New
Engenharia

Avaliação de Potencial Hídrico Superficial para Captação e Potencial Hidrogeológico

São Gabriel – RS

Porto Alegre

Dezembro, 2020.

SOLICITANTE: Marfrig Global Foods S.A.

CNPJ nº: 03.853.896/0015-45

Rua sem denominação, nº 120, Bairro Santa Brígida, Distrito de Vacacaí

CEP: 97.317-000

São Gabriel/RS

EMPREENDIMENTO: Frigorífico – Abate de bovinos e preparação de carne e subprodutos.

Rua sem denominação, nº 120, Bairro Santa Brígida, Distrito de Vacacaí

CEP: 96417-740

São Gabriel/RS

Avaliação do potencial hídrico para captações superficiais e do potencial hidrogeológico, elaborado pela New Engenharia Projetos Ambientais, neste ato representado pelo técnico João Pedro S. Kessler, Geólogo,CREA RS n° 233.891.

INFORMAÇÕES GERAIS

Identificação da Empresa Consultora Contratada

Razão Social: SKL SERVICOS DE ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA

Título do Estabelecimento: NEW ENGENHARIA PROJETOS AMBIENTAIS

CNPJ: 20.444.629/0001-38

Endereço: Avenida Senador Tarso Dutra, n° 565 Conj: 1610

Bairro Petrópolis/Porto Alegre - RS - CEP: 90.690-140

Fone/Fax: +55 (51) 3029-3999

E-mail: charles@newengenharia.eng.br

Registro no Cadastro Técnico Federal (IBAMA): 5015516

Representante Legal e Contato:

Nome: Charles Schimuneck **CPF nº:** 988.352380-72

Endereço: Avenida Senador Tarso Dutra, nº 565 Conj: 1610

Bairro Petrópolis/Porto Alegre - RS - CEP:90.690-140

Fone/Fax: +55 (51) 99739-7020

E-mail: charles@newengenharia.eng.br

Equipe Técnica:

Título	Nome	Conselho/Registro
Título	**Nome**	**Conselho/Registro**
Eng. Ambiental	Charles Schimuneck	CREA/RS 153.848
Eng. Ambiental e San.	Lucas Sprendor Flores	CREA/RS 227.408
Geólogo	João Pedro Sandri Kessler	CREA/RS 233.891
Geólogo	Diorles Luís dos Santos	CREA/RS 245.549
Eng. Ambiental	Bruno Tejadas	CREA/RS 242.409
Est. Geologia	Júlia Corrêa dos Santos	

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 4

2 LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO 4

3 AVALIAÇÃO HÍDRICA SUPERFICIAL 6

3.1 INTRODUÇÃO 6
3.1.1 Hidrografia Regional 6
3.1.2 Hidrografia Local 8
3.2 MODELAGEM HIDROLÓGICA PARA DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL HÍDRICO SUPERFICIAL 10
3.2.1 Introdução 10
3.2.2 Bases Conceituais e Principio 11
3.2.3 Metodologias para Regionalização de Vazões de Referência 12
3.2.3.1 Vazão Específica 12
3.2.3.2 Método Tradicional 13
3.2.3.3 Método da Curva Adimensional 13
3.2.3.4 Método da Conservação de Massas 14
3.2.4 Origem das séries de vazões 14
3.2.1 Regionalização das Vazões de Referência 18
3.3 AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL 22
3.3.1 Avaliação do Sistema Atual de Captação 24

4 AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA 28

4.1 INTRODUÇÃO 28
4.2 CONTEXTO GEOLÓGICO 28
4.2.1 Geologia Regional 28
4.2.1.1 Escudo Sul-Rio-Grandense 28
4.2.1.2 Bacia do Paraná 29
4.2.1.3 Depósitos sedimentares cenozoicos 31
4.2.2 Geologia Local 32
4.2.2.1 Escudo Sul-Rio-Grandense 32
4.2.2.1.1 Complexo Cambaí – Domínio de Ortognaisses 32
4.2.2.2 Bacia do Paraná 32
4.2.2.2.1 Grupo Guatá 32
4.2.2.2.2 Grupo Passa Dois 34
4.2.2.3 Depósitos sedimentares cenozoicos 35
4.2.2.3.1 Depósitos relacionados a barreiras holocênicas 35
4.2.2.4 Afloramentos rochosos 37
4.3 CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL 37
4.4 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO 37
4.4.1 Hidrogeologia regional 37
4.4.1.1 Sistema aquífero Embasamento Cristalino II 37
4.4.1.2 Sistema aquífero Palermo/Rio Bonito 38
4.4.1.3 Sistema aquífero Aquitardos Permianos 39

4.4.1 Hidrogeologia local 42
4.4.1.1 Dados de produtividade 42
4.4.1.2 Características físico-químicas 45
4.4.1.3 Captações subterrâneas existentes 51
4.5 DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA 58
4.5.1 Potencial hidrogeológico 58
4.5.1.1 Características construtivas recomendadas para poços de captação 58
4.5.2 Legislação relacionada – Vazões outorgáveis 58
4.6 CONCLUSÕES 60

5 EQUIPE TÉCNICA 61

5.1 COORDENAÇÃO 61
5.2 MEIO FÍSICO 61

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização do empreendimento 5
Figura 2 – Localização da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí-Vacacaí Mirim no estado do RS 7
Figura 3 – Mapa hidrográfico da área de estudo 9
Figura 4: Mapa de Localização da Estação fluviométricas utilizadas e bacias de dreangem de interesse 17
Figura 5 - Flutuador e bomba da captação superficial da unidade 24
Figura 6 – Sistema de captação superficial da unidade 25
Figura 7 – estação de Tratamento de Água 26
Figura 8 – Reservatórios de água bruta 27
Figura 9 – Reservatórios tipo sisterna de água tratada 27
Figura 10 – Reservatório elevado de água tratada 28
Figura 11 - Mapa geológico simplificado com as principais unidades geotectônicas do ESRG 29
Figura 12 – Localização da Bacia do Paraná 30
Figura 13 - Reconstituição paleogeográfica do Atlântico Sul durante o final do Aptiano, mostrando os derrames basálticos já depositados sob a Bacia do Paraná 31
Figura 14 – Mapa geológico da área de estudo 36
Figura 15 – Mapa Hidrogeológico da área de estudo 41
Figura 16 - Distribuição espacial das vazões dos poços cadastrados no SIAGAS 44
Figura 17 – Distribuição das concentrações de sódio (mg/l) em análises de água dos poços do SIAGAS 47
Figura 18 – Distribuição das concentrações de fluoreto (mg/l) em análises de água dos poços do SIAGAS 48
Figura 19 – Distribuição espacial dos valores de pH dos poços do SIAGAS 49
Figura 20 – Distribuição espacial dos valores de condutividade elétrica dos poços do SIAGAS 50
Figura 21 – Poços do empreendimento relacionados à Portaria de Outorga 907/2011 53
Figura 22 – Cercamento do Poço 01 54
Figura 23 – Detalhe da estrutura do poço 01 54

Figura 24 – Cercamento do poço 02 55
Figura 25 – Detalhe da estrutura do poço 02..... 55
Figura 26 – Cercamento do poço 03 56
Figura 27 –Detalhe da estrutura do poço 03..... 56
Figura 28 – Detalhe da estrutura do poço 04..... 57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplo de variáveis dependentes e explicativas no método de regionalização de vazão..... 12
Tabela 2 - Estações Utilizadas Para Regionalização das Vazões de Referência 16
Tabela 3 - Coeficientes dos Ajustes..... 21
Tabela 4 - Regionalização das Vazões de Referência 21
Tabela 5 - Vazão Outorgável no ponto atual de captação 23
Tabela 6 - Síntese das informações dos poços cadastrados no SIAGAS 42
Tabela 7 – Síntese das características fisico-químicas dos poços do SIAGAS 45
Tabela 8 – Informações dos poços outorgados pela Portaria nº 907/2011 51
Tabela 9 – Dados litológicos dos poços outorgados conforme SIAGAS..... 51
Tabela 10 – Características de produtividade dos poços conforme SIAGAS 52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Disponibilidade Temporal dos Dados..... 16
Gráfico 2 - Hidrogramas de Vazão..... 18
Gráfico 3 - Curvas de Permanência de vazões das estações utilizadas..... 19
Gráfico 4 - Ajuste Potencial Vazão Média de Longo Períodog..... 20
Gráfico 5 - Ajuste Potencial Q85 20
Gráfico 6 - Ajuste Potencial Q90 20
Gráfico 7 - Ajuste Potencial Q95 20

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório foi elaborado a fim de fornecer subsídios ao empreendimento de abate de bovinos e preparação de carne e subprodutos pertencente a Marfrig Global Foods S.A, inscrita no CNPJ n° 03.853.896/0015-45, situada na Rua sem denominação, 120, Bairro Santa Brígida, Distrito de Vacacaí, no município de São Gabriel - RS, para a tomada de decisões quanto ao abastecimento hídrico da unidade em questão.

A avaliação foi elaborada através da modelagem hidrológica dos recursos hídricos superficiais para definição das vazões médias e vazões de referência dos cursos hídricos da região do empreendimento para a determinação das captações passiveis de outorga e as alternativas locacionais para captação. Além da avaliação dos recursos hídricos superficiais foi elaborada uma avaliação do potencial hidrogeológico regional, através de levantamentos bibliográficos, cartográficos e levantamentos de campo para indicação do potencial para captação das águas subterrâneas através de poços tubulares profundos e da qualidade das águas subterrâneas.

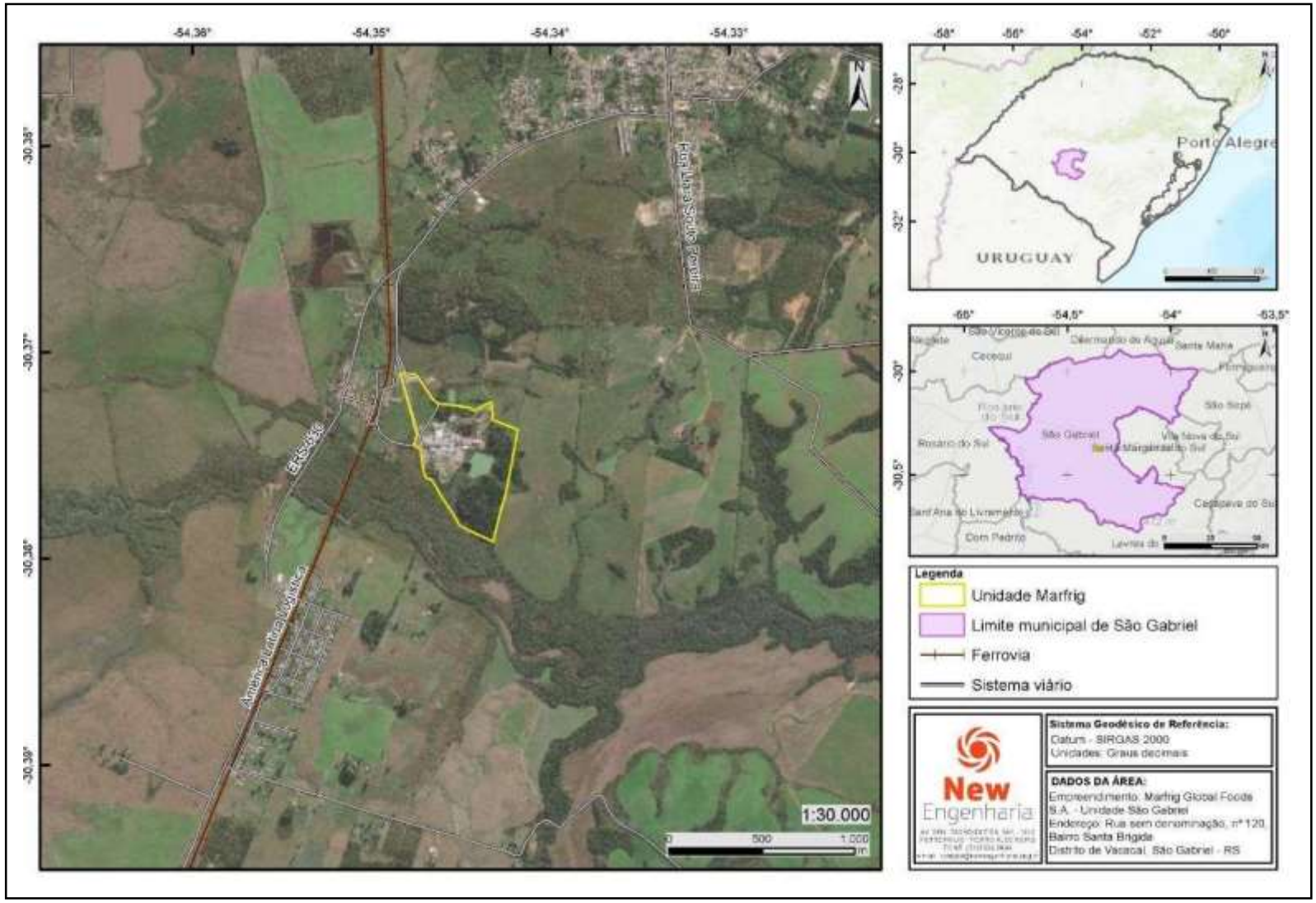
2 LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O município de São Gabriel situa-se no estado do Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil, na Mesorregião do Sudoeste Rio-Grandense, na Microrregião 030-Campanha Central. Tem como limítrofes os municípios de Lavras do Sul e Dom Pedrito a sul, Santa Margarida do Sul, Vila Nova do Sul e São Sepé a leste, Santa Maria, Dilermando de Aguiar e Cacequi a norte, e Rosário do Sul a oeste.

Apresenta área territorial de 5.051,904 km² (2019) e população estimada para 2020 de 62.147 habitantes, com densidade demográfica de 12,03 hab/km² (2010) e IDH de 0,699. (IBGE, 2020). Situa-se em altitude média de 114 m, nas seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 30° 20' 09" Sul, Longitude: 54° 19' 12" Oeste.

A área de estudo compreende a unidade frigorífica Marfrig de São Gabriel, situada nos arredores da área urbana do município, localizada em Rua sem denominação, n° 120, bairro Santa Brígida, Distrito de Vacacaí, no município de São Gabriel, conforme demonstra a Figura 1.

Figura 1 - Mapa de localização do empreendimento



Fonte: Adaptado de SEMA/FEPAM (2018).

3 AVALIAÇÃO HÍDRICA SUPERFICIAL

3.1 INTRODUÇÃO

Para a avaliação das condições dos cursos hídricos da região do empreendimento para a captação, será realizada a modelagem hidrológica para determinação das vazões de interesse, através do método da regionalização de vazões obtidos por meio de dados de séries históricas de vazões disponibilizadas através de estações fluviométricas instaladas no curso hídrico avaliado ou na mesma bacia ou região hidrográfica. A seguir é apresentada a metodologia para obtenção das vazões e os resultados obtidos seguida da avaliação das vazões outorgáveis de acordo com a legislação estadual e federal.

3.1.1 Hidrografia Regional

Em contexto estadual, a rede hidrográfica da área de estudo e de seu entorno está inserida na Região Hidrográfica do Guaíba, formada pelas bacias da porção norte e central do Estado que drenam para o Lago Guaíba, sendo elas: Gravataí (G10), Sinos (G20), Caí (G30) e Baixo Jacuí (G70); outras bacias drenam para o Baixo Jacuí, são elas: Alto Jacuí (G50), Taquari-Antas (G40), Pardo (G90), Vacacaí e Vacacaí-Mirim (G60). O exutório de toda a bacia é a Laguna dos Patos.

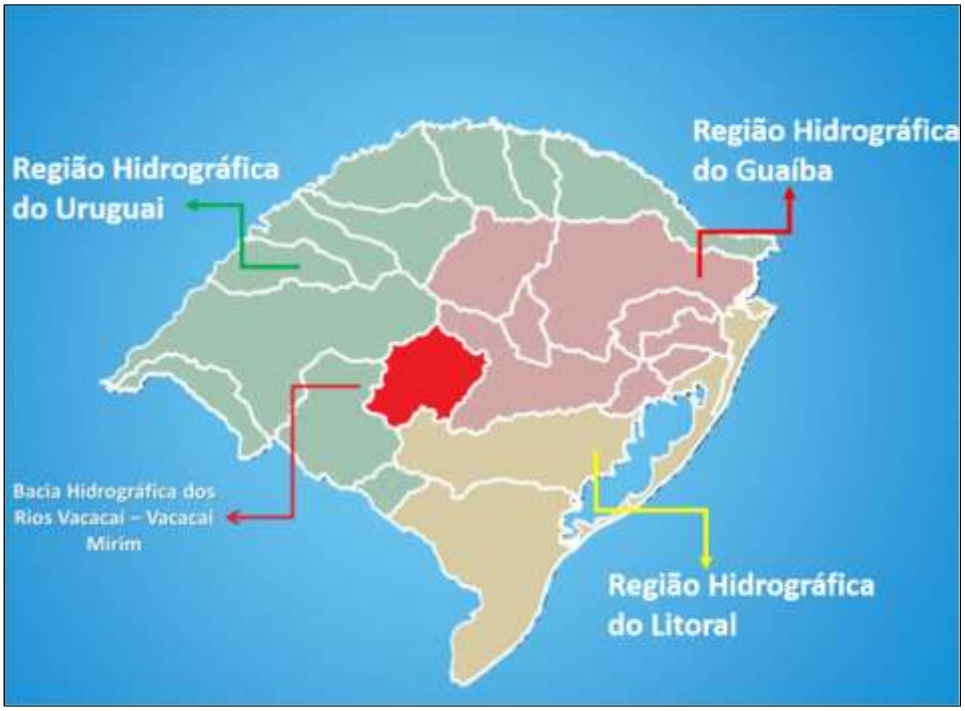
A rede hidrográfica da área de estudo e de seu entorno está inserida na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí-Vacacaí Mirim, conforme indica a Figura 6. Segundo SEMA (2020), a Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí-Vacacaí Mirim está localizada na porção centro-ocidental do Estado, entre as coordenadas geográficas 29°35' a 30°45' de latitude Sul e 53°04' a 54°34' de longitude Oeste, englobando as províncias geomorfológicas Depressão Central e Escudo Sul Rio-Grandense em uma área de 11.077,34 km². A população total é de 384.657 habitantes, abrangendo municípios como Caçapava do Sul, Júlio de Castilhos, Santa Maria e São Gabriel. Os principais cursos hídricos são os arroios Igá, Acangupa e Arenal e os rios Vacacaí, dos Corvos, São Sepé e Vacacaí Mirim. Os principais usos de água se destinam a irrigação, dessedentação de animais e o abastecimento público.

Nesse contexto, o município de São Gabriel insere-se na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPG) Alto Vacacaí, que ocupa uma área de 3.789 km². (COMITÊ VACACAÍ, 2020). O balanço hídrico prévio indica uma

Q90 de 10,82 m³/s (conforme o Plano Estadual de Recursos Hídricos do RS-2014), com demanda hídrica cadastrada na sub-bacia de 34,26 m³/s, considerando somatório das demandas regularizadas até 03/2020.

Essa bacia hidrográfica está com seu Plano de Bacia em andamento, sendo elaborado pela Divisão de Planejamento e Gestão (DIPLA) integrante do Departamento de Gestão de Recursos Hídricos e Saneamento da Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA). A última atualização se refere às Reuniões de validação de dados / Comissão de Acompanhamento e Apresentação do Diagnóstico, realizada na data de 14/08/2020. (COMITÊ VACACAÍ, 2020).

