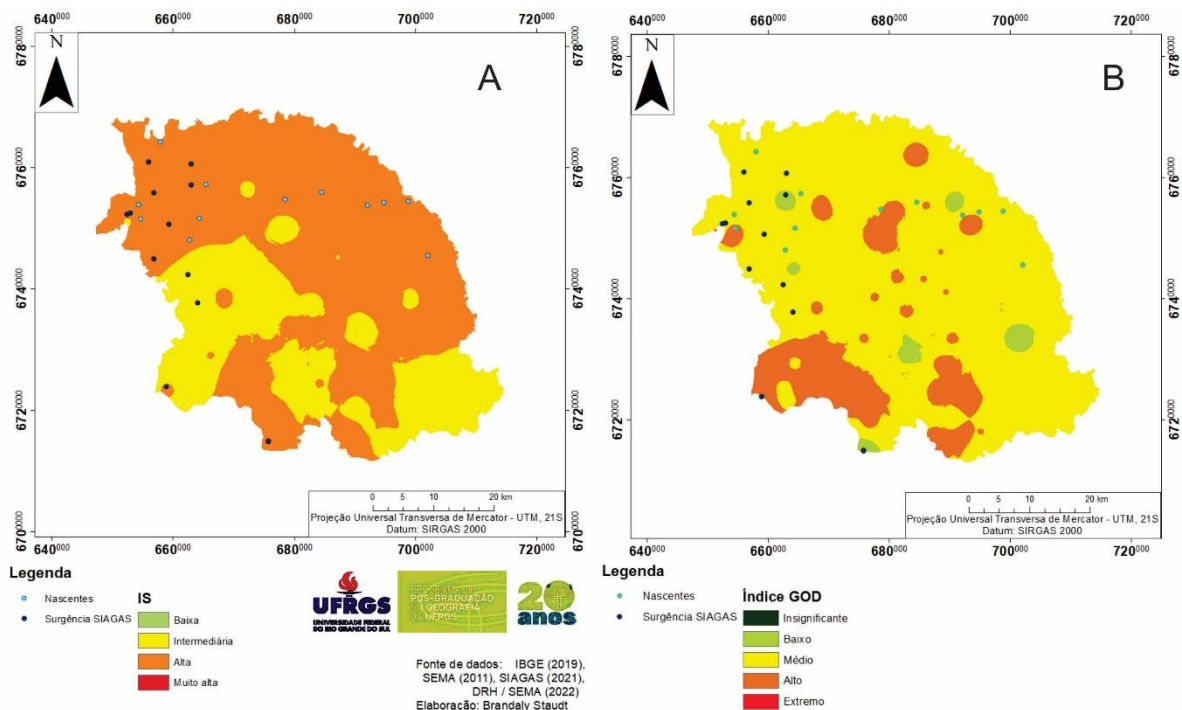
Relacionando os dados do SIAGAS de locais com surgência aos dados de GOD e IS, um deles está ao sul, sendo o poço com o GOD extremo e o IS alto. Em outros três pontos com surgência, tanto o IS quanto o GOD são altos. Há um local onde há surgência que o IS é alto e o GOD baixo; os outros locais onde há surgência, não há dados de poços, sendo que o GOD indicou uma classe moderada nestes pontos. Pela interpolação do IS, apenas dois pontos com surgência estão na classe intermediária, os demais, estão com classe alta (Figura 113 –

Localização das áreas de surgência com a interpolação do IS (a) e GOD (b) em São Francisco de Assis).

As áreas localizadas com nascentes no município, que se encontram na metade noroeste, se encontram com a classe alta do IS; enquanto que para o GOD, se encontram dois poços com a classe alta, dois com a classe baixa e os demais, a classe média.

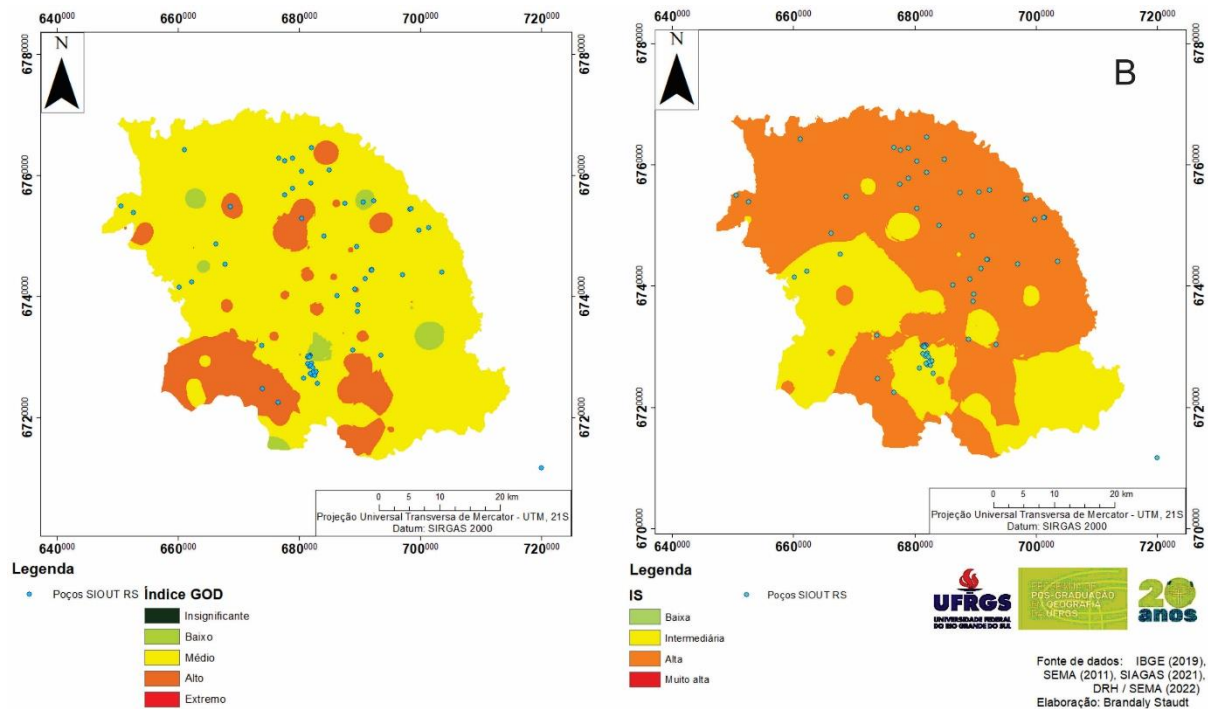
Os poços cadastrados no SIOUT se localizam na classe alta do IS, em maioria, a exceção são os poços na área urbana e três na área rural, que estão na classe intermediária. Com relação a interpolação com o GOD, indicou 11 destes poços na classe alta, 50 intermediária e 07 baixa (Figura 114 – Localização dos poços cadastrados no SIOUT com a interpolação do GOD (a) e IS (b) em São Francisco de Assis).

Figura 113 – Relação do IS (a) e GOD (b) com a localização das áreas de surgência em São Francisco de Assis



Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), SEMA (2011), IBGE (2019) e DRH / SEMA (2022), elaboração própria (2022).

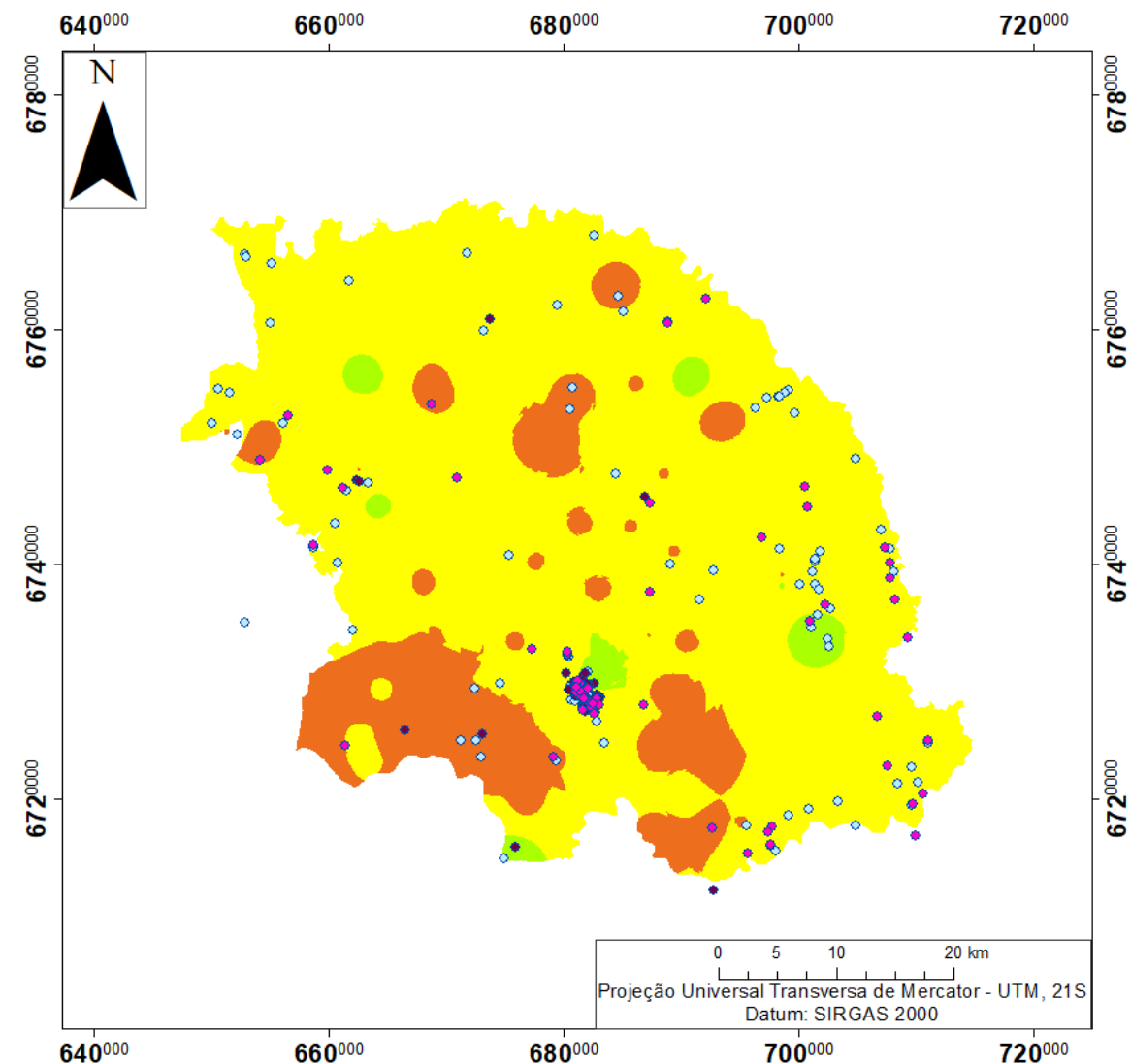
Figura 114 – Relação do GOD (a) e IS (b) com os poços cadastrados no SIOUT em São Francisco de Assis



Fonte: Adaptado de DRH / SEMA (2022), IBGE (2019), SEMA (2011) e SIAGAS (2021); elaboração própria (2022).

Quanto a relação entre os Índices GOD e POSH para fontes pontuais, a área urbana onde se concentram a maioria dos empreendimentos, se encontram na classe GOD como médio, enquanto no IS intercala o alto e o intermediário. Dos empreendimentos com classificação elevada no POSH, 09 se encontram na área com índice GOD baixo, 06 empreendimentos alto e o restante está na classe média do GOD (44). Do POSH moderado, 06 empreendimentos estão na classe baixa, 07 empreendimentos na classe alta e o restante na classe média (64). Sobre a classe POSH reduzida, 12 destes empreendimentos estão sob a classe baixa do GOD, 14 empreendimentos estão na classe alta do GOD e os demais, 99, na classe média do GOD (Figura 115 – Relação GOD e POSH em São Francisco de Assis e Tabela 53 - Relação empreendimentos no POSH, GOD e IS em São Francisco de Assis).

Figura 115 – Relação GOD e POSH em São Francisco de Assis



Legenda

- | | | |
|---|-----------------------|-------------------|
| ○ | Posh Pontual reduzido | Índice GOD |
| ● | Posh Pontual moderado | ■ Insignificante |
| ● | Posh Pontual elevado | ■ Baixo |
| | | ■ Médio |
| | | ■ Alto |
| | | ■ Extremo |



Fonte de dados: IBGE (2019), FEPAM (2021), SIAGAS (2021) ECONODATA (2021)

Elaboração: Brandaly Staudt

Fonte: Adaptado de IBGE (2019), SIAGAS (2021), ECONODATA (2021) e FEPAM (2021); elaboração própria (2022).

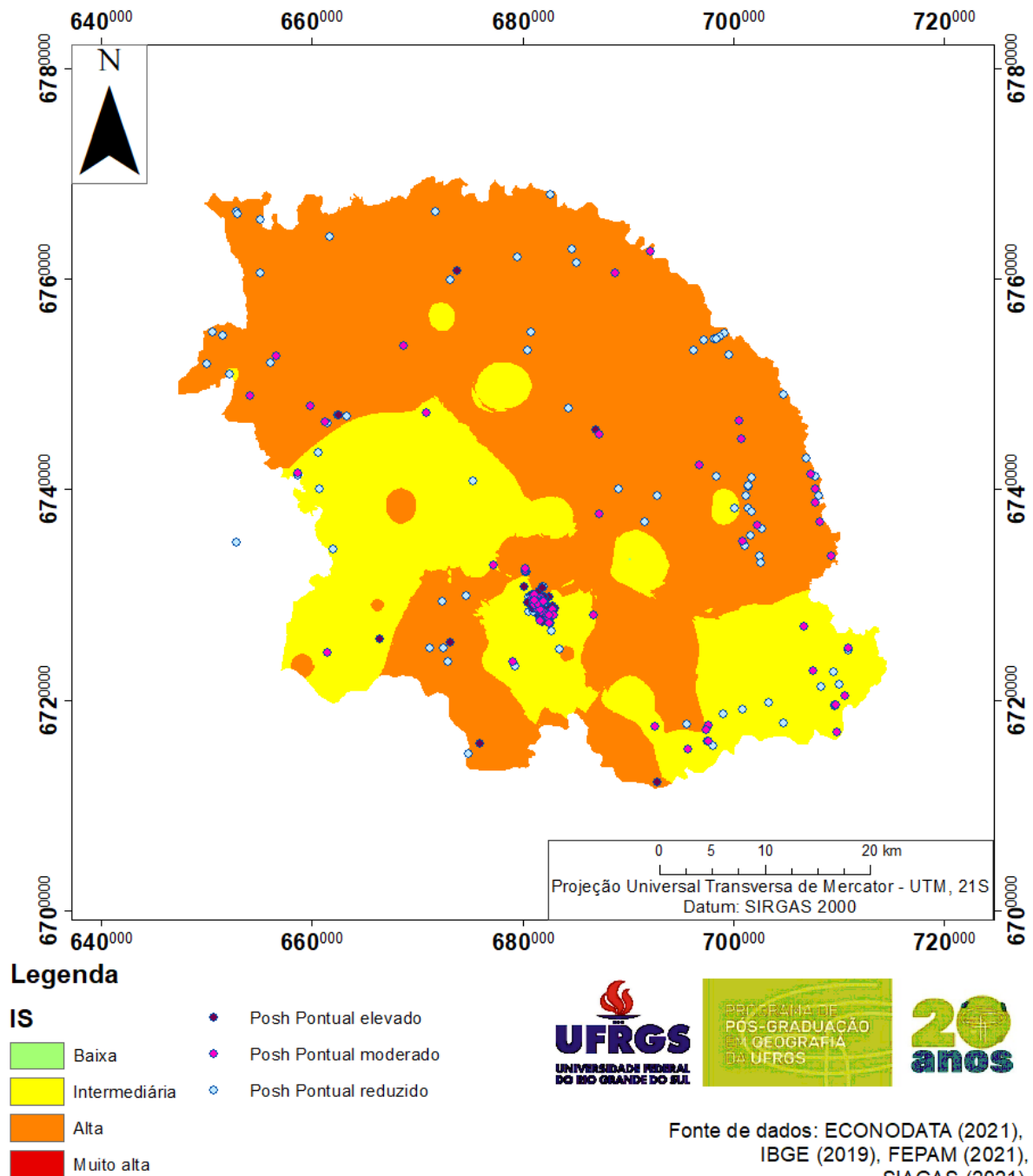
Tabela 53 – Relação empreendimentos no POSH, GOD e IS em São Francisco de Assis

POSH	GOD	IS
Elevado	09 baixo	46 intermediária
	44 médio	13 alta
	06 alto	
Moderado	06 baixo	53 intermediária
	64 médio	24 alta
	07 alto	
Reduzido	12 baixo	68 intermediária
	104 médio	62 alta
	14 alto	

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2021), ECONODATA (2021), FEPAM (2021) e IBGE Cidades (2020), elaboração própria (2022).

