



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA AMBIENTAL

Marcelo Luiz Emmendoerfer

**Avaliação da filtração em margem de lago como pré-tratamento para uma ETA convencional em operação: procedimentos para escolha do local, implantação e operação do sistema**

Florianópolis  
2020

Marcelo Luiz Emmendoerfer

**Avaliação da filtração em margem de lago como pré-tratamento para uma ETA convencional em operação: procedimentos para escolha do local, implantação e operação do sistema**

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Ambiental  
Orientador: Prof. Maurício Luiz Sens, Dr.  
Coorientador: Prof. Bruno Segalla Pizzolatti, Dr.

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Emmendoerfer, Marcelo Luiz

Avaliação da filtração em margem de lago como pré tratamento para uma estação de tratamento de água convencional em operação: procedimentos para escolha do local, implantação e operação do sistema / Marcelo Luiz Emmendoerfer ; orientador, Maurício Luiz Sens, coorientador, Bruno Segalla Pizzolatti, 2020.

329 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. Tratamento de água. 3. pré tratamento. 4. filtração em margem de lago. 5. estudo da vazão. I. Sens, Maurício Luiz . II. Pizzolatti, Bruno Segalla. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. IV. Título.

Marcelo Luiz Emmendoerfer

**Avaliação da filtração em margem de lago como pré-tratamento para uma ETA convencional em operação: procedimentos para escolha do local, implantação e operação do sistema**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Marcus Bruno Domingues Soares, Dr.  
Instituição UFSM

Prof. Ramon Lucas Dalsasso, Dr.  
Instituição UFSC

Renata Iza Mondardo, Dra.

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de doutor em Engenharia Ambiental.

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Maurício Luiz Sens, Dr.  
Orientador

Florianópolis, 2020



Este trabalho é dedicado à minha querida e amada esposa Aline, ao meu filho Arthur e aos meus queridos pais Luiz Carlos e Magarlete.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, força infinita, pela benção de estar vivo, com saúde, para poder realizar as coisas que desejo.

Agradeço à minha esposa Aline que desde o início me ajudou e ao final desta jornada trabalhou muito comigo para que este doutorado chegasse ao fim.

Agradeço ao Professor Dr. Maurício Sens, por este convívio de quase 20 anos, desde os primeiros anos de graduação, pela orientação e suporte durante este período.

Agradeço ao Professor Dr. Bruno Segalla Pizzolatti, coorientador nesta pesquisa, por todo o acompanhamento na realização deste trabalho, do início ao fim.

Agradeço ao Professor Dr. Marcus Bruno Domingues Soares, como membro coordenador da pesquisa elaborada junto à Corsan.

Agradeço à Corsan, Companhia Riograndense de Saneamento, especialmente ao Departamento de Inovação e Novos Negócios por aprovar o projeto de pesquisa que foi parte fundamental para conclusão desta tese, à Coordenação Operacional de Osório por prestar suporte técnico junto à estação de tratamento de água de Granja Vargas, Palmares do Sul e a todos os colegas que de alguma forma me ajudaram para realização deste doutorado.

À Mabel, agente de tratamento de água de Granja Vargas, que auxiliou toda a parte prática da pesquisa, cuidando muito bem do poço em filtração em margem.

Ao geólogo Maiquel, que pode passar um pouco do seu conhecimento em geologia para aprimoramento da perfuração do poço, informações sobre os poços em operação. Agradecer a estudante Fiorella que me ajudou a trabalhar nas informações dos poços.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA) e Departamento de Engenharia Sanitária (ENS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) pela estrutura oferecida para realização desta pesquisa.

Agradeço a banca examinadora por me avaliar e contribuir com sugestões para melhoria desta tese.

São tantas pessoas que de alguma forma eu sinto que devo agradecer, que possivelmente posso ter esquecido de mencionar o nome algum, mas sou profundamente grato a todos.

Minha gratidão é o reconhecimento do bem que de alguma forma chegou até mim, por meio de alguém.

**GRATIDÃO!**

No meio da dificuldade, encontra-se a oportunidade.

Albert Einstein

## RESUMO

Este trabalho buscou avaliar o desempenho da Filtração em Margem (FM) de lago como pré-tratamento para uma estação de tratamento de água convencional em operação, no intuito e melhorar a qualidade da água bruta superficial. Nesse sentido, a tese foi dividida em capítulos. No primeiro capítulo, avaliou-se a potencialidade da FM em 830 poços em funcionamento para abastecimento público no estado do Rio Grande do Sul, dentre eles, verificou-se 15 poços em potencial. E, no segundo capítulo, foram analisados, por meio de ensaios em coluna em laboratório, três sedimentos (açude dos Felicianos, rio Palmares e lago Capivari) em Palmares do Sul, litoral rio-grandense. Além disso, os sedimentos do açude dos Felicianos foram os que apresentaram menor quantidade de matéria orgânica (0,15%), maior diâmetro efetivo (0,19 mm), bem como melhor condutividade hidráulica, de  $4,19 \times 10^{-4}$  m/s. Ademais, o referido açude demonstrou boa remoção de turbidez (90%), cor aparente (72%), coliformes totais e termotolerantes (100%), por isso, este manancial é o mais indicado para a técnica. Também se verificou que o processo de colmatação química dos sedimentos em relação ao Fe, Mn e Ca ocorre nos primeiros 5 cm da coluna de filtração, para uma taxa de infiltração inicial de  $2,0 \times 10^{-5}$  m/s. Por fim, no terceiro capítulo foi descrita a implantação de um sistema piloto em escala real para abastecimento da ETA Granja Vargas (açude dos Felicianos), onde foi perfurado um poço de 6" com 30 m de profundidade e 4 piezômetros para o monitoramento do rebaixamento d'água subsuperficial. Sobre a qualidade da água em função da vazão aplicada (variada de 3,6 a 6,5 L/s), constatou-se que os melhores resultados são obtidos com no máximo 5,5 L/s. Desse modo, a FM conseguiu reduzir, na média de remoção, entre 60 e 97%, a turbidez; 100% de coliformes totais e termotolerantes e, entre 45 e 66%, a cor aparente. Por conseguinte, decorrente da qualidade da água filtrada em margem não se enquadrar nos padrões de potabilidade da legislação vigente, ainda foram realizados ensaios de tratabilidade a fim de avaliar a possibilidade dessa água ser potabilizada na estação de tratamento convencional existente. Com os ensaios de teste de jarros, com o tratamento da água filtrada em margem, chegou-se a uma dosagem ótima de 40 mg/L de hipoclorito de sódio como pré-oxidante, 80 mg/L de sulfato de alumínio férrico líquido e 0,2 mg/L de polieletrólito não iônico, a base de poliacrilamida, para os tempos de operação da ETA em funcionamento. A composição química do solo mostrou que o ferro e a matéria orgânica tendem a ter maior concentração nas camadas superiores. Assim, tais parâmetros foram os mais significativos nos ensaios de tratabilidade, no que diz respeito às dosagens de hipoclorito de sódio e sulfato de alumínio. Desse modo, esta tese conseguiu demonstrar que a Filtração em Margem de lago é adequada como pré-tratamento de água para a situação analisada.

**Palavras-chave:** tratamento de água, pré-tratamento, filtração em margem de lago, estudo da vazão, ensaios de tratabilidade.

## ABSTRACT

This work sought to evaluate the performance of the lake bank filtration (BF) as a pretreatment for a conventional water treatment plant in operation, to improve the quality of raw surface water. The thesis was segregated into chapters: the Chapter 1 studied the potential of BF in 830 wells operating for public supply in the state of Rio Grande do Sul and 15 potential wells were verified. Chapter 2 studied, through column tests in the laboratory scale, 3 sediments (Felicianos reservoir at Granja Vargas, Palmares river and Capivari lake) in city of Palmares do Sul, on the Rio Grande coast. The sediments of Felicianos reservoir were the ones with the lowest amount of organic matter (0.15%) and the highest granulometry (0.19 mm) as well as the best hydraulic performance with hydraulic conductivity of  $4.19 \times 10^{-4}$  m/s. It also demonstrated good removal of turbidity (90%), apparent color (72%), and total and thermotolerant coliforms (100%), proving to be the most appropriate place for the implementation of the BF technique. It was also found that the chemical clogging process of the sediments in relation to Fe, Mn and Ca occurs in the first 5 cm of the column, for an initial infiltration rate of  $2.0 \times 10^{-5}$  m/s. Finally, in chapter 3, the implementation of a full-scale pilot system for supplying of water treatment station Granja Vargas was described. A well of 6" with a depth of 30 m and 4 piezometers was drilled to monitor the subsurface water drop. The water quality as a function of the applied flow (varied from 3.6 to 6.5 L/s) demonstrated that the best were reached with a maximum of 5.5 L/s. BF managed to reduce turbidity between 60 and 97%, on average; 100% of total and thermotolerant coliforms and between 45 and 66%, on average, the apparent color. Even so, due to the quality of the filtered water in the margin does not fit within the potability standards of the current legislation, treatability tests were carried out in order to assess the possibility of this water being potable in the existing conventional treatment plant. With the jar test trials, with the treatment of filtered water in the margin, an optimum dosage of 40 mg/L of sodium hypochlorite as a pre-oxidant, 80 mg/L of liquid aluminum sulfate and 0.2 mg/L of non-ionic polyacrylamide-based for the operating times of the conventional station, in operation. The chemical composition of the soil showed that iron and organic matter in the soil tend to have a higher concentration in the upper layers. Such parameters were the most significant in the treatability tests, with respect to the dosages of sodium hypochlorite and aluminum sulfate. Finally, this thesis was able to demonstrate that lake bank filtration were suitable as a water pretreatment for this specific situation.

**Keywords:** water treatment, pretreatment, lake bank filtration, flow study, treatability tests.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama do funcionamento da filtração em margem.....	23
Figura 2 - Esquema representativo dos tipos de escoamento subsuperficial na Filtração em Margem.....	26
Figura 3 - Exemplo de curva granulométrica e escala padronizada .....	29
Figura 4 - Curvas granulométricas dos diferentes tipos de solo.....	30
Figura 5 - Esquema ilustrativo do poço coletor.....	38
Figura 6 - Esquema ilustrativo de poço tubular.....	39
Figura 7 - Esquema ilustrativo de poço escavado. ....	40
Figura 8 - Esquema ilustrativo da técnica de tubo sifão.....	41
Figura 9 - Localização dos pontos de estudo da técnica de FM no Estado de Santa Catarina, Brasil.....	54
Figura 10 - Localização dos pontos de estudo da técnica de BF no Estado de Pernambuco, Brasil.....	56
Figura 11 - Mapa de localização da área de estudo – Estado de Minas Gerais.....	57
Figura 12. Localização do município de Palmares do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul..	58
Figura 13. Localização do distrito de Granja Vargas na cidade de Palmares do Sul .....	59
Figura 14. Divisão das regionais da Corsan no Estado do Rio Grande do Sul. ....	61
Figura 15 - Demonstração dos poços com distância a um lago de até 60 m.....	67
Figura 16 - Localização dos poços cujo local apresenta alguma potencialidade para implantação da FM.....	68
Figura 17 - Localização dos pontos no município de Palmares do Sul para coleta de sedimentos .....	79
Figura 18 - Localização da amostra 1 – Açude dos Felicianos .....	80
Figura 19 - Localização da amostra 2 – Rio Palmares .....	80
Figura 20 - Localização do ponto de coleta da amostra 3 – Lago Capivari .....	80
Figura 21 - Sistema piloto de Filtração em Margem.....	83
Figura 22 - Detalhamento da câmara de nível constante.....	83
Figura 23 - Esquema do sistema de colunas com detalhamento da seção de filtração.....	84
Figura 24 - Detalhamento da altura viável da parte da coluna de filtração com sedimento....	85
Figura 25 - Casa de bombas e manancial de abastecimento do sistema piloto, em escala laboratorial.....	86
Figura 26 - Imagem dos sedimentos coletados nos pontos de interesse.....	90

Figura 27 - Distribuição granulométrica do sedimento coletado nas margens do Açude dos Felicianos.....	91
Figura 28 - Distribuição granulométrica do sedimento coletado às margens do Rio Palmares	91
Figura 29 - Distribuição granulométrica do sedimento coletado às margens do Lago Capivari. .....	92
Figura 30. Resultados teóricos de Condutividade hidráulica, obtidos com os sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos.....	94
Figura 31 - Variação de K(10) em relação ao tempo e profundidade do Lago Capivari (resultados médios das colunas 1, 2 e 3) .....	98
Figura 32 - Variação da taxa de infiltração do Lago Capivari nas colunas 1, 2 e 3 .....	100
Figura 33 - Monitoramento da qualidade da água, em termos de turbidez (à esquerda) e condutividade elétrica (à direita), utilizando o sedimento do Lago Capivari (valores médios das três colunas) .....	101
Figura 34 - Monitoramento da qualidade da água, em termos de cor aparente (à esquerda) e cor verdadeira (à direita), utilizando o sedimento do Lago Capivari (valores médios das três colunas).....	102
Figura 35 - Monitoramento da qualidade da água, em termos de oxigênio dissolvido (à esquerda) e pH (à direita), utilizando o sedimento do Lago Capivari (valores médios das três colunas).....	102
Figura 36 - Monitoramento da qualidade da água, com relação a Coliforme totais utilizando o sedimento do Lago Capivari (valores médios das três colunas).....	103
Figura 37 - Monitoramento da qualidade da água, com relação a <i>E.Coli</i> , utilizando o sedimento do Lago Capivari (valores médios das três colunas).....	103
Figura 38 - Variação de K(10) em relação ao tempo e profundidade do Rio Palmares (resultados médios das colunas 1, 2 e 3) .....	107
Figura 39 - Variação da taxa de infiltração do Rio Palmares nas colunas 1, 2 e 3.....	109
Figura 40 - Monitoramento da qualidade da água, em termos de turbidez e condutividade elétrica, utilizando o sedimento do Rio Palmares (valores médios das três colunas). .....	110
Figura 41 - Monitoramento qualidade da água, em termos de cor aparente e verdadeira, utilizando o sedimento do Rio Palmares (valores médios das três colunas). .....	111
Figura 42 - Monitoramento qualidade da água, em termos de oxigênio dissolvido e pH, utilizando o sedimento do Rio Palmares (valores médios das três colunas). .....	111

Figura 43 - Monitoramento da qualidade da água, com relação aos Coliformes totais utilizando o sedimento do Rio Palmares (valores médios das três colunas).....	112
Figura 44 - Monitoramento da qualidade da água, com relação a <i>E. Coli</i> utilizando o sedimento do Rio Palmares (valores médios das três colunas). .....	112
Figura 45 - Variação de K(10) em relação ao tempo e profundidade do Açude dos Felicianos (resultados médios das colunas 1, 2 e 3) .....	116
Figura 46 - Comparação dos valores de K(10) <sub>inicial</sub> e K(10) <sub>final</sub> obtidos dos 3 sedimentos estudados .....	117
Figura 47 - Variação da taxa de filtração do Açude dos Felicianos nas colunas 1, 2 e 3.....	118
Figura 48 - Taxa de filtração inicial, no 2º dia de monitoramento e final com os sedimentos dos 3 locais .....	119
Figura 49 - Monitoramento qualidade da água, em termos de turbidez (à esquerda) e condutividade elétrica (à direita), utilizando o sedimento do Açude dos Felicianos (valores médios das três colunas).....	120
Figura 50 - Monitoramento qualidade da água, em termos de cor aparente (à esquerda) e verdadeira (à direita), utilizando o sedimento do Açude dos Felicianos (valores médios das três colunas).....	120
Figura 51 - Monitoramento qualidade da água, em termos de oxigênio dissolvido (à esquerda) e pH (à direita), utilizando o sedimento do Açude dos Felicianos (valores médios das três colunas).....	121
Figura 52 - Monitoramento da qualidade da água, com relação aos Coliformes totais utilizando os sedimentos do Açude dos Felicianos (valores médios das três colunas).....	122
Figura 53 - Monitoramento da qualidade da água, com relação a <i>E. Coli</i> , utilizando o sedimento do Açude dos Felicianos (valores médios das três colunas) .....	122
Figura 54 - Comparação dos resultados de turbidez e condutividade elétrica na AB e na AF nas colunas com os sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos....	125
Figura 55 - Comparação dos resultados de temperatura, oxigênio dissolvido e pH na AB e na AF nas colunas com os sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos .....	126
Figura 56 - Comparação dos resultados de cor aparente e cor verdadeira na AB e na AF nas colunas com os sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos.....	126
Figura 57 - Comparação dos resultados de coliformes totais AB e na AF nas colunas com os sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos.....	127



Figura 58 - Comparação dos resultados de <i>E. Coli</i> na AB e na AF nas colunas com os sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos.....	127
Figura 59 - Concentração de Ferro nas colunas de filtração preenchida com sedimento do Açude dos Felicianos.....	128
Figura 60 - Concentração de Manganês nas colunas de filtração preenchida com sedimento do Açude dos Felicianos.....	128
Figura 61 - Concentração de Cálcio nas colunas de filtração preenchida com sedimento do Açude dos Felicianos.....	129
Figura 62 - Localização do município de Palmares do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul. ....	133
Figura 63 - Localização do distrito de Granja Vargas na cidade de Palmares do Sul.....	134
Figura 64 - Imagem utilizando a ferramenta Google Earth Pro para demonstrar a localização exata da ETA Granja Vargas, Palmares do Sul.....	136
Figura 65 - ETA Granja Vargas, Palmares do Sul, estado do Rio Grande do Sul - Corsan...	136
Figura 66 - Perfil da perfuração do poço de produção .....	138
Figura 67 - Esquema demonstrando a localização do poço de produção e piezômetros com relação ao manancial – vista em planta (à esquerda) e imagem local indicando os mesmos.	139
Figura 68 - Perfuração do poço de produção, à direita e imagem de um piezômetro (à esquerda).....	139
Figura 75 - Coleta de amostras do perfil do poço e piezômetros para análise granulométrica e de teor de material orgânico .....	140
Figura 70. Instalação hidráulico-mecânica e elétrica do poço de produção. ....	140
Figura 71 - Conjunto de medidores eletrônicos ( <i>baralogger e leveloggers</i> ) .....	141
Figura 72 - Instalação dos medidores de nível eletrônico no piezômetro .....	141
Figura 73 - Marco M145-001 de concreto tronco-piramidal e sua respectiva plaqueta.....	144
Figura 74 - Marco M145-002 de concreto tronco-piramidal e sua respectiva plaqueta.....	144
Figura 75 - Sistema de interpolação de ondulação geoidal para os marcos M145-001 e M145-002 .....	145
Figura 76 - Planta Topográfica da situação .....	147
Figura 77 - Esquema ilustrativo da instalação do medidor de nível e barômetro dentro do poço. ....	148
Figura 78 - Equipamento de teste de jarros da ETA Granja Vargas .....	151

Figura 79 - Variação do parâmetro turbidez da água bruta do Açude dos Felicianos nos meses de novembro/2016, agosto de 2017 e agosto de 2018.....	153
Figura 80 - Composição do entorno do poço de produção com a profundidade.....	154
Figura 81 - Matéria orgânica (MO) no solo do entorno do poço de produção com a profundidade.....	155
Figura 82 - Perfil geológico do poço de produção ETA - Granja Vargas.....	155
Figura 83 - Comparação da composição do solo do entorno do poço de um perfil produção e dos piezômetros 1, 2, 3 e 4 (valores médios em toda sua extensão) .....	157
Figura 84 - Rebaixamento do poço e dos piezômetros para $Q = 3,6\text{L/s}$ .....	159
Figura 85 - Encrustamento com ferro oxidado (ferrugem) no medidor de nível do P2 .....	160
Figura 86 - Rebaixamento do poço e piezômetros para $Q = 4,5\text{ L/s}$ .....	161
Figura 87- Rebaixamento do poço e dos piezômetros para $Q = 5,5\text{ L/s}$ .....	163
Figura 88 - Rebaixamento do poço e dos piezômetros para $Q = 6,0\text{ L/s}$ .....	165
Figura 89 - Rebaixamento do poço e dos piezômetros para $Q = 6,5\text{ L/s}$ .....	167
Figura 90 - Variação do rebaixamento absoluto do poço e dos piezômetros com a vazão aplicada.....	168
Figura 91 - Encrustamento com ferro oxidado (ferrugem) no medidor – início (à esquerda) e após meses de medição (à direita) .....	169
Figura 92 - Comportamento do parâmetro turbidez na AB e AFM em função da variação da vazão.....	181
Figura 93 - Comportamento do parâmetro Fluoretos na AFM em função da variação da vazão .....	182
Figura 94 - Comportamento do parâmetro Cloretos na AFM em função da variação da vazão .....	183
Figura 95 - Comportamento do parâmetro Cor aparente na AB e AFM em função da variação da vazão .....	184
Figura 96 - Comportamento do parâmetro Cor verdadeira na AB e AFM em função da variação da vazão.....	185
Figura 97 - Cartelas de Colilert - água bruta (à esquerda) e água filtrada em margem (à direita) .....	186
Figura 98 - Comportamento do parâmetro C. Fecais ( <i>E.Coli</i> ) na AB e AFM em função da variação da vazão.....	187
Figura 99 - Comportamento do parâmetro Coliformes Totais na AB e AFM em função da variação da vazão.....	187

Figura 100 - Comportamento dos parâmetros pH (à esquerda) e Temperatura (à direita) na AB e AFM com a variação da vazão .....	188
Figura 101 - Comportamento do parâmetro Sólidos totais dissolvidos (STD) (à esquerda) e Condutividade elétrica (à direita) na AB e AFM com a variação da vazão .....	189
Figura 102 - Comportamento dos parâmetros Dureza (à esquerda) e Alcalinidade (à direita) na AB e AFM com a variação da vazão .....	190
Figura 103 - Comportamento dos parâmetros Oxigênio dissolvido - OD (à esquerda) e Carbono orgânico total - COT (à direita) na AB e AFM com a variação da vazão .....	190
Figura 104 - Comportamento dos parâmetros Manganês (à esquerda) e Ferro (à direita) na AB e AFM com a variação da vazão .....	192
Figura 105 - Comportamento do parâmetro Alumínio na AB e AFM com a variação da vazão .....	192
Figura 106 - Encrustação de ferro oxidado (ferrugem) no medidor de nível eletrônico no poço .....	194
Figura 107 - Realização do expurgo no poço de produção, antes (à esquerda) e depois (à direita) do procedimento.....	194
Figura 108 - Fluxograma do Sistema de Tratamento de Água Convencional (ETA Granja Vargas) .....	195
Figura 109 - Imagem dos filtros (2, à esquerda) e do floco-decantador (1, à direita).....	196
Figura 110 - Imagens dos processos de tratamento em um ensaio de tratabilidade, após FM .....	199
Figura 111 - Fluxograma do novo Tratamento de Água para ETA Granja Vargas .....	201

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação das águas doces quanto a seu uso no abastecimento de água para consumo humano e padrões mínimos de qualidade necessários. ....	21
Tabela 2 - Classificação das partículas do solo .....	28
Tabela 3 - Relação típica da condutividade hidráulica conforme o tipo de solo.....	35
Tabela 4 - Listagem dos poços em operação com proximidade à manancial.....	63
Tabela 5 - Listagem dos poços em operação com potencial para filtração em margem de lago. ....	68
Tabela 6 - Vazão específica dos poços com potencial para filtração em margem de lago .....	71
Tabela 7 - Dados utilizados para realização do ensaio de peneiramento dos sedimentos.....	81
Tabela 8 - Dados utilizados para cálculo da matéria orgânica nos sedimentos dos 3 locais de estudo.....	82
Tabela 9 - Parâmetros de qualidade da água determinados, métodos e equipamentos utilizados .....	88
Tabela 10 - Porcentagem de MO nos sedimentos dos pontos de coleta.....	90
Tabela 12 - Resultados granulométricos dos sedimentos coletados em 3 pontos de Palmares do Sul.....	92
Tabela 13 - Valores de condutividade hidráulica calculados .....	93
Tabela 14 - Caracterização física, química e biológica da água bruta utilizada nos estudos de filtração nas colunas .....	95
Tabela 15 - Média dos resultados de K(10) em cada coluna e nas 3 profundidades obtidas com os sedimentos do Lago Capivari.....	97
Tabela 16 - Variação da condutividade hidráulica K(10) inicial com relação aos dias 1, 2 e 7 de monitoramento, nas 3 profundidades da coluna com os sedimentos do Lago Capivari.....	99
Tabela 16 - Monitoramento dos parâmetros de qualidade da água após a filtração utilizando os sedimentos do Lago Capivari (valores médios das três colunas) .....	104
Tabela 17 - Média dos resultados de K(10) em cada coluna e nas 3 profundidades obtidas com os sedimentos do Rio Palmares .....	106
Tabela 18 - Variação da condutividade hidráulica K(10) inicial com relação aos dias 1 e 7 de monitoramento, nas 3 profundidades das colunas com os sedimentos do Rio Palmares .....	108
Tabela 19 - Monitoramento dos parâmetros de qualidade da água após a filtração utilizando os sedimentos do Rio Palmares (valores médios das três colunas).....	113

Tabela 20 - Média dos resultados de K(10) em cada coluna e nas 3 profundidades obtidas com os sedimentos do Açude dos Felicianos.....	115
Tabela 21 - Comparação dos resultados de condutividade hidráulica teórica e experimental, com a composição e D10 dos sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos.....	115
Tabela 22 - Variação da condutividade hidráulica - K(10) inicial com relação aos dias 2 e 7 de monitoramento, nas 3 profundidades das colunas, com os sedimentos do Açude dos Felicianos .....	117
Tabela 23 - Monitoramento dos parâmetros de qualidade da água após a filtração utilizando os sedimentos de Granja Vargas (valores médios das três colunas) .....	123
Tabela 24 - Resultados médios de alguns parâmetros de monitoramento da qualidade da água utilizando os sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos.....	124
Tabela 25 - Dados de frequência versus vazão da bomba instalada no poço.....	142
Tabela 26 - Resumo das Altitudes.....	145
Tabela 27 - Cotas do nível do solo dos piezômetros e poço .....	146
Tabela 28 - Parâmetros analisados ao longo do estudo da vazão.....	149
Tabela 29 - Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água bruta ETA Granja Vargas (2016 a 2018).....	153
Tabela 30 - Valores médios de condutividade hidráulica (K), diâmetro efetivo (D <sub>10</sub> ) Coeficiente de uniformidade (Cu) e Coeficiente de Curvatura (Cc) obtidos com sedimentos do entorno do poço de produção e os 4 piezômetros (P1, P2, P3 e P4) .....	158
Tabela 31 - Dados do poço e piezômetros para vazão de 3,6 L/s: níveis médios, estático e dinâmico e rebaixamento absoluto.....	158
Tabela 32 - Dados do poço e piezômetros para vazão de 4,5 L/s: níveis médios estático e dinâmico e rebaixamento absoluto .....	161
Tabela 33 - Dados do poço e piezômetros para vazão de 5,5L/s: níveis médios estático e dinâmico e rebaixamento absoluto .....	162
Tabela 34 - Dados do poço e piezômetros para vazão de 6,0 L/s: níveis médios estático e dinâmico e rebaixamento absoluto .....	164
Tabela 35 - Dados do poço e piezômetros para vazão de 6,5 L/s: níveis médios estático e dinâmico e rebaixamento absoluto .....	166
Tabela 36 - Resumo do rebaixamento absoluto do poço e dos piezômetros com a variação da vazão.....	167

Tabela 37 - Análise preliminar da água do poço realizada pela Corsan.....	170
Tabela 39 - Monitoramento da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) na vazão de 3,6 L/s.....	172
Tabela 39 - Monitoramento da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) na vazão de 4,5 L/s.....	173
Tabela 41 - Monitoramento da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) na vazão de 5,5 L/s.....	175
Tabela 41 - Monitoramento da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) na vazão de 6,0 L/s.....	176
Tabela 42 - Monitoramento da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) na vazão de 6,5 L/s.....	177
Tabela 43 - Monitoramento da temperatura da água no manancial, poço de produção e piezômetros, nas diferentes vazões avaliadas.....	178
Tabela 44 - Resumo dos ensaios realizados no estudo de tratabilidade com AFM.....	197
Tabela 45 - Procedimento satisfatório na tratabilidade da água.....	199
Tabela 46 - Qualidade da água filtrada em margem (AFM) e tratada no teste de jarros .....	200

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**$\Delta h$**  Gradiente hidráulico

**A** Ausente

**AAS** Espectrometria de Absorção atômica, do inglês (Atomic Absorption Spectroscopy)

**AB** Água Bruta

**ABNT** Associação Brasileira de Normas Técnicas

**AFM** Água Filtrada em Margem

**$C_c$**  Coeficiente de curvatura

**$C_u$**  Coeficiente de uniformidade

**COD** Carbono orgânico dissolvido

**COMPESA** Companhia Pernambucana de Saneamento

**COP** Coordenadoria Operacional

**CORS AN** Companhia Riograndense de Saneamento

**COT** Carbono Orgânico total

**D10** Diâmetro abaixo do qual se encontram 10% em peso das partículas passantes ou diâmetro efetivo

**D30** Diâmetro abaixo do qual se encontram 30% em peso das partículas passantes.

**D60** Diâmetro abaixo do qual se encontram 60% em peso das partículas passantes

**DEAL** Departamento de Ensaios e Apoio Laboratorial

**DEXP** Diretoria e Expansão

**DGPPO** Departamento de Gestão e Perfuração de Poços

**ETA** Estação de Tratamento de Água

**FM** Filtração em Margem

**FML** Filtração em Margem de Lago

**HAAS** ácidos Haloacéticos

**K** Condutividade Hidráulica

**K10** Condutividade Hidráulica à temperatura de 10 °C

**L** altura da coluna do solo

**MO** Matéria Orgânica

**MON** Matéria Orgânica Natural

**NMP** Número Mais Provável

**ND** não detectado

**uT** Unidade de turbidez  
**OD** Oxigênio dissolvido  
**P1, P2, P3 e P4** Piezômetros 1, 2, 3 e 4  
**RBMC** Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo  
**RTK** *Real Time Kinematic*  
**SbN** Soluções baseadas na Natureza  
**STD** Sólidos totais dissolvidos  
**SUHID** Superintendência Funcional de Hidrogeologia  
**SURCEN** Superintendência Regional Central  
**SURFRO** Superintendência Regional da Fronteira  
**SURLIT** Superintendência Regional Litoral  
**SURMET** Superintendência Regional Metropolitana  
**SURMIS** Superintendência Regional das Missões  
**SURNE** Superintendência Regional Nordeste  
**SURPA** Superintendência Regional Pampa  
**SURSIN** Superintendência Regional dos Sinos  
**SURSUL** Superintendência Regional do Sul  
**THM** Trihalometanos  
**VMP** Valor máximo permitido



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	HIPÓTESES .....	17
1.2	OBJETIVOS .....	17
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
2.1	TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO .....	19
2.2	LEGISLAÇÃO VIGENTE E QUALIDADE DA ÁGUA POTÁVEL .....	20
2.3	FILTRAÇÃO EM MARGEM (FM): A TÉCNICA .....	21
<b>2.3.1</b>	<b>Considerações prévias para aplicação da FM.....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Fatores que influenciam a técnica de filtração em margem .....</b>	<b>25</b>
2.3.2.1	<i>Tipos de escoamento subsuperficial .....</i>	25
2.3.2.2	<i>Solo e margens.....</i>	27
2.3.2.2.1	Propriedades físicas do solo .....	27
2.3.2.2.2	Composição química do solo.....	32
2.3.2.2.3	Condutividade Hidráulica.....	34
2.3.2.2.4	Taxa de Infiltração .....	37
<b>2.3.3</b>	<b>Construção dos poços .....</b>	<b>37</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Remoção de contaminantes inorgânicos e orgânicos.....</b>	<b>41</b>
<b>2.3.5</b>	<b>Vantagens da técnica de filtração em margem .....</b>	<b>43</b>
<b>2.3.6</b>	<b>Limitações da filtração em margem.....</b>	<b>44</b>
2.3.6.1	<i>Colmatação do meio filtrante .....</i>	44
<b>2.3.7</b>	<b>Condições para aplicação da FM .....</b>	<b>47</b>
<b>2.3.8</b>	<b>Filtração em margem de lago .....</b>	<b>48</b>
<b>2.3.9</b>	<b>Filtração em Margem: histórico no mundo .....</b>	<b>51</b>

2.3.10	<b>Filtração em Margem: histórico no Brasil .....</b>	<b>53</b>
2.3.10.1	<i>Palmares do Sul (RS), Granja Vargas.....</i>	<i>58</i>
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>60</b>
3.1	INTRODUÇÃO.....	60
3.2	OBJETIVO .....	61
<b>3.2.1</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>61</b>
3.3	METODOLOGIA.....	62
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
3.5	CONCLUSÕES .....	72
3.6	RECOMENDAÇÕES.....	73
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>74</b>
4.1	INTRODUÇÃO.....	74
4.2	OBJETIVO .....	77
<b>4.2.1</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>77</b>
4.3	METODOLOGIA.....	77
<b>4.3.1</b>	<b>Seleção do local de estudo e coleta de sedimentos.....</b>	<b>77</b>
4.4	CARACTERIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS COLETADOS.....	81
<b>4.4.1</b>	<b>Determinação da granulometria dos sedimentos.....</b>	<b>81</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Determinação da matéria orgânica dos sedimentos .....</b>	<b>82</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Montagem do sistema piloto em colunas .....</b>	<b>82</b>
<b>4.4.4</b>	<b>Determinação da Condutividade hidráulica e taxa de filtração.....</b>	<b>87</b>
<b>4.4.5</b>	<b>Caracterização da qualidade da água: parâmetros físicos, químicos e biológicos .....</b>	<b>88</b>
<b>4.4.6</b>	<b>Análise química dos sedimentos do açude dos Felicianos .....</b>	<b>89</b>
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	89
<b>4.5.1</b>	<b>Caracterização dos sedimentos coletados.....</b>	<b>89</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Determinação da Condutividade hidráulica .....</b>	<b>93</b>
<b>4.5.3</b>	<b>Caracterização da qualidade da água bruta .....</b>	<b>95</b>

<b>4.5.4</b>	<b>Estudos laboratoriais em colunas de filtração com os sedimentos do Lago Capivari .....</b>	<b>96</b>
4.5.4.1	<i>Parâmetros hidráulicos (condutividade hidráulica e taxa de infiltração).....</i>	96
4.5.4.2	<i>Parâmetros de qualidade de água.....</i>	100
4.5.4.3	<i>Estudos laboratoriais em colunas com os sedimentos do Rio Palmares .....</i>	106
4.5.4.3.1	Parâmetros hidráulicos (condutividade hidráulica e taxa de infiltração).....	106
4.5.4.3.2	Parâmetros de qualidade de água.....	109
4.5.4.4	<i>Estudos laboratoriais em colunas com os sedimentos do Açude dos Felicianos</i>	114
4.5.4.4.1	Parâmetros hidráulicos (condutividade hidráulica e taxa de infiltração).....	114
4.5.4.5	<i>Parâmetros de qualidade de água.....</i>	119
4.5.4.5.1	Colmatação química nas colunas com sedimentos do Lago dos Felicianos: avaliação dos metais Ferro, Manganês e Cálcio.....	128
4.6	CONCLUSÕES .....	130
4.7	RECOMENDAÇÕES.....	132
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>133</b>
5.1	INTRODUÇÃO .....	133
5.2	OBJETIVO .....	135
<b>5.2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>135</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>135</b>
5.3	METODOLOGIA.....	136
<b>5.3.1</b>	<b>Escolha do local para implantação do sistema piloto para FM.....</b>	<b>136</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Concepção do sistema piloto em escala real.....</b>	<b>137</b>
<b>5.3.3</b>	<b>Perfil Geológico Local .....</b>	<b>141</b>
<b>5.3.4</b>	<b>Vazão do poço com relação à frequência aplicada .....</b>	<b>142</b>
<b>5.3.5</b>	<b>Levantamento planialtimétrico da área de estudo .....</b>	<b>143</b>
<b>5.3.6</b>	<b>Estudo do fluxo da água subsuperficial.....</b>	<b>146</b>
<b>5.3.7</b>	<b>Rebaixamento do nível d'água no solo .....</b>	<b>148</b>

<b>5.3.8</b>	<b>Análises da qualidade da água bruta e filtrada em margem.....</b>	<b>149</b>
<b>5.3.9</b>	<b>Ensaio de tratabilidade com água filtrada em margem (AFM).....</b>	<b>150</b>
<b>5.4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>152</b>
<b>5.4.1</b>	<b>Escolha do local para implantação do sistema piloto para FM e caracterização da água do manancial.....</b>	<b>152</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Perfil Geológico Local .....</b>	<b>153</b>
<b>5.4.3</b>	<b>Rebaixamento do nível d'água no solo .....</b>	<b>158</b>
<i>5.4.3.1</i>	<i>Vazão de 3,6 L/s (30 Hz): .....</i>	<i>158</i>
<i>5.4.3.2</i>	<i>Vazão de 4,5 L/s (34 Hz): .....</i>	<i>160</i>
<i>5.4.3.3</i>	<i>Vazão de 5,5 L/s (37 Hz) .....</i>	<i>162</i>
<i>5.4.3.4</i>	<i>Vazão de 6,0 L/s (40 Hz) .....</i>	<i>164</i>
<i>5.4.3.5</i>	<i>Vazão de 6,5 L/s (43 Hz) .....</i>	<i>166</i>
<b>5.4.4</b>	<b>Qualidade da água filtrada em margem (AFM) em função da vazão de produção .....</b>	<b>170</b>
<i>5.4.4.1</i>	<i>Monitoramento da qualidade da água para vazão de 3,6 L/s e 83 dias de operação .....</i>	<i>171</i>
<i>5.4.4.2</i>	<i>Monitoramento da qualidade da água para vazão de 4,5 L/s e 21 dias de operação .....</i>	<i>173</i>
<i>5.4.4.3</i>	<i>Monitoramento da qualidade da água para vazão de 5,5 L/s e 21 dias de operação .....</i>	<i>174</i>
<i>5.4.4.4</i>	<i>Monitoramento da qualidade da água para vazão de 6,0L/s e 33 dias de operação .....</i>	<i>175</i>
<i>5.4.4.5</i>	<i>Monitoramento da qualidade da água para vazão de 6,5 L/s e 21 dias de operação .....</i>	<i>176</i>
<b>5.4.5</b>	<b>Avaliação da parcela de contribuição da FM .....</b>	<b>177</b>
<b>5.4.6</b>	<b>Avaliação dos parâmetros de qualidade da AFM frente às diferentes vazões aplicadas .....</b>	<b>179</b>
<i>5.4.6.1</i>	<i>Turbidez em função da vazão aplicada .....</i>	<i>180</i>
<i>5.4.6.2</i>	<i>Fluoretos em função da vazão aplicada.....</i>	<i>182</i>

5.4.6.3	<i>Cloretos em função da vazão aplicada.....</i>	183
5.4.6.4	<i>Cor aparente em função da vazão aplicada.....</i>	184
5.4.6.5	<i>Cor verdadeira em função da vazão aplicada.....</i>	185
5.4.6.6	<i>Coliformes totais e fecais (E.Coli) em função da vazão aplicada.....</i>	186
5.4.6.7	<i>Demais parâmetros físicos em função da vazão aplicada.....</i>	187
5.4.6.8	<i>Demais parâmetros químicos em função da vazão aplicada.....</i>	189
<b>5.4.7</b>	<b>Problemas diversos de operação do poço de produção.....</b>	<b>193</b>
<b>5.4.8</b>	<b>Ensaio de tratabilidade com água filtrada em margem simulando a estação de tratamento de água existente.....</b>	<b>195</b>
5.4	CONCLUSÕES.....	201
5.5	CONSIDERAÇÕES.....	202
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES FINAIS.....</b>	<b>203</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>205</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>206</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>216</b>
	<b>Apêndice A - Lista dos 830 em operação poços da Corsan, cidade de localização e superintendência a qual faz parte.....</b>	<b>216</b>
	<b>APÊNDICE B – Medição do rebaixamento do poço e piezômetros – Q=3,6 L/s.....</b>	<b>236</b>
	<b>APÊNDICE C – Medição do rebaixamento do poço e piezômetros – Q=4,5 L/s.....</b>	<b>238</b>
	<b>APÊNDICE D – Medição do rebaixamento do poço e piezômetros – Q=5,5 L/s.....</b>	<b>239</b>
	<b>APÊNDICE E – Medição do rebaixamento do poço e piezômetros – Q=6,0 L/s.....</b>	<b>241</b>
	<b>APÊNDICE F – Medição do rebaixamento do poço e piezômetros – Q=6,5 L/s.....</b>	<b>244</b>
	<b>APÊNDICE G – Análise da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) – Q = 3,6 L/s (f=30 Hz). .....</b>	<b>246</b>
	<b>APÊNDICE H – Análise da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) – Q = 4,5 L/s (f=34 Hz) .....</b>	<b>251</b>
	<b>APÊNDICE I – Análise da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) – Q = 5,5 L/s (f=37 Hz) .....</b>	<b>253</b>

<b>APÊNDICE J – Análise da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) – Q = 6,0 L/s (f=40 Hz) .....</b>	<b>254</b>
<b>APÊNDICE K– Análise da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) – Q = 6,5 L/s (f=43 Hz) .....</b>	<b>256</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>257</b>
<b>ANEXO A - Perfis Geológicos Construtivos Seleccionados .....</b>	<b>258</b>
<b>ANEXO B - Classificação granulométrica de solos.....</b>	<b>273</b>
<b>ANEXO C - Curva da Bomba EBARA BHS 512-5 fornecida pelo fabricante e tabela de informações de vazão e altura manométrica.....</b>	<b>274</b>
<b>ANEXO D - Perfil geológico dos piezômetros 1, 2, 3 e 4.....</b>	<b>275</b>
<b>ANEXO E – Teste de Vazão – DGPPO/CORSAN .....</b>	<b>279</b>
<b>ANEXO F – Coordenadas Georreferenciadas pelo equipamento RTK.....</b>	<b>280</b>
<b>ANEXO G – Artigo submetido à revista científica – Parte 1 .....</b>	<b>284</b>
<b>ANEXO H – Artigo submetido à revista científica – Parte 2 .....</b>	<b>305</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para a manutenção da vida. Com o crescimento populacional e a poluição de recursos hídricos, a água superficial de qualidade está se tornando cada vez mais escassa e isso vai de encontro à sua demanda, que tem aumentado significativamente e é importante lembrar que essa água precisa ser ofertada à população de forma permanente e com baixo custo.

Dentre os processos que vêm contribuindo para a escassez da água de qualidade, pode-se citar os desmatamentos, processos de erosão/assoreamento dos mananciais superficiais e os lançamentos de efluentes domésticos e industriais. Logo, a degradação da qualidade dos corpos d'água é notória e representa um problema maior quando os mesmos são utilizados como mananciais para abastecimento da população.

As águas superficiais, geralmente, necessitam passar por algum tipo de tratamento para serem consideradas potáveis. No Brasil, de acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde MS (2017), que estabelece padrões de potabilidade os quais visam assegurar a qualidade da água a ser utilizada para o consumo humano, a qualidade da água do manancial está diretamente relacionada à sua capacidade de tratabilidade, quanto melhor, mais simples e mais barato pode ser o tratamento da água para torná-la potável.

No entanto, para fins de tratamento, a variação brusca da qualidade da água, decorrente de variações climáticas (chuvas torrenciais, ventos fortes), pode não ser interessante. Isso é o que acontece na água bruta do Açude dos Felicianos, que abastece a Estação de Tratamento de Água (ETA) de Granja Vargas, em Palmares do Sul, região litorânea do estado do Rio Grande do Sul, a qual em alguns períodos no ano apresenta turbidez elevada e compromete o tratamento da água. Ainda, a referida ETA é do tipo convencional e utiliza a água do açude dos Felicianos para abastecer uma população de em torno de 3000 habitantes, por meio de uma estação compacta metálica. Nesse contexto, a Filtração em Margem poderá trazer uma água de melhor qualidade para o início do tratamento existente, o que reduz a turbidez e a cor, assim, adequando a água bruta para dentro das limitações do sistema.

O tratamento convencional de água para consumo humano consiste, comumente, em uma sequência de etapas que envolvem coagulação, floculação, decantação, filtração e cloração. Esse tipo de tratamento traz bons resultados, em termos técnico-operacionais,

quando operado de maneira adequada e com um manancial de qualidade compatível. Contudo, a implantação e a operação são de alto custo e demanda grandes áreas para construção, além do elevado consumo energético e de produtos químicos, dessa forma, é mais indicada para o meio urbano, com elevada densidade demográfica, para que a população possa arcar com todos os custos necessários ao bom funcionamento desse sistema.

A Filtração em Margem (FM) é uma técnica bastante antiga e utilizada no mundo, principalmente nos países do hemisfério norte com escassez de água, cuja eficiência vem sendo estudada nos mais diferentes cenários no Brasil há 17 anos. Tal técnica consiste no emprego de materiais naturais da própria margem e do fundo do manancial como meio filtrante e ocorre através do gradiente hidráulico positivo, natural ou induzido (através de bombeamento) em poços com conexão hidráulica, que são construídos próximos às margens do manancial superficial. Então, esse gradiente induz o fluxo de água através do solo, o qual remove ou atenua os contaminantes presentes na água superficial no percurso manancial-poço de produção.

A água captada é uma mistura da água do aquífero e da água superficial percolada pela margem (SENS *et al.*, 2006). Além da retenção física, uma série de outros fenômenos ocorre durante o escoamento da água em direção ao poço, uma vez que o solo da margem contém micro-organismos que podem atuar sobre certas substâncias (agrotóxicos, toxinas, matéria orgânica, entre outros), promovendo melhoria da qualidade da água. Desse modo, a FM age como, no mínimo, um pré-tratamento de baixo custo (desde que a água produzida pela FM seja de alta qualidade), o que pode atuar como único tratamento antes da desinfecção (MONDARDO, 2009).

De acordo com a literatura existente da área, os estudos no Brasil sobre FM iniciaram em 2003 na Lagoa do Peri (Florianópolis, Santa Catarina) e já somam mais de 50 trabalhos nestes 17 anos, em que se aplica a FM tanto em lago quanto em rio, com diferentes finalidades. O professor Maurício Luiz Sens é o pioneiro no estudo desta tecnologia no Brasil.

Nesse contexto, a tese foi estruturada em capítulos, a saber:

- O Capítulo 1 demonstra a investigação nos poços em funcionamento para abastecimento público no estado do Rio Grande do Sul, que a CORSAN detém, indicando localidades que tenham compatibilidade com a técnica a fim evidenciar a potencialidade da FML;

- O Capítulo 2 traz a discussão de ensaios laboratoriais realizados com amostras de solos de 3 localidades distintas do município de Palmares do Sul (3 diferentes tipos de solo),



para simular a FM por meio de colunas e auxiliar na escolha do local mais adequado para implantação do piloto de FM.

- O Capítulo 3 relata a execução do sistema piloto para FM em escala real no distrito de Granja Vargas, Palmares do Sul, no intuito de servir como pré-tratamento na estação de tratamento de água em operação que abastece essa localidade.

Destaca-se que a sequência dos capítulos segue um raciocínio de investigação científica do assunto no estado do Rio Grande do Sul, com o propósito de encontrar um local com potencialidade para implantação da tecnologia e que ao mesmo tempo seja um bom local para a execução da pesquisa. Por outro lado, cada capítulo traz, em sua estrutura, a respectiva metodologia, os resultados e as discussões de forma independente. Por fim, as conclusões foram fundamentadas, abrangendo o trabalho como um todo, a fim de transmitir uma ideia única ao leitor.

Em síntese, o presente trabalho buscou explorar a tecnologia de Filtração em Margem (FM) como pré-tratamento de água para consumo humano para utilização em uma estação de tratamento de água, que faz parte de um sistema de abastecimento existente e em operação, no estado do Rio Grande do Sul, sob responsabilidade da Corsan – Companhia Riograndense de Saneamento, além de investigar a potencialidade da FM em poços em funcionamento da própria companhia espalhados no estado.

## 1.1 HIPÓTESES

A utilização de dados de implantação e operação de poços de uma região constitui fonte de informações relevantes para seleção de áreas favoráveis a implantação da técnica da FML (Filtração em Margem de Lago).

A FML pode melhorar de maneira importante a qualidade da água para o posterior tratamento em uma ETA convencional.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Selecionar uma área com potencial para aplicação da FML e avaliar a utilização desta técnica como pré-tratamento em um sistema convencional de tratamento de água.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos foram fundamentados em todo trabalho realizado, a fim de transmitir uma ideia única ao leitor e são eles:

- Identificar áreas com potencial para FML em sistemas da Corsan e caracterizar essas áreas de acordo com a susceptibilidade;
- Caracterizar, por meio da análise de sedimentos e ensaios em colunas filtrantes, 3 áreas pré-selecionadas, identificando aspectos hidráulicos, hidrogeológicos e de qualidade da água produzida;
- Avaliar a implantação e a operação de um poço de FML, em termos do desempenho hidráulico e da qualidade da água produzida.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Historicamente, fatores estéticos da água exerciam grande influência sobre os consumidores e a água pura era aquela limpa, clara, sem gosto nem odor. Não havia uma associação da água com doenças, tampouco havia tecnologias para identificar microorganismos patogênicos na água. Contudo, com o crescimento populacional na Idade Média, a precariedade no sistema de distribuição de água e a ausência de coleta de esgoto efetiva levaram a população a experimentar endemias e proliferação de pestes (BRITO, 1943).

O primeiro documento orientativo de tratamento de água tem mais de 4000 anos e foi redigido na Índia. Esse documento orientava as pessoas a ferver a água ou expô-la ao sol, na sequência realizar a imersão de peças de cobre aquecidas, por diversas vezes, para posterior filtração e resfriamento em potes cerâmicos. Já o uso de alumínio, para remoção de sólidos suspensos, surgiu no Egito, por volta de 1500 a.C. (BAKER e TARAS, 1981). Todavia, apenas após a epidemia de cólera na Inglaterra em 1831, que a engenharia sanitária alavancou (BRITO, 1943) e, até o início do século XX, ainda não havia padrões de qualidade sanitária para a água potável.,

Nos Estados Unidos, em 1890, a *United States Public Health Service* (USPHS) recomendou e fomentou a padronização dos testes bacteriológicos, o que deu origem à primeira edição do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Nesse início, o tratamento da água tinha como objetivo apenas clarificar e remover organismos patogênicos, por meio da utilização das técnicas de coagulação, floculação, decantação e desinfecção. Com o tempo, o tratamento foi sendo aprimorado e etapas como flotação, filtração direta, filtração, em múltiplas fases, e o uso de novos desinfetantes foram incluídas (CEBALLOS *et al.*, 2009).

As Soluções baseadas na Natureza (SbN) são inspiradas e apoiadas pela natureza e utilizam, ou simulam, processos naturais no intuito de contribuir para o aperfeiçoamento da gestão da água. Dessa forma, as SbN podem envolver a conservação ou a reabilitação de ecossistemas naturais e/ou o desenvolvimento ou a criação de processos naturais em ecossistemas modificados ou artificiais (CONNOR e COATES, 2018). Diante desse novo conceito, a FM surgiu como uma possibilidade para tratamento, ou pré-tratamento de água, dentro dos conceitos de SbN.

## 2.2 LEGISLAÇÃO VIGENTE E QUALIDADE DA ÁGUA POTÁVEL

A água, naturalmente, contém muitos elementos e substâncias químicas. Todavia, as atividades antrópicas aumentam o nível desses elementos e muitas substâncias se inserem no meio aquático que são nocivas ao ser humano, assim tornam os mananciais com baixa ou nenhuma tratabilidade para o consumo humano. É importante frisar que as atividades agrícolas e industriais estão entre as maiores causadoras de poluição de mananciais (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Conforme define e estabelece o Ministério da Saúde, através do Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017 (MS, 2017), os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, bem como as responsabilidades referentes ao controle e à vigilância da qualidade da água. Segundo esse documento, a água potável é aquela destinada ao consumo humano cujos parâmetros microbianos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que, também, não ofereçam riscos à saúde. Ainda, a água potável deve ser isenta de propriedades organolépticas, isto é, com baixos valores de cor e turbidez e não deve conter micro-organismos patogênicos, tais como bactérias, vírus, protozoários, vermes e outros. Acerca dos padrões de ordem química, os mesmos estabelecem limites de substâncias nocivas ou tóxicas, como é o caso dos agrotóxicos e cianotoxinas.

O estado do Rio Grande do Sul, devido à sua produção agrícola diversificada e de grande relevância à sua economia, onde um número expressivo de agrotóxicos é utilizado, estabelece, por meio da Portaria 320/16 (PORTARIA, 2016), parâmetros adicionais de agrotóxicos ao padrão de potabilidade, no grupo das substâncias químicas para o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, previstos no Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 5.

Quanto à classificação dos corpos hídricos superficiais, frente a sua utilização para tratamento e abastecimento de água para consumo humano, deve-se observar as diretrizes ambientais para seu enquadramento na Resolução do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), Nº 357/2005.

As águas, destinadas ao abastecimento para consumo humano, são classificadas como águas doces especiais, Classe I, Classe II ou classe III. O CONAMA 357 traz condições mínimas a serem atendidas para enquadrá-las como próprias para consumo humano e o tipo de tratamento necessário para tal. Além disso, as classes especiais podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano apenas com desinfecção. Já as Classes I, II e III

necessitam atender alguns padrões de qualidade mínimos e o tratamento simplificado, convencional ou avançado, conforme Tabela 1 (CONAMA, 2005).