Figura 2 – Localização da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí-Vacacaí Mirim no estado do RS



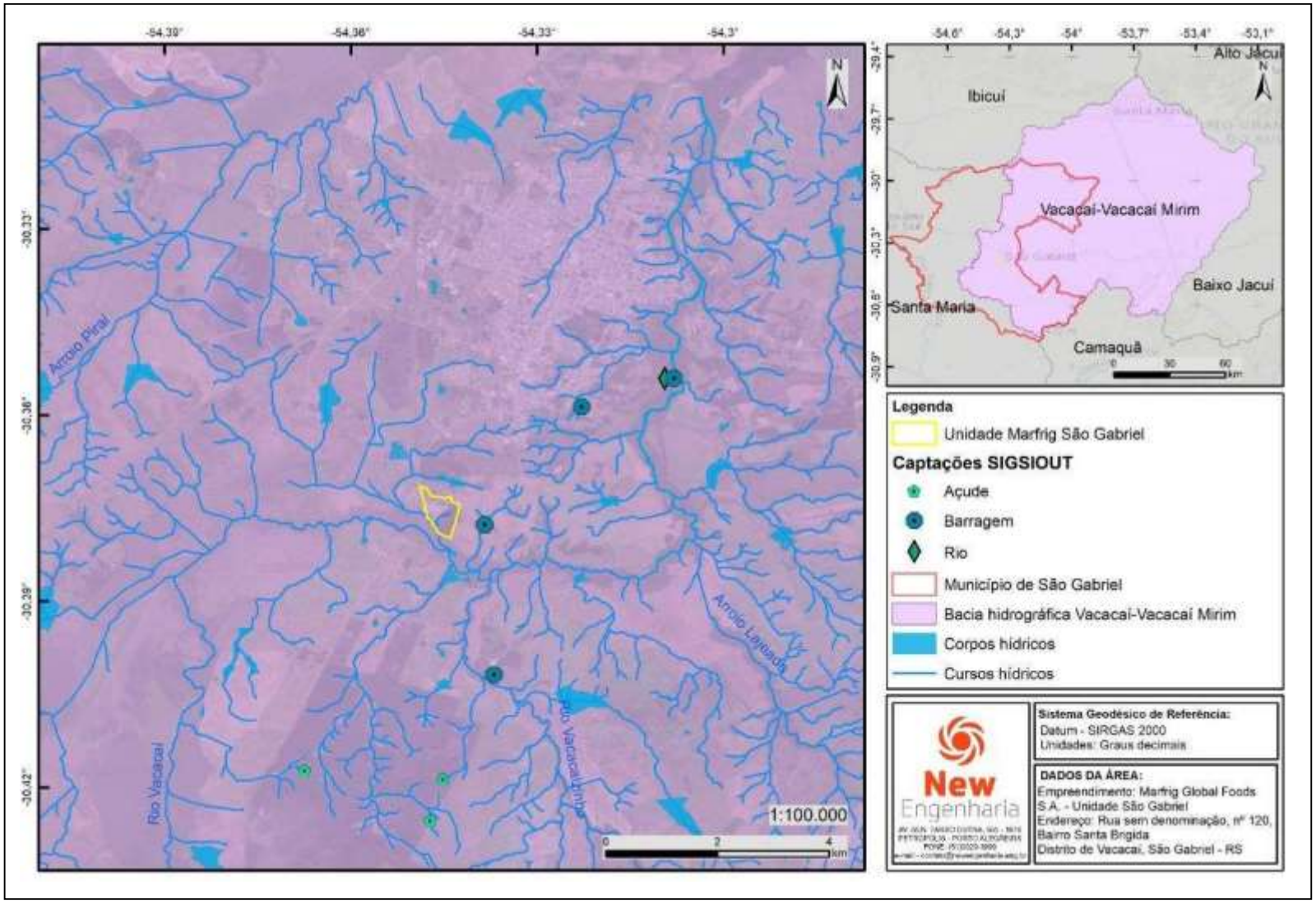
Fonte: Adaptado de SEMA (2020).

3.1.2 Hidrografia Local

Quanto à hidrografia presente, tem-se dentro dos limites da área do empreendimento uma drenagem de 1ª ordem que conflui para outra de 3ª ordem, sem denominação e de regime perene, que ocorre junto ao seu limite sudoeste, ao fim confluindo ao Rio Vacacaí, em direção sul. Além desse curso hídrico, quanto aos de maior relevância, ocorrem próximos o Rio Vacacaizinho e o Arroio Lajeado. A região possui ainda barragens de acumulação e corpos hídricos nas proximidades.

As captações de águas superficiais cadastradas no Sistema Informações Geográficas do Sistema de Outorga do Rio Grande do Sul (SIG-SIOUT) mais próximas à área do empreendimento, tanto com portarias de outorga já emitidas quanto apenas com cadastro realizado, próximos à área de estudo, também são apresentadas na Figura 3. Captações em barragens se destinam ao consumo agroindustrial, preservação de ambientes aquáticos e reservas para combate a incêndios, para irrigação de lavouras a partir das águas captadas em açudes, e para abastecimento público na captação existente no Rio Vacacaí.

Figura 3 – Mapa hidrográfico da área de estudo



Fonte: Adaptado de SEMA/FEPAM (2018) e SIGSIOUT (2020).

3.2 MODELAGEM HIDROLÓGICA PARA DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL HÍDRICO SUPERFICIAL

3.2.1 Introdução

De acordo com a Lei 9.433/97 (Art. 9°), o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.

A definição da vazão de referência depende das condições das fontes de contaminações e das metas para um trecho de rio. Quando as fontes de contaminação são pontuais, as cargas tendem a ser permanentes no tempo e representam a chamada condição “sanitária” (cargas de cidades ou indústrias). Nesta condição a vazão mais crítica é de estiagem, quando a capacidade de diluição do curso hídrico receptor se reduz (menor vazão do rio para diluir a carga que entra).

Porém, essa vazão é proveniente da curva de permanência, elaborada através de metodologia estatística, em que se depende principalmente de dados diários medidos para um determinado local em estudo.

De acordo com Tucci (2002), a regionalização de variáveis hidrológicas é forma encontrada para transformar dados pontuais em espaciais e obter informações nos locais sem dados. O termo regionalização é utilizado para denominar a transferência de informações de um local para outro dentro de uma área de comportamento hidrológico semelhante. A regionalização se baseia sempre no comportamento estatístico e na correlação destas variáveis no espaço, onde são empregadas técnicas estatísticas e matemáticas como a regressão entre a variável que se deseja estimar em função de variáveis explicativas que possam ser determinadas nos locais sem dados de vazão.

Para a avaliação das condições dos cursos hídricos da região do empreendimento tanto para a captação, será realizada a modelagem hidrológica para determinação das vazões de interesse através do método de regionalização de vazão através de dados de séries históricas de vazões obtidas através de estações fluviométricas instaladas no curso hídrico avaliado ou na mesma bacia ou região hidrográfica.

A seguir é apresentada a metodologia para obtenção das vazões e os resultados obtidos seguida da avaliação das vazões outorgáveis de acordo com a legislação estadual e federal.

3.2.2 Bases Conceituais e Principio

As vazões mínimas e curvas de permanência estão diretamente relacionadas ao conhecimento da disponibilidade hídrica, que é fundamenta na gestão de recursos hídricos para evitar conflitos e que as demandas não superem a disponibilidade para abastecimento, evitando assim efeitos danosos a viabilidade dos sistemas ambientais e riscos ao abastecimento humano e dessedentação animal. O conhecimento das vazões médias e das curvas de regularização relaciona-se ao potencial de regularização da vazão de um rio. As vazões máximas afetam diretamente a segurança da população e os empreendimentos econômicos no interior das bacias.

A regionalização de vazões consiste num conjunto de ferramentas que exploram ao máximo os dados disponíveis para estimar variáveis hidrológicas em locais sem dados ou com dados em quantidade insuficiente (Tucci 2002). Desta maneira, é possível realizar a transferências de informações relevantes de um local a outro, desde que as regiões apresentem comportamentos hidrológicos semelhantes. Os estudos de regionalização de vazões envolvem procedimentos matemáticos e estatísticos aplicados às séries de dados históricos de vazões e às características físicas e climáticas das bacias hidrográficas, tornando indispensável a utilização de sistemas computacionais.

Os dados físicos e climatológicos constituem as principais variáveis independentes ou explicativas das características das bacias hidrográficas utilizadas para o estudo de regionalização. Estes dados descritivos, físicos, climatológicos e hidrológicos cobrindo todo o território nacional são disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA) por meio do endereço eletrônico do sistema Hidro-Web.

Para realizar um estudo de regionalização de vazões é necessário definir uma região homogênea, ou seja, definir uma região que apresente comportamento similar nos processos hidrológicos na região em análise. Em uma região hidrologicamente homogênea as diversas características físicas e climáticas têm variabilidade mínima e sua delimitação depende da metodologia de regionalização escolhida. Em uma mesma área de interesse é possível definir diferentes regiões hidrologicamente

homogêneas, conforme a variável de interesse, uma vez que os processos que regem, por exemplo, o comportamento das vazões máximas é diferente daqueles que determinam as vazões mínimas.

Tabela 1: Exemplo de variáveis dependentes e explicativas no método de regionalização de vazão

Variável Dependente	Variáveis Explicativas
Vazão média	Área da bacia e precipitação
Vazão média de cheia	Área da bacia, precipitação, declividade e comprimento do rio principal
Vazão mínima	Área da bacia e densidade de drenagem
Tempo de concentração	Comprimento, declividade e área da bacia

Fonte: Tucci (2002)

3.2.3 Metodologias para Regionalização de Vazões de Referência

3.2.3.1 Vazão Específica

Uma metodologia largamente utilizada para a determinação de vazões em locais com insuficiência de dados supõe que a proporcionalidade linear entre as áreas de uma bacia é obedecida pela vazão, em termos práticos, toma-se a vazão específica de um local mais próximo com dados e multiplica-se a vazão específica pela área sem dados. A metodologia descrita pode ser razoável se as bacias apresentarem características muito próximas, contudo muitas vezes essa metodologia é aplicada sem muito critério, pois exige uma resposta rápida em um local com ausência de dados. Isso geralmente ocorre em projetos urgentes em bacias de pequeno e médio porte, e os dados fornecidos são de grande escala, tal efeito geralmente não é levado em consideração.

A vazão média específica é dada por:

Equação 1

$$q = Qm/A$$

Em que q é a vazão específica m³/s/(km²), Qm é a vazão média de longo período em m³/s e A é a área da bacia em km²

Esta variável apresenta pequena variação numa região quando as isoietas de precipitação média anual têm pequeno gradiente espacial, admitindo-se os outros condicionantes como uniformes. Com valores de variação de precipitação na faixa de 10% o erro não e muito significativo (Tucci, 2002).

O critério para adotar esta metodologia é com base nas homogeneidade hidrológica das bacias e na ordem de grandeza das bacias em comparação com a

bacia que não se tem dados. No caso de não haver esse critério da mesma ordem de grandeza, o que muitas vezes é o que ocorre no caso de bacias pequenas (dezenas ou algumas centenas de km²), pela falta de dados, pode se determinar as vazões específicas das regiões que possuem dados e se fazer uma média ponderada ou aritmética destas vazões e multiplica-la pela área sem dados.

De acordo com Tucci (2002), quando há grande diferença entre as áreas de contribuição das bacias, o erro pode ser significativo, principalmente para bacias menores que 50 km². A tendência, no caso das vazões médias, é a subestimação da vazão, se aplicada esta metodologia a partir de vazões com grande diferença de escala.

3.2.3.2 Método Tradicional

O método tradicional emprega a análise de regressão múltipla para investigar como as variações nas variáveis independentes afetam a variação da variável dependente. As funções matemáticas que relacionam as variáveis são aplicadas utilizando artifício de transformação algébrica, que podem ser do tipo *Linear, Potencial, Exponencial, Logarítmico* ou *Recíproco.*

Os modelos são aplicáveis a vazão mínima, média, e máxima e curva de permanência. Para a regionalização da curva de regularização só o modelo potencial é aplicável.

A utilização da regressão linear múltipla e a estimação dos parâmetros estatísticos permitem a obtenção das equações que caracterizam o comportamento hidrológico das bacias e a avaliação objetiva dos modelos identificando o mais adequado à situação em estudo.

3.2.3.3 Método da Curva Adimensional

Para o método da curva adimensional, as variáveis hidrológicas que podem ser regionalizadas são a vazão mínima e a vazão máxima. O método da curva é aplicado às séries de eventos extremos (máximos ou mínimos) anuais, de forma a relacioná-los a tempos de retorno, em anos.

3.2.3.4 Método da Conservação de Massas

O método da Conservação de Massas, desenvolvido por Pereira (2004) e aperfeiçoado por Novaes (2005), fundamenta-se no pressuposto de que a vazão na foz dos afluentes da bacia hidrográfica, estimada a partir do modelo de regressão para o rio principal, é mais representativa do que a vazão obtida pontualmente para a seção considerada (Novaes, 2005). Nesse sentido, diferencia-se do método Tradicional por induzir as equações de regressão a passarem pelas vazões tanto nos pontos cujas estações estão localizadas, quanto nos pontos de deságue. São consideradas três situações:

- O rio principal formado pelos trechos unifilares e sequenciais que englobem o maior número possível de estações;
- Afluente que possua pelo menos uma estação fluviométrica; e
- Afluente que não possua estação fluviométrica, para o qual se aplica uma equação linear simples que passe pela origem e pelo valor da vazão no ponto de deságue no rio principal.

A escolha do método regionalização restringe as variáveis que podem ser regionalizadas.

O método tradicional é aplicável às vazões mínimas, máximas e médias, bem como às curvas de regularização e de permanência. O método da curva adimensional somente pode ser aplica- do às vazões mínimas e máximas. O método da conservação de massas às vazões mínimas e médias e à curva de permanência.

Dependendo da variável, algumas informações complementares passam a ser requeridas. Para a vazão mínima deverão ser informados o tempo de retorno e a duração; para a vazão máxima o tempo de retorno; e para a curva de permanência a probabilidade de excedência da vazão no tempo.

Na aplicação do procedimento não se utiliza o método dos mínimos quadrados, mas um processo iterativo, sendo disponibilizados diversos resultados.

3.2.4 Origem das séries de vazões

Os dados das estações de apoio utilizadas neste trabalho foram obtidos através do Portal HidroWeb da Agência Nacional das Águas (ANA), onde foi possível constatar

As áreas de drenagem foram delimitas por meio de técnicas de geoprocessamento com auxílio do software *Quantum GIS*, utilizando a base de dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) com resolução espacial de pixel de 30 metros.

Para avaliar a disponibilidade temporal de dados e comparar hidrogramas, foi utilizado o software Super Manejo de Dados, desenvolvido pelo grupo de pesquisa em Hidrologia em Grande Escala (HGE) do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH). O software possui uma interface de uso prático, que auxilia no processamento e análise de dados em estudos hidrológicos.

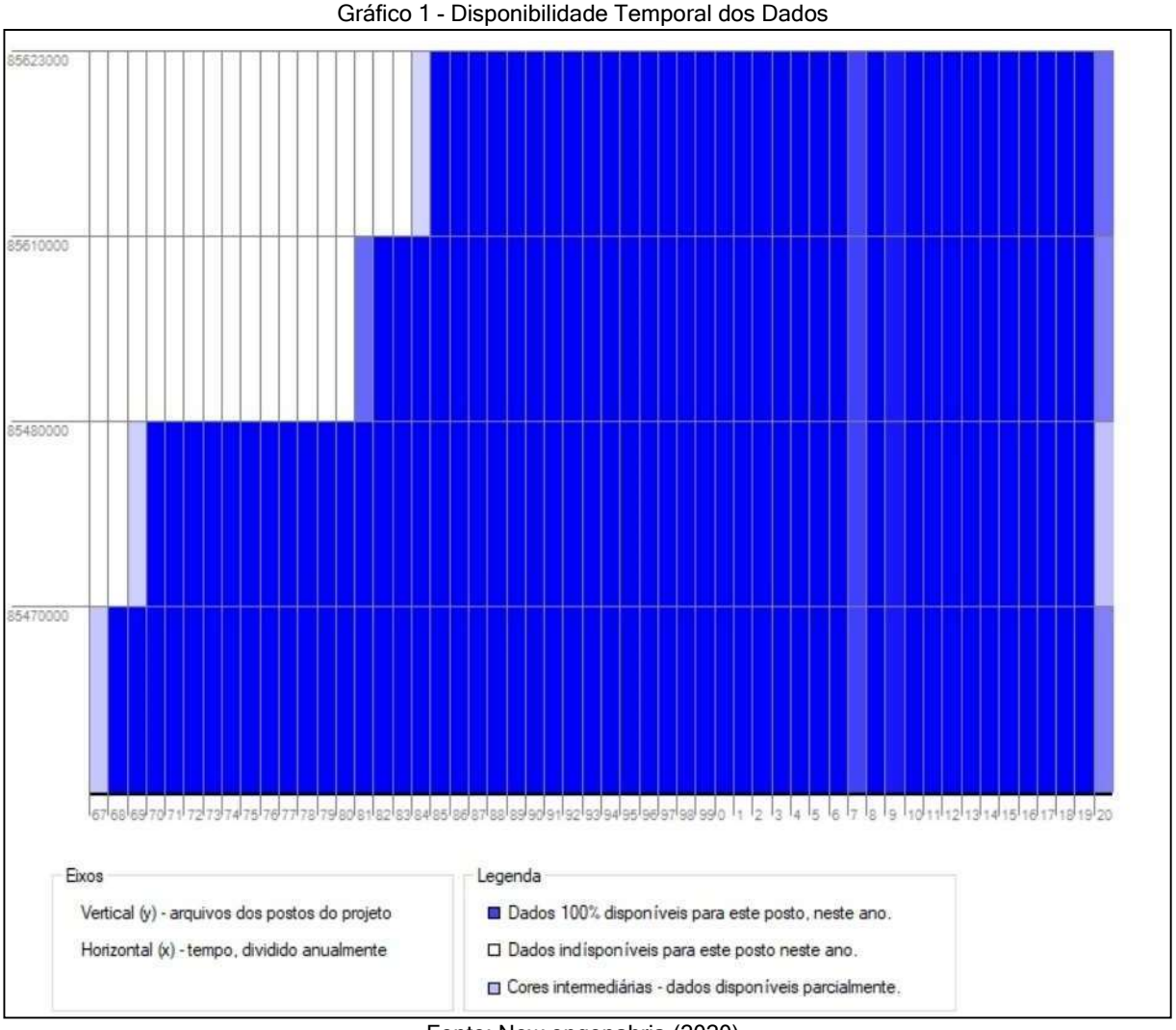
O Gráfico 1 - Disponibilidade Temporal dos DadosGráfico 1a seguir apresenta a disponibilidade temporal de dados e serve de comparativo para avaliação das séries utilizadas em detrimento das falhas. Para o estudo de regionalização, em que são geradas as curvas de permanência de cada estação, foram utilizados anos com até 3 dias de falhas. Para o cálculo das vazões médias, utilizou-se meses com até 1 dia de falha.