Relacionando o IS ao POSH, o local onde concentra a maioria dos empreendimentos se localiza na classe intermediária do IS; na classe alta se encontram empreendimentos da classe reduzida no POSH, entretanto, há a ocorrência de muitos empreendimentos na classe alta. Apesar de haver empreendimentos da classe moderada e elevada no IS alto, a grande maioria se encontra no intermediário. Considerando isto, o uso do solo no IS não se encontra com resultados similares ao POSH pontual, por conta disto, os dados não se relacionam em alguns locais (Figura 116 – Relação do IS com o POSH pontual em São Francisco de Assis e Tabela 53 - Relação empreendimentos no POSH, GOD e IS em São Francisco de Assis).

Figura 116 – Relação IS e POSH pontual em São Francisco de Assis



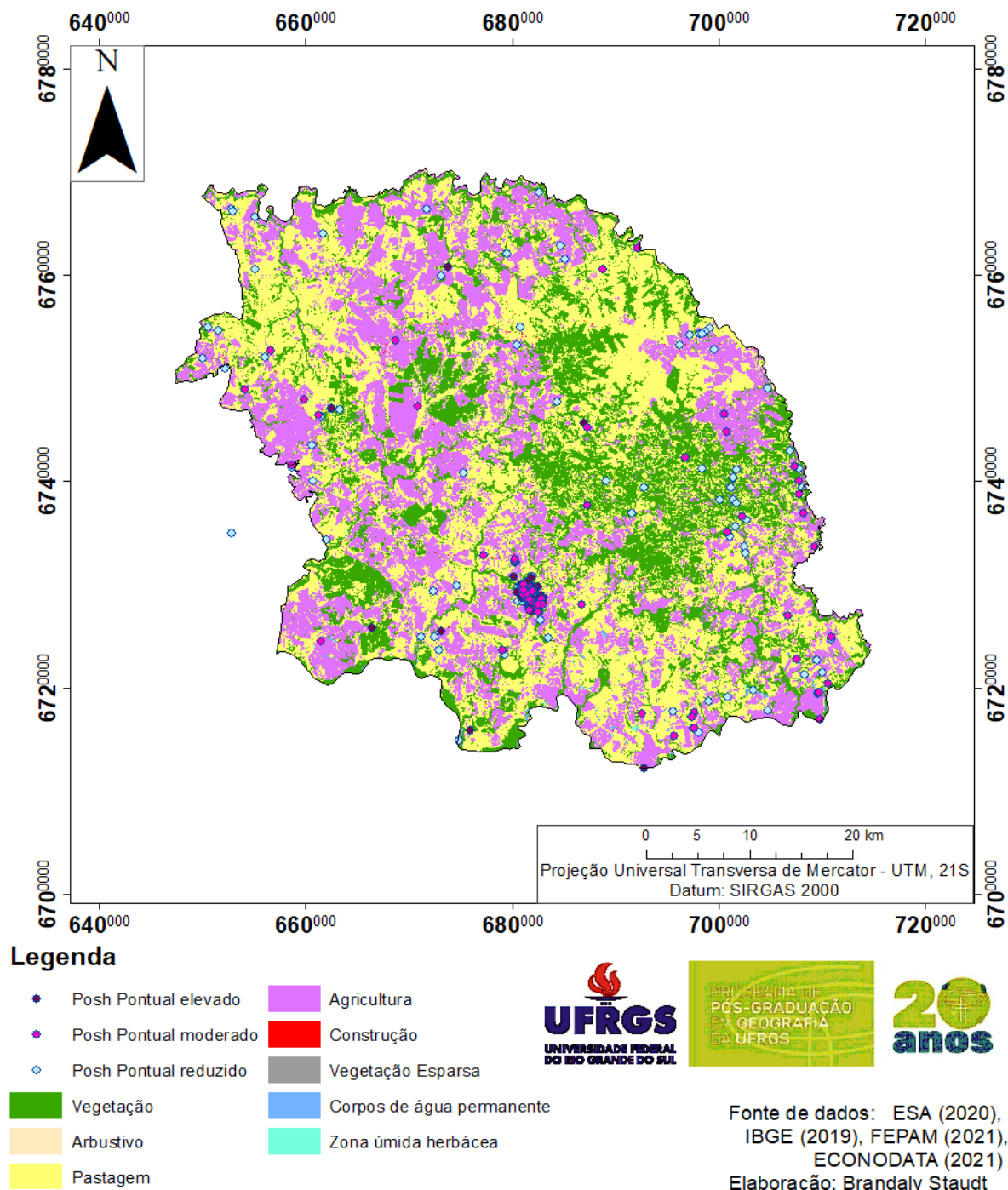
Fonte: Adaptado de IBGE (2019), SIAGAS (2021), ECONODATA (2021) e FEPAM (2021); elaboração própria (2022).

A relação entre o mapa de uso e ocupação do solo e o mapa de índice POSH pontual, aponta a maioria dos empreendimentos na classe construções, estes empreendimentos se encontram concentrados na sede municipal. A classe elevada do POSH se concentra na área urbana principal; enquanto a classe moderada já possui mais empreendimentos em área rural, apesar de se relacionar demasiadamente à classe elevada. Das três classes a que possui mais

empreendimento é a reduzida, desta classe, a maioria se encontra em área urbana, apesar de estar disperso por todo território municipal, esta classe é a que possui mais empreendimentos em outras áreas; sendo muito encontrado empreendimentos na classe pastagens. A classe vegetação esparsa encontra empreendimentos das classes reduzido e moderado, sendo que as outras classes se encontram em todos os empreendimentos: construções, pastagens, agricultura e cobertura verde.

O que realça é a grande quantidade de empreendimentos que se encontram em área de cobertura verde do mapa de cobertura e uso do solo, nas três classes do POSH pontual. O município possui grande quantidade de atividades agropecuárias, o que se observa nas três classes pois em todos os empreendimentos com maiores quantidades estão relacionados e este tipo de atividade; seja na reduzida com a armazenagem de grãos, a moderada com avicultura, e a elevada com oficina mecânica. Outras atividades também possuem valores elevados de empreendimentos, como na classe reduzida com indústrias alimentícias, silvicultura e extração de argila; na classe moderada com armazenamento e/ou fabricação de fertilizantes, transporte de produtos perigosos e confinamento bovino; e na classe elevada com oficina de engenharia, armazenamento de agrotóxico e abatedouros. Estas atividades se relacionam, em maioria, com a agropecuária e agroindústrias, estando vinculados ao PIB municipal e as principais atividades exercidas no município (Figura 117 – Relação uso do solo e POSH em São Francisco de Assis e Tabela 54 – Relação entre uso do solo e POSH pontual em São Francisco de Assis).

Figura 117 – Relação uso do solo e POSH em São Francisco de Assis



Fonte: Adaptado de ESA (2020), ECONODATA (2021) e FEPAM (2021); elaboração própria (2022).

Tabela 54 – Relação entre uso do solo e POSH pontual em São Francisco de Assis

Reduzido	Total	130
	Construções	71
	Pastagens	21
	Cobertura verde	15
	Agricultura	13
	Vegetação esparsa	10
Moderado	Total	77
	Construções	42
	Agricultura	13
	Pastagens	9
	Vegetação esparsa	8
	Cobertura verde	5
Elevado	Total	59
	Construções	48
	Pastagens	6
	Cobertura verde	3
	Agricultura	2

Fonte: Adaptado de ESA (2020), ECONODATA (2021) e FEPAM (2021); elaboração própria (2022).

Se observa que em áreas de construção, do mapa de uso e ocupação do solo, é onde se concentra a maioria dos empreendimentos com potencial poluidor. Sobre os poços, a maioria se encontra em área rural do município, com 59 poços com dados construtivos, enquanto 22 se concentram na área urbana. Nos locais com construções há uma pressão maior ao sistema, trazendo um risco de contaminação, apesar de, com relação ao meio biótico, os dados relacionados intrinsecamente aos poços, indicam uma vulnerabilidade média pelo índice GOD na área urbana do município. Nas regiões de construções há uma pressão maior ao sistema; em contrapartida, pelos parâmetros intrínsecos ao meio biótico, a região apresenta vulnerabilidade média na maioria, baixa em alguns pontos e, de forma bem concentrada é alta no índice GOD para a área urbana. Enquanto que no IS a vulnerabilidade da área urbana é intermediária e, em pequenos trechos, alta; mesmo considerando dados intrínsecos ao aquífero e dados relacionados ao uso do solo, esta área não aumentou sua vulnerabilidade.

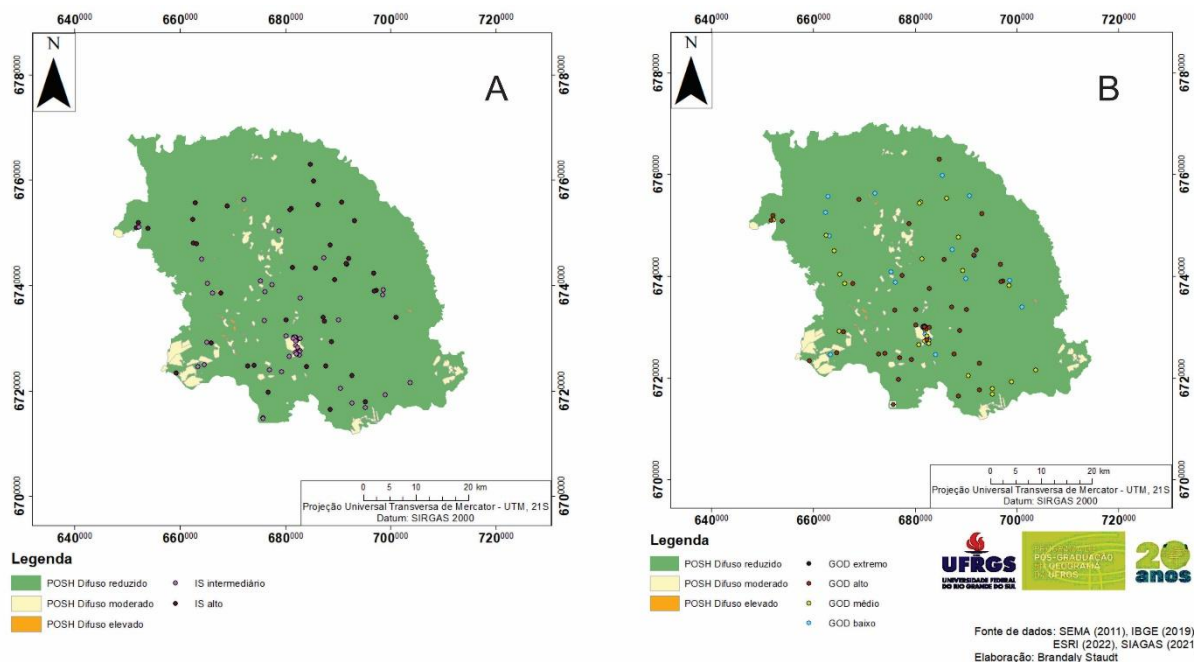
Pelo índice GOD, as áreas com predominância de agricultura e pecuária possuem o índice variando entre baixo, médio e alto. Pelo índice de susceptibilidade, as áreas de agricultura e pecuária se encontram com a classe intermediária e alta. Levando-se em consideração o parâmetro de uso do solo, aumenta a área com classe alta; sendo que este é menor no índice GOD do que no IS. Mesmo que um uso mais intensivo do solo gere pressão ao meio, os valores elevados de IS não são tão altos dentro da classe; e o que indica é que em locais onde

naturalmente a vulnerabilidade do aquífero é alta, através do GOD, o uso do solo nestas áreas não é intenso, através do IS. E, onde o uso do solo é mais acentuado, não há uma vulnerabilidade natural.

A área urbana possui uma vulnerabilidade natural média a baixa, porém, é a região municipal onde há maior pressão, tanto pelo índice POSH pontual, com a grande quantidade de empreendimentos concentrados, quanto pelo índice POSH difuso, onde o saneamento in situ indica uma vulnerabilidade moderada; sendo a área urbana uma das que merece mais cuidado para analisar medidas a fim de prevenir futuros problemas com contaminação das águas subterrâneas. Na área rural, áreas de agricultura e pecuária exercem pressão demasiada sob o solo, trazendo vulnerabilidade às águas subterrâneas, apesar do GOD indicar áreas com potencial baixo, médio e alto, sendo a maioria médio, porém, um uso excessivo dos solos ao longo dos anos, traz impactos negativos no que se refere as águas subterrâneas. Sendo que no IS, as classes também indicam potencial intermediário a alto, levando em consideração o uso do solo; apesar disto, quanto maior o uso do solo, maior o seu desgaste e a necessidade de uso de fertilizantes e/ou defensivos agrícolas, sendo que estes são os grandes contribuintes para a contaminação das águas subterrâneas nas áreas rurais. Devido a isto, e a características intrínsecas ao solo, como a propensão a areais e a processos erosivos, a vulnerabilidade destes mananciais é uma realidade que se encontra na região, sendo providencial o cuidado no manejo do solo, bem como, no cuidado com o tipo de sistema agropecuário utilizado.