Tabela 1- Classificação das águas doces quanto a seu uso no abastecimento de água para consumo humano e padrões mínimos de qualidade necessários.

Classificação águas doces	Destinação	OD (mg/L O <sub>2</sub> )	Cor verdadeira (uH)	Turbidez	pH	Ecoli NMP/100 mL)
Classe I	Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado	> 6	x	< 40	6 a 9	< 200
Classe II	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;	> 5	< 75	< 100	6 a 9	< 1000
Classe III	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;	> 4	< 75	< 100	6 a 9	< 1000

Legenda: x – não há determinação de limite para este parâmetro.

Fonte: (CONAMA, 2005).

### 2.3 FILTRAÇÃO EM MARGEM (FM): A TÉCNICA

A FM consiste no emprego de materiais naturais da própria margem e do fundo do manancial como meio filtrante. Aliás, isso ocorre por meio do gradiente hidráulico, natural ou artificial, através de bombeamento em poços, com conexão hidráulica, construídos próximos às margens do manancial superficial. Ainda, esse gradiente induz o fluxo de água por entre o solo, o qual remove os contaminantes presentes na água superficial no percurso manancial-poço de produção (SENS *et al.*, 2006). Então, o tempo que o contaminante fica, no meio desses materiais, em contato com os micro-organismos proporciona a degradação ou a remoção por adsorção do mesmo.

Para isso, poços de captação são construídos em suas margens, que criam artificialmente, ou maximizam, através do bombeamento, uma diferença de nível entre o manancial e o lençol freático, assim induz o escoamento da água em direção ao poço. A partir disso, os contaminantes, ou parte significativa deles, presentes na água superficial são removidos nesse trajeto (SENS *et al.*, 2006).

A água que chega ao poço é uma mistura da água oriunda do manancial e do lençol freático, sendo que a proporção dessa mistura dependerá da distância do poço até a margem, de suas características, da vazão bombeada e das condições hidrogeológicas, hidroquímicas e

hidrobiológicas locais (DILLON *et al.*, 2002; RAY e GRISCHEK, 2009). Logo, a proporção de água filtrada em margem e captada dos poços depende de uma série de fatores, o que inclui a espessura e a permeabilidade do fundo do manancial, a viscosidade da água, a elevação do manancial e as taxas de bombeamento (SCHUBERT, 2006).

A água superficial é dinâmica, seja pelo seu fluxo natural, seja pela evaporação, absorção por vegetais, infiltração no solo, etc. Nesse sentido, todos esses processos são altamente impactados pelas interações junto ao meio ambiente, por isso, pode provocar uma grande variação em sua qualidade e na quantidade de água disponível. Também existe interação entre a água superficial e a água subterrânea: quando o rio/lago inunda, a água se armazena nas margens e nas planícies de inundação e, à medida que o nível do rio diminui, a água lentamente é drenada das margens para o manancial. Então, esse é um processo de filtração natural (DALAI e RAMAKAR, 2014).

O modo pelo qual a água se move no solo é um fator de relevância na técnica. Esse movimento depende basicamente de três forças que agem sobre ela (MONDARDO, 2009):

1. Adsorção, que retém uma fina película de água em volta das partículas do solo por atração molecular;
2. Capilaridade, que retém ou move a água em pequenas aberturas, como resultado da tensão superficial e;
3. Gravidade, que move a água através dos poros maiores, por diferença de carga ou quando existe um gradiente hidráulico.

Destaca-se que a resultante dessas forças depende, em parte, da quantidade de umidade presente em relação ao espaço livre do material poroso (DILLON *et al.*, 2002)

Uma série de outros fenômenos ocorre durante o escoamento da água em direção ao poço, uma vez que o solo da margem contém micro-organismos os quais podem atuar sobre certas substâncias (agrotóxicos, toxinas, matéria orgânica, entre outros), o que promove a melhoria da qualidade da água. Sendo assim, a FM age como um pré-tratamento de baixo custo (desde que a água produzida pela FM seja de alta qualidade), na produção de água de abastecimento público, dessa forma, pode atuar como único tratamento antes da desinfecção (MONDARDO, 2009).

Durante o processo de FM, a água é submetida a uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos tais como filtração, diluição, sorção e biodegradação, que melhoram significativamente a qualidade da água bruta (SINGH *et al.*, 2010). Também são

conhecidos outros processos, tais como reações redox e precipitação/dissolução (ESQUIVEL *et al.*, 2012), conforme Figura 1.

Alguns processos biogeoquímicos também acontecem, desde a água superficial no rio até a água produzida no poço após FM (STUYFZAND *et al.*, 2006):

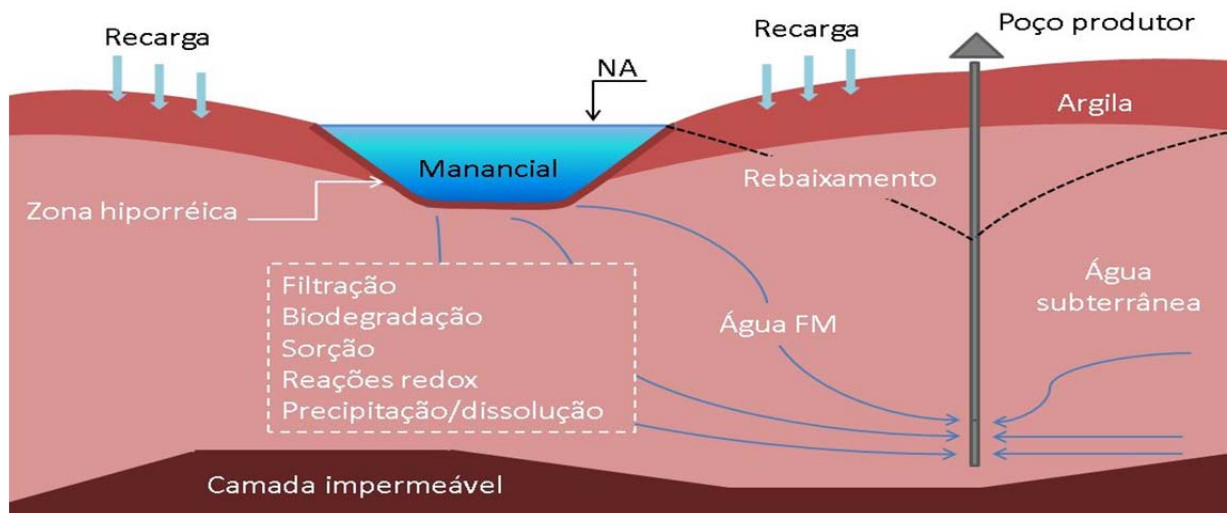
- Na água superficial, ocorre a mistura com a água da chuva, evaporação, absorção de nutrientes, redução da dureza biogênica, volatilização, fotólise e biodegradação;

- Na interface rio-aquífero ocorre a filtração, entradas de  $O_2$  e  $CO_2$  adicionais, mineralização da matéria orgânica, dissolução do carbonato de cálcio, precipitação de sulfetos, nitrificação e oxidação do carbono orgânico dissolvido;

- Na passagem pelo aquífero ocorre o deslocamento da água subterrânea, trocas de cátions, oxidação de pirita e matéria orgânica, dissolução de minerais, sorção de oligoelementos, decaimento radioativo de macro e micropoluentes orgânicos, biodegradação de micropoluentes orgânicos e inativação de micro-organismos;

- No poço de produção ocorre a mistura de várias qualidades de água e mistura com a água subterrânea nativa.

Figura 1- Diagrama do funcionamento da filtração em margem.



Fonte: (ESQUIVEL *et al.*, 2012) adaptado de (HISCOCK e GRISCHEK 2002; SENS *et al.*, 2006).

### 2.3.1 Considerações prévias para aplicação da FM

Antes de considerar a aplicação da FM em um sistema de tratamento, é importante conhecer o lago em termos de qualidade de água, os múltiplos usos desse manancial,

características climáticas regionais e as de carga/recarga do leito, assim como a sazonalidade do nível d'água do manancial, entre outros fatores particulares de cada local, que são relevantes para compatibilização com a FM. Isto por que, a efetividade da filtração vai depender da combinação de muitos processos, tais como colmatação do leito, diluição com água subterrânea após infiltração, por exemplo (DALAI e RAMAKAR, 2014).

Antes de selecionar a alternativa apropriada a ser utilizada no projeto dos poços, é interessante investigar a hidrogeologia nos locais onde serão implantados os poços a fim de avaliar as características hidráulicas de cada formação e poder selecionar o método mais eficiente na instalação dos filtros dos poços, assim como as profundidades adequadas de onde será instalado o tubo geomecânico ranhurado (filtro), o que aumenta ao máximo o rendimento (DILLON *et al.*, 2002).

Recentemente foi publicado pela FUNASA, de autoria de Dalsasso & Guedes (BRASIL, 2018), o manual de operações e manutenção de sistemas de tratamento de água por filtração em margem que é muito útil para situações domiciliares, nos quais há populações dispersas e pequenas comunidades (comunidades distantes da zona urbana).

Segundo Donald *et al.* (2002, *apud* SENS *et al.*, 2006), para locação do sistema de FM é importante levantar as seguintes informações sobre o tipo de solo:

1. Condutividade hidráulica: é recomendável que o valor seja pelo menos de 1 a 2 m/d;
2. Porosidade: quanto maior o tamanho dos grãos e o valor da porosidade, maior será a porosidade específica ou vazão específica do aquífero;
3. Análise granulométrica: quanto maior o tamanho dos grãos, maior será o tamanho dos poros;
4. Teor de matéria orgânica: a presença de camadas ou bolsões de solo com MO pode conferir à água características indesejáveis como, cor, sabor e odor.

Além das informações pontuadas acima, a textura do solo também é muito importante, ou seja, a distribuição de tamanho das partículas e seu arranjo em agregados (REINERT e REICHERT, 2006). Ainda, esses dados devem ser obtidos por meio da realização de estudos os quais envolvam sondagens, ensaios de permeabilidade, testes de bombeamento e ensaios laboratoriais para análise do material que forma o aquífero.

Desse modo, é possível buscar dados hidrogeológicos do Serviço geológico do Brasil para conhecer o local com potencial de aplicação da FM e, em seguida, buscar na literatura informações sobre o local: dados geodésicos, para determinar o nível da superfície da terra;



localização dos poços já existentes; tal como o nível e a qualidade da água (ESQUIVEL *et al.*, 2016)

Ainda, o reconhecimento visual do local e a determinação do nível freático enquanto investigações preliminares (SANDHU *et al.*, 2011). Ou seja, não se descarta a visita ao local e investigação *in situ*, pois os dados obtidos de mapas, cartilhas, por exemplo, tem uma escala que muitas vezes não oferece muita precisão das informações extraídas. Por isso, observar pessoalmente o local a ser analisado pode trazer a elucidação necessária para a pesquisa.

De imediato é interessante realizar estudo de campo, com o objetivo de monitorar os níveis de água subterrâneos e parâmetros de qualidade de água tais como pH, OD (oxigênio dissolvido), temperatura, condutividade elétrica; e de laboratório, como alcalinidade, dureza total, íons como  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , carbono orgânico dissolvido, metais pesados, coliformes totais e termotolerantes (STUYFZAND *et al.*, 2006).

Com os dados de campo, ainda é possível criar um modelo (modelagem matemática) da água subterrânea e obter parâmetros como tempo de viagem da água entre manancial e poço de produção, efeitos sazonais e trajeto da água filtrada em margem. Já os estudos laboratoriais, são necessários para verificação da eficácia do sistema de FM, assim averiguar as alterações que podem vir a ocorrer quando o sistema estiver em operação. Ressalta-se que água filtrada em margem é uma mistura da água superficial com água subterrânea.

### **2.3.2 Fatores que influenciam a técnica de filtração em margem**

Dentre os fatores que influenciam a FM, destacam-se o solo (composição, granulometria, distribuição granulométrica, etc.) e a margem (composição, estabilidade, etc.); a condutividade hidráulica, que é diretamente influenciada pelo solo, seu arranjo e composição, bem como pela viscosidade do fluido o qual está escoando e, por fim, a taxa de infiltração que vai demonstrar a capacidade do solo de absorver a água em um determinado tempo.

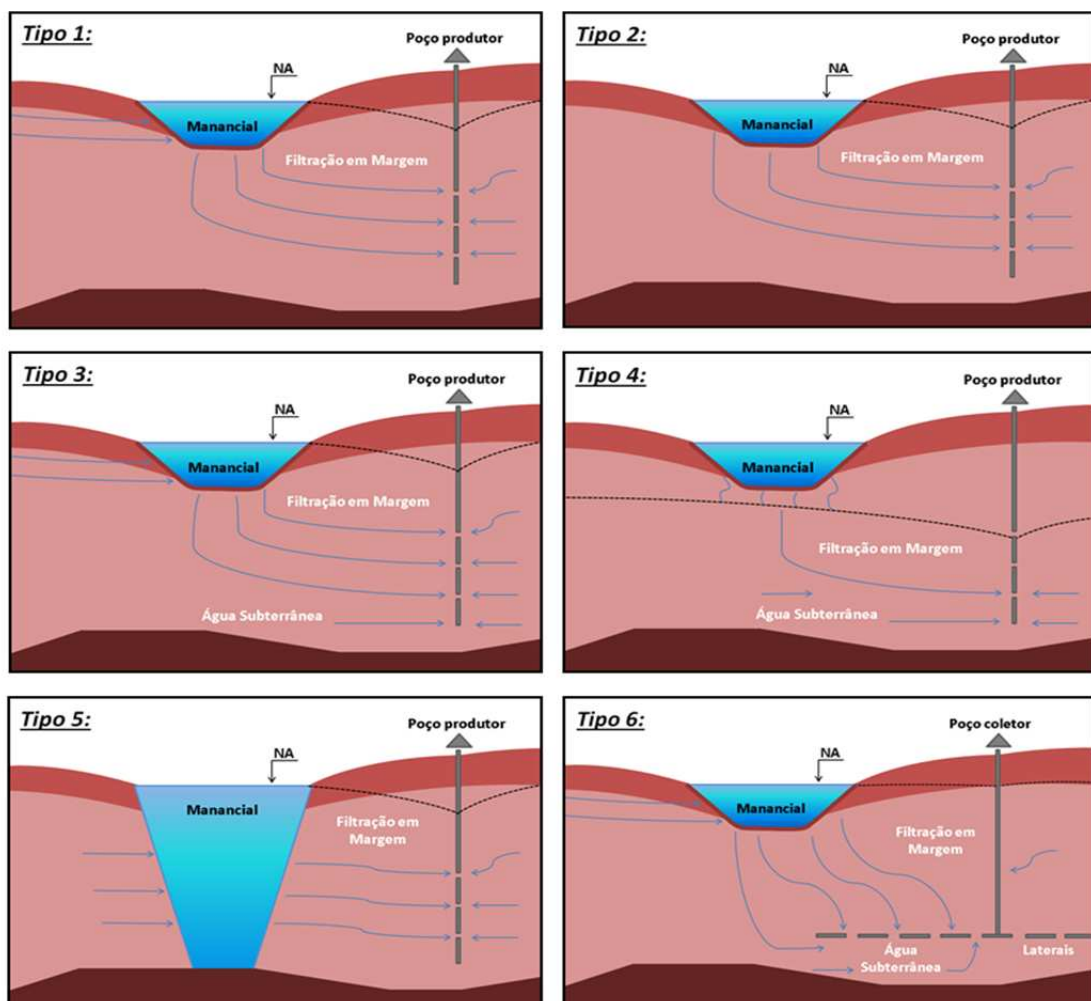
#### *2.3.2.1 Tipos de escoamento subsuperficial*

A intenção dos sistemas de FM é usar a variação natural do nível d'água entre um manancial (lago) com seu aquífero. Então, isso pressupõe que o aquífero esteja de alguma forma conectado ao corpo d'água. Ademais, poços de captação adjacentes estimulam e

induzem esse processo na redução das águas subterrâneas de modo que sejam instalados logo abaixo do nível da água da superfície e antes da primeira camada impermeável (Ray *et al.*, 2011).

Portanto, isso leva a um potencial hidráulico que altera a vazão (quando a FM é induzida) do corpo d'água na direção do poço de produção e o resultado é uma mistura bombeada das águas subterrâneas e das águas superficiais filtradas. Devido à diversidade das condições hidrogeológicas, em diferentes regiões, vários tipos de condições de fluxo podem ser configurados (RAY *et al.*, 2011). A Figura 2 mostra as condições típicas de fluxo associadas a diferentes tipos de esquemas de FM.

Figura 2 - Esquema representativo dos tipos de escoamento subsuperficial na Filtração em Margem



Fonte: Adaptado de Hiscock e Grischek (2002).

Os Tipos 1 e 2 apresentam esquemas da configuração mais utilizados, isto é, mais fácil de ser encontrado na natureza ou de forma antrópica. O Fluxo de águas subterrâneas sob a água do corpo hídrico (manancial superficial), como apresentado nos Tipos 3, 4 e 6, geralmente, é negligenciado na maioria dos sistemas de FM e isso se dá pelo fato de não se ter conhecimento da integridade da camada impermeável ao longo de toda a área que influencia o poço de produção (Ray *et al.*, 2011).

A formação de condições insaturadas sob o manancial, apresentadas no Tipo 4, ocorrem se as águas, na captação no poço de produção, não estiverem hidráulicamente conectadas com o manancial superficial de forma direta, o que faz com que as águas subterrâneas ou o sedimento no fundo do manancial promovam a colmatação do leito do manancial superficial e, por consequência, a condutividade hidráulica será prejudicada ao longo do tempo (Ray *et al.*, 2011).

Em alguns locais, o lago ou leito do manancial corta a camada impermeável, como no Tipo 5, mas é raro. Já o Tipo 6 é o único exemplo de captação por meio da utilização da lateral em direção ao manancial superficial, provavelmente encontrado quando se trata de poço coletor (Ray *et al.*, 2011).

#### 2.3.2.2 *Solo e margens*

Os solos são constituídos, principalmente, pela mistura de três componentes: partículas sólidas minerais e orgânicas (proveniente da decomposição das rochas através da ação de agentes físicos, químicos e biológicos); ar e água, o que forma um sistema trifásico (CAMPOS, 2012). As margens do manancial devem ser estáveis e apresentar um solo arenoso a fim de facilitar a infiltração da água. Contudo, o ideal é que não seja uma granulometria muito pequena e uniforme, visto que aumenta a possibilidade de colmatação mais rápida do leito do manancial (GRICHECK *et al.*, 2007).

##### 2.3.2.2.1 Propriedades físicas do solo

Dentre suas propriedades físicas, a textura, ou seja, a distribuição de tamanho de suas partículas e a estrutura, que é definida pelo arranjo das partículas em agregados, são de grande importância para a FM (REINERT e REICHERT, 2006).

Além disso, os solos de baixo potencial são aqueles muito argilosos, pois a possibilidade de cimentação pode restringir as condições de drenagem. Em geral, a técnica tem resultados mais satisfatórios em margens estáveis cujas camadas superficiais possuem menor índice de permeabilidade, o que evita, assim, interferências externas (RAY e GRISCHEK, 2009). Ainda, o tamanho das partículas, que é uma informação básica sobre o solo, é classificada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1995) conforme a Tabela 2.

O tamanho médio dos grãos do solo influencia diretamente a condutividade hidráulica, já que um solo com partículas maiores apresenta, também, vazios maiores. Por outro lado, um solo, cujo desvio padrão dos diâmetros dos grãos é grande, faz com que a condutividade hidráulica diminua, pois os grãos de menor diâmetro tendem a preencher os vazios. Desse modo, a água fluirá mais facilmente em um solo composto por uma maior quantidade de areia grossa do que em um solo argiloso, por exemplo. Ademais, um solo arenoso facilita a remoção de muitos contaminantes, assim evita ou diminui a probabilidade de alcançarem o poço de FM (FREITAS, 2018).

Tabela 2 - Classificação das partículas do solo

ARGILA	SILTE	AREIA			CASCALHO
		Fina	Média	Grossa	
0,002	0,06	0,2	0,6	2,0 mm	

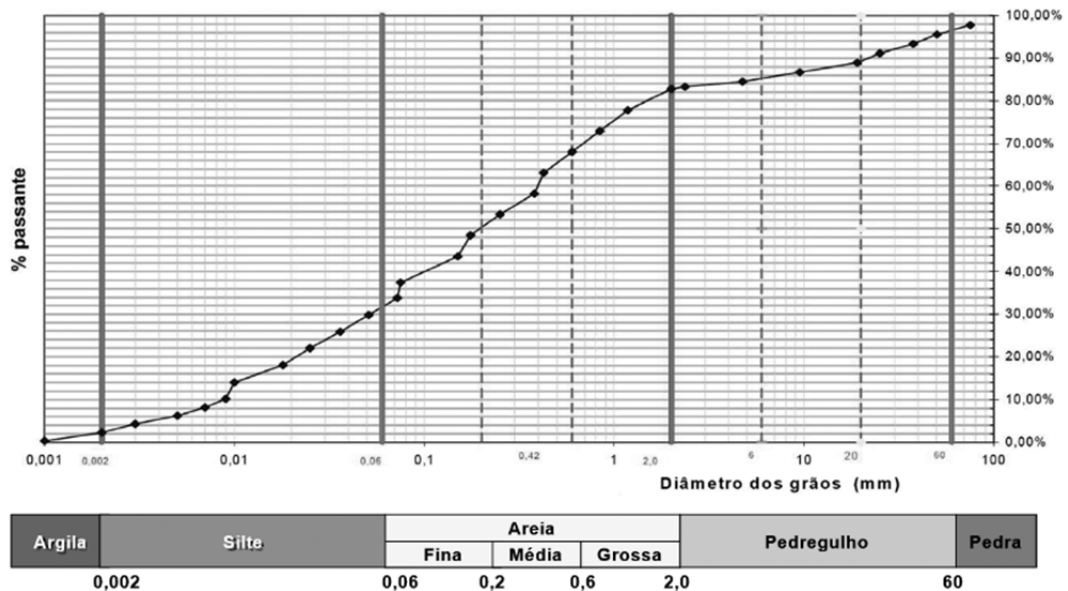
Fonte: ABNT, 1995.

Um solo de pequena granulometria misturado à MO apresenta maiores forças capilares, bem como tensão superficial. Essa por sua vez é contrária a gravidade e esse tipo de cenário impede ou dificulta a passagem de água pelo solo (NASCIMENTO, 2002). Além do mais, a curva de distribuição granulométrica é obtida em escala semi-logarítmica, o que marca a porcentagem de material passante versus a dimensão de partícula, conforme demonstrado na Figura 3.

Os solos naturais são uma mistura de partículas que não se enquadram somente em um intervalo ou fração de solo. Sendo assim, para representar a distribuição dos grãos pelas várias categorias utiliza-se, geralmente, uma distribuição estatística acumulada. Então, os valores marcados são sempre crescentes, visto que se trata de uma curva acumulada. (ALMEIDA, 2004; SUPORTE, 2018). Dessa maneira, a interpretação da curva granulométrica permite analisar se a granulometria do solo é contínua, descontínua, uniforme,

bem graduada ou mal graduada. Ainda, o solo bem graduado é aquele com porcentagens de partículas de diâmetros variados (CAPUTO, 1988); ALMEIDA, 2004).

Figura 3 - Exemplo de curva granulométrica e escala padronizada

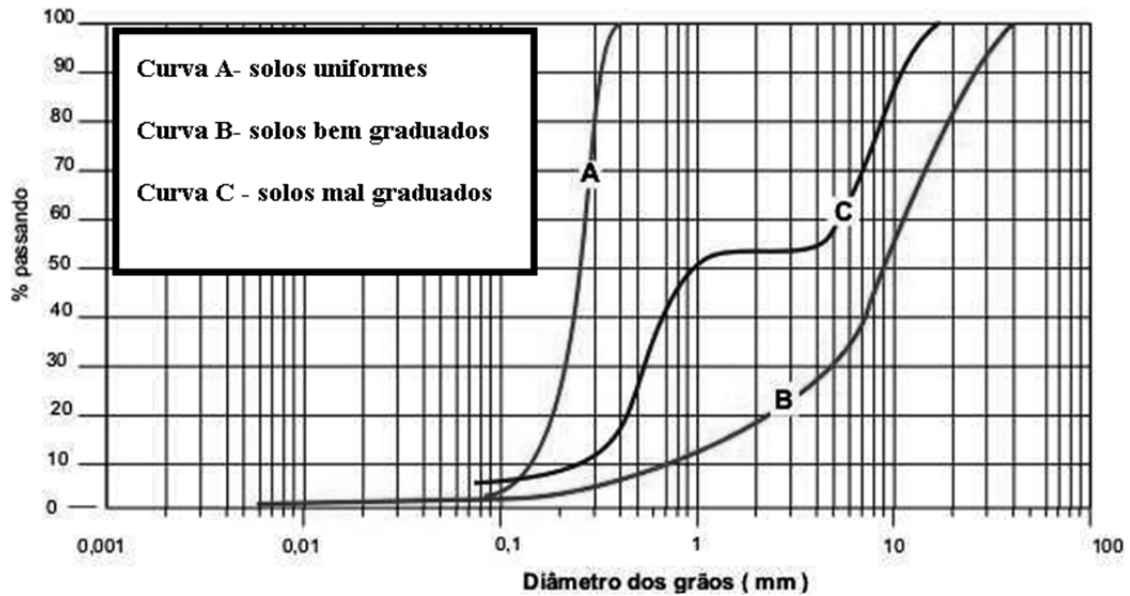


Fonte: (SUPORTE, 2018).

Portanto, a posição da curva na escala permite classificar se o solo apresenta uma granulometria mais grossa ou mais fina, ou seja, é possível identificar as porcentagens de pedregulho, areia, silte ou argila na amostra, o que considera os limites definidos pela NBR 7181 (FERNANDES, 2016). Já a declividade, o achatamento ou a forma da curva indicam a distribuição dos grãos pelos diversos diâmetros (SUPORTE, 2018). A Figura 4 demonstra as curvas granulométricas para os três tipos de solo (SUPORTE, 2018). Para FM, o interessante é que o solo seja uniforme, conforme a curva A.

Os solos uniformes são aqueles em que a maior parte dos grãos apresenta a mesma dimensão e cuja curva de distribuição granulométrica apresenta alta declividade. Já os solos bem graduados são aqueles que as partículas abrangem uma extensa faixa de valores e que a curva granulométrica é suave. Por fim, os solos mal graduados são aqueles bastante disformes onde não há partículas com certas dimensões, por isso, faz com que a curva apresente trechos horizontais.

Figura 4 - Curvas granulométricas dos diferentes tipos de solo



Fonte: adaptada de SUPORTE (2018).

Então, para auxiliar a identificação das características de uniformidade e graduação dos solos, são definidos os seguintes índices, que foram obtidos diretamente do gráfico:

-  $D_{10}$  (ou diâmetro efetivo): É o diâmetro correspondente a 10% em peso total de todas as partículas menores que ele (ALMEIDA, 2004) ou diâmetro abaixo do qual se encontram 10% em peso das partículas passantes (PINTO, 2011). O valor de  $D_{10}$  fornece uma das informações necessárias para o cálculo da permeabilidade, que é utilizado no dimensionamento de filtros e drenos (ALMEIDA, 2004).

-  $D_{30}$ : diâmetro correspondente a 30% em peso total das partículas menores que ele (ALMEIDA, 2004) ou diâmetro abaixo do qual se encontram 30% em peso das partículas passantes (PINTO, 2011).

-  $D_{60}$ : diâmetro correspondente a 60% em peso total das partículas menores que ele (ALMEIDA, 2004) ou diâmetro abaixo do qual se encontram 60% em peso das partículas passantes (PINTO, 2011).

Além disso, a classificação dos solos como bem graduados ou mal graduados pode ser obtida pelo coeficiente de não uniformidade ( $C_U$ ), conforme a Equação 1. Tal coeficiente indica a falta de uniformidade e, alguns autores, costumam chamar de grau de desuniformidade (ALMEIDA, 2004). Em outras palavras, esse coeficiente representa a diversidade das partículas presentes em uma amostra granular e é calculado através da razão do diâmetro abaixo do qual se encontram 60% das partículas em peso ( $D_{60}$ ) e pelo diâmetro abaixo do qual se situam 10% das partículas ( $D_{10}$ ) (PINTO, 2011).

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

Onde:

$D_{60}$  - diâmetro abaixo do qual se encontram 60% em peso das partículas passantes

$D_{10}$  - diâmetro abaixo do qual se encontram 10% em peso das partículas passantes

Quanto menor o valor de  $C_U$ , maior é a inclinação da curva granulométrica e o solo é melhor graduado, segundo a classificação abaixo (ALMEIDA, 2004; MELLO, 2020):

$C_U < 5 \rightarrow$  solos uniformes

$5 < C_U < 15 \rightarrow$  solos de uniformidade média

$C_U > 15 \rightarrow$  Solos desuniformes (bem graduados)

Outro coeficiente, verificado em análises granulométricas, é o coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) e que expressa o formato da curva apontando possíveis descontinuidades. Ademais, seu cálculo é realizado por meio da razão do diâmetro abaixo do qual se encontram 30% das partículas em peso ( $D_{30}$ ) elevado ao quadrado, pela multiplicação do  $D_{10}$  pelo  $D_{60}$ , conforme a Equação 2 (PINTO, 2011).

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}} \quad (2)$$

Onde:

$D_{30}$  - diâmetro abaixo do qual se encontram 30% em peso das partículas passantes

Valores de  $C_c$  menores que 1 indicam que há uma descontinuidade na curva granulométrica causada pela ausência de grãos de determinado diâmetro. Se ele for maior que 3, é um indicativo de que a curva é homogênea na parte central e valores entre 1 e 3 indicam curva com inclinação suave (PINTO, 2011), assim o solo é considerado bem graduado (ALMEIDA, 2004).

É importante salientar que existem várias diferenças entre a filtração lenta em areia e a FM, tanto na configuração física, quanto nos mecanismos de remoção de contaminantes. O material filtrante para filtração lenta em areia é uma areia média com tamanho uniforme de partículas. Já o solo das margens, que é formado em um longo período de tempo e cujas partículas apresentam tamanho de partícula variável podem conter materiais orgânicos na superfície das mesmas como resultado do intemperismo, e também uma quantidade relativamente grande de materiais argilosos eletricamente reativos. Essas propriedades

distintas fazem com que as duas formas de filtração se comportem de forma distinta na remoção de contaminantes, sendo que, as margens como material filtrante possuem uma gama maior de funções do que a filtração lenta em areia (CHOI *et al.*, 1998).

#### 2.3.2.2.2 Composição química do solo

A fase sólida do solo é formada por partículas minerais resultantes do intemperismo sofrido pelas rochas e de material orgânico. Quanto à contribuição rochosa, a composição do solo vai depender do tipo de rocha presente neste solo e do grau do intemperismo ao qual as rochas foram submetidas. Em geral, os minerais encontrados são quartzo, feldspato, aluminossilicatos (caulinita, vermiculita, óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos (MEURER, 2012). A composição da água filtrada sofre influência da composição da rocha ou substrato que compõe o solo à medida que a água do manancial percola até o poço e, o que é observado por muitos pesquisadores, e têm-se encontrado elementos químicos e íons na água filtrada em margem (AFM) os quais não estavam presentes, ou estavam presentes em menor quantidade no manancial (SOARES, 2009; MICHELAN, 2010; SANTOS *et al.*, 2011; HENZLER *et al.*, 2014; BARTAK *et al.*, 2015).

Soares (2009), por exemplo, observou em média um incremento de 7 vezes na concentração de ferro total na AFM com relação ao manancial, bem como um incremento de 4 vezes de manganês ( $Mn^{2+}$ ). Ainda, Íons como  $NO_2^-$  e  $NO_3^-$  também foram encontrados na AFM, 6 e 2 vezes maior em média, respectivamente. Além disso, observou um incremento de 5 vezes na turbidez e 4 vezes na cor aparente.

Michelan (2010) observou um incremento de 4 vezes na concentração do ferro total na AFM com relação ao manancial, o qual foi associado pela autora com o decréscimo de em torno de 54 % no oxigênio dissolvido (OD). Isto porque os ambientes redutores levam à solubilização de metais como ferro e manganês (HISCOCK e GRISCHEK 2002; KUEHN e MUELLER, 2000; SCHMIDT *et al.*, 2003). Enfim, as reações de óxido-redução são as que mais alteram a qualidade da AFM. Na zona saturada, em que os poros estão preenchidos com água, a concentração de oxigênio é baixa tornando o ambiente redutor. Além disso, a presença de micro-organismos, que utilizam oxigênio para biodegradar a matéria orgânica do solo, faz com que compostos oxidados atuem como receptores de elétrons (nitratos, óxidos de manganês e de ferro, sulfatos, etc.) para realizar seus processos metabólicos (MEURER, 2012).



Esquivel *et al.* (2012) observou que as condições redutoras durante a FM foram intensificadas com o aumento sazonal da temperatura e a maior produção de material autóctone, durante essa época. Também observou que as condições redutoras foram mantidas, durante todo o percurso até o poço, devido à pouca capacidade de recarga e ao baixo bombeamento que evitaram a reoxigenação da água no subsolo.

Paiva observou um incremento de 2 vezes na concentração de manganês na AFM (PAIVA *et al.*, 2010) e 1,4 vezes na concentração de zinco (PAIVA, 2009). Por fim, Guedes *et al.* (2018) observou ferro total na AFM sendo que na água do manancial, não havia presença deste metal.

Com relação à MO, o solo apresenta compostos como ácidos húmicos e fúlvicos, assim como ácido tânico, aminas, compostos aromáticos e os ácidos orgânicos de baixo peso molecular (cítrico, málico, oxálico, tartárico, etc.). Esses, por sua vez, resultam da decomposição rápida de resíduos orgânicos de plantas e também são responsáveis pela parte solúvel da MO e, em geral, representam de 2 a 10 % da MO do solo. Logo, a presença desses compostos de baixo peso molecular resulta em características químicas importantes para o solo tais como absorção de átomos de hidrogênio e alumínio na superfície do material vegetal, complexação do alumínio por compostos orgânicos, trocas de ligante entre os grupos funcionais OH<sup>-</sup> dos oxidróxidos de Fe e Al e os ânions orgânicos, bem como o aumento do potencial de oxidação biológica de ânions orgânicos (PAVINATO e ROSOLEM, 2008).

A fração viva da MO dos solos inclui macro-organismos como minhocas, ácaros, por exemplo, o que corresponde a 15-30% e a biomassa microbiana como vírus, bactérias, fungos, dentre outros, já representa 60-80%, assim equivalem a menos de 4% do COT do solo. No que se refere às raízes dos vegetais, correspondem a 5-10% da MO do solo e a fração não viva é formada por resíduos e metabólitos de plantas, animais e micro-organismos, os quais correspondem a maior parte do COT do solo (cerca de 98%), e a sua composição é formada por substâncias não húmicas, comumente, hidrofílicas (30% de carbono do húmus) tais como ácidos orgânicos, carboidratos e proteínas, além de substâncias húmicas, geralmente, de característica hidrofóbica (70% do carbono do húmus) como ácidos húmicos, fúlvicos e huminas (MACHADO, 2005; RODRÍGUEZ *et al.*, 2007)

A presença de MO na AFM, seja a mesma proveniente do manancial ou devido à composição do solo, influencia a qualidade da água. Decerto, essa matéria está relacionada a formação de subprodutos de desinfecção, por exemplo, como os trihalometanos (THM), por meio da reação do cloro com a MO (SINGER, 1999; CRITTENDEN *et al.*, 2005). A fração

hidrofóbica da MO (substâncias húmicas) são as que apresentam os sítios mais ativos para formação de THM além de ácidos acéticos (SINGER, 1999). Contudo, toda MO (hidrofóbica ou hidrofílica) pode reagir com cloro para formar tais subprodutos de desinfecção. O carbono orgânico dissolvido (COD) representa aproximadamente 90% do COT e é a fração mais reativa da MO (STEPCZUK *et al.*, 1998; AIKEN, 2002). Já os 10% restantes, correspondem ao material particulado, também denominado fração coloidal, que consiste nos sólidos suspensos (SS).

Esquivel *et al.* (2012) observaram que a remoção de MON e precursores de formação de TAM, durante a infiltração, ocorreu, principalmente, nos primeiros dias. Ademais, os precursores de formação de THM foram removidos, preferencialmente, em relação à totalidade da MON indicando.

O COT influencia também os processos de colmatação. Segundo Soares, em seus estudos para verificação da composição da camada de colmatação, observou uma concentração de 45.900 mg/Kg de carbono orgânico total (TOC), que era proveniente de micro-organismos e produtos de seus processos biológicos (colmatação biológica) na camada externa de colmatação, e com 2 cm de profundidade da camada de colmatação, essa concentração se reduziu a 5.020 mg/Kg. De 2 a 50 cm de profundidade, a concentração de COT manteve-se praticamente constante (1.990 mg/Kg). Metais como ferro e manganês, também foram encontrados na camada de colmatação.

#### 2.3.2.2.3 Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica (K) expressa a facilidade do meio poroso de exercer a função de um condutor hidráulico, além de indicar o tempo de recarga e permeação da água no solo. Aliás, nada mais é do que o coeficiente de proporcionalidade da equação de Darcy o qual determina o movimento de fluidos num meio poroso (GUERRA, 2000).

Segundo a Lei de Darcy, o fluxo de água, através de um solo saturado, é diretamente proporcional à carga hidráulica e inversamente proporcional à coluna de solo, o que pode ser expressa pela Equação 3 (TRUSSELL e CHANG, 1999):

$$Q = \frac{(K \cdot A \cdot \Delta h)}{\Delta L} \text{ ou } \frac{Q}{A} = K \left[ \frac{\Delta h}{\Delta L} \right] \quad (3)$$

Onde

Q = vazão constante que passa pelo meio poroso (m<sup>3</sup>/s)

$K$  = condutividade hidráulica (m/s)

$A$  = área do filtro ( $m^2$ )

$\Delta L$  = comprimento onde se registra a perda de carga do filtro (m)

$\Delta h$  = perda de carga para o meio (m)

A lei de Darcy é válida para um escoamento “laminar” unidirecional e se aplica para quase todos os tipos de solos (argila, silte e areia). Contudo, sua validade é para solos saturados, com escoamento laminar, onde as trajetórias das partículas d’água não se cortam como é o caso do escoamento turbulento (MELLO, 2020).

Ainda, a condutividade hidráulica leva em consideração as características do meio, por exemplo, tais como porosidade, tamanho e distribuição das partículas, forma e arranjo das partículas, bem como as características do fluido que está escoando (viscosidade e massa específica) (BOUWER, 2002). Como a condutividade hidráulica depende do espaço poroso, a mesma varia bastante de um solo para outro e até mesmo dentro do mesmo solo, devido às variações em sua composição e compactação (REUCHARDT, 1996). A Tabela 3 demonstra a relação do tipo de solo com a condutividade hidráulica, dada em metros/dia (m/dia) e metros/segundo (m/s).

Tabela 3. Relação típica da condutividade hidráulica conforme o tipo de solo

<b>Tipo de solo</b>	<b>Condutividade hidráulica (m/dia)</b>	<b>Condutividade em m/s</b>
Solos argilosos	< 0,1	< $1,2 \times 10^{-6}$
Argilas	0,2	$2,3 \times 10^{-6}$
Siltos arenosos	0,3	$3,5 \times 10^{-6}$
Areias siltosas	0,5	$5,8 \times 10^{-6}$
Areias finas	1	$1,2 \times 10^{-5}$
Areias médias	5,0	$5,8 \times 10^{-5}$
Areias grossas	>10	$> 1,2 \times 10^{-4}$

Fonte: Adaptado (BOUWER, 2002)

A condutividade hidráulica pode também ser estimada teoricamente ao se utilizar os dados dos ensaios de granulometria, com auxílio de fórmulas empíricas (ARCARI, 2018). É importante destacar que o primeiro modelo de fórmula foi proposto em 1892 por Hazen (1982), em que a condutividade hidráulica é estimada pela função direta entre o quadrado do diâmetro efetivo ( $D_{10}$ ), isso pelo coeficiente de Hazen ( $C_H$ ), já de acordo com Schneider(1996) é adotada por ser igual a 0,0116, conforme a Equação 4. Embora, essa seja

uma das equações mais conhecidas, contudo, tende a subestimar o valor de K e deve ser usada quando o solo é arenoso com  $D_{10}$  entre 0,1 e 3 mm (HEIZEN, 2019).

$$K = C_H \cdot (D_{10})^2 \quad (4)$$

A Equação de Beyer (1964) (Equação 5) é outra equação bastante utilizada para obter a condutividade hidráulica. Ademais, tal equação leva em consideração os efeitos da uniformidade no tamanho das partículas. Por conseguinte,  $C_B$  é o coeficiente de Beyer obtido graficamente.

$$K = C_B \cdot (D_{10})^2 \quad (5)$$

Em um meio isotrópico, a condutividade hidráulica iguala-se numericamente à vazão que atravessa uma área unitária, submetida a um gradiente hidráulico unitário. Consequentemente, líquidos com viscosidade diferente apresentarão velocidade diferente em um meio poroso e líquidos mais densos terão características de escoamento diferentes dos de menor densidade (CABRAL, 2008).

As mudanças na temperatura levam às variações da viscosidade da água, que aumenta em temperaturas mais baixas. Por outro lado, a infiltração é maior quando a viscosidade diminui, ou seja, quando há temperaturas mais altas. Devido às interferências da temperatura, os valores da condutividade hidráulica são corrigidos para a temperatura padrão de 10 °C (MCKENZIE *et al.*, 2002) conforme a Equação 6.

$$K_{St} = K \left( \frac{\mu_{k*}}{\mu_{k**}} \right) \quad (6)$$

Onde

$K_{St}$  = condutividade hidráulica padrão (m/s),

$K$  = condutividade hidráulica medida (m/s)

$\mu_{k*}$  = viscosidade da água estimada ( $m^2/s$ )

$\mu_{k**}$  = viscosidade da água padrão a 10 °C ( $m^2/s$ )

#### 2.3.2.2.4 Taxa de Infiltração

A taxa de infiltração está relacionada com a contribuição vertical da água subterrânea captada e produzida. Assim, é definida como a taxa que um determinado solo absorve de água durante um espaço de tempo definido (GUERRA, 2000). Dessa forma, a variação da taxa de infiltração é inversamente proporcional à viscosidade da água, sendo também influenciada pela temperatura em áreas de grande amplitude térmica (BOUWER, 2002).

Consequentemente, os efeitos da viscosidade nas taxas de infiltração variam com as condições climáticas, isto é, durante os meses mais frios do inverno, as taxas de infiltração reduzem a praticamente metade das taxas obtidas no verão. Portanto, a capacidade da recarga deve ser calculada no decorrer dos meses de inverno, quando a taxa de infiltração é mais baixa. Por outro lado, as atividades microbianas e a colmatação tendem a atingir os seus picos máximos durante o verão (BOUWER, 2002).

Durante o processo de infiltração no solo, a água passa por diversos processos físicos, químicos e biológicos, tais como adsorção, redução, filtração físico-química e biodegradação que ocorrem de forma conjunta, complexa e interativa. Sendo assim, a compreensão de todos esses fenômenos, necessita de um estudo mais aprofundado (SOUZA *et al.*, 2004).

#### 2.3.3 Construção dos poços

Com base histórica de utilização e de pesquisas, os poços construídos para FM normalmente distanciam-se das margens dos mananciais de 15 a 50 m, mas não é improvável, encontrar poços com distâncias superiores, na faixa de 100 a 150 m (DILLON *et al.*, 2002; SENS *et al.*, 2006). A distância do poço em relação à margem deve ser adequada para que se obtenha um tempo de detenção suficiente para o tratamento da água. Nesse sentido, alguns parâmetros devem ser considerados, como porosidade do solo, permeabilidade, potencial de oxirredução de compostos orgânicos, oxigênio, temperatura, qualidade e estrutura do lençol freático, etc., no seu dimensionamento (RABELO, 2006).

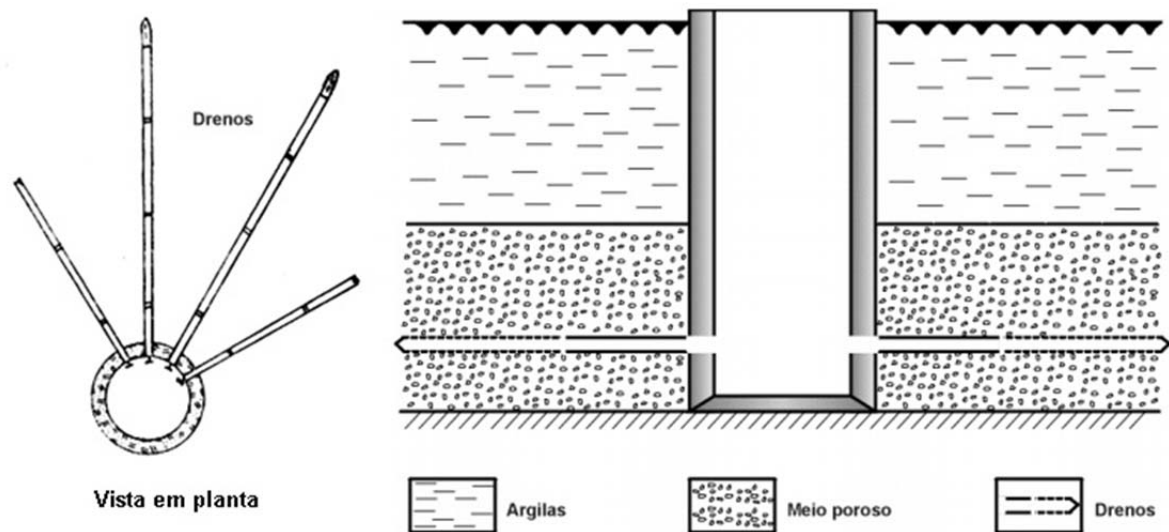
A profundidade dos poços, por sua vez, varia em relação ao nível do solo de 7 a 15 m, o que se trata, portanto, de poços rasos (SENS *et al.*, 2006). Contudo, a mesma varia de acordo com as características hidrogeológicas do aquífero e as características morfológicas do manancial (HUNT, 2003; SENS *et al.*, 2006; SENS e DALSSASSO, 2007), assim pode atingir até 60 m (SHAMRUKH e ABDEL-WAHAB, 2008).

Na prática, o ideal é perfurar um poço até a primeira camada impermeável, para que a água venha predominantemente da margem, e em apenas uma pequena parcela do aquífero. Ademais, a maioria dos estudos demonstra que, quando se deseja obter água de qualidade e com quantidade, para isso, o poço não pode captar muita água do aquífero, pois provavelmente irá trazer substâncias indesejáveis, assim pode ser verificada uma água de má qualidade. Por outro lado, esse poço não pode ser muito raso porque não será possível realizar um rebaixamento apreciável, conseqüentemente, a vazão não será grande (SENS *et al.*, 2006). Entre os poços de captação e o manancial, devem ser construídos poços de monitoramento, denominados frequentemente de piezômetros (SOUZA *et al.*, 2004).

Três tipos de poços são usados para a FM, desde que a tecnologia foi estabelecida (RAY *et al.*, 2003):

- Poço de coletores horizontais ou poço coletor (Figura 5):

Figura 5 - Esquema ilustrativo do poço coletor

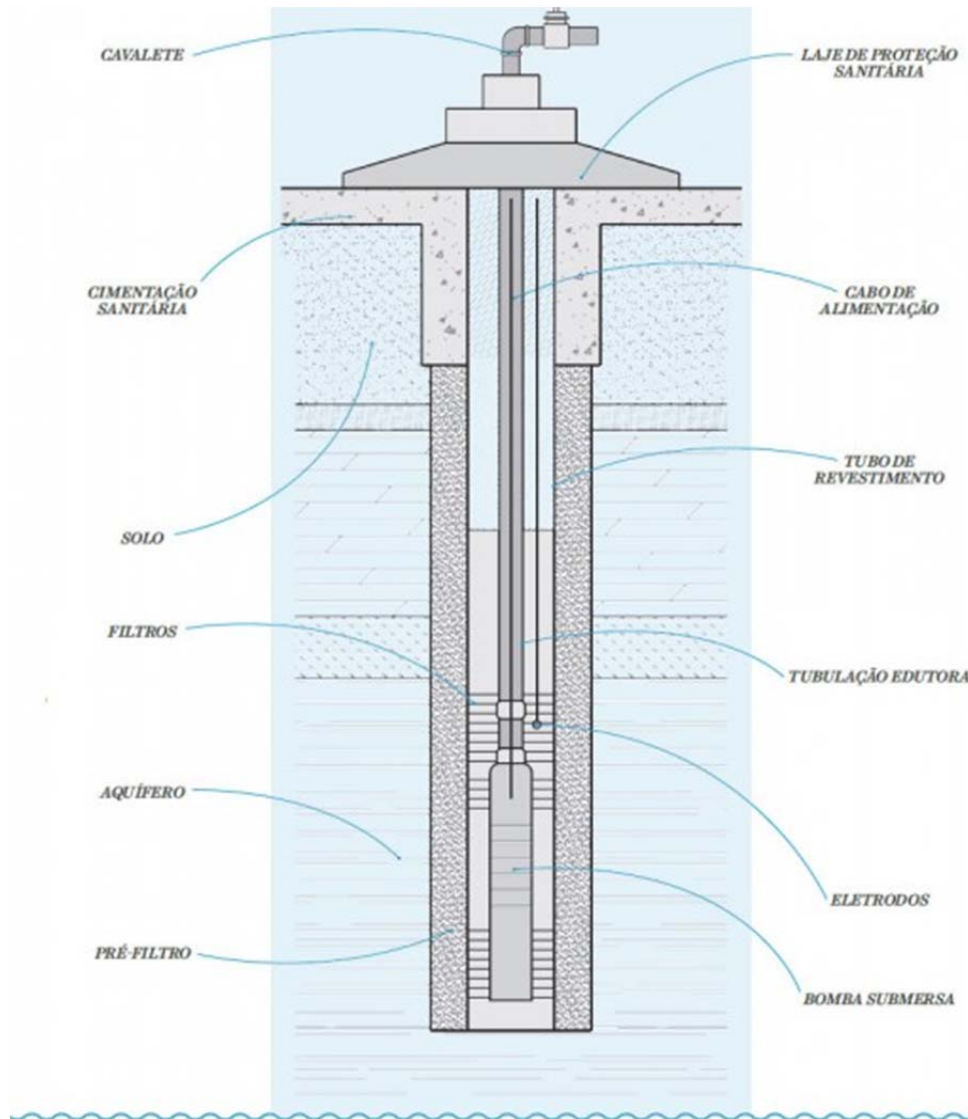


Fonte: Adaptado de (SÁ, 1999).

Trata-se de uma tubulação central de grande diâmetro, penetrada no solo com proteções horizontais laterais que são cravadas no depósito inconsolidado do aquífero ou depósitos aluviais abaixo de um rio ou de um lago. É um sistema vigente nos Estados Unidos para a produção de água de abastecimento com fonte na água subterrânea ou na filtração pela margem do rio.

- Poço vertical ou tubular (Figura 6): é, basicamente, um poço perfurado de modo vertical no solo em uma camada suporte da água ou sob o leito de um corpo hídrico. Dessa forma, se difere do poço coletor por não possuir drenos laterais no fundo;

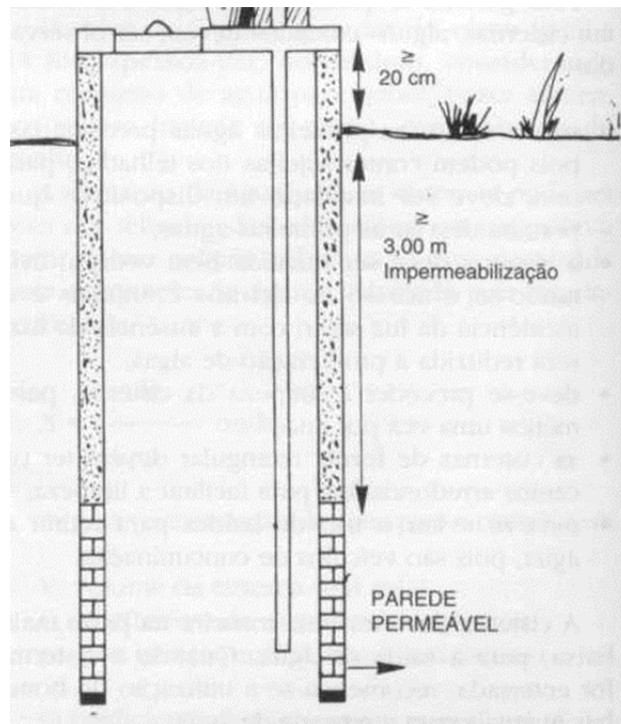
Figura 6 - Esquema ilustrativo de poço tubular



Fonte: (SIQUEIRA, 2015)

- Poço escavado (Figura 7): é um poço raso de grande diâmetro, que é construído para fonte de água residencial individual.

Figura 7 - Esquema ilustrativo de poço escavado.