Tabela 2 - Estações Utilizadas Para Regionalização das Vazões de Referência

Código Estação	Nome	Rio	Latitude	Longitude	Área Drenagem SRTM (km²)	Área Drenagem ANA (km²)	Diferença (%)
85470000	Ponte São Gabriel	Vacacaí	-30,36	-54,31	966,64	973,00	0,65%
85480000	Passo do Rocha	Vacacaí	-30,23	-53,98	2958,33	2968,00	0,33%
85610000	Passo dos Freires	Sanga da Porteira	-30,44	-53,71	62,32	62,00	0,52%
85623000	São Sepé - Montante	São Sepé	-30,19	-53,56	691,52	721,00	4,09%

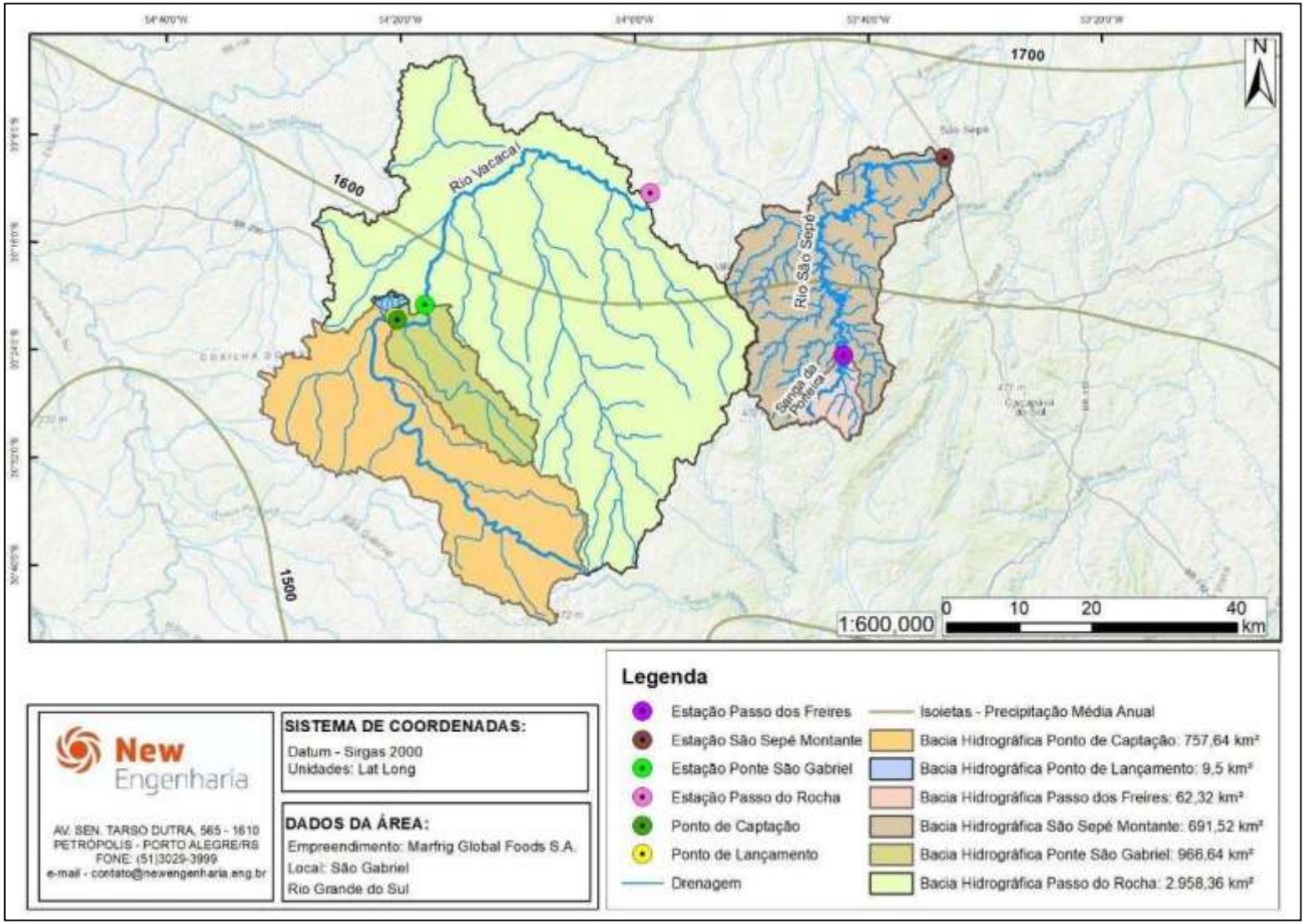
Fonte: New Engenharia (2020)

Gráfico 1 - Disponibilidade Temporal dos Dados



Fonte: New engenahria (2020)

Figura 4: Mapa de Localização da Estação fluviométricas utilizadas e bacias de dreangem de interesse.

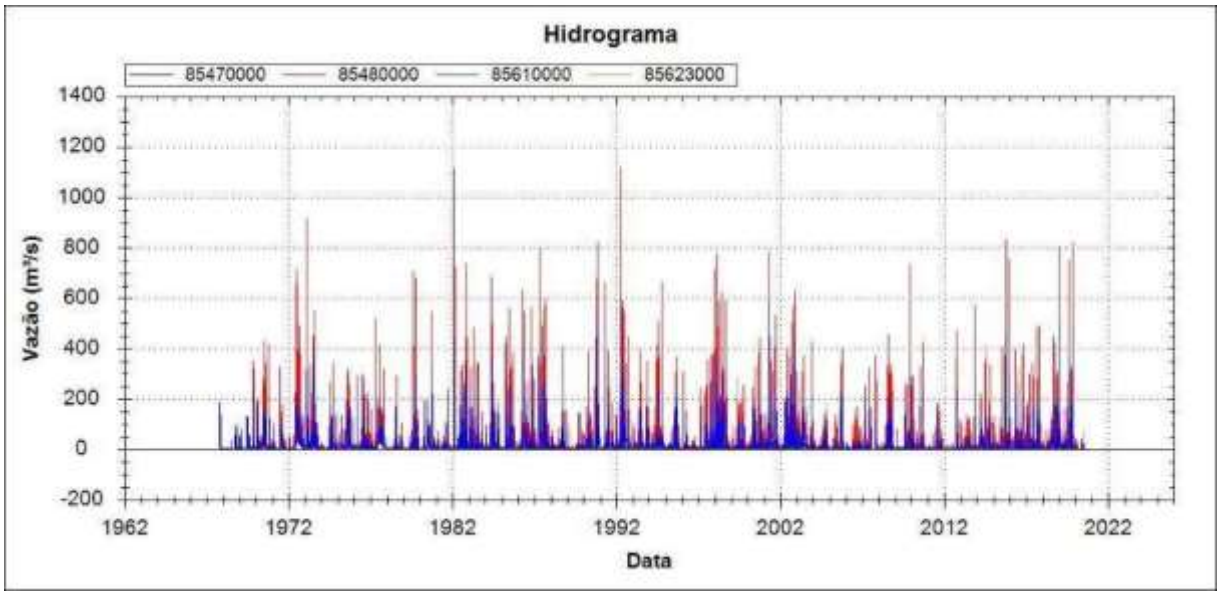


Fonte: New Engenharia (2020)

As estações selecionadas para a regionalização das vazões de referência passam pelo critério da homogeneidade hidrológica e da consistência dos dados observados. Portanto, busca-se sempre pela utilização de estações relativamente próximas à área do referente estudo com características fisiográficas e climáticas semelhantes.

Para avaliar comportamento das vazões da bacia no tempo, o hidrograma de vazões da série foi plotado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Hidrogramas de Vazão



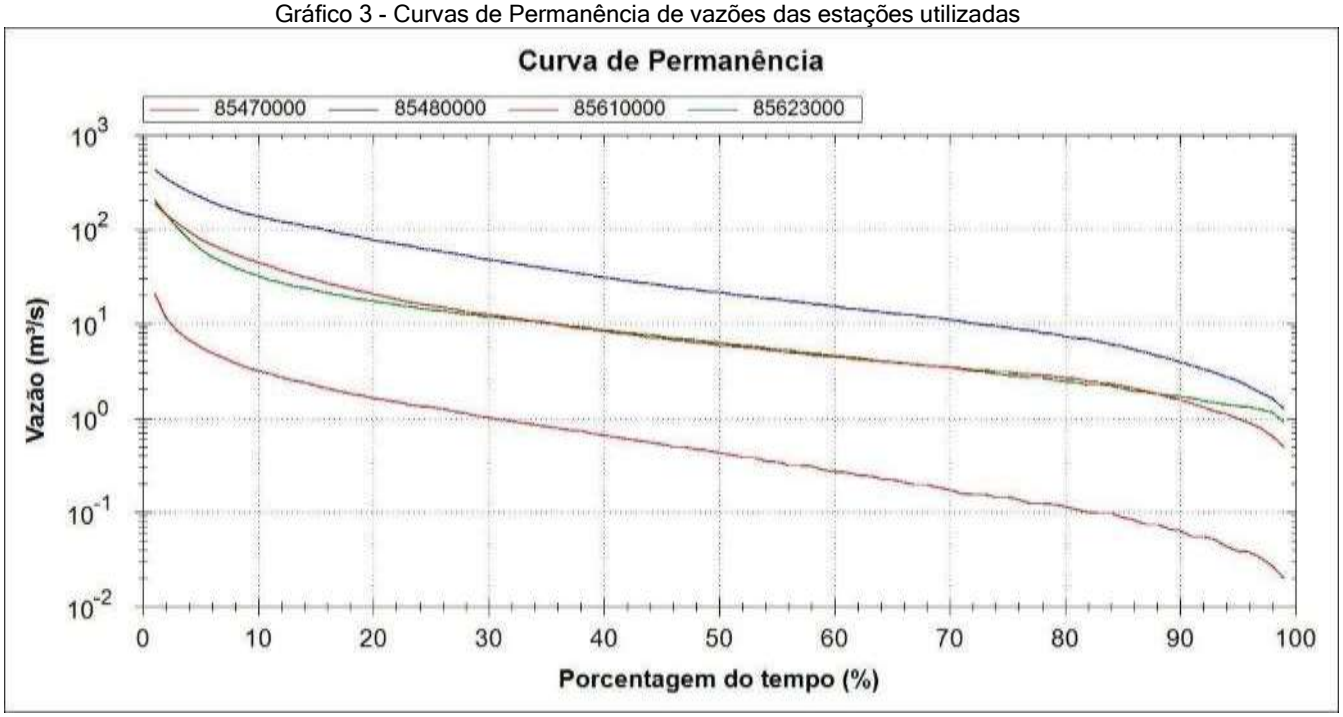
Fonte: New Engenharia (2020)

3.2.1 Regionalização das Vazões de Referência

A curva de permanência nada mais é do que uma distribuição de frequência dos eventos acumulada, em que se determina a probabilidade de igualdade ou excedência de um determinado valor de interesse.

Foram geradas as curvas de permanência das séries, com objetivo de obter as vazões de referência de interesse para o estudo através do método de regionalização mais adequado.

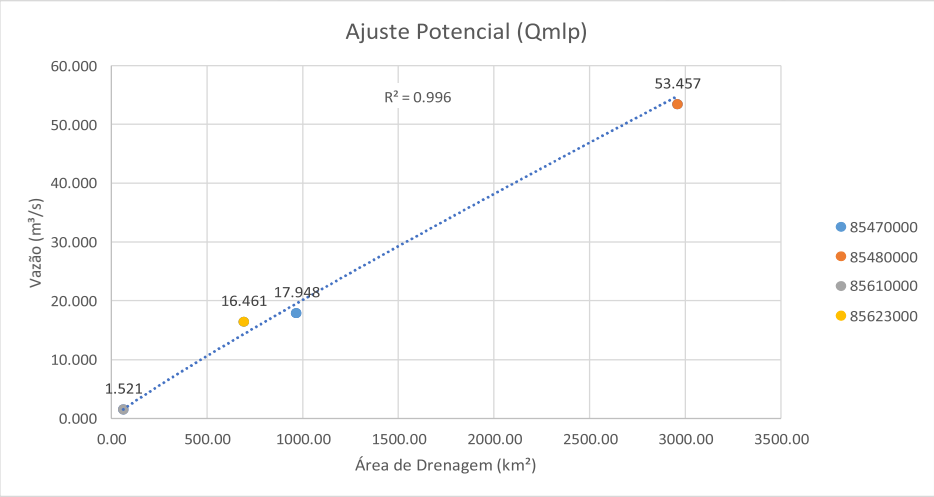
Gráfico 3 - Curvas de Permanência de vazões das estações utilizadas



Fonte: New Engenharia (2020).

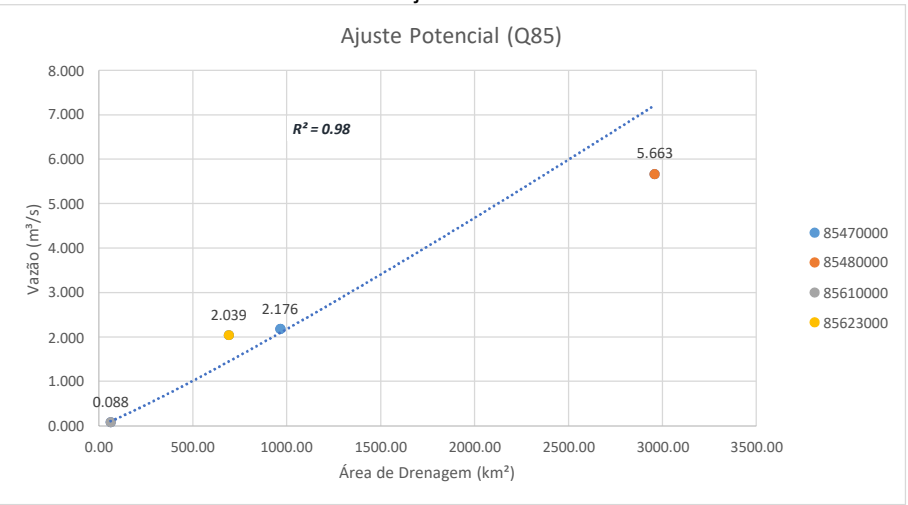
De maneira geral, o melhor ajuste dos valores de vazão em função da área utilizando a equação potencial ($a \times x^{b}$) para todas as vazões de referência de interesse neste estudo.

Gráfico 4 - Ajuste Potencial Vazão Média de Longo Períodog



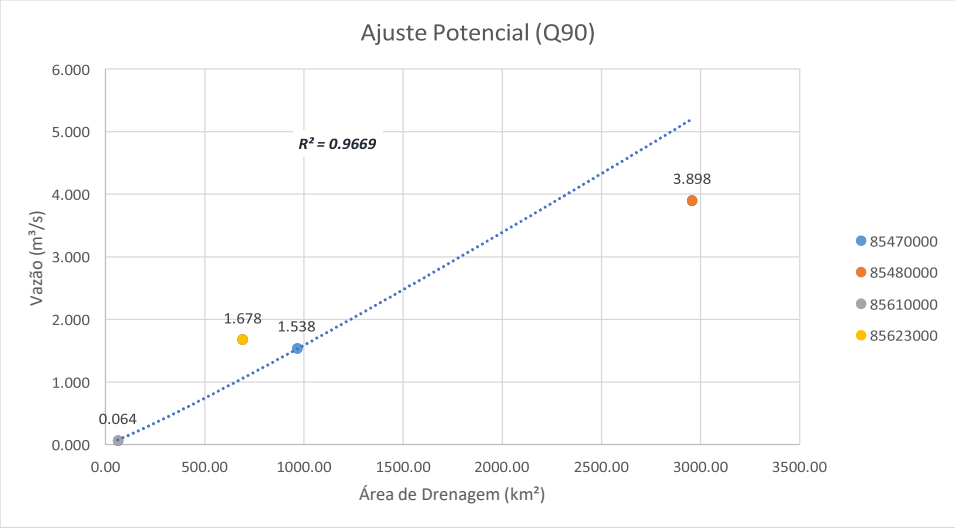
Fonte: New Engenharia (2020)

Gráfico 5 - Ajuste Potencial Q85



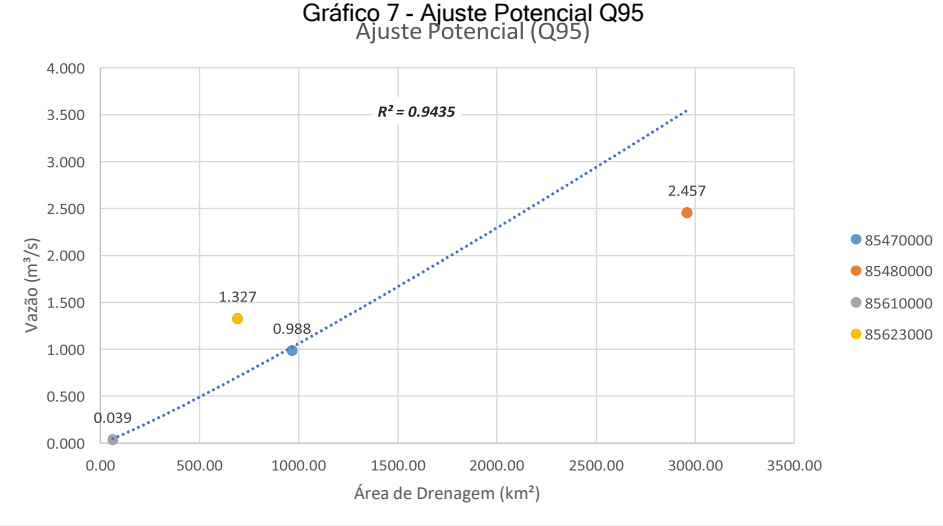
Fonte: New Engenharia (2020)

Gráfico 6 - Ajuste Potencial Q90



Fonte: New Engenharia (2020)

Gráfico 7 - Ajuste Potencial Q95



Fonte: New Engenharia (2020)

A Tabela 3apresenta os coeficientes ajustados para cada ajuste, bem como o coeficiente de correlação para cada vazão de referência.

Tabela 3 - Coeficientes dos Ajustes

Melhor Ajuste	Potencial	Potencial	Potencial	Potencial
Coeficientes	Q_{mlp}	Q_{85}	Q_{90}	Q_{95}
a	0,0372	0,016	0,0256	0,000494
b	0,909	0,734	0,628	1,109
R^2	0,996	0,98	0,9669	0,9435

Fonte: New Engenharia (2020)

Por conseguinte, utilizando o modelo matemático potencial com os coeficientes ajustados, foram calculadas as vazões de referência para o ponto de captação superficial da unidade.

Tabela 4 - Regionalização das Vazões de Referência

Ponto	Rio	Latitude	Longitude	Área SRTM (km^2)	Q_{mlp} (m^3/s)	Q_{85} (m^3/s)	Q_{90} (m^3/s)	Q_{95} (m^3/s)
Captação	**Informação Confidencial**							

Fonte: New Engenharia (2020)

3.3 AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL

A demanda de água superficial da unidade é proveniente de um ponto de captação localizado em um trecho Informação Confidencial , situado dentro da bacia hidrográficado rio Vacacaí – Vacacaí Mirim. A Bacia Hidrográfica em questão ainda não possuí Plano de Recursos Hídricos elaborado, dessa forma, determina-se a vazão outorgável de acordo com algumas diretrizes estabelecidas pela Resolução CRH 141/2014 do Plano Estadual de Recursos Hídricos, a qual determina em seu artigo 11° que para bacias ainda sem vazão de referência homologada através do plano de bacia deve- se adotar a Q90%.

- Art 11, § 1º - A vazão outorgável será representada por um percentual da vazão contida no *caput*, definida pelo DRH, observando as demandas conhecidas e a disponibilidade de cada bacia.
- Art 12 – quando a soma das vazões captadas em uma determinada bacia ou sub-bacia hidrográfica superar 50% (cinquenta por cento) da respectiva vazão de referência, a mesma será considerada especial e terá gerenciamento diferenciado, que levara em conta

  I – o monitoramento da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos de forma a permitir previsões que orientem o racionamento ou medidas especiais de controle de derivações de águas e de lançamento de efluentes;

  II – a constituição de comissão de usuários é supervisionada pelo DRH, pela FEPAM e pelos comitês de Bacia Hidrográfica, para o entendimento, em comum acordo, de regras de operação das captações e de lançamentos;

  III – a obrigatoriedade de implantação, pelos usuários, de programas de racionalização do uso de recursos hídricos, com metas estabelecidas pelos atos de outorga.