Quanto ao POSH difuso e o IS, o POSH reduzido se encontra em grande parte da área, com IS intermediário e alto. O POSH moderado, se encontra em maioria no IS intermediário, porém, se encontram áreas no IS alto. Quanto ao POSH elevado, se encontram nas classes intermediária e, em maioria, alta. Com relação ao GOD, todas as classes dele se encontram no POSH difuso reduzido. Na classe moderada do POSH, o GOD se encontra com as classes baixa, média e alta. Enquanto que o POSH difuso elevado se encontra nas classes do GOD baixo, intermediário e, em maioria, alto. Isto indica que segundo parâmetros intrínsecos do aquífero ele possui uma vulnerabilidade média a alta onde o risco de contaminação difusa é baixo, a exceção está nas áreas com areais onde possui vulnerabilidade intermediária e risco de contaminação por fontes difusas alta (Figura 118 – Relação POSH Difuso e IS (a) / POSH Difuso e GOD (b) em São Francisco de Assis).

Figura 118 – Relação POSH difuso e IS (a) / POSH difuso e GOD (b) em São Francisco de Assis

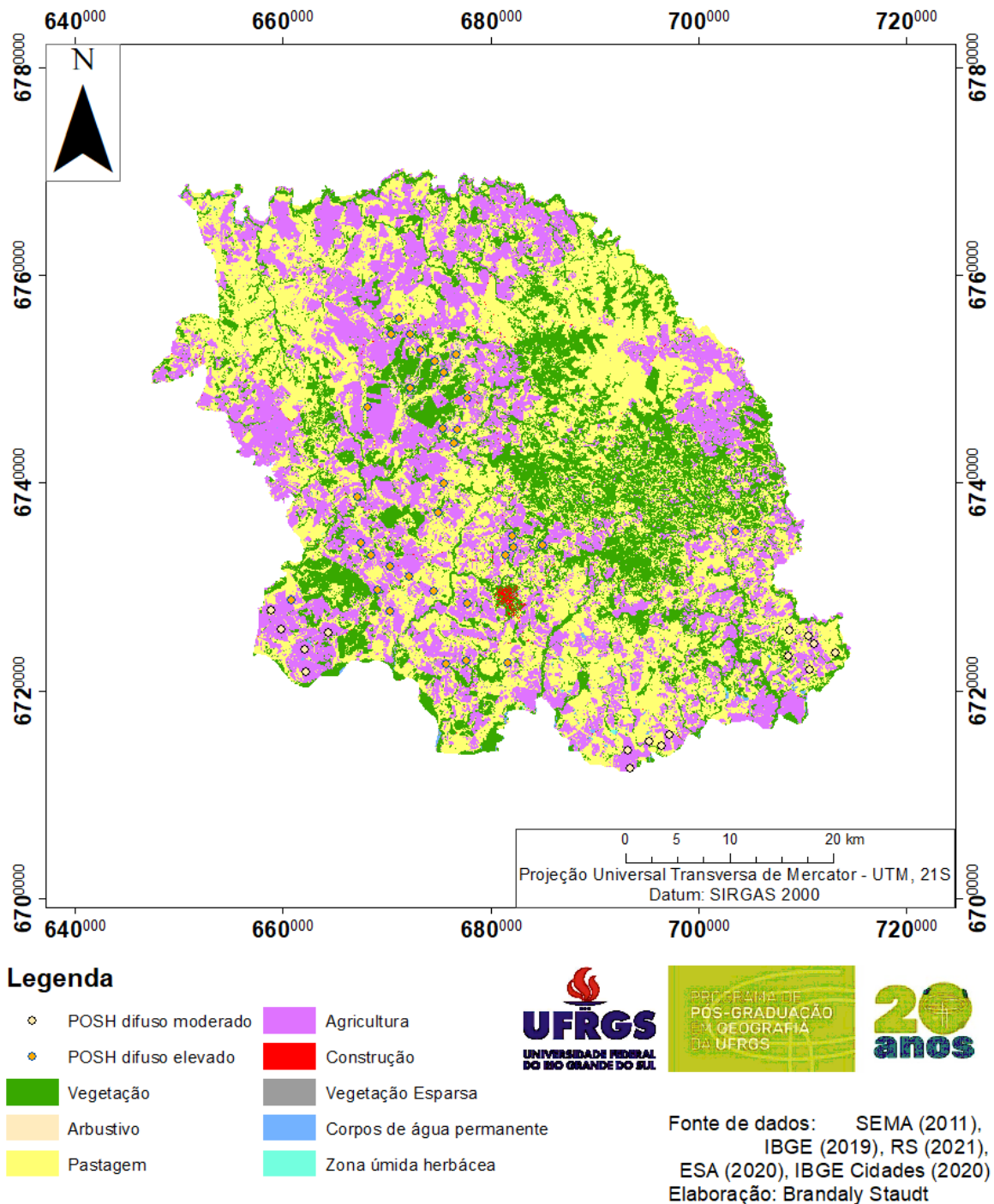


Fonte: Adaptado de IBGE (2021), IBGE Cidades (2020), SIAGAS (2021) e SEMA (2011); elaboração própria (2022).

No município, há perfuração de muitos poços do tipo cacimba, bem como, áreas de surgência; neste sentido, deve-se atentar que a falta da estrutura adequada para a exploração deste recurso pode vir a acarretar em problemas de contaminação do lençol freático (CUTRIM & CAMPOS, 2010).

Da relação entre o POSH para fontes difusas e o mapa de uso do solo, os locais com o índice elevado se encontra em locais com areais, estes se localizam, em 23 pontos, em áreas caracterizadas como pastagens, 07 em áreas caracterizadas como agricultura e 03 em cobertura vegetal. Das áreas de risco moderado, se localizam de maneira equilibrada entre áreas de pastagens e agricultura, pelo mapa de uso do solo (Figura 119 – Relação entre uso do solo e POSH difuso em São Francisco de Assis).

Figura 119 - Relação entre uso do solo e POSH difuso em São Francisco de Assis



Fonte: Adaptado de IBGE (2019), IBGE Cidades (2020), ESA (2020), SEMA (2011) e RS (2021); elaboração própria (2022).

Em relatório elaborado para a região do rio Ibicuí, o município possui, em geral, uso coerente do solo, sendo que as áreas com risco potencial, estão associadas a solos com limitações agrícolas ocupadas pela agropecuária, estando relacionadas a drenagem de solos e presença de argilas expansivas neste solo, isto auxilia no agravamento da compactação do solo;

outros locais suscetíveis são aqueles relacionados a rochas areníticas, onde há processos de erosão do solo (SEMA, 2011).

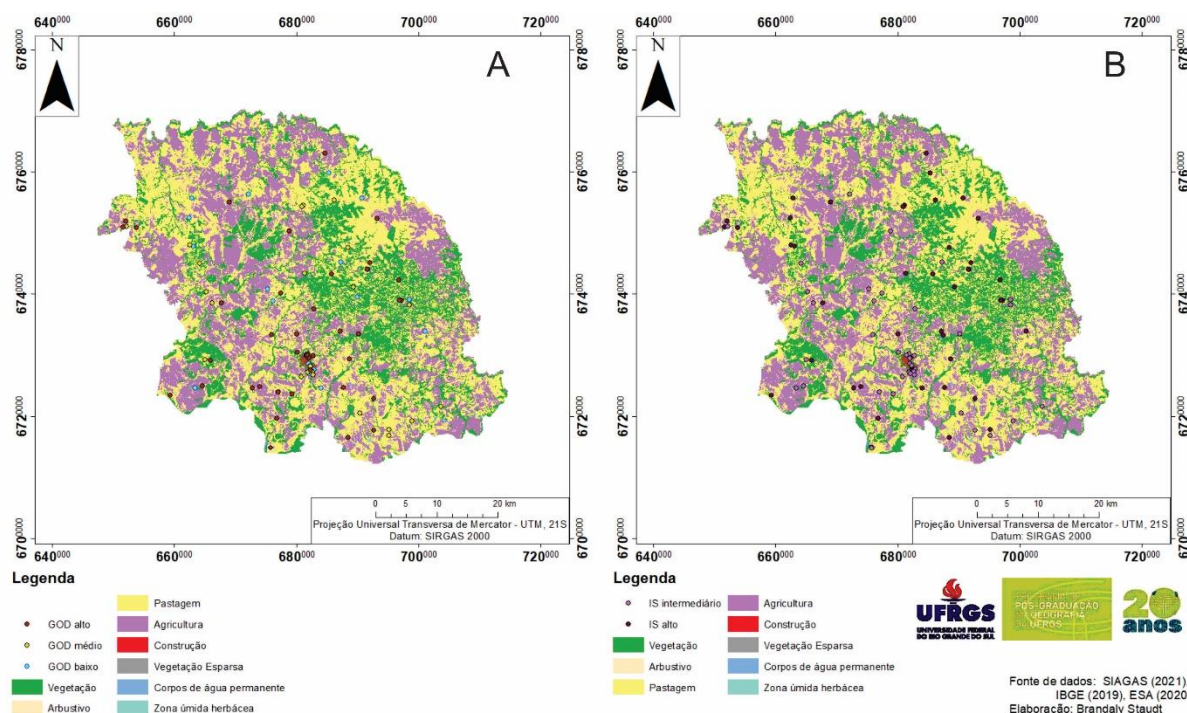
O relatório de recursos hídricos (SEMA, 2011) indica áreas com ocorrência de areais, estas foram determinadas como vegetação esparsa no mapa de uso do solo, enquanto que na classificação são algumas áreas onde indicaram solo exposto. Pelo relatório da SEMA (2011) as áreas com uso coerente são aquelas em que, na classificação, se encontra com as classes agricultura e pecuária, assim como no mapa de uso do solo. As áreas elencadas como subutilizadas são aquelas com a classe vegetação; enquanto que, onde o relatório da SEMA (2011) aponta áreas de risco potencial, são as classes arbustos e vegetação esparsa no mapa de uso do solo (vide Figura 28 - Mapa de adequação do uso do solo e Figura 29 – Localização dos areais no município).

Auzani (2010) estudou a Vila Kramer em São Francisco de Assis, onde indicou o uso da terra para 1989, 1999 e 2009; segundo seu estudo, houve uma maior diminuição na classe floresta nativa, a classe cultura diminuiu drasticamente entre 1999 e 2009, dando lugar as classes campos e floresta plantada; neste estudo a autora identifica uma permanência nas 3 décadas da área de solo exposto e areais. Comparando o mapa de Auzani (2010) com o mapa de uso do solo para a localidade da Vila Kramer, se observa que, de 2009 para 2021 houve diminuição da área de vegetação nativa e aumento da área de agricultura.

Em áreas de construção do mapa de uso do solo, estão localizados a maioria dos poços cadastrados no município, nestas áreas se encontram a maioria dos empreendimentos que possuem potencial poluidor. Na classe construções, o valor de GOD intercala entre o médio e alto, enquanto que no IS este valor também intercala entre alto e intermediário. Sendo assim, há uma pressão maior ao sistema aquífero com um uso mais acentuado do solo, porém, os parâmetros intrínsecos ao aquífero indicam que parte da classe construção possui um substrato resiliente contra a incorporação de contaminante.

Pelo índice GOD, a classe extrema se encontra nas classes vegetação e pecuária pelo mapa de uso do solo. Enquanto que as classes baixa, média e alta estão com uso na classe agricultura, pecuária, arbustivo, cobertura verde, vegetação esparsa, água e construções. Quanto ao IS, as duas classes encontradas estão em todas as classes do mapa de uso do solo (Figura 120 – Mosaico de São Francisco de Assis dos mapas de uso do solo com o GOD (a) e IS (b)).

Figura 120 – Mosaico de São Francisco de Assis dos mapas de uso do solo com GOD (a) e IS (b)



Fonte: Adaptado de ESA (2021) e SIAGAS (2021); elaboração própria (2022).

Através do IS, grande parte da área municipal se encontra com alta suscetibilidade à contaminação das águas subterrâneas, se considerar o POSH, algumas das áreas com o IS alto estão com o POSH elevado, em especial a área urbana. Através do GOD o que se observa é uma maior divisão nas classes, a extrema se encontra longe da área de construções, porém, possui um uso do solo intenso com agricultura e pecuária, através do POSH pode-se averiguar que esta área exerce pressão ao sistema aquífero.

Silva *et al* (2017) também utilizou o GOD para o município de Caçapava do Sul (RS), o município possui aquífero fraturado, com nível de profundidade do topo do aquífero mais raso, isto coloca grande área do município como vulnerável; similar ao que ocorre em São Francisco de Assis. Muradás (2011) estudou o SAG para o município de Estância Velha (RS), onde este se encontra confinado pelo SASG, ela indica que na região, devido ao intenso faturamento, aquela é uma boa área de recarga do aquífero. A autora utilizou o método DRASTIC (similar ao IS) para estudar a vulnerabilidade, onde indicou que as áreas mais vulneráveis são aquelas com pouca profundidade do nível da água e litologia de arenito; estes parâmetros, de forma geral, são determinantes para elencar a classe de vulnerabilidade.

Reginato & Ahlert (2013) estudaram a região de Bento Gonçalves (RS) através dos métodos GOD e DRASTIC, comparando as duas metodologias, os autores consideraram o

DRASTIC possuindo melhores resultados, pois este elencou mais parâmetros; enquanto que o parâmetro crucial para o GOD foi a profundidade até o topo do aquífero; o DRASTIC possui as classes de solos e rochas que diversifica bastante as classes do índice; classes estas similares ao IS, que foi elaborado a partir do DRASTIC.

Auzani (2010) elaborou os índices de vulnerabilidade para a Vila Kramer, em São Francisco de Assis, através do DRASTIC e GOD; o primeiro índice apresenta uma área com vulnerabilidade muito alta, com o restante da vila com risco alto e médio de vulnerabilidade. Quanto ao GOD, a autora indicou as classes insignificante, baixa, média, alta e extrema; esta diferenciação dos resultados pode se dar pelo fato de que a autora uniu os dados de poços do SIAGAS com poços do tipo cacimba encontrados em saídas a campo; isto traz um maior detalhamento da situação local, mesmo se concentrando no vilarejo; apesar das diferenças metodológicas, os resultados são próximos aos encontrados para todo o município.

Capalonga (2019) utilizou o DRASTIC e o POSH para a região do Vale do Taquari (RS), onde a maioria da área possui a classe moderada, seguido por reduzida e, em menor quantidade, elevada. Para esta região a autora elencou as principais atividades com potencial poluidor e classificou-os, relacionando os dois índices, se concluiu que as áreas com maior perigo de contaminação se encontram nas áreas urbanas e nas principais rodovias que cruzam o vale; similar ao encontrado para o POSH de São Francisco de Assis.