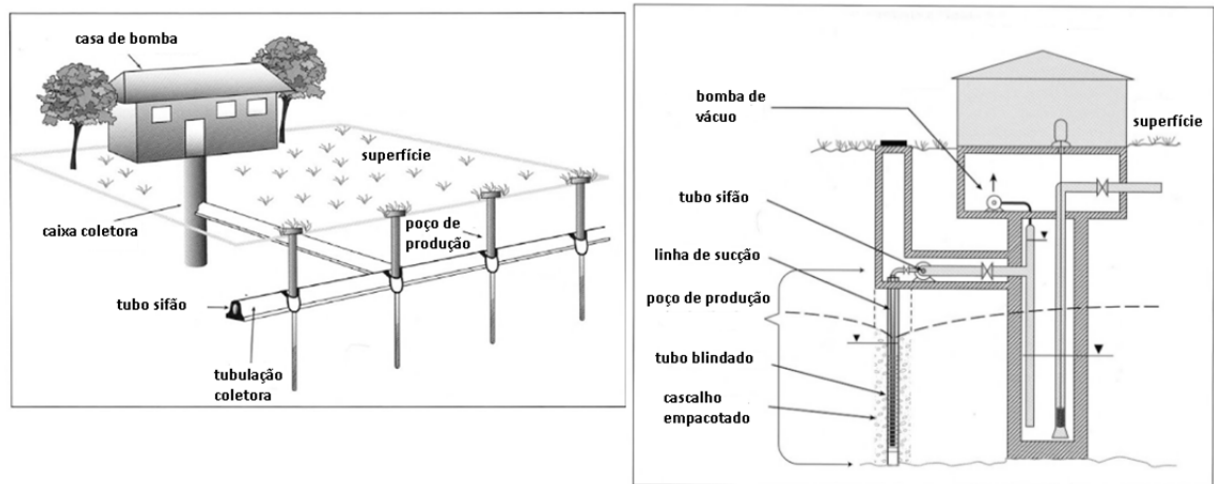
Fonte: (FURB, 2018).

A utilização desses poços se iniciou na Europa por volta de 1890 (RAY *et al.*, 2003). Desde o avanço na tecnologia de construção, que ocorreu no final do século XIX, os poços escavados foram substituídos por poços tubulares com filtro. No entanto, os equipamentos de bombeamento eram limitados, uma vez que possuíam apenas bombas de pistão impulsionadas por motores a vapor. Por consequência, os rendimentos dos poços verticais eram baixos sendo comparados aos dos poços escavados.

A Alemanha inovou com a técnica do tubo sifão (Figura 8) na qual a água podia ser captada em um grande número de poços de filtração vertical, por meio do uso de uma única bomba. Além disso, esses sistemas eram utilizados, normalmente, em aquíferos de pouca profundidade onde os sifões eram conectados por intermédio de um distribuidor de descarga a uma ou mais bombas de sucção. Assim, esse tipo de técnica é utilizada em mananciais subterrâneos rasos por ter uma diferença manométrica pequena entre o nível da água e a cota de sucção da bomba (RAY *et al.*, 2003).



Figura 8 - Esquema ilustrativo da técnica de tubo sifão



Fonte: Adaptado (RAY *et al.*, 2003).

### 2.3.4 Remoção de contaminantes inorgânicos e orgânicos

A remoção de contaminantes inorgânicos, tais como: manganês, ferro e outros metais, ocorre através da adsorção durante a passagem da água superficial pelo solo filtrante, que é influenciada pelas condições redox do meio. Para isso, o aquífero deve apresentar condições aeróbias, nas quais ocorrem às reações de troca iônica que acontece nas superfícies carregadas negativamente de minerais argilosos, óxidos de ferro amorfos, óxidos de alumínio e matéria orgânica sólida. Em aquíferos anaeróbios, a remoção de íons metálicos é dada por reações de precipitação com o sulfeto (SENS *et al.*, 2006)

Em relação à remoção de contaminantes biológicos, como coliformes fecais e totais, bem como de cianobactérias e suas toxinas, se dá pelo contato dos mesmos com o material do solo, portanto, a remoção será mais eficiente quando a velocidade da infiltração for lenta e quando o solo apresentar matérias granulares os quais permite que esses organismos fiquem aderidos, com interstícios abertos para que a água possa contornar o grão. Mesmo que haja desprendimento desses organismos do grão, isso ocorre de forma lenta de modo que esses organismos fiquem inativos antes de entrar em contato com a água do poço (SCHIJVEN *et al.*, 2002). Ainda, as bactérias são removidas, geralmente, no primeiro metro de infiltração e alguns estudos demonstraram que, após 4,5 m de infiltração, nenhuma bactéria foi encontrada (CALDWELL e PARR, 1937).

Além do mais, foi observado que, por meio da FM ao longo do Rio Reno na Alemanha, a remoção de metais pesados percentuais foi superior a 90% para remoção de

cromo e arsênio, e maior que 50% para cádmio, zinco, chumbo, cobre e níquel (SONTHEIMER, 1980). Nos estudos de SCHMIDT *et al.* (2003) também foi demonstrada a possibilidade de remoção de diversos metais, que variou de 0 a 94%. Então, as interações com o solo proporcionam uma considerável retenção dos metais pesados no subsolo que, uma vez removidos pela filtração no solo, não são facilmente remobilizados, com uma exceção: se as condições do aquífero se tornarem anaeróbias, assim os elementos ferro e manganês sofrem redução química e voltam a aparecer na água, o que necessita o tratamento posterior.

A matéria orgânica natural (MON), que se encontra presente nas águas superficiais, trata-se de uma complexa mistura de matéria orgânica dissolvida (ácidos húmicos, ácidos hidrofílicos, proteínas, lipídios, aminoácidos e hidrocarbonetos). A presença de MON representa uma grande preocupação às ETAs, pois estes compostos aumentam o odor e o sabor da água. Além disso, a MON resulta em subprodutos da desinfecção e da oxidação, como trihalometanos (THM) e ácidos haloacéticos (HAAs), que são substâncias potencialmente carcinogênicas (SENS *et al.*, 2006).

A remoção de contaminantes orgânicos por FM ocorre por meio de processos físicos e bioquímicos. A partir disso, a degradação biológica dos contaminantes realiza-se, predominantemente, nos primeiros metros de infiltração no solo e se dá pelas bactérias presentes no meio filtrante, enquanto a fração refratária é removida através de adsorção na fase sólida (MARMONIER *et al.*, 1995).

Diversos micropoluentes orgânicos vem sendo detectados em águas superficiais, devido à poluição industrial, agrícola e doméstica, e o destino desses poluentes é determinado por mecanismos de adsorção e transformações biológicas. Desse modo, moléculas orgânicas polares, por exemplo, como agentes complexantes, pesticidas, produtos industriais, farmacêuticos e de higiene pessoal, são as substâncias de maior preocupação recentemente. Entretanto, diversos estudos e investigações de longa data, realizados na Alemanha, vêm mostrando a eficiência da FM e da infiltração na remoção desses compostos orgânicos. Em relação aos residuais de pesticidas, a eficiência de remoção, quando se emprega infiltração artificial, pode variar dependendo das propriedades de cada composto. Os percentuais de remoção podem atingir valores baixos de 10% como no caso da atrazina, e, em alguns casos, atingir 100% da remoção, assim como foi observado para o lindano (SCHMIDT *et al.*, 2003).

O processo de remoção da matéria orgânica da água é mais eficiente quando a velocidade da água induzida é baixa e o aquífero é composto de material granular com espaço aberto entre os poros para que a água flua ao redor dos grãos. (SCHIJVEN *et al.*, 2002)

A zona hiporréica também que pode atuar como barreira física, devido a colmatação, reduzindo a taxa de infiltração. A colmatação pode ocorrer devido a processos mecânicos, à deposição de materiais finos como silte argila e MO particulada; químicos, por meio da precipitação carbonato de cálcio e sistemas biológicos pelo desenvolvimento de biomassa (algas, bactérias e substâncias poliméricas extracelulares) (GUNKEL e HOFFMANN, 2009).

### **2.3.5 Vantagens da técnica de filtração em margem**

Dentre as vantagens do uso da FM como pré-tratamento, estão a simplificação do processo e a diminuição dos custos de operação e manutenção a longo prazo, devido à redução do consumo de produtos químicos nas etapas de coagulação, floculação e/ou desinfecção, a qual permite, em menor escala, que a técnica seja aplicada de forma descentralizada (RAY e GRISCHEK, 2009). Por consequência, ocorreria a diminuição do preço da água para a comunidade, sem que isso apresentasse riscos para a saúde humana (PAIVA *et al.*, 2008). Ademais, a FM permite a obtenção de água de boa qualidade.

Aliás, a FM é bastante eficiente na remoção de parâmetros físico-químicos e biológicos, os quais afetam a qualidade da água para consumo humano. Dentre os parâmetros, cuja remoção é de grande importância, estão a turbidez e as partículas microscópicas (parâmetros físicos) de carbono orgânico dissolvido, pesticidas, compostos farmacêuticos, nitrato, íons dissolvidos e metais (parâmetros químicos), protozoários, bactérias e vírus (contaminantes biológicos) (RAY, 2002). Além disso, a capacidade de remover MO leva, conseqüentemente, à diminuição da probabilidade de formação precursores dos THM (SANTOS *et al.*, 2011; SCHUBERT, 2006).

Outra questão é que a FM também fornece tempo hábil para tomada de decisões em eventos extremos, como grandes contaminações pontuais (SANTOS *et al.*, 2011; SCHUBERT, 2006). É importante destacar que, indiretamente, a remoção de contaminantes causará uma redução de custos com saúde, um maior tempo de vida, além da melhora da produtividade, a redução de riscos de câncer na população e a melhora no meio ambiente em geral.

Por fim, uso da técnica de FM possibilita que haja uma manutenção mais simples do que outros métodos de pré-tratamento, o que gera uma redução de custos com operação. Assim, à medida que esse método vai sendo aceito pela população, por meio da confiabilidade, o mesmo fornece uma proteção contra estiagens, já que também utiliza água

subterrânea como suprimento. Além disso, também ocorre a remoção de nutrientes – o que reduz custos no tratamento e no monitoramento, e redução dos sólidos totais dissolvidos, que leva a uma menor corrosão das tubulações e maior satisfação dos clientes (população) (SENS *et al.*, 2006).

### **2.3.6 Limitações da filtração em margem**

Pode-se afirmar que a principal limitação da FM é a necessidade do local, que se pretende utilizar essa técnica, apresentar condições geológicas e hidrogeológicas favoráveis. Diante dessas limitações, encontrar locais adequados poderá ser uma tarefa desafiadora. Apesar das vantagens apresentadas pela FM, o sistema ainda conta com alguns entraves, tais como:

- Nem sempre os compostos, por exemplo, como pesticidas e fármacos, ficarão retidos no solo da margem, sendo necessário, nesses casos, formas complementares de tratamento (KUEHN e MUELLER, 2000).
- Em águas com alta concentração de cor, dureza e de compostos orgânicos sintéticos, a sua eficiência é diminuída como meio filtrante, o que necessita de tratamento adicional (HISCOCK e GRISCHEK 2002);
- A presença de ácidos fúlvicos nas margens, que representam a maior fração solúvel dos materiais húmicos (cerca de 90 % das substâncias húmicas dissolvidas na maioria das águas naturais), acarretam o aumento da cor da água (marrom a amarelada), o que é indesejável. Além disso, a cloração de substâncias húmicas provoca a quebra de subunidades húmicas por meio da formação de produtos clorados e não clorados, alguns dos quais são comprovadamente carcinogênicos (DREWES e SUMMERS, 2002).

Por fim, a maior desvantagem da FM, talvez seja a colmatação da superfície de infiltração (BOUWER, 2002; KÜHN e MÜLLER, 2000).

#### *2.3.6.1 Colmatação do meio filtrante*

A colmatação na FM é um processo que ocorre devido à sedimentação ou intrusão de partículas no leito do manancial, cuja consequência direta é a diminuição da condutividade hidráulica, o que diminui, assim, a capacidade específica do poço (HUBBS, 2006).

Além disso, a colmatação da superfície de infiltração (BOUWER, 2002; KÜHN e MÜLLER, 2000) é causada por processos, físicos, químicos e/ou biológicos. Ainda, Rinck-

Pfeiffer (2000) adicionou um quarto tipo, conhecido como colmatção mecânica, que é causado pelo aprisionamento de gás. Outrossim, muitos outros autores subdividiram a colmatção em dois grupos: colmatção externa (sobre o sedimento) e interna (no sedimento). Já McDowell-Boyer *et al.* (1986) descreveram que a redução da permeabilidade (processo de colmatção) como o desenvolvimento de três mecanismos: deposição em superfície (externa), filtração por tensão (interna) e interações físico-químicas (GUNKEL & HOFFMANN, 2009).

A seguir, é descrito uma breve explanação dos tipos de colmatção:

- Os processos físicos ocorrem quando sólidos suspensos na água de recarga, como argilas, partículas de limo, células de algas e micro-organismos, bem como flocos de lodo em efluentes de esgotos, por exemplo, começam a se acumular a uma certa profundidade onde o solo é mais denso ou mais fino, o que leva a colmatção do solo. A espessura dessa camada pode variar desde poucos mm até alguns cm ou mais (BOUWER, 2002). Nesse sentido, a colmatção física consiste na congestão dos meios porosos por deposição / intrusão de finos (diâmetro < 2,00 mm) como areia, silte e argila (SOARES, 2015);

- Os processos biológicos ocorrem quando há o crescimento de micro-organismos no solo, o que forma biofilmes e biomassa (assim inclui polissacarídeos e outros produtos metabólicos) os quais bloqueiam os poros e/ou reduzem o seu tamanho (BOUWER, 2002). Esses micro-organismos, que incluem fungos, algas, protozoários, ciliados e vários tipos de bactérias, são os mais abundantes nos primeiros centímetros de um leito de rio, riacho ou lago (HOFFMANN & GUNKEL, 2011; BAVEYE *et al.*, 1998);

- Os processos químicos, por sua vez, ocorrem quando há precipitação de carbonato de cálcio, gipsita, fosfatos e outros compostos químicos no solo. Tais precipitações podem ser induzidas pelo aumento do pH em decorrência do consumo de CO<sub>2</sub> por algas, durante o processo de fotossíntese. Ademais, as bactérias também produzem gases (nitrogênio, metano), que bloqueiam os poros e se acumulam abaixo da camada colmatada, assim criam barreiras de vapor para a infiltração (BOUWER, 2002). Então, a colmatção química é um fenômeno causado por mudanças no potencial redox, valores de pH e temperatura nas áreas de infiltração, como ocorre ao longo da filtração na margem, quando a água se infiltra no sedimento (solo). Essas mudanças podem causar precipitação de substâncias dentro dos poros dos sedimentos. De maneira resumida, a colmatção química é causada por reações químicas (SOARES, 2015).

- A colmatção mecânica pode ser definida como uma diminuição da condutividade hidráulica devido ao aprisionamento de gás / ar no meio poroso. Os micro-organismos nos

sedimentos do leito do manancial produzem uma variedade de gases solúveis, por exemplo, como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ). O oxigênio disponível é geralmente reduzido na interface água-sedimento e o  $\text{H}_2$  é usado por muitos micro-organismos diferentes, como bactérias redutoras de sulfato, bactérias metanogênicas, bactérias desnitrificantes e bactérias fermentativas (SOARES, 2015).

É importante pontuar que a colmatção é maior conforme a taxa de infiltração aumenta, por causa do aumento na carga de sólidos suspensos, de nutrientes e do carbono orgânico na superfície. Por isso, o bombeamento regular de poços de recarga e a remodelação das paredes controlam e postergam o processo de colmatção. Desse modo, o aumento da coluna d'água em bacias de recarga ou da pressão e injeção em poços de recarga também pressionam a camada colmatada, o que reduz ainda mais a sua permeabilidade e, logo, a sua taxa de infiltração (BOUWER, 2002). Nesse sentido, entender o processo de colmatção - onde ocorre, a influência do tamanho do grão e a composição em termos de matéria orgânica (MO) no início dos processos-, é importante, pois a quantidade de água produzida e sua qualidade é bastante influenciada por esses processos.

É importante salientar que a camada de colmatção, que ocorre no leito de lagos, é diferente dos processos que ocorrem em rios. Nos lagos, os sedimentos são influenciados pelos padrões de circulação de água do manancial, os quais são, por sua vez, influenciados pelos ventos e pelas características geológicas e geomorfológicas do seu entorno (TOLDO *et al.*, 1999). Sendo assim, o leito dos lagos não sofre muita alteração e é relativamente estático, acumulando MO e partículas de granulometria mais fina. A composição do leito dos rios, por sua vez, é impactada pela velocidade do seu escoamento e da força de cisalhamento. Portanto, se o fluxo for rápido o suficiente, as partículas finas e pouco coesas se desprendem do leito do rio, o que dá lugar as partículas com granulometria maior e com maior condutividade hidráulica. Por consequência, a longo prazo e em processos de FM, o leito dos lagos são mais propensos a colmatar do que o leito de rios (DASH *et al.*, 2008).

O leito dos lagos também pode ter a condutividade hidráulica diminuída quando composto por sedimentos lacustres (sedimentos rochosos antigos). A redução da condutividade hidráulica pode fazer com que as condições anóxicas aumentem para a água infiltrada pelo leito do lago. Isso pode levar a dissolução de ferro e até mesmo sulfatos. Além disso, o carbono orgânico dissolvido na água de lago tende a ser maior que em rios, e em excesso pode contribuir para condições anóxicas (HUBBS, 2006; RAY *et al.*, 2011).

### 2.3.7 Condições para aplicação da FM

O conhecimento de todos os fenômenos e princípios envolvidos na filtração de água pelo solo não são totalmente dominados. Contudo, sabe-se que o processo da percolação em camada arenosa consegue remover muitos contaminantes e poluentes evitando, com isso, que alcancem o reservatório de água subterrânea ou o poço de produção (SENS *et al.*, 2006).

Baseado em estudos de caso, realizados em lugares onde a tecnologia vem sendo fortemente usada há muito tempo (Europa e América do Norte), foi possível elencar uma série de parâmetros para obter êxito na aplicação da FM como tecnologia de tratamento de água. As principais premissas básicas são (RAY e GRISCHEK, 2009):

1. Solos predominantemente arenosos (essencialmente quartzosos);
2. Estabilidade das margens;
3. Silte e argila, em porcentagem reduzida (apenas na camada superficial);
4. Espessura da camada saturada do aquífero, superior a 10m;
5. Condutividade hidráulica entre  $10^{-2}$  e  $10^{-4}$  m/s;
7. Taxa de infiltração em torno de  $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ ;
8. COT (carbono orgânico total) e COD (carbono orgânico dissolvido) inferiores a 8 e 6 mg/L, respectivamente.

Para lagos, deve-se analisar a direção e velocidade dos ventos predominantes da localidade, pois esse parâmetro que irão mostrar, de maneira indireta, a movimentação da água.

Além dos pontos elencados acima, a hidrogeologia do aquífero, a hidrologia do manancial, morfologia e composição do fundo do manancial aplicação, bem como a qualidade da água do manancial (GRICHECK *et al.*, 2007; HULSHOFF *et al.*, 2009):

1. Hidrogeologia: A interação entre manancial superficial e a água subterrânea é a primeira condição para aplicar, com sucesso, o sistema de FM. Essa interação depende da posição da água superficial em relação ao fluxo da água subterrânea, das características geológicas das margens, do clima regional, da declividade da margem, da largura e da profundidade do manancial. Ainda, ocorre quando há conexão direta (hidráulica), cujo sentido pode ser do manancial para o aquífero ou vice-versa (BOUWER, 2002; SOPHOCLEOUS, 2002). Nesse sentido, são importantes: i) tamanho do manancial superficial e aquífero; ii) composição do material do aquífero; iii) condições do limite hidrogeológico; iv) características do fundo e da margem.

2. Hidrologia: Deve-se avaliar com cautela a dinâmica e o volume de escoamento, bem como avaliar a morfologia e as modificações no leito do rio ou lago, o transporte de sólidos e como rio/lago interage com a água subterrânea. Períodos de alta vazão, por exemplo, podem ser benéficos, porque podem levar à erosão ou à limpeza no fundo do manancial, removendo, assim, materiais depositados. Já a construção de barragens, pode causar mudanças nas características do manancial, o que afeta o transporte e a deposição de sedimentos, além da erosão do leito e, conseqüentemente, a interação do mesmo com a água subterrânea (GRICHECK *et al.*, 2007).

3. Morfologia e composição do leito do manancial: as margens devem ser estáveis e de predominância arenosa, conforme item 2.3.2.2, que traz uma descrição mais detalhada do solo mais adequado.

4. Qualidade da água do manancial: A qualidade da água do manancial influencia a FM qualitativamente e quantitativamente. Então, a temperatura da água influencia a taxa de infiltração, visto que a mesma depende da viscosidade do líquido. Além disso, mananciais que apresentam grandes variações de temperatura (na ordem de 20 °C) podem facilitar a precipitação de compostos o qual, por sua vez, podem colmatar o leito do manancial. Ademais, a temperatura também pode modificar as condições de óxido-redução, assim como pode também influenciar os processos de biodegração, adsorção e dissolução de gases no leito do rio, já que quanto maior a temperatura, maior a biodegradação de compostos orgânicos.

Para que a remoção de compostos orgânicos seja eficiente, o ideal é que a água do manancial tenha Carbono orgânico total (COT) menor que 8 mg/L e Carbono orgânico dissolvido (COD) menor que 6 mg/L. Se a maior parte da composição do COT é de material biodegradável, esse carbono pode consumir todo o oxigênio disponível nos processos de biodegradação, o que torna o meio anóxico. Tal condição, por sua vez, pode facilitar a dissolução de íons como ferro e manganês (GRICHECK *et al.*, 2007). No que se refere à matéria orgânica (MO) particulada, por exemplo, como as microalgas e efluentes domésticos em altas concentrações, pode levar à biocolmatação (GRICHECK *et al.*, 2007).

### **2.3.8 Filtração em margem de lago**

O principal objetivo da filtração em margem de lago é, na prática, proporcionar pelo menos o pré-tratamento da água do manancial superficial, através dos sedimentos de suas margens (BOUWER, 2002), e, com isso, preservar as águas subterrâneas dos aquíferos.



Desse modo, a extração de água, por filtração em margem, só é sustentável se o abastecimento de água de superfície for reabastecido continuamente, e, portanto, tais mananciais superficiais deverão prover volume suficiente para que essa retirada seja muito menor que sua recarga. Assim, a filtração em margem de lago traz essa característica, desde que sua extensão (área superficial) seja considerável (MASSMANN *et al.*, 2008).

Lagos em regiões litorâneas, geralmente, oferecem características favoráveis para a filtração em margem, por deterem recargas apreciáveis, decorrente do lençol freático, e por serem aflorantes, já que estão situados em regiões planas ou em grandes extensões territoriais, o que pode também está ligado a uma sequência de lagos. Logo, a filtração em margem de lago pode ser uma extração ideal e um método para tratamento de água de superfície do lago, potencialmente, pode reduzir os custos de tratamento da água, desde que existam aquíferos rasos adequados ao longo da margem do lago, através da qual a água do lago pode ser extraída (SEBOK, 2018).

Evidentemente, há muito mais bibliografia sobre a filtração em margem de rio do que a de lago. Em um manancial superficial, isso se for em um lago, haverá condições específicas que podem ter maior relevância, ao se partir do princípio da avaliação de sua formação, isto é, se o lago é natural ou é artificial. Quando for artificial, será necessário investigar o motivo de sua implantação, pois, muitas vezes, utiliza-se argila compactada para se impermeabilizar as margens, o que faz do mesmo somente como reservatório superficial, assim inviabiliza a FML. Por conseguinte, essa situação das margens irá influenciar, significativamente, nas suas condições geológicas e hidrogeológicas, tanto para obtenção de valores apreciáveis de condutividade hidráulica quanto no surgimento de alguma substância na água filtrada (SENS *et al.*, 2006).

Outra questão, é que a temperatura da água é um dos fatores mais relevantes tanto na filtração em margem de lago quanto na de rio, pois a tendência é que a temperatura tenha uma maior variação em águas calmas (com menor movimentação, assim aquece a mesma água durante o dia inteiro) do que em águas correntes, as quais contam com a declividade longitudinal do curso d'água a seu favor, assim faz com que a água, no ponto de captação (no alinhamento do poço), tenha sempre uma água de montante propiciando que a amplitude térmica seja muito inferior daquela a qual recebeu a influência do sol ao longo do dia. Além disso, a diferença da temperatura da água, entre manancial e poço de produção, pode ser uma confirmação da ocorrência da filtração em margem. Dessa maneira, a aproximação destas

temperaturas, isto é, o aumento da temperatura da água do poço, é um forte indício de que a água é proveniente do lago (SOARES, 2015).

A questão da sazonalidade, em rios, é muito preponderante, quando se tem em vista que a variação da vazão de um manancial superficial é muito relativa a cada estação do ano (períodos chuvosos e períodos de estiagem). Já em um lago, a sazonalidade poderá ser influenciada mais pelos múltiplos usos do manancial superficial, por exemplo, servir como fonte de irrigação para determinadas culturas, que utilizam de uma grande quantidade de água em determinadas épocas do ano, o que coincide com o verão, assim faz com que o nível normal da lâmina d'água venha baixar de maneira significativa, dessa maneira, pode alterar a condutividade hidráulica da filtração em margem e, conseqüentemente, o bombeamento no poço de produção (GUEDES, 2018).

Os ventos podem ser um grande influenciador na turbulência da água de um lago, inclusive naqueles com pequena profundidade (rasos, com apenas alguns metros) e grande área superficial (regiões muito planas, por exemplo, como regiões litorâneas). Tal fator poderá prejudicar muito a qualidade da água no manancial, entretanto, para a filtração em margem, esse fator pode ser positivo, no sentido de interferir nos primeiros centímetros do leito, o que promove a movimentação dessa superfície e, por conseguinte, sua autolimpeza (SENS *et al.*, 2006).

Ademais, o tempo de percurso da água é influenciado, de forma intrínseca, pelas questões geológicas e hidrogeológicas locais e poderá ser alterado mediante a modificação da distância entre o manancial e o poço de produção tal como da vazão de bombeamento. Quanto menor a distância entre manancial-poço, menor será o tempo de percurso e, quanto maior for a vazão de captação, da mesma forma, será menor esse tempo. Evidentemente, o solo deverá ter uma certa homogeneidade, a fim de que isso se torne verdadeiro, na faixa de solo entre o manancial e o poço de produção. Quando se fala em lago, espera-se que a influência do aquífero (água subterrânea) seja a menor possível, para que isso aconteça, a filtração em margem deverá ser favorecida, isto é, a distância entre o manancial superficial e o poço de produção não deverá ser maior que 30 m, uma vez que a estimativa da vazão infiltrada na margem é algo extremamente difícil de prever por meio de modelos matemáticos, porquanto depende de fatores complexos como a colmatação – que é associada às variações do nível e à qualidade da água no manancial – e a degradação do material infiltrado no solo das margens e fundo dos mananciais, dentre outros aspectos (DILLON *et al.*, 2002).

### 2.3.9 Filtração em Margem: histórico no mundo

A filtração em margem (FM) é uma tecnologia de tratamento de água utilizada há mais de 200 anos na Europa na produção de água para abastecimento, ao longo dos rios Reno, Elbe e Danúbio (RAY *et al.*, 2003). Embora a FM não seja amplamente utilizada nos Estados Unidos, o interesse cresceu, por ser um tratamento de baixo custo, completo e alternativo aos sistemas de filtração para remover patógenos da água, tais como *Giardia*, *Cryptosporidium* e vírus (SENS *et al.*, 2006).

A primeira utilização de FM que se tem conhecimento, para fins de abastecimento de água, foi da Companhia no Reino Unido (Glasgow Waterworks), a qual construiu uma tubulação drenante, paralela ao rio de Clyde, em 1810, para extrair água filtrada da margem do rio. Em meados do século XIX, a FM foi adotada, oficialmente, na Europa para produzir água potável.

Na Europa Ocidental, uma das primeiras instalações de FM foi construída na Alemanha, em ambos os lados do rio Reno, devido aos recursos limitados de águas subterrâneas na região. Em busca de melhorias para o sistema de FM, um engenheiro inglês, chamado William Lindley, desenvolveu um projeto o qual continha inovações para esta tecnologia, nesse projeto foram incluídos poços, estação de bombeamento, tubo principal e reservatório. Logo, a construção do sistema foi feita em Flehe, na Alemanha, e levou menos de 2 anos para ser concluída, ainda iniciou sua operação em 1870 e desde então o processo encontra-se ininterrupto. A partir das melhorias propostas pelo engenheiro inglês, a técnica de filtração em margem se aproximou mais daquela que é utilizada hoje em dia (RAY *et al.*, 2003).

Devido a um surto de epidemia de cólera em Hamburgo, Alemanha, em 1892, causada pelo uso direto das águas do rio Elbe para o abastecimento público, o uso de passagens artificiais ou naturais da água do rio pelo subsolo como nova forma de captação de água para consumo humano, tornou-se essencial. Dados estatísticos de 1998 demonstraram que, dentre fontes usadas para abastecimento de água por membros da associação de saneamento do rio Reno (lado Alemão e Holandês), 49 % correspondiam a FM e a recarga de água subterrânea (RAY *et al.*, 2003).

Outras instalações de FM de grande porte na Alemanha ficam situadas ao longo do rio Elbe (trecho superior) em torno das cidades de Dresden, de Meissen e de Torgau. Algumas instalações de FM no Danúbio operam há mais de um século, como em torno de Viena, da

Áustria e da cidade de Bratislava na República Eslováquia. Além disso, outros projetos importantes de FM podem ser encontrados em Budapeste e na cidade de Belgrado na Iugoslávia. Nos Estados Unidos, poços com coletores horizontais são usados, frequentemente, na FM no intuito de captar grandes vazões em pequenas áreas (SENS *et al.*, 2006).

Segundo dados publicados em 2002 (TUFENKJI *et al.*, 2002), a Filtração em Margem era utilizada como forma de tratamento de até 80% de água de um país, como é o caso da Suíça. Nos Países Baixos são 7%; na Alemanha, 16%; na Hungria, 40%; na Finlândia, 48% e na França, 50%. No resto do mundo, não é tão comum devido à melhor disponibilidade de água superficial e subterrânea com boa qualidade.

Nos últimos anos, o uso da FM vem crescendo bastante em vários países do mundo. Nos Estados Unidos, essa técnica tem sido usada em estados como Nebraska, Kentucky, Texas e Califórnia e várias instituições de ensino têm investido em pesquisas relacionadas com a mesma (TUFENKJI *et al.*, 2002). De acordo com Hunt (2003), a experiência americana com a filtração em margem começou em meados da década de 1930. Assim, os Estados Unidos acumulam mais de 80 anos de utilização dessa tecnologia. Enquanto a Europa e os Estados Unidos têm usado a FM no processo de abastecimento d'água por várias décadas, outros países iniciaram os investimentos, nessa técnica, muito mais recentemente (HU *et al.*, 2016).

No entanto, o principal problema nos países em desenvolvimento não é a indisponibilidade de tecnologias, mas sim o fato de as partes interessadas desconhecerem a adequabilidade de uma tecnologia sobre outras em diferentes situações. Por isso, o maior desafio é selecionar uma tecnologia apropriada, a qual considera a viabilidade técnica e financeira; costumes e práticas; preferências e suporte institucional disponível (SHAMRUKH e ABDEL-WAHAB, 2011). Nesses países, embora disponham de um sistema de abastecimento de água suficiente, não possuem técnicas e nem recursos econômicos para garantir o acesso ilimitado à água potável, o que leva a uma necessidade urgente de desenvolver alternativas às técnicas clássicas de produção de água potável, ou seja, adaptá-las às suas condições econômicas e sociais (UNESCO, 2009).

Assim, a FM se encaixa em sua realidade, já que se tratar de uma técnica que depende de um fenômeno natural para produzir água (BLAVIER, 2014). Dessarte, vários países ao redor do mundo – sobretudo países emergentes – têm iniciado pesquisas e operações no campo da FM enquanto alternativa ao tratamento de água convencional nas últimas décadas.

Entre esses países, a Coréia do Sul iniciou em 2001, na cidade de Changwon esse método de tratamento de água (LEE e LEE, 2010). No Egito, um sistema de filtração às margens do Rio Nilo foi introduzido para o abastecimento de mais de 30 mil pessoas em 2004 (SHAMRUKH e ABDEL-WAHAB, 2008). Na Tailândia foi construído um sistema que simula a colmatação do leito do Rio Ping, na província de Chiang Mai, onde há déficit no abastecimento urbano e grande potencial de implantação do sistema de FM (PHOLKERN *et al.*, 2015). Na Malásia iniciaram-se pesquisas, através de modelagens numéricas, usando MODFLOW. Por conseguinte, essas pesquisas têm sido fruto de sua primeira estação de filtração em margem no país, localizada no estado de Selangor (MUSTAFA *et al.*, 2016).

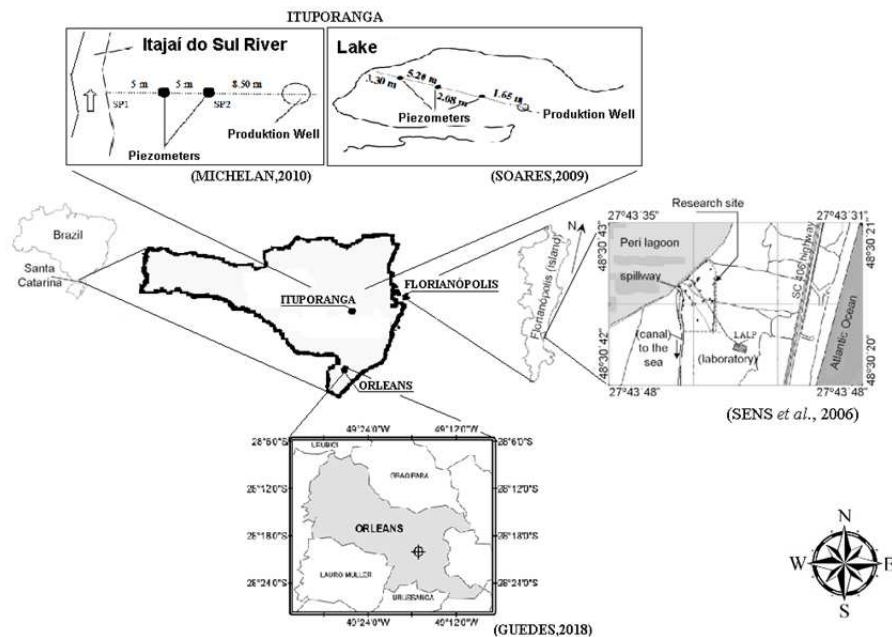
Várias pesquisas também foram conduzidas na Índia, em que essa técnica tem mostrado resultados positivos, mesmo em locais onde as águas superficiais são de péssima qualidade (BOVING *et al.*, 2014). Muitas cidades desse país já vêm usando a FM, inclusive sem nenhum tratamento adicional (SANDHU *et al.*, 2011). Portanto, a FM foi bem-sucedida em rios indianos com alta concentração microbiológica, como o rio Arani, cuja presença de *Escherichia spp.*, *Salmonella spp.*, *Shigella spp.* e *Clostridium spp.* estavam presentes nesse rio e foram drasticamente reduzidas (PARIMALARENGANAYAKI *et al.*, 2015).

A FM já é amplamente utilizada na China, que possui mais de 300 estações, sobretudo, no norte do país. Mais de 50 estações estão localizadas ao longo do Rio Amarelo (HU *et al.*, 2016). Muitos estudos tem sido realizados sobre a variabilidade espacial da condutividade hidráulica em rios intermitentes com clima bastante árido (Rio Donghe), e em rios cuja bacia possui clima semi-úmido continental (Rio Weihe) (MIN *et al.*, 2013; WANG *et al.*, 2016). Nesse país, a FM tem se mostrado uma tecnologia eficiente para aliviar a carência de água, especialmente em regiões áridas e semi-áridas (HU *et al.*, 2016).

### **2.3.10 Filtração em Margem: histórico no Brasil**

Os primeiros estudos no Brasil foram realizados no estado de Santa Catarina, conforme apresenta a Figura 9. Além do mais, foram iniciados em 2003 na Lagoa do Peri, situada ao sul da ilha de Florianópolis, no Estado de Santa Catarina (SC), e foram concluídos em 2017.

Figura 9 - Localização dos pontos de estudo da técnica de FM no Estado de Santa Catarina, Brasil



Fonte: próprio autor.

No Brasil, essa tecnologia é estudada há 17 anos, limitando-se até então a estudos de campo, ainda não há relatos sobre o uso da tecnologia em escala real. Contudo, a mesma é utilizada faz algum tempo, sem ser denominada de FM, no Alto-Vale do Itajaí – Estado de Santa Catarina, por meio de poços de 1,2 a 1,5 m de diâmetro, construídos ao longo dos rios Itajaí do Sul, Itajaí do Oeste e Itajaí do Norte (afluentes do rio Itajaí Açu) (SENS *et al.*, 2006).

Os pesquisadores construíram dois poços de proteção (um em cada lado do poço de produção), a fim de assegurar que a água infiltrada fosse oriunda, preferencialmente, da Lagoa do Peri (SENS *et al.*, 2006). Os estudos envolveram desde a caracterização do solo (ESQUIVEL *et al.*, 2016; SENS e DALSSASSO, 2007; SENS *et al.*, 2006) no entorno do poço até o monitoramento detalhado da qualidade da água dos dois poços construídos (CAMPOS, 2012; ESQUIVEL *et al.*, 2017; ESQUIVEL *et al.*, 2014; ESQUIVEL *et al.*, 2016; ESQUIVEL *et al.*, 2012; MONDARDO, 2009; SENS e DALSSASSO, 2007; SENS *et al.*, 2006; SOARES *et al.*, 2019), o que permitiu demonstrar, dentre vários resultados, a eficiência da FM na remoção significativa da cor aparente e turbidez, bem como a remoção de 100% das cianobactérias. Aliás, foram determinados, também, a porosidade efetiva da camada saturada do aquífero (ESQUIVEL *et al.*, 2012; SENS e DALSSASSO, 2007; SENS *et al.*, 2006), a condutividade hidráulica e a condutividade vertical e horizontal, além de demonstrar que o fluxo seguia naturalmente em direção ao poço de produção (SENS e DALSSASSO, 2007; SENS *et al.*, 2006).

Outro local de estudo na cidade de Florianópolis ocorreu na região de Barra da Lagoa (BURGARDT, 2017). Nessa região, o sistema de FM foi construído a fim de melhorar as características da água do mar para posterior encaminhamento ao processo de osmose reversa. Assim, o tipo de filtração foi angular, na qual o poço de produção foi construído inclinado, formando um ângulo entre  $-20^\circ$  e  $-45^\circ$ , com o nível do solo utilizado por Burgardt (BURGARDT, 2017; BURGARDT *et al.*, 2017; BURGARDT e SENS, 2018). Da mesma forma que na Lagoa do Peri (sul da ilha) houve caracterização do solo no entorno do poço, seguido de monitoramento da qualidade da água filtrada, de modo sucinto, em que foi possível observar excelente remoção de cor aparente e turbidez.

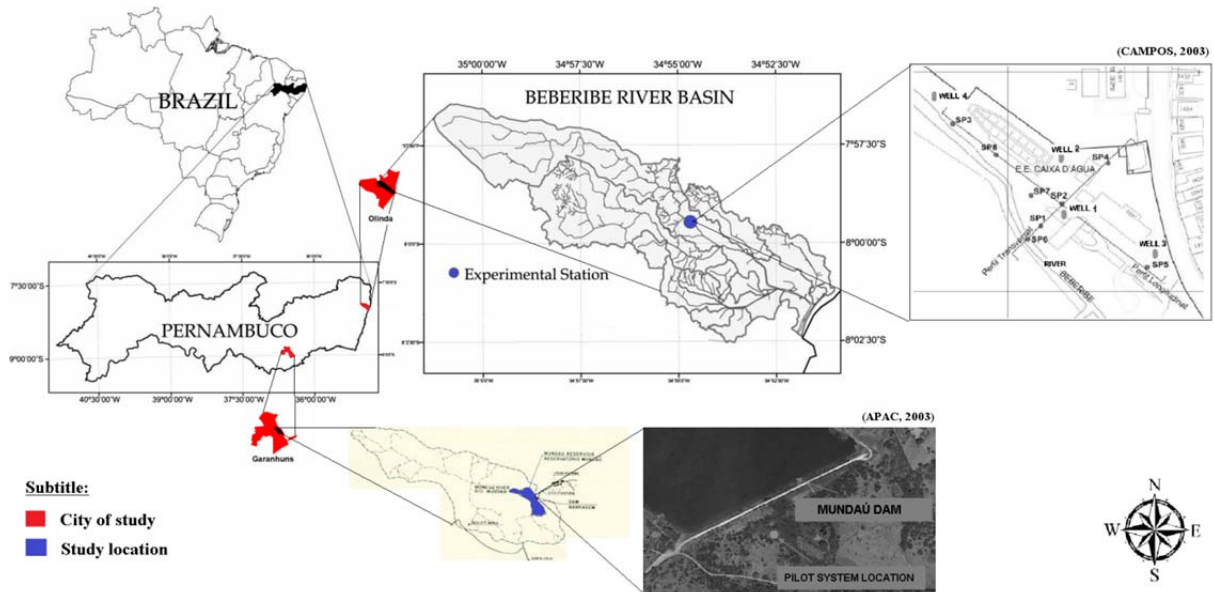
Ainda, no Estado de Santa Catarina, especificamente na cidade de Ituporanga, foram realizados estudos em um Lago de aquicultura para fins de tratamento de água do lago para dessedentação animal (SOARES, 2009). Logo, o monitoramento da qualidade da água demonstrou a remoção de 100% de sólidos totais dissolvidos, bem como dos parâmetros biológicos (coliformes totais, *E. Coli* e fitoplâncton total).

Ademais, nessa mesma cidade, estudos foram conduzidos com o objetivo de verificar a eficiência da FM como pré-tratamento, seguida de filtração lenta, como tecnologias de tratamento de água do manancial rio Itajaí do Sul (Ituporanga/SC), com objetivo de remover carbofurano da água de abastecimento para comunidades rurais de base familiar. De acordo com Michelin (2010), pode ser possível remover em torno de 69% do pesticida da água, conforme demonstrou em seus estudos.

Na cidade de Orleans, no Rio Belo, aplicou-se a técnica de FM, com bombeamento fotovoltaico, como tratamento simplificado de águas para abastecimento de comunidades isoladas (GUEDES, 2018). E também foram obtidos excelentes resultados com remoção de quase 100% de cor aparente e verdadeira bem como da turbidez. Houve também remoção de 100% de Coliformes totais, *E. Coli*.

Outros locais de estudo da FM no Brasil, ocorreram no Estado de Pernambuco (PE), conforme é apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Localização dos pontos de estudo da técnica de BF no Estado de Pernambuco, Brasil.



Fonte: próprio autor.

Alguns estudos ocorreram em parceria com a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). A primeira estação experimental para FM foi implantada na Estação Elevatória de Caixa d'Água, em Olinda, às margens do Rio Beberibe, na região metropolitana da cidade de Recife, capital do Estado de Pernambuco (PAIVA, 2009).

O interesse dos pesquisadores nessa região foi motivado pelo fato de que ocorrem no local, altas taxas de concentração de coliformes fecais e problemas relacionados à intensa atividade industrial, urbana (esgoto doméstico e escoamento superficial) e agrícola, além do desmatamento ciliar, construção de rodovias e pontes, escoamento pluvial de rodovias e lixões, que impactam a bacia hidrográfica do Beberibe (PAIVA *et al.*, 2010). Além da análise granulométrica do solo no entorno do poço (FREITAS *et al.*, 2012; FREITAS, 2018; PAIVA, 2009; PAIVA *et al.*, 2010; VERAS, 2011), foi avaliada também a meiofauna hiporréica (ALBUQUERQUE, 2015; FREITAS, 2018; VERAS *et al.*, 2016).

Quanto à qualidade da água, obteve-se quase 100 % de remoção de cor aparente (ALBUQUERQUE, 2015; FREITAS *et al.*, 2017), da turbidez (ALBUQUERQUE, 2015; DEMÉTRIO *et al.*, 2013; FREITAS, 2010; FREITAS *et al.*, 2012; FREITAS *et al.*, 2017; PAIVA, 2009; PAIVA *et al.*, 2010) e de sólidos suspensos (PAIVA, 2009). Destaca-se também, a remoção de 100% de cromo (FREITAS, 2010; PAIVA, 2009), 97% de magnésio (FREITAS, 2018) e 96% de ferro total (FREITAS, 2010; FREITAS *et al.*, 2012; PAIVA, 2009; PAIVA *et al.*, 2010), além de 90 % da amônia, 100% de nitritos e 73% de nitratos

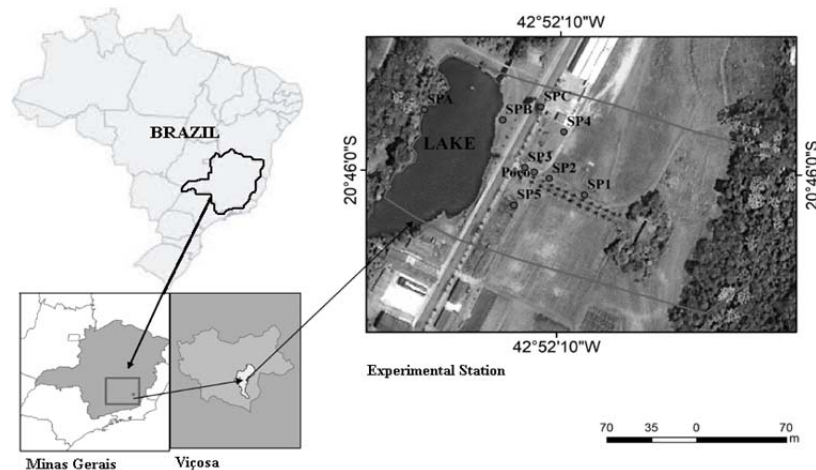


(ALBUQUERQUE, 2015; FREITAS, 2010; FREITAS *et al.*, 2012; PAIVA, 2009; PAIVA *et al.*, 2010). Das 12 espécies de protozoários e helmintos encontrados no Rio Beberibe, após a FM, todos foram considerados ausentes (DEMÉTRIO *et al.*, 2013; FREITAS *et al.*, 2017), da mesma forma que os coliformes totais, E.Coli (ALBUQUERQUE, 2015; DEMÉTRIO *et al.*, 2013; FREITAS, 2010; FREITAS *et al.*, 2012; FREITAS *et al.*, 2017; PAIVA *et al.*, 2010) e as cianobactérias (FREITAS, 2010; FREITAS *et al.*, 2012).

Outros estudos no Estado de Pernambuco aconteceram em uma região semiárida na cidade de Garanhuns, a cerca de 240 Km da capital Recife, no Reservatório de Abastecimento Público de Mundaú, que apresentava avançado processo de eutrofização. Após a caracterização do solo no entorno do poço (SANTOS *et al.*, 2011), monitorou-se a qualidade da água filtrada, em que foi possível observar redução da turbidez e oxigênio dissolvido bem como a eliminação de cianobactérias (GUEDES *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2011).

Por fim, o último local no Brasil com estudos acerca da FM é na cidade de Viçosa, um município ao sul Estado de Minas Gerais (MG), distante 230 Km da capital Belo Horizonte. O sistema de FM foi instalado em 2013, em uma microbacia localizada nas dependências da Universidade Federal de Viçosa (ROCHA, 2015; ROCHA e MARQUES, 2016,2018) conforme mostra a Figura 11.

Figura 11 - Mapa de localização da área de estudo – Estado de Minas Gerais



Fonte: (ROCHA, 2015).

Os autores verificaram a redução da turbidez no poço de produção, bem como pH, fosfatos, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio bem como a completa remoção de *E. coli*.

### 2.3.10.1 Palmares do Sul (RS), Granja Vargas

Palmares do Sul é uma cidade litorânea do estado do Rio Grande do Sul, conforme demonstrado na Figura 12, e fica a uma distância de 83 Km da Capital do estado, Porto Alegre. Na estrutura da CORSAN, a mesma faz parte da Superintendência Regional Litoral – SURLIT.

Figura 12. Localização do município de Palmares do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul.



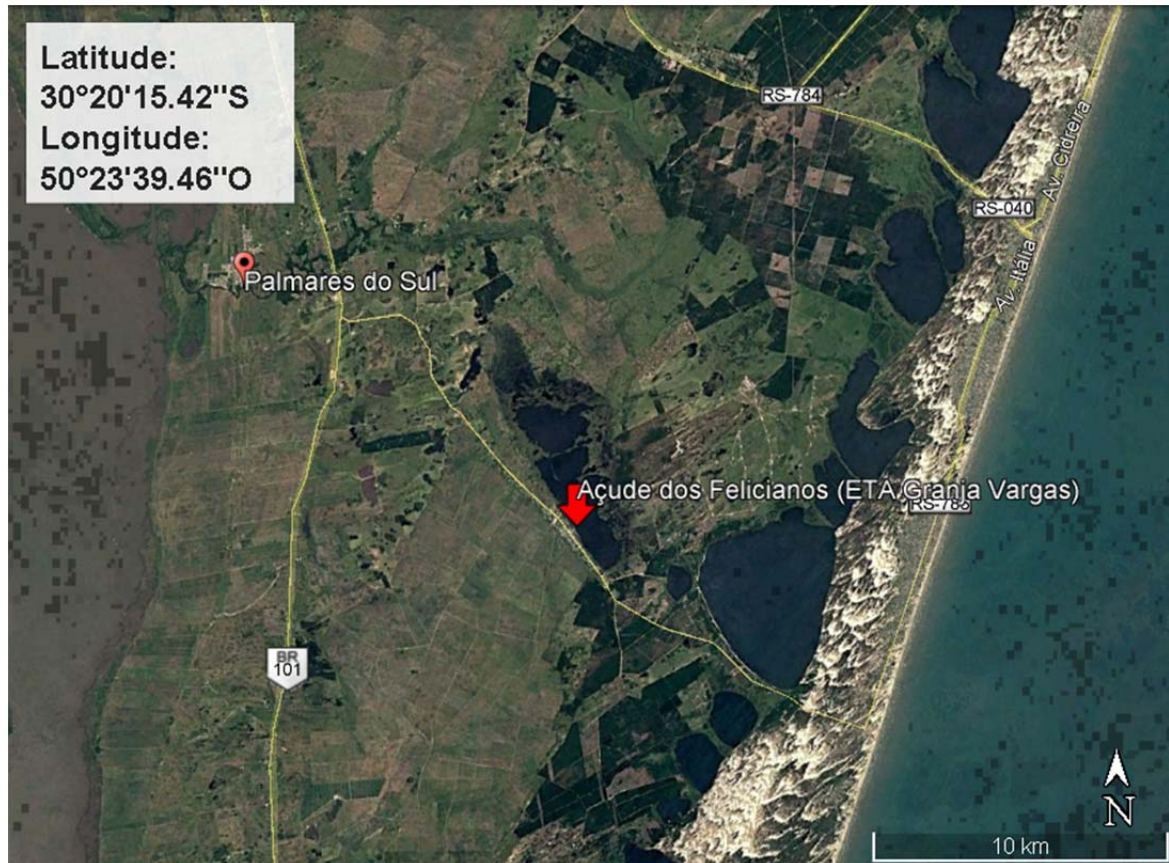
Fonte:(CECCONELLO, 2015)

Além disso, localiza-se na latitude 30°15'28" sul e na longitude 50°30'35" oeste e estende-se por planícies a 9 m, em média, acima do nível do mar. E a sua população total é estimada em 11.431 habitantes, segundo dados do IBGE (2016), o que resulta na densidade demográfica de 12,55 hab/km<sup>2</sup> e possui uma área de 947,35 km<sup>2</sup>. Ainda, o município é composto por seis distritos: Granja Getúlio Vargas, Bacupari, Frei Sebastião, Butiatuva, Casa Velha e Quintão, esse último dividido em seis praias: Quintão, Quintão Velho, Dunas Altas, Rei do Peixe, Frade e Santa Rita. Os municípios limítrofes são Balneário Pinhal, Capivari do Sul e Mostardas.

O distrito de Granja Getúlio Vargas, mais conhecido somente como Granja Vargas, tem quase 3.000 habitantes (em torno de 600 economias) e é apresentado na Figura 13. Esse distrito possui o sistema de abastecimento público de água descentralizado, isto é, o sistema é independente do perímetro urbano do município. Também possui uma estação de tratamento

de água com captação superficial nas margens de um lago, conhecido como açude dos Felicianos, o que seria positivo para escolha do local.

Figura 13. Localização do distrito de Granja Vargas na cidade de Palmares do Sul



Fonte: Google Earth Pro.

### 3 CAPÍTULO 1

#### **IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM POTENCIAL PARA FILTRAÇÃO EM MARGEM DE LAGO EM SISTEMAS DA CORSAN E CARACTERIZAÇÃO DESSAS ÁREAS DE ACORDO COM A SUCEPTIBILIDADE**

##### 3.1 INTRODUÇÃO

Este primeiro capítulo demonstra a investigação nos poços em funcionamento para abastecimento público no estado do Rio Grande do Sul, os quais a Corsan (Companhia Riograndense de Saneamento) detém, assim indica as localidades que tenham compatibilidade com a técnica a fim evidenciar a potencialidade da FML, a partir de informações pré-existentes por meio da utilização da ferramenta de georreferenciamento.

Quando se realizou a indicação dos poços com potencialidade para esta técnica, a pretensão não era utilizar o poço existente (selecionado), mas somente suas informações geológicas, como um inventário de sondagem e indicar a(s) localidade(s) para uma futura perfuração, sendo essa perfuração nos moldes da FML. E, evidentemente, como a profundidade desse novo poço será menor, seu nível dinâmico também será proporcional, o que não possibilita o bombeamento de uma vazão muito elevada e para isso provavelmente seja necessário uma sequência de poços rasos para suprir a demanda de abastecimento público ou simplesmente aumentar seu diâmetro, logo, a partir da perfuração de um poço raso com o maior diâmetro possível, poderá se ter noção da vazão máxima a ser bombeada.