Tabela 5 - Vazão Outorgável no ponto atual de captação.

Ponto	Rio	Latitude	Longitude	Área da bacia de drenagem (km²)	Q90 (m³/s)	Q Outorgável (50% Q90) (m³/s)
Captação Atual	**Informação Confidencial**					

Fonte: New engenharia (2020)

Sendo assim a vazão outorgável no ponto de estudo é de 0,826 m³/s, equivalente a **Informação Confidencial** .

3.3.1 Avaliação do Sistema Atual de Captação

Informação Confidencial

Figura 5 - Flutuador e bomba da captação superficial da unidade

Informação Confidencial

Fonte: New Engenharia (2020)

Figura 6 – Sistema de captação superficial da unidade.

Informação Confidencial

Fonte: New Engenharia (2020)

Informação Confidencial

precisaria operar por cerca de 19 a 20 horas por dia e haveria um déficit de cerca de 1.0 m³ armazenados. Desta forma não haveria margens para interrupções na captação ou tratamento sem que houvesse prejuízo a produção.

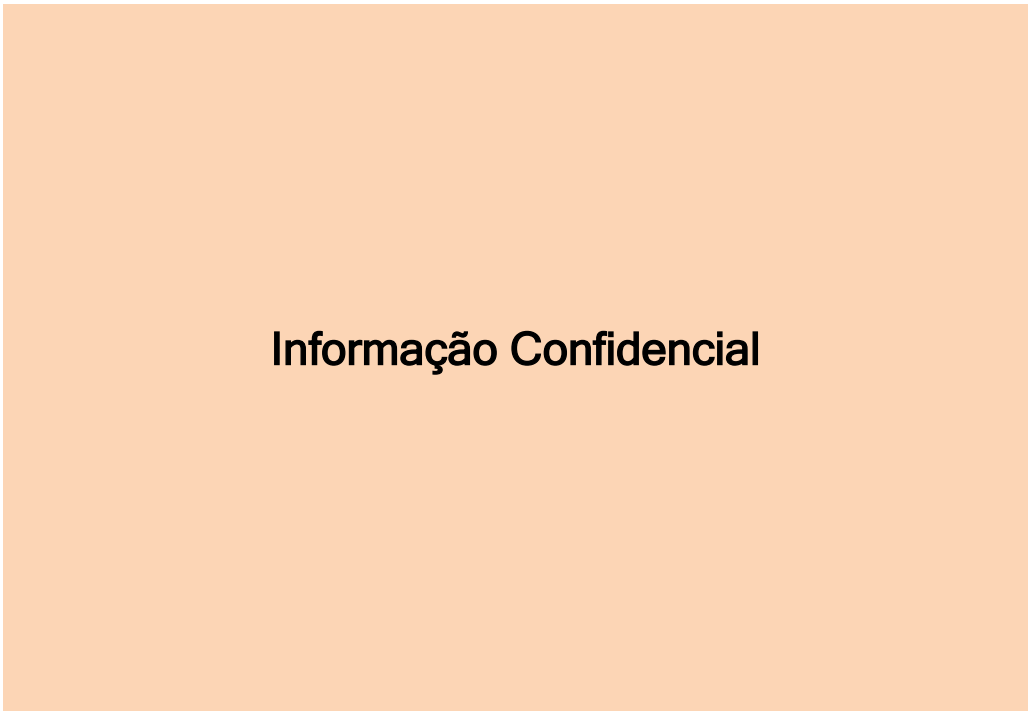
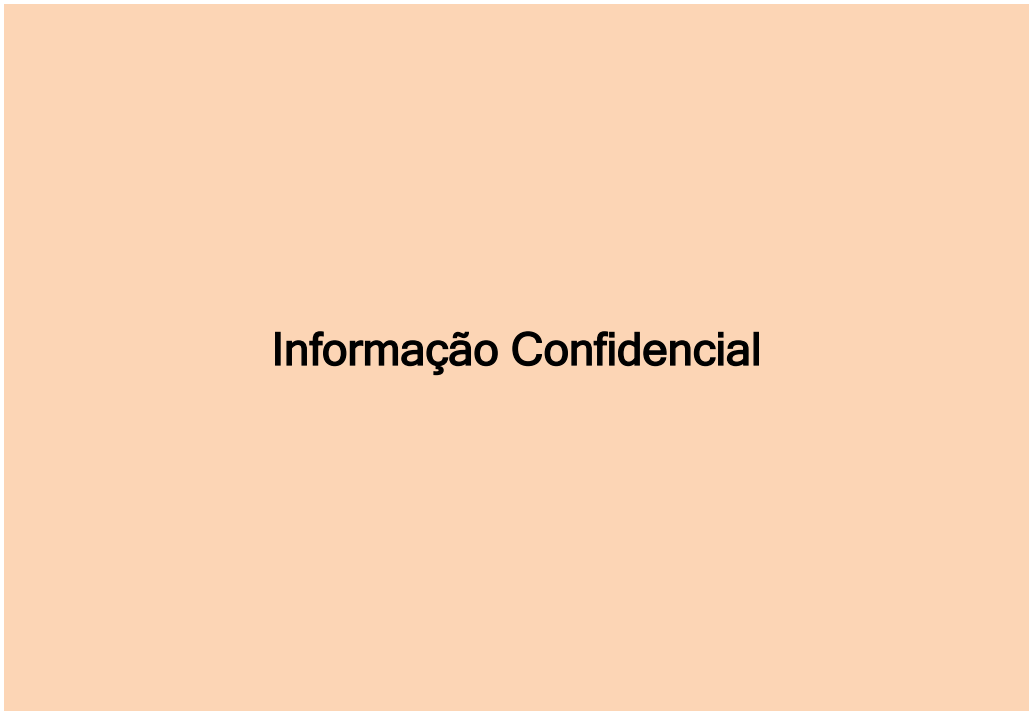
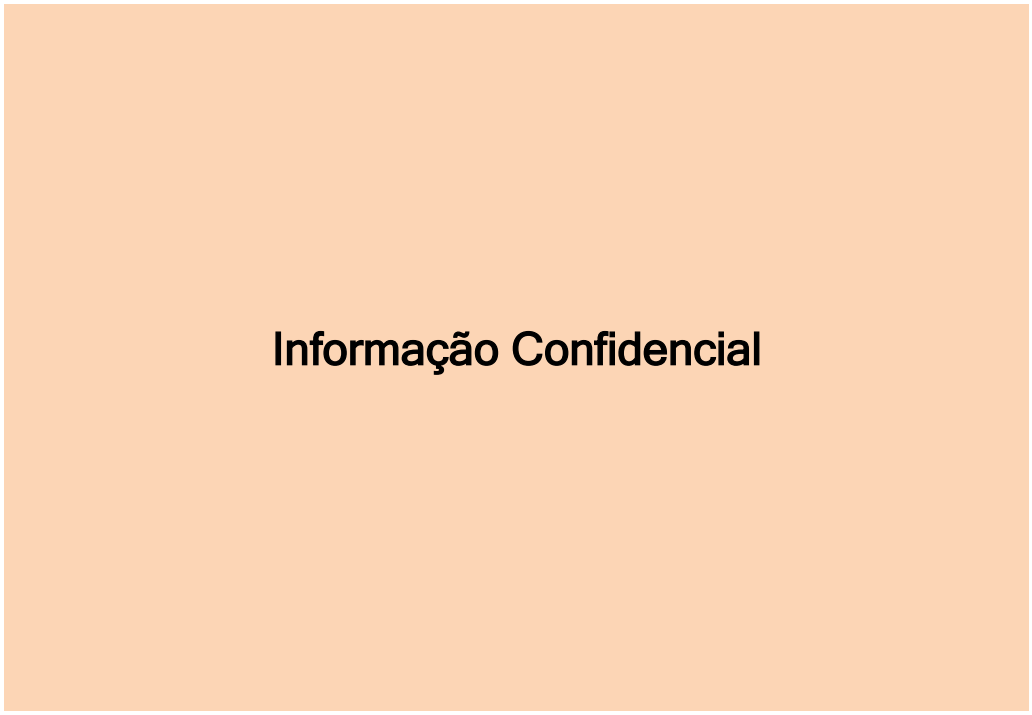


Figura 7 – estação de Tratamento de Água



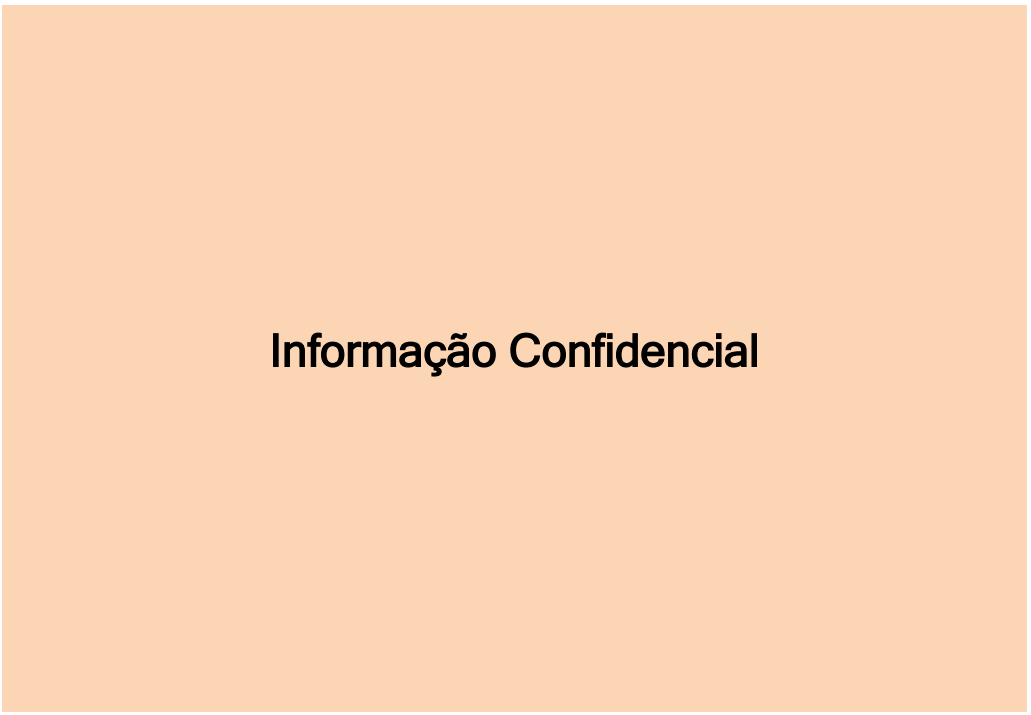
Fonte: New Engenharia (2020)

Figura 8 – Reservatórios de água bruta.



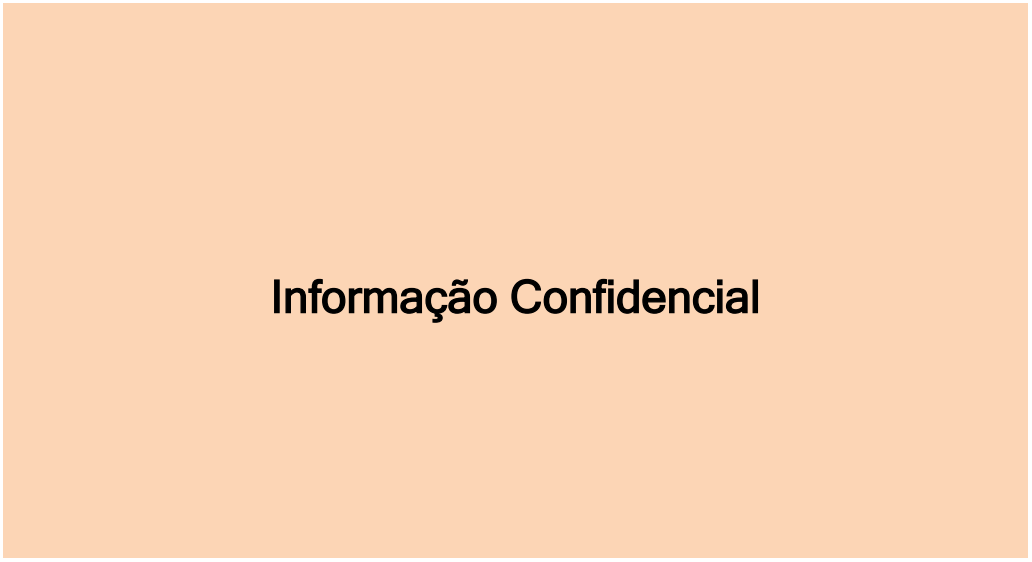
Fonte: New Engenharia (2020)

Figura 9 – Reservatórios tipo sisterna de água tratada.



Fonte: New Engenharia (2020)

Figura 10 – Reservatório elevado de água tratada.



Fonte: New Engenharia (2020)

4 AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA

4.1 INTRODUÇÃO

Este item visa caracterizar o meio hidrogeológico da região, a partir das unidades geológicas e estruturas relacionadas e dos dados disponíveis de poços, para realizar uma estimativa a respeito da disponibilidade hídrica subterrânea da área de estudo, de forma qualitativa e quantitativa.

4.2 CONTEXTO GEOLÓGICO

4.2.1 Geologia Regional

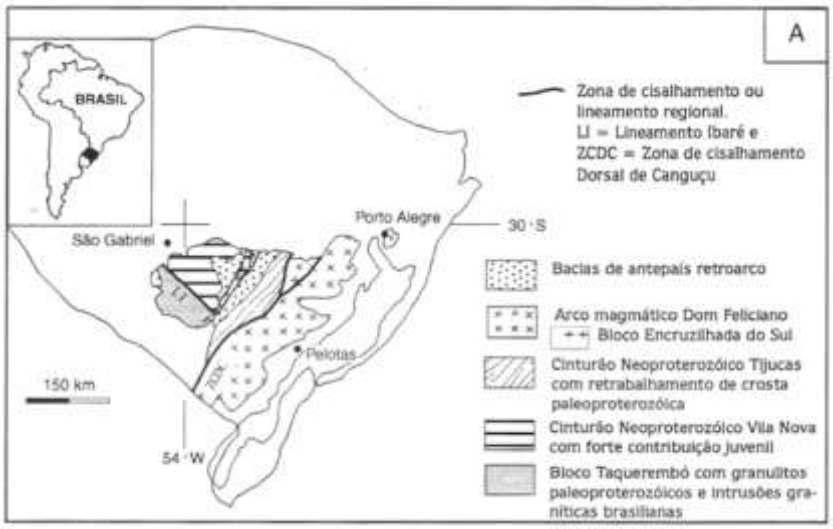
Para a caracterização geológica, foi utilizada a bibliografia e cartografia geológica disponíveis. O município de São Gabriel abrange unidades geológicas que integram o Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG), a Bacia do Paraná e os Depósitos Sedimentares Cenozoicos.

4.2.1.1 Escudo Sul-Rio-Grandense

O Escudo Sul-Rio-Grandense representa o embasamento cristalino do estado do Rio Grande do Sul e está localizado no centro-sul do estado (Figura 11), indicado também como Província Mantiqueira. Ocupa uma área de 65.000 km² (Chemale Jr., 2000) e é delimitado ao norte, oeste e sudoeste pela Bacia do Paraná, e a leste pela

Bacia de Pelotas. Suas unidades geológicas estão distribuídas em um complexo arranjo tectonoestratigráfico controlado por lineamentos regionais de orientação principal NE-SW e NW-SE. (ROISENBERG et al., 2008).

Figura 11 - Mapa geológico simplificado com as principais unidades geotectônicas do ESRG



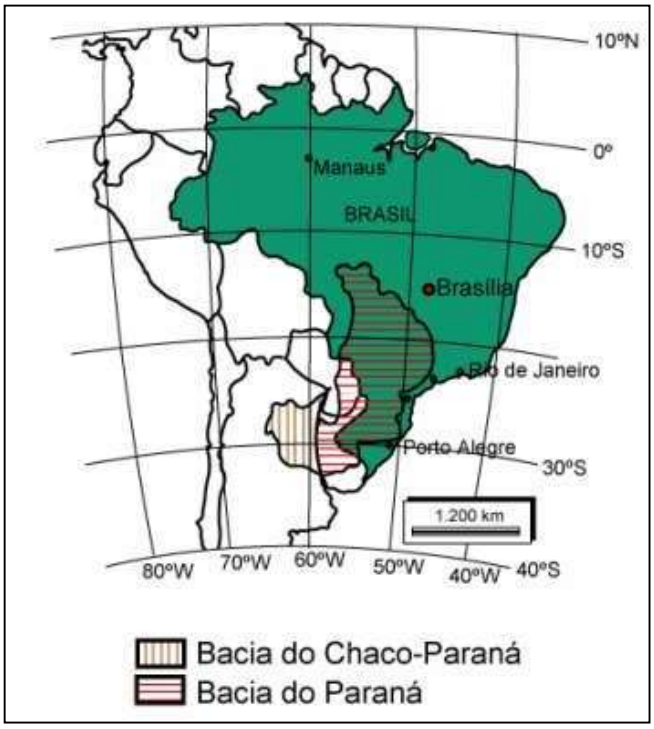
Fonte: Chemale Jr. (2000) modificado de Costa (1997).

O ESRG é formado por rochas com idades de formação no Arqueano até o Eopaleozóico e compreende associações de rochas metamórficas, ígneas e sedimentares. As associações petrotectônicas que compõem o escudo são o Cráton Rio de La Plata (rochas mais antigas) a oeste e o Cinturão Dom Feliciano a leste. Este último ainda é subdividido em: (a) Cinturão Dom Feliciano Oeste: inclui um arco magmático juvenil; (b) Cinturão Dom Feliciano Leste: sequências supracrustais e fragmentos de embasamento paleoproterozóico; e (c) Cinturão Dom Feliciano Leste: magmatismo granítico com retrabalhamento crustal sobre o qual foi gerada a Bacia do Camaquã no final do Ciclo Brasiliano. (CHEMALE JR. 2000).

4.2.1.2 Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná é uma bacia intracratônica que ocupa uma área de aproximadamente 1.600.000 km², estendendo-se pelos estados brasileiros de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, além de parte dos territórios do Uruguai, Argentina e Paraguai, sendo que nos dois últimos recebe o nome de Chaco-Paraná (Figura 12).

Figura 12 – Localização da Bacia do Paraná

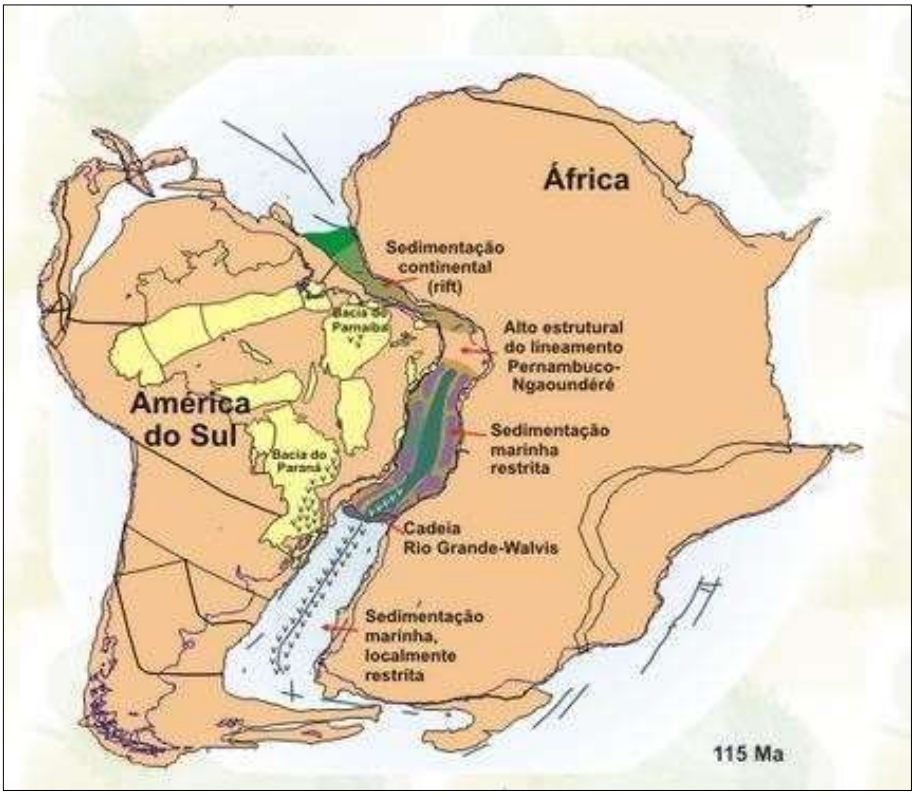


Fonte: Roisenberg et al. (2008), modificada de Zálan et al. (1990).