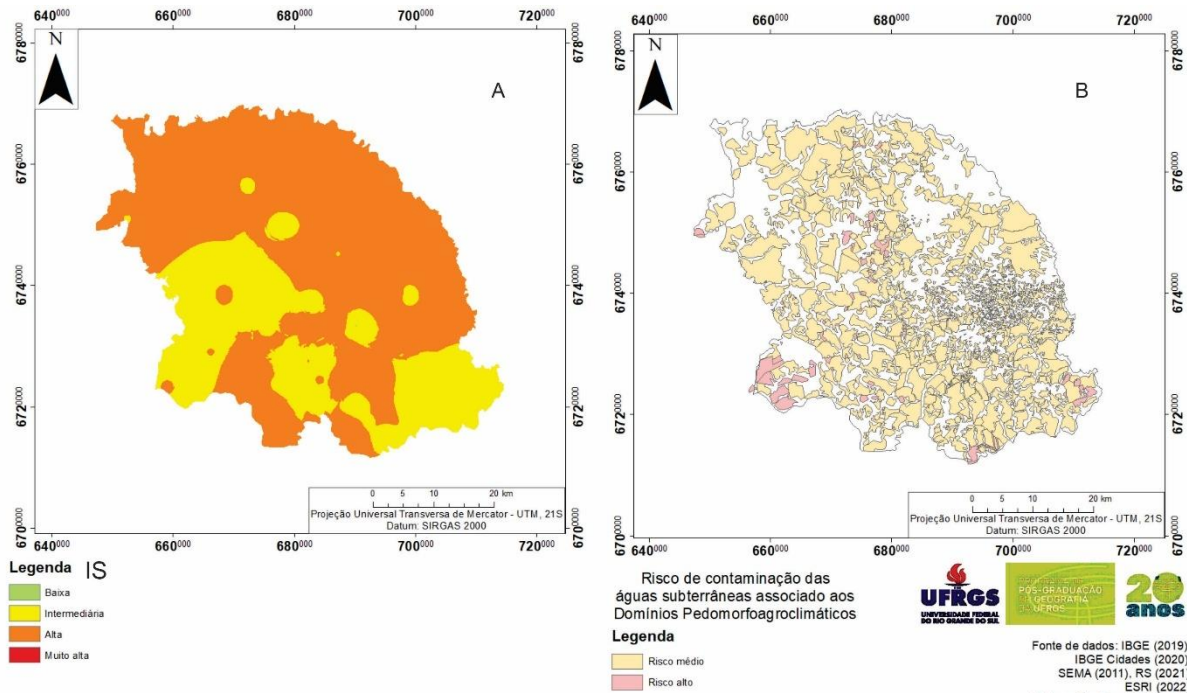
Pinheiro *et al* (2015) também utilizou os índices de vulnerabilidade para Santa Maria (RS), utilizando os dados de poços do SIAGAS, analisaram o GOD e o POSH, onde identificaram muitos postos de gasolina e áreas de disposição de resíduos, estes se localizam em áreas com maiores classes de vulnerabilidade natural do aquífero; sendo a ocorrência litológica e pedológica similar a encontrada em São Francisco de Assis. Santos *et al* (2012) estudaram em Quaraí (RS), através do método GOD, onde a hidroestratigrafia da área é similar ao município estudado, com rochas da formação Botucatu sotoposta por rochas da formação Serra Geral. Entretanto, para Quaraí os autores encontraram uma vulnerabilidade natural na classe insignificante em maioria, apesar do bom potencial natural protetor do aquífero, os autores estabelecem alguns cuidados que devem ser feitos para evitar a contaminação dos mananciais subterrâneos, como: o cuidado no uso excessivo de pesticidas e fertilizantes, limitar operações de aterros sanitários, cuidados com impermeabilização de lixões e o cuidado na posição das fossas sépticas. Além de cuidados com as atividades com potenciais poluidores mais elevados, como oficinas mecânicas, postos de gasolina, resíduos industriais e agropecuários e do cuidado com a instalação e manutenção de cemitérios. Questões estas que são similares para a maioria dos municípios brasileiros.

Borba *et al* (2016) utilizaram o IS e o POSH no município de Frederico Westphalen (RS), onde a captação de água ocorre no SASG. Para o município, a maior parte da área se encontra com a classe intermediária, seguida pela alta, baixa e, por fim, a muito alta; onde a classe muito alta se encontra relacionada a áreas com cultivos agrícolas. Com isto, os autores elencaram as atividades com potencial poluidor para fontes pontuais e difusas, quanto a isto, o POSH se encontra nas áreas com IS intermediário e alto, sendo que nas áreas rurais, as culturas anuais são as mais propensas a contaminar o lençol freático; bem como ocorre em São Francisco de Assis.

Rosa *et al* (2019) utilizou o IS para área de preservação permanente hídrica em Ijuí (RS), sendo a maioria considerada moderada, seguido pelas classes alta, baixa, muito alta e muito baixa. Para a região, a recarga e litologia são iguais, de basaltos, o que diversifica bastante é a profundidade até o lençol freático e a declividade, diferente de São Francisco de Assis, onde a declividade é similar e há maior variedade litológica.

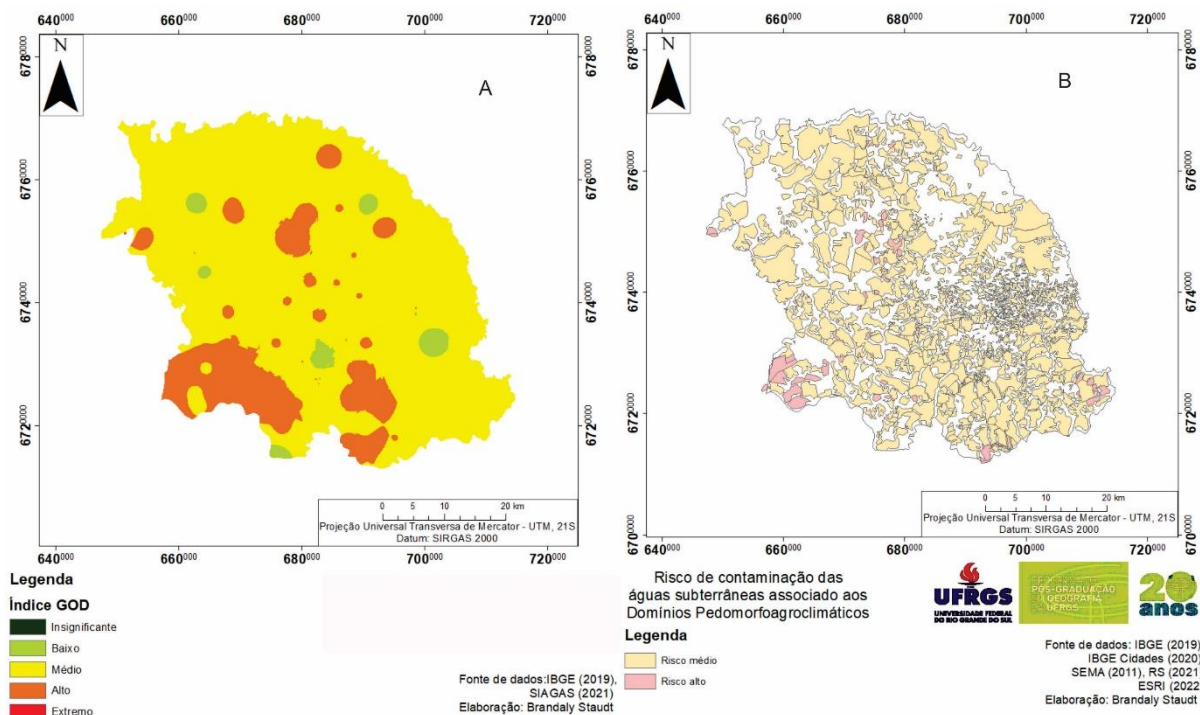
Relacionando os dados do IS aos dados dos domínios pedomorfoagroclimáticos, se observa que as áreas com as classes altas de risco estão localizadas, em maioria, na classe intermediária do IS (Figura 121 - Relação entre o IS e o risco de contaminação através dos domínios pedomorfoagroclimáticos em São Francisco de Assis). Quando se relaciona o índice GOD, de vulnerabilidade intrínseca ao aquífero, aos dados dos domínios Pedomorfoagroclimáticos, de risco de contaminação a partir de fontes agrícolas; se observa que, em maioria, as áreas com risco alto se encontram na classe média de vulnerabilidade do GOD. Com isto, o que se observa que, no município, o aquífero possui parâmetros que evitam a percolação de contaminantes até a zona saturada, sendo que o sistema aquífero possui uma proteção natural, e, através de parâmetros de uso do solo, o que se observa que muitas atividades com potencial poluidor se encontram em áreas com baixa vulnerabilidade intrínseca (Figura 122 - Relação entre o GOD e o risco de contaminação através dos domínios pedomorfoagroclimáticos em São Francisco de Assis).

Figura 121 – Relação entre o IS (a) e o risco de contaminação através dos domínios pedomorfoagroclimáticos (b) em São Francisco de Assis



Fonte: Adaptado de IBGE (2019), IBGE Cidades (2020), SIAGAS (2021), SEMA (2011) e RS (2021); elaboração própria (2022).

Figura 122 – Relação entre o GOD (a) e o risco de contaminação através dos domínios pedomorfoagroclimáticos (b) em São Francisco de Assis



Fonte: Adaptado de IBGE (2019), IBGE Cidades (2020), SIAGAS (2021), SEMA (2011) e RS (2021); elaboração própria (2022).

O município de São Francisco de Assis possui uma vulnerabilidade natural variando entre baixa a alta, mas se encontra, em maioria, na classe média; aliando as características físicas aos dados de uso do solo, o município se enquadra em parte numa vulnerabilidade intermediária e parte em alta. Além disto, fontes pontuais e difusas exercem pressões sob o solo, corroborando o quanto a região possui um risco alto para a contaminação, sendo importante o cuidado no manejo do solo para a região. Esta contaminação pode ser oriunda da agricultura e pecuária, com um manejo inadequado do solo e uso de agrotóxicos. Apesar da boa capacidade do aquífero em conter contaminantes, a pressão exercida pelo intenso uso do solo aumenta o risco de contaminação, sendo necessária medidas para a redução do uso de agrotóxicos e cuidado com o uso de fertilizantes, bem como, cuidados no uso do solo.

6.3 COMPARATIVO ENTRE MUNICÍPIOS

Os dois municípios possuem similaridades, como o fato de possuir quantidade parecida de poços, muitos deles na zona urbana, hidrostratigrafia, uso do solo e usos das águas subterrâneas similares. Outra similaridade são os problemas dos dados, enquanto o Censo IBGE (2020) indica um número maior de casas utilizando águas de poços, os dados do SIAGAS não seguem esta mesma tendência, possuindo dados de poços mais antigos, além de ser discrepante os dados encontrados no banco de dados do IBGE e no banco de dados do SIAGAS. Mesmo em outras bases de dados onde é obrigatória a inserção de dados de construção de poços também indica um registro inferior aos indicados no Censo IBGE. Onde, poços irregulares podem, provavelmente, comprometer os usuários dessas águas.

Em termos socioeconômicos, as similaridades são grandes pois os dois municípios possuem um perímetro urbano bem estruturado, com grandes quantidades de empreendimentos, entretanto, as maiores áreas municipais se encontram disponíveis para a agricultura e pecuária, e, destes locais, a lavoura de soja é a cultura mais plantada; por conta disto, os dois municípios possuem uso do solo intenso, relacionado a monocultura com uso intensivo de fertilizantes e, por vezes, agrotóxicos.

Parâmetros químicos muito escassos para os dois municípios, sem dados de DBO, coliformes fecais, sendo estes alguns dos parâmetros essenciais para a utilização da água para uso humano. Mesmo que não seja obrigatória a inserção destes dados, estas análises são importantes diagnósticos para a potabilidade da água, estes dados não foram encontrados nem nas bases de dados *Cerberus* (MS) e SIOUT (RS).

Há inúmeras diferenças entre os municípios, desde os dados construtivos, como o fato de São Francisco de Assis possuir maior número de poços com dados completos, além de possuírem muitos poços desativados (secos, obstruídos ou abandonado). Em Sidrolândia, há muitos poços, mas cerca de 1/3, apenas, possuem dados completos; neste município a litologia aflorante, em maioria, é de basalto, enquanto São Francisco de Assis é arenito; sendo para os dois municípios a litologia do aquífero predominante de arenito. Em Sidrolândia a maioria dos poços se encontram no SASG, enquanto em São Francisco de Assis, se encontram no SAG - Sanga do Cabral/ Pirambóia.

Em Sidrolândia, as áreas mais vulneráveis pelo índice GOD se concentram em área agroindustrial e parte da sede municipal, pelo mapa, se averigua que o município possui uma vulnerabilidade intrínseca média, com pontos que requerem mais cuidado. São Francisco de Assis possui as áreas mais vulneráveis em locais de agropecuária, se constata pelo mapa, que possui uma grande área com vulnerabilidade intrínseca média, porém, certas áreas requerem mais cuidado, em especial na parte centro – norte e sul, sudoeste do município. O município de São Francisco de Assis possui maior área com vulnerabilidade alta, sendo que as classes média e baixa possuem quase a metade da quantidade de poços, se encontrando com vulnerabilidade intrínseca maior do que o outro município. Sidrolândia possui a maioria dos poços na classe baixa, porém, a diferença desta classe para a média e alta é baixa. Em Sidrolândia o parâmetro profundidade foi determinante para definir a classe de cada poço, enquanto que para São Francisco de Assis, este parâmetro influenciou, mas não foi determinante.

Em Sidrolândia as classes intermediária e alta encontram-se em maioria no SASG, no índice IS, a classe alta se concentra na sede municipal e partes das áreas rurais. Em São Francisco de Assis, as duas classes foram encontradas em todos os meios aquíferos, a classe alta tem mais poços na camada hidroestratigráfica Sanga do Cabral / Pirambóia; enquanto a intermediária está em maioria no Botucatu / Guará I, as duas no SAG. A classe alta se encontra de forma bem ampla em toda extensão, com poços na sede municipal, nos distritos e a grande maioria em domicílios rurais. Nos dois municípios, as áreas vulneráveis são áreas de agropecuária e agroindústria, além de parte da sede urbana.

Quanto ao índice POSH pontual, se observa que nos dois municípios possuem grandes quantidades de empreendimentos, variando pouco a quantidade. Neles, a classe elevada de empreendimentos se concentra nos principais perímetros urbanos, sendo as sedes municipais e as principais rodovias que cruzam os municípios. A mesma tendência se segue para as outras duas classes, se encontrando em maioria na área urbana, sendo a classe reduzida a que se

encontra mais ampla nos territórios, e a classe moderada se encontra, em muitos casos, associada a reduzida.