A maior e mais abrangente empresa de saneamento no estado do Rio Grande do Sul é a Corsan, que foi criada em 21 de dezembro de 1965 e oficialmente instalada em 28 de março de 1966, que é a data oficial de sua fundação.

Dessa forma, a Corsan totaliza 325 unidades, isto é, atua em 325 municípios dos 497 municípios do estado do RS. Então, isto representa 65% dos municípios do estado e uma população de um pouco mais que 7 milhões de uma população estadual de 11.330 milhões. Na história da empresa, em um pouco mais de 50 anos, a perfuração de poços já ultrapassa 5 mil unidades, sendo que apenas 830 poços permanecem em operação. Ela é dividida em 10 regionais (Figura 14):

Figura 14. Divisão das regionais da Corsan no Estado do Rio Grande do Sul



**SURNE:** Superintendência Regional Nordeste: 60 unidades;  
**SURMET:** Superintendência Regional Metropolitana: 10 unidades;  
**SURSIN:** Superintendência Regional dos Sinos: 30 unidades;  
**SURFRO:** Superintendência Regional da Fronteira: 6 unidades;  
**SURCEN:** Superintendência Regional Central: 31 unidades;  
**SURLIT:** Superintendência Regional do Litoral: 17 unidades;  
**SURSUL:** Superintendência Regional do Sul: 22 unidades;  
**SURPLA:** Superintendência Regional Planalto: 70 unidades;  
**SURPA:** Superintendência Regional Pampa: 16 unidades;  
**SURMIS:** Superintendência Regional das Missões: 63 unidades;

FONTE: *homepage* da Corsan

Sendo assim, neste capítulo, buscou-se reunir informações geográficas e geológicas dos 830 poços da Corsan que se encontram em operação, a fim de investigar de forma rápida, possíveis locais onde a tecnologia de FML pudesse ser aplicada. Esses dados serviram como suporte para os demais capítulos desta tese.

## 3.2 OBJETIVO

Identificar áreas com potencial para FML em sistemas da Corsan e caracterizar essas áreas de acordo com a susceptibilidade.

### 3.2.1 Objetivos específicos

- Caracterizar poços em operação pela Corsan em termos de: localização geográfica, detalhes construtivos, perfil geológico, características operacionais, qualidade da água produzida, posicionamento em relação ao manancial próximo.
- Classificar os locais selecionados quanto à susceptibilidade para aplicação da FML na perspectiva de pré-tratamento para uma ETA convencional.

### 3.3 METODOLOGIA

Foi obtida, junto ao Departamento de Gestão e Perfuração de Poços (DGPPPO), a listagem dos poços em operação sob responsabilidade da Corsan em todo o estado do Rio Grande do Sul, bem como a regional a que pertence. Tais informações foram obtidas em outubro de 2019, nesse sentido, retratam a realidade da época.

Diante da listagem total dos poços, ainda foi realizada uma investigação da potencialidade a partir da localização desses poços para FM. Para tal, utilizou-se a ferramenta Google Earth Pro (gratuita), com a qual foi obtida a localização espacial com base nas imagens de satélite de cada poço e por intermédio das coordenadas geográficas cedidas pelo DGPPPO, assim foi possível analisar a sua distância com relação à proximidade de algum lago (manancial superficial), de no máximo 60 m lineares, algo em torno de 50 m lineares mais uma tolerância de 10 m a fim de não descartar algum poço em potencial somente por alguns metros a mais, já que não há nenhum impedimento técnico.

Na sequência, foi solicitado ao mesmo departamento os perfis de perfuração de cada localidade selecionada, com proximidade de algum lago, para fazer uma segunda seleção, uma investigação mais detalhada junto ao seu perfil geológico, a partir dos poços que possuíssem areia em seu perfil até a primeira camada impermeável, sendo estipulada uma profundidade limite de 30 m para observação nesses perfis (contando a partir do nível de solo, sua profundidade) pois conforme literatura, uma profundidade maior já não é interessante para a técnica.

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atualmente (dados de outubro de 2019), a Corsan conta com 830 poços em operação, distribuídos pelo Estado do Rio Grande do Sul, e pertencentes às diversas Superintendências regionais, conforme aparece Figura 14. A localização exata dos poços foi fornecida pela empresa. Dos 830 poços em operação na Corsan, cuja listagem completa e adaptada, encontra-se no APÊNDICE A, foi possível indicar 48 poços em que a localização apresenta potencialidade para FM, nessa primeira seleção, ao se levar em consideração apenas distância do manancial (lago). Somente para fins de informação, se fosse levado em conta o manancial superficial sendo o rio também, o número aumentaria para 63 localidades (15 pontos a mais).



Segundo Dillon (2002), o tempo de percurso da água no subsolo está diretamente relacionado à qualidade da água. O mais comum é que os poços construídos para FM distanciem do manancial de 15 a 50 m, para que se obtenha um tempo de viagem suficiente para que a água seja filtrada em margem de forma a obter água de boa qualidade (DILLON *et al.*, 2002; SENS *et al.*, 2006).

Nesse trabalho, para a primeira seleção de poços baseada na distância poço-manancial, limitou-se a 60 m lineares a fim de abranger um número maior de localidades, cujos poços se distanciavam pouco mais de 50 m do manancial. Quanto ao tipo de manancial, foram selecionados apenas lagos, conforme tabela a seguir. Caso fosse levado em consideração os 63 pontos, com objetivo de aumentar sua potencialidade, teria 76% para lagos e 24% para rios. A qualidade dos mananciais (no sentido qualitativo e quantitativo da água superficial) não foi utilizada na seleção dos locais em potencial para aplicação da FM, mas salienta-se que a água obtida nesses poços selecionados está dentro dos padrões de potabilidade, tendo em vista que os mesmos estão em operação.

A Tabela 4 demonstra o código do poço, a cidade e a superintendência da Corsan ao qual pertence, além da distância e o tipo de manancial em suas proximidades. Referente à distância do manancial, existe uma imprecisão por parte das imagens utilizadas pela ferramenta Google Earth Pro ser de até +/- 5 m, portanto, a distância medida pode variar tanto 5 m a menos quanto 5 m a mais. Perceptivelmente, àquelas medidas que são inferiores a 5 m de distância entre manancial e poço, provavelmente essa imprecisão será acrescida, pois não se tem informação de perfuração de poço dentro do manancial, até porque esta situação é impraticável para esta finalidade. Além disso, a distância medida não leva em consideração o relevo, imperfeições do solo (aclives/declives). Entretanto, como geralmente procura-se uma região plana para perfuração, para instalação da perfuratriz e todos os equipamentos necessários para sua perfuração, entende-se que o relevo ao redor de cada poço estudado, seja plano.

Tabela 4 - Listagem dos poços em operação com proximidade à manancial

<b>Código do poço</b>	<b>Município</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>	<b>Tipo de Manancial</b>	<b>Distância</b>
ARR - 02/ 4061	ARROIO DOS RATOS	SURMET	LAGO	8,85 m

<b>Código do poço</b>	<b>Município</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>	<b>Tipo de Manancial</b>	<b>Distância</b>
ARV - 09	ARVOREZINHA	SURNE	LAGO	44 m
ARV - 20B	ARVOREZINHA	SURNE	LAGO	43 m
CAM - 08	CAMPINA DAS MISSOES	SURMIS	LAGO	47 m
CNO - 08	CAMPO NOVO	SURMIS	LAGO	47 m
CGO - 02	CANDIDO GODOI	SURMIS	LAGO	36 m
CLA - 20	CERRO LARGO	SURMIS	LAGO	55 m
CLA - 26	CERRO LARGO	SURMIS	LAGO	33 m
CON - 06	CONDOR	SURMIS	LAGO	39 m
FVA - 04	FAGUNDES VARELA	SURNE	LAGOS	45 m
SGO - 07	FLORES DA CUNHA	SURNE	LAGO	50 m
GAR - 01	GARIBALDI	SURNE	LAGO	60 m
GAR - 02	GARIBALDI	SURNE	LAGO	24 m
GIR - 09	GIRUA	SURMIS	LAGO	15 m
HOR - 01	GRAMADO	SURNE	LAGO	32 m
IND - 06	INDEPENDENCIA	SURMIS	LAGO	41 m
IND - 12	INDEPENDENCIA	SURMIS	LAGO	54 m
LBS - 07	LIBERATO SALZANO	SURPLA	LAGO	4 m
MQS - 01	MARQUES DE SOUZA	SURNE	LAGO	1 m
MAX - 07	MAXIMILIANO DE ALMEIDA	SURPLA	LAGO	27 m



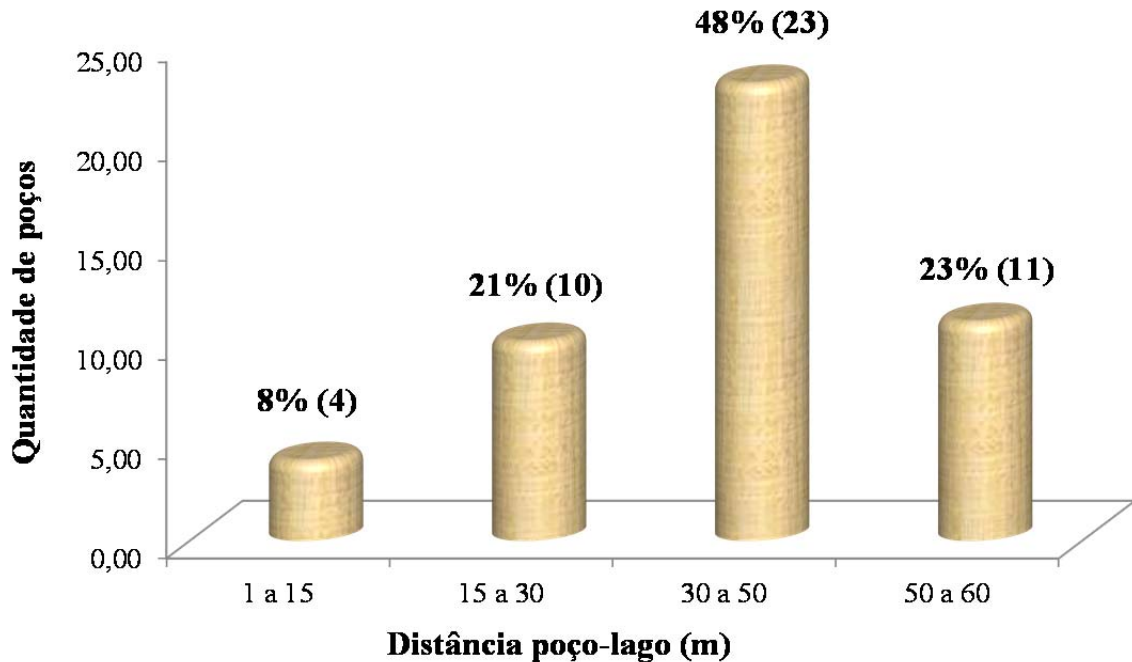
<b>Código do poço</b>	<b>Município</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>	<b>Tipo de Manancial</b>	<b>Distância</b>
MIR - 05	MIRAGUAI	SURMIS	LAGO	44 m
PRI - 16	PARAI	SURNE	LAGO	15 m
PXA - 06A	PORTO XAVIER	SURMIS	LAGO	27 m
RED - 07	REDENTORA	SURMIS	LAGO	18 m
ROD - 03	RODEIO BONITO	SURPLA	LAGO	40 m
ROD - 05	RODEIO BONITO	SURPLA	LAGO	58 m
LBV - 02	SANTA CRUZ DO SUL	SURCEN	LAGO	15 m
LSC - 06	SANTA CRUZ DO SUL	SURCEN	LAGO	35 m
SMH - 02	SANTA MARIA DO HERVAL	SURSIN	LAGO	40 m
VIP - 03	SANTO ANTONIO DA PATRULHA	SURLIT	LAGO	37 m
LGR - 01	SAO FRANCISCO DE PAULA	SURNE	LAGO	50 m
SUR - 02	SAO JOAO DA URTIGA	SURPLA	LAGO	43 m
SMR - 04	SAO MARTINHO	SURMIS	LAGO	34 m
SMM - 02	SAO MIGUEL DAS MISSOES	SURMIS	LAGO	26 m

<b>Código do poço</b>	<b>Município</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>	<b>Tipo de Manancial</b>	<b>Distância</b>
SVS - 06	SAO VICENTE DO SUL	SURPA	LAGO	52 m
SOB - 07	SOBRADINHO	SURCEN	LAGO	39 m
TDI - 04	TUPARENDI	SURMIS	LAGO	46 m
ESP - 01	VIAMAO	SURMET	LAGO	53 m
STZ - 01	VILA NOVA DO SUL	SURCEN	LAGO	8 m
VGA - 06	VISTA GAUCHA	SURMIS	LAGO	58 m
ATL 01	OSORIO	SURLIT	LAGO	21 m
COR AGS 01A	AGUA SANTA		LAGO	33 m
G 2265AG24	ALEGRETE	SURFRO	LAGO	50 m
COR AMF 04	AMARAL FERRADOR 02	SURSUL	LAGO	35 m
COR ART 09	ARROIO DO TIGRE	SURCEN	LAGO	23 m
COR PDS GRV 02	PALMARES DO SUL	SURLIT		
COR PDS GRV 02 A	PALMARES DO SUL	SURLIT	LAGO	50 m
COR PDS GRV 03	PALMARES DO SUL	SURLIT		

Fonte: adaptado de DGPPPO - CORSAN

Dos 48 poços selecionados, 69% deles encontram-se entre 15 e 50 m distantes do manancial, sendo sua maioria entre 30 e 50 m, e demonstram, num primeiro momento, a potencialidade desses locais para implantação da FM, no que diz respeito à distância, o que pode também ser relacionado ao tempo de percurso requerido para uma filtração em margem eficiente (entre 0,5 e 2 m/dia), segundo Bouwer (2002), Ray e Grischek (2009), e são necessárias outras investigações, dentre elas, uma sobre a potencialidade do local com relação ao tipo de solo (Figura 15).

Figura 15 - Demonstração dos poços com distância a um lago de até 60 m



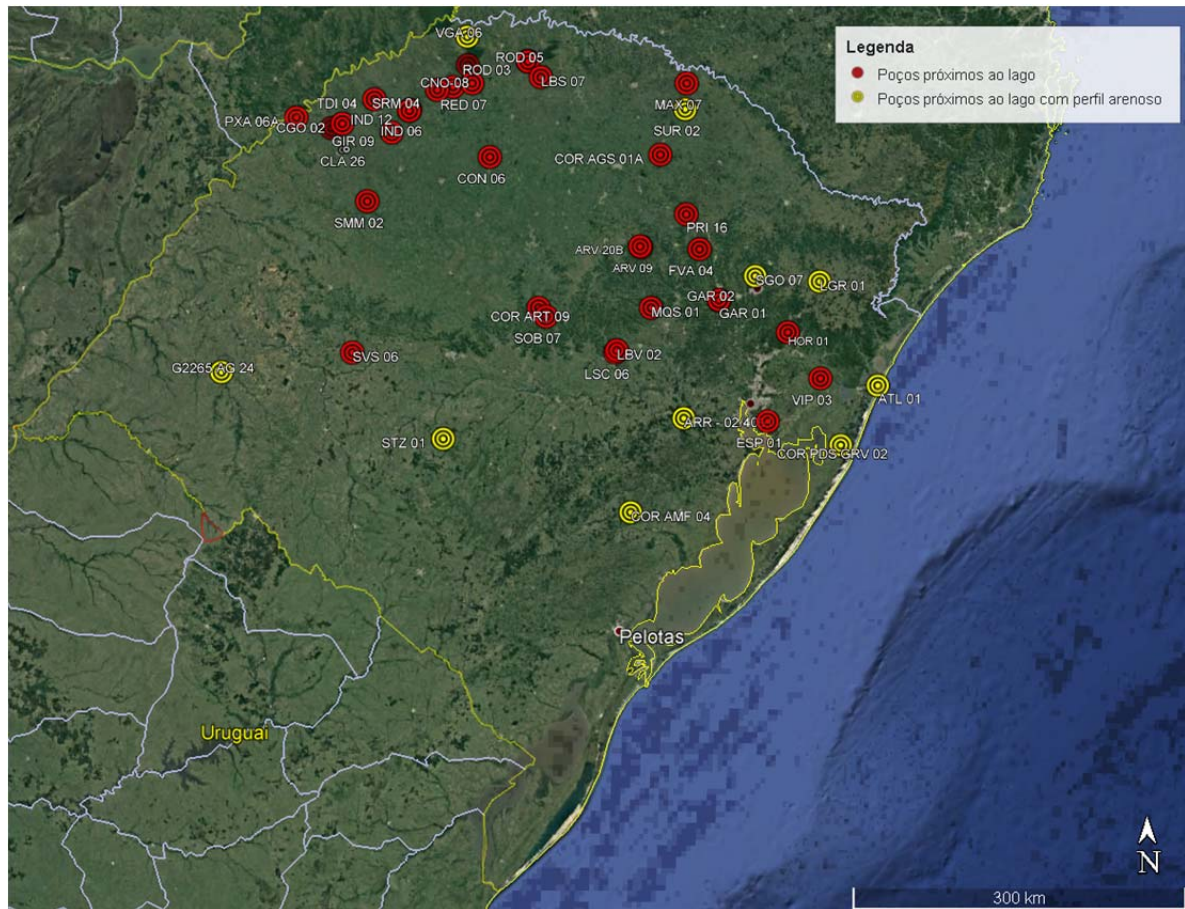
Fonte: próprio autor.

Os poços com menos de 15 m de distância do lago foram mantidos na primeira seleção, a fim de aumentar as possibilidades para a segunda seleção, que foi baseada na composição do solo.

De posse da listagem dos 48 poços, com proximidade ao manancial superficial (lago), foi então analisado cuidadosamente cada perfil, com a intenção de separar os perfis que tivessem areia até a profundidade aproximada de 30 m. Obviamente, o ideal é ter uma classificação mais detalhada dessa camada até 30 m de profundidade. É neste ponto de discussão que o perfil geológico da perfuração (perfil expedito) pode ser insuficiente para se tomar a decisão (diferente do perfil geológico construtivo, após ensaios laboratoriais), sendo necessárias sondagens detalhadas antes da perfuração do poço, propriamente dito.

Sabe-se que o solo exerce grande influência na eficácia da FM, já que solos arenosos são uma das premissas para a implantação da técnica, segundo Ray e Grischek (2009). A etapa foi possível selecionar 15 poços com potencialidade para FM, o que representa cerca de aproximadamente 2% dos 830 em operação e 24% dos poços selecionadas na primeira etapa. Os 63 poços com proximidade a algum manancial, bem como os 15 poços que possuem areia até 30 m de profundidade no seu perfil geológico, encontram-se localizados no mapa do Rio Grande do Sul, apresentado, abaixo, na Figura 16.

Figura 16 - Localização dos poços cujo local apresenta alguma potencialidade para implantação da FM



Fonte: Google Earth Pro (demarcações feitas pelo próprio autor).

É possível observar que os 48 poços, com proximidade a algum manancial, encontram-se mais concentrados nas regiões norte, nordeste, litoral norte, serra e região metropolitana. Contudo, os poços com perfil arenoso situam-se mais na região centro-sul e neste mesmo sentido para a região litorânea.

Alguns desses poços localizam-se no mesmo município, pois nesses municípios existem sistemas descentralizados de abastecimento público de água potável. A seguir, a Tabela 5 traz a listagem dos poços em operação que possuem areia em seu perfil geológico de perfuração.

Tabela 5 - Listagem dos poços em operação com potencial para filtração em margem de lago

Município	Poço	Profundidade total do poço (m)	Profundidade das camadas do poço (m)	Camadas selecionadas	Tipo de Manancial	Distância
SÃO JOÃO DE URTIGA	COR SUR 02	0 - 186 m	0 - 4 m	Solo Arenoso-Argiloso	LAGO	43 m

Município	Poço	Profundidade total do poço (m)	Profundidade das camadas do poço (m)	Camadas selecionadas	Tipo de Manancial	Distância
OSORIO	COR OSO ATL 01	0 - 140 m	0 - 5 m	Arenoso Cinza	LAGO	21 m
VILA NOVA DOS SUL	COR VNS STZ 01	0 - 174	0 - 4m	Solo Areno-Argiloso Marrom	LAGO	8 m
FLORES DA CUNHA	COR FLC SGO 07	0-180m	12-27 m	Pré-filtros areia	LAGO	50 m
VISTA GAUCHA	COR VGA 06A	0 - 168m	0-6 m	Solo Areno-Argiloso	LAGO	58 m
SÃO FRANCIS CO DE PAULA	COR SFP LGR 01	0 - 40	1 - 4	Solo Areno-Argiloso	LAGO	50 m
			4 - 5	Entrada de agua		
			5 - 6	solo areno-argiloso		
ARROIO DOS RATOS	COR ARR 02	0 -55	0 - 5	Solo Areno-Argiloso	LAGO	9 m
			5 - 47	Intercalações argila e areias finas		
ALEGRE TE	G 2265 AG24	0-66 m	10 - 16m	Arenito	LAGO	50 m
AMARAL FERRAD OR	COR AMF 04	0-11	0-8 m	Areia	LAGO	35 m
PALMAR ES DO SUL	COR PDS GRV 1	0 - 80	0 - 6 m	Areia fina ,marrom claro,bem selecionada	LAGO	50 m
			6 - 9 m	Areia fina ,marrom claro,bem selecionada,c/laterita		
			9 - 16 m	Areia fina ,marrom claro,mal selecionada		
			16 - 36 m	Areia fina ,marrom claro,mal selecionada, conchifera		
	COR PDS GRV 02	0 - 130 m	0- 2 m	Solo arenoso cinza		
			2 - 5 m	Areia fina cinza clara		
			5 - 18m	Areia cinza fina amarela		

Município	Poço	Profundidade total do poço (m)	Profundidade das camadas do poço (m)	Camadas selecionadas	Tipo de Manancial	Distância
			18 - 30 m	Areia fina cinza com conchas		
	COR PDS GRV 02 A	0-93 m	0 - 30 m	Areia fina cor bege		
			7 - 13 m	Areia Fina cinza esverdeada		
	COR PDS GRV 03	0 - 30 m	13 - 15 m	Areia fina com pouca argila acastanhada		
			24 - 27 m	Areia fina esverdeada		
			27 - 30 m	Areia fina com argila cinza e conchas brancas		

Fonte: adaptado de DGPPO – CORSAN

Os poços de Vila Nova do Sul (COR VNS STZ 01) e Arroio dos Ratos (COR ARR 02), estão distantes 8 e 8,85 m do manancial (lago), portanto, o perfil geológico é desta localização. Não se tem informação, se a uma distância mais adequada para implantação da FM (entre 15 e 50 m) o solo é arenoso, contudo, já é um indicativo de que há possibilidade de encontrar areia nessa localidade.

Ressalta-se que o número de poços com potencialidade para implantar a tecnologia de FM poderá ser bem maior, caso sejam analisadas estações de tratamento de água que tem sua captação em lago (naturais ou artificiais – reservatórios) com margens essencialmente arenosas, seja em locais de captação de água superficial ou subterrâneo. Desse modo, os perfis construtivos dos 13 poços selecionadas, nessa etapa, encontram-se como ANEXO A desta tese.

Algo relevante a ser relatado é que a concepção da perfuração de poços, que a equipe de geologia da Corsan executou e executa até os dias de hoje, é para obtenção de água de ótima qualidade já dentro dos padrões de potabilidade, conforme legislação vigente. Para isso, essa equipe avança na perfuração através de camadas impermeáveis, assim obtém água de outros aquíferos, que são caracterizados como poços profundos, isto é, profundidades superiores ou bem superiores para esta técnica de FM.

Cabe salientar que pra se estudar uma localidade com potencial para FM é necessário levar em consideração outros aspectos que viabilizem a realização deste estudo, tais como infraestrutura local (área livre para perfuração de um poço, acesso à energia elétrica,

laboratório, entre outros itens necessários para realizam da pesquisa *in loco*). Ademais, o manual de operações e manutenção de sistemas de tratamento de água por filtração em margem de Dalsasso e Guedes (2018) poderá ser consultado também para auxiliar na determinação do melhor local a ser instalado o poço para FM, o que traz informações complementares a serem levadas em consideração também. Destaca-se que o município de Palmares do Sul, um dos 13 locais selecionados, é uma opção interessante se for levado em consideração os aspectos supracitados.

Além disso, a vazão específica ou capacidade específica, valor que pode ser obtido a partir de informações constantes no boletim do perfil geológico de perfuração (BRASIL, 2018), é calculada pela vazão ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) dividida pelos metros lineares (m) de rebaixamento durante o bombeamento, assim se obtém o valor em  $\text{m}^3/\text{h.m}$ , o que pode ser uma variável interessante para análise do ponto de vista quando se pretende avaliar o desempenho do poço em relação vazão x rebaixamento, além de poder, em uma mesma localidade, comparar vários poços e conseguir distinguir um do outro, desse modo, destacar o poço com melhor desempenho para filtração em margem. Entretanto, essa variável será devidamente empregada caso o perfil geológico traga as informações para avaliação, de maneira correta, e, muitas vezes, é necessário que essa variável seja relacionada outros parâmetros do poço (profundidade, vazão máxima admissível) para se tomar uma decisão, pois se pretende conseguir, para a FM, água somente do primeiro aquífero e não de vários, como é o caso de poços profundos.

A Tabela 6 traz o resumo do cálculo da vazão específica para os poços selecionados na Tabela 6.

Tabela 6 - Vazão específica dos poços com potencial para filtração em margem de lago

<b>Código poço</b>	<b>Vazão (<math>\text{m}^3/\text{h}</math>)</b>	<b>Rebaixamento absoluto (m)</b>	<b>Vazão Específica (<math>\text{m}^3/\text{h.m}</math>)</b>
COR SUR 02	7	30,79	0,227
COR OSO ATL 01	150	20,44	7,339
COR VNS STZ 01	4	13,92	0,287
COR FLC SGO 07	30	28,97	1,036
COR VGA 06A	15	26,77	0,560
COR SFP LGR 01	8	19	0,421

<b>Código poço</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Rebaixamento absoluto (m)</b>	<b>Vazão Específica (m<sup>3</sup>/h.m)</b>
COR ARR 02	5,5	33,7	0,163
G 2265 AG24	10,3	33,08	0,311
COR AMF 04	*	*	*
COR PDS GRV 1	35	55,53	0,630
COR PDS GRV 02	*	*	*
COR PDS GRV 02 A	90	9,93	9,063
COR PDS GRV 03	15	19,9	0,754

NOTA: \* - Valores não fornecidos nos boletins do perfil geológico de perfuração.

A partir do cálculo da vazão específica, é possível observar que as localidades com maior valor para esta variável, são àquelas com maior potencial para FML. Os maiores valores foram de Osório (COR OSO ATL 01) e Palmares do Sul (COR PDS GRV 02 A), ambas localidades situadas na região litorânea do Rio Grande do Sul, em áreas bastante plana e com predominância de solo arenoso. Sendo assim, confirmando o que foi dito anteriormente, Palmares do Sul é uma opção interessante levando em consideração todos os aspectos avaliados.

### 3.5 CONCLUSÕES

- Para uma primeira estimativa, por meio da utilização de informações pré-existentes fornecidas pela Corsan, foi possível selecionar, a partir de 830 poços, 48 localidades com potencial para aplicar a tecnologia de filtração em margem de lago baseada na existência de um manancial próximo ao local onde o poço da empresa foi perfurado;
- Com essa pré-seleção e com base nos dados do perfil geológico desses 48 poços, com proximidade a algum manancial, foi possível selecionar 13 poços, ou seja, 13 localidades que apresentaram solo arenoso, o que são, portanto, indicadas como locais em potencial para implantação da tecnologia de FM, para uma primeira estimativa.



### 3.6 RECOMENDAÇÕES

- Realizar visita aos locais selecionados;
- Avaliar composição das margens dos lagos;
- Avaliar a qualidade da água dos lagos;
- Avaliar a capacidade hídrica dos mananciais e descartar àqueles que não sejam perenes;
- Verificar a possibilidade de conexão hidráulica e descartar os mananciais com impermeabilização de fundo, por exemplo, como os lagos artificiais;
- Avaliar a infraestrutura local para implantação do poço;
- Consultar sondagens, boletins geológicos disponíveis e coletar informações dos habitantes locais de eventual perfuração de poço particular;
- Com base nas informações anteriores, coletar amostra de solo de locais próximos ao poço perfurado, a fim de confirmar os dados com seu perfil geológico;
- A partir de todas as informações supracitadas, perfurar o poço no local com maior afinidade da técnica de FM e avaliar a qualidade da AFM;
- O cadastro de poços da Corsan, considerando os poços lacrados, é muito maior que 830 localidades (conforme informações da empresa, tal número ultrapassa 5000 perfurações). A partir desse ponto de vista, recomenda-se investigar, também, da mesma forma que foi realizada a varredura desses 830 poços em operação, os demais poços, a fim de aumentar a quantidade de locais com potencialidade para a técnica de FM, visto que se pode identificar locais com perfil geológico adequado.

## 4 CAPÍTULO 2

### **CARACTERIZAÇÃO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SEDIMENTOS E ENSAIOS EM COLUNAS FILTRANTES, 3 ÁREAS PRÉ-SELECIONADAS, IDENTIFICANDO ASPECTOS HIDRÁULICOS, HIDROGEOLÓGICOS E DE QUALIDADE DA ÁGUA PRODUZIDA**

#### 4.1 INTRODUÇÃO

Os experimentos laboratoriais em colunas são bastante utilizados para estimar os efeitos da filtração em margem, assim auxiliam na escolha do local mais adequado para instalação de um projeto piloto em escala real (JANGADA, 2014; RABELO, 2006).

Ainda, os sistemas de bancada têm a capacidade de avaliar parâmetros, tais como condutividade hidráulica, taxa de filtração, colmatção do meio filtrante a partir de informações da curva granulométrica de cada sedimento, conforme explicitado no item 2.3.2 da Revisão Bibliográfica. Com a execução desses estudos em bancada, torna-se possível conhecer melhor o sedimento coletado, já que traz consigo informações de como um sistema em escala real poderá ter como desempenho, suas limitações, etc.

Rabelo (2006), por exemplo, avaliou a remoção de fitoplânctons por meio de ensaios de bancada em colunas com sedimentos da Lagoa do Peri (Florianópolis). Por conseguinte, os resultados demonstraram que houve remoção de 98,9% de fitoplânctons, clorofila *a*, até 63,3% e 99,2% de cianobactérias. Ademais, a referida autora pontua que a remoção significativa do fitoplâncton se deve à retenção desse material pela areia e a ausência de luminosidade no interior das colunas, tal como que a retenção maior ocorre nos primeiros 5 cm da coluna. Rabelo também obteve bons resultados com relação à remoção de turbidez e cor aparente, obtendo até 84,9% e 72,2% de remoção, respectivamente. Com essas informações, avaliou-se a FM na Lagoa do Peri (SENS *et al.*, 2006), como pré-tratamento à filtração direta na remoção de cianobactérias e saxitoxinas, em que obtiveram remoção de 100% de ambos os parâmetros.

Jangada (2014), por sua vez, avaliou a remoção de *Cryptosporidium* spp em colunas, também com sedimentos da Lagoa do Peri (Florianópolis/SC). O autor observou a remoção de 100% a partir de 3 m de leito filtrante e também demonstrou o grande potencial do sistema para o tratamento de água, visto que os parâmetros turbidez, cor aparente, coliformes fecais, coliformes totais (com base de 2 m de filtração), sólidos dissolvidos totais e pH,

enquadraram-se perfeitamente na legislação brasileira. Segundo esse autor, existe um processo de aclimação do sistema piloto, que no caso englobou ao todo um período de 90 dias. Por isso, esse processo de adaptação do sistema se fez necessário para que os parâmetros alcançassem uma estabilidade (melhoria dos resultados com o tempo) e se encaixassem nos padrões da legislação. Por exemplo, acerca da turbidez, teve um período de adaptação de 36 dias, a partir do qual nenhum resultado ficou acima de 1 uT. Já a cor aparente alcançou estabilidade com 15 dias e com 43 dias, todos os resultados passaram a ser inferiores a 15 uH e ficaram condizentes com a legislação (MS, 2017).

Mondardo (2009), para simular a FM em coluna, construiu um sistema piloto contínuo composto de 20 colunas em série, preenchidas com sedimentos coletados às margens da lagoa, próximo ao poço de captação para FM. Então, os resultados demonstraram boa remoção de saxitoxinas. Ainda, também foi utilizada a FM em escala real na Lagoa do Peri, onde foi possível obter água isenta de fitoplânctons e com boa qualidade para consumo humano.

Soares (2015), que utilizou colunas para verificar os efeitos da colmatação nos parâmetros hidráulicos, observou o aumento de 1,2 logs na condutividade hidráulica, com sedimentos mal graduados, e 0,5 logs em sedimentos graduados em um curto período de tempo. As altas taxas de infiltração ( $2,0 \times 10^{-5}$  m/s) causaram a intrusão de partículas no solo e a camada de colmatação atingiu 30 cm de profundidade na coluna em solos mal graduados. Além disso, o autor também demonstrou que partículas menores ( $D_{10} = 0,19$  mm) resultam numa condutividade hidráulica menor que as maiores ( $D_{10} = 0,23$  mm), porém a camada de colmatação é maior com partículas maiores, ou seja, no segundo caso. Ademais, também demonstrou que, quanto maior a turbidez, menor é a condutividade hidráulica do sistema. Com partículas de areia, cujo  $D_{10} = 0,99$  mm, o referido autor constatou que a condutividade hidráulica diminuiu 0,8 ordens de magnitude quando a turbidez era de 300 uT e 1,4 ordens de magnitude com turbidez em 900 uT.

O uso de colunas em fluxo contínuo também tem sido utilizado para estudar a degradação e a adsorção de compostos orgânicos com solo e sedimento do subsolo do local de interesse. Bornick *et al.* (2001) verificaram a velocidade de biodegradação de aminas aromáticas, por meio da utilização de sedimentos do rio Elbe, na Alemanha, cujos resultados demonstraram que a anilina foi eliminada em 3 h, enquanto a 2-nitroanilina levou 14 dias de tempo de contato para ter 40% da sua concentração diminuída. Esses autores também

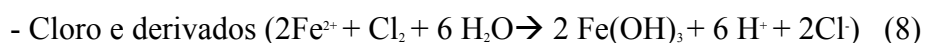
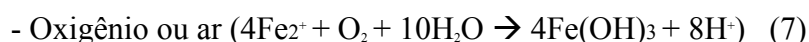
determinaram que a concentração de COD (Carbono Orgânico dissolvido) diminuiu em 26,7 % após 6,8 dias.

Horner *et al.*(2007), por sua vez, constataram, ao estudar um grupo de seis colunas com comprimento total de 30 metros e alimentadas pela água do lago Tegel em Berlim, na Alemanha, que a concentração de COD decresceu quase 50% durante os primeiros 7 m (28 dias de infiltração) e, posteriormente, decresceu aproximadamente 2 % a mais nos 18 m equivalentes a 72 dias de infiltração.

Schoenheinz (2004) também demonstrou, por meio de colunas preenchidas com sedimentos, a possibilidade de aumento de COD na água filtrada, a partir do aumento da temperatura, sugerindo que os sedimentos, os quais apresentem carbono orgânico sólido podem se dissolverem, assim resulta nesse aumento.

Esquivel (2012) utilizou sistema de colunas, preenchidas com sedimentos da Lagoa do Peri, bem como a água da Lagoa, desse modo, realizou estudos em bancada simulando a FM. Então, o autor observou remoção de MO, tanto COD quanto COT. Em relação à redução de COT, a porcentagem atingiu em torno de 45% nos primeiros 0,5 m de infiltração, o COD, 35 % e independentemente da época do ano. Quanto a turbidez, Esquivel analisou em 3 pontos da coluna: H1 (0,10 m acima do sedimento, onde a água ficou parada por 7 dias), H2 (nos primeiros 0,5 m de sedimento - aproximadamente 1 dia de infiltração e 8 a 9 dias do total) e H11 (saída da coluna). Ainda, observou em H1, a diminuição da turbidez, mesmo antes de infiltrar, o que demonstra a importância dos processos de sedimentação; em H2, a turbidez foi reduzida a valores muito abaixo do padrão de potabilidade, e, ao final, H11, observou-se um aumento da turbidez. Por fim, o referido autor menciona que, conforme se aumenta o tempo de percurso, aumenta a turbidez, devido à liberação de ferro (II) e, posterior, oxidação durante a amostragem, assim gera partículas de óxido de ferro (III). Dessa forma, a cor aparente apresentou o mesmo comportamento da turbidez na coluna.

O Fe (II), em contato com a água, pode ser oxidado a Fe (III), tanto pelo oxigênio do ar (Equação 7), como pelo cloro e seus derivados (Equação 8) (MELO *et al.*, 2008):



É importante frisar que o Capítulo 1, dessa tese, permitiu, através de uma análise de dados pré-existentes fornecidos pela Corsan, verificar possíveis locais para a implantação de

um sistema de filtração em margem. Neste capítulo, por sua vez, vem, por meio de ensaios laboratoriais em coluna, dar suporte à implantação desse sistema em uma das localidades selecionadas, o município de Palmares do Sul, o qual foi selecionado a partir dos resultados do Capítulo 1 e por ser compatível com a finalidade da pesquisa de acordo com interesses da Corsan. Sendo assim, buscou-se, por intermédio de um sistema de colunas preenchidas com sedimentos de 3 locais distintos do município de Palmares do Sul, informações como a caracterização dos sedimentos (composição, granulometria, distribuição granulométrica, etc) ,a avaliação do desempenho da tecnologia em termos de qualidade da água filtrada, a condutividade hidráulica e a variação da taxa de filtração.

## 4.2 OBJETIVO

Caracterizar, por meio da análise de sedimentos e ensaios em colunas filtrantes, 3 áreas pré-selecionadas, identificando aspectos hidráulicos, hidrogeológicos e de qualidade de água produzida.

### 4.2.1 Objetivos específicos

- Caracterizar, por meio de ensaios granulométricos, concentração de MO, ferro, manganês e cálcio sedimentos de 3 áreas com potencial de aplicação da FML;
- Determinar, em sistemas piloto de FM para os 3 sedimentos caracterizados, a condutividade hidráulica, taxa de filtração, evolução da perda de carga/colmatação;
- Avaliar a qualidade de água produzida nas colunas filtrantes e, juntamente com os demais parâmetros avaliados, definir a melhor área em escala real, um sistema de FML.

## 4.3 METODOLOGIA

### 4.3.1 Seleção do local de estudo e coleta de sedimentos

A seleção do local de estudo foi baseada nos estudos do Capítulo 1. Dentre os 15 poços selecionados, tanto pela proximidade com um manancial (rio ou lago), quanto pela composição do perfil geológico, Palmares do Sul foi um dos pontos selecionados pelo autor dessa pesquisa, além de ser um local de interesse da Corsan.

O interesse da empresa se deve, por que antes da concepção e construção da ETA de Granja Vargas, houve tentativas de captação de água via perfuração de poços profundos que, geralmente, atravessam uma ou mais camadas impermeáveis (em torno de 70 m de profundidade, de acordo com dados da empresa), o que traz água de vários aquíferos. Contudo, devido à baixa qualidade da água subterrânea, essa forma de captação de água para consumo humano foi descartada, uma vez que a empresa não tem interesse em captar água subterrânea para abastecer estações de tratamento de água, mas sim para simples desinfecção seguida de distribuição.

Nesse sentido, a baixa qualidade de água desses poços profundos pode estar associada a estes aquíferos com maior profundidade e, diante disso, a FM, através de poço raso (sem ultrapassar a primeira camada impermeável e levando em consideração a conexão hidráulica entre manancial superficial e poço de produção) poderá proporcionar uma água de melhor qualidade quando comparada a estes outros poços perfurados.

Após a construção da ETA de Granja Vargas, em meados de 2000, empresa vem tendo dificuldades no tratamento da água do Açude dos Felicianos (um dos pontos selecionados para estudo), devido à grande oscilação da qualidade da água desse manancial, principalmente por causa da grande variação da turbidez.

Dessa forma, 3 possíveis pontos para instalação do piloto foram levantados e os mesmo estão localizados no mapa da Figura 17:

i) Ponto 1 - Açude dos Felicianos – Coordenadas geográficas: latitude  $30^{\circ}20'15,42''$  sul e longitude  $50^{\circ}23'39,46''$  oeste;

ii) Ponto 2 - Margens do Rio Palmares – Coordenadas geográficas: latitude  $30^{\circ}15'54,72''$  sul e longitude  $50^{\circ}30'43,73''$  oeste;

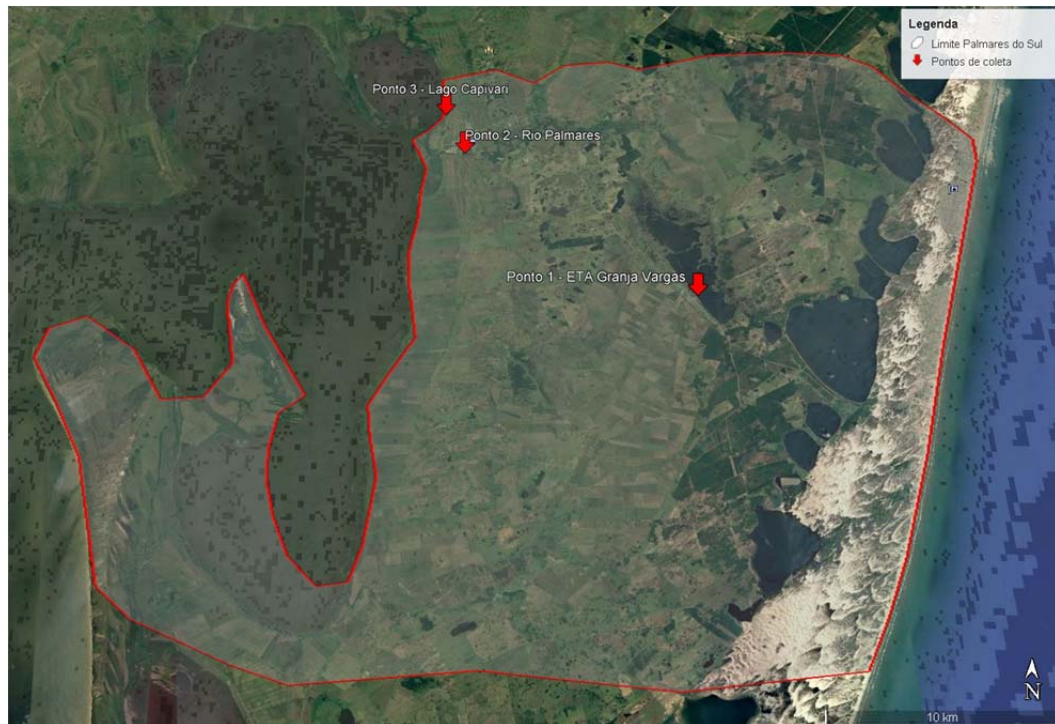
ii) Ponto 3 - Zona leste do Lago Capivari – Coordenadas geográficas: latitude  $30^{\circ}14'37,31''$  sul e longitude  $50^{\circ}31'19,38''$  oeste.

Sendo assim, foram realizadas coletas de sedimento do leito dos mananciais, nesses três pontos, para a determinação das características físicas e também da matéria orgânica (MO) em laboratório. Ainda, foi coletado material sedimentar para o preenchimento das colunas de filtração, que simulam a técnica de FM em laboratório.

Durante a inspeção para o reconhecimento do local foram obtidas informações expeditas sobre o solo a fim de melhorar a precisão do local exato para coleta das amostras. Portanto, as coletas foram realizadas seguindo o mesmo procedimento para os 3 pontos e foram realizadas dentro do manancial, a alguns metros distantes da margem, com uma lâmina

d'água variando em torno de 50 cm. Para cada localidade, escolheu-se um ponto com menos vegetação com o intuito de evitar o encontro de raízes e o excesso de matéria orgânica ao se realizar a escavação e coleta.

Figura 17 - Localização dos pontos no município de Palmares do Sul para coleta de sedimentos



Fonte: adaptado de Google Earth Pro.

A coleta foi realizada de forma manual, utilizando ferramentas como pá e balde, previamente higienizados. No dia da coleta, as condições climáticas eram: parcialmente nublado e a temperatura ambiente média era de 22°C.

Procurou-se encontrar o ponto que tivesse um pouco menos que 50 cm de lâmina d'água e escavou-se, com objetivo de retirar a camada superficial, assim evitando sempre aprofundar o ponto escolhido. Na escavação subsequente retirou-se o sedimento ao lado da primeira escavação, o que fez com que sempre obtivesse o material da superfície. Então, foram coletados aproximadamente 40 L de sedimento por ponto.

O primeiro ponto de coleta de material sedimentar para o preenchimento das colunas de filtração, a fim de simular a técnica de FM em laboratório, foi no Açude dos Felicianos, nas dependências da ETA de Granja Vargas de responsabilidade da Corsan, conforme Figura 18. As coordenadas geográficas do local são: latitude - 30°20'15,42" sul e longitude - 50°23'39,46" oeste.

Figura 18 - Localização da amostra 1 – Açude dos Felicianos



Fonte: próprio autor.

O segundo ponto de coleta de amostra, (Figura 19) foi no Rio Palmares e apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude -  $30^{\circ}15'54,72''$  sul e longitude -  $50^{\circ}30'43,73''$  oeste.

Figura 19 - Localização da amostra 2 – Rio Palmares



Fonte: próprio autor.

O terceiro ponto de coleta de amostra foi no Lago Capivari (Figura 20), nas seguintes coordenadas geográficas: latitude -  $30^{\circ}14'37,31''$  sul e longitude -  $50^{\circ}31'19,38''$  oeste.

Figura 20 - Localização do ponto de coleta da amostra 3 – Lago Capivari



Fonte: próprio autor.



Nesse ponto, foi observado a predominância de ventos em todos os 3 locais inspecionados, sendo que os lagos (Açude dos Felicianos e lago Capivari), por apresentar uma lâmina d'água com maior área superficial, apresentavam ventos de maior intensidade, o que favorece a movimentação dessa massa líquida e, por consequência, a descolmatação das margens, algo que geralmente acontece em rios devido à movimentação de seu fundo por causa da velocidade da água decorrente da sua declividade longitudinal. Destaca-se que esse assunto foi um pouco discutido nos itens 2.3.2.2 e 2.3.8 da Revisão Bibliográfica, já que relatam os processos químicos e físicos dessa técnica que ocorrem logo nos primeiros centímetros de profundidade de seu leito e sua movimentação é algo positivo a ser levado em consideração.

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS COLETADOS

##### 4.4.1 Determinação da granulometria dos sedimentos

As características físicas dos sedimentos coletados nos três locais com potencial de aplicação da FM foram obtidas por meio de ensaios de peneiramento, conforme ABNT NBR 7181/84. Basicamente, a análise granulométrica se divide na preparação das amostras e pesagem seguida do ensaio de peneiramento. Desse modo, a preparação da amostra consiste na secagem da mesma, primeiramente ao ar livre e depois em estufa. As massas são registradas em cada etapa, conforme procedimento descrito na própria norma supracitada. Após a preparação, a amostra passa por uma sequência de peneiras, sobrepostas no sentido verticalmente da malha mais grossa para a malha mais fina, sob influência de um agitador mecânico. Abaixo, os dados utilizados para os ensaios de peneiramento dos sedimentos encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Dados utilizados para realização do ensaio de peneiramento dos sedimentos

	Lago Capivari	Rio Palmares	Açude dos Felicianos
Massa do recipiente (g)	176,8	222,0	192,9
Recipiente + Amostra Seca (g)	705,7	828,7	804,9
Massa do recipiente (g)	208,7	207,7	200,1
Recipiente + Amostra Seca (g)	741,9	766,2	649,1
Massa Seca da Amostra (g) submetida ao ensaio de peneiramento	1062,1	1165,2	1061,0

Fonte: próprio autor.

#### 4.4.2 Determinação da matéria orgânica dos sedimentos

A MO foi determinada por método gravimétrico e as massas pesadas encontram-se na Tabela 8:

i) o material sedimentar foi seco em estufa por 24 h a 104 °C e em seguida, pesada a uma alíquota de aproximadamente 5,000 g ( $m_i$ ) e transferida para um cadinho previamente seco e tarado;

ii) A massa resultante da etapa i foi levada à ignição em mufla (550°C) por 4h, obtendo-se a massa  $m_{ii}$ .

Sendo assim, MO foi calculada conforme Equação 9.

$$MO = \frac{m_i - m_{ii}}{m_i} * 100 \quad (9)$$

Tabela 8 - Dados utilizados para cálculo da matéria orgânica nos sedimentos dos 3 locais de estudo

Sedimento	Massa Cadinho (g)	Massa Amostra seca ( $m_i$ ) (g)	Massa Cadinho + Amostra seca (g)	Massa Cadinho + Amostra Pós Mufla (g)	Massa Amostra Pós Mufla ( $m_{ii}$ ) (g)
Lago Capivari	34,6893	5,0040	39,6933	39,6607	4,9713
Rio Palmares	35,7197	5,0040	40,7237	40,6560	4,9363
Açude dos Felicianos	35,1087	5,0067	40,1153	40,1077	4,9990

NOTA: O ensaio foi realizado em triplicata com duas massas de sedimento seco distintas. Os valores apresentados são os valores médios.

Fonte: próprio autor.

#### 4.4.3 Montagem do sistema piloto em colunas

Para a construção do sistema piloto, foram utilizadas colunas de PVC, as mesmas utilizadas em canalizações prediais de sistema hidro-sanitário, com diâmetro: 100 mm, comprimento: 2 m, para todas as colunas utilizadas nos experimentos de filtração para simulação da FM em nível laboratorial. Após a montagem das colunas, foram realizados os testes de estanqueidade em cada conjunto e posteriormente, as mesmas foram preenchidas com o sedimento coletado.

As conexões do piezômetro foram executadas na parte inferior e na parte superior das colunas e ao longo da espessura de preenchimento com sedimento avaliado. Todas as configurações de experimentos de coluna seguiram o mesmo procedimento.

Para simular a FM em escala piloto, foram dimensionadas 9 colunas filtrantes em escala laboratorial, agrupadas 3 a 3 (conforme Figura 21) de modo que cada conjunto de três

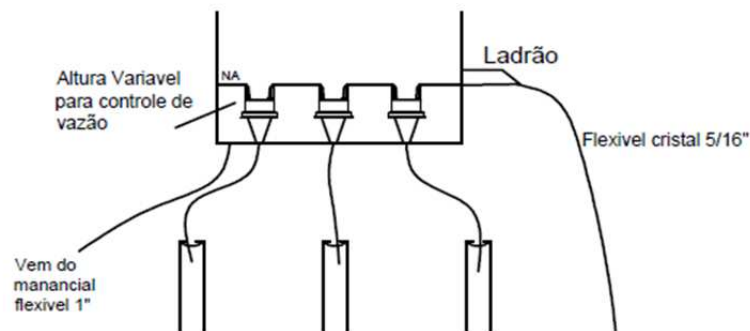
colunas fosse abastecido pelo mesmo controlador de vazão (câmara de nível constante para ajuste macro da vazão, ver Figura 22), sendo que cada uma das 3 colunas foi preenchida com o sedimento coletado dos 3 locais selecionados (açude dos Felicianos, rio Palmares e lago Capivari).

Figura 21 - Sistema piloto de Filtração em Margem



Fonte: próprio autor.

Figura 22 - Detalhamento da câmara de nível constante



Fonte: próprio autor.

O procedimento de extração dos 3 sedimentos foi de maneira deformada; isto é, as características do local natural, tais como sua compactação, não puderam ser transportadas diretamente para o laboratório. Diante disso, foi necessária a realização de certos procedimentos antes do início dos ensaios de filtração para que o sedimento pudesse estar em uma situação mais próxima daquela encontrada em seu local original.

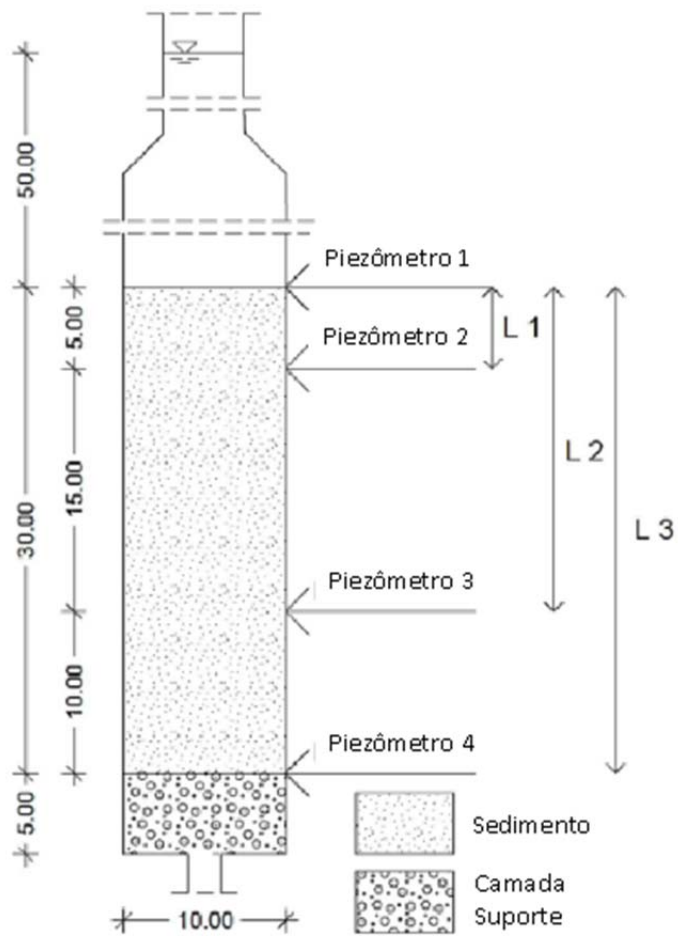
Os sedimentos foram secos em estufa a 105 ° C por 24 horas. Para minimizar o ar preso nas colunas, o sedimento foi inserido com as colunas previamente preenchidas com água até praticamente a metade de sua altura total. O sedimento foi adicionado lentamente às colunas parcialmente cheias de água. Para ter densidade uniforme ao longo da coluna, o sedimento foi compactado a cada 3 centímetros com um número definido de batidas (golpes suaves na lateral da coluna para transmitir uma certa vibração ao sedimento a fim de provocar sua acomodação.