A teoria mais aceita atualmente para a Bacia do Paraná associa a sua gênese com as orogenias paleozóicas do Ciclo Brasiliano, ocorridas durante o desenvolvimento do Gondwana e abertura do oceano Atlântico (Figura 13). No decorrer do Eocretáceo, toda a crosta terrestre foi submetida a um colossal fendilhamento, inclusive a Bacia do Paraná, em decorrência a magmatismos basálticos sem proporções similares durante todo o processo evolutivo do planeta.

Milani (1997) comenta que neste evento rompeu-se o megacontinente Gondwana e iniciou-se a evolução do oceano Atlântico Sul. O magmatismo Serra Geral ocorrido durante a abertura do Gondwana marcou o fim de eventos de sedimentação extensiva na grande área interior do megacontinente.

Figura 13 - Reconstituição paleogeográfica do Atlântico Sul durante o final do Aptiano, mostrando os derrames basálticos já depositados sob a Bacia do Paraná



Fonte: Milani (1997).

Após a abertura do Oceano Atlântico, a Plataforma Sul-Americana manteve o caráter ascensional generalizado – iniciado ainda ao tempo da sedimentação Botucatu – até que o acúmulo de quase de 2.000 m de espessura de lavas basálticas determinasse a inversão deste comportamento, na busca de novo ajuste isostático da porção litosférica, onde agora estavam acumulados os derrames Serra Geral.

4.2.1.3 Depósitos sedimentares cenozoicos

Os Depósitos sedimentares cenozoicos compreendem as coberturas sedimentares mais recentes, com registros que datam do Paleógeno (65,5 Ma.) ao período atual (CPRM, 2008). Essas unidades geológicas estão alojadas sobre as rochas do Escudo Sul-Rio-Grandense em sua ocorrência central e sul e, ao norte, sobre rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná. Kaul (1990) aponta que esses Depósitos Sedimentares no Holoceno são bastante diversificados, constituindo-se de depósitos de ambientes fluviais, marinhos, lagunares, eólicos e coluviais.

4.2.2 Geologia Local

O mapa geológico da área de estudo (Figura 5) indica a ocorrência do empreendimento sobre as unidades geológicas da Formação Rio Bonito e de Depósitos aluviais, sendo essas as de maior relevância para esse trabalho. No entorno da área, ocorrem ainda as Formações Palermo e Irati e o Subgrupo Estrada Nova (Bacia do Paraná), e em direção sul aflora a as rochas do Complexo Cambaí – Domínio de Ortognaisses (Província Mantiqueira). Para a área de estudo e seuentorno, não há estruturas geológicas demarcadas pelo mapeamento geológico em escala 1:750.000 da CPRM (2008).

4.2.2.1 Escudo Sul-Rio-Grandense

4.2.2.1.1 Complexo Cambaí – Domínio de Ortognaisses

O **Complexo Cambaí – Domínio de Ortognaisses** é constituído, segundo CPRM (2008), predominantemente por gnaisses monzogranítico, granodiorítico, tonalítico(750±16 Ma por datação U-Pb) e trondhjemítico (736±10 Ma por datação U-Pb). Essas rochas podem conter enclaves de anfibolitos (733±13 Ma por datação U-Pb), metaultramafitos e metagrabros. Essa unidade ocorre intercalada com o **Domínio de Paragnaisses**, que compreende lentes de mármores, metapelitos, metarenitos e xistos magnesianos metamorfizados na fácies anfibolito médio a inferior. Ambas unidades compõem parte da Província Mantiqueira, pertencente ao Escudo Sul-Rio-Grandense, e suas rochas datam do período Criogeniano (850-630 Ma).

4.2.2.2 Bacia do Paraná

4.2.2.2.1 Grupo Guatá

4.2.2.2.1.1 Formação Rio Bonito

A Formação Rio Bonito representa a base do Grupo Guatá e consiste em um pacote sedimentar que registra a deposição de sedimentos em ambientes transicionais como deltas, lagoas e estuários, compreendendo sedimentos arenosos e lamosos, durante o Eopermiano na Bacia do Paraná (White, 1908), sendo constituída sumariamente pela alternância de pacotes areníticos e pelíticos (Schneider et al., 1974). Quanto às litologias, é constituída predominantemente por arenitos, arcóseos, quartzarenitos, siltitos, siltitos carbonosos e carvão. As camadas

de carvão são lateralmente descontínuas e têm espessura muito fina, <0,5 m. (HOLZ et al., 2010).

As estruturas sedimentares mais relevantes nessa unidade são estratificação cruzada tabular e acamamento plano-paralelo. Há níveis de acamamento flaser e wavy, drapes de lama e abundantes estratificações cruzadas hummocky. (HOLZ, 1999). CPRM (2008) aponta que as rochas dessa formação foram geradas em ambientes fluvio-deltaicos, litorâneos e marinhos plataformais.

Para a região de São Gabriel, Reis (2007) propôs que a Formação Rio Bonito foi depositada em ambiente estuarino misto, similar a um estuário lagunar, com quatro subambientes: bay-head-delta, bacia central, intermaré e canal de maré, além de pequenas barreiras (<1 m) integrantes de um sistema deposicional marinho.

Schneider et al. (1974) atribuem à base dessa formação um pacote de arenitos muito finos a médios com estratificações cruzada, planar e acanalada, gerados em ambiente fluvio-deltaico. Na porção média, ocorrem siltitos e folhelhos (com laminação plano-paralela) intercalados com arenitos finos (com laminações cruzadas e onduladas) e leitos de rochas carbonáticas (com estruturas de dissecação e laminação algálica). Bioturbação é uma feição recorrente nessa porção e confere aspecto maciço às rochas. À esda porção da Formação Rio Bonito, são interpretados ambientes deposicionais como marinho transgressivo, localmente de planícies de maré, além de depósitos de canais, barras, barreiras e depósitos distais de sistemas deltaicos.

A porção superior compreende intercalações de arenitos finos a muito finos, argilitos e folhelhos carbonosos e leitos de carvão mineral (esses de ambientes lagunares e mangues costeiros recobertos por areias litorâneas). Predominam laminações plano-paralelas e onduladas, por vezes associadas a estratificações cruzadas de pequeno porte. Localmente há arenitos médios a grossos com estratificação cruzada de alto ângulo e presença pontual de madeiras silicificadas. (SCHNEIDER et al., 1974). Essa porção corresponde a um ambiente marinho litorâneo que progradou sobre a sequência transgressiva da porção média.

4.2.2.2.1.2 Formação Palermo

A Formação Palermo é constituída por siltitos e siltitos arenosos de coloração cinza a amarelo esverdeado, com arenitos finos a conglomeráticos de ocorrência local (Schneider et al., 1974) depositados em ambiente marinho raso (HOLZ et al., 2010),

transgressivo e abaixo do nível de ação das ondas. Das estruturas sedimentares, quase totalmente destruídas por bioturbação, restam laminações cruzadas de porte muito pequeno, arenitos com estratificação cruzada hummocky e heterolitos com acamamento wavy, conforme Holz et al. (2010).

Schneider et al. (1974) relatam que no RS a espessura sua espessura é de aproximadamente 150 m, que aumenta para 282 m, conforme registro do poço 2-A1-1-RS em Alegrete, RS. O contato de sua base com a Formação Rio Bonito é concordante, abrupto, frequentemente erosivo e de ordem regional. Localmente, porém, assenta-se diretamente sobre as rochas cristalinas do Escudo Sul-Rio-Grandense.

Lopes, Lavina e Signorelli (1986) atribuem para a Formação Palermo um ambiente marinho transgressivo plataformal sob influência de ondas e marés, que cobrem o ambiente deltaico-lagunar da Formação Rio Bonito, fazendo a linha de costa recuar, em sucessivos pulsos, de oeste para leste. Essa formação é considerada de idade Permiana, gerada entre o Kunguriano e a base do Kazaniano.

4.2.2.2.2 Grupo Passa Dois

4.2.2.2.2.1 Formação Irati

Consiste na unidade basal do Grupo Passa Dois, e compreende folhelhos e argilitos de coloração cinza escuro e folhelhos cinza escuro pirobetuminosos associados a calcários. Em superfície a espessura média é de 40 m, sendo que em subsuperfície chega a 71 m no poço 2-IT-1-RS (Itacurubi, RS), conforme Schneider et al. (1974).

Argilitos, folhelhos e siltitos ocorrem na base (Membro Taquaral), exibem laminação plano-paralela e sua formação é interpretada como de ambiente marinho raso, abaixo do nível de ação das ondas. (SCHNEIDER et al., 1974). Em geral de águas calmas, que propiciavam a deposição pelágica em ambiente sapropélico de condições anóxicas ao fundo (Lavina, 1991 apud Maraschin e Ramos, 2015), a eventual ocorrência de tempestades é registrada pela presença de estratificações cruzadas hummocky, conforme Xavier (2014), onde também são encontradas acumulações fósseis de répteis mesossaurídeos e crustáceos Pigocefalomorfos associadas a sucessões de calcários.

Conforme Schneider et al. (1974), folhelhos cinza escuro pirobetuminosos com laminação paralela e calcários com marcas ondulares, laminação cruzada, convoluta e algálica, além de oolitos e brechas intraformais ocorrem em sua porção superior (Membro Assistência). A geração destas litologias é interpretada como de ambiente marinho raso, e essas apresentam fósseis de répteis Mesosaurus brasiliensis e Stereosternum tumidum, além de restos fósseis de peixes, de vegetais, carapaças de crustáceos e palinomorfos. (SCHNEIDER et al., 1974).

Na região de São Gabriel, Maraschin e Ramos (2015) citam a ocorrência de folhelhos oleígenos da Formação Irati, reservatórios não-convencionais de hidrocarbonetos, com algum potencial econômico para extração de óleo e gás natural. Essas litologias ocorrem exclusivamente no Membro Assistência e são caracterizadas pelo alto teor de matéria orgânica.

4.2.2.2.2.2 Subgrupo Estrada Nova

O **Subgrupo Estrada Nova** integra o Grupo Passa Dois, da Bacia do Paraná, de formação no período Permiano (299-251 milhões de anos). Essa unidade é dividida em duas formações. A Formação Serra Alta compreende folhelhos, argilitos e siltitos não betuminosos depositados em ambiente marinho abaixo do nível base de ação das ondas. A Formação Teresina compreende siltitos, arenitos muito finos, geralmente tabulares ou lenticulados alongados, com lentes e concreções de calcário, e foram depositados em ambiente marinho com influência de tempestades. (CPRM, 2008). Apresenta laminação *flaser*, plano-paralela, ondulada e convoluta, e estratificação cruzada *hummocky*. (ROISENBERG et al., 2007).

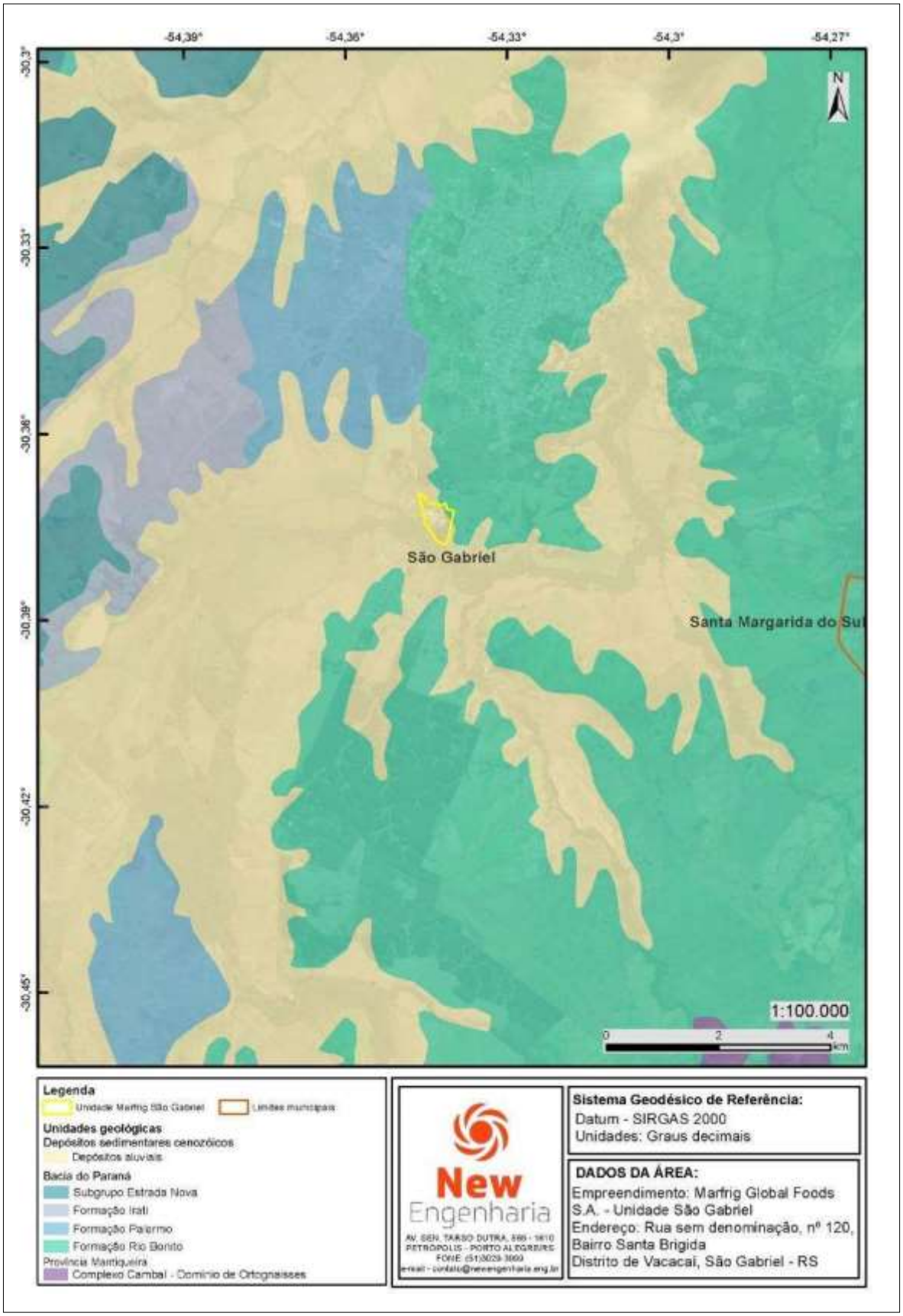
4.2.2.3 Depósitos sedimentares cenozoicos

4.2.2.3.1 Depósitos relacionados a barreiras holocênicas

4.2.2.3.1.1 Depósitos aluviais

Depósitos aluviais correspondem a coberturas sedimentares de idade holocênica (~11,5 mil anos atrás até o presente). São compostos por areia grossa a fina, cascalho e sedimento siltico-argiloso (CPRM, 2008) que ocupam as calhas dos rios atuais e planícies de inundação. (KAUL, 1990).

Figura 14 – Mapa geológico da área de estudo



Fonte: Adaptado de CPRM (2008) e SEMA/FEPAM (2018).

4.2.2.4 Afloramentos rochosos

Em inspeção de campo na área do empreendimento e em seus arredores, não foram encontrados afloramentos rochosos que permitissem maior detalhamento do contexto geológico local. A região compreende relevo predominantemente plano a suave ondulado, com campos, várzeas de rios e colinas amplas e de pouca elevação. Esse cenário não favorece a ocorrência de exposições significativas do substrato rochoso, mesmo em cortes de estrada.

4.3 CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL

O mapeamento na escala 1:750.000 realizado pela CPRM (2008) não indica em superfície feições que caracterizem estruturas geológicas. Durante as atividades de campo, também não foram identificadas estruturas de porte regional ou local, frente à ausência de afloramentos rochosos.

4.4 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

4.4.1 Hidrogeologia regional

O município de São Gabriel abrange os sistemas aquíferos Sanga do Cabral/Pirambóia, Embasamento Cristalino II e III, **Palermo/Rio Bonito** e **Aquitardos Permianos**, os dois últimos ocorrendo na área de estudo e em seu entorno, conforme demostra o mapa hidrogeológico para a área do município (Figura 15). Conforme Goffermann, Viero e Silva (2015), o sistema aquífero Palermo/Rio Bonito dispõem-se diretamente sobre o sistema aquífero **Embasamento Cristalino II** na região de São Gabriel.

4.4.1.1 Sistema aquífero Embasamento Cristalino II

Os estudos de Machado e Freitas (2005) demonstram que o sistema aquífero Embasamento Cristalino II tem porosidade por fraturas e ocorre basicamente nas áreas que correspondem aos limites do Embasamento Cristalino, sendo aflorante em municípios como Bagé, Caçapava do Sul, Encruzilhada do Sul e parte de Porto Alegre. O sistema aquífero ocorre nas litologias graníticas, gnáissicas, andesíticas, xistos, filitos e calcários metamorfizados localmente afetados por falhas e fraturamentos. Capacidades específicas comumente são inferiores a 0,5 m³/h/m, e pode haver poços secos.

Em áreas que não são cobertas por sedimentos de origem marinha, as águas apresentam salinidades <300 mg/L. Águas contidas em rochas graníticas podem apresentam teores elevados de flúor. São considerados aquíferos limitados e com baixa possibilidade para água subterrânea, a qual está contida em aquíferos com porosidade por fraturas.

4.4.1.2 Sistema aquífero Palermo/Rio Bonito

Quanto ao Sistema Aquífero Palermo/Rio Bonito, esse é considerado de média a baixa possibilidade para águas subterrâneas contidas em rochas e sedimentos com porosidade intergranular. Esses sistema aquífero circunda a região alta das rochas do embasamento cristalino, de Candiota até Santo Antônio da Patrulha, ocorrendo ainda pelos municípios de Dom Pedrito, São Gabriel, Minas do Leão e Cachoeirinha.

Suas litologias são representadas por arenitos finos a médios, cinza a esbranquiçados que intercalam-se com camadas de siltitos argilosos e carbonosos de cor cinza-escuro. (MACHADO E FREITAS, 2005). Essas conferem menores valores de porosidade, permeabilidade e vazão nos poços, assim apresentam uma vulnerabilidade média à contaminação em suas porções mais superficiais. As unidades hidroestratigráficas que confinam a unidade hidroestratigráfica Rio Bonito correspondem aos Aquitardos Permianos, de vulnerabilidade baixa à contaminação.

As capacidades específicas de poços são em média <0,5 $m^3/h/m$. Salinidades variam entre 800 e 1.500 mg/L. Em grandes profundidades as águas são salinas e apresentam sólidos totais dissolvidos (STD) superiores a >10.000 mg/L. Conforme Machado e Freitas (2005), as águas são potáveis e com possibilidade para irrigação apenas nas regiões onde captadas a pequenas profundidades. Em poços mais profundos são comuns águas intensamente mineralizadas.