Sidrolândia têm maior quantidade e variedade de empreendimentos. Se verifica que Sidrolândia possui uma grande quantidade de empreendimentos voltados a área agropecuária e menos indústrias de outros tipos do que São Francisco de Assis, este possui outros tipos de indústrias, porém, possui muitos empreendimentos relativos a armazenagem de grãos, bem como, a criação de vários tipos de animais, como aves, peixes, gado, porcos e rã; enquanto Sidrolândia é concentrada a criação de gado. A armazenagem de fertilizante e agrotóxico é maior em Sidrolândia, assim como, a área plantada neste município. Outra observação importante, em Sidrolândia, vários locais indicados como indústrias alimentícias pela prefeitura e pelo *Econodata*, são, na realidade, de armazenagem de grãos, onde, por imagens de satélite, são grandes depósitos, porém, se encontram mais concentrados em uma área, diferente de São Francisco de Assis, onde se encontram maior quantidade de armazenagem de grãos, porém, estes se encontram em vários locais do município e são menores.

Quanto ao POSH difuso, Sidrolândia possui classe elevada devido ao saneamento *in situ*, por conta da baixa cobertura da rede de esgoto; nas áreas de agricultura e pecuária, parte da área foi classificada como classe moderada devido ao plantio de soja e seu uso de fertilizantes e, por vezes, de agrotóxicos. Em contrapartida, São Francisco de Assis possui classe moderada devido ao saneamento *in situ*, pois a rede de cobertura de esgoto é maior; nas áreas de agricultura e pecuária, as áreas mapeáveis de uso de fertilizantes e/ou agrotóxicos com as culturas temporárias e permanentes foram elencadas com a classe moderada; os locais classificados como elevado são aqueles onde se encontram as voçorocas e areais, devido ao desgaste do solo pela erosão hídrica e eólica, e, este, possuir maior facilidade em infiltrar contaminantes e/ou assorear nascentes.

No que se refere ao POSH difuso, Sidrolândia possui maior área com as classes elevadas e moderadas, isto se deve ao fato de possuir uma rede de cobertura de esgoto menor na área urbana, assim como, possui mais áreas com plantio utilizando fertilizantes e outros químicos que, entrando em contato com o subsolo, pode vir a contaminar as águas subterrâneas. Em Sidrolândia há mais dados sobre as localizações de fazendas e quais destas utilizam agroquímicos, diferente de São Francisco de Assis, onde, há o dado de utilização de defensivos agrícolas, mas não há a relação exata de todos os locais que utilizam.

Pelo índice dos domínios para os municípios, foram identificadas as três classes: culturas anuais, pastagens e culturas perenes; todos em solo bem manejado, o que coloca as regiões com risco alto e médio de contaminação da água subterrânea. Por fim, os mapas dos

municípios foram delimitados a partir de diversas fontes, devido à dificuldade em se encontrar a localização de todas as fazendas com culturas de soja e quais delas usam agrotóxicos, os dados podem estar subdimensionados. Em Sidrolândia, as áreas com risco elevado de contaminação da água subterrânea são similares ao encontrado no POSH difuso, a partir das culturas anuais e a alta entrada de agroquímicos; sendo a maioria da área em risco médio de contaminação, pelas pastagens e culturas perenes, com baixa a média entrada de agroquímicos. Em São Francisco de Assis, as fazendas onde foram localizadas o uso de agroquímicos foram delimitadas, onde, pelo mapa dos domínios, o risco é alto de contaminação, enquanto as outras áreas com outros tipos de agricultura e pecuária ficaram com risco médio de contaminação da água subterrânea.

Apesar da sede urbana representar uma área de risco elevado de contaminação, sua área é pequena, se comparar com a área destinada a agropecuário, sendo que, as atividades vinculadas ao campo também representam risco de contaminação, relacionados ao uso de fertilizantes e agroquímicos, e estas áreas, além de maiores, se encontram em áreas próximas a recursos hídricos superficiais e áreas de várzea de rios. Considerando a área e a quantidade de contaminantes envolvida, a área rural representa um risco maior de contaminação, por isso a necessidade de tomar medidas para a redução do uso de agroquímicos e diversificação da lavoura.

A diferença entre os municípios é que em Sidrolândia, grande parte do aquífero é basáltico, sendo importante a definição detalhada dos lineamentos, a fim de definir as áreas onde há maior risco de infiltração, dependendo da localização destes falhamentos, o risco pode ser menor. Diferente de São Francisco de Assis, onde o aquífero é arenítico, em maioria, por conta da porosidade, o risco de contaminação por agroquímicos é similar aos encontrados por Gomes *et al* (2008).

O mapa de uso do solo de Sidrolândia indicou que 83,9% da área se encontra antropizada, e para São Francisco de Assis, 80,1% da área está antropizada. Nos municípios, a maioria dos poços cadastrados com dados estão em áreas de construções. Para Sidrolândia, as áreas do mapa de uso e ocupação do solo com agricultura e pecuária se encontram com índice GOD variando de baixo, médio e alto. As áreas com o POSH difuso moderado se encontram na classe do IS alto, enquanto no GOD se encontra média e baixa. Relacionando os dados do IS com os Domínios pedomorfoagroclimáticos, as classes altas do IS coincidem com as áreas de domínios com risco alto de contaminação da água subterrânea. Enquanto o outro município, áreas com o POSH difuso moderado se encontra em áreas de GOD alto e médio, enquanto áreas com POSH elevado, se encontra com GOD baixo, médio e parte alto. Para o IS, as áreas com POSH difuso elevado e médio se encontram com IS intermediário e alto. A relação do IS com

os domínios pedomorfoagroclimáticos também apresenta a mesma tendência, áreas com risco alto de contaminação se encontram em áreas com intermediário e alto grau de vulnerabilidade.

Em São Francisco de Assis, os dados de poços cadastrados, tanto no SIAGAS como na FEPAM, se encontram mais atualizados, porém, os dados relativos à agricultura e pecuária, como localização de fazendas, plantios e uso de agroquímicos, não se encontra atualizado, sendo difícil encontrar. Sidrolândia, em contrapartida, possui mais dados sobre agricultura e pecuária, com mais localizações das fazendas, o que elas produzem e se utilizam químicos. Entretanto, os dados relativos aos poços e nascentes se encontram defasados, com muitos poços incompletos e grande discrepância entre o uso registrado pelo IBGE e o registrado pelo SIAGAS. Quanto aos empreendimentos, uma pesquisa em navegador de busca foi capaz de encontrar uma grande quantidade de empreendimentos, sendo similar ao encontrado no cadastro do IBGE. Os endereços eletrônicos das prefeituras se encontram com poucas informações, não dispondo de muitos dados para pesquisa, sendo necessário a busca em diferentes fontes para ter acesso aos dados.

A vulnerabilidade natural em Sidrolândia varia entre insignificante a alta, está em grande parte na média, mas o uso do solo exerce pressões que aumentam esta classe em muitos locais. A vulnerabilidade natural de São Francisco de Assis varia menos, estando de baixa a alta, mas se encontra em maioria alta, fontes pontuais e difusas exercem pressão, aumentando o risco de contaminação. Porém, se averigua que em locais com a vulnerabilidade mais alta, os usos dos solos são menos agressivos, e, onde a vulnerabilidade natural é mais baixa, se encontra as fontes pontuais de contaminação mais elevadas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral, os dois municípios possuem uso do solo bastante intenso, com o uso agropecuário, as indústrias e saneamento. Se observa que em Sidrolândia há maiores cuidados com a implantação de um sistema de plantio mais eficiente e que utilize menos agroquímicos, além dos sistemas agroflorestais; porém, a região possui um relevo pouco diferenciado, o que facilita a mecanização, e, com isto, a monocultura; por conta disto o uso do solo é intenso, com grandes quantidades produzidas de soja, uso de fertilizantes e todo um sistema econômico vinculado ao agronegócio. Este município possui maiores quantidades de indústrias com um potencial poluidor maior, também há uma baixa cobertura da rede de esgoto, estas questões aumentam o risco de contaminação da água subterrânea. Por conta disto, o potencial de contaminação do município é alto, apesar da vulnerabilidade intrínseca ser baixa e média, em maioria.

Já São Francisco de Assis possui formas de relevo um pouco diferenciadas, além das questões relacionadas as ravinas e voçorocas, isto pode vir a atrapalhar a mecanização agrícola, bem como, trazer uma vulnerabilidade primária para regiões com nascentes. Apesar disto, a monocultura da soja tem aumentado a longo dos anos, com grandes extensões de cultivo e utilização de fertilizantes e agroquímicos. Neste município, não são utilizados sistemas agroflorestais. Além do município possuir uma industrialização um pouco mais diferenciada e uma média cobertura da rede de esgoto. Devido a isto, o potencial de contaminação do município é alto, com a vulnerabilidade intrínseca média a alta, em maioria.

Em São Francisco de Assis se encontram pontos críticos, onde cuidados devem ser tomados. Este município possui uma vulnerabilidade natural maior, entretanto, o uso do solo é menos intenso, com menores quantidades de empreendimentos de maior potencial poluidor, maior cobertura da rede de esgoto e poucos locais de uso intensivo do solo. Porém, deve-se atentar para incorporar técnicas mais conservacionistas no uso do solo, diminuição no uso dos agroquímicos e a manutenção de boas condições de pastagens. Em Sidrolândia, a área urbana precisa de aumento no esgotamento sanitário, porém, as áreas com potencial poluidor elevado estão em áreas de agricultura, onde coincide os locais com vulnerabilidade natural maior e o uso do solo intenso, com grandes áreas de agropecuária.

Os dois municípios devem manter um uso do solo adequado, com a diminuição do uso de fertilizantes e agroquímicos, incorporação de técnicas conservacionistas, como o sistema de plantio direto e sistemas agroflorestais, além da diversificação entre culturas, que vão além do plantio de soja e sorgo na agricultura. Também se atentar às pastagens em más condições, com

a intensa utilização deste e posterior fertilização e compactação do solo. Além de que se deve aumentar o sistema de saneamento adequado; e o cuidado com a poluição oriunda de indústrias e áreas urbanas. Deve-se atentar a um manejo mais adequado do solo, com processos que degradem menos o ambiente, além de diminuição dos químicos, investindo em sistemas agroecológicos ou, pelo menos, técnicas mais conservacionistas.

REFERÊNCIAS

ABAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Águas subterrâneas: O que são?** Educação, São Paulo: ABAS, 2021. Disponível em: <https://www.abas.org/aguas-subterraneas-o-que-sao/> Acesso em: 02 de agosto de 2021.

ABNT. NBR 12.212 – Projeto de poço para captação de água subterrânea. **Comitê brasileiro de construção civil**, Rio de Janeiro. 13 p., terceira edição de 14 de setembro de 2017.

ABNT. NBR 12.244 – Poço tubular – Construção de poço tubular para captação de água subterrânea. **Comitê brasileiro de construção civil**, Rio de Janeiro. 10 p., 2ª edição, 30 de abril de 2006.

AGÊNCIA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA – AGEITEC / EMBRAPA. **Cultivos**. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/inicial> Acesso em: 15 de agosto de 2022.

AGROLINK. **Busca de produtos**. 2022. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/biologicos/busca-direta-produto> Acesso em: 16 de agosto de 2022.

AQUINO, A. R. de; LANGE, C. N.; LIMA, C. M. de; AMORIM, E. P. de; PALETTA, F. C.; FERREIRA, H. P.; BORDON, I. C. A.; ALMEIDA, J. R. de; GOMES, M. A. U. G.; ZAMPIERI, M. C. T.; OLIVEIRA, M. J. A de; CORREIA JUNIOR, P. A.; SOUZA, R. R. de; MATTIOLO, S. R.; RODRIGUES, S. G. Vulnerabilidade ambiental. In: **Vulnerabilidade ambiental**. AQUINO, A. R. de; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. de. (ed.). São Paulo: Blucher, cap. 2, p. 15 - 28, 2017. Disponível em: <https://openaccess.blucher.com.br/article-details/vulnerabilidade-ambiental-20402> Acesso em: 02 de agosto de 2021.

ALVES, C. C.; NASCIMENTO, P. S. R. Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para a estimativa de áreas de recarga de águas subterrâneas. In: XIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE, s.n., 2021. **Resumos**. Sergipe: ABRHidro.

AMARANTE JUNIOR, O. P. de; SANTOS, T. C. R. dos; BRITO, N. M.; RIBEIRO, M. L. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Química nova**, São Paulo, v. 25, n. 4, 2002.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Fatos e tendências**. 39 p., Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2009. Disponível em:

https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/fatosetendencias/edicao_2.pdf
Acesso em: 09 de abril de 2021.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Região hidrográfica do Paraná**. Projeto Brasil das Águas, 2013. Disponível em: <https://brasildasaguas.com.br/educacional/regioes-hidrograficas/regiao-hidrografica-do-parana/#:~:text=Disponibilidade%20e%20Usos%20da%20%C3%81gua,L%2Fs%2Fkm%C2%B2> Acesso em 16 de agosto de 2021.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **CNARH 40 - dados do poço**. 46 p., Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2016. Disponível em: <https://progestao.ana.gov.br/destaque-superior/eventos/oficinas-de-intercambio-1/aguas-subterraneas-1/oficina-aguas-subterraneas-brasilia-2016/apresentacoes-ana/ana-5-campos-dados-dos-pocos-no-cnarh-40-leticia-moraes.pdf> Acesso em: 02 de agosto de 2021.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021: informe anual**. Brasília: ANA, 127 p., 2021.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 126 p., Brasília: ANA, 2021.

ANVISA. **Relatório das amostras analisadas no período de 2017-2018**. Programa de análise de resíduos de agrotóxicos em alimentos – PARA. Online: Brasília, 136 p., 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/agrotoxicos/programa-de-analise-de-residuos-em-alimentos/arquivos/3770json-file-1> Acesso em 16 de agosto de 2022.

APROSOJA. **Estiagem na Safra de Soja 2021/2022 no Estado de Mato Grosso do Sul**. 37 p., Campo Grande: SEMAGRO / Sistema FAMASUL, 2022. Disponível em: <https://www.semagro.ms.gov.br/wp-content/uploads/2022/01/SOJA-SAFRA-2021-2022-ESTIAGEM-EM-MATO-GROSSO-DO-SUL-01-a-18-DE-JANEIRO.pdf> Acesso em: 16 DE AGOSTO DE 2022.

ARAI, F. K. **Caracterização da disponibilidade hídrica na Bacia Hidrográfica do Ivinhema, MS**. 2010. 127 p., dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2010.

ARRUDA, R. de S. **Análise de vulnerabilidade intrínseca do Aquífero Barreiras a partir de dados hidrogeofísicos – área do baixo curso do Rio Maxaranguape - RS**. 2017. 119 p. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, março / 2017.