Depois de instalar as colunas, foi instalada a parte superior (Câmara de carga) e a água da torneira foi deixada fluir no fluxo reverso (de baixo para cima) para, eventualmente, remover o restante das bolhas de ar presas. Para garantir que a maior parte do ar fosse removido, as colunas foram conectadas a um arranjo piezométrico e as mudanças nas perdas de carga foram controladas constantemente e ajustadas uma com as outras para as 9 colunas, a fim de propiciar um mesmo padrão (espessura de camada de sedimento).

A Figura 23, apresenta o detalhamento da seção longitudinal de filtração, os pontos de instalação dos piezômetros com indicação de suas alturas, espessura da camada suporte, espessura dos sedimentos. O sistema foi montado no laboratório de pilotos.

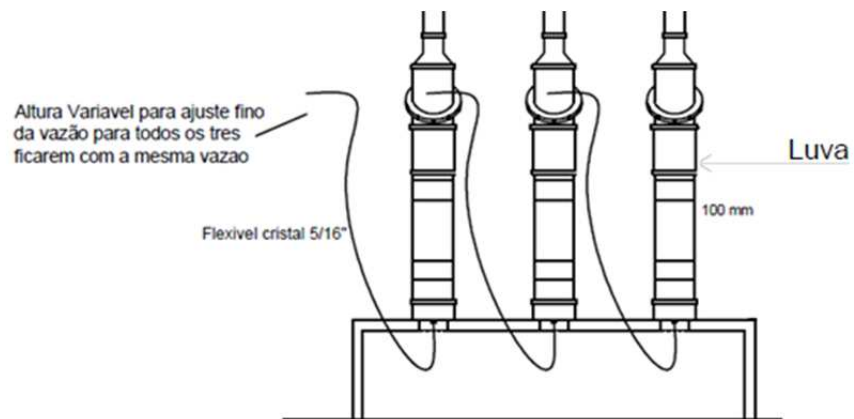
O manancial de água bruta que abasteceu as colunas também foi definido, a adutora de água bruta foi construída, consolidando assim o sistema de bombeamento para abastecimento do sistema piloto. Os 3 sedimentos de locais distintos ficaram agrupados a cada 3 colunas, sendo que o sistema de 3 colunas ficou ao lado do outro sistema, possibilitando que todas as 9 colunas ficassem em um mesmo local, fazendo com que as 3 câmaras de nível constante pudessem receber a mesma água bruta, que dizer, ao mesmo tipo de água.

Figura 23 - Esquema do sistema de colunas com detalhamento da seção de filtração



Fonte: próprio autor.

Figura 24 - Detalhamento da altura viável da parte da coluna de filtração com sedimento



Fonte: próprio autor.

A Figura 24, supracitada, apresenta o detalhamento da altura variável da parte da coluna de filtração com sedimento, possibilitando o ajuste fino da vazão nas 3 colunas com o mesmo sedimento, permanecendo a mesma vazão nas 3 colunas.

A Figura 25 apresenta o manancial que foi utilizado no estudo em bancada, bem como a casa de bombas construída para abrigar o conjunto elevatório. Na imagem da direita, nesta mesma Figura 25, são apresentadas as coordenadas geográficas do manancial de água bruta e logo mais ao norte, a uma distância aproximada de 80 m do manancial, localiza-se a edificação que se encontra a sala dos pilotos.

Figura 25 - Casa de bombas e manancial de abastecimento do sistema piloto, em escala laboratorial



Fonte: próprio autor

O sistema piloto de FM passou por processo de aclimatação antes de iniciar as carreiras de filtração propostas. Os parâmetros hidráulicos foram aferidos e ajustados para que os sistemas de filtração entrassem em suas melhores condições de operação, tais como permanência da vazão constante, preenchimento dos meios filtrantes com água bruta e estabilização do meio filtrante com o desprendimento de bolhas de ar aderidas às colunas e piezômetros.

Então, o sistema de FM entrou em operação por um período total de 18 dias, o que contemplou apenas uma carreira de filtração, sendo que os 6 primeiros dias foram utilizados para estabilizar e atingir a carga hidráulica constante. Assim sendo, os dados foram coletados a partir do 7º dia de carreira. Logo, a operação do sistema foi encerrada após decisão técnica baseada nos parâmetros hidráulicos e de qualidade da água a fim de obter a constância do valor de K.

#### 4.4.4 Determinação da Condutividade hidráulica e taxa de filtração

A determinação da condutividade hidráulica teórica (ou permeabilidade) foi realizada por meio das equações de *Hazen e Beyer* (Equações 4 e 5, respectivamente do item 2.3.2.2.3 da Revisão Bibliográfica), fórmulas empíricas baseadas no diâmetro dos sedimentos para determinar a permeabilidade em areias saturadas.

A taxa de filtração  $T_x$  ( $m^3/m^2.dia$ ) foi obtida pela Equação 10 no projeto reportado em  $cm/min$ :

$$T_x = \frac{Q}{A} \quad (10)$$

Onde:

$A$  = área ( $cm^2$ ) (75,43  $cm^2$  a partir de 98 mm de diâmetro interno);

$Q$  = vazão ( $mL/min$ ) (variou de 0,2 a 10  $cm^3/min$ ).

A condutividade hidráulica horizontal foi determinada experimentalmente através do sistema de colunas utilizando a lei de Darcy (Equação 3) descrita no item 2.3.2.2.3.

O parâmetro  $K$  foi ajustado à temperatura de  $10^\circ C$  ( $K_{10}$ ) para minimizar os efeitos da variação da temperatura conforme Equação 11.

$$K_{10} = K \left( \frac{\rho}{\rho_{10^\circ C}} \right) \quad (11)$$

Onde:

$K$  = condutividade hidráulica ( $m/s$ ) calculada pela Lei de Darcy (Equação 3);

$K_{10}$  = condutividade hidráulica a  $10^\circ C$ ;

$\rho$  = Viscosidade dinâmica da água na temperatura em que o experimento foi conduzido;

$\rho_{10^\circ C}$  = Viscosidade dinâmica da água a  $10^\circ C = 1,308$  mPA.

O  $K_{10}$  foi calculado para cada sedimento e nas profundidades de 5 cm, 20 cm e 30 cm, piezômetros 2, 3 e 4, respectivamente, conforme demonstrado na Figura 23 - Esquema do sistema de colunas com detalhamento da seção de filtração

Nesse sistema foi possível avaliar diferentes taxas (velocidades) de filtração inicial, com diferentes cargas hidráulicas no meio filtrante. Com a configuração projetada, o sistema

pôde ser operado sob taxa de filtração declinante (nível constante) e taxa de filtração constante (nível variável). A taxa de filtração inicial aplicada foi 0,13 cm/min e diminuindo próximo a zero ao longo dos 12 dias carreira (entre o 7º dia e o 18º dia).

#### 4.4.5 Caracterização da qualidade da água: parâmetros físicos, químicos e biológicos

Os parâmetros de controle de qualidade da água: turbidez, condutividade elétrica, temperatura, oxigênio dissolvido, pH, cor aparente, cor verdadeira e coliformes totais e fecais foram analisados conforme Tabela 9, as metodologias dos parâmetros físicos e químicos foram baseadas nos procedimentos descritos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (BAIRD *et al.*, 2017).

Tabela 9 - Parâmetros de qualidade da água determinados, métodos e equipamentos utilizados

Parâmetros (Unidades)	Método analítico	Equipamento
Turbidez (uT)	Turbidimétrico	Turbidímetro Hach 2100Q
Oxigênio dissolvido (mg/L O <sub>2</sub> )	Winkler modificado	Sonda Multiparâmetro HQ40 Hach
Cor aparente (mg/L Pt-Co)	fotométrico, $\lambda = 455\text{nm}$	Colorímetro Hach DR 900
Cor verdadeira (mg/L Pt-Co)	fotométrico, $\lambda = 455\text{ nm}$ , com filtração em membrana 0,45 $\mu\text{m}$	Colorímetro Hach DR 900
Condutividade elétrica ( $\mu\text{S/cm}$ 25°C)	Medição direta por eletrodo	Sonda Multiparâmetro HQ40 Hach
pH	Potenciométrico	Sonda Multiparâmetro HQ40 Hach
Temperatura (°C)	Medição direta por graduação	Termômetro de mercúrio
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	ColiLert	Erlenmyer com meio de cultura, cartela e seladora
<i>E. Coli</i> (NMP/100 mL)	ColiLert	Erlenmyer com meio de cultura, cartela, seladora e lâmpada UV

Fonte: próprio autor.



#### 4.4.6 Análise química dos sedimentos do açude dos Felicianos

A composição química em termos de ferro (Fe), manganês (Mn) e cálcio (Ca) das amostras utilizadas nos ensaios em coluna do açude dos Felicianos, foi analisada utilizando Espectrometria de Absorção Atômica (AAS). O preparo das amostras ocorreu por digestão pelo método SW 846-3050B da US-EPA. As análises foram realizadas em triplicata, obtendo-se valores médios de concentração das substâncias em relação à profundidade das colunas, tendo amostras coletadas por raspagem das camadas em intervalos de 2 cm até 20 cm de profundidade.

#### 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a seleção dos 3 possíveis locais para implantação do sistema de FM, realizou-se a coleta dos sedimentos nos 3 pontos para sua caracterização em termos de granulometria e distribuição granulométrica, bem como a determinação da MO presente. Com esses sedimentos um sistema de colunas foi colocado em aclimação, seguida de operação (3 colunas com cada sedimento).

A condutividade hidráulica teórica dos 3 pontos foi calculada com auxílio das equações de *Hazen e Beyer*, com objetivo de se ter conhecimento da magnitude deste parâmetro. Em seguida, a condutividade hidráulica horizontal (K10) e taxa de filtração foram determinados para cada um dos 3 locais.

A qualidade da água bruta (física, química e biológica), bem como a qualidade da água filtrada nas colunas de filtração com os sedimentos de cada local, foi determinada. Assim como a caracterização dos sedimentos coletados, para determinação de MO em todos os sedimentos e a determinação de Fe, Mn e Ca para o sedimento com melhor desempenho.

##### 4.5.1 Caracterização dos sedimentos coletados

No momento da coleta, observou-se que o ponto com menor quantidade de matéria orgânica (MO) foi do açude dos Felicianos e o com maior predominância foi o do Rio Palmares, de acordo com o que é demonstrado na Figura 26.

Figura 26 - Imagem dos sedimentos coletados nos pontos de interesse



Açude dos Felicianos

Lagoa Capivari

Rio Palmares

Fonte: próprio autor.

Essa observação foi confirmada pela determinação da MO em laboratório, conforme resultados na Tabela 10, cujo resultado expresso em porcentagem relaciona a massa de MO com a massa da amostra utilizada (massa/massa x 100).

Tabela 10 - Porcentagem de MO nos sedimentos dos pontos de coleta.

Localidade	% de matéria orgânica
Açude dos Felicianos	0,15
Rio Palmares	1,35
Lago Capivari	0,65

Fonte: próprio autor.

Uma pequena quantidade de MO no solo pode ser benéfica, uma vez que, os solos contendo MO, favorecem os mecanismos de adsorção e complexação, assim permite que a população bacteriana degrade compostos indesejáveis (SENS *et al.*, 2006).

Por outro lado, a presença de camadas ou bolsões de solo com MO pode conferir à água características indesejáveis como: cor, sabor e odor, presença de ferro, manganês, sulfetos e outros íons, por exemplo, e quando se trata de FM como pré-tratamento de água para consumo humano, deseja-se obter uma água de boa qualidade isenta de MO. Ainda, a MO, além de alterar os padrões organolépticos, como odor e sabor, também aumenta a possibilidade de formação de subprodutos de desinfecção (THM e HAA), que são potencialmente carcinogênicos (SENS *et al.*, 2006).

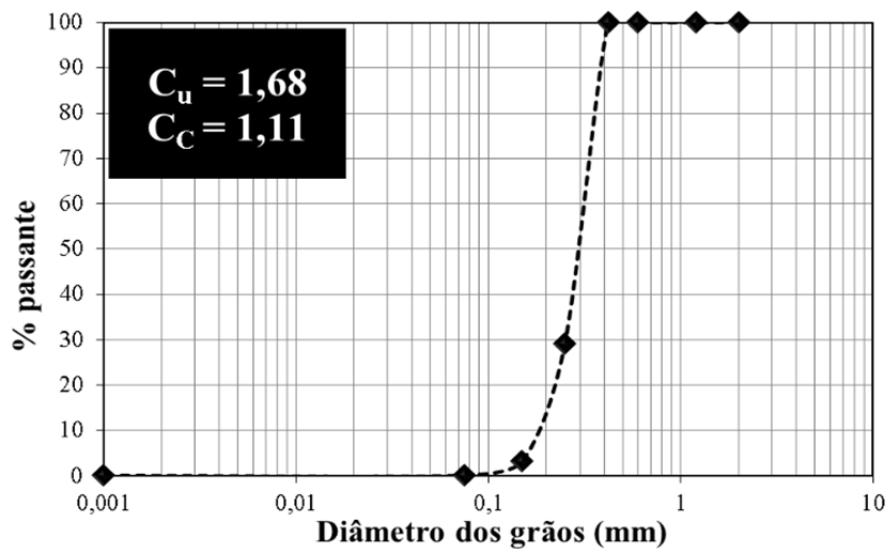
Entretanto, a água de FM, isenta de MO, dificilmente, acontecerá porque mesmo as baixas porcentagens de MO em solo (valores menores que 1% = 10.000 mg/kg) podem ser carregados para a água, o que confere a AFM valores bem significativos.

As características físicas dos sedimentos coletados nos três locais com potencial de aplicação da FM encontram-se nas Figura 27 a Figura 29. Além disso, o perfil dos gráficos

apresenta alta declividade (baixo coeficiente de uniformidade), assim demonstra que o solo dos 3 pontos é bastante uniforme, de composição arenosa (principalmente areia média e fina).

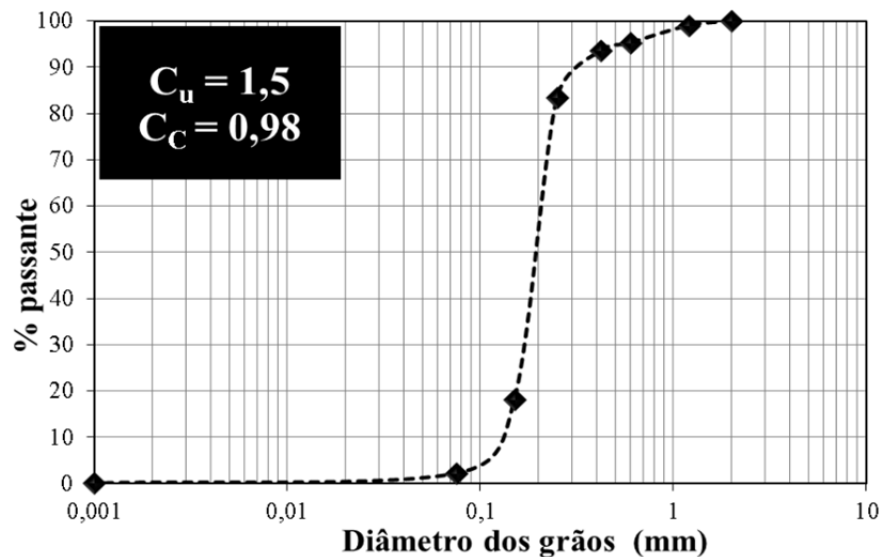
A partir das curvas granulométricas, foi possível obter os diâmetros de partícula  $D_{10}$  (ou diâmetro efetivo),  $D_{30}$  e  $D_{60}$ , e calcular o coeficiente de uniformidade ( $C_U$ ) e de curvatura ( $C_C$ ), conforme demonstrado na Tabela 11. A magnitude de tais parâmetros influencia no desempenho da FM, sendo que, quanto maior for seus coeficientes, provavelmente maior será sua condutividade hidráulica, o que leva em consideração apenas estes quesitos, por consequência, favorecendo a FM.

Figura 27 - Distribuição granulométrica do sedimento coletado nas margens do Açude dos Felicianos



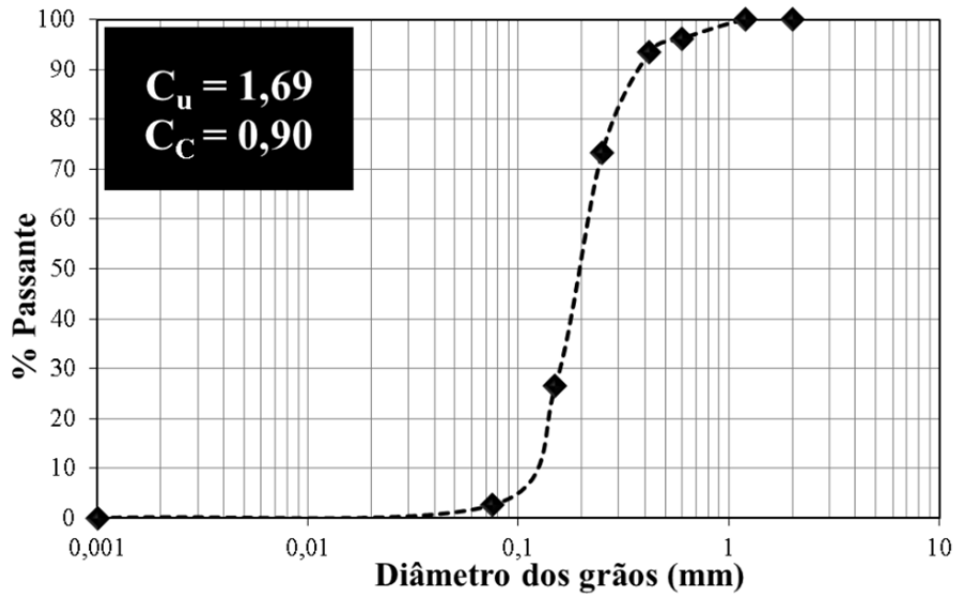
Fonte: próprio autor.

Figura 28 - Distribuição granulométrica do sedimento coletado às margens do Rio Palmares



Fonte: próprio autor.

Figura 29 - Distribuição granulométrica do sedimento coletado às margens do Lago Capivari.



Observa-se pelos valores de  $C_U$ , que todos os sedimentos são bastante uniformes com baixa distribuição de tamanhos (mal graduados). Ainda, os resultados de  $C_C$  demonstram que não há descontinuidades na granulometria. Segundo Pinto (PINTO, 2011), são raras as curvas que apresentem  $C_C$  fora do intervalo 1 a 3. Quando  $C_C < 1$ , há uma tendência de haver descontinuidades na granulometria. Contudo, os valores de  $C_C$  para os sedimentos do Rio Palmares e Lago Capivari, apesar de serem menores que 1, são muito próximos a 1, não podendo ser considerados para inferir descontinuidade granulométrica.

Os dados demonstrados Tabela 11, também, demonstram que o diâmetro efetivo ( $D_{10}$ ) das partículas do sedimento do Açude dos Felicianos é um pouco maior que dos outros dois pontos de coleta, conseqüentemente, espera-se que a condutividade hidráulica do solo do Açude dos Felicianos seja maior. Nesse sentido, Soares (2015), por exemplo, com partículas cujo  $D_{10} = 0,19$  mm,  $0,96$  mm e  $0,99$  mm, obteve como condutividade hidráulica teórica,  $3,7 \times 10^{-4}$  m/s,  $9,4 \times 10^{-3}$  m/s e  $1,1 \times 10^{-2}$  m/s, respectivamente.

Tabela 11 - Resultados granulométricos dos sedimentos coletados em 3 pontos de Palmares do Sul

Local	$D_{10}$ (mm)	$D_{30}$ (mm)	$D_{60}$ (mm)	$C_U$	$C_C$
Açude dos Felicianos	0,19	0,26	0,32	1,68	1,11
Rio Palmares	0,14	0,17	0,21	1,50	0,98
Lago Capivari	0,13	0,16	0,22	1,69	0,90

Fonte: próprio autor.

A condutividade hidráulica teórica, isto é, calculada, utilizando as equações citadas nesta tese, é diretamente proporcional ao diâmetro efetivo, quer dizer que quanto maior o diâmetro efetivo, maior será a condutividade hidráulica de determinado sedimento. Este assunto será melhor discutido no item subsequente.

#### 4.5.2 Determinação da Condutividade hidráulica

A Tabela 12 apresenta os valores de condutividade hidráulica teórica, estimados pelas equações de *Hazen* e *Beyer*, conforme o tipo de compactação do sedimento, que é baseada na própria metodologia de *Beyer* a qual aplica uma determinada energia normatizada sobre a massa do meio filtrante para cada grau de compactação. É possível observar que, quanto maior a compactação, menor será a quantidade e diâmetro dos poros, assim reduz o valor de *K*. A Figura 30 permite comparar de forma mais didática a condutividade calculada pelas duas equações, bem como a simulação frente à compactação (com a equação de *Beyer*).

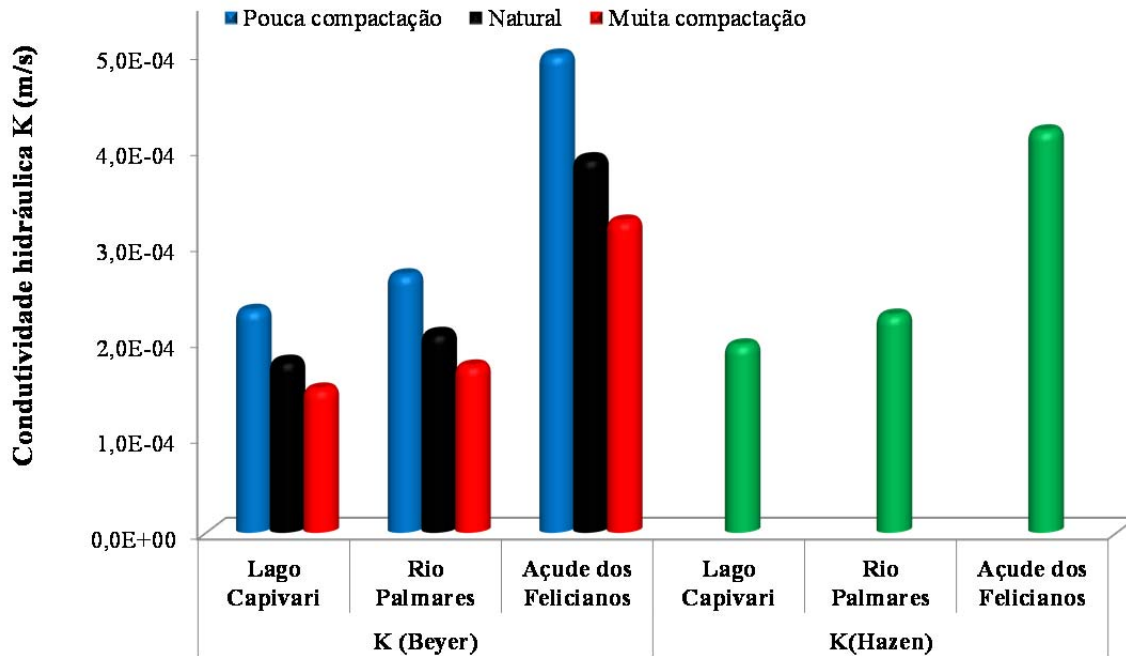
Os valores obtidos pela equação de *Hazen* ficam entre os valores obtidos pela equação de *Beyer* para o grau de compactação pouco natural. Logo, isto denota que tais valores tendem a se aproximar do valor real, pois levam em consideração o adensamento ao longo do tempo, isto é, a compactação natural devido à energia do seu próprio peso.

Tabela 12 - Valores de condutividade hidráulica calculados

<i>Hazen</i>		<i>Beyer</i>		
	Valor de <i>K</i> (m/s)	Compactação	Valor de <i>C</i>	Valor de <i>K</i> (m/s)
Açude dos Felicianos	$4,19 \times 10^{-4}$	Pouca	0,0138	$4,98 \times 10^{-4}$
		Natural	0,0108	$3,90 \times 10^{-4}$
		Muita	0,0089	$3,21 \times 10^{-4}$
Rio Palmares	$2,27 \times 10^{-4}$	Pouca	0,0138	$2,70 \times 10^{-4}$
		Natural	0,0108	$2,12 \times 10^{-4}$
		Muita	0,0089	$1,76 \times 10^{-4}$
Lago Capivari	$1,96 \times 10^{-4}$	Pouca	0,0138	$2,33 \times 10^{-4}$
		Natural	0,0108	$1,83 \times 10^{-4}$
		Muita	0,0089	$1,52 \times 10^{-4}$

Fonte: próprio autor.

Figura 30. Resultados teóricos de Condutividade hidráulica, obtidos com os sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos



Fonte: próprio autor.

A magnitude dos valores de condutividade hidráulica é típica de solo arenoso e a relação conforme a compactação é coerente: quanto maior a compactação, menor a condutividade hidráulica, uma vez que o melhor arranjo entre os grãos faz com que a porosidade no solo diminua também.

Comparando os valores de condutividade hidráulica calculada pelo método de *Hazen* com o diâmetro efetivo das partículas, obteve-se, como esperado, que, quanto maior o diâmetro efetivo ( $D_{10}$ ) das mesmas, maior a condutividade hidráulica, portanto, os sedimentos das margens do Açude dos Felicianos apresentam o maior valor de  $D_{10}$  (0,19 mm), bem como a maior condutividade hidráulica, igual a  $4,19 \times 10^{-4}$  m/s. Ainda, o mesmo foi observado por Soares (2015), que ao utilizar sedimentos do Rio Elbe, na Alemanha: partículas com  $D_{10} = 0,23, 0,25$  e  $0,32$  mm, resultaram em condutividades hidráulicas calculadas pela equação de *Hazen* de  $6 \times 10^{-4}$ ,  $7 \times 10^{-4}$  e  $8 \times 10^{-4}$  m/s, respectivamente.

Apesar dos valores serem distintos, a condutividade hidráulica nos 3 locais de estudo é muito parecida, isso quer dizer, entre elas, não apresentam uma grande variação entre si. A simulação com solo com compactação natural para a Equação de *Beyer* e os resultados obtidos com a equação de *Hazen* são similares.

A condutividade hidráulica experimental para cada sedimento será demonstrada em itens subsequentes.

#### 4.5.3 Caracterização da qualidade da água bruta

A água do manancial demonstrado na Figura 25 foi utilizada nos estudos de filtração em colunas e a sua caracterização física, química e biológica encontra-se na Tabela 13. Observa-se que a água do manancial apresentou pouca variação de turbidez e pH, sendo mais expressivas as variações de cor verdadeira durante o período estudado. Também, analisou-se a presença de coliformes totais e *E. Coli*.

Quanto ao pH e oxigênio dissolvido (OD), a água bruta do manancial utilizado pode ser enquadrada como Classe I (CONAMA, 2005), bem como quanto a turbidez (com exceção do dia 1 e 5) e cor verdadeira (exceto no dia 1) (ver Tabela 13). Já com relação a *E. Coli*, a água não se enquadraria, no geral, em nenhuma classe para abastecimento humano. Contudo, sabe-se que além de a FM ser um excelente método de pré-tratamento para remover turbidez (> 97 %) (ALBUQUERQUE, 2015; CAMPOS, 2012; ESQUIVEL *et al.*, 2017; ESQUIVEL *et al.*, 2012; FREITAS, 2010; FREITAS *et al.*, 2012; FREITAS *et al.*, 2017; GUEDES, 2018; GUEDES *et al.*, 2018; PAIVA, 2009; SENS e DALSSASSO, 2007) é muito eficiente na remoção não só de *E. Coli*, mas também de coliformes totais (ALBUQUERQUE, 2015; ESQUIVEL *et al.*, 2010; FREITAS, 2010; FREITAS *et al.*, 2012; FREITAS *et al.*, 2013; GUEDES, 2018; GUEDES *et al.*, 2019; PAIVA *et al.*, 2010; SOARES, 2009). Portanto, não se espera que a concentração de ambos os parâmetros biológicos encontrados na água bruta sejam um problema para a água produzida por FM, que posteriormente passará por tratamento conforme necessidade.

Tabela 13 - Caracterização física, química e biológica da água bruta utilizada nos estudos de filtração nas colunas

ÁGUA BRUTA									
Dia	Turbidez (uT)	Condutividade e Elétrica (µS/cm)	Temperatura (°C)	Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	pH	Cor Aparente (uH)	Cor Verdadeira mg/L Pt-Co	Coliformes (NMP/100 mL)	<i>E.coli</i> (NMP/100 mL)
1	50,8	103,5	24.1	7.22	6,96	259	125	>24196	860
2	21,80	78,0	23.6	6.73	6.96	157	28	23590	1090

ÁGUA BRUTA									
Dia	Turbidez (uT)	Condutividade e Elétrica (µS/cm)	Temperatura (°C)	Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	pH	Cor Aparente (uH)	Cor Verdadeira mg/L Pt-Co	Coliformes (NMP/100 mL)	<i>E.coli</i> (NMP/100 mL)
3	10,50	81,6	24,3	7,78	6,99	299	27	98040	1200
4	16,50	80,2	23,3	6,95	6,9	217	62		
5	50,00	77,4	22,8	6,53	7,09	>500	49	111990	3050
6	27,30	73,3	21,8	7,6	7,1	290	43		
7	11,20	76,7	21,1	7,3	7,0	153	32	38730	730
8	6,00	77,6	21,5	7,9	7,1	99	45		
9	7,46	78,2	21,3	8,1	7,1	107	31	198630	1450
10	6,06	80,8	22,8	8,4	7,1	145	20		
11	8,46	80,3	23,3	8,7	7,0	130	20	46110	1450
12	7,49	78,2	23,9	8,0	7,1	96	23		
13	17,80	90,0	21,4	9,9	7,1	234	39	17300	1000
14	7,05	91,4	20,9	8,5	7,0	91	6		
15	6,91	97,0	23,2	7,4	7,0	106	18	67000	2000
16	4,69	85,6	23	8,2	6,96	98	17		
17	8,61	100,2	24,1	8,5	7,0	125	25	26547	1000
18	6,05	96,8	23,3	8,2	7,0	99	15		
Varição (Min-Máx)	4,69 a 50,8	73,3 a 103,5	20,9 a 24,1	6,53 a 9,9	6,96 a 7,1	91 a > 500	6 a 125	23590 a 198630	730 a 3050
Média	15,26	84,8	22,4	8,2	7,04	178	35	65213	1383
Desvio padrão	13,79	9,0	1,1	0,6	0,05	103	26	54167	654

Fonte: próprio autor.

#### 4.5.4 Estudos laboratoriais em colunas de filtração com os sedimentos do Lago Capivari

##### 4.5.4.1 Parâmetros hidráulicos (condutividade hidráulica e taxa de infiltração)

A condutividade hidráulica vertical, em que o fluxo é no sentido da aceleração da gravidade para os sedimentos do Lago Capivari, foi normalizada para a temperatura de 10 °C (K(10)) e obtida experimentalmente conforme a metodologia (item 4.4.4).

Para demonstrar o processo de colmatação, uma alta taxa de infiltração inicial foi aplicada no sistema ( $2,0 \times 10^{-5}$  m/s ou 0,13 cm/min). A média dos resultados de K(10) em cada coluna e nas 3 profundidades (piezômetros) encontra-se na Tabela 14. Observa-se que os valores médios de K(10) aumentam de acordo com o aumento da profundidade, o que demonstra que os maiores efeitos da colmatação encontram-se nas primeiras camadas da coluna, como também foi apresentado por Soares (2015).



Tabela 14 - Média dos resultados de  $K(10)$  em cada coluna e nas 3 profundidades obtidas com os sedimentos do Lago Capivari

Profundidade (cm)	Colunas 1, 2 e 3	
	$K(10)_{\text{médio}}$ (m/s)	Desvio padrão médio
5	$4,41 \times 10^{-7}$	$2,59 \times 10^{-7}$
20	$1,64 \times 10^{-6}$	$9,10 \times 10^{-7}$
30	$2,34 \times 10^{-6}$	$1,25 \times 10^{-6}$

**NOTA: NOTA:** Os valores calculados levaram em consideração os dias da carreira de filtração a partir do 2º dia (apenas a faixa do gráfico estabilizada de  $K(10)$ ).

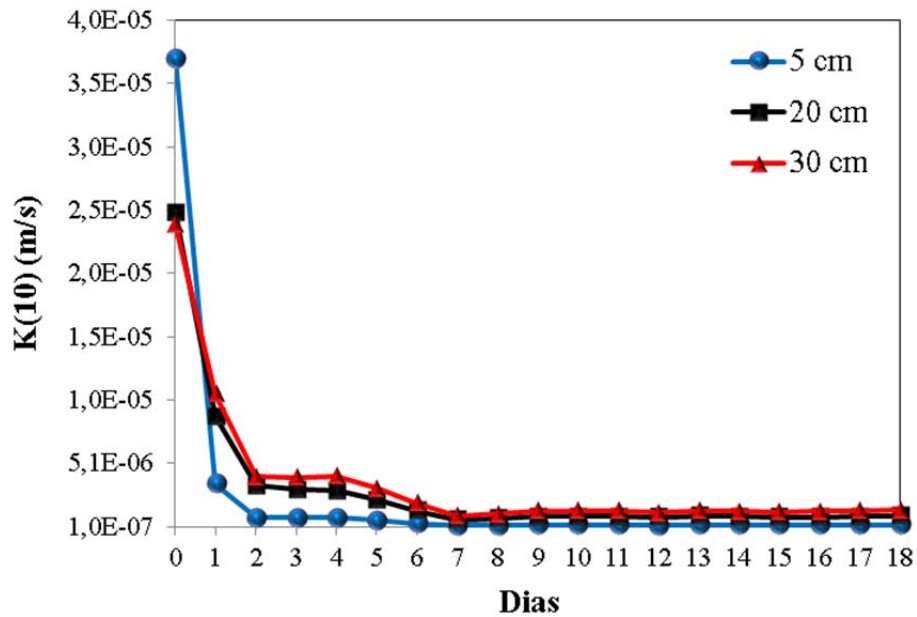
Fonte: próprio autor.

É importante salientar que os valores de condutividade hidráulica calculadas com auxílio das equações de *Hazen* e *Beyer* foram bem maiores das obtidas experimentalmente, (46 vezes com a equação de *Hazen* e em torno de 35 vezes com a Equação de *Beyer*, com muita compactação), assim demonstra as limitações das equações com uma situação real, que envolve muitos processos, como a colmatação do meio filtrante ao longo do tempo, os processos biológicos que dependem de meses de aclimação, a ação do meio ambiente envolvendo variação da temperatura, a pressão atmosférica, dentre outras variáveis, que não foram consideradas nas equações utilizadas.

A literatura diz que o valor de  $K$  tende a ser subestimado pela equação (HEIZEN, 2019), contudo, na prática, para esse caso específico não aconteceu, conforme discutido anteriormente. Provavelmente, isso se deve ao diâmetro efetivo está muito próximo do limite inferior da utilização da equação (próximo de 0,1 mm), desse modo, ocorre exatamente o contrário.

O gráfico a seguir (Figura 31), demonstra os valores médios obtidos nas três colunas, da variação da  $K(10)$  nas profundidades de 5 cm, 20 cm e 30 cm das colunas de filtração com o tempo e, conseqüentemente, o processo de colmatação em diferentes profundidades com sedimentos do Lago Capivari. Além disso, observa-se no gráfico que as variações maiores acontecem nos dias 2 e 7 e que, a partir do dia 7, a condutividade hidráulica oscila em valores mais ou menos constantes nas 3 profundidades. Ainda, que a diminuição de  $K(10)$  é maior na camada de 5 cm.

Figura 31 - Variação de  $K(10)$  em relação ao tempo e profundidade do Lago Capivari (resultados médios das colunas 1, 2 e 3)



Fonte: próprio autor.

A perda de carga é maior nos centímetros iniciais, indicando que a camada superficial é onde a colmatação atua de forma preponderante, sendo a responsável pela restrição do volume de água filtrada em margem. Evidentemente que existem outros fatores que contribuem para a intensificação desta restrição, como, por exemplo, o gradiente hidráulico. Mas levando em consideração que a colmatação interfere diretamente na redução da condutividade hidráulica, pode-se dizer que se esta colmatação ocorresse em profundidade, provavelmente inviabilizaria a utilização desta tecnologia. Por outro lado, em uma situação real, haverá a movimentação do sedimento nestes primeiros centímetros provocando um processo de autolimpeza (SENS, 2006), podendo contribuir de forma positiva para a filtração em margem.

A Tabela 15 demonstra em números o comportamento observado nos gráficos acima. Observa-se que na camada de 5 cm, a condutividade diminui em média 13 vezes no primeiro dia e atinge 48 vezes no segundo dia em relação à  $K(10)_{\text{inicial}}$ . Do dia 2 ao 7, há uma diminuição de 5 vezes. Nas demais camadas (20 cm e 30 cm), observam-se diminuições de  $K(10)$ , porém de forma não tão expressiva como na camada 5 cm. Esses resultados demonstram, não só que a colmatação ocorre nas primeiras camadas, mas também que esse processo ocorre de forma significativa nas primeiras 48 h.

Tabela 15. Variação da condutividade hidráulica K(10) inicial com relação aos dias 1, 2 e 7 de monitoramento, nas 3 profundidades da coluna com os sedimentos do Lago Capivari

	5 cm	20 cm	30 cm
	Colunas 1, 2 e 3	Colunas 1, 2 e 3	Colunas 1, 2 e 3
K(10) <sub>inicial</sub> (m/s)	$3,7 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-5}$	$2,4 \times 10^{-5}$
K(10) <sub>inicial</sub> /K(10) <sub>dia 1</sub>	13	4	3
K(10) <sub>inicial</sub> /K(10) <sub>dia 2</sub>	48	9	6
K(10) <sub>dia 2</sub> / K(10) <sub>dia 7</sub>	5	4	4
K(10) <sub>dia 18 - final</sub> (m/s)	$2,4 \times 10^{-7}$	$9,21 \times 10^{-7}$	$1,35 \times 10^{-5}$

Fonte: próprio autor.

Comparando os valores de K calculados (Tabela 12) e os valores obtidos nos ensaios laboratoriais (Tabela 15), percebe-se que o valor calculado de condutividade hidráulica é muito maior e refere-se a um valor médio para cada sedimento em função do seu diâmetro efetivo. Os valores de K dos ensaios (K10) tendem a serem inferiores quando comparados aos valores teóricos, sendo que esta diferença é bastante expressiva nos primeiros centímetros do leito filtrante e ao longo da carreira de filtração, tendo sua maior discrepância, ao final do ensaio (18º dia).

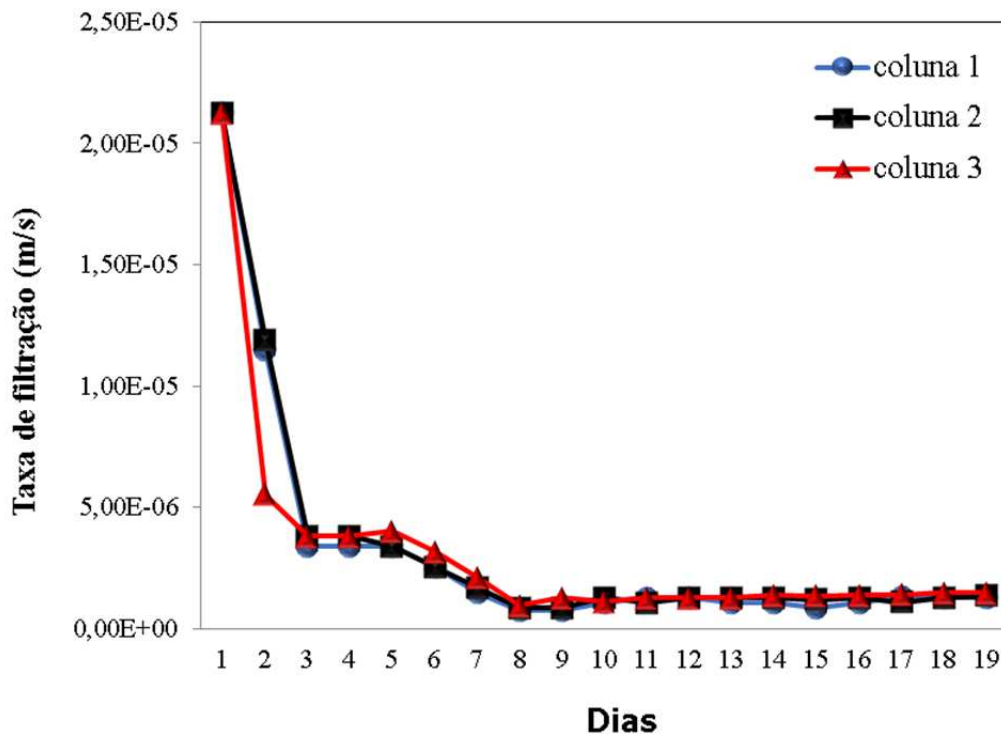
Esta diferença ocorre porque a situação ensaiada leva em consideração outros fatores, não somente o diâmetro efetivo, tais como a composição do sedimento e a interação que sua composição interfere nas condições hidrogeológicas ao longo de sua profundidade, alterando condições redox, oxigênio dissolvido, solubilidade ou insolubilidade de certas substâncias químicas. Isso demonstra que o valor calculado serve para se ter uma noção superficial de condutividade hidráulica, mas não serve para comparação entre sedimentos com o intuito de eleger o sedimento com melhor desempenho, não é possível chegar a uma decisão consistente somente com dados teóricos, é necessário ensaiar.

A Figura 32 demonstra a variação da taxa de filtração nas 3 colunas com os sedimentos do Lago Capivari, sendo a taxa inicial de 0,13 cm/min (1,87 m/d). Observa-se uma diminuição da taxa de aproximadamente 2 vezes no 2º dia e 6 vezes no terceiro dia com relação a taxa de filtração inicial. No 11º dia, obteve-se uma taxa de filtração média de 0,008 cm/min (em torno de 17 vezes menor que a taxa inicial). Esses resultados confirmam a colmatação do sistema.

Para a realização dos ensaios de coluna, foi garantida a mesma vazão para as colunas de filtração, fazendo o ajuste fino no vertedor tulipa, dentro da câmara de carga de nível constante, para cada grupo de 3 colunas. Considerando que o grau de compactação, o

nivelamento de cada coluna interfere diretamente em sua carga hidráulica, foi observada uma pequena variação entre elas de alguns centímetros, sendo que o valor de sua carga hidráulica ficou na média de 0,5 mca (50 cm).

Figura 32 - Variação da taxa de infiltração do Lago Capivari nas colunas 1, 2 e 3



Fonte: próprio autor.

Ao se considerar que a carga hidráulica é constante, a taxa de filtração vai declinando até chegar a uma estabilidade de operação, a qual na prática é a colmatação que ocorre durante o processo de filtração em margem. Assim, os gráficos mostram a amplitude possível da variação da taxa de filtração em função da colmatação total do leito em operação. No entanto, como citado anteriormente, a movimentação da água em uma situação real, seja pelo vento (lago), seja pela declividade longitudinal (rio), fará a taxa variar.

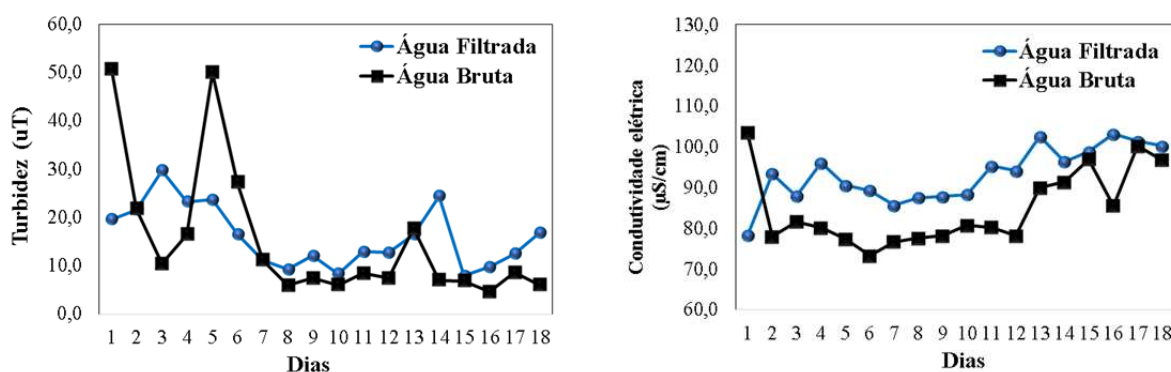
#### 4.5.4.2 Parâmetros de qualidade de água

Os gráficos das Figura 33, Figura 34 e Figura 35 demonstram uma média (n=3) de alguns parâmetros físico-químicos de qualidade da água analisados.

A Figura 33 (à esquerda) demonstra uma oscilação na turbidez da água bruta (AB) nos dias 1 e 5. Nesses dias, observa-se a remoção da turbidez da água filtrada - AF, em torno de 46% e 17% de turbidez, respectivamente. Nos demais dias de monitoramento, a mesma se

manteve entre 10 e 20 uT (com um episódio de 30 uT) , o que não resultou em uma melhora da qualidade da água frente à turbidez. A presença de argila e ferro no solo pode ser responsável pela ausência de melhora na qualidade da AF (SOARES, 2009), visto que a turbidez é um parâmetro que, na grande maioria dos estudos, é removido em mais de 97% da sua concentração inicial, conforme mencionado no item 4.5.3. A questão da presença de ferro, será melhor discutida no item 4.5.4.5.

Figura 33 - Monitoramento da qualidade da água, em termos de turbidez (à esquerda) e condutividade elétrica (à direita), utilizando o sedimento do Lago Capivari (valores médios das três colunas)

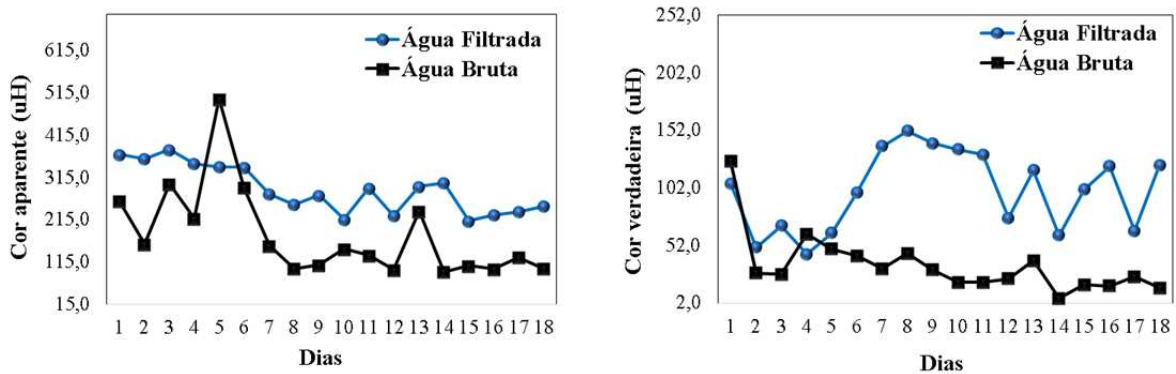


Fonte: próprio autor.

A condutividade elétrica, frequentemente aumenta após filtração em sedimentos de solo, sendo observado incrementos de 3 a 4 vezes por alguns pesquisadores (CAMPOS, 2012; ESQUIVEL *et al.*, 2017; ESQUIVEL *et al.*, 2016; ESQUIVEL *et al.*, 2012; MONDARDO, 2009; SENS e DALSSASSO, 2007; SENS *et al.*, 2006; SOARES, 2015) e é frequentemente atribuída às características dos sedimentos, que influenciam a composição dos materiais lixiviados, como liberação de íons do solo (GUEDES, 2018; GUEDES *et al.*, 2019).

Da mesma forma que para o parâmetro de turbidez, os parâmetros cor verdadeira e cor aparente (Figura 34), não foram removidos na AF, apresentando um aumento considerável, principalmente na cor verdadeira. Este comportamento se deve, provavelmente, às características geológicas do material filtrante, que possivelmente possui altas concentrações de ferro e manganês em sua composição (ESQUIVEL *et al.*, 2012; GUEDES, 2018; GUEDES *et al.*, 2019), o que pode estar atrelado também com a presença de MO, agravando a piora da qualidade da água filtrada.

Figura 34 - Monitoramento da qualidade da água, em termos de cor aparente (à esquerda) e cor verdadeira (à direita), utilizando o sedimento do Lago Capivari (valores médios das três colunas)

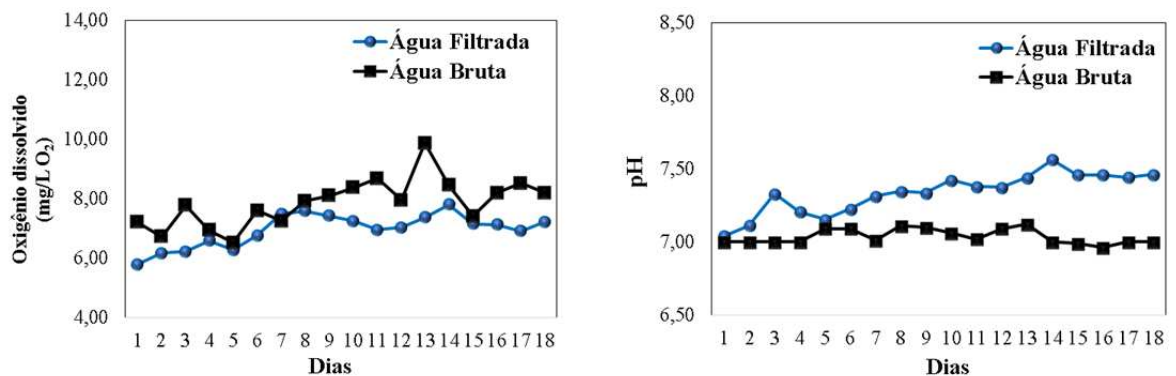


Fonte: próprio autor.

Quanto ao oxigênio dissolvido, Figura 35 à esquerda, observa-se sua diminuição na AF. Tal diminuição é atrelada à presença de micro-organismos que utilizam oxigênio em seus processos. A diminuição de oxigênio e frequentemente observada junto com a dissolução de metais como ferro e manganês e matéria orgânica (MO), quando os mesmo estão presentes (devido ao ambiente estar mais anóxico), que por consequência, também aumentam a condutividade elétrica da AF (ESQUIVEL *et al.*, 2017; ESQUIVEL *et al.*, 2012), como observado na Figura 33, à direita.

O pH (Figura 35, à direita) aumentou em média 0,3 unidades na AF, que provavelmente ocorreu devido ao aumento da alcalinidade devido à presença de sedimentos os quais contêm cálcio (MONDARDO, 2009; SENS *et al.*, 2006; SENS, 2007).

Figura 35 - Monitoramento da qualidade da água, em termos de oxigênio dissolvido (à esquerda) e pH (à direita), utilizando o sedimento do Lago Capivari (valores médios das três colunas)

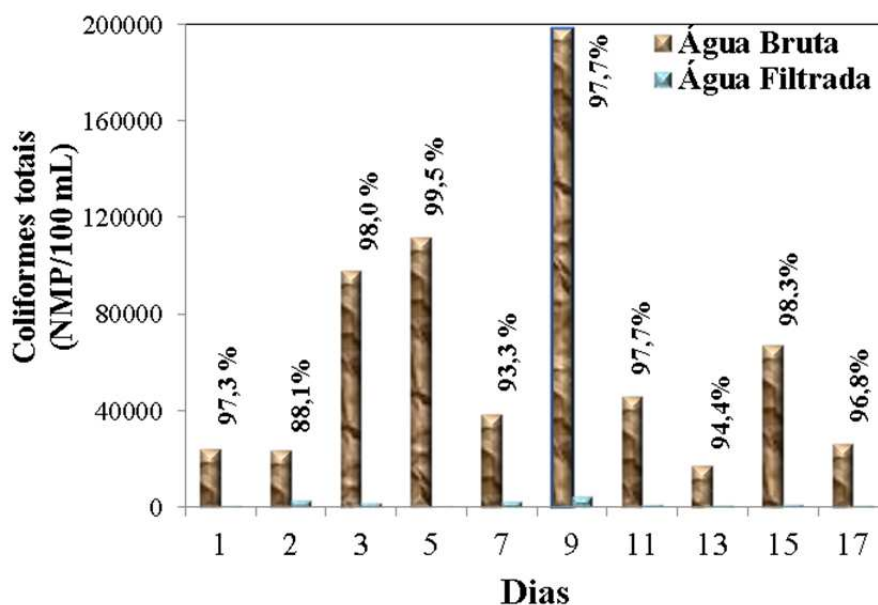


Fonte: próprio autor.