Quanto à classificação geoquímica, podem ocorrem águas do tipo cloretado, predominantemente sódicas, com pH alcalino, baixa dureza e elevado teor de STD, características relacionadas com águas de grande confinamento e grande tempo de residência. Águas do tipo sulfatado também podem ser encontradas nesse sistema aquífero, e concentram grande quantidade de minerais sulfetados nas litologias carbonosas, têm pH alcalino, dureza predominantemente permanente e teores elevados de sais. Em geral, essas representam águas de grande tempo de residência no aquífero. (MACHADO E FREITAS, 2005).

Goffermann, Viero e Silva (2015) apontam esse sistema aquífero como o melhor, juntamente ao Sanga do Cabral/Pirambóia (não ocorrente na área de estudo), em termos de qualidade das águas e de volume possível de ser explotado, nas áreas onde é aflorante. Onde confinados, os autores sugerem o selamento das camadas superiores na instalação de poços tubulares, a fim de evitar a mistura de águas para não comprometer sua potabilidade. Assim, é indicado o uso de filtros para captação apenas nas litologias arenosas da Formação Rio Bonito.

4.4.1.3 Sistema aquífero Aquitardos Permianos

O sistema aquífero Aquitardos Permianos é considerado por Machado e Freitas (2005) como de aquíferos limitados de baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade intergranular ou por fraturas. Tem ocorrência em uma estreita faixa na depressão periférica, circundando o embasamento cristalino, desde Candiota, no sul do Estado, até Taquara, no leste.

Quanto às litologias, compreende siltitos argilosos, argilitos cinza-escuros, folhelhos pirobetuminosos e pequenas camadas de margas e arenitos. Machado e Freitas (2005), determinam que, em geral, os poços que captam água somente dessas litologias apresentam vazões muito baixas ou estão secos. Capacidades específicas são geralmente <0,1 m3/h/m e as águas podem ser duras, com grande quantidade de sais de cálcio e magnésio.

Estes sistemas são incipientemente fraturados ou com predominância de litologias argilosas. O menor grau de fraturamento das rochas, além de diminuir a potencialidade aquífera, confere baixa vulnerabilidade à contaminação. Apenas em alguns locais, como os mais urbanizados ou de deposição de resíduos sólidos, pode existir algum risco de poluição de suas águas. (MACHADO E FREITAS, 2005). Tem-se registro (Szubert e Toniolo, 1981 apud Goffermann, Viero e Silva, 2015) de espessuras de até 40 m para esse sistema aquífero, a partir de dados de sondagens.

Goffermann, Viero e Silva (2015), em estudo que considerou análises de água de 55 poços no município de São Gabriel, afirma que cerca de 30% dessas apresentaram teores elevados de flúor e de sódio, tornando-as impróprias para consumo humano, irrigação e dessedentação animal, conforme padrõesestabelecidos pelo Ministério da Saúde. Esses valores, entretanto, variam conforme o sistema aquífero ao qual as rochas são captadas, das rochas sedimentares da Bacia

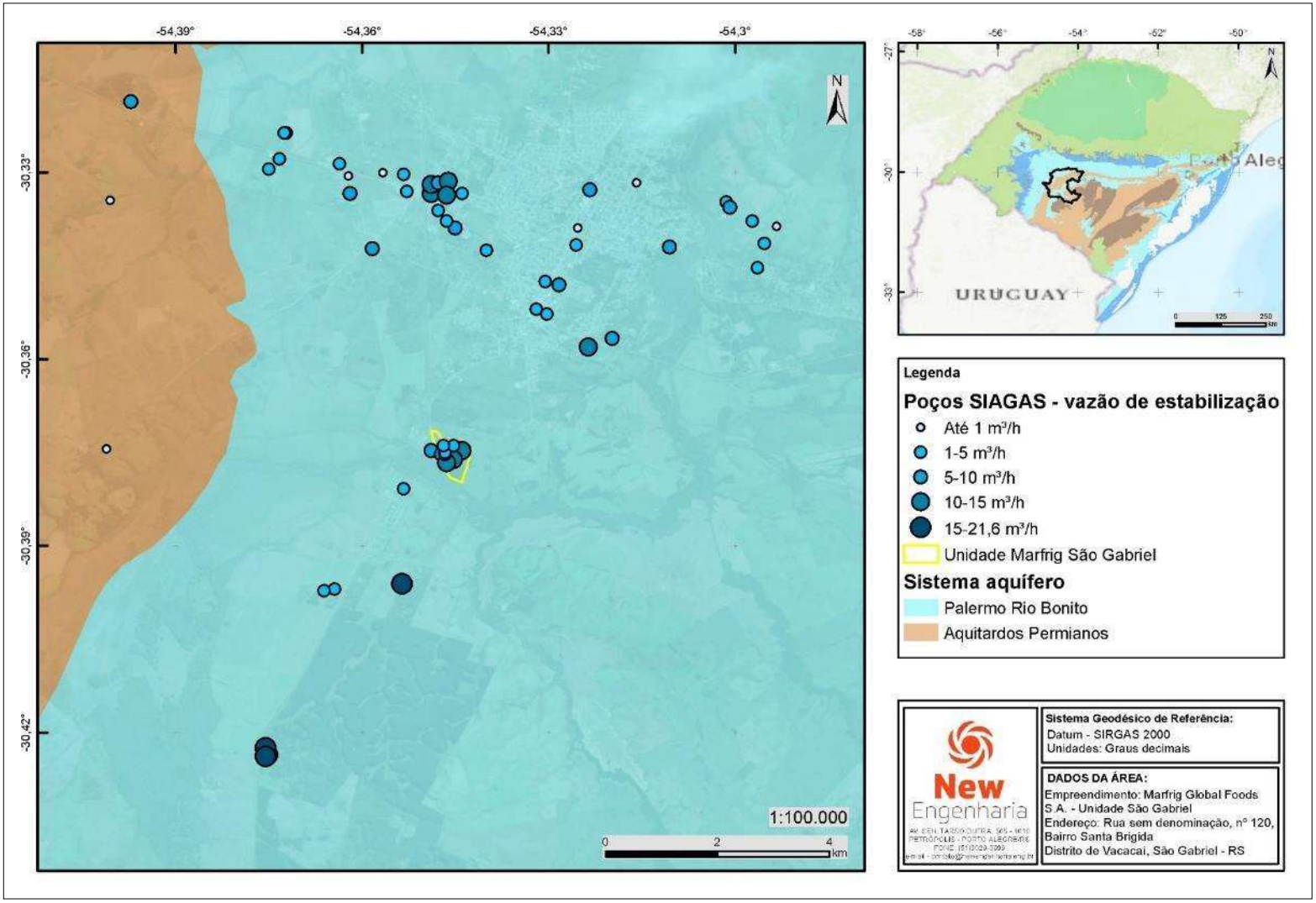
do Paraná ou das rochas granito-gnáissicas do Escudo Sul-Rio-Grandense, que ocorrem em maiores profundidades.

Os autores afirmam ainda que a mistura de águas provenientes de diferentes sistemas aquíferos e entradas d'água pode comprometer a qualidade das águas captadas de poços que poderiam apresentar condições satisfatórias de qualidade para abastecimento. Isso evidencia a importância de se distinguir as diferentes unidades aquíferas, suas características hidrogeoquímicas e profundidades.

Destacam-se maiores conteúdos de sódio em poços que captam águas onde ocorrem as unidades Formação Irati e Subgrupo Estrada Nova. Esse conteúdo elevado de sódio é oriundo principalmente da dissolução de halita (relacionada também a maiores teores de cloreto) e de trocas de cátions entre os argilominerais (retém-se o cálcio em solução e libera-se o sódio adsorvido) de suas litologias, favorecidas pelo maior tempo de residência das águas por conta da baixa permeabilidade das rochas, conforme Goffermann, Viero e Silva (2015).

A ocorrência de elevadas concentrações de flúor também é relatada pelos autores para as águas subterrâneas provenientes de todos os sistemas aquíferos que ocorrem na região. Sua origem é apontada como da dissolução de fluoritas presentes nas rochas do embasamento cristalino, que ascenderiam às unidades sobrejacentes, principalmente da Formação Irati, podendo também afetar as águas contidas nas demais formações geológicas, dependendo de seu grau de confinamento e estruturas presentes que permitissem uma maior circulação das águas. (GOFFERMANN, VIERO E SILVA, 2015).

Figura 15 – Mapa Hidrogeológico da área de estudo



Fonte: Adaptado de CPRM (2005), SEMA/FEPAM (2018) e SIAGAS (2020).

4.4.1 Hidrogeologia local

4.4.1.1 Dados de produtividade

Em relação à área de estudo, o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS, 2020), do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), possui cadastros de 104 poços tubulares. Poços com dados dos níveis estático e dinâmico e vazão de estabilização dos testes de bombeamento estão espacialmente distribuídos conforme demonstra a Figura 15. Notam-se as vazões mais significativas no contexto do **Sistema aquífero Palermo/Rio Bonito**, condizente com os dados bibliográficos, sendo que na área do empreendimento são registradas vazões no intervalo **1,1-10 m³/h**, como demonstra a distribuição espacial na Figura 16. A Tabela 6 contém a síntese das informações referentes aos poços e suas características de produtividade.

Tabela 6 - Síntese das informações dos poços cadastrados no SIAGAS

	Prof. (m)	Entrada d'água (m)	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Capacidade específica (m³/h/m)
Mínimo	24	8	2,05	10	0,3	0,0047
Máximo	273	270	60	194	21,6	6,55
Média	81,8	62,3	20,2	42,3	4,7	0,4837

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2020).

Como mencionado sobre as melhores vazões e condições de qualidade das águas do Sistema aquífero Palermo/Rio Bonito, levou-se em conta os poços mais próximos ao empreendimento que captam de suas águas e que situam-se mais próximos à área para determinar a espessura média desse sistema aquífero.

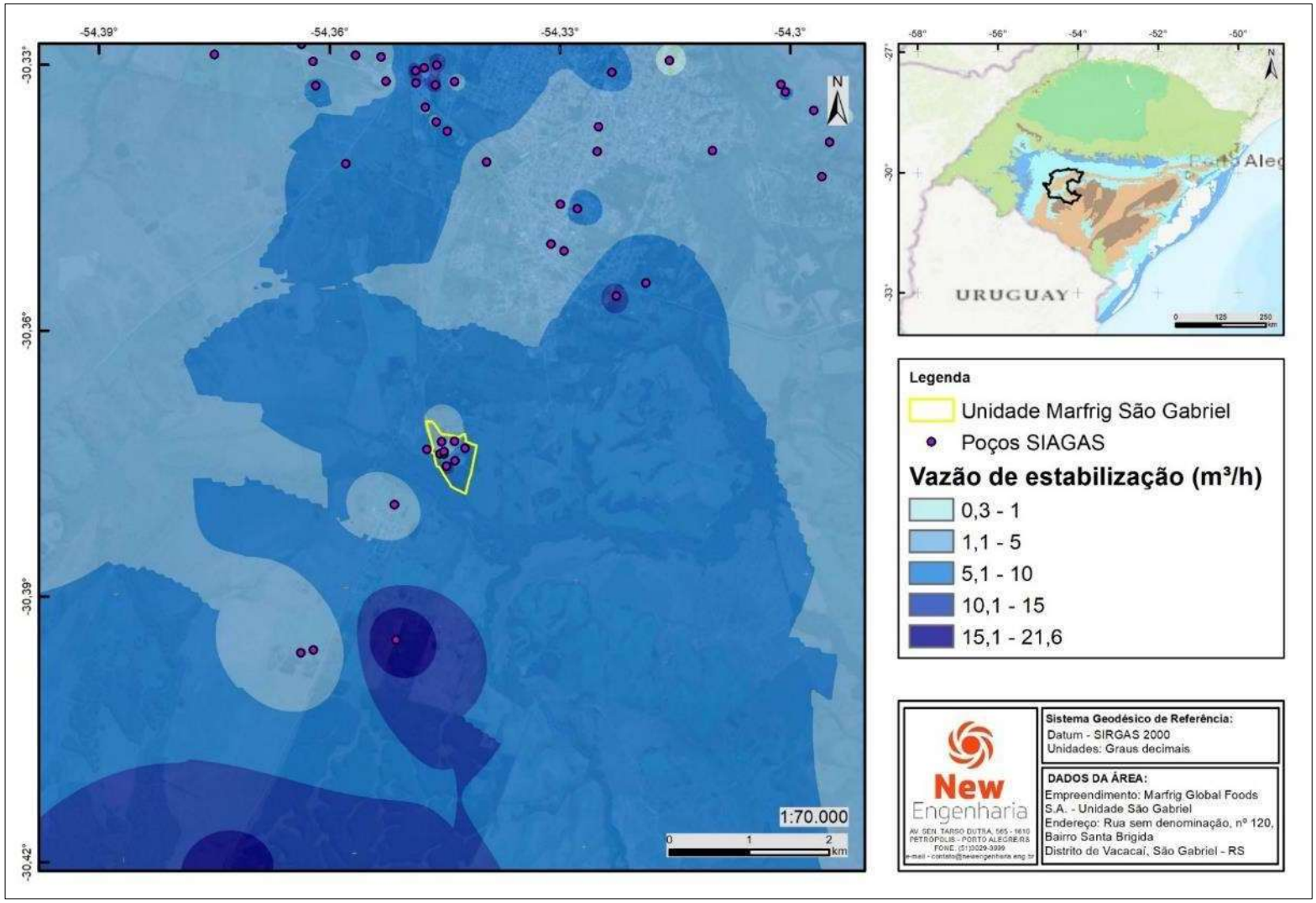
Conforme as informações dos perfis litológicos presentes no SIAGAS, a Formação Rio Bonito ocorre até o intervalo de 60 m a 80 m de profundidade, variando de acordo com a localização e cota topográfica.

Os poços apresentam profundidades en tre 24 m e 273 m, que interceptam entradas d´água entre 8 m e 270 m, em geral no intervalo entre 40 e 65 m de profundidade. Possuem capacidades específicas variam entre 0,047 m³/h/m e 6,65 m³/h/m, com média de 0,4837 m³/h/m (entre 67 poços com dados disponíveis, dos 104 mais próximos, indicado na Tabela 6).

Quanto à distribuição espacial das vazões dos poços do SIAGAS, conforme a Figura 16, nota-se certo **alinhamento de direção NE-SW** entre os poços de vazões mais elevadas. Essa configuração converge ao que foi mencionado por Goffermann,

Viero e Silva (2015) para as melhores condições de explotação do aquífero no município de São Gabriel, nas quais as entradas d'água nos poços são relacionadas aos quartzo-arenitos finos a médios sotopostos aos folhelhos, folhelhos carbonosos e siltitos cinza. Nessa condição, os níveis estáticos ascendem bastante sobre as entradas d'água e podem ocorrer poços surgentes em locais onde a superfície do terreno é topograficamente mais baixa que a superfície potenciométrica do aquífero confinado. O mapa indica ainda que vazões registradas no entorno do empreendimento estão no intervalo de Informação Confidencial .

Figura 16 - Distribuição espacial das vazões dos poços cadastrados no SIAGAS



Fonte: Adaptado de SIAGAS (2020).

4.4.1.2 Características físico-químicas

A concentração de **Sódio (Na)** nas águas subterrâneas é apresentada na Figura 17. Para consumo humano, o valor máximo permitido, conforme a Portaria de Consolidação nº 05/2017 do Ministério da Saúde, é de 200 mg/L de Na. Poços próximos à área de estudo e seu entorno registram concentrações no intervalo **100,1-150 mg/L**, pouco elevado,, mas dentro dos limites de potabilidade.

Localmente, o conteúdo de **Fluoreto** alcança concentrações acima do valor máximo permitido para consumo humano (1,5 mg/L). A distribuição espacial de suas concentrações é indicada na Figura 18. Nota-se que o entorno da área de estudo registra conteúdos de fluoreto no intervalo **0,06-1,0 mg/L**, que aumentam em direção NE, junto à área urbana do município de São Gabriel.

Em relação aos valores de **pH**, o conjunto de poços apresenta o intervalo 5,0-9,8 (Tabela 7), em geral acima de 7,0, levemente alcalino. A Figura 19 indica a distribuição espacial desses valores; o empreendimento insere-se no intervalo **7,01-8,00**, dentro do padrão de potabilidade (6,0-9,0) estabelecido na Portaria de Consolidação nº 05/2017 do Ministério da Saúde.

Valores de **condutividade elétrica** variam amplamente e estão associados às concentrações de sólidos totais dissolvidos (STD) e de sódio (Na). Os poços mais próximos registram condutividade elétrica entre **186-858 µS/cm**, nos intervalos entre 110-920 µS/cm indicados na Figura 20.

Tabela 7 – Síntese das características fisico-químicas dos poços do SIAGAS

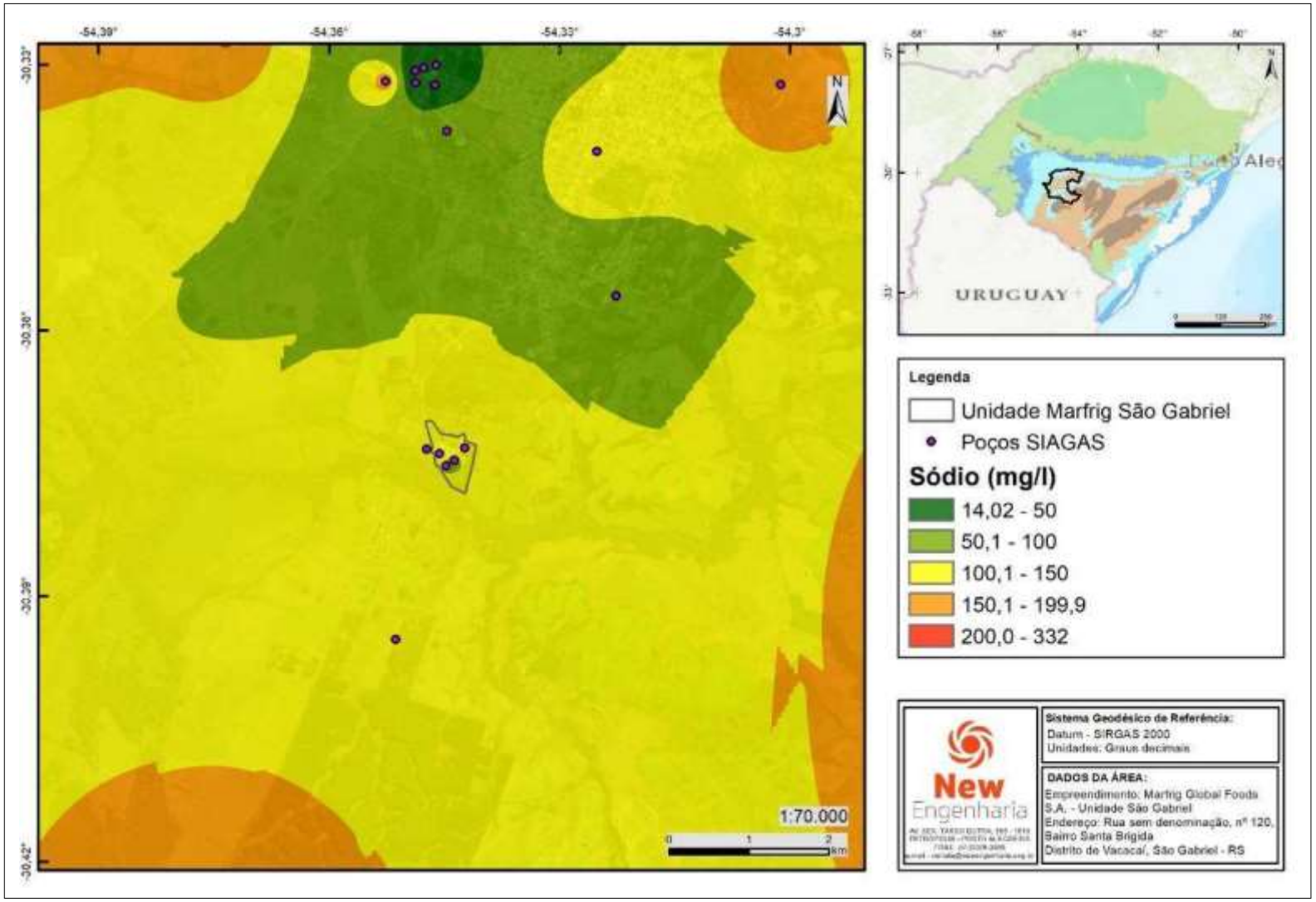
	pH	Cond. elétrica (µS/cm)	STD (mg/l)	Na (mg/l)	Cloreto (mg/l)	Fluoreto (mg/l)	Fe total (mg/l)	Mg (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)
Mínimo	Informação Confidencial									
Máximo										
Média										

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2020).