ASSINE, M. L.; PIRANHA, J. M.; CARNEIRO, C. D. R. Os paleodesertos Pirambóia e Botucatu. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. R.; BRITO NEVES, B. B. (org.). **O desvendar de um continente: a moderna geologia da América do Sul e o legado da obra de Fernando Flávio de Almeida**. São Paulo: SBG, 2004, p. 77-90.

AUZANI, G. M. **Uso da terra e caracterização hidropedológica na região de Vila Kramer, São Francisco de Assis, RS**. 2010. 129 p. tese (Doutorado em Ciências do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

BARBOSA, M. C.; CARVALHO, A. M.; IKEMATSU, P.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; CAVANI, A. C. M. Avaliação do perigo de contaminação do Sistema Aquífero Guarani em sua área de afloramento no estado de São Paulo decorrente de atividades agrícolas. **Águas subterrâneas**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 01-14, 2011.

BASSO, L. A.; VERDUM, R. Qualidade das águas em bacias hidrográficas com foco de arenização, sudoeste do Rio Grande do Sul. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v. 1, n. 28, p. 47-57, 2006.

BATISTA, C. S. P.; GESUALDO, G. C.; LEITE, P. C. C.; LASTORIA, G.; GABAS, S. G.; CAVAZZANA, G. H.; CASADEI, J. de M.; AZOIA, T. de S. Aplicação do método GOD para avaliação de vulnerabilidade de aquífero livre em Bacia Hidrográfica. In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 133 - 147 p., 2017. **Resumos**. Campinas: ABAS.

BORBA, W. F. de; SILVA, J. L. S. da; ALLASIA, D. G.; ROSA, C. N. da; FAVARETTO, J. R.; RIBEIRO, L. F. T. Geoprocessamento aplicado à determinação do índice de Susceptibilidade das captações por poços tubulares do Sistema Aquífero Serra Geral em Frederico Westphalen - Rio Grande do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro: UFRJ, v. 39, n. 3, p. 79-88, 2016.

BORBA, W. F. de; RUCHEL, B.; MENEGAZZO, K. C.; PEIL, L. Z.; ROSA, C. N. da. Aplicação do método índice de susceptibilidade para estimativa da susceptibilidade à contaminação na Bacia Hidrográfica dos rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo. **Revista do Instituto de Geociências**. Série Científica, São Paulo: USP, v. 20, n. 1, p. 125-136, 2020.

BÓS, S. M.; THOMÉ, A. **Métodos para Avaliar Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas**. Porto Alegre, RS: POA Comunicação, 82 p., 2012.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos hídricos, regulamenta o inciso XIX do art 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a lei nº 7.990, de 28 de janeiro de 1989. **Diário Oficial da União**. Brasília, Seção 1, 08 de janeiro de 1997.

BRASIL. Decreto nº 7.535, de 26 de julho de 2011. Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água – ‘Água para todos’. **Diário Oficial da União**. Brasília, Seção 03, p. 02, 27 de julho de 2011.

BRASIL. Portaria Ministério da Saúde / Gabinete do Ministro nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM / MS nº5, 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, Edição: 85, Seção: 01, Página: 127, 07 de maio de 2021.

BRITO, D. O.; REGINATO, P. A. R. Zona de concentração de cargas contaminantes para avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea em área urbana. **Águas subterrâneas**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 121-129, 2018.

CADASTRO RURAL. **Biblioteca GED - arquivos públicos**. 2021. Disponível em: <https://docs.cadastrorural.com.br/ged/arquivos-externos.jsp> Acesso em: 02 de agosto de 2021.

CAETANO-CHANG, M. R. & WU, F. T. Diagênese de arenitos da Formação Pirambóia no centro-leste paulista. **Geociências**, São Paulo, v. 22, n. especial, p. 33 - 39, 2003.

CAMPO GRANDE NEWS. Soja transgênica reina no MS e apenas 7,3% do plantio é do grão convencional. **Rosana Siqueira / Economia**, 16 de junho de 2020. Disponível em: <https://www.campograndenews.com.br/economia/soja-transgenica-reina-no-ms-e-apenas-7-3-do-plantio-e-do-grao-convencional> Acesso em 16 de agosto de 2022.

CANAL RURAL. Consultor do Soja Brasil fala das lavouras de Sidrolândia (MS). **Canal Rural informação**, atualizado em 03 de janeiro de 2022. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/programas/informacao/mercado-e-cia/consultor-soja-brasil-fala-das-lavouras-sidrolandia-48135/?media-print=true> Acesso em: 16 de agosto de 2022.

CAPALONGA, S. Avaliação do perigo de contaminação das águas subterrâneas por fontes pontuais nos municípios do Vale do Taquari - RS. **Águas subterrâneas - Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas**, v. 33, n. 4, setembro 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/ras.v33i4.29600> Acesso em: 15 de março de 2021.

CARDOSO, J. M.; BEGA, J. M. M.; OLIVEIRA, J. N. de; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P. Aspectos qualitativos da água subterrânea de poços tubulares em Campo Grande – MS. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 14, n. 2, p. 85-100, junho / 2020.

CAUDURO, F.; SARTOR, M.; MULLER, C. R. Tratamento de efluentes sanitários em áreas alagadiças e / ou com lençol freático superficial - Estudo de caso. **Estudo de Caso e Notas Técnicas - ABAS**, São Paulo, v. 33, n. 3, 2019. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29573/19110> Acesso em: 02 de agosto de 2021.

CERRI, L. E.; AMARAL, C. Riscos geológicos. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. (org.). **Geologia de engenharia**, São Paulo: ABGE, 1998, p.301 - 310.

CETESB. **Águas subterrâneas** Educação, São Paulo: CETESB, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/programa-de-monitoramento/consulta-por-aquiferos-monitorados/aquifero-serra-geral/> Acesso em: 02 de agosto de 2021.

CHRISPIM, Z. M. P. **Análise da vulnerabilidade e caracterização hidrogeoquímica dos aquíferos livres rasos da parte emersa da Bacia Sedimentar de Campos**. 2016. 320 p. tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, agosto/2016.

COLERIDGE, S. T. O ciclo hidrológico e a água subterrânea. In: PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. (org.). **Para entender a Terra** Porto Alegre: Bookman, 4 edição, 2006, p. 313-340.

COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO. **Superintendência Regional Pampa**. Disponível em: https://www.mprs.mp.br/media/areas/ressanear/arquivos/materialtecrs/mapa_estacoes_de_tratamento_de_esgoto_rs2.pdf Acesso em: 15 de março de 2021.

CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Seção 1, n. 053, p. 58 - 63, de 18 de março de 2005.

CONAMA. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Seção 1, n. 66, p. 64 - 68, 07 de abril de 2008.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução nº 91, de 05 de novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. **Diário Oficial da União**. 5p., 05 de novembro de 2008.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução nº 92, de 05 de novembro de 2008. Estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro. **Diário Oficial da União**. Publicado no DOU em 04 de fevereiro de 2009.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2009. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_rio_grande_sul.pdf Acesso em: 15 de março de 2021.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Relatório diagnóstico Sistema Aquífero Bauru-Caiuá nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná – Bacia Sedimentar do Paraná**. 40p., v.14, Belo Horizonte: CPRM, 2012. Disponível em: http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/pdf/PDF_RIMAS/VOLUME14_Sistema_Aquifero_Bauru_Caiua_SP_PR_MS.pdf Acesso em 16 de agosto de 2022.

CPRM - RIGEO. **Disponibilidade hídrica do Brasil: estudos de regionalização de vazões nas bacias brasileiras**. 2014. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/11221?show=full> Acesso em: 15 de agosto de 2022.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Ciclo hidrológico**. Brasília: CPRM, 2021. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/CPRM-Divulga/Canal-Escola/Ciclo-Hidrologico-1376.html> Acesso em: 02 de agosto de 2021.

CPRM. **Acervo Geocientífico**. 2021. Disponível em: <http://webserver1.cprm.gov.br/publique/Acesso> em: 05 de janeiro de 2023.

CUTRIM, A. O.; CAMPOS, J. E. G. Avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis (MT) com aplicação dos métodos GOD e POSH. **Geociências**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 401-411, 2010.

DAL BÓ CRUZ, I. F.; OLIVEIRA, S. D. de; SILVA, J. G. dos S. da; TEIXEIRA, E. de S.; RABI, L. T.; PERES, K. C.; NASCIMENTO, M.; BUFALO, N. E.; WARD, L. S. Efeito de diferentes concentrações do herbicida Roundup Original DI sobre linhagens celulares tireoidianas normais e neoplásicas. In: XIII Semana de Pesquisa – 2022. *online*, 2022, **resumos**, Campinas, SP: UNICAMP. Disponível em:

<https://www.fcm.unicamp.br/semanadepesquisa/aprovado2022.php?t=118> Acesso em 01 de março de 2023.

DRH / SEMA RS - SISTEMA DE OUTORGA DE ÁGUA DO RIO GRANDE DO SUL – SIOUT RS. **Pesquisa geral**. 2022. Disponível em: <http://www.siou.rs.gov.br/#/> Acesso em: 15 de agosto de 2022.

ECONODATA. **Lista de empresas**. 2021. Disponível em: <https://www.econodata.com.br/empresas/rs-sao-francisco-de-assis> Acesso em: 16 de agosto de 2022.

ECONODATA. **Lista de empresas**. 2021. Disponível em: <https://www.econodata.com.br/lista-empresas/MATO-GROSSO-DO-SUL/SIDROLANDIA> Acesso em: 02 de agosto de 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Zoneamento agroecológico do município de Sidrolândia - MS**. CARVALHO JUNIOR, W. de (org.). Rio de Janeiro: EMBRAPA solos, 21 ed., 63 p., 2011. Disponível em: <https://www.semagro.ms.gov.br/zoneamento-agroecologico-do-estado-do-mato-grosso-do-sul-zaems/> Acesso em 15 de março de 2021.

EMBRAPA. Com fórmula simples, produtor pode calcular consumo de água por animais. **EMBRAPA notícias**, 23 de abril de 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/42807015/com-formula-simples-produtor-pode-calculiar-consumo-de-agua-por-animais> Acesso em: 16 de agosto de 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Arvore do conhecimento: Cultivos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos> Acesso em 15 de agosto de 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Bioma Cerrado**. Brasília: Portal EMBRAPA, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/contando-ciencia/bioma-cerrado> Acesso em 15 de março de 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Solos brasileiros**. Rio de Janeiro: EMBRAPA SOLOS, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos> Acesso em 15 de agosto de 2022.

EMBRAPA. Assentamento rural colhe cultivar de soja orgânica da Embrapa. **EMBRAPA notícias**, 19 de março de 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/->

/noticia/60142070/assentamento-rural-colhe-cultivar-de-soja-organica-da-embrapa?p_auth=QBgoKWHV Acesso em: 02 de agosto de 2021.

EMPRESA DE SANEAMENTO DE MATO GROSSO DO SUL. **Sistema proposto de esgotamento sanitário**. Modelagem técnica: Estudos de Engenharia, Ambiental e Social. V. 64, 60 p., 2016. Disponível em: <http://www.epe.segov.ms.gov.br/> Acesso em: 15 de março de 2021.

FAMASUL. MS está entre os estados com maior adoção de sistemas de integração e plantio direto no Brasil. **Assessoria de Comunicação do Sistema FAMASUL Online**, 12 de abril de 2021. Disponível em: <https://portal.sistemafamasul.com.br/noticias/ms-est%C3%A1-entre-os-estados-com-maior-ado%C3%A7%C3%A3o-de-sistemas-de-integra%C3%A7%C3%A3o-e-plantio-direto-no> Acesso em 16 de agosto de 2022.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. O grupo Caiuá (Ks): Revisão estratigráfica e contexto deposicional. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 164-176, setembro/1994.

FIGUEIREDO, M. C. B. de; VIEIRA, V. de P. P. B.; MOTA, S.; ROSA, M. de F.; MIRANDA, S. **Análise da vulnerabilidade ambiental**. Fortaleza: EMBRAPA Agroindústria Tropical, 46 p., 2010.

FOSTER, S. S. D. Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy. In: Duijvanbooden, W. Van; Waegeningh, H. G. Van (eds.), **Vulnerability of Soil and Groundwaters to Pollution, Proceedings and Information**, nº 38, Holanda. 1987.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data**. Lima: CEPIS. 86 p, 1987.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. Riscos de poluição de águas subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 175 - 185 p., 1988. **Resumos**. Recife: ABAS.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea - um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agencias ambientais**. São Paulo: Servmar, 114 p., 2002.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agencias ambientais. **Groundwater management advisory team** em parceria com a Global Water Partnership copatrocinio da Oms-OPAS-CEPIS & UNESCO ROSTLAS-

PHI, World Bank Group. Washington DC: Edição Brasileira Sevmar - Serviços Técnicos Ambientais LTDA, 114p.,2006.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C.; VIDAL, A.; SCHMIDT, G.; GARDUNO, H. Implicações hidrogeológicas na gestão do Sistema Aquífero Guarani In: HIRATA, R. C.; ROCHA, G.; SINSICO, F. (org.) **A gestão do Sistema Aquífero Guarani: um exemplo de cooperação**. São Paulo: IGc/USP, p.43, 2011.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; ANDREO, B. The aquifer pollution vulnerability concept: ai dor impediment in promoting groundwater protection? **Hidrogeology Journal**, online, v. 21, n. 7, p. 1389-1392, novembro/2013.

FOSTER, S. **The links between land use and groundwater**. 20 p.; Suécia :Global Water Partnership, 2014.

FRANZINI, A. S. **Carta Hidrogeológico do Brasil**. Brasília: CPRM. 2016. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/16568> Acesso em: 02 de agosto de 2021.

FREITAS, E. M. de. **Arenização e fitossociologia da vegetação de campo no município de São Francisco de Assis, RS**. 2006. 143 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

FREITAS, M. A. de; MACHADO, J. L. F.; VIERO, A. C.; TRAININI, D. R.; GERMANO, A. de. O.; GLUGLIOTTA, A. P.; CAYE, B. R.; PIMENTEL, G. de B.; MARQUES, J. L.; GOFFERMANN, M.; SILVA, P. R. R. da. Mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul: Um avanço no conhecimento das águas subterrâneas no estado. In: Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. [s.n.], 2004. **Resumos**, Cuiabá: ABAS.

FUNAI - FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO. **História**. Brasília: Ministério da Justiça e Segurança Pública, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/funai/pt-br/search?SearchableText=mato%20grosso%20do%20sul> Acesso em: 02 de agosto de 2021.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER. **Consultas genéricas**. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/licenciamento/Area1/default.asp> Acesso em: 15 de março de 2021.

G1 RS. Suspeito de contrabandar agrotóxicos do Uruguai para cidades do RS é preso pela terceira vez. **RBS TV**, 08 de setembro de 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2021/09/08/suspeito-de-contrabandar-agrotoxicos-do-uruguai-para-cidades-do-rs-e-preso-pela-terceira-vez.ghtml> Acesso em: 16 de agosto de 2022.