A Figura 36 e Figura 37 apresentam o monitoramento da água em termos Coliformes totais e *E. Coli*, respectivamente. Observa-se que, após filtração nas colunas,

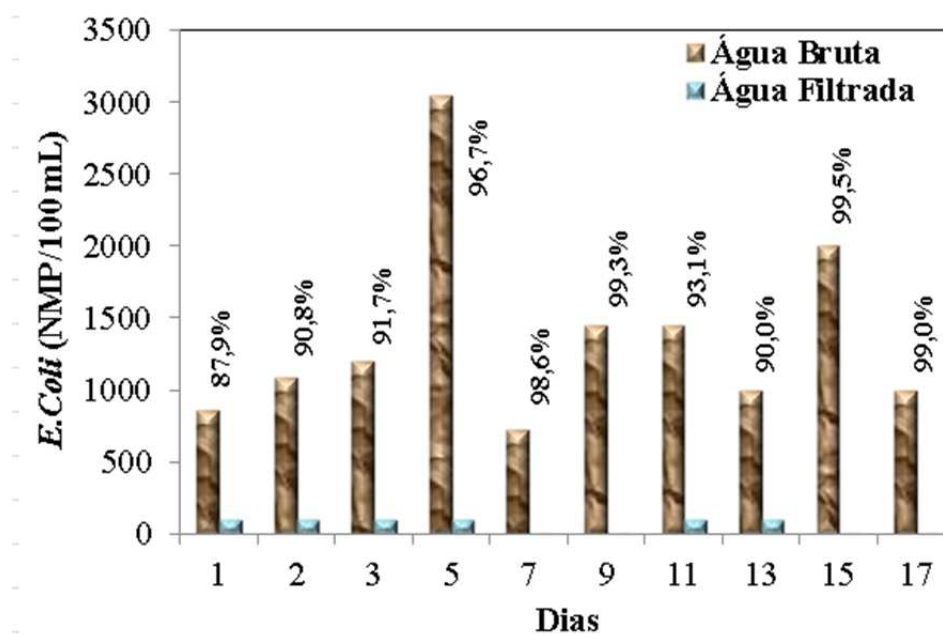
houve um percentual de remoção de ambos os parâmetros bastante grande, apesar de não ter se observada a ausência desses parâmetros em nenhum dos dias.

Figura 36 - Monitoramento da qualidade da água, com relação a Coliforme totais utilizando o sedimento do Lago Capivari (valores médios das três colunas)



Fonte: próprio autor.

Figura 37 - Monitoramento da qualidade da água, com relação a *E. Coli*, utilizando o sedimento do Lago Capivari (valores médios das três colunas)



Fonte: próprio autor.

Diferentemente de condições de campo, onde o poço de produção passa por um processo de desinfecção antes do início da produção, devido ao fato de ser uma situação em escala real e em meio externo susceptível às interferências do meio ambiente, em um sistema de colunas não é possível realizar este procedimento. O período antes do início da produção de água filtrada em margem é conhecido como aclimatação do poço a fim de ambientar o poço ao solo, nessa nova situação. Geralmente, tal período serve para extrair do solo a água praticamente estagnada (com fluxo tendendo a zero) no intuito de receber a nova água proveniente do manancial superficial. Ainda, esse período pode ter em grandeza valor parecido com o tempo de percurso, estimado em dias ou semanas.

O fluxo vai aumentar ou seu sentido será invertido, dependendo se o manancial recarrega o aquífero ou se ele é recarregado. Com isso, as condições de escoamento são alteradas, mudando assim as condições redox, o que faz com que as condições de dissolução do Fe e Mn, quando presentes no solo, sejam modificadas, o que se afasta ou se aproxima do poço de produção, uma vez que há variação na disponibilidade de oxigênio dissolvido.

A Tabela 16 reúne todos os resultados utilizados na construção dos gráficos supracitados e dos parâmetros de qualidade de água filtrada, a partir do uso de sedimento do manancial do Lago Capivari (valores médios das 3 colunas).

Tabela 16 - Monitoramento dos parâmetros de qualidade da água após a filtração utilizando os sedimentos do Lago Capivari (valores médios das três colunas)

Qualidade da água Filtrada									
Dia	Turbidez (uT)	Condutividade Elétrica (µS/cm)	Temperatura (°C)	Oxigênio dissolvido (mg/L O <sub>2</sub> )	pH	Cor Aparente (uH)	Cor Verdadeira (uH)	Coliformes totais (NMP/100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)
1	19,67	78,27	23,6	5,79	7,04	369,00	105,67	643,33	104,07
2	21,67	93,43	23,4	6,18	7,11	358,67	50,33	2820,00	<100
3	29,80	87,90	23,9	6,23	7,33	380,00	69,33	1957,33	<100
4	23,35	96,13	23,1	6,60	7,21	347,33	44,33		
5	23,73	90,60	22,2	6,28	7,15	339,67	63,00	585,33	<100
6	16,63	89,37	21,8	6,77	7,23	338,67	97,67		
7	11,23	85,63	21,1	7,50	7,31	275,33	138,33	2592,67	<10
8	9,33	87,57	19,6	7,59	7,35	250,33	151,67		
9	12,15	87,83	21,2	7,43	7,34	272,33	140,67	4644,67	<10
10	8,40	88,30	22,8	7,26	7,42	215,33	135,33		
11	12,97	95,30	24,0	6,96	7,38	289,33	131,00	1081,00	<100
12	12,77	94,10	24,3	7,04	7,37	224,00	75,67		



Qualidade da água Filtrada									
Dia	Turbidez (uT)	Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Oxigênio dissolvido ( $\text{mg}/\text{L O}_2$ )	pH	Cor Aparente (uH)	Cor Verdadeira (uH)	Coliformes totais (NMP/100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)
13	16,50	102,60	21,4	7,37	7,44	293,33	117,33	964,33	<100
14	24,48	96,40	19,7	7,81	7,56	301,67	60,67		
15	7,98	98,87	23,3	7,16	7,46	211,67	100,67	1170,33	<10
16	9,77	103,17	23,0	7,13	7,46	226,00	120,67		
17	12,58	101,40	23,8	6,92	7,44	233,33	64,67	860,00	<10
18	16,98	100,27	23,3	7,23	7,46	247,00	122,00		
Varição (Mín-Máx)	7,98 a 29,80	78,27 a 132,70	19,6 a 23,8	5,79 a 7,81	7,04 a 7,56	211,67 a 380,00	44,33 a 151,67	585,33 a 4644,67	<10 a 104,07
Média	16,11	93,17	22,5	6,96	7,34	287,39	99,39	1731,9	<100
Desvio padrão	6,22	6,56	1,4	0,54	0,14	55,04	33,75	1226,7	x

uT- Unidade de turbidez, NMP- número mais provável; uH – unidade de Hazen (mg/L Pt-Co).

Fonte: próprio autor.

Comparando os valores médios obtidos com as 18 medidas de cada parâmetro, após filtração em coluna (Tabela 16) com os valores médios obtidos para a água bruta (Tabela 13), observa-se que a turbidez pouco variou, ficando maior na AF que na AB (contudo, o desvio das medidas da AB é mais que o dobro). Em termos de qualidade de água filtrada, seria necessária a redução para 1 uT (conforme a legislação vigente). A condutividade elétrica sofreu um aumento de  $8,4 \mu\text{S}/\text{cm}$  na AF, devido à liberação de íons dos sedimentos do Lago Capivari. A temperatura manteve-se a mesma e o pH sofreu um aumento de 0,3 unidades, estando dentro do pH aceitável pela legislação (entre 6 e 9). A água AB apresentou cor aparente considerável e bem acima do valor máximo permitido (VMP=15 uH) pela legislação para consumo humano. Entretanto, após filtração em coluna, houve um aumento ainda maior da cor aparente na AF (109 uH), bem como da cor verdadeira (64 uH). Tal aumento, tanto na cor quanto na turbidez, conforme discutido anteriormente nos respectivos gráficos, se devem provavelmente a presença de metais como ferro e manganês que se encontravam no solo, e, por meio de processos de redox, tornaram-se solúveis na AF. Então, para corroborar com essa hipótese, observou-se uma diminuição de  $1,24 \text{ mg}/\text{L}$  de  $\text{O}_2$  na AF.

Processos redox ocorrem dentro das colunas de filtração e a presença de oxigênio contribui, oxidando certas substâncias e, por consequência, reduzindo outras, as quais passam

a ser solúveis em meio aquoso. Dessa forma, a redução da quantidade de oxigênio dissolvido pode ser atribuída a muitos fatores, desde a coleta, medição desse parâmetro e o tempo que este serviço é realizado. Por outro lado, nas camadas mais superficiais do sedimento no topo da coluna de filtração, provavelmente, a situação é favorecida para a transferência de oxigênio ao meio líquido e levando em consideração esses dois aspectos físicos, o aumento no início da filtração e a sua redução no momento de medição de OD, parte do valor supracitado de 1,24 mg/L pode ser atribuído ao ganho e perda para atmosfera.

Quanto aos parâmetros biológicos, a filtração mostrou excelentes resultados, já que removeu em torno de 97% e 93% em média, de coliformes totais e *E. Coli*, respectivamente, assim, é importante lembrar que para consumo humano, conforme legislação é necessária a ausência de ambos os parâmetros pela obrigatoriedade da desinfecção.

#### 4.5.4.3 Estudos laboratoriais em colunas com os sedimentos do Rio Palmares

##### 4.5.4.3.1 Parâmetros hidráulicos (condutividade hidráulica e taxa de infiltração)

A condutividade hidráulica vertical (decorrente de ser uma coluna de filtração com ação da aceleração da gravidade), utilizando os sedimentos do Rio Palmares, foi normalizada para a temperatura de 10 °C (K(10)) e obtida experimentalmente conforme metodologia (item 4.4.4).

Para demonstrar o processo de colmatação, a mesma alta taxa de infiltração inicial, utilizada nas colunas com os sedimentos do Lago Capivari, foi aplicada ao sistema ( $2,0 \times 10^{-5}$  m/s ou 0,13 cm/min). A média dos resultados de K(10) em cada coluna e nas 3 profundidades (piezômetros) encontra-se na Tabela 17. Assim, observa-se que os valores médios de K(10) aumentam com o aumento da profundidade, além de demonstrar que os maiores efeitos da colmatação encontram-se nas primeiras camadas da coluna.

Tabela 17 - Média dos resultados de K(10) em cada coluna e nas 3 profundidades obtidas com os sedimentos do Rio Palmares

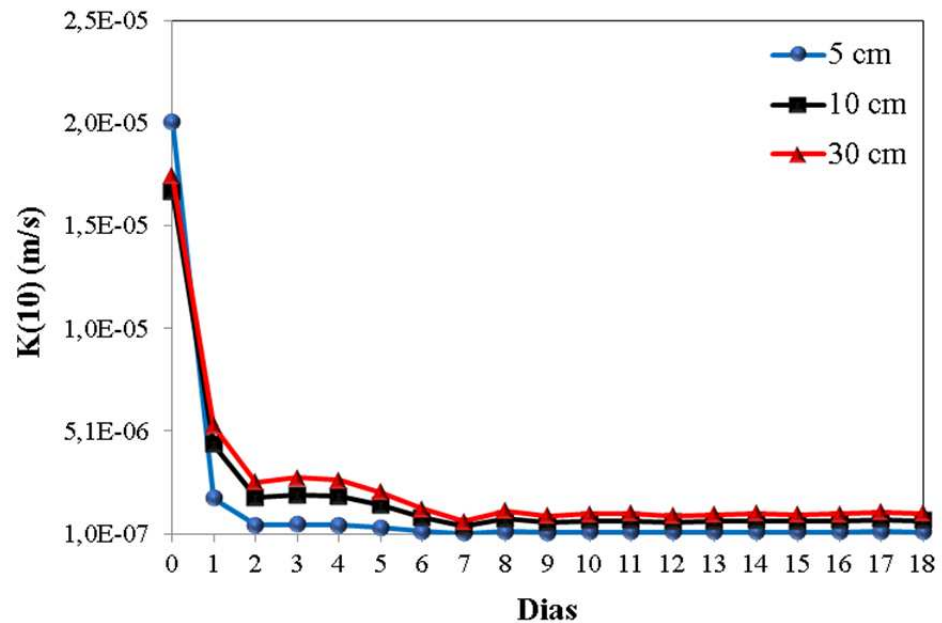
Profundidade (cm)	Colunas 1,2 e 3	
	K(10) médio (m/s)	Desvio padrão médio
5	$3,52 \times 10^{-7}$	$1,51 \times 10^{-7}$
20	$1,31 \times 10^{-6}$	$5,29 \times 10^{-7}$
30	$1,89 \times 10^{-6}$	$7,31 \times 10^{-7}$

**NOTA:** Os valores calculados levaram em consideração os dias da carreira de filtração a partir do 2º dia (apenas a faixa do gráfico estabilizada de K(10)).

Fonte: próprio autor.

Da mesma forma que para os experimentos realizados com os sedimentos do Lago Capivari, a condutividade hidráulica calculadas com auxílio das equações de *Hazen* e *Beyer* foram bem maiores do que aquelas obtidas experimentalmente, (81 vezes com a equação de *Hazen* e em torno de 62 vezes com a Equação de *Beyer*, com muita compactação), o que demonstra as limitações das equações com uma situação real.

Figura 38 - Variação de  $K(10)$  em relação ao tempo e profundidade do Rio Palmares (resultados médios das



colunas 1, 2 e 3)

Fonte: próprio autor.

O gráfico supracitado (Figura 38) demonstra a variação média de  $K(10)$  nas 3 colunas, nas profundidades de 5 cm, 20 cm e 30 cm com o tempo e, conseqüentemente, o processo de colmatção a diferentes profundidades nas três colunas preenchidas com sedimentos do Rio Palmares.

Observa-se no gráfico que, para todas as profundidades, há uma grande diminuição até o 2º dia, e depois  $K(10)$  diminui gradualmente até o 7º dia. Ainda, que a diminuição de  $K(10)$  é maior na camada de 5 cm, como observado para os sedimentos do Lago Capivari e do Rio Palmares.

A Tabela 18 exhibe em números o comportamento observado no gráfico da Figura 38, citada anteriormente. Desse modo, observa-se que na camada de 5 cm, a condutividade diminui em média 22 vezes já no primeiro dia e 38 vezes no segundo com relação a  $K(10)$  inicial. Do 2º ao 7º dia, há uma diminuição mais sutil, de em média 4 vezes. Nas demais camadas (20 cm e 30 cm), observam-se diminuições de  $K(10)$ , porém de forma não tão

expressiva como na camada 5 cm. Tais resultados demonstram, não só que a colmatação ocorre nas primeiras camadas, mas também que esse processo ocorre de forma significativa nas primeiras 24 h e 48 h ainda mais rápido que com os sedimentos do Lago Capivari. Então,  $K(10)$  final nos primeiros 5 cm, com os sedimentos do Rio Palmares, ficou em torno de  $2,52 \times 10^{-7}$  m/s. Apesar da colmatação ocorrer mais rapidamente nos sedimentos do Rio Palmares, observou-se que  $K(10)$  final para a camada de 5 cm de ambas, é praticamente a mesma e que, portanto, após estabilidade da carreira de filtração nas colunas, esse parâmetro hidráulico não sofre influência da camada de colmatação.

Tabela 18 - Variação da condutividade hidráulica  $K(10)$  inicial com relação aos dias 1 e 7 de monitoramento, nas 3 profundidades das colunas com os sedimentos do Rio Palmares

	5 cm	20 cm	30 cm
	Colunas 1, 2 e 3	Colunas 1, 2 e 3	Colunas 1, 2 e 3
$K(10)_{\text{inicial}}$ (m/s)	$2,0 \times 10^{-5}$	$1,7 \times 10^{-5}$	$1,7 \times 10^{-5}$
$K(10)_{\text{inicial}}/K(10)_{\text{dia 1}}$	22	6	5
$K(10)_{\text{inicial}}/K(10)_{\text{dia 2}}$	38	9	7
$K(10)_{\text{dia 2}} / K(10)_{\text{dia 7}}$	4	3	3
$K(10)_{\text{inicial}}/K(10)_{\text{final}}$	85	19	14
$K(10)_{\text{dia 18 - final}}$ (m/s)	$2,5 \times 10^{-7}$	$9,9 \times 10^{-7}$	$1,4 \times 10^{-6}$

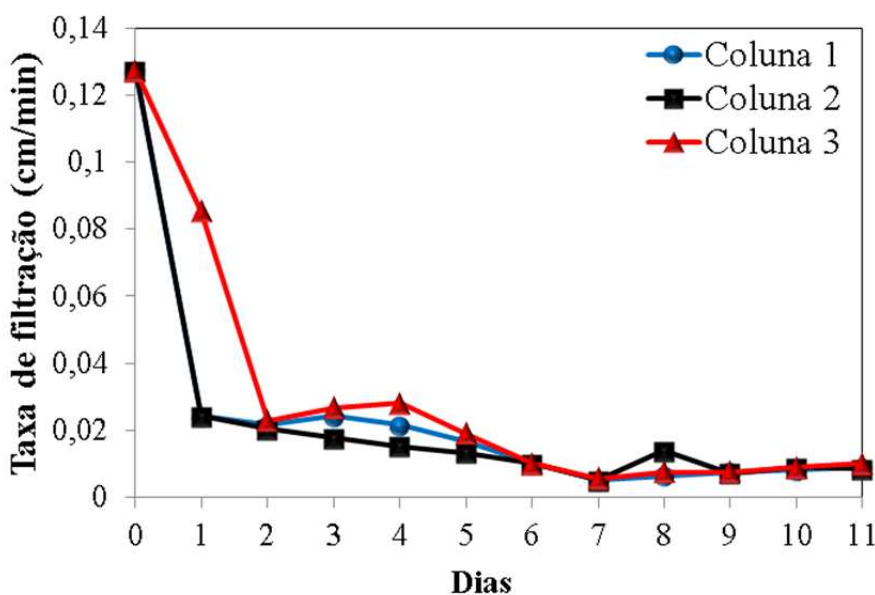
Fonte: próprio autor.

Considerando que  $D_{10}$  de ambos os sedimentos foi praticamente o mesmo (0,13-0,14 mm) e que esse valor corresponde a partículas finas, pode-se inferir essa maior rapidez na colmatação do solo do Rio Palmares devido à presença de MO. Dessa forma, os sedimentos do Rio Palmares foram os que apresentaram maior quantidade de MO: 1,35% contra 0,65% nos sedimentos do Lago Capivari. Segundo Boulton (1998), a formação de biofilmes (colmatação biológica) é influenciada por altas concentrações de MO, somadas ao fato de partículas pequenas apresentarem alta área superficial. Logo, cabe lembrar que valores de <2,5% para fertilidade do solo é considerado um valor baixo, entretanto, em meio aquoso, este valor é relativamente alto, como já discutido, porque a ordem de grandeza não é mais em porcentagem, mas sim em partes por milhão.

A Figura 39 demonstra a variação da taxa de filtração nas 3 colunas com os sedimentos do Rio Palmares, sendo a taxa inicial de 0,13 cm/min. Ainda, observa-se uma diminuição da taxa de aproximadamente 6 vezes no 2º dia. No 11º dia e obteve-se uma taxa de filtração média de 0,009 cm/min (em torno de 14 vezes menor que a taxa inicial). Esses resultados confirmam a colmatação do sistema. Em comparação com os sedimentos do Lago

Capivari, observa-se que a diminuição taxa de filtração foi bem maior com os sedimentos do Rio Palmares em um período menor de tempo, pois é possível observar que o valor de  $K(10)$  final do Lago Capivari foi  $1,35 \times 10^{-5}$  m/s em comparação ao do Rio Palmares na ordem de  $1,4 \times 10^{-6}$  m/s.

Figura 39 - Variação da taxa de infiltração do Rio Palmares nas colunas 1, 2 e 3.



Fonte: próprio autor.

#### 4.5.4.3.2 Parâmetros de qualidade de água

A seguir, os gráficos da Figura 40, Figura 41 e Figura 42 demonstram a média ( $n=3$ ) dos principais parâmetros físico-químicos de qualidade da água analisados.

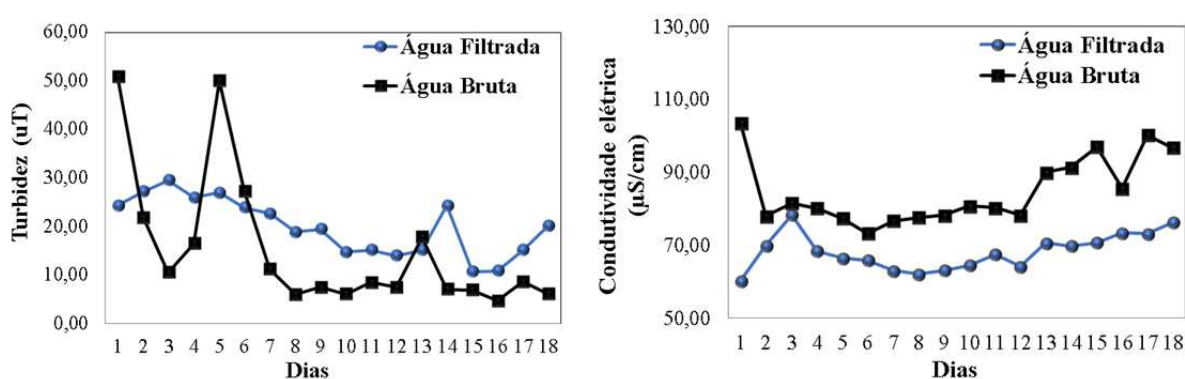
A Figura 40 (à esquerda) demonstra uma oscilação na turbidez da água bruta (AB) nos dias 1 e 5. Nesses dias, observa-se a remoção da turbidez da água filtrada - AF, (em torno de 52 % e 46 % de turbidez, respectivamente). Quando comparado com os valores do Lago Capivari, observa-se que a oscilação da remoção de turbidez durante esses dias foi bem menor, 46% para 52% e 17% para 46%, mostrando que mesmo mantendo uma remoção média maior, a presença de MO nos sedimentos do Rio Palmares, pode ser um dos responsáveis por este resultado insatisfatório de incremento nos valores finais de turbidez da AF. Como pontuado nas colunas com sedimentos do Lago Capivari, a presença de argila e ferro no solo também pode ser responsável pela ausência de melhora na qualidade da AF

(SOARES, 2009), visto que turbidez é um parâmetro que na grande maioria dos estudos é removido em mais de 97 % da sua concentração inicial, conforme mencionado no item 4.5.3.

Picos de piora da qualidade da água bruta pouco interferem a qualidade da água tratada. Observa-se que a qualidade da água filtrada é pouco influenciada pela variação da turbidez do manancial, tendendo-se a se manter constante. Isto fica bem evidenciado no quinto dia onde houve um pico de turbidez no manancial sem, contudo, alterar a capacidade de remoção da turbidez pela FM.

A condutividade elétrica, frequentemente aumenta após filtração em sedimentos de solo, (CAMPOS, 2012; ESQUIVEL *et al.*, 2017; ESQUIVEL *et al.*, 2016; ESQUIVEL *et al.*, 2012; MONDARDO, 2009; SENS e DALSSASSO, 2007; SENS *et al.*, 2006; SOARES, 2015) e é frequentemente atribuída às características dos sedimentos, que influenciam a composição dos materiais lixiviados, como liberação de íons do solo (GUEDES, 2018; GUEDES *et al.*, 2019). Sendo assim, diferentemente dos sedimentos do Lago Capivari, a presença de espécies passíveis de lixiviação (sejam catiônicas ou aniônicas) não estão (ou estão em menor quantidade) presentes nos sedimentos do Rio Palmares ou ainda, não houve condições redox suficientes para esse processo. A presença de uma quantidade maior de MO pode fazer com que as espécies iônicas fiquem associadas a MO preferencialmente à lixiviação para água.

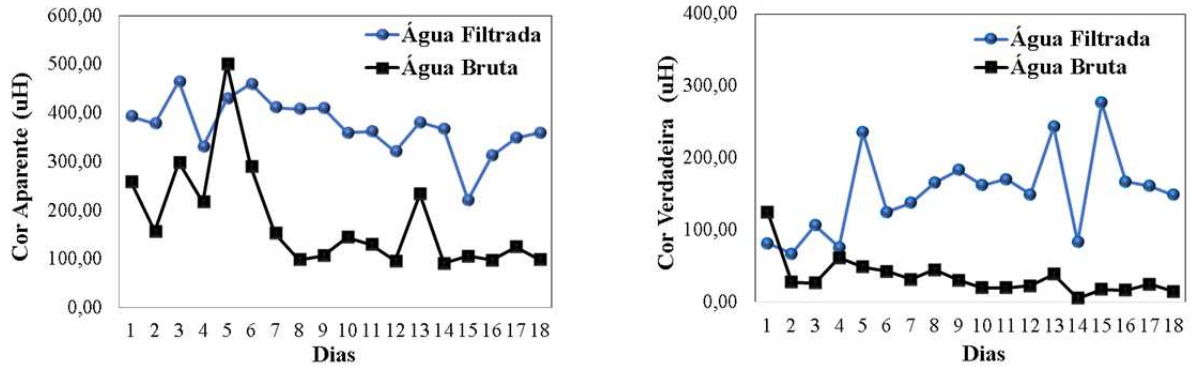
Figura 40 - Monitoramento da qualidade da água, em termos de turbidez e condutividade elétrica, utilizando o sedimento do Rio Palmares (valores médios das três colunas)



Fonte: próprio autor.

Da mesma forma que para o parâmetro de turbidez, os parâmetros cor verdadeira e cor aparente (Figura 41), não foram removidos na AF, apresentando um aumento considerável. Este comportamento se deve provavelmente a presença de MO, agravando a piora da qualidade da AF.

Figura 41 - Monitoramento qualidade da água, em termos de cor aparente e verdadeira, utilizando o sedimento do Rio Palmares (valores médios das três colunas)

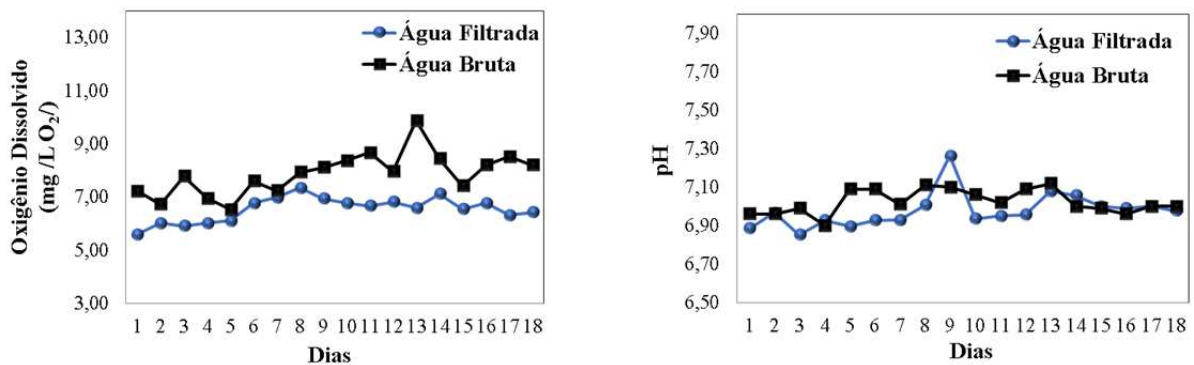


Fonte: próprio autor.

Quanto ao oxigênio dissolvido, Figura 42 à esquerda, observa-se sua diminuição na AF, da mesma forma que ocorreu com os sedimentos do Lago Capivari. Essa diminuição pode ser atrelada à presença de micro-organismos que utilizam oxigênio em seus processos. A diminuição de oxigênio é frequentemente observada concomitantemente com a dissolução de metais como ferro e manganês e matéria orgânica (MO), quando os mesmos estão presentes (devido ao ambiente estar mais anóxico) (ESQUIVEL *et al.*, 2017; ESQUIVEL *et al.*, 2012). Como não houve aumento de condutividade elétrica na AF e os sedimentos do Rio Palmares apresentam uma carga maior de MO que o do Lago Capivari, é possível que o consumo da MO contribua mais com a diminuição do OD.

O pH (Figura 42, à direita), manteve-se mais ou menos constante na AB e AF (pH médio de 7,04 e 6,98; respectivamente). Isso demonstra que provavelmente não houve aumento da alcalinidade, pela dissolução de carbonatos e bicarbonatos, e esses resultados estão em concordância com os resultados de condutividade elétrica na AF.

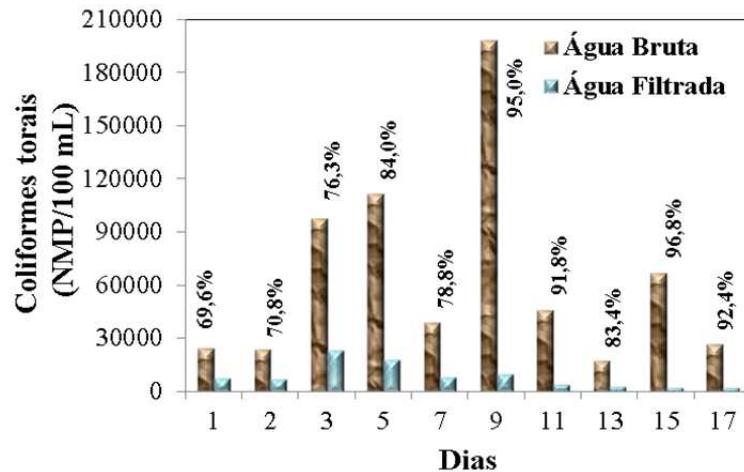
Figura 42. Monitoramento qualidade da água, em termos de oxigênio dissolvido e pH, utilizando o sedimento do Rio Palmares (valores médios das três colunas)



Fonte: próprio autor.

Devido a piora da qualidade da AF frente aos parâmetros cor verdadeira, aparente e turbidez, não se pode descartar a possível presença de ferro e manganês na composição do solo, além da MO, como já mencionado, pois os sedimentos do Rio Palmares foram os que apresentaram maior concentração de MO.

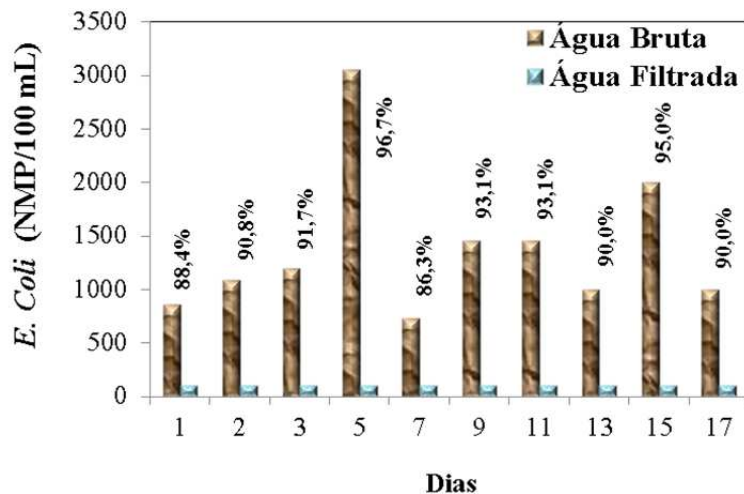
Figura 43 - Monitoramento da qualidade da água, com relação aos Coliformes totais utilizando o sedimento do Rio Palmares (valores médios das três colunas)



Fonte: próprio autor.

A Figura 43 (supracitada) e Figura 44 (abaixo), apresentam o monitoramento da água em termos Coliformes totais e *E. Coli*, respectivamente. Da mesma forma que observado nas colunas com os sedimentos do Lago Capivari, observa-se que após filtração nas colunas, houve um percentual de remoção de ambos os parâmetros bastante grande, apesar de não ter se observada a ausência desses parâmetros em nenhum dos dias.

Figura 44. Monitoramento da qualidade da água, com relação a *E. Coli* utilizando o sedimento do Rio Palmares (valores médios das três colunas)



Fonte: próprio autor.



A Tabela 19 reúne todos os resultados utilizados na construção dos gráficos acima, dos parâmetros de qualidade de água por meio da utilização de sedimento do Rio Palmares (valores médios das 3 colunas).

Tabela 19 - Monitoramento dos parâmetros de qualidade da água após a filtração utilizando os sedimentos do Rio Palmares (valores médios das três colunas)

Qualidade da água Filtrada									
Dia	Turbidez (uT)	Condutividade elétrica (µS/cm)	Temperatura (°C)	Oxigênio dissolvido (mg/L O <sub>2</sub> )	pH	Cor Aparente (uH)	Cor Verdadeira (uH)	Coliformes totais (NMP/100 mL)	<i>E.coli</i> (NMP/100 mL)
1	24,30	60,30	23,70	5,58	6,89	393,67	81,67	7353	<100
2	27,23	69,97	23,60	5,81	6,97	378,67	67,67	6877	<100
3	29,50	78,40	24,30	5,79	6,85	464,67	107,00	23257	<100
4	25,97	68,47	23,40	6,12	6,93	330,67	76,33		
5	26,93	66,47	22,30	5,98	6,90	429,33	236,00	17970	<100
6	23,90	65,90	21,80	6,50	6,93	460,33	125,33		
7	22,63	63,00	21,10	6,96	6,93	411,33	138,00	8194	<100
8	18,87	62,13	19,60	7,00	7,01	408,00	165,67		
9	19,43	63,17	21,20	6,57	7,26	410,67	183,67	9950	<100
10	14,73	64,57	22,80	6,62	6,94	359,33	162,33		
11	15,17	67,47	24,40	6,55	6,95	362,33	170,67	3793	<100
12	14,03	64,17	24,30	6,69	6,96	321,00	150,00		
13	15,13	70,67	21,40	6,63	7,08	381,00	243,67	2877	<100
14	24,33	69,87	20,00	6,93	7,06	367,33	83,67		
15	10,66	70,70	23,40	6,58	7,00	221,33	277,00	2114	<100
16	10,83	73,40	23,00	6,78	6,99	313,00	167,67		
17	15,13	73,20	23,90	6,47	7,00	348,67	161,33	2016	<100
18	20,17	76,23	23,30	6,55	6,98	359,33	149,33		
Varição (Min-Máx)	10,66 a 29,50	60,30 a 78,40	19,60 a 24,30	5,58 a 7,00	6,89 a 7,26	221,33 a 464,67	76,33 a 277,00	2016 a 23257	<100
Média	19,94	68,23	22,6	6,54	6,98	373,37	152,61	8440	<100
Desvio padrão	5,74	4,88	1,4	0,45	0,09	55,80	56,99	6709	x

uT- Unidade de turbidez; NMP – Número mais provável; uH – unidade de Hazen (mg/L Pt-Co)

Fonte: próprio autor.

Comparando os valores médios obtidos com as 18 medidas de cada parâmetro, após filtração em coluna, com os valores médios obtidos para a água bruta (Tabela 13), observa-se

que a turbidez ficou semelhante, um pouco maior na AF que na AB (contudo, deve-se considerar que o desvio das medidas da AB é mais que o dobro do desvio das medidas na AF). Em termos de qualidade de água filtrada, seria necessária a redução para 5 uT (conforme a legislação).

A condutividade hidráulica sofreu uma diminuição de  $17\mu\text{S}/\text{cm}$  na AF, a temperatura e o pH mantiveram-se praticamente iguais na AB e AF. Apesar de a AB apresentar cor aparente considerável e bem acima do valor máximo permitido (VMP=15 uH) conforme a legislação para água destinada ao consumo humano, houve um aumento ainda maior da cor aparente na AF (195 uH), assim como da cor verdadeira (118 uH) na AF. Quando se compara com os experimentos com sedimentos do Lago Capivari, esses resultados também foram piores. Esse aumento, tanto na cor quanto na turbidez, como já foi discutido anteriormente nos respectivos gráficos, se devem provavelmente a presença de MO, mas abundante nos sedimentos do Rio Palmares do que nos sedimentos do Lago Capivari, além da possibilidade de haver metais como ferro e manganês no solo.

Quanto aos parâmetros biológicos, a filtração mostrou excelentes resultados já que foram removidos em torno de 87% e 93% em média, de coliformes totais e *E. Coli*, respectivamente, lembrando que para consumo humano, segundo a legislação, é necessária a ausência de ambos os parâmetros. Por fim, os resultados com os sedimentos de Palmares apresentaram piores resultados na remoção de coliformes totais quando comparado com as colunas com os sedimentos do Lago Capivari, onde foi possível remover aproximadamente 97% dos coliformes totais. Logo, com as informações que se tem dos solos de ambos os pontos, sendo o diâmetro efetivo praticamente igual, a composição do solo em termos de MO tem-se demonstrado fator importante na qualidade da AF.

#### 4.5.4.4 *Estudos laboratoriais em colunas com os sedimentos do Açude dos Felicianos*

##### 4.5.4.4.1 Parâmetros hidráulicos (condutividade hidráulica e taxa de infiltração)

A condutividade hidráulica horizontal, utilizando os sedimentos do Rio Palmares, foi normalizada para a temperatura de 10 °C (K (10)) a partir de uma temperatura média da água de 23 °C e obtida experimentalmente conforme a metodologia (item 4.4.4).

Para demonstrar o processo de colmatação, a mesma alta taxa de infiltração inicial utilizada nas colunas com os sedimentos do Açude dos Felicianos, foi aplicada ao sistema (2,0

x  $10^{-5}$  m/s ou 0,13 cm/min). Assim, a média dos resultados de K (10) em cada coluna e nas 3 profundidades (piezômetros) encontra-se na Tabela 20.

Tabela 20 - Média dos resultados de K(10) em cada coluna e nas 3 profundidades obtidas com os sedimentos do Açude dos Felicianos.

Profundidade (cm)	Colunas 1, 2 e 3	
	K(10) médio (m/s)	Desvio padrão médio
5	$1,17 \times 10^{-6}$	$4,92 \times 10^{-7}$
20	$4,38 \times 10^{-6}$	$1,77 \times 10^{-6}$
30	$6,34 \times 10^{-6}$	$2,49 \times 10^{-6}$

NOTA: Os valores calculados levaram em consideração os dias da carreira de filtração a partir do 2º dia (apenas a faixa do gráfico estabilizada de K(10)).

Fonte: próprio autor.

Observa-se que os valores médios de K (10), aumentam com o aumento da profundidade, demonstrando que os maiores efeitos da colmatção encontram-se nas primeiras camadas da coluna.

Da mesma forma que para os experimentos realizados com os sedimentos do Lago Capivari e do Rio Palmares, as condutividades hidráulicas calculadas, com auxílio das equações de *Hazen* e *Beyer*, foram bem maiores das obtidas experimentalmente, (17 vezes com a equação de *Hazen* e em torno de 28 vezes com a Equação de *Beyer*, com muita compactação), o que demonstra as limitações das equações com uma situação real. Mesmo usando K de *Beyer* com muita compactação, simulando o pior caso, os resultados teóricos são bem superiores aos experimentais. Ainda assim, os resultados de condutividade hidráulica teórica e experimental obtidos com os sedimentos do Açude dos Felicianos se assemelham mais do que com os resultados com os demais sedimentos, conforme a Tabela 21. Este comportamento é coerente, pois as equações teóricas levam em conta apenas a granulometria ( $D_{10}$ ) e desconsideram outros fatores como a composição, visto que os sedimentos do Açude dos Felicianos é o que apresenta menor percentual de MO.

Tabela 21 - Comparação dos resultados de condutividade hidráulica teórica e experimental, com a composição e  $D_{10}$  dos sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos

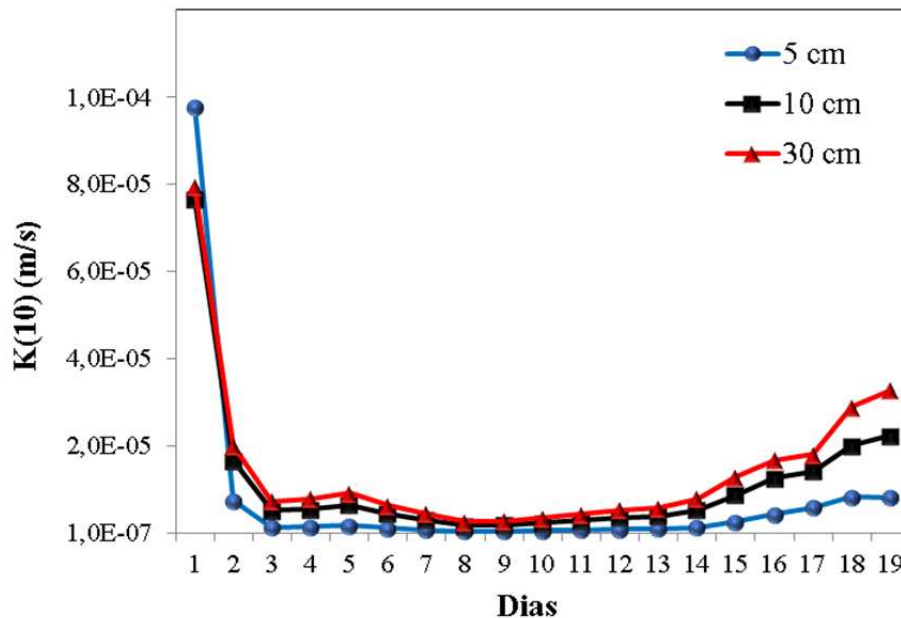
	Lago Capivari	Rio Palmares	Açude dos Felicianos
K <i>Hazen</i> /K(10)	46	81	17
K <i>Beyer</i> /K(10)	42	74	15
MO (%)	0,65	1,35	0,15
$D_{10}$ (mm)	0,13	0,14	0,19

NOTA: Foram usados os resultados de K de *Beyer* com muita compactação, simulando o pior caso.

Fonte: próprio autor.

A Figura 45 demonstra a variação média da condutividade hidráulica -  $K(10)$  nas 3 colunas, nas profundidades de 5 cm, 20 cm e 30 cm com o tempo e, conseqüentemente, o processo de colmatação a diferentes profundidades com sedimentos do Açude dos Felicianos. Observa-se que as variações maiores de  $K(10)$  acontecem nos 2 primeiros dias e no 7º dia até onde  $K(10)$  permanece descendente, e que a partir do dia 7, a condutividade hidráulica aumenta gradualmente até o 11º dia. Ainda, que a diminuição de  $K(10)$  é maior na camada de 5 cm, como observado para os sedimentos do Lago Capivari e do Rio Palmares.

Figura 45 - Variação de  $K(10)$  em relação ao tempo e profundidade do Açude dos Felicianos (resultados médios das colunas 1, 2 e 3)



Fonte: próprio autor.

A Tabela 22 demonstra, em números, o comportamento observado nos gráficos citados anteriormente. Observa-se que na camada de 5 cm, a condutividade diminui em média 33 vezes já no primeiro dia e 81 vezes no segundo com relação a  $K(10)$  inicial. Do 2º ao 7º dia, há uma diminuição mais sutil, de em média 3 vezes. Nas demais camadas (10 cm e 30 cm), observam-se diminuições de  $K(10)$ , porém de forma não tão expressiva como na camada 5 cm. Esses resultados demonstram, não só que a colmatação ocorre preferencialmente nas primeiras camadas, mas também que esse processo ocorre de forma significativa nas primeiras 24 h e 48 h ainda mais rápido que com os sedimentos do Lago Capivari e do Rio Palmares.

Tabela 22 - Variação da condutividade hidráulica -  $K(10)$  inicial com relação aos dias 2 e 7 de monitoramento, nas 3 profundidades das colunas, com os sedimentos do Açude dos Felicianos

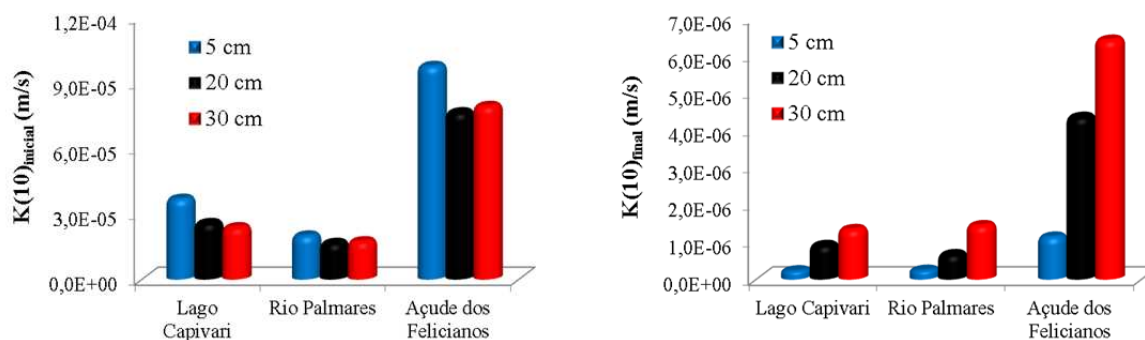
	5 cm	20 cm	30 cm
	Colunas 1, 2 e 3	Colunas 1, 2 e 3	Colunas 1, 2 e 3
$K(10)_{\text{inicial}}$ (m/s)	$9,8 \times 10^{-5}$	$7,7 \times 10^{-5}$	$8,0 \times 10^{-5}$
$K(10)_{\text{inicial}}/K(10)_{\text{dia 1}}$	33	7	5
$K(10)_{\text{inicial}}/K(10)_{\text{dia 2}}$	81	17	13
$K(10)_{\text{dia 2}} / K(10)_{\text{dia 7}}$	3	3	3
$K(10)_{\text{inicial}}/K(10)_{\text{final}}$	105	20	14
$K(10)_{\text{dia 18 - final}}$ (m/s)	$1,1 \times 10^{-6}$	$4,3 \times 10^{-6}$	$6,4 \times 10^{-6}$

Fonte: próprio autor.

Contudo, se observarmos os valores de  $K(10)_{\text{final}}$  das 3 localidades na profundidade de 5 cm, observa-se um valor 5 vezes maior de  $K(10)$  com os sedimentos do Açude dos Felicianos, que com os demais, assim demonstra que apesar de a mesma diminuir mais drasticamente, ao final, após o período de aclimação, seu resultado é mais satisfatório para a filtração (Lembrando que  $K(10)_{\text{inicial}}$  com os sedimentos do Açude dos Felicianos, também é maior: 3 vezes maior que com os sedimento o Lago Capivari e 5 vezes maior que com os sedimentos do Rio Palmares).

A Figura 46 mostra o comparativo de  $K(10)_{\text{inicial}}$  e  $K(10)_{\text{final}}$  com os sedimentos dos 3 locais de estudo nas profundidades de 5 cm, 20 cm e 30 cm, em que fica evidente os maiores valores de  $K(10)$  inicial e final com os sedimentos do Açude dos Felicianos e que, em todos os sedimentos, os primeiros centímetros da coluna são os que apresentam maior  $K(10)_{\text{inicial}}$ , porém menores valores de  $K(10)_{\text{final}}$  (18º dia), devido ao processo de colmatação ser mais pronunciado nesta camada.

Figura 46 - Comparação dos valores de  $K(10)_{\text{inicial}}$  e  $K(10)_{\text{final}}$  obtidos dos 3 sedimentos estudados

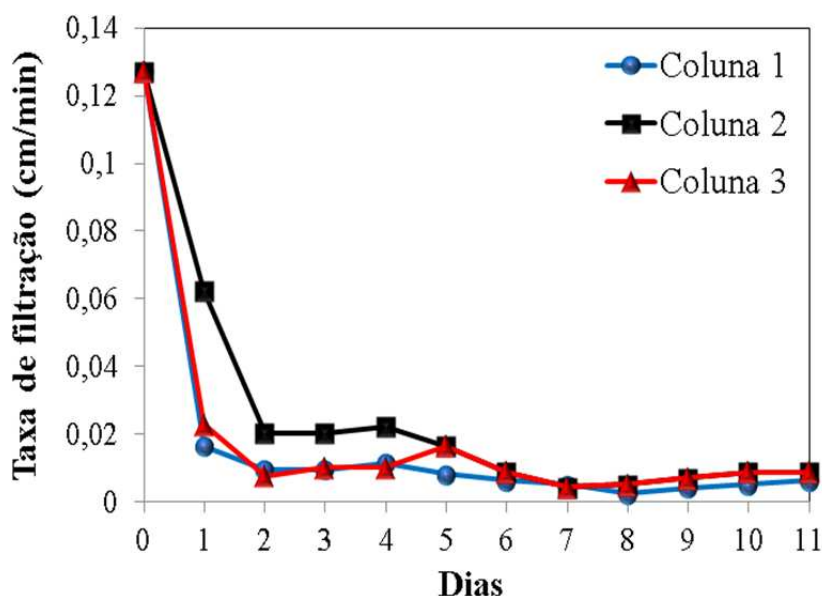


Fonte: próprio autor.

A Figura 47, demonstra a variação da taxa de filtração nas 3 colunas com os sedimentos do Açude dos Felicianos, sendo a taxa inicial de 0,13 cm/min. Observa-se uma diminuição da taxa de aproximadamente 4 vezes no 1º dia e 10 vezes no 2º dia. No 11º dia, obteve-se uma taxa de filtração média de 0,008 cm/min (em torno de 16 vezes menor que a taxa inicial). Esses resultados confirmam a colmatação do sistema e que ela é mais pronunciada nas primeiras camadas e ocorre em pouco tempo.

Observou-se um processo de descolmatação do sedimento (a partir do 9º dia no gráfico da Figura 45, mostrando que a linha de K(10) tem inclinação ascendente que significa, tecnicamente, um processo de desentupimento dos poros do material filtrante (desprendimento das substâncias ali aderidas), aumentando assim sua permeabilidade. Conseqüentemente, houve uma recuperação dos valores de condutividade hidráulica do sedimento. Processos de descolmatação ocorrem devido às alterações da camada biológica formada nos primeiros centímetros de sedimento (colmatação biológica), além de variações das condições redox, que faz com que espécies metálicas como ferro (Fe) e manganês (Mn) passem da forma precipitada para a forma dissolvida (colmatação química). Este último é extremamente dependente das características geológicas locais.

Figura 47 - Variação da taxa de filtração do Açude dos Felicianos nas colunas 1, 2 e 3



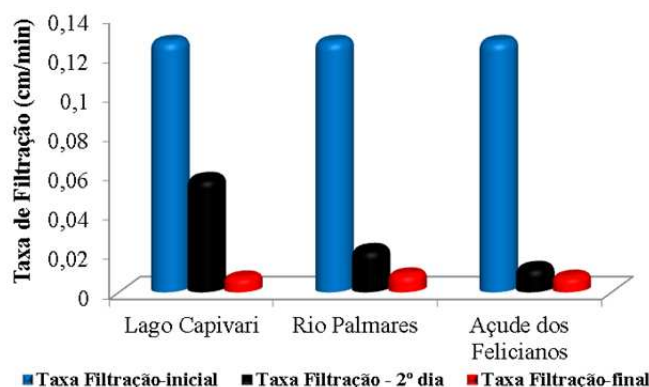
Fonte: próprio autor.

A Figura 48 mostra o comparativo da Taxa de Filtração média das 3 colunas, com os sedimentos dos 3 locais estudados, para taxa de filtração inicial de 0,13 cm/ min. Observa-se que apesar da taxa diminuir mais rapidamente no segundo dia nas colunas com sedimento de

Granja Vargas, seguido dos sedimentos do Rio Palmares, ao final a taxa de filtração nas colunas com os 3 sedimentos é praticamente a mesma (0,008 cm/min com os sedimentos do Lago Capivari e Açude dos Felicianos e 0,009 cm/min com os sedimentos do Rio Palmares).

Após estabilização da carreira de filtração, as taxas de infiltração tão baixas, como às apresentadas ao final dos experimentos não demonstrando uma colmatação progressiva, podem ser sustentáveis em sistemas de abastecimento que operam com este tipo de captação, podendo não apresentar processos de colmatação do leito dos mananciais significativos ao ponto de inviabilizar o processo de tratamento (SOARES, 2015).

Figura 48 - Taxa de filtração inicial, no 2º dia de monitoramento e final com os sedimentos dos 3 locais



Fonte: próprio autor.

#### 4.5.4.5 Parâmetros de qualidade de água

Os gráficos das figuras abaixo (Figura 49, Figura 50 e Figura 51) demonstram uma média (n=3) dos principais parâmetros de qualidade da água analisados.

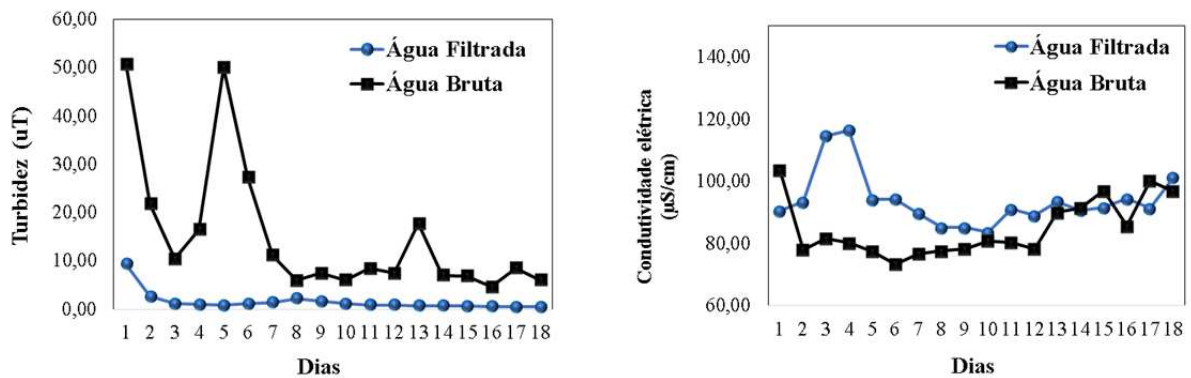
Diferentemente dos estudos com os sedimentos dos outros locais, observa-se aqui uma melhora da AF, quando comparada à AB, com a remoção dos parâmetros turbidez (Figura 49, à esquerda). Os picos de piora da qualidade da AB não interferem na qualidade da água tratada, o que é um excelente resultado visto que se busca estabilidade do sistema quanto à qualidade da água.