Conforme os dados regionais de Machado e Freitas (2005) e os definidos para a área de São Gabriel apresentados por Goffermann, Viero e Silva (2015), as melhores características físico-químicas das águas, e também as maiores vazões disponíveis para captação, ocorrem em poços que captam águas exclusivamente do Sistema aquífero Palermo/Rio Bonito, nas rochas arenosas das Formações Rio Bonito e Palermo.

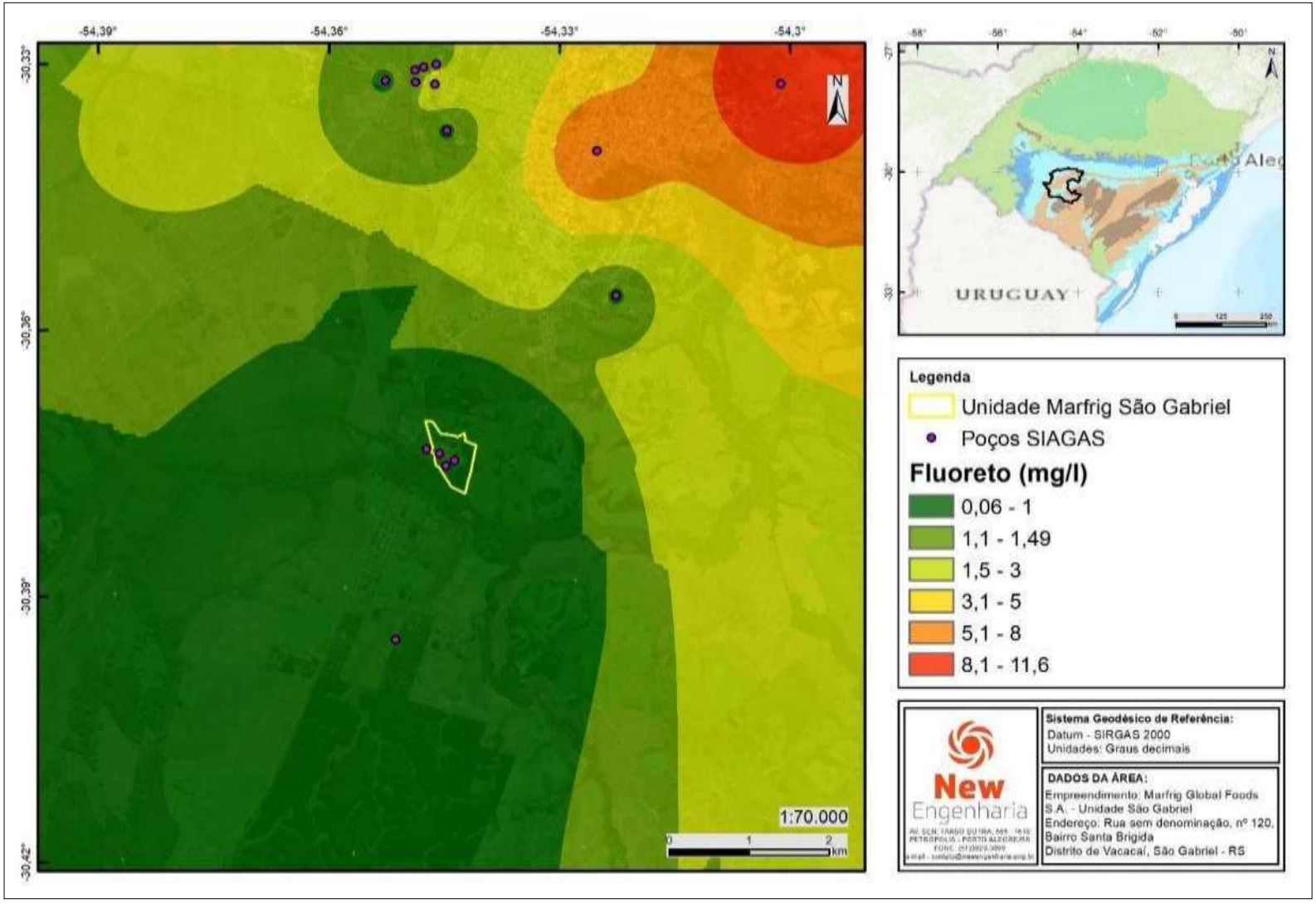
Nos locais de ocorrência das Formações Irati e Subgrupo Estrada Nova, há o confinamento desse aquífero, o que aumenta o tempo de residência, com menor circulação das águas, elevando as concentrações de sais que são dissolvidos dos sedimentos marinhos presentes em suas rochas. Poços mais profundos, que atingem o Sistema aquífero Embasamento Cristalino II, apresentam valores muito elevados de Sólidos Totais Dissolvidos e de Fluoretos, o que compromete a qualidade das águas.

Figura 17 – Distribuição das concentrações de sódio (mg/l) em análises de água dos poços do SIAGAS



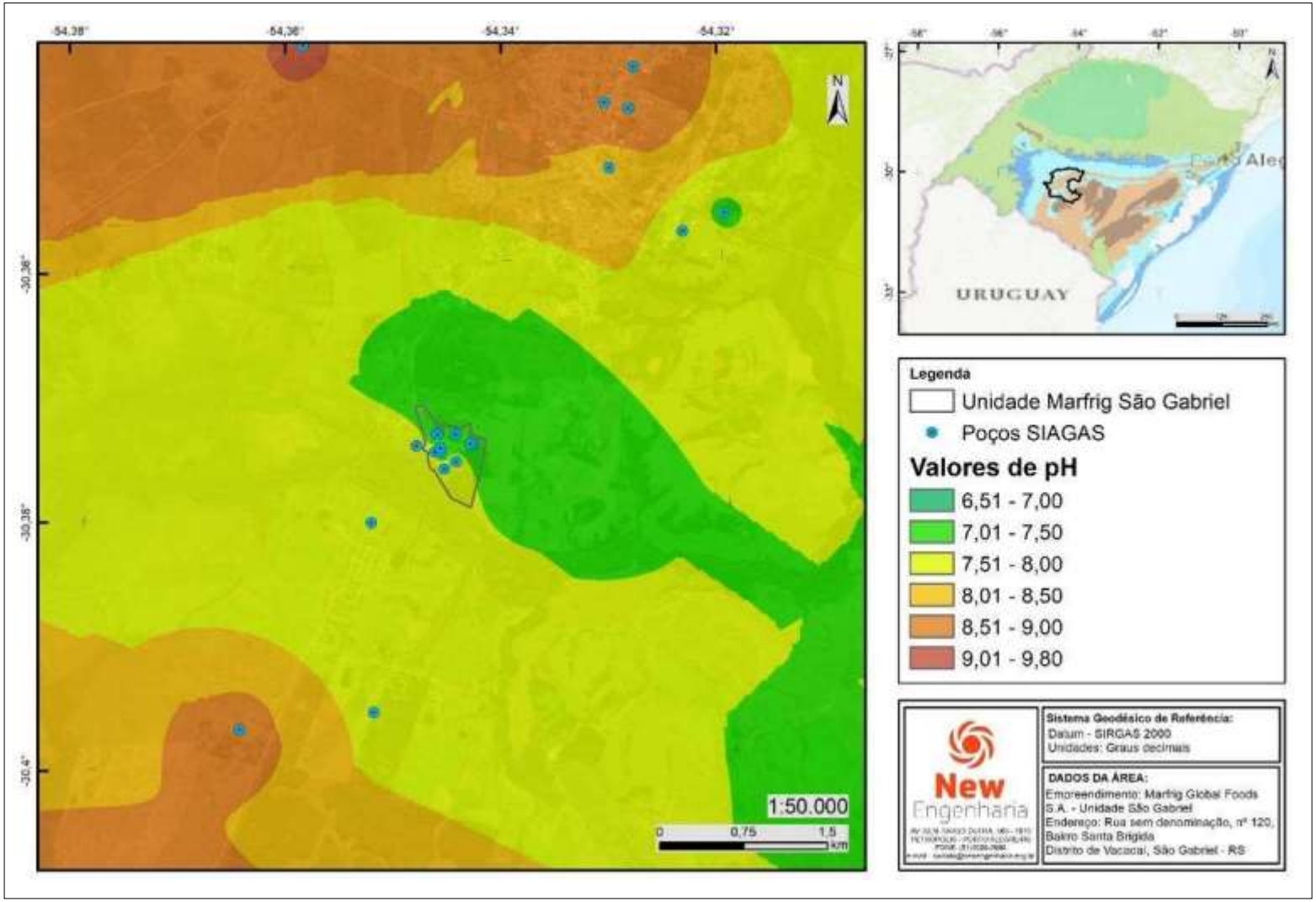
Fonte: Adaptado de SIAGAS (2020).

Figura 18 – Distribuição das concentrações de fluoreto (mg/l) em análises de água dos poços do SIAGAS



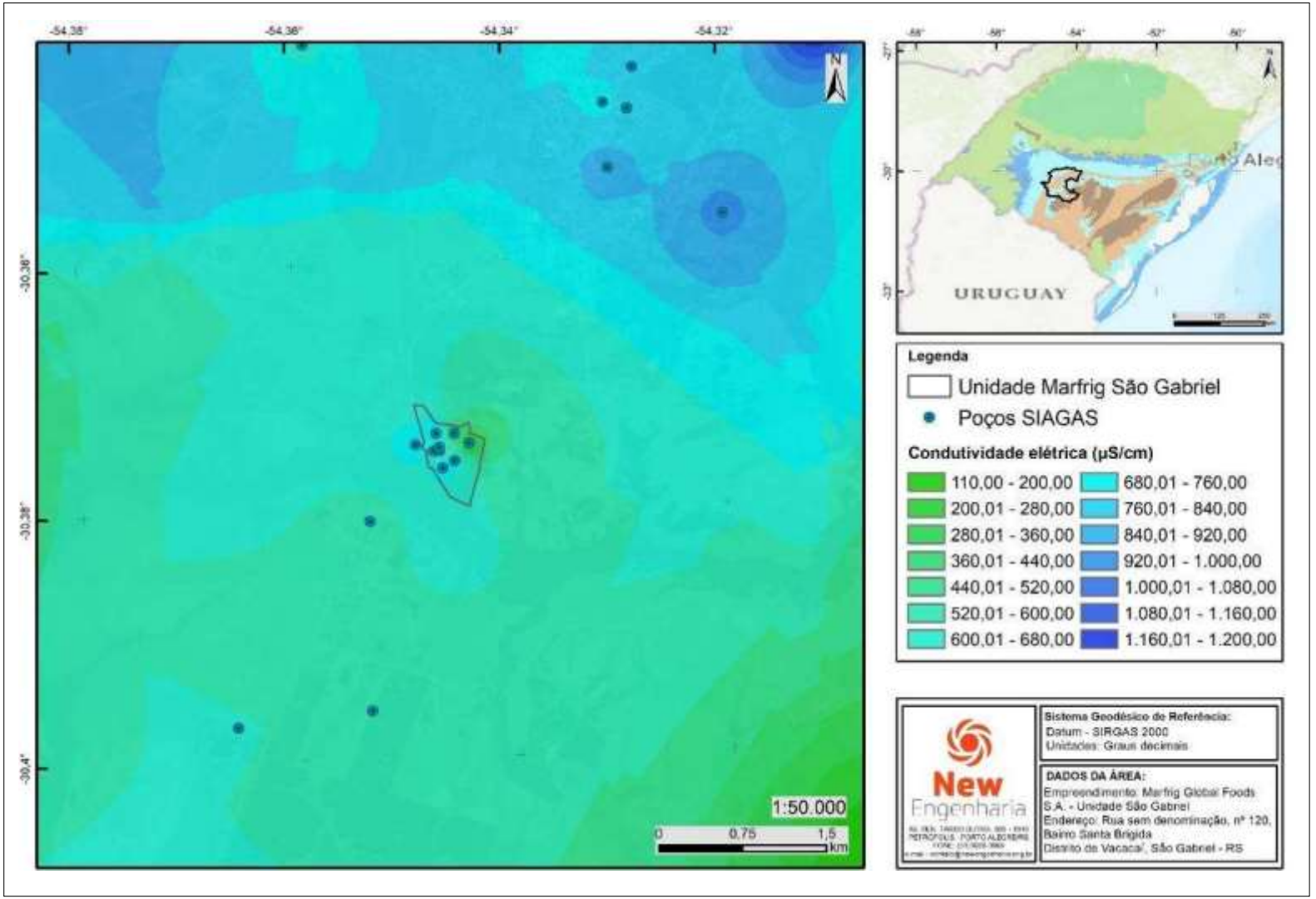
Fonte: Adaptado de SIAGAS (2020).

Figura 19 – Distribuição espacial dos valores de pH dos poços do SIAGAS



Fonte: Adaptado de SIAGAS (2020).

Figura 20 – Distribuição espacial dos valores de condutividade elétrica dos poços do SIAGAS



Fonte: Adaptado de SIAGAS (2020).

4.4.1.3 Captações subterrâneas existentes

Informação Confidencial

Poço	Bombeamento (h/dia)	Vazão outorgada (Portaria 907/2011)	
		m³/h	m³/dia
Informação Confidencial			

Fonte: Portaria DRH/SEMA nº 907/2011.

Tabela 9 – Dados litológicos dos poços outorgados conforme SIAGAS

Código SIAGAS	Prof. (m)	Entrada d'água (m)	Litologia
4300001540 (poço 3)	80	26 / 54	0-6 m solo, 6-19 m folhelho, 19-60 m arenito grosso, 60-80 m granito
4300018143 (poço 4)	80	31 / 54	0-6 m solo, 6-18 m folhelho, 18-60 m arenito grosso, 60-80 m granito
4300018144 (poço 2)	90	30 / 46	0-6 m solo argiloso, 6-14 m folhelho, 14-60 m arenito grosso, 60-90 m granito

4300018145 (poço 1)	95	42 / 48	0-6 m solo, 6-18 m folhelho, 18-60 m arenito grosso, 60-95 m granito

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2020).

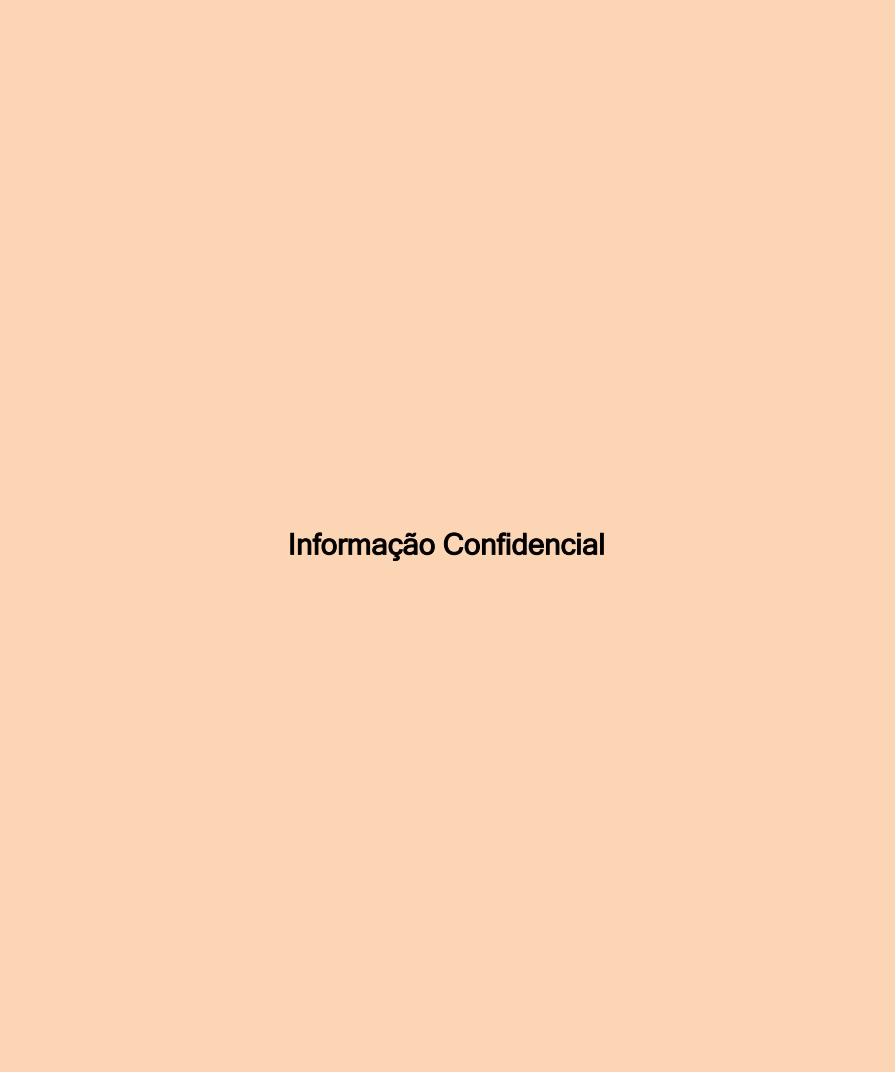
Tabela 10 – Características de produtividade dos poços conforme SIAGAS

Código SIAGAS	Prof. (m)	Entrada d'água (m)	NE (m)	ND (m)	Vazão SIAGAS (m^3/h)	Capacidade específica ($m^3/h/m$)
4300001540 (poço 3)	80	26 / 54	26,50	34,20	7,20	0,935
4300018143 (poço 4)	80	31 / 54	31,00	32,00	6,55	6,550
4300018144 (poço 2)	90	30 / 46	7,50	53,30	10,29	0,225
4300018145 (poço 1)	95	42 / 48	8,20	54,50	14,40	0,311

Fonte: Adaptado de SIAGAS (2020).

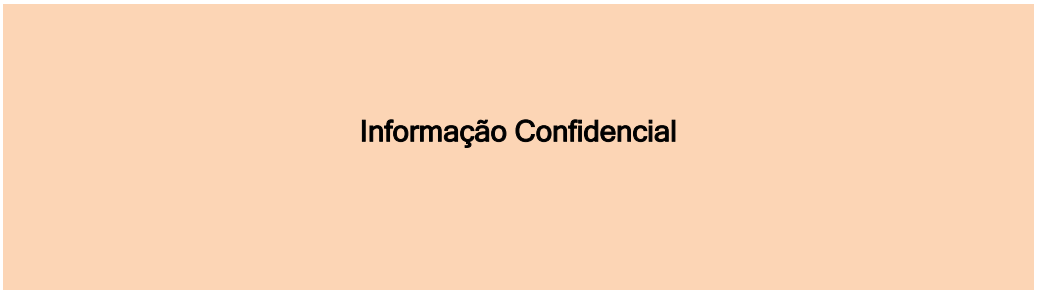
A Tabela 8 indica os volumes outorgados para captação. Os poços fornecem até Informação Confidencial . Os quatro poços operando dentro do limite outorgado forneceriam Informação Confidencial . Entretanto, conforme informado pelos técnicos da unidade,atualmente não é realizada captação em nenhum desses poços.