GASTMANS, D.; KIANG, C. H. Avaliação da hidrogeologia e hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no estado de Mato Grosso do Sul. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 19, n. 01, p. 35-48, junho / 2005.

GASTMANS, D. **Hidrogeologia e Hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani na porção Ocidental da Bacia Sedimentar do Paraná**. 2007. 238 p. tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2007.

GASTMANS, D.; CHANG, H. K.; HUTCHEON, I. Groundwaters geochemical Evolution in the Northern portion of the Guarani Aquifer System (Brazil) and its relationship to diagenetic features. **Applied Geochemistry**, online, v. 1, n. 25, p. 16-33, janeiro/2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/248337154_Groundwater_geochemical_evolution_in_the_northern_portion_of_the_Guarani_Aquifer_System_Brazil_and_its_relationship_to_diagenetic_features Acesso em: 15 de março de 2021.

GOMES, M. A. F.; Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani em território brasileiro - subsídio à gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos. In: CONFERÊNCIA INTERAMERICANA DE RECURSOS HÍDRICOS, s.n., 2003. **Resumos**. Foz do Iguaçu: Uniáqua.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F.; SPADOTTO, C. A. Classificação das áreas de recarga do Sistema Aquífero Guarani no Brasil em domínios pedomorfoagroclicmáticos - subsídio aos estudos de avaliação de risco de contaminação das águas subterrâneas. **Revista do Departamento de geografia**. São Paulo: USP, nº 18, p. 67-74, 2006.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H.; SPADOTTO, C.; PEREIRA, A. Caracterização pedomorfoagroclicmática das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: base para uma proposta de gestão sustentável. In: EMBRAPA; Gomes, M. A. F. (ed.). **Manejo agroecológico das áreas de recarga do aquífero Guarani na região das nascentes do Rio Araguaia, GO/MT**. Online, 2008, p. 47- 64. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265376760_Caracterizacao_pedomorfoagroclicmatic_a_das_areas_de_afloramento_do_Aquifero_Guarani_no_Brasil_base_para_uma_proposta_de_gestao_sustentavel Acesso em: 15 de março de 2021.

GUIGUER, N.; KOHNKE, M. W. Métodos para determinação da vulnerabilidade de aquíferos. In: SUPLEMENTO - ANAIS DO XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRANEAS, s.n., 2002, **Resumo**, Florianópolis: ABAS.

HAUSMAN, A. Província Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul – RS. **Acta geologica leopoldensia**, Série Mapas, São Leopoldo: UNISINOS, nº 2, p. 1-127, 1995.

HIRATA, R. C. A. **Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas, estudo de casos no estado de São Paulo**. 1994. 213 p., tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

HIRATA, R.; VARNIER, C. Águas subterrâneas e agronegócios. **Revista Águas Subterrâneas**. SUPLEMENTO - Anais do X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo: ABAS, nº 1, s.n., 1998.

HIRATA, R.; CONICELLI, B. P.; PINHATTI, A.; LUIZ, M. B.; PORTO, R.; FERRARI, L. O Sistema Aquífero Guarani e a crise hídrica nas regiões de Campinas e São Paulo (SP). **Revista USP**. Dossiê crise hídrica, São Paulo: USP, nº 106, p. 59-70, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malhas territoriais**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads> Acesso em: 15 de março de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - BANCO DE DADOS GEODÉSICO. **Relatório de Estação Geodésica**. 2007. Disponível em: <http://www.bdg.ibge.gov.br/bdg/pdf/relatorio.asp?L1=93573> Acesso em: 15 de março de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - BANCO DE DADOS GEODÉSICO. **Relatório de Estação Geodésica**. 2017. Disponível em: <http://www.bdg.ibge.gov.br/bdg/pdf/relatorio.asp?L1=3023> Acesso em: 15 de março de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA BIBLIOTECA. **Catálogo Histórico: São Francisco de Assis, Rio Grande do Sul**. 2007. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/dtbs/riograndedosul/saofranciscodeassis.pdf> Acesso em: 15 de março de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA BIBLIOTECA. **Catálogo Histórico: Sidrolândia, Mato Grosso do Sul**. 2009. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?id=33272&view=detalhes> Acesso em: 15 de março 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA CIDADES. **Pesquisas de informações municipais**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/sao-francisco-de-assis/panorama> Acesso em: 15 de março de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA CIDADES. **Pesquisas de informações municipais.** 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/sidrolandia/panorama> Acesso em: 15 de março de 2021.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DO MATO GROSSO DO SUL. **Consulta.** Disponível em: <http://cerberus.imasul.ms.gov.br:8005/LicencasConcedidas/login.jsf;jsessionid=6CFED577836546F3737481A88875ECDD> Acesso em: 15 de março de 2021.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DO MATO GROSSO DO SUL. **Relatório águas subterrâneas.** Campo Grande, 60p., 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil - TOPODATA.** Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> Acesso em: 15 de março de 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Introdução ao sensoriamento remoto.** Disponível em: <http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm#top> Acesso em: 15 de agosto 2021.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – DIVISÃO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS - DPI. **Calculadora geográfica.** Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/calcula/> Acesso em: 05 de janeiro de 2023.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **Médias climatológicas.** 2020. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/medias-climatologicas> Acesso em: 15 de março de 2021.

JORNAL DA UNICAMP. Estudo associa herbicida a alterações celulares. **Autoria: Paula Penedo Pontes,** edição 679, 07 a 20 de novembro de 2022. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/679/estudo-associa-herbicida-alteracoes-celulares> Acesso em: 01 de março de 2023.

JUSTIÇA FEDERAL – SEÇÃO JUDICIÁRIA DO RIO GRANDE DO SUL. JFRS condena duas pessoas por extração ilegal de areia no rio Ibicuí em São Francisco de Assis (RS). **Notícias JFRS,** 23 de junho de 2016. Disponível em: <https://www2.jfrs.jus.br/noticias/jfrs-condena-duas-pessoas-por-extracao-ilegal-de-areia-no-rio-ibicui-em-sao-francisco-de-paula-rs/> Acesso em: 16 de agosto de 2022.

KEMERICH, P. D. da C.; SILVA, J. L. S., DESCOVI FILHO, L. L. V.; VOLPATTO, F.; SAUCEDO, E. M. Determinação da vulnerabilidade natural à contaminação da água

subterrânea no bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro em Santa Maria - RS. **Engenharia ambiental**, v. 8, n. 3, p. 85-98, 2011.

KLAMT, E.; BEATTY, M. Gênese duma sequência de solos da região do planalto médio riograndense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Série Agronômica, v.7, p. 99-109, 1972.

LASTORIA, G. **Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul**. 2002. 133 p., tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2002.

LASTORIA, G.; SINELLI, O.; KIANG, C. H.; HUTCHEON, I.; PARANHOS FILHO, A. C.; GASTMANS, D. Hidrogeologia da Formação Serra Geral no estado do Mato Grosso do Sul. **Águas subterrâneas**, v. 20, n. 1, p. 139-150, 2006.

LÖBLER, C. A.; SILVA, J. L. S. da. Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do município de Nova Palma, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 10, n. 1, p. 141 - 152, 2014.

LOBO FERREIRA, J. P. C.; OLIVEIRA, M. M. Cartografia da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas do Conselho de Montemor-o-Novo utilizando o DRASTIC. In: **Água Subterrânea: aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento**. Cabral, J. J. S. P.; Lobo Ferreira, J. P. C.; Montenegro, S. M. G. L.; Costa, W. D. (Org.). Recife: Editora Universitária da UFPE, vol.4, 446 p., p. 277 – 331, 2004.

MACHADO, J. L. F. **Compartimentação Espacial e Arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul**. 2005. 237p. tese (Doutorado em Geologia). Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Porto Alegre. 2005. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/2189/compartimentacao%20espacial.pdf?sequence=2&isAllowed=y> Acesso em: 15 de março de 2021.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. de. **Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM. 2005. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/5249/mapa_hidro_RS_final.pdf?sequence=2&isAllowed=y Acesso em: 15 de março 2021.

MACHADO, J. L. F.; NARDY, A. J. R.; ROCHA JUNIOR, E. R. V.; MARQUES, L. S.; OLIVEIRA, M. A. F. de. Geologia e litogeoquímica da Formação Serra Geral nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. **Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 523-540. 2009 Disponível em: https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/28_4/Art%2013_Machado.pdf Acesso em 16 de agosto de 2022.

MAGNONI, P. H. J. **Estimativa de recarga de águas subterrâneas por sensoriamento remoto e computação em nuvem**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 102 p., 2020.

MANZANO, L. M. T. **Monitoramento dos sistemas aquíferos utilizados no abastecimento público do município de Campo Grande, MS**. 2018. 112 p. dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, março / 2018.

MATO GROSSO DO SUL. Lei nº 3.183, de 21 de fevereiro de 2006. Dispões sobre a administração, a proteção e a conservação das águas subterrâneas de domínio do Estado e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília. Publicada no Diário Oficial nº 6.676, de 22 de fevereiro de 2006.

MATO GROSSO DO SUL. Resolução Conselho Estadual de Recursos Hídricos nº 40, de 03 de outubro de 2016. **Diário Oficial da União**, Brasília. Publicada no Diário Oficial nº 9.368, de 14 de março de 2017.

MEDICI, E. P.; FERNANDES-SANTOS, R. C.; TESTA-JOSÉ, C.; GODINHO, A. F.; BRABD, A. F. Lowland tapir exposure to pesticides and metals in the Brazilian Cerrado. **WildLife Research**, Online, v. 48, n. 05, p. 393-403, fevereiro - 2021. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/wr/WR19183> Acesso em 16 de agosto de 2022.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul ocidental**. 1997. 255 p., tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA E SEGURANÇA PÚBLICA. PRF apreende 10 mil maços de cigarros e 200 kg de agrotóxicos em Sidrolândia (MS). **MP notícias**, 19 de maio de 2021. Disponível em: h https://www.gov.br/prf/pt-br/noticias_anteriores/estaduais/mato-grosso-do-sul/maio/prf-apreende-10-mil-macos-de-cigarros-e-200-kg-de-agrotoxicos-em-sidrolandia-ms Acesso em: 16 de agosto de 2022.

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA E SEGURANÇA PÚBLICA. PRF apreende em Caarapó (MS) 9.600 litros de agrotóxicos contrabandeados. **MP notícias**, 29 de janeiro de 2022. Disponível em: https://www.gov.br/prf/pt-br/noticias_anteriores/estaduais/mato-grosso-do-sul/janeiro-1/prf-apreende-em-caarapo-ms-9-600-litros-de-agrotoxicos-contrabandeados-1 Acesso em: 16 de agosto de 2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE – SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE. **Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de populações expostas a agrotóxicos**. Brasília: Versão eletrônica, v.1, tomo 2, 2018. Disponível em: https://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/publicacoes/relatorio_nacional_vigilancia_populacoes_expostas_agrotoxicos.pdf Acesso em: 16 de agosto de 2022.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Águas subterrâneas - um recurso a ser conhecido e protegido**. 40 p., Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2007. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/%C3%81GUAS%20SUBTERR%C3%82NEAS.pdf> Acesso em: 02 de agosto de 2021.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO MATO GROSSO DO SUL. MPMS e EMBRAPA firmam acordo para viabilizar construção de laboratório de análise de resíduos de agrotóxicos. **MP notícias**, Dourados, 22 de março de 2018. Disponível em: <https://www.mpms.mp.br/noticias/2018/03/mpms-e-embrapa-firmam-acordo-para-viabilizar-construcao-de-laboratorio-de-analise-de-residuos-de-agrotoxicos#> Acesso em: 16 de agosto de 2022.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO RIO GRANDE DO SUL. **Diário eletrônico do Ministério Público do RS**. Posto Alegre: Versão eletrônica, 2014. Disponível em: https://www.mprs.mp.br/media/de/arquivos/demp_2014_09_30.pdf Acesso em: 16 de agosto de 2022

MURADÁS, K. **Análise de parâmetros para mapeamento de vulnerabilidade de contaminação das águas subterrâneas do aquífero Guarani nos municípios de Portão e Estância Velha / RS**. 2011. 123 p. dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, março / 2011.

NANNI, A. S. **O flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico**. 2008. 127 p., tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

NUNES, G.; MONTEIRO, J. P.; MARTINS, J. Quantificação do consumo de água subterrânea na agricultura por métodos indirectos - detecção remota. In: IX ENCONTRO DE UTILIZADORES DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, s.n., 2006, **Resumo**, Lisboa: USIG.

PACHECO, M. F. de S. D. Divisão Regional do Rio Grande do Sul. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, v. 1, n. 4, p. 07-16, 1956.

PARIZZI, M. G. Desastres naturais e induzidos e o risco urbano. **Geonomos**, Belo Horizonte: UFMG, v. 22, nº 1, p. 01-09, 2014.

PERFURARTE POÇOS ARTESIANOS. Poço artesiano: profundidade ideal e profundidade média em SP e MG. **Blog Online**, Atualizado em 27 de abril de 2022. Disponível em: <https://www.perfurarte.com.br/post/poco-artesiano-profundidade> Acesso em: 16 de agosto de 2022.

PFALTZGRAFF, P. A. dos S.; ARRAES, C. E. da S.; MIRANDA, J. L. F. de. Sensoriamento remoto e geoprocessamento na pesquisa de água subterrânea na quadricula de Salgueiro - PE. In: SUPLEMENTO - ANAIS DO XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRANEAS, s.n., 2002, **Resumo**, Florianópolis: ABAS.

PIGNATI, W. A.; SOUZA E LIMA, F. A. N. de; LARA, S. S. de; CORREA, M. L. M.; BARBOSA, J. R.; LEÃO, L. H. da COSTA; PGNATI, M. G. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**. online, v. 22, n. 10, p. 3281 - 3295, outubro / 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/grrnnBRDjmtcBhm6CLprQvN/?lang=pt> Acesso em 16 de agosto de 2022.

PINHEIRO, R. J. B.; RAUBER, A. C. C.; NUMMER, A. V.; SILVA, J. L. S. Aplicação do métodos GOD e POSH para determinação da vulnerabilidade e perigo à contaminação na cidade de Santa Maria - RS. **REGA**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 61-79, 2015.

PIRES, D. X.; CALDAS, E. D.; RECENA, M. C. P. Uso de agrotóxicos e suicídios no estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 598-605, 2005.

PONTES, C. H. C. **Determinação da Vulnerabilidade do Aquífero Basáltico no Campus da UFMS, em Campo Grande, MS**. 2009. 112 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2009.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO FRANCISCO DE ASSIS - RS. **Página inicial**. Disponível em: <https://www.saofranciscodeassis.rs.gov.br/> Acesso em: 15 de março de 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SIDROLÂNDIA - MS. **Página inicial**. Disponível em: <https://www.sidrolandia.ms.gov.br/sidrolandia/a-cidade> Acesso em 15 de março de 2021.