A estabilidade da qualidade da água, para fins de abastecimento público, é muito interessante, visto que facilita a operação do tratamento, a qual poderá, dependendo da situação, ser automatizada. E, em situações consolidadas em ETAs, a utilização desta técnica como pré-tratamento também é conveniente, pois toda aquela variação na dosagem de

produtos químicos, devido à perda da qualidade de água bruta, na mudança da captação por AF, passa a não existir mais.

Quanto à condutividade elétrica (Figura 49, à direita), observa-se que em geral ela é maior na AF, como geralmente observado por outros autores (CAMPOS, 2012; ESQUIVEL *et al.*, 2017; ESQUIVEL *et al.*, 2016; ESQUIVEL *et al.*, 2012; MONDARDO, 2009; SENS e DALSSASSO, 2007; SENS *et al.*, 2006; SOARES, 2015) devido à lixiviação de íons do solo para a AF. O mesmo foi observado com os sedimentos do Lago Capivari.

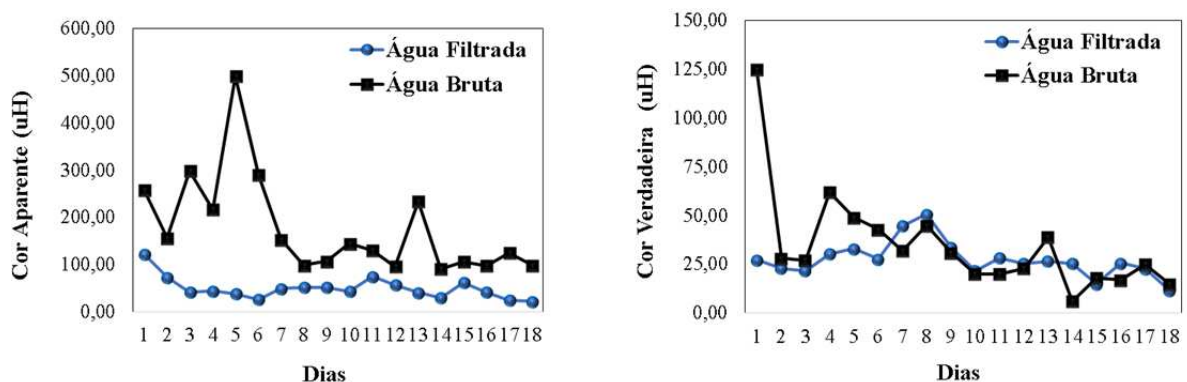
Figura 49 - Monitoramento qualidade da água, em termos de turbidez (à esquerda) e condutividade elétrica (à direita), utilizando o sedimento do Açude dos Felicianos (valores médios das três colunas)



Fonte: próprio autor.

O parâmetro cor aparente (Figura 50, à esquerda) apresentou comportamento semelhante à turbidez sendo, portanto, removido em todo o período estudado, o que chegou a 92 % de remoção no dia 5, por exemplo, e não foi afetado por oscilações da sua concentração na AB.

Figura 50 - Monitoramento qualidade da água, em termos de cor aparente (à esquerda) e verdadeira (à direita), utilizando o sedimento do Açude dos Felicianos (valores médios das três colunas)



Fonte: próprio autor.

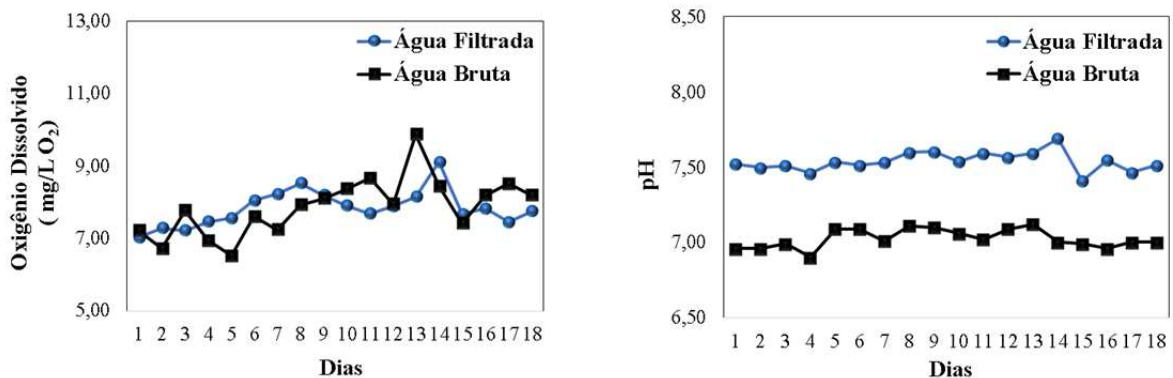


Com relação à cor verdadeira (Figura 50 supracitada, à direita), não foi observada remoção significativa, com exceção do primeiro dia, cuja remoção foi de em torno de 78 %, e no 4º e 5º dia (51% e 33%, respectivamente). Nos demais dias, a cor aparente oscila na AB e AF em um valor médio de 28 uH. Da mesma forma que para a turbidez, picos de piora da qualidade da água bruta frente à cor aparente, não interferiram na qualidade da AF.

Quanto ao oxigênio dissolvido (OD), Figura 51 à esquerda, observa-se sua oscilação (ora aumenta na AF, ora diminui) e em média observou-se valores de 7,8 mg/L na AF e 7,9 mg/L na AB, não apresentando alteração significativa. Desse modo, fica evidente que a maior concentração de MO estudada, observada nos sedimentos do Rio Palmares, foi a responsável pela diminuição da concentração de oxigênio na AF (MICHELAN, 2010). Como os sedimentos do Açude dos Felicianos apresentaram menor porcentagem de MO (praticamente a metade do valor), praticamente não se observou alteração no OD.

O pH (Figura 51, à direita), aumentou em média 0,52 unidades na AF, que provavelmente ocorreu devido ao aumento da alcalinidade devido a presença de sedimentos contendo cálcio (MONDARDO, 2009; SENS *et al.*, 2006; SENS, 2007), que devem também ser os responsáveis pelo aumento da condutividade elétrica da AF (aumento da quantidade de íons dissolvidos oriundos do sedimento, quer dizer, do solo desta localidade).

Figura 51 - Monitoramento qualidade da água, em termos de oxigênio dissolvido (à esquerda) e pH (à direita), utilizando o sedimento do Açude dos Felicianos (valores médios das três colunas)

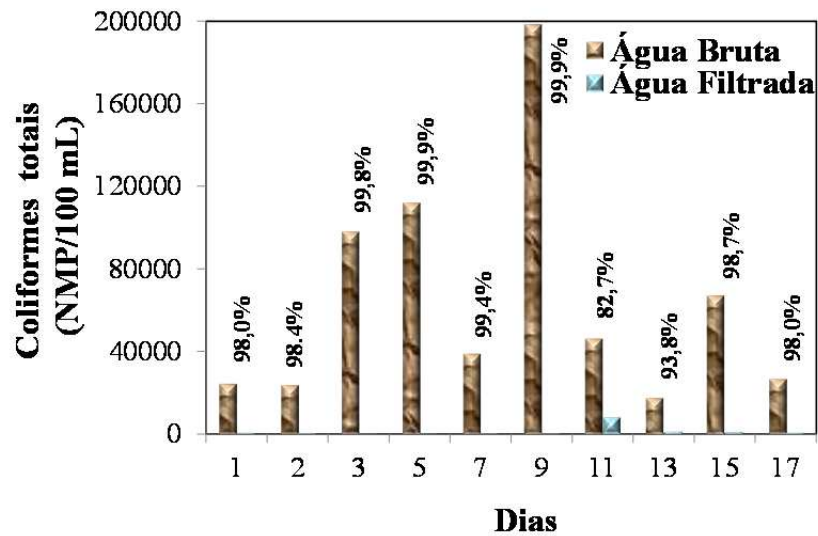


Fonte: próprio autor.

A Figura 52 e Figura 53, apresentam o monitoramento da água em termos Coliformes totais e *E. Coli*, respectivamente. Observa-se que após filtração nas colunas, houve um percentual de remoção de ambos os parâmetros bastante grande (> 97%) para

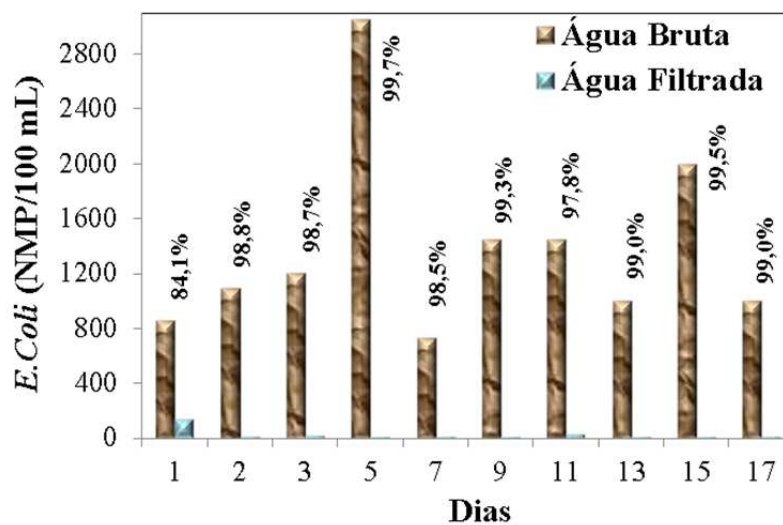
ambos os parâmetros), apesar de não ter se observada a ausência desses parâmetros em nenhum dos dias, sendo estes os melhores resultados dentre os 3 sedimentos estudados.

Figura 52 - Monitoramento da qualidade da água, com relação aos Coliformes totais utilizando os sedimentos do Açude dos Felicianos (valores médios das três colunas)



Fonte: próprio autor.

Figura 53 - Monitoramento da qualidade da água, com relação a *E. Coli*, utilizando o sedimento do Açude dos Felicianos (valores médios das três colunas)



Fonte: próprio autor.

A Tabela 23 reúne todos os resultados utilizados na construção dos gráficos supracitados, dos parâmetros de qualidade de água utilizando o sedimento de Granja Vargas (valores médios das 3 colunas).

Ao se comparar os valores médios obtidos com as 18 medidas de cada parâmetro, após filtração em coluna, com os valores médios obtidos para a água bruta (Tabela 13), observa-se que houve uma remoção média 89% da turbidez e que a mesma se enquadrou nos padrões de potabilidade da legislação vigente, cujo VMP = 1 uT. É relevante lembrar que com os demais sedimentos, o VMP para água de consumo humano não foi alcançado.

A condutividade elétrica sofreu um aumento de 9,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na AF, devido à liberação de íons dos sedimentos do Açude dos Felicianos, de forma semelhante ao observado com os sedimentos do Lago Capivari. Então, a temperatura aumentou 0,2 unidades (não sendo uma variação considerável, podendo esta pequena oscilação estar associada a posição das colunas de filtração na sala dos pilotos, por estarem mais distantes das paredes de alvenaria que as demais colunas) e o pH sofreu um aumento de 0,5 unidades, estando dentro do pH aceitável pela legislação (entre 6 e 9).

Tabela 23 - Monitoramento dos parâmetros de qualidade da água após a filtração utilizando os sedimentos de Granja Vargas (valores médios das três colunas)

Qualidade da água Filtrada									
Dias	Turbidez (uT)	Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Oxigênio dissolvido ( $\text{mg}/\text{L O}_2$ )	pH	Cor Aparente (uH)	Cor Verdadeira (uH)	Coliformes (NMP/100 mL)	<i>E.coli</i> (NMP/100 mL)
1	9,43	90,43	23,7	7,04	7,52	104,33	27,33	489,60	137,10
2	2,66	93,27	23,3	7,29	7,50	85,33	23,00	370,80	13,2
3	1,20	114,60	24,1	7,22	7,51	47,33	21,67	153,23	15,8
4	0,98	116,43	23,4	7,46	7,46	36,00	30,33		
5	0,88	94,07	22,3	7,57	7,53	41,33	33,00	109,67	<10
6	1,21	94,20	21,8	8,05	7,51	39,33	27,67		
7	1,47	89,57	21,1	8,23	7,53	68,00	44,67	215,00	11
8	2,29	85,07	19,7	8,53	7,60	65,33	50,67		
9	1,67	85,03	21,3	8,20	7,60	59,67	33,67	174,00	10
10	1,22	83,50	22,7	7,91	7,54	34,33	21,67		
11	0,96	91,03	24,2	7,69	7,59	72,67	28,33	7976	31,67
12	0,93	88,90	24,3	7,90	7,57	46,00	25,33		
13	0,74	93,40	21,4	8,15	7,59	42,00	26,67	1074,67	<10
14	0,81	90,60	19,7	9,11	7,69	26,00	25,33		

Qualidade da água Filtrada									
Dias	Turbidez (uT)	Condutividade elétrica (µS/cm)	Temperatura (°C)	Oxigênio dissolvido (mg/L O <sub>2</sub> )	pH	Cor Aparente (uH)	Cor Verdadeira (uH)	Coliformes (NMP/100 mL)	<i>E.coli</i> (NMP/100 mL)
15	0,70	91,47	23,3	7,68	7,41	42,67	15,00	873,67	10
16	0,64	94,37	23,0	7,84	7,55	36,00	25,67		
17	0,55	91,20	23,4	7,46	7,46	29,00	22,67	529,67	10,27
18	0,57	101,17	23,3	7,75	7,51	18,67	11,67		
Varição (Mín-Máx)	0,55 a 9,43	83,50 a 116,43	19,7 a 24,3	7,04 a 9,11	7,41 a 7,69	26,00 a 104,33	11,67 a 50,67	174,0 a 1074,67	<10 a 137,10
Média	1,61	93,79	22,6	7,84	7,54	49,78	27,46	1196,6	25,9
Desvio Padrão	1,98	8,64	1,4	0,49	0,06	22,98	8,95	2280	37,6

uT – Unidade de turbidez; NMP – Número mais provável; uH – unidade de Hazen (mg/L Pt-Co)

Fonte: Próprio autor.

Apesar de a água AB apresentar cor aparente considerável e bem acima do valor máximo permitido (VMP=15 uH) pela legislação para o consumo humano, observou-se em média uma remoção de 72% na AF bem como da cor verdadeira 22%. Apesar da eficiência na remoção da cor aparente, a mesma se encontra ainda 7,6 uH acima da legislação. Em relação ao OD, observou-se uma diminuição de 0,4 mg/L de O<sub>2</sub> na AF, da mesma forma, não sendo uma oscilação relevante.

Quanto aos parâmetros biológicos, a filtração mostrou excelentes resultados, já que removeu mais de 98% de ambos os parâmetros em média (lembrando que para consumo humano, conforme legislação é necessária a ausência de ambos os parâmetros).

Tabela 24 - Resultados médios de alguns parâmetros de monitoramento da qualidade da água utilizando os sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos

Parâmetro	Remoção média (%)		
	Lago Capivari	Rio Palmares	Açude dos Felicianos
Turbidez	5,6*	30,7*	89,5
Cor Aparente	61,5*	109,8*	72,0
Cor Verdadeira	184,0*	336,0*	20,9
Coliformes totais	97,3	87,1	98,2
<i>E. Coli</i>	95,3	92,3	98,1

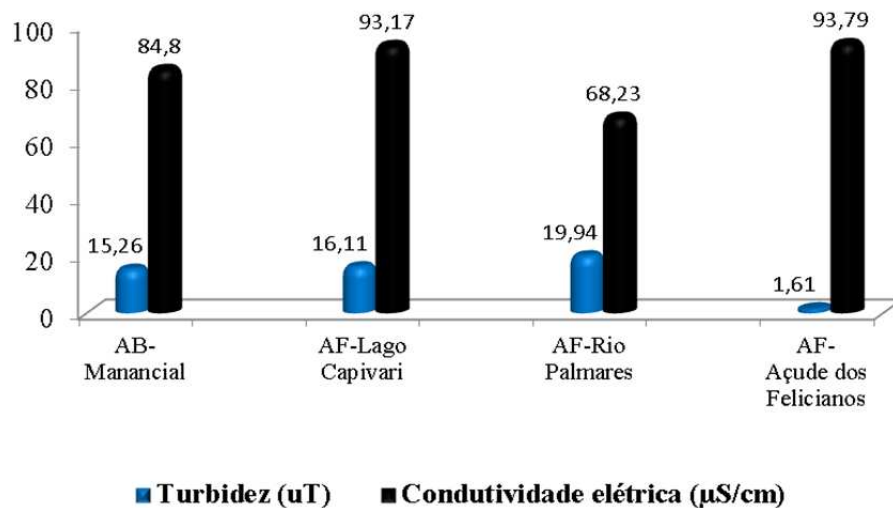
NOTA: \* Não houve remoção do parâmetro e sim incremento, com relação às análises da água bruta.

Fonte: próprio autor.

Comparando os resultados obtidos com cada sedimento, observa-se na Tabela 24, supracitada, que não houve remoção de turbidez, cor aparente e cor verdadeira na AF com os sedimentos do Lago Capivari e do Rio Palmares, mas sim o incremento. Já Coliformes totais e *E. Coli*, foram removidos de forma significativa com os 3 sedimentos, sendo os sedimentos do Açude dos Felicianos os mais eficientes.

Os resultados acima foram compilados nos gráficos abaixo, juntamente com os demais parâmetros analisados, comparando-os entre si e com a água do manancial. Na Figura 54, encontram-se os resultados de turbidez e condutividade elétrica. Ademais, observa-se que houve remoção de turbidez apenas quando as colunas foram preenchidas com os sedimentos do Açude dos Felicianos, e um pequeno incremento com os demais sedimentos, com relação a AB. Isso, possivelmente ocorreu pela presença de uma quantidade maior de MO, nesses sedimentos, e a dissolução de metais como ferro e manganês. Além disso, houve aumento na condutividade elétrica com relação a AB, com os sedimentos do Lago Capivari e Açude dos Felicianos.

Figura 54 - Comparação dos resultados de turbidez e condutividade elétrica na AB e na AF nas colunas com os sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos

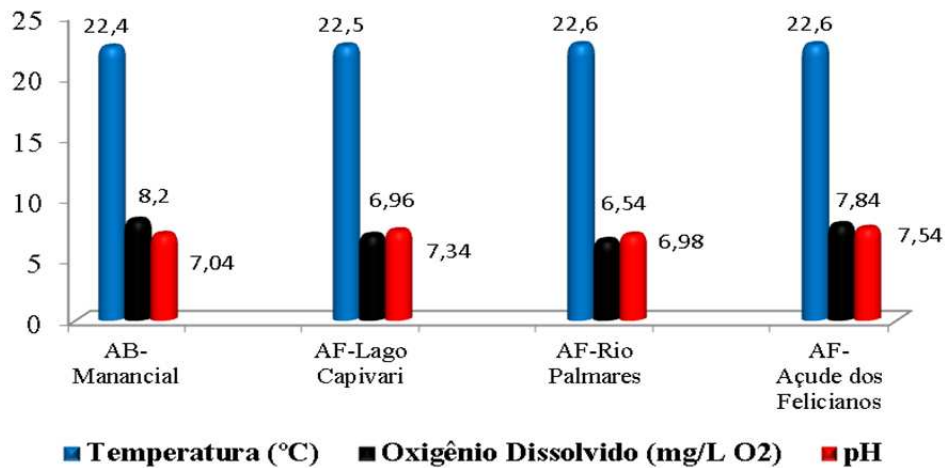


Fonte: próprio autor.

A Figura 55 compara os resultados de temperatura, oxigênio dissolvido e pH na AB e na AF nas colunas com os sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos. Observa-se pouca variação de temperatura e diminuição da concentração de OD na AF, sendo esse resultado mais pronunciado na AF com os sedimentos do Rio Palmares.

Provavelmente, devido à quantidade maior de MO ter levado a uma maior atividade microbiana, o pH sofreu um pequeno aumento, exceto com os sedimentos do Rio Palmares.

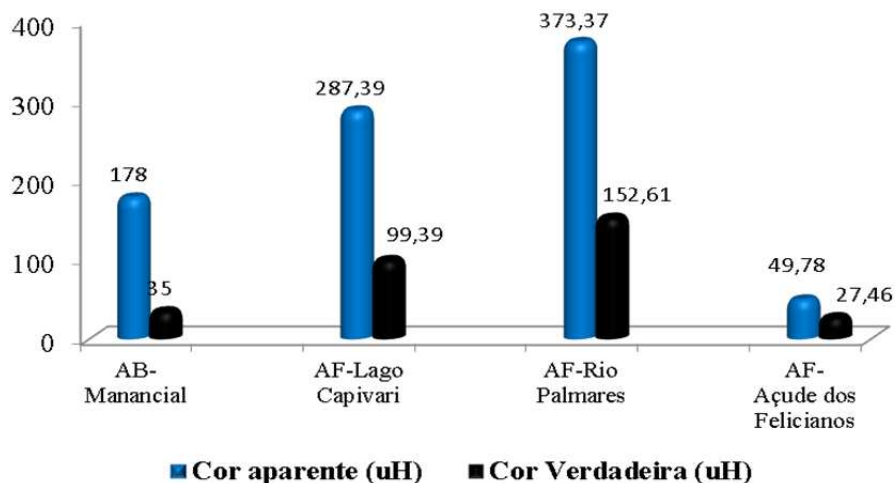
Figura 55 - Comparação dos resultados de temperatura, oxigênio dissolvido e pH na AB e na AF nas colunas com os sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos



Fonte: próprio autor.

A Figura 56 compara os resultados de cor aparente e cor verdadeira na AB e na AF nas colunas com os sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos. Observa-se que houve remoção de ambos os parâmetros com relação à AB, apenas nas colunas com os sedimentos do Açude dos Felicianos, havendo incremento na AF com os demais sedimentos, possivelmente pela presença de uma quantidade maior de MO nestes sedimentos e, possivelmente a dissolução de metais como ferro e manganês.

Figura 56 - Comparação dos resultados de cor aparente e cor verdadeira na AB e na AF nas colunas com os sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos



Fonte: próprio autor.

A Figura 57 e Figura 58 comparam os resultados de coliformes totais e *E. Coli*, respectivamente, na AB e na AF nas colunas com os sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos. Também se nota que todos os sedimentos removeram de forma significativa esses contaminantes biológicos, sendo os sedimentos do Açude dos Felicianos, os mais eficientes.

Figura 57 - Comparação dos resultados de coliformes totais AB e na AF nas colunas com os sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos

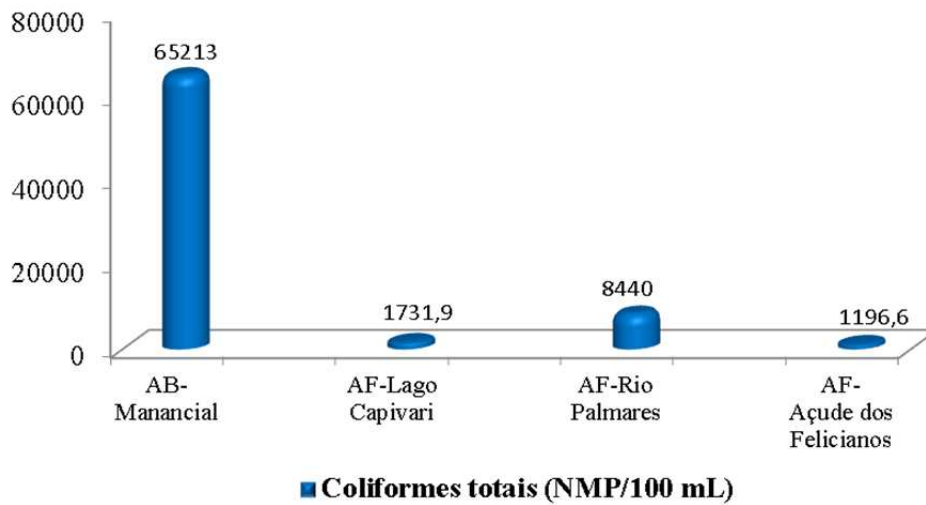
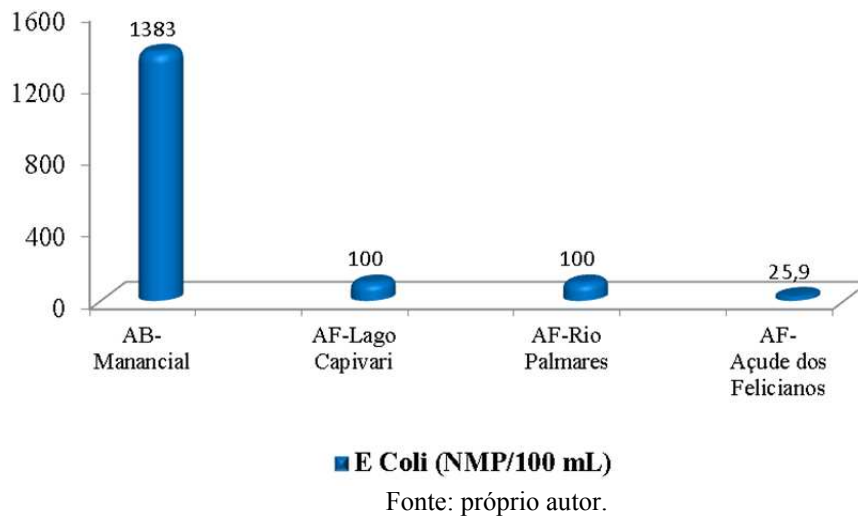


Figura 58 - Comparação dos resultados de *E. Coli* na AB e na AF nas colunas com os sedimentos do Lago Capivari, Rio Palmares e Açude dos Felicianos

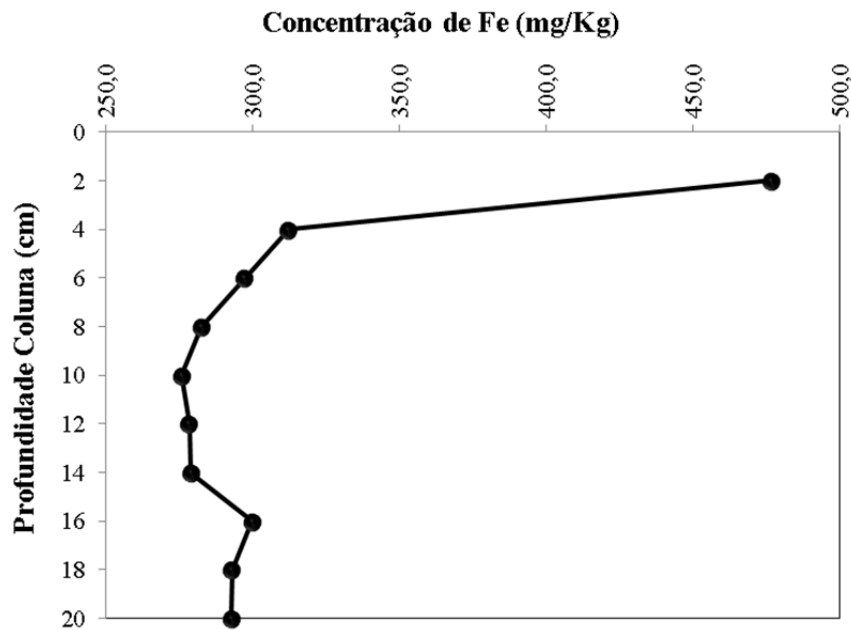


#### 4.5.4.5.1 Colmatção química nas colunas com sedimentos do Lago dos Felicianos: avaliação dos metais Ferro, Manganês e Cálcio

Devido aos melhores resultados serem obtidos com os sedimentos do Açude dos Felicianos, esse local torna-se mais promissor para implantação do sistema piloto em escala real, nesse sentido, decidiu-se avaliar a possibilidade de ocorrência de colmatção química nas colunas com os sedimentos do Açude dos Felicianos, após os estudos de filtração em colunas. Os metais analisados foram: Fe, Mn e Ca, cujos resultados das análises têm seus valores médios demonstrados nas Figura 59, Figura 60 e Figura 61.

É possível observar nos gráficos que as maiores concentrações de Fe, Mn e Ca no meio filtrante estão localizadas nas camadas superficiais das colunas, onde nos primeiros 2 cm chega a uma concentração média pouco maior à 470 mg/Kg para Fe, 110 mg/Kg para Mn e 57 mg/Kg para Ca. Já nas camadas mais profundas há uma redução abrupta em suas concentrações: 300 mg/Kg (Fe); 13,6 mg/Kg (Mn) e 19,4 mg/Kg (Ca) e na camada subsequente (4 cm).

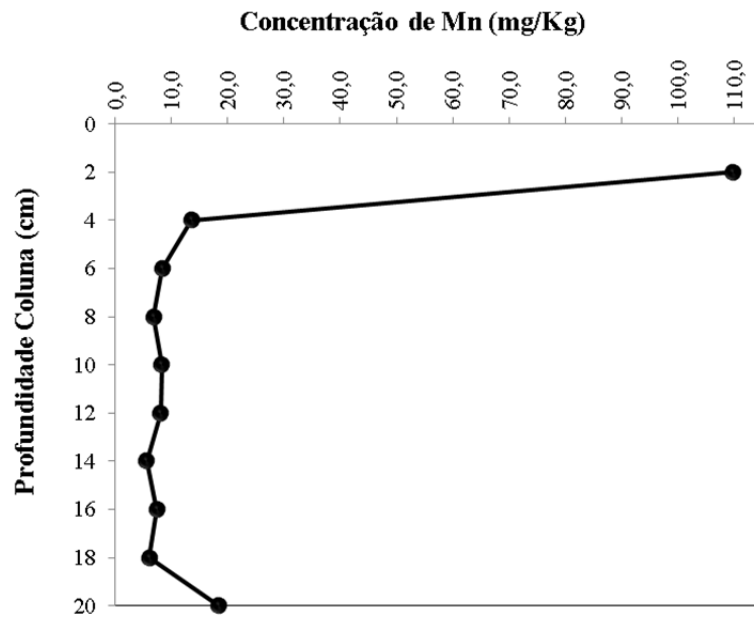
Figura 59 - Concentração de Ferro nas colunas de filtração preenchida com sedimento do Açude dos Felicianos



Fonte: próprio autor.

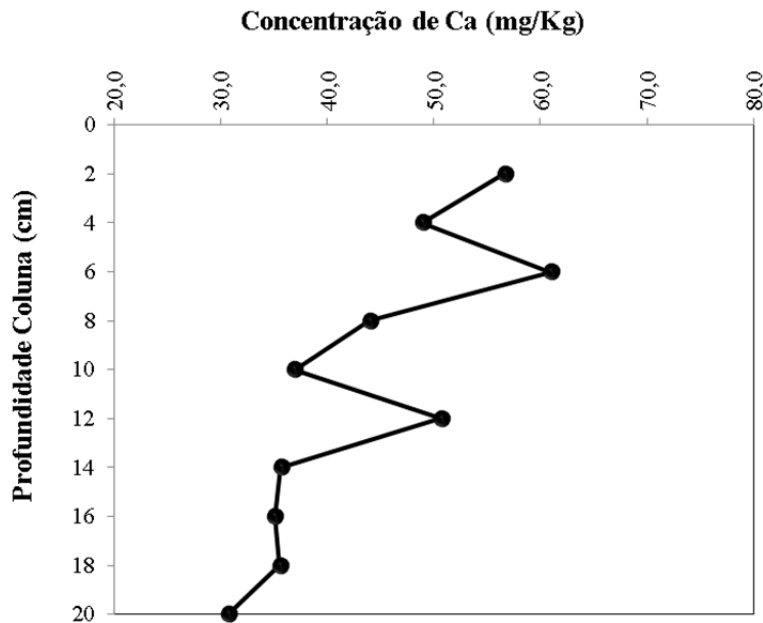
Figura 60 - Concentração de Manganês nas colunas de filtração preenchida com sedimento do Açude dos Felicianos





Fonte: próprio autor.

Figura 61 - Concentração de Cálcio nas colunas de filtração preenchida com sedimento do Açude dos Felicianos



Fonte: próprio autor.

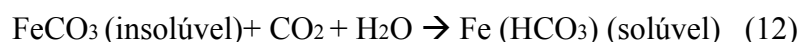
A redução de concentração se estabiliza, tendendo a um valor constante. Assim são apresentados valores mínimos nas camadas mais profundas, sendo 275 mg/Kg (Fe), 6,1 mg/Kg (Mn) e 5,4 mg/Kg (Ca). Assim, é possível observar que há uma variação da concentração em função da profundidade e como as colunas foram preenchidas com o mesmo material analisado previamente, pressupõe-se que as quantidades de Fe, Mn e Ca eram as mesmas. Com o escoamento, as condições oxirredução foram alteradas, os elementos foram

solubilizados e carregados para saída da coluna. E, em uma situação real, provavelmente, essa água com Fe, Mn e Ca solubilizados ao sair do poço de produção, em contato com o ar atmosférico, possibilita a transferência de oxigênio para a massa líquida, colmatando o poço.

As elevadas concentrações desses parâmetros nas camadas superiores das colunas remetem diretamente a colmatação química do meio, o que pode ser atribuída à atividade microbiana de ferrobactérias, às variações de pH e às alterações do potencial redox decorrente da presença do ar atmosférico, assim influenciando de forma muito intensa, nos primeiros centímetros, o sedimento no ensaio de coluna.

Ao se observar a queda da concentração das espécies Fe e Mn em maiores profundidades, indica-se a possibilidade de diminuição da concentração de oxigênio dissolvido e, conseqüentemente, a diminuição do potencial redox. Tais espécies menos oxidadas ( $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ ) são solúveis em água e podem ser carregadas junto à água filtrada pelo escoamento.

A dissolução do ferro é facilitada pela presença de  $\text{CO}_2$ , como demonstrado para a siderita (carbonato ferroso) na Equação 12 (MELO *et al.*, 2008):



Na presença de oxigênio, os íons ferro apresentam-se sob a forma férrica, insolúvel, mesmo quando a concentração de  $\text{CO}_2$  é elevada. De uma maneira geral, a existência de ferro dissolvido pressupõe baixo teor de oxigênio (em pH igual a 7, meio miligrama por litro de oxigênio é suficiente para precipitar os íons férricos) e concentração elevada de dióxido de carbono, condições que ocorrem frequentemente em águas subterrâneas (MELO *et al.*, 2008).

É evidente que a concentração de Fe está em torno de 15 vezes a concentração de Mn, dessa forma, provavelmente, quando o poço entrar em operação, haverá um incremento de ferro na AFM.

#### 4.6 CONCLUSÕES

- Diferentemente de condições de campo, onde o poço de produção passa por um processo de desinfecção antes do início da produção, em um sistema de colunas não é possível realizar este procedimento. Desta forma, apesar dos dados evidenciados

demonstrarem remoção de coliformes totais e fecais, espera-se que experimentos de campo demonstrem de forma mais eficaz a remoção deste parâmetro;

- Com relação aos parâmetros de condutividade hidráulica e taxa de filtração, todos os locais avaliados tem potencial de aplicação da FM do ponto de vista de quantidade de água disponível para exploração.

- Observou-se a ocorrência de colmatação, principalmente nos primeiros cm das colunas (5 cm) com os 3 sedimentos uma alta taxa de infiltração inicial foi aplicada no sistema ( $2,0 \times 10^{-5}$  m/s). Contudo, após o processo de aclimatação, em torno de 11 dias as condutividades hidráulicas - K(10) atingiram um valor com pouca variação (praticamente constante), sendo K(10) com os sedimentos do Açude dos Felicianos, nessa camada de colmatação, em torno de 4,4 vezes maior que com os demais sedimentos;

- Quanto à qualidade de água, os sedimentos do Açude dos Felicianos demonstraram o melhor desempenho, sendo este manancial, o mais favorável do ponto de vista de qualidade e quantidade de água, conforme demonstrado na Tabela 24. Nota-se que os sedimentos dos três locais avaliados foram eficientes na remoção de coliformes totais e *E. Coli* sem, contudo, resultar na ausência desses parâmetros. Quanto à turbidez, cor aparente e verdadeira, os sedimentos do Açude dos Felicianos, foram os únicos capazes de reduzir os valores desses parâmetros, alcançando bons resultados na remoção da turbidez e cor aparente. Ressalta-se que os parâmetros de qualidade de água, podem se alterar conforme o poço é desenvolvido, sendo esse estudo necessário em uma situação em que os resultados sejam favoráveis para quantidade e desfavoráveis para qualidade de água antes de descartar o manancial;

- A avaliação dos sedimentos do Açude dos Felicianos, frente ao processo de colmatação química, por meio da análise de ferro, manganês e cálcio nos sedimentos em diferentes profundidades da coluna (a cada 2 cm no sentido do escoamento), ao final das carreiras de filtração em coluna, demonstraram que a colmatação ocorre nos primeiros centímetros da coluna, onde se observa oxidação dos metais, causados pela presença de oxigênio dissolvido provenientes do ar atmosférico. Ao longo da coluna, observa-se diminuição abrupta na concentração dos metais, causados pela lixiviação das espécies menos oxidadas, exceto para o cálcio, que foi gradativo por apresentar menor potencial redox.

#### 4.7 RECOMENDAÇÕES

- Diante do exposto e aliado a infraestrutura necessária para a continuidade dos estudos, referente ao local, recomenda-se a localização às margens do Açude dos Felicianos como local para implantação do sistema piloto em escala real;

- Estudar *in loco* a FM, por meio de sistema piloto em escala real utilizando o Açude dos Felicianos como manancial, para confirmar os resultados simulados em laboratório.

## 5 CAPÍTULO 3

### FILTRAÇÃO EM MARGEM EM ESCALA REAL NO DISTRITO DE GRANJA VARGAS, PALMARES DO SUL

#### 5.1 INTRODUÇÃO

Palmares do Sul é uma cidade litorânea do estado do Rio Grande do Sul, conforme demonstrado na Figura 62 e fica a uma distância de 83 Km da Capital do estado, Porto Alegre. Na estrutura da Corsan, faz parte da Superintendência Regional Litoral – SURLIT.

Figura 62 - Localização do município de Palmares do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte:(CECCONELLO, 2015)

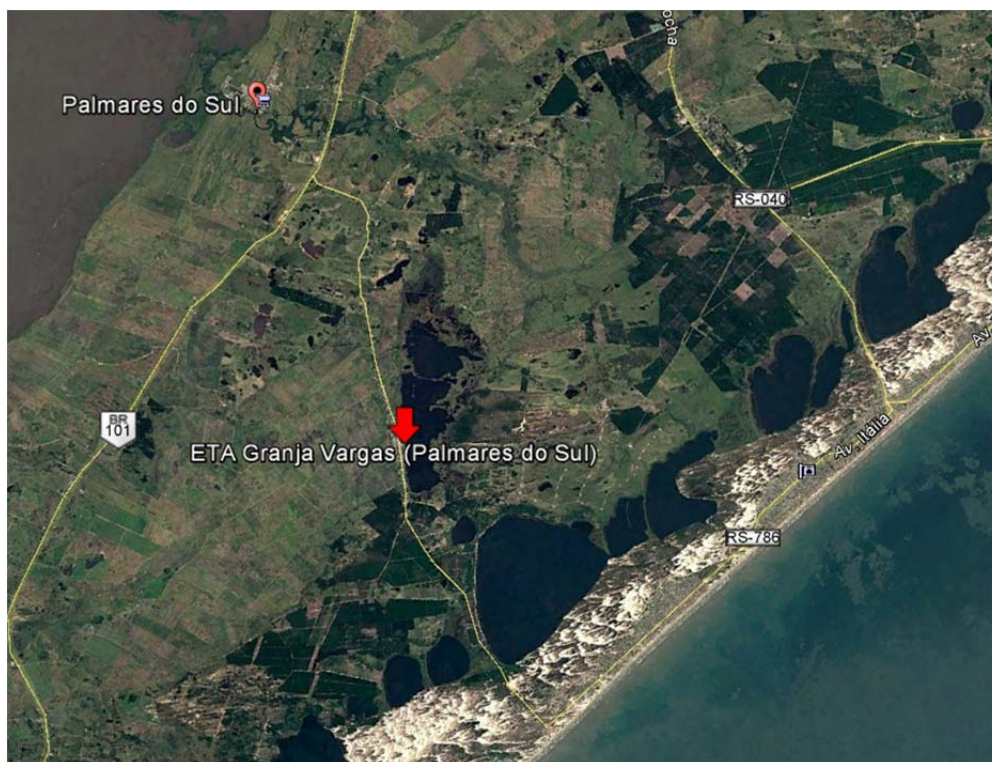
Essa cidade se localiza na latitude 30°15'28" sul e na longitude 50°30'35" oeste e estende-se por planícies a 9 m, em média, acima do nível do mar. Além disso, sua população total é estimada em 11.431 habitantes, segundo dados de 2016 do IBGE, o que resulta na densidade demográfica de 12,55 hab/km<sup>2</sup>. Ademais, possui uma área de 947,35 km<sup>2</sup>. O município é composto por seis distritos: Granja Getúlio Vargas, Bacupari, Frei Sebastião, Butiatuva, Casa Velha e Quintão, esse último dividido em seis praias: Quintão, Quintão Velho, Dunas Altas, Rei do Peixe, Frade e Santa Rita. Os municípios limítrofes são Balneário Pinhal, Capivari do Sul e Mostardas.

O distrito de Granja Getúlio Vargas, mais conhecido como Granja Vargas somente, tem quase 3.000 habitantes (em torno de 600 economias) e está demonstrado na Figura 63

Possui sistema de abastecimento público de água descentralizado; isto é, sistema independente do perímetro urbano do município. Ainda, possui uma estação de tratamento de

água com captação superficial nas margens de um lago, conhecido como açude dos Felicianos, o que seria positivo para escolha do local.

Figura 63 - Localização do distrito de Granja Vargas na cidade de Palmares do Sul



Fonte: Google Earth Pro.

A ETA Granja Vargas entrou em operação em dezembro de 2002 e, inicialmente, teve sua captação através de um trapiche com 50 m de extensão. Ao longo do tempo, decorrente aos problemas de manutenção eletromecânica na captação, esse trapiche foi estendido para 100 m. Então, a captação é realizada atualmente por bomba submersível e sua adução por intermédio de tubulação de 100 mm em aço galvanizado sobre o estrado do trapiche. Logo, sua vazão varia de acordo com a demanda do sistema de abastecimento entre 5 e 10 L/s, em média.

A ETA está construída em lote de 60 m x 30 m, o que totaliza uma área de 1800 m<sup>2</sup>. Próximo ao cercamento do lote, a uma distância aproximada de 15 m da entrada do Flocodcantador, é dosado sulfato de alumínio férrico líquido como coagulante e carbonato de sódio (barrilha), para ajuste do pH. Por isso, na entrada da tubulação, junto ao flocodcantador, a menos de um metro de distância, é dosado polieletrólito não iônico a base de poliácridamida para acelerar o processo de floculação e decantação.

O floco-decantador tem capacidade de 20 m<sup>3</sup> e tem o formato cilíndrico. Em seu interior, existem placas inclinadas para acelerar o processo de decantação e na parte superior há um vertedor tulipa que coleta da água que vai para os dois filtros.

O processo de filtração ocorre através de 2 filtros descendentes de dupla camada (areia e carvão antracitoso) com volume de 4 m<sup>3</sup> cada. Na tubulação de saída dos filtros, que vai em direção ao reservatório semienterrado de 50 m<sup>3</sup>, é dosado hipoclorito de sódio como desinfetante e fluorsilicato de sódio como fonte de flúor.

O tratamento existente é do tipo convencional e compacto. Para uma vazão de 7,5 L/s, o tempo de detenção hidráulico é de aproximadamente 45 min, até chegar no reservatório semienterrado. A ETA ainda dispõe de 2 leitos de secagem para o lodo retirado do decantador e também para a água da lavagem dos filtros.

De acordo com os resultados promissores obtidos em bancada nos estudos em coluna com os sedimentos do Açude dos Felicianos na ETA Granja Vargas (Capítulo 2), aliados a infraestrutura local e ao interesse da Corsan, escolheu-se o Açude dos Felicianos como local para implantação do projeto em escala real de filtração em margem como pré-tratamento, a fim de melhorar a qualidade da água de abastecimento da ETA, que frequentemente enfrenta problemas referente a variação da turbidez do manancial. Dessa forma, pretende-se filtrar em margem a água do Açude dos Felicianos, através da construção de um poço de produção em suas proximidades e monitorar a qualidade da água obtida, água filtrada em margem (AFM).

## 5.2 OBJETIVO

### 5.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a implantação e operação de um poço de filtração em margem de lago, em termos de desempenho hidráulico e da qualidade da água produzida.

### 5.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar, em função da vazão de exploração, o desempenho hidráulico do poço em termos de rebaixamento e produção específica;
- Avaliar, em função da vazão de exploração, a qualidade da água produzida, considerando a qualidade da água do manancial e a utilização pretendida da água pré-filtrada;
- Avaliar, por meio de ensaios de tratabilidade, o tratamento complementar necessário em uma ETA convencional, para potabilização da água filtrada em margem.

### 5.3 METODOLOGIA

#### 5.3.1 Escolha do local para implantação do sistema piloto para FM.

Conforme resultados dos capítulos anteriores, o local escolhido para implantação do sistema piloto para FM foi nas dependências da Corsan, na ETA Granja Vargas, em Palmares do Sul, conforme demonstrado Figura 64. O acesso a ETA se dá pelo final da rua Pedro Fraga, em área central do Distrito de Granja Vargas. Na mesma imagem foi delimitado o lote da Corsan e uma coordenada geográfica de referência para esta localidade é: latitude 30°20'18" Sul e longitude 50°23'42" Oeste.

Figura 64 - Imagem utilizando a ferramenta Google Earth Pro para demonstrar a localização exata da ETA Granja Vargas, Palmares do Sul



Fonte: próprio autor.

A Figura 65 demonstra algumas imagens da ETA Granja Vargas e do Açude dos Felicianos, manancial utilizado pela ETA.

Figura 65 - ETA Granja Vargas, Palmares do Sul, estado do Rio Grande do Sul - Corsan



Fonte: próprio autor.



### 5.3.2 Concepção do sistema piloto em escala real

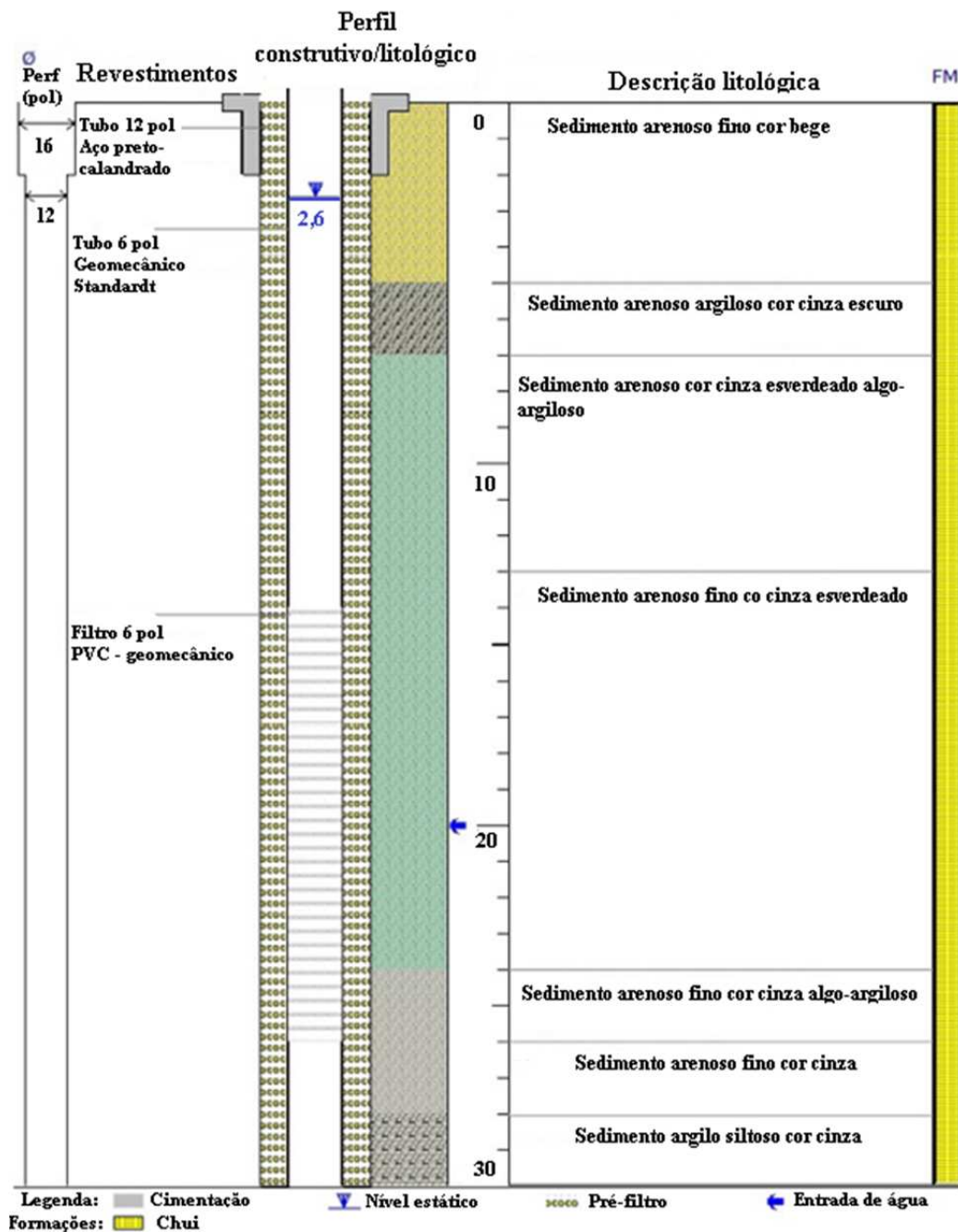
O sistema é composto por um poço de produção, que foi construído com 6” de diâmetro (152,4 mm) em PVC geomecânico e 30 m de profundidade mais 4 piezômetros de 3” (75mm), de modo que com as informações geológicas locais, não venha a ultrapassar a primeira camada impenetrante, o que diminui a probabilidade de captação de água dos aquíferos mais profundos e aumenta a probabilidade de conexão hidráulica do manancial, poço de produção e piezômetros. O poço foi executado a uma distância horizontal aproximada de 20 m do nível d’água normal do Açude dos Felicianos.

O poço foi executado a uma distância horizontal aproximada de 20 m do nível d’água normal do Açude dos Felicianos. Essa distância foi determinada por questões executivas, uma vez que o piezômetro na direção do manancial (P1), foi construído rente ao cercamento do lote da ETA. Além disso, foi necessário construir o P1 a uma distância razoável para que houvesse uma diferenciação do rebaixamento do poço para o P1, bem como os demais que foram concebidos equidistantes ao poço (7 m), P2, P3 e P4.

A construção do poço seguiu o procedimento descrito na ABNT NBR 12.244/1992 – Construção de poço para captação de água subterrânea. O método utilizado foi o rotativo, o qual utiliza o compressor à combustão para perfuração e bentonita para sua estruturação, a fim de possibilitar a implantação da tubulação geomecânica do poço e a colocação do material arenoso como pré-filtro. A Figura 66 demonstra o perfil construtivo do poço de produção, bem como a descrição litológica do entorno do poço.

O filtro do poço foi executado com tubo geomecânico com ranhuras de 0,75 mm e disposto na profundidade entre 14 m e 26 m, onde se observou solo predominantemente arenoso. Nas profundidades de 1 a 14 m e de 26 a 30 m foi utilizado tubo geomecânico padrão sem ranhuras. Ao redor do poço, espaço entre a perfuração da broca e o tubo geomecânico, foi construído um pré-filtro constituído de material arenoso selecionado, cuja granulometria variou de 1 a 2 mm e se estendeu da base por toda a profundidade do poço, exceto onde ocorreu a cimentação no entorno do poço da base (nível do solo) até 2 m de profundidade.

Figura 66 - Perfil da perfuração do poço de produção



Fonte: Relatório técnico-poço N° 9374

Ademais, foram perfurados também 4 piezômetros de 3" (75 mm) com profundidade entre 10 e 12 m nas 4 direções, equidistantes aproximadamente 7 m, conforme Figura 67, para monitoramento do rebaixamento do nível d'água no solo. E no local, já existe régua limnológica para monitoramento do nível d'água do açude, instalada no trapiche de captação da água do manancial superficial.

Figura 67 - Esquema demonstrando a localização do poço de produção e piezômetros com relação ao manancial – vista em planta (à esquerda) e imagem local indicando os mesmos



Fonte: Relatório técnico Geoprocul - n25/2019 (esquema à esquerda) e próprio autor (imagens à direita).

A perfuração foi acompanhada *in loco* e as imagens da perfuração do poço de produção e piezômetros encontram-se na Figura 68.

Figura 68 - Perfuração do poço de produção, à direita e imagem de um piezômetro (à esquerda)



Fonte: próprio autor.

Além disso, foi necessário um período de um mês, aproximadamente, para aclimação do poço de produção (autolimpeza e desinfecção). Durante o processo de perfuração, amostras de solo foram coletadas em diferentes profundidades do poço de produção e piezômetros para análise granulométrica e de teor de MO em laboratório (Figura 69). Com esses dados foi possível elaborar o perfil geológico do poço de produção e dos piezômetros baseando-se na composição do solo, com o objetivo de possibilitar o cálculo do diâmetro efetivo ( $D_{10}$ ), coeficiente de uniformidade ( $C_u$ ), coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) e condutividade hidráulica ( $K$ ).

Figura 69 - Coleta de amostras do perfil do poço e piezômetros para análise granulométrica e de teor de material orgânico



Fonte: próprio autor.

Toda a parte hidráulico-mecânica, bem como a parte elétrica, foi instalada para que o poço de produção produzisse água continuamente (Figura 70). A instalação eletromecânica do poço foi provida de proteção contra ausência de água (na saída do cavalete após a curva de 90°, na conexão com o mangote), através de eletrodos e foi instalado Inversor de Frequência para controle eletrônico da vazão, através da variação da frequência (Hz).

Figura 70. Instalação hidráulico-mecânica e elétrica do poço de produção.



Fonte: próprio autor

Além da proteção do poço, e tanto nos piezômetros como no poço de produção, foram instalados medidor de pressão atmosférica e medidores de nível d'água eletrônicos (*barallogger e leveloggers*) para o acompanhamento do rebaixamento hidráulico no poço e piezômetros, conforme Figura 71 e Figura 72.



Figura 71 - Conjunto de medidores eletrônicos (*barallogger e leveloggers*)



Fonte: próprio autor.

Figura 72 - Instalação dos medidores de nível eletrônico no piezômetro



Fonte: próprio autor

### 5.3.3 Perfil Geológico Local

Para a obtenção dos perfis geológicos do poço e dos piezômetros perfurados na ETA-Granja Vargas foram feitas sondagens em diferentes camadas. A espessura de cada camada variou de 0,25 m a 4 m, de acordo com a profundidade de perfuração à medida que as características do solo se alteravam.

A partir dos dados da análise de peneiramento baseada na ABNT NBR NM248/03, elaboram-se as curvas granulométricas, de acordo com as características dos perfis geológicos do poço e dos piezômetros, o que possibilitou a determinação dos valores de diâmetro efetivo ( $D_{10}$ ), coeficiente de curvatura ( $C_c$ ), coeficiente de uniformidade ( $C_u$ ), condizentes a cada camada dos perfis. Com base no diâmetro efetivo, utilizou-se a equação de *Hazen* para estimar a condutividade hidráulica ( $K$ ) em cada camada. A classificação do solo segue a ABNT NBR 6502/95, conforme **ANEXO B**.

Os esquemas que correspondem aos perfis geológicos do poço e dos piezômetros foram elaborados com base nos resultados das análises granulométricas executadas para caracterização das camadas. Em cada camada dos desenhos são indicados os valores de diâmetro efetivo ( $D_{10}$ ), coeficiente de curvatura ( $C_c$ ), coeficiente de uniformidade ( $C_u$ ), condutividade hidráulica ( $K$ ) e matéria orgânica (MO), bem como os valores percentuais de composição das camadas, de acordo com a classificação granulométrica. Também são indicados os valores médios dos mesmos correspondentes às camadas em que se encontram os filtros do poço e piezômetros.

### 5.3.4 Vazão do poço com relação à frequência aplicada

O funcionamento do sistema piloto ocorreu por meio do bombeamento do poço utilizando uma Bomba submersível (EBARA BHS 512-5 7,5 Hp), cuja curva característica e informações de vazão e altura manométrica encontram-se no **ANEXO C**.

Com a instalação do Inversor de Frequência, foi possível variar a frequência (Hz) a fim de controlar a vazão e diminuir o consumo de energia elétrica. A menor frequência utilizada foi de 30 Hz, pois valores menores que 30 Hz podem acarretar em um aquecimento da bomba por falta de refrigeração. Já o maior valor é a frequência do sistema de energia elétrica da concessionária que é de 60 Hz. A menor frequência (30 Hz) gerou uma vazão de 3,6 L/s e a maior frequência (60 Hz) gerou uma vazão de 9,0 L/s, sendo essa, portanto, a faixa de vazão possível de ser trabalhada para este poço em função do sistema de bombeamento instalado, como demonstrado na Tabela 25.

Tabela 25 - Dados de frequência versus vazão da bomba instalada no poço

Frequência (Hz)	Vazão (L/s)
30	3,6
34	4,5
37	5,5
40	6
43	6,5
60	9

Nota: A equação gerada com os dados desta Tabela é:  $y = 0,4738 x^2 - 0,0465 x + 25,799$ ,  $R^2 = 99,83\%$

Fonte: próprio autor.

Ressalta-se que a equipe de perfuração de poços da Corsan (DGPPPO) realizou o teste de vazão baseado na norma ABNT NBR 12.212 – Projeto de poço para captação de água subterrânea (ANEXO E) e chegou-se a uma vazão firme de 15 m<sup>3</sup>/h (4,17 L/s).

Observou-se que este poço teve um comportamento diferente dos que geralmente são perfurados, devido a sua recarga ser muito rápida, evidenciando a necessidade de um monitoramento mais prolongado para saber se este poço suportaria uma maior vazão ao longo do tempo. Sendo assim, foi variada a vazão com incremento aproximado de 1 L/s para se chegar ao limite da capacidade do poço, sendo este, monitorado nas seguintes vazões: 3,6 L/s; 4,5 L/s; 5,5 L/s; 6,0 L/s e 6,5 L/s.

Conforme citado anteriormente a vazão máxima da bomba instalada ( $f = 60$  Hz) para esta configuração de poço, que foi de 9,0 L/s. Contudo, na vazão de 6,5 L/s, observaram-se microbolhas na água filtrada em margem, indicando o início de cavitação. Sendo assim, o limite operacional (vazão máxima), em termos de quantidade de água bombeada, sem levar em consideração sua qualidade, foi de 6,5 L/s.

O bombeamento foi monitorado de forma contínua (24h por dia e 7 dias por semana) e a água filtrada em margem que saía pelo mangote, foi direcionada ao manancial.

Para se aferir a vazão aplicada, utilizou-se uma bombona de 18 L e mediu-se o tempo necessário para seu enchimento até a eminência do seu transbordamento, sendo este procedimento repetido pelo menos 5 vezes para cada frequência/vazão.

### **5.3.5 Levantamento planialtimétrico da área de estudo**

O levantamento planialtimétrico cadastral foi executado segundo as normas da ABNT – NBR 13.133 (1994), sendo usado como referência os marcos de apoio M145-001, nas proximidades das áreas de estudo. Ele foi realizado utilizando o sistema RTK (*Real Time Kinematic*), que possui precisão de centímetros (aproximadamente 2 cm). RTK é um método de posicionamento que auxilia o sistema de GPS a ter essa precisão mais apurada. O sistema de GPS por si só, forneceria uma precisão de 5 a 10 m (SANTIAGO&CINTRA, 2018). O equipamento utilizado foi GPS RTK GEOMAX ZENITH 25. Ainda, os cálculos e ajustes do levantamento foram realizados com o auxílio dos softwares de automação topográfica *Topograph* e pós-processamento Topcon Tools. Os dados foram descarregados diretamente do GNSS RTK, via cabo de transmissão de dados, em que foi possível analisar e editar as

observações quanto à existência de erros de digitação na codificação padrão dos pontos e eliminação de leituras desconsideradas na operação de campo.

O software de automação topográfica *Topograph* foi utilizado para a entrada e processamento dos dados provenientes do levantamento topográfico por meio da criação de uma caderneta eletrônica para analisar os dados importados e formatar a sequência da poligonal e dos pontos irradiados. Por fim, executaram-se os cálculos para a obtenção das coordenadas dos pontos observados no levantamento.

Desse modo, foi implantada uma infraestrutura de referência por meio de marcos geodésicos com a devida nomeação previamente definida para a marcação das plaquetas - sendo eles, M145-001 e M145-002. A implantação se deu nas proximidades do local de interesse da CORSAN, atendendo às suas diretrizes e aos princípios da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR-14166 de 1998, que define os procedimentos para a implantação de uma Rede de Referência de forma a sistematizar todos os levantamentos topográficos. A Figura 73 e

Figura 74 demonstram os marcos de concreto implantados, bem como a respectiva plaqueta.

O transporte de coordenadas para proporcionar o controle básico, partiu de vértices da rede geodésica homologada pelo IBGE (controle geodésico) conforme NBR 13.133/1994 (Figura 75). Com a tecnologia GNSS, utilizou-se o método relativo estático partindo de, no mínimo, dois vértices pertencentes ao SGB (Sistema Geodésico Brasileiro). Estabeleceu-se, dessa forma, um polígono, com, no mínimo, dois vértices independentes, permitindo, então, realizar o ajustamento que necessariamente, deve utilizar o método de ajustamento dos mínimos quadrados prevendo a propagação de erros dos vértices a partir do SGB.

Figura 73 - Marco M145-001 de concreto tronco-piramidal e sua respectiva plaqueta



Fonte: Relatório técnico Geoprocsul- n25/2019

Figura 74 - Marco M145-002 de concreto tronco-piramidal e sua respectiva plaqueta



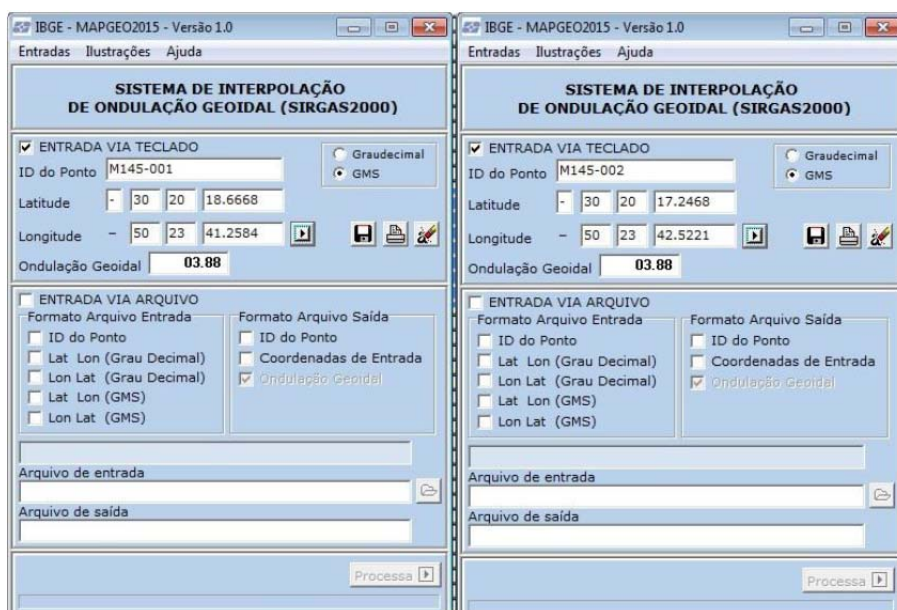


Fonte: Relatório técnico Geoprosul- n25/2019

As coordenadas geográficas e UTM dos pontos levantados foram referenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro, SIRGAS2000 e Imbituba (SC), DATUM planimétrico e altimétrico através da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC, sendo utilizadas a base de Pelotas (96172) e Porto Alegre (91850), do estado do Rio Grande do Sul. Para o processamento dos dados, utilizou-se o software Topcon *Tools*.

Após obtenção das coordenadas geográficas, planas UTM e a altitude elipsoidal “h”, iniciou-se o cálculo da altitude ortométrica “H”, aplicou-se a subtração da ondulação geoidal “O” (gerada por meio do software MAPGEO2015 disponibilizado no site do IBGE - Figura 75) da altitude elipsóidica representada pela fórmula “ $H = h - O$ ”. O resumo das altitudes encontra-se na Tabela 26.

Figura 75 - Sistema de interpolação de ondulação geoidal para os marcos M145-001 e M145-002



Fonte: Relatório técnico Geoprosul- n25/2019  
Tabela 26 - Resumo das Altitudes

Marco	Norte (m)	Leste (m)	Latitude	Longitude	Altitude Elipsoidal (h)	Ondulação geoidal (O)	Altitude Ortométrica (H)
M145-001	6643547,893	558172,123	30°20'18,6668"S	50°23'41,2584"W	10,149	3,88	6,269
M145-002	6643591,785	558138,618	30°20'17,2468"S	50°23'42,5221"W	8,583	3,88	4,703

Fonte: Relatório técnico Geoprocsul- n25/2019

### 5.3.6 Estudo do fluxo da água subsuperficial

A partir dos dados do levantamento topográfico realizado do local e nível do manancial, foi possível verificar se há indução natural do açude para margem; isto é, se o nível d'água do açude é maior que o nível do lençol freático na margem, onde estão instalados os piezômetros e poço, em uma situação estática.

O levantamento das coordenadas X, Y e Z do poço de produção e dos 04 piezômetros na ETA Granja Vargas, foi realizado conforme Tabela 27. As cotas foram identificadas nas tampas de proteção dos piezômetros e base de concreto do poço, em nível de solo.

Tabela 27 - Cotas do nível do solo dos piezômetros e poço

PONTO	COTA (m)
Poço	8,724
PIE01	8,607
PIE02	8,590
PIE03	8,753
PIE04	8,596

Fonte: Relatório técnico Geoprocsul- n25/2019

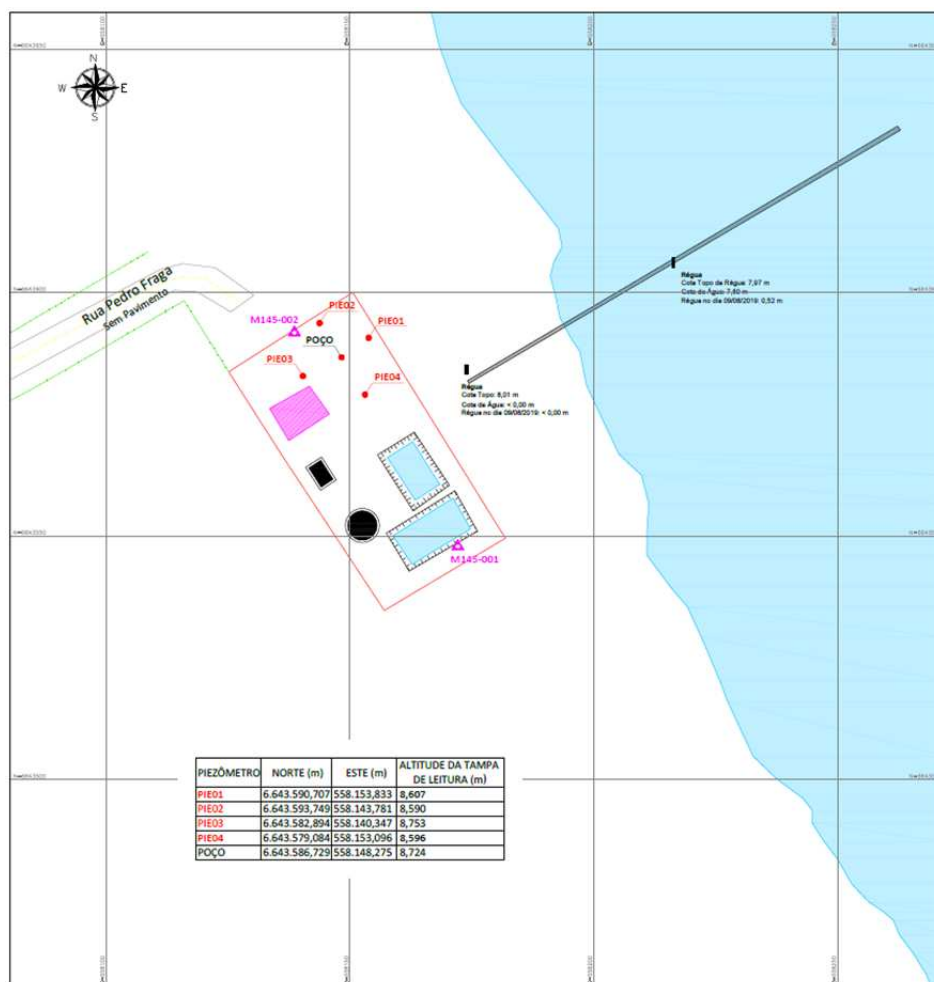
Neste mesmo serviço de topografia, foi solicitada a conferência da leitura de cota das duas réguas de nível d'água presente no local, essas leituras apontaram cotas de 7,97 metros e 8,01 metros, encontrando uma diferença de 0,04 metros (4 cm), portanto como não se tem conhecimento se este erro veio da implantação da régua de nível d'água ou da limitação do levantamento a partir do RTK, adotou-se a média destes dois valores como sendo o nível do NA do açude dos Felicianos; isto é, 7,99 m. Desta forma, pode-se afirmar que os valores de nível do açude atual está amarrado com a régua de nível d'água implantado em 2002, no início da operação da ETA Granja Vargas.

A planta topográfica da situação, produzida a partir do levantamento de campo, é apresentada conforme a Figura 76 como a localização das réguas no trapiche, um segmento da

régua instalado (cota 8) no início do trapiche e outro segmento (cota 7) na metade do comprimento do mesmo.

Após conferência das informações, determinou-se que a cota do nível d'água normal do Açude dos Felicianos é 7,99 m, durante o período de monitoramento. Este nível oscilava +/- 0,20 m ao longo do tempo, conforme observado na régua limnológica fixada no trapiche (a partir da amarração topográfica com o levantamento). Dias ensolarados e dias chuvosos contribuem para que esta oscilação aconteça, assim como a utilização da água do açude para fins de irrigação e abastecimento público, incidência de ventos, etc.

Figura 76 - Planta Topográfica da situação



Fonte: Relatório técnico Geoprocsul- n25/2019.

O nível estático do lençol freático no poço é, em média, 6,94 m, valor este retirado dentro do poço sem bombeamento. Portanto, como a cota do nível d'água no poço é inferior ao nível d'água do açude, pode-se afirmar que há fluxo natural favorável à FM e que ela

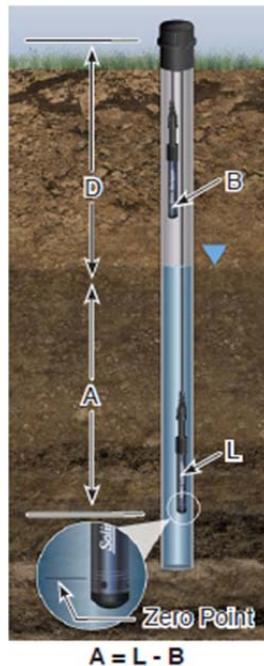
ocorre preponderantemente ao longo do tempo. Isto facilita o processo de FM, pois ela ocorre naturalmente e de uma maneira muito lenta. Os níveis estáticos dos piezômetros (P1, P2, P3 e P4), também foram menores que a cota do nível do manancial, sendo eles: 7,03 m (P1), 7,16 m (P2), 6,91 m (P3) e 7,07 m (P4), seguindo o mesmo raciocínio que o poço de produção.

### 5.3.7 Rebaixamento do nível d'água no solo

O monitoramento dos níveis d'água dos piezômetros e do poço foi realizado por intermédio dos medidores de nível eletrônicos (*leveloggers*), tanto da situação estática, quanto na situação dinâmica. Os dados contidos nos mesmos foram processados no software do fabricante *Solinst*, em sua versão 3.4.1, e manipulados em computador utilizando o Excel, o qual permitiu a elaboração de gráficos e tabelas.

Os medidores foram programados para executar um registro a cada 8h (3 medições por dia) durante todo o período de monitoramento de cada vazão, no poço e piezômetros e todos medindo ao mesmo tempo. Para cada registro, em cada medidor instalado, era realizada a medição de nível e temperatura no tempo programado.

Figura 77 - Esquema ilustrativo da instalação do medidor de nível e barômetro dentro do poço.



Fonte: Manual do fabricante *Solinst*

Para se obter os valores corretos dos níveis d'água dos piezômetros e poço (A), foi necessário instalar um barômetro no poço para que a pressão atmosférica (B) fosse descontada do valor obtido no monitoramento (L), conforme ilustrado na Figura 77.

### 5.3.8 Análises da qualidade da água bruta e filtrada em margem

O monitoramento da qualidade da água bruta (manancial) e da água tratada (filtrada em margem) ocorreu pela avaliação dos seguintes parâmetros: turbidez, cor aparente, cor verdadeira, oxigênio dissolvido, Coliformes fecais (*E. Coli*), Coliformes totais, Carbono Orgânico Total, Condutividade Elétrica, sólidos totais dissolvidos, pH e temperatura. A partir do conhecimento prévio da água do poço, foram inclusos os seguintes parâmetros: alcalinidade, alumínio, cloretos, dureza, ferro total, fluoreto e manganês. A Tabela 28 demonstra os parâmetros analisados, juntamente com a periodicidade equipamentos e métodos utilizados.

As metodologias para realização dos parâmetros físicos e químicos estão baseadas nos procedimentos descritos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (SMWW)* (BAIRD *et al.*, 2017), conforme Tabela 28. Foram realizadas triplicatas analíticas para as amostras e quintuplicatas para os padrões e os resultados foram compilados utilizando-se suas médias aritméticas assim como o desvio padrão para cada parâmetro e cada vazão estudada.

Tabela 28 - Parâmetros analisados ao longo do estudo da vazão

Parâmetro	Unidade	Periodicidade mínima	Método/Equipamento
Alcalinidade	mg CaCO <sub>3</sub> /L	1 análise a cada 3 dias	Titulométrico/via úmida
Alumínio total	mg/L Al	1 análise a cada 7 dias	Titulométrico/via úmida
Cloretos	mg/L Cl <sup>-</sup>	1 análise a cada 7 dias	Titulométrico/via úmida
Coliformes totais	NMP/100 mL	1 análise a cada 7 dias	Cartelas/ColiLert
E. Coli	NMP/100 mL	1 análise a cada 7 dias	Cartelas/ColiLert
Condutividade elétrica	µS/cm	1 análise a cada 3 dias	Condutivimétrico/CHI TDS&EC
STD	mg/L	1 análise a cada 3 dias	Condutivimétrico/CHI TDS&EC
Cor verdadeira	mg/L Pt-Co	1 análise a cada 3 dias	Fotométrico, λ = 455 nm, com filtragem em membrana 0,45µm /Spectroquant NOVA 60A
Cor aparente	mg/L Pt-Co	1 análise a cada 3 dias	Espectrofotométrico, λ =

Parâmetro	Unidade	Periodicidade mínima	Método/Equipamento
			455nm/Hach DR 2010
COT	mg/L	1 análise por vazão	Method 10129/Colorímetro Hach DR 900
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	1 análise a cada 3 dias	Titulométrico/via úmida
Ferro Total	mg/L Fe	1 análise a cada 3 dias	Titulométrico/via úmida
Fluoreto	mg/L F <sup>-</sup>	1 análise a cada 3 dias	Titulométrico/via úmida
Manganês total	mg/L Mn	1 análise a cada 3 dias	Titulométrico/via úmida
Oxigênio Dissolvido	mg/L O <sub>2</sub>	1 análise a cada 3 dias	Winkler modificado/Oxímetro AT 160 SP Alfakit
pH	-	1 análise a cada 3 dias	Potenciométrico/pHmetro Digimed DM-2P
Temperatura	°C	1 análise a cada 3 dias	Termômetro de mercúrio
Turbidez	uT	1 análise a cada 3 dias	Nefelométrico/Turbidímetro Hach DR 2100P

Fonte: próprio autor.

### 5.3.9 Ensaios de tratabilidade com água filtrada em margem (AFM)

Os ensaios de tratabilidade da AFM foram realizados devido à qualidade da água requerer o uso de produtos químicos para se enquadrar nas diretrizes para água de consumo humano, conforme Legislação (MS, 2017).

A estratégia destes ensaios com AFM, simulando tratamento convencional, teve a finalidade de potabilizar a água, levando em consideração a situação existente em termos de tempo de detenção hidráulico em cada etapa do tratamento. Quatro configurações de tratamento foram testadas e na sequência demonstrada a seguir, para clarificação da AFM:

1. Adição de hipoclorito de sódio (pré-oxidante), com concentração variando de 20 mg/L a 160 mg/L (de 20 em 20 mg/L) a fim de oxidar os metais e matéria orgânica sem adição de outro produto químico. Antes da adição do hipoclorito, o pH foi ajustado entre 7,8 e 8,2 com adição de Carbonato de Sódio;
2. Adição de sulfato de alumínio, com concentração foi variando de 20 mg/L a 120 mg/L (de 20 em 20 mg/L) a fim de coagular os metais e matéria orgânica;
3. Adição de carvão ativado em pó, variando de 4 a 20 mg/L (de 4 em 4 mg/L) a fim de adsorver a matéria orgânica, seguida da adição de sulfato de alumínio, variando de 10 a

100 mg/L (de 20 em 20 mg/L) a fim de coagular os metais e matéria orgânica remanescente;

4. Adição de hipoclorito de sódio, variando de 10 mg/L a 80 mg/L (de 5 em 5 mg/L) a fim de oxidar os metais presentes, seguida da adição de sulfato de alumínio, variando de 20 mg/L a 160 mg/L (de 10 em 10 mg/L) a fim de coagular os metais oxidados juntamente com a matéria orgânica.

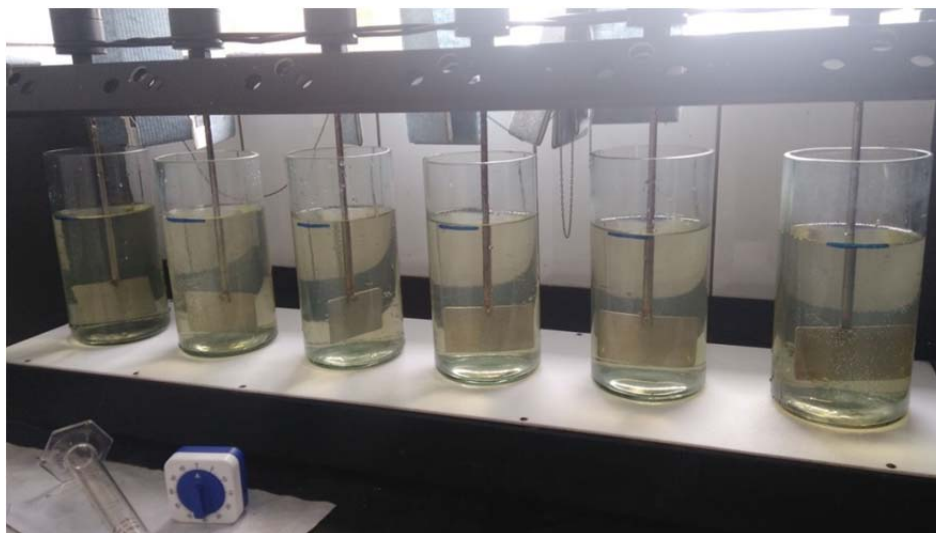
Os procedimentos sugeridos se basearam nos produtos químicos existentes na ETA e na empresa, sem utilização de novos produtos do mercado ou algum processo oxidativo avançado.

Os tempos utilizados para simulação do tratamento existente nos ensaios de tratabilidade foram fornecidos pela operadora da ETA com base no tratamento e experiência ao longo dos anos. São eles:

1. Mistura rápida: 1 min. a 250 rpm (gradiente de velocidade de  $450\text{ s}^{-1}$ );
2. Coagulação/Floculação: 14 min. a 60 rpm (gradiente de velocidade de  $55\text{ s}^{-1}$ );
3. Decantação: 10 min. em repouso, seguida de filtração em funil com algodão;

Os ensaios de tratabilidade foram realizados por intermédio do aparelho de testes de jarros existente na ETA, conforme ilustrado na Figura 78.

Figura 78 - Equipamento de teste de jarros da ETA Granja Vargas



Fonte: próprio autor.

Os ensaios foram realizados com AFM coletada no mangote que vem do poço, na vazão de 3,6 L/s (vazão em operação no momento do estudo de tratabilidade) durante os meses de dezembro de 2019, janeiro e fevereiro de 2020. Cada tentativa de tratamento

supracitada foi testada pelo menos 3 vezes, antes de descartá-la como possível tratamento desta água.

## 5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.4.1 Escolha do local para implantação do sistema piloto para FM e caracterização da água do manancial

A escolha do local para implantação do sistema de FM se deu baseado nos estudos realizados no Capítulo 2, que demonstrou que os sedimentos do Açude dos Felicianos foram satisfatórios na remoção de turbidez, cor aparente e verdadeira, bem como contaminantes biológicos (conforme Tabela 24). Além disso, o local apresenta a infraestrutura necessária para implantação da técnica (energia elétrica, espaço adequado para o poço e piezômetros, cercamento, etc) e possibilidade (após a determinação dos parâmetros ótimos) da última fase ser implementada em um caso real, onde a AFM abasteceria a ETA-Granja Vargas. No presente estudo não foi possível efetivar o abastecimento total da ETA por meio da AFM, visto que seria necessário o suporte de mais um poço para manter a escala atual de funcionamento do sistema.

Como observado na imagem da Figura 65, a água do Açude dos Felicianos apresenta turbidez elevada. Relatos dos operadores da ETA é de que essa turbidez varia bastante ao longo do tempo, sendo que mudanças climáticas repentinas, podem fazer com que a água deste manancial mude drasticamente dificultando seu tratamento, chegando em alguns momentos ter que interromper o tratamento chegando ao ponto da água bruta não ser possível de ser tratada pela limitação do processo existente.

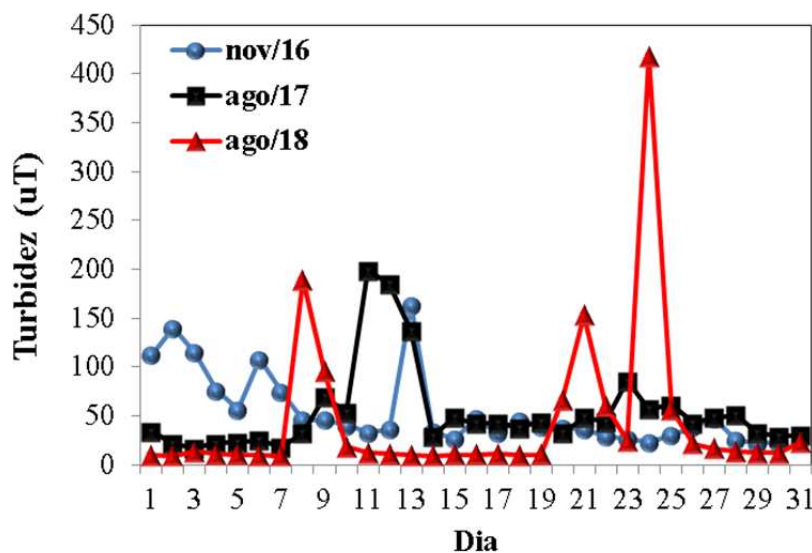
A literatura (SENS *et al.*, 2006) científica demonstra que a oscilação do parâmetro turbidez pode ser amenizada com a utilização da técnica de filtração em margem como pré-tratamento para estações de tratamento de água. É sabido que a variação brusca da turbidez pode acarretar problemas operacionais na estação de tratamento de água, de modo que seja necessário a interrupção do tratamento.

A título de demonstração da amplitude da variação, observa-se na Figura 79, o monitoramento da turbidez em meses com amplitudes maiores de variação do parâmetro, sendo eles novembro de 2016 (nov/2016) e agosto de 2017 (ago/2017) e 2018 (ago/2018), observando que o VMP da legislação vigente (MS, 2017) é de 5 uT (na rede), para consumo humano. As médias dos meses foram  $54 \pm 36$  uT,  $53 \pm 43$  uT e  $43 \pm 80$  uT em nov/2016,



ago/2017 e ago/2018, respectivamente. Observa-se que apesar das médias serem parecidas, o desvio padrão demonstra a maior variação no mês de agosto de 2018.

Figura 79 - Variação do parâmetro turbidez da água bruta do Açude dos Felicianos nos meses de novembro/2016, agosto de 2017 e agosto de 2018



Fonte: próprio autor

A Tabela 29 apresenta outros parâmetros de interesse da pesquisa, que se espera que tenham seus valores melhorados com a FM, além de parâmetros que influenciam no tratamento e dosagem de produto químico.

Tabela 29 - Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água bruta ETA Granja Vargas (2016 a 2018)

	Turbidez (uT)	Cor Aparente (mgPt-Co/L)	pH	Microorganismos termotolerantes ( <i>E. Coli</i> ) (NMP/100 mL)
Mínimo	8,8	20	6,1	4
Máximo	418	1200	7,0	90
Médio	45,2	134	6,8	15

uT- Unidade de Turbidez; NMP – Número mais provável.

Fonte: próprio autor.

#### 5.4.2 Perfil Geológico Local

Durante o processo de perfuração, amostras de solo foram coletadas em diferentes profundidades do poço de produção e piezômetros, para análise granulométrica e de teor de MO em laboratório. Este estudo foi importante para que se possa entender o perfil geológico

local, e sua possível influência sobre a hidráulica do poço, bem como sobre a qualidade da água AFM.

O gráfico demonstra a composição do solo nas diferentes profundidades do poço encontram-se na Figura 80. Observa-se que o poço apresenta areia fina e areia média em toda a sua extensão, sendo que ambas compõem a maior parte do solo. Areia grossa, silte e argila, foram encontradas em algumas profundidades.

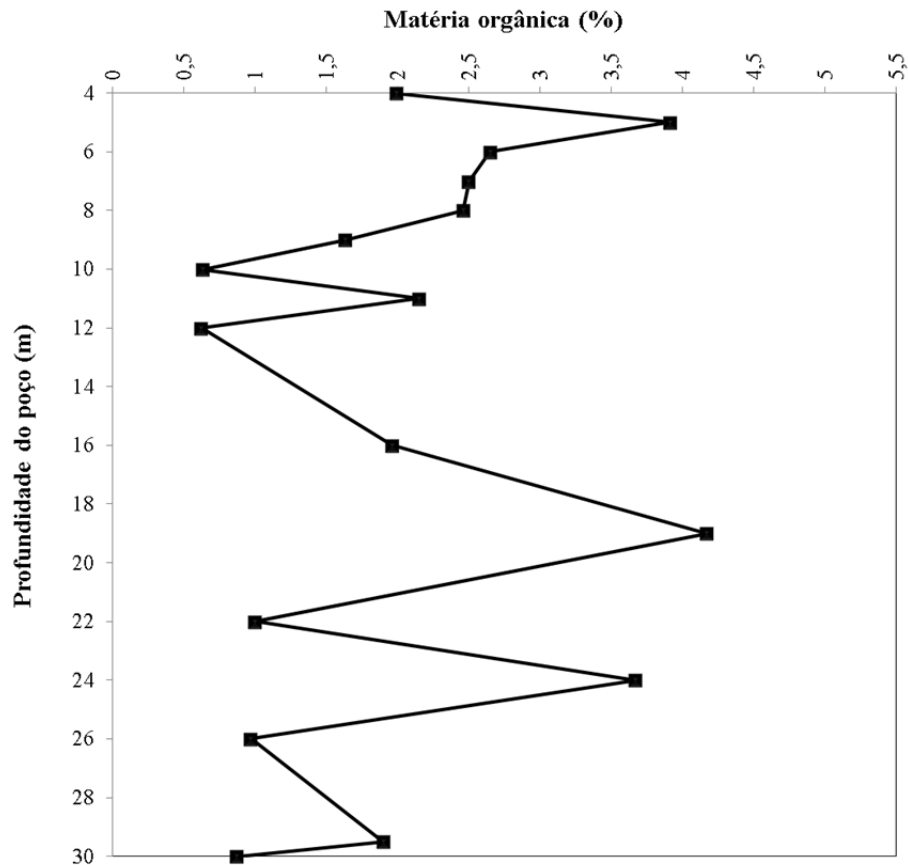


A MO também foi encontrada em toda a extensão do poço, estando ela bem distribuída em toda sua profundidade, conforme Figura 81, sendo a maior quantidade observada de 4,17% a 19 m de profundidade. Em média, obteve-se 2% de MO.

Em média, obteve-se 2% de MO. Uma pequena quantidade de MO no solo, pode ser benéfica, uma vez que solos contendo MO favorecem os mecanismos de adsorção e complexação, permitindo que a população bacteriana degrade compostos indesejáveis. Contudo, a presença de MO, além de alterar os padrões organolépticos, como odor e sabor,

também aumenta a possibilidade de formação de subprodutos de desinfecção (THM e HAA), que são potencialmente carcinogênicos (SENS *et al.*, 2006). Além disso, uma grande quantidade de matéria orgânica no solo poderá resultar em uma AFM de pior qualidade, comparada à qualidade do manancial superficial.

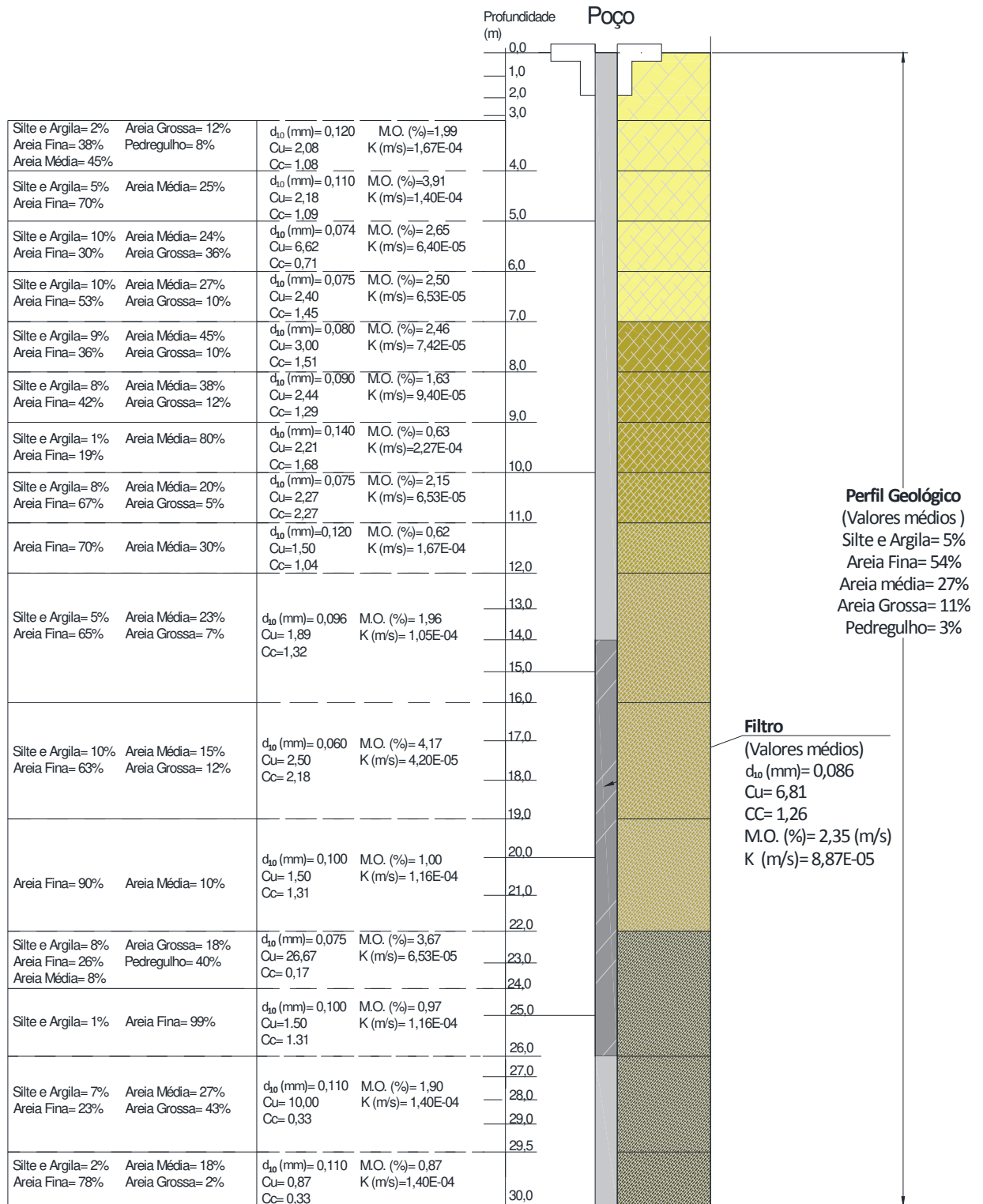
Figura 81 - Matéria orgânica (MO) no solo do entorno do poço de produção com a profundidade



Fonte: próprio autor.

Quanto ao teor de MO na areia constituinte do pré-filtro construído, ao redor do poço de produção, nota-se uma concentração média de 2,35%, conforme se observa na Figura 82. Esta concentração pode conferir à AFM material orgânico na forma dissolvida, ou mesmo particulada, influenciando sua qualidade. Observa-se também no perfil geológico da pedregulho nos primeiros 4 m e de forma isolada, em 24 m, sendo sua, a maior composição nesta profundidade (40%).

Figura 82 - Perfil geológico do poço de produção ETA - Granja Vargas



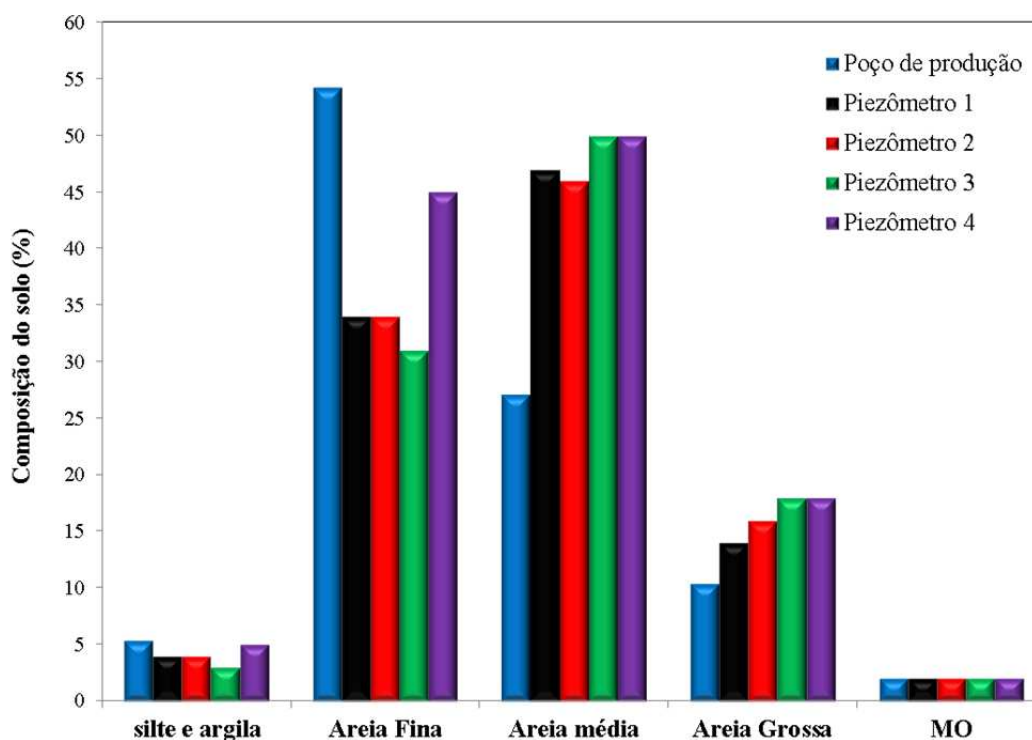
Fonte: próprio autor.

Devido à composição do solo ser basicamente areia fina e média, pode-se dizer que este solo possui as características favoráveis para implantação do sistema de FM, uma vez que apresenta boa porosidade e permeabilidade, com K de  $1,12 \times 10^{-04}$  m/s, em média, para o poço

de produção perfurado neste estudo, valor muito bom quando comparado com a literatura (BOUWER, 2002).

O perfil geológico dos piezômetros também foi obtido e encontram-se no **ANEXO D**. A Figura 83 mostra a comparação da composição do solo média no entorno do poço de produção e dos 4 piezômetros. Observa-se composição bastante semelhante entre poço de produção e piezômetros, sendo a composição majoritária do poço areia fina e média, e dos piezômetros areia média. A concentração média de MO foi praticamente a mesma no poço e piezômetros (2,35%, como mencionado anteriormente); já com relação a silte e argila, todos apresentaram menos de 5%, conforme informações do perfis geológicos.

Figura 83 - Comparação da composição do solo do entorno do poço de um perfil produção e dos piezômetros 1, 2, 3 e 4 (valores médios em toda sua extensão)



Fonte: próprio autor.

Os valores médios de condutividade hidráulica ( $K$ ), diâmetro efetivo ( $D_{10}$ ) Coeficiente de uniformidade ( $C_u$ ) e Coeficiente de Curvatura ( $C_c$ ) do entorno do poço de produção e piezômetros em toda a sua profundidade encontram-se na Tabela 30. Observa-se a semelhança de  $K$  entre os mesmos (variando de 1 a  $3 \times 10^{-4}$  m/s) descaracterizando um possível aquífero confinado e evidenciando a possibilidade de conexão hidráulica bastante significativa entre o poço e o manancial. Além disso, um solo bastante uniforme, com  $C_u < 5$

e  $C_c < 3$ , também demonstra que o solo do entorno do poço é bem graduado. Estas características conferem ao material geológico condutividade hidráulica moderada/elevada (BOUWER, 2002).

Tabela 30 - Valores médios de condutividade hidráulica (K), diâmetro efetivo ( $D_{10}$ ) Coeficiente de uniformidade (Cu) e Coeficiente de Curvatura (Cc) obtidos com sedimentos do entorno do poço de produção e os 4 piezômetros (P1, P2, P3 e P4)

	<b>K (m/s)</b>	<b><math>D_{10}</math> (mm)</b>	<b>Cu</b>	<b>Cc</b>
<b>Poço de produção</b>	$1,12 \times 10^{-04}$	0,10	4,35	1,19
<b>P1</b>	$2,18 \times 10^{-04}$	0,13	2,37	1,20
<b>P2</b>	$2,21 \times 10^{-04}$	0,13	3,03	1,22
<b>P3</b>	$2,46 \times 10^{-04}$	0,14	2,94	0,84
<b>P4</b>	$2,85 \times 10^{-04}$	0,15	2,71	0,86

Fonte: próprio autor.

### 5.4.3 Rebaixamento do nível d'água no solo

Os subitens subsequentes demonstram os resultados de rebaixamento do poço e piezômetros com bombeamento, nas vazões de 3,6 L/s, 4,5 L/s, 5,5 L/s, 6,0 L/s e 6,5 L/s. As cotas apresentadas são georreferenciadas em relação ao nível do mar, conforme descrito no item 5.3.5.

Os níveis estáticos do poço e de cada piezômetro foram obtidos pela média de 9 medições (4 dias distintos). O nível estático representado no gráfico maior para os piezômetros, por sua vez, foi a média do nível estático de P1, P2, P3 e P4, ou seja, a média das médias. Para a construção dos gráficos menores (rebaixamento do poço e piezômetros), cada ponto representa a média de 3 medições realizadas em um mesmo dia (a cada 8h, de forma automática utilizando o instrumento *levellogger*).

#### 5.4.3.1 Vazão de 3,6 L/s (30 Hz):

A Tabela 31 traz os dados obtidos quando a vazão do poço foi de 3,6 L/s. Os dados correspondem a média das medidas realizadas.

Tabela 31 - Dados do poço e piezômetros para vazão de 3,6 L/s: níveis médios, estático e dinâmico e rebaixamento absoluto.

	<b>Nível médio d'água Poço (m)</b>	<b>Nível médio d'água P1 (m)</b>	<b>Nível médio d'água P2 (m)</b>	<b>Nível médio d'água P3 (m)</b>	<b>Nível médio d'água P4 (m)</b>

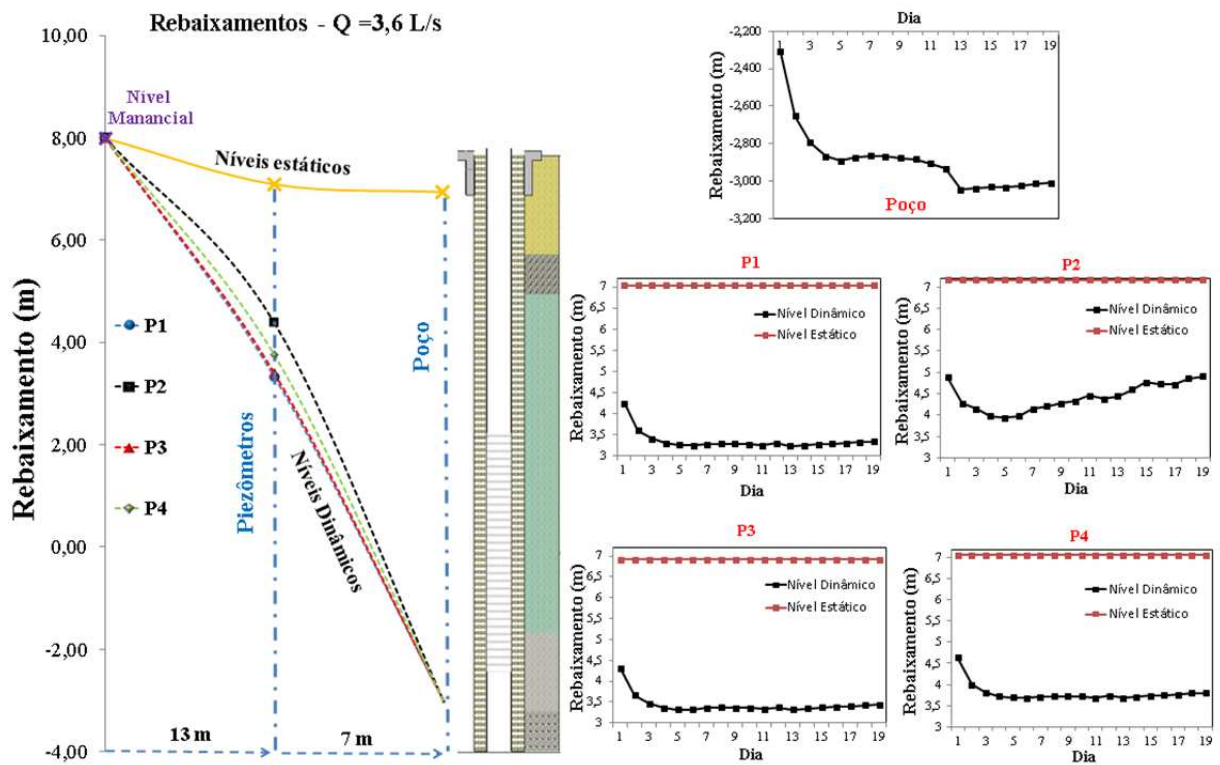
Nível estático médio (m)	6,941	7,089	7,197	6,962	7,115
Nível dinâmico médio (m)	-2,909	3,328	4,384	3,399	3,756
Rebaixamento Absoluto (m)	9,850	3,761	2,812	3,562	3,359

NOTA: As cotas são georreferenciadas, em relação ao nível do mar, conforme descrito no item 5.3.5.

Fonte: próprio autor.

A Figura 84 apresenta graficamente os valores de rebaixamento do poço de produção e dos piezômetros. Dentre os piezômetros, observa-se que P1 obteve maior rebaixamento, ou seja, o piezômetro que está no alinhamento do poço em direção ao manancial apresentou nível dinâmico menor que os demais; quer dizer, maior rebaixamento, demonstrando que nesta direção houve uma maior contribuição para a vazão da água subsuperficial.

Figura 84 - Rebaixamento do poço e dos piezômetros para  $Q = 3,6 \text{ L/s}$



Para tanto, levando em consideração o nível estático do nível d'água no poço, comprimento da bomba submersa, folga do fundo do poço, há aproximadamente 25 m útil de coluna d'água para se chegar na profundidade da crista da bomba. O rebaixamento absoluto



para esta vazão do poço foi de 9,850 m, em média (conforme Tabela 31). Os dados encontram-se no APÊNDICE B.

Os valores de rebaixamento apresentados referem-se aos valores de cota georreferenciados conforme levantamento planialtimétrico do item 5.3.5.

O gráfico do piezômetro P2 apresentou uma curva atípica, a partir do quinto dia de monitoramento, seu rebaixamento diminuiu. Esta anormalidade pode ser atribuída pela colmatação química decorrente da oxidação do ferro, conforme apresentado na Figura 85, onde se observa por toda a corda de sustentação do equipamento de medição uma quantidade considerável de ferro aderida. A causa desta colmatação pode ser atribuída à disponibilidade de ferro na porção de solo próximo ao P2 ser maior que nos demais piezômetros, com isso, comprometendo parcialmente sua conexão hidráulica com manancial.

Figura 85 - Encrustamento com ferro oxidado (ferrugem) no medidor de nível do P2



Fonte: próprio autor.

#### 5.4.3.2 Vazão de 4,5 L/s (34 Hz):

A Tabela 32 traz os dados obtidos quando a vazão do poço foi de 4,5 L/s. Os dados correspondem à média das medidas realizadas. Observa-se que o rebaixamento absoluto do poço para esta vazão foi em média 12,65 m, sendo 2,8 m maior que para a vazão de 3,6 L/s. Os piezômetros também apresentaram esse comportamento, tendo um maior rebaixamento nesta vazão maior. Os dados encontram-se no APÊNDICE C.



Tabela 32 - Dados do poço e piezômetros para vazão de 4,5 L/s: níveis médios estático e dinâmico e rebaixamento absoluto