Figura 21 – Poços do empreendimento relacionados à Portaria de Outorga 907/2011



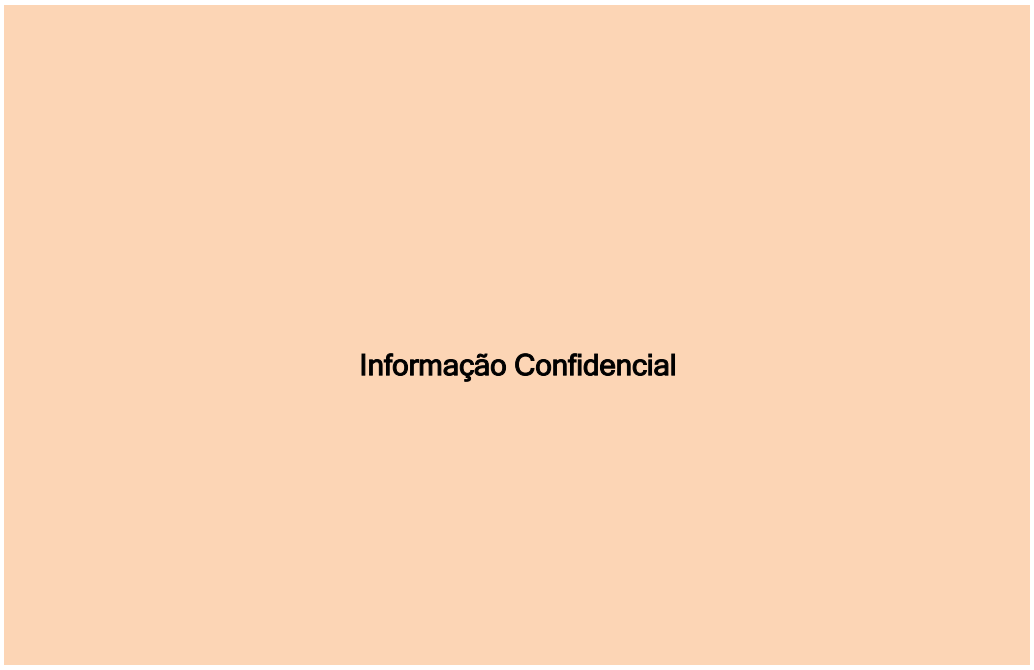
Fonte: New Engenharia (2020).

Figura 22 – Cercamento do Poço 01



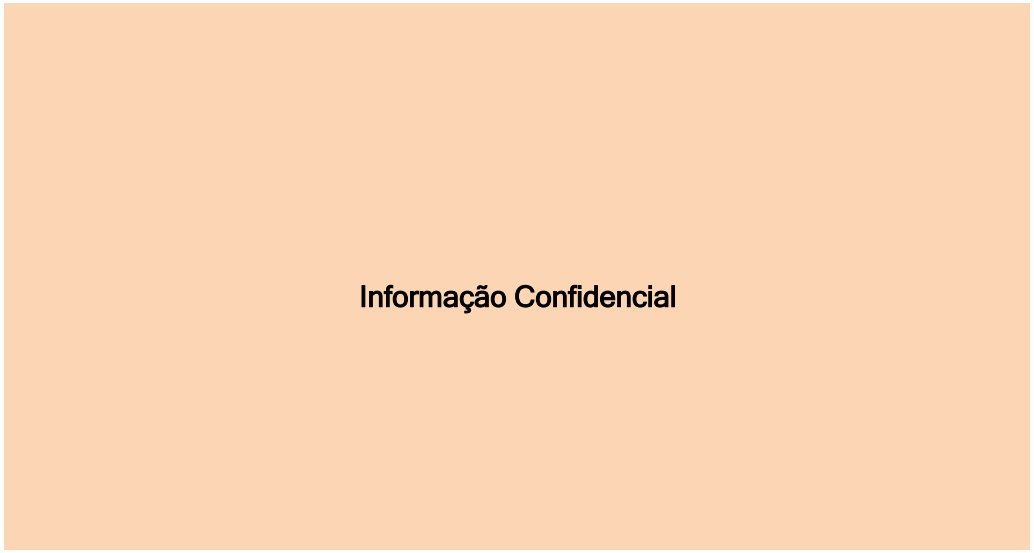
Fonte: New Engenharia (2020).

Figura 23 – Detalhe da estrutura do poço 01



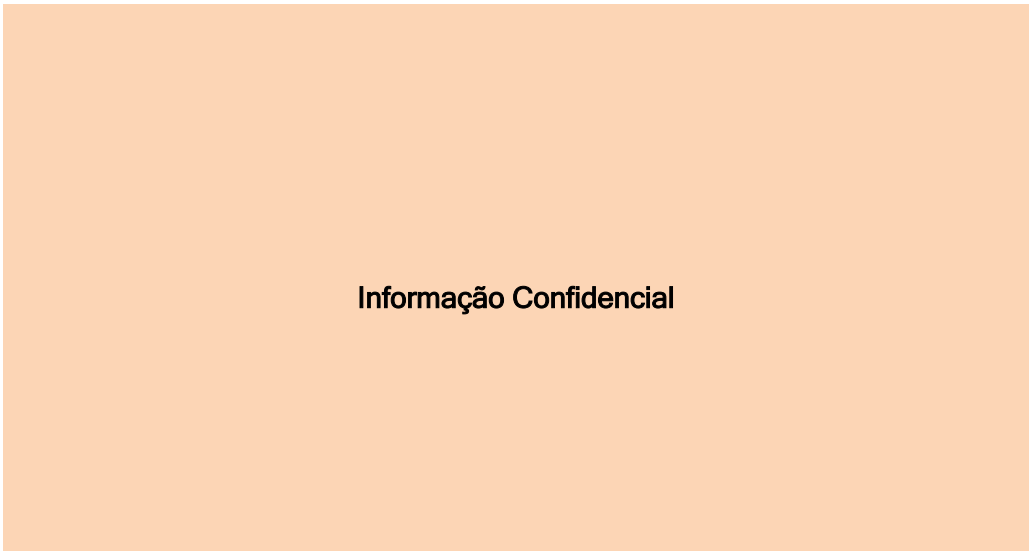
Fonte: New Engenharia (2020).

Figura 24 - Cercamento do poço 02



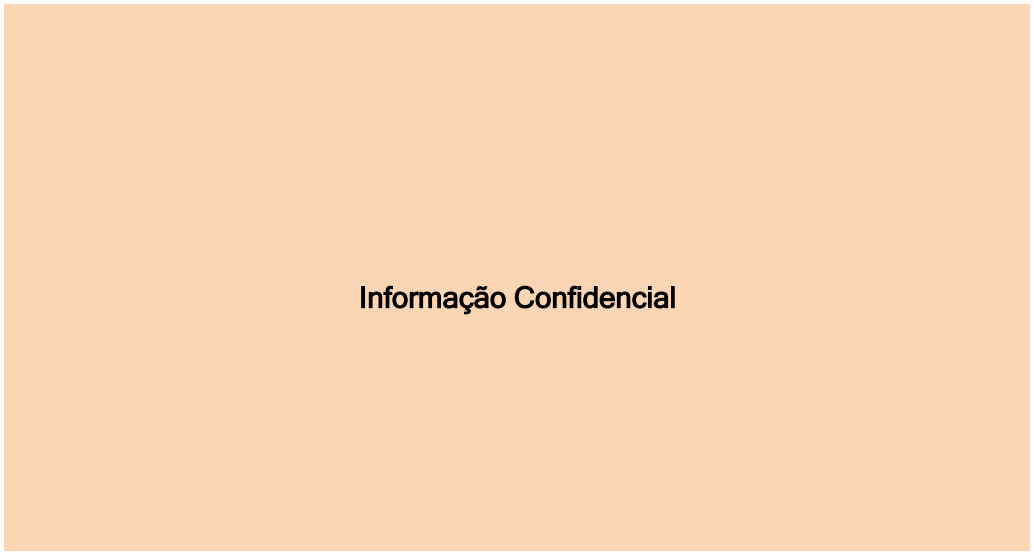
Fonte: New Engenharia (2020).

Figura 25 - Detalhe da estrutura do poço 02



Fonte: New Engenharia (2020).

Figura 26 - Cercamento do poço 03

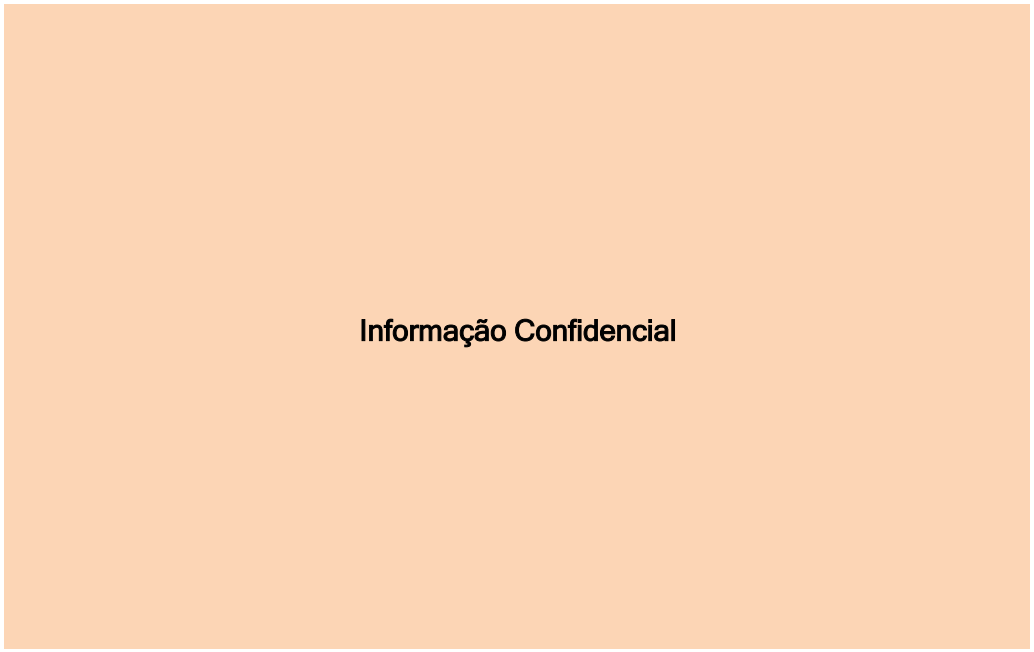


Fonte: New Engenharia (2020).

Figura 27 -Detalhe da estrutura do poço 03

Fonte: New Engenharia (2020).

Figura 28 – Detalhe da estrutura do poço 04



Fonte: New Engenharia (2020).

4.5 DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA

4.5.1 Potencial hidrogeológico

4.5.1.1 Características construtivas recomendadas para poços de captação

Os poços mais produtivos, considerando vazão e capacidade específica indicadas no SIAGAS, ultrapassam o Sistema Aquífero Palermo/Rio Bonito, e têm sua seção final nas rochas gnáissicas do Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II. Esses apresentam em geral profundidades entre 80 m e 120 m, e diâmetros de perfuração com seção de cimentação em 10" e seção para revestimento e/ou filtro em 6" a 8". Seções de filtro são indicadas apenas para as litologias arenosas, de maior potencial para água em termos de volume e qualidade. Para litologias de grão fino, como folhelhos, siltitos e argilitos, e/ou carbonosas, recomenda-se o selamento/cimentação para evitar possíveis alterações nos parâmetros físico-químicas da água.

Entretanto, estudos detalhados e direcionados à área do empreendimento devem ser realizados para o caso de se optar pela perfuração de novos poços. Deve-se considerar ainda uma distância de 500 m dos poços existentes para evitar interferências qualitativas e quantitativas durante seu regime de bombeamento. Áreas de cotas mais rebaixadas, conforme a bibliografia e os dados dos poços do empreendimento, tendem a apresentar vazões mais elevadas. O aprofundamento dos poços não determina maiores vazões, e pode comprometer a qualidade das águas, com águas mais mineralizadas que podem exigir tratamento adicional e maiores custos ao empreendedor.

4.5.2 Legislação relacionada – Vazões outorgáveis

A **Resolução nº 255/2017** da Secretaria de Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do estado do Rio Grande do Sul (SEMA-RS) estabelece que a vazão outorgável para as captações subterrâneas não deve causar interferência qualitativa e/ou quantitativa em poços tubulares próximos e pré-existentes, utilizados para abastecimento humano.

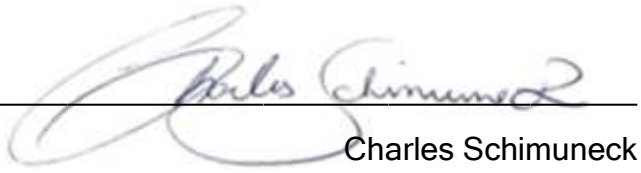
Quanto ao volume passível de outorga, não são estabelecidos volumes ou percentuais limites; o regime de bombeamento e a vazão explotada são autorizados pelo órgão ambiental levando em consideração a vazão de estabilização obtida no teste de bombeamento do poço, e na justificativa para demanda, ou seja, a demanda hídrica da finalidade de uso, quantificada a partir de valores tabelados que servem para orientar quanto ao volume a ser solicitado na outorga.

4.6 CONCLUSÕES

Informação Confidencial

5 EQUIPE TÉCNICA

5.1 COORDENAÇÃO



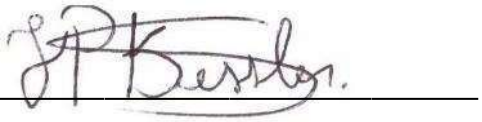
Charles Schimuneck

Engenheiro Ambiental - CREA/RS 153848

Lucas Sprendor Flores

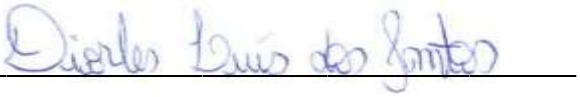
Engenheiro Ambiental e Sanitarista - CREA/SC nº 159384-0.

5.2 MEIO FÍSICO



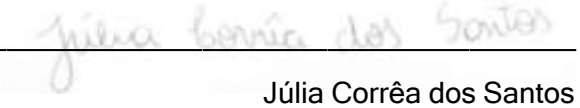
João Pedro Sandri Kessler

Geólogo - CREA/RS nº 233.891



Diorles Luís dos Santos

Geólogo - CREA/RS nº 245.549



Júlia Corrêa dos Santos

Estagiária de Geologia

Bruno Espinosa Tejadas

Engenheiro Ambiental - CREA/RS 242.409

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. Agência Nacional de Águas. HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: Acesso em: 17/11/2020.

BRASIL. Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005. Brasília, DF, 1997.

CHEMALE, JR., F. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (Eds.). Geologia do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2000. P. 13-52.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa dos Sistemas Aquíferos Escala 1:250.000. Porto Alegre: CPRM, 2005.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico do Rio Grande do Sul escala 1:750.000. 2008. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br>.

FEPAM. DIRETRIZ TÉCNICA Nº 04/2018

FEPAM. DIRETRIZ TÉCNICA Nº 05/2017

GOFFERMANN, M.; VIERO, A. P.; SILVA, E. B. Caracterização hidrogeológica e hidroquímica das águas subterrâneas da região de São Gabriel, RS. Pesquisas em Geociências, v. 42, n. 3, p. 239-261, Porto Alegre: UFRGS, set./dez. 2015.

HOLZ, M. Early Permian sequence stratigraphy and the palaeophysiographic Evolution of the Paraná Basin in southernmost Brazil. Journal of African Earth Sciences, v.29 (1), p. 51-61, 1999.

HOLZ, M., FRANÇA, A. B., SOUZA, P.A., IANNUZZI, R., ROHN, R. A stratigraphic chart of the Late Carboniferous/Permian succession of the eastern border of the Paraná Basin, Brazil, South America. Journal of South American Earth Sciences, v.29 (2), p. 381-399, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2020. São Gabriel, RS: panorama. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/sao-gabriel/panorama. Acesso em 10 ago. 2020.

KAUL, P. F. T. Geologia. In: MESQUITA, O. V. (coord.). Geografia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, v. 2, p. 29-54, 1990.

LOPES, R. C.; LAVINA, E. L.; SIGNORELLI, N. Fácies sedimentares e evolução paleoambiental do Supergrupo Tubarão na Borda Leste da Bacia do Paraná. Uma seção regional nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: Congresso

Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia, 1986. Anais... Goiânia: SBG, v.1, p. 206-218, 1986.

MILANI, E. J. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutoramento, 1997. 255 p.

MARASCHIN, A. J.; RAMOS, A. S. Breve abordagem histórica sobre o potencial energético dos folhelhos da Formação Irati (Bacia do Paraná) no estado do Rio Grande do Sul. Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, n. 25, p. 174-183, ago. 2015.

NOVAES, L. F. de; PRUSKI, F. F.; QUEIROZ, D. O. de; RODRIGUEZ, R. del G.; SILVA, D. D. da; RAMOS, M. M. Avaliação do desempenho de cinco metodologias de regionalização de vazões. Revista Brasileira de Recursos Hídricos,v. 12, n. 2, p. 51-61, 2007.

REIS, P. D. Caracterização, análise e modelagem tridimensional de corpos reservatórios em ambientes parálicos no intervalo Eo-permiano da Bacia do Paraná - região de São Gabriel, RS. Porto Alegre, 178p. Monografia (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

ROISENBERG, A.; MARQUES, J. C.; BACHI, F. A.; FRANTZ, J. C. Gravataí - SH.22-X-C-V, escala 1:100.000: Nota explicativa. Rio Grande do Sul: UFRGS/CPRM, 2007. 72 p.

RIO GRANDE DO SUL. Decreto n° 37.033, de 21 de novembro de 1996. Regulamenta a outorga do direito de uso da água no Estado do Rio Grande do Sul, prevista nos arts. 29, 30 e 31 da Lei n o 10.350, de 30 de dezembro de 1994. Diário Oficial da União, Brasília, 22 nov. 1996.

SCHNEIDER, R.L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Porto Alegre, 1974. Anais... Porto Alegre: SBG, 1974. v. 1, p.41-65.

SEMA – Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura/ FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Röessler. Base Cartográfica do Estado do Rio

Grande do Sul, escala 1:25.000 – BCRS25 versão 1.0 – 2018. Disponível em: <http://ww2.fepam.rs.gov.br/bcrs25/>. Acesso em 10 mai. 2020.

SEMA – Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. G060 - Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí – Vacacaí Mirim. Disponível em: https://www.sema.rs.gov.br/g060-bacia-hidrografica-dos-rios-vacacai-vacacai-mirim. Acesso em: 10 ago. 2020.

SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Disponível em: http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php. Acesso em: 29 jul. 2020.

WHITE, I. C. Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Rio de Janeiro: DNPM , 1988. Parte I, p.1-300 ; Parte II, p. 301-617. (ed. Fac-similar), 1908.

TUCCI, C. E. M. Regionalização de vazões. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2001.

XAVIER, P. L. A. Grandes tempestades da Formação Irati (Permiano Inferior) do Rio Grande do Sul: interpretações tafonômicas e faciológicas. Monografia (Graduação em Geologia) – Instituto de Geociências/UFRGS, Porto Alegre, 2014. 164 f.

New
Engenharia