REBOUÇAS, A. C. Água e desenvolvimento rural. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 15, n. 43, p. 327-344, 2001

REBOUÇAS, A. C. Águas subterrâneas. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. & TUNDISI, J. G. (org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação** São Paulo, 2 edição, 2002, p. 119-151.

REGIÃO NEWS. Produção de Sidrolândia se aproxima de 1 milhão de toneladas de soja e aumenta 79% em 4 anos. **Flávio Paes / Região News**, 28 de abril de 2021. Disponível em: <https://www.regiaonews.com.br/sidrolandia-15-08-2020/producao-de-sidrolandia-se-aproxima-de-1-milhao-de-toneladas-de-soja-e-aumenta-79-em-4-anos> Acesso em: 16 de agosto de 2022.

REGINATO, P. A.; AHLERT, S. Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Serra Geral na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. **Águas subterrâneas**, São Paulo: ABAS, v. 27, n. 02, p. 32-46, 2013.

REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DE GEOCIÊNCIAS. **Comunidades e coleções**. 2009. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/community-list> Acesso em: 15 de março de 2021.

REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DE GEOCIÊNCIAS. **Comunidades e coleções**. 2021. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/community-list> Acesso em: 15 de março de 2021.

RIBEIRO, L. F. T. Um novo índice de vulnerabilidade específico de aquíferos: formulação e aplicações. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA (SILUSBA), p. 16, [s.n.], 2005, Évora. **Resumos**, 2005.

RIO GRANDE DO SUL. Decreto nº 42.047, de 26 de dezembro de 2002. Regulamenta disposições da lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994, com alterações, relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos no Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial do Estado**, Porto Alegre, de 27 de dezembro de 2002.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução nº 91, de 17 de agosto de 2011. Aprova os critérios para o uso de recursos hídricos e as vazões de derivação abaixo das quais a outorga poderá ser dispensada. **Diário Oficial do Estado**, Porto Alegre, de 26 de agosto de 2011.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução nº 255, de 05 de dezembro de 2017. Estabelece critérios gerais de outorga das captações de águas subterrâneas: usos permitidos e valores de referência das vazões a serem outorgadas. **Diário Oficial do Estado**, Porto Alegre, de 14 de dezembro de 2017.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução nº 04, de 17 de maio de 2021. Altera o Art. 3º da Instrução Normativa SEMA nº03, de 12 de abril de 2021, que dispensa exclusivamente para fins de financiamento e licenciamento ambiental a necessidade de outorga de direito de uso da água para irrigação e dessedentação animal na safra 2021/2022, desde que o usuário de água tenha

realizado a solicitação de outorga ou dispensa de outorga no Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul – SIOUT/RS. **Diário Oficial do Estado**, Porto Alegre, de 19 de maio de 2021.

RIOS, A. C. **Comportamento do herbicida Propanil em cultura de arroz irrigado**. 2008. 94 p. dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, fevereiro / 2008.

ROCHA CAMPOS, A. C.; FARJALLAT, J. E. S. Sobre a extensão da Formação Botucatu na região meridional de Mato Grosso. **Boletim da SBG**, São Paulo, v. 15, n. 04, p. 93 - 105; 1966

RODRIGUES, D. B. B.; OLIVEIRA, P. T. S. de; GOMES, A. O.; CAVAZZANA, G. H.; IDE, C. N. Análise da qualidade da água de rio Anhanduí- MS utilizando o modelo QUAL – UFMG. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, online, p. 1-14, 2009, Campo Grande: ABRH. **Resumos**, 2009. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/2f76ac4cf4587e213e617b64a9d95d3b_1f8621a43c9ebe411081b38a70e4d737.pdf Acesso em 16 de agosto de 2022.

ROSA, C. N. da; TASSI, R.; DE BORBA, W. F.; FAVARETTO, J. R.; FERNANDES, G. D.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Relação entre aquíferos susceptíveis à contaminação e Áreas de Preservação Permanente Hídrica em Ijuí, RS. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 46, n. 03, p. s.n.; 2019.

SANESUL – EMPRESA DE SANEAMENTO DE MATO GROSSO DO SUL S.A. **Modelagem técnica – Estudos de Engenharia, Ambiental e Social**. 60p., 2016.

SANGOI, D. S. **Mapeamento geoambiental da bacia hidrográfica do arroio Inhacundá, município de São Francisco de Assis / RS**. 2006. 88 p. tese (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, fevereiro/2006.

SANTOS, R. A.; CRUZ, M. J. M.; NASCIMENTO, S. A. M. Avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos cársticos: subsídios para uma gestão dos recursos hídricos subterrâneos. **Cadernos de Geociências**, Bahia, n. 07, p. 54-72, 2010.

SANTOS, T. H. L. dos; MIRANDA, C. de S.; LASTORIA, G.; GABAS, S. G.; SOUZA, A. Análise da vulnerabilidade em aquífero livre na região de São Gabriel do Oeste - MS. In: XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2012, online, **Resumos**. Bonito: ABAS. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1299> Acesso em: 16 de agosto de 2022.

SÃO FRANCISCO DE ASSIS. **Lei orgânica do município de São Francisco de Assis / RS**, de 31 de março de 1990, 31 p. Disponível em: <https://www.saofranciscodeassis.rs.leg.br/leis/lei-organica-municipal/lei-organica> Acesso em 20 de fevereiro de 2023.

SCHEIBE, L. F. & HIRATA, R. C. A. O contexto tectônico dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral em Santa Catarina: Uma revisão. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, online, 2008. **Resumos**. Natal: ABAS. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23794> Acesso em: 02 de agosto de 2021.

SCHERER, C. M. dos S.; FACCINI, U. F.; LAVINA, E. L. Arcabouço estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. In: **Geologia do Rio Grande do Sul**. HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (ed.). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 335 - 354p., 2000.

SCHMITZ, P. I. Arqueologia em Mato Grosso do Sul. In: **Povos indígenas em Mato Grosso do Sul - História, cultura e transformações sociais**. CHAMORRO, G.; COMBÉS, I. (ed.). Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados. 27 - 38p., 2015. Disponível em: https://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/EDITORA/catalogo/povos_indigenas_em_mato_grosso_do_sul.pdf Acesso em: 16 de agosto de 2022.

SCHMITZ, P. I.; ROGGE, J. H. 8.400 anos de ocupação indígena nas margens do rio Paraguai. In: **Povos indígenas em Mato Grosso do Sul - História, cultura e transformações sociais**. CHAMORRO, G.; COMBÉS, I. (ed.). Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados. 39 - 51p., 2015. Disponível em: https://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/EDITORA/catalogo/povos_indigenas_em_mato_grosso_do_sul.pdf Acesso em: 02 de agosto de 2021.

SCORZA JUNIOR, R. P.; SIVIERI, F. H. C.; SEABRA, F. A. de S. Avaliação do risco de contaminação da água subterrânea por agrotóxicos em Mato Grosso do Sul: efeito do clima e solo. In: Embrapa Agropecuária Oeste (org.). **Seminário da rede agrohidro**. Brasília: EMBRAPA, 2016, p. 30-37.

SEBRAE. **Perfil das cidades gaúchas – SÃO FRANCISCO DE ASSIS 2020**. Porto alegre: SEBRA/RS, 21 p., 2019. Disponível em: https://datasebrae.com.br/municipios/rs/Perfil_Cidades_Gauchas-Sao_Francisco_de_Assis.pdf Acesso em: 15 de março de 2021.

SECRETARIA DE ESTADO DE DIREITOS HUMANOS, ASSISTÊNCIA SOCIAL E TRABALHO. **Subsecretaria da Igualdade Racial reforça apoio às comunidades quilombolas na geração de emprego e renda**. Campo Grande, 2015. Disponível em:

<https://www.sedhast.ms.gov.br/subsecretaria-da-igualdade-racial-reforca-apoio-as-comunidades-quilombolas-na-geracao-de-emprego-e-renda/> Acesso em: 15 de março de 2021.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE, DO PLANEJAMENTO, DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA E INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL. **Plano estadual de recursos hídricos de Mato Grosso do Sul - PERH**. Campo Grande: Editora UEMS, 2010. Disponível em: <https://www.imasul.ms.gov.br/plano-estadual-de-recursos-hidricos-perh-ms/> Acesso em: 15 de março 2021.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, GOVERNANÇA E GESTÃO. DEPARTAMENTO DE PLANEJAMENTO GOVERNAMENTAL. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: online, 2021. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/upload/arquivos/202104/22150920-atlas-socioeconomico-para-site.pdf> Acesso em: 02 de agosto de 2021.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA. **Processo de planejamento da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí - Fases A e B**: Relatório do Diagnóstico e prognóstico dos recursos hídricos (RE - A). Porto alegre, 128 p., 2011. Disponível em: [http://ww1.sema.rs.gov.br/upload/Relatorio Diagnostico e %20Prognostico.pdf](http://ww1.sema.rs.gov.br/upload/Relatorio_Diagnostico_e_%20Prognostico.pdf) Acesso em: 15 de março de 2021.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA. **Relatório Anual sobre a situação dos recursos hídricos no estado do Rio Grande do Sul**. Porto alegre: SEMA, 328 p., 2022. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/relatorio-rh> Acesso em: 15 de agosto de 2022.

SIDROLÂNDIA. **Lei orgânica do município de Sidrolândia / MS**, de 04 de abril de 1990, 85 p. Disponível em: http://legislativo.camarasidrolandia.ms.gov.br/ato/consolidado/id/3553/lei_organica/1990/1/lei_organica-n-1-1990-lei_organica_do_municipio_de_sidrolandia_ms Acesso em: 20 de janeiro de 2023.

SIDROLÂNDIA NEWS. Colheita da safra de soja 2021/2022 e plantio de milho 2º safra de 2021/2022 avançam em MS. **Redação**, atualizado em 04 de março de 2022. Disponível em: <https://www.sidrolandianews.com.br/noticia/agronegocio/colheita-da-safra-de-soja-2021-2022-e-plantio-de-milho-2-safra-2021-2022-avancam-em-ms> Acesso em: 16 de agosto de 2022.

SINDICATO RURAL DE SIDROLÂNDIA. **Galeria de fotos**, 2022. Disponível em: <http://sindicatoruralsidrolandia.com.br/Home/Eventos> Acesso em: 16 de agosto de 2022.

SILVA, A. J. P. da; LOPES, R. C.; VASCONCELOS, A. M.; BAHIA, R. B. C. Bacias sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas interiores. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (org.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, 2003, p. 55-85.

SILVA, D. L. M. da. **Microclima e bioindicadores paleoclimáticos em paisagens com ocorrência de areais em São Francisco de Assis, RS, Brasil**. 2009. 152 p., tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SILVA, M. P e; SILVA, L. R. da; LIESENFELD, K. A.; MARTINI, L.; KEMERICH, P. D. da C.; DESCOVI FILHO, L. L. V.; FERNANDES, G. D. Vulnerabilidade do aquífero nas proximidades do cemitério municipal de Caçapava do Sul – Rio Grande do Sul, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 40, n. 01, p. 206-2016, 2017.

SIAGAS - SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Pesquisa geral**. 2021. Disponível em: http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php Acesso em: 15 de agosto de 2021.

SUBSECRETARIA ESPECIAL DE CIDADANIA / MATO GROSSO DO SUL. **“MS Quilombola” realiza o mapeamento das comunidades quilombolas no Estado. Campo Grande**. 2019. Disponível em: <https://www.secid.ms.gov.br/ms-quilombola-realiza-o-mapeamento-das-comunidades-quilombolas-no-estado/> Acesso em: 15 de março de 2021.

SUERTEGARAY, D. M. A. **A trajetória da natureza: um estudo geomorfológico sobre os areais de Quaraí- RS**. 1987. 243 p., tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de filosofia, letras e ciências humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

SUERTEGARAY, D. M. A.; VERDUM, R.; MEDEIROS, R. M.; GUASSELLI, L.; FRANK, M. W. Caracterização hidrogeomorfológica e uso do solo em áreas de ocorrência de areais: São Francisco de Assis / Manuel Viana. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 663 - 669p., 1996, **resumos**, Salvador: INPE.

SUERTEGARAY, D. M. A.; VERDUM, R.; BELLANCA, E. T.; UAGODA, R. E. S. Sobre a gênese da arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul. **Terra Livre**, Goiânia, v. 1, n. 24, p. 135-150, 2005.

TAVARES, S. R. de L. Técnicas de remediação. In: **Remediação de solo e águas contaminadas por metais pesados: conceitos básicos e fundamentos**. TAVARES, S. R. de L. (ed.). Joinville: Clube de autores, cap. 2, p. 61 - 90, 2013. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=pc&id=983651&biblioteca=vazio&bu>

[sca=autoria:%22TAVARES,%20S.%22&qFacets=autoria:%22TAVARES,%20S.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1](#) Acesso em: 02 de agosto de 2021.

THOMAS, C. Conquista e povoamento do Rio Grande do Sul. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n. 19, p. 17 - 27, 1976. Disponível em: <https://revistas.dee.spgg.rs.gov.br/index.php/boletim-geografico-rs/article/viewFile/3323/3395> Acesso em 02 de agosto de 2021.

TRENTIN, R. **Definição de unidades geoambientais na Bacia do Rio Itu - oeste do RS**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria -UFSM: Santa Maria. 142 p., 2007.

US DEPT OF STATE GEOGRAPHER. **Google Earth Pro**. Versão 7.3.3, software, 2021.

VERDUM, R. **Approche Geographique dès deserts dans les communes de São Francisco de Assis et Manuel Viana, État du Rio Grande do Sul, Brésil**. 1997. 210 p., tese (Doutorado em Geografia) - UFR de Geographie et Aménagement, Université de Toulouse- Le-Mirail, Toulouse, 1997.

VERÍSSIMO, A. C. F. **Hidroquímica, vulnerabilidade e protecção do aquífero de torres vedras**. 2010. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geológica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Geológica, Universidade de Lisboa. 2010. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395142224271/disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf> Acesso em: 15 de março de 2021.

WINGE, M *et al.* **Glossário Geológico Ilustrado**. 2021. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/> Acesso em: 15 de março de 2021.

Zanaga, D.; Van De Kerchove, R.; De Keersmaecker, W.; Souverijns, N.; Brockmann, C.; Quast, R.; Wevers, J.; Grosu, A.; Paccini, A.; Vergnaud, S.; Cartus, O.; Santoro, M.; Fritz, S.; Georgieva, I.; Lesiv, M.; Carter, S.; Herold, M.; Li, Linlin; Tsendbazar, N.E.; Ramoino, F.; Arino, O.; 2021. **ESA WorldCover 10 m 2020 v100**. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5571936> Acesso em 01 de julho de 2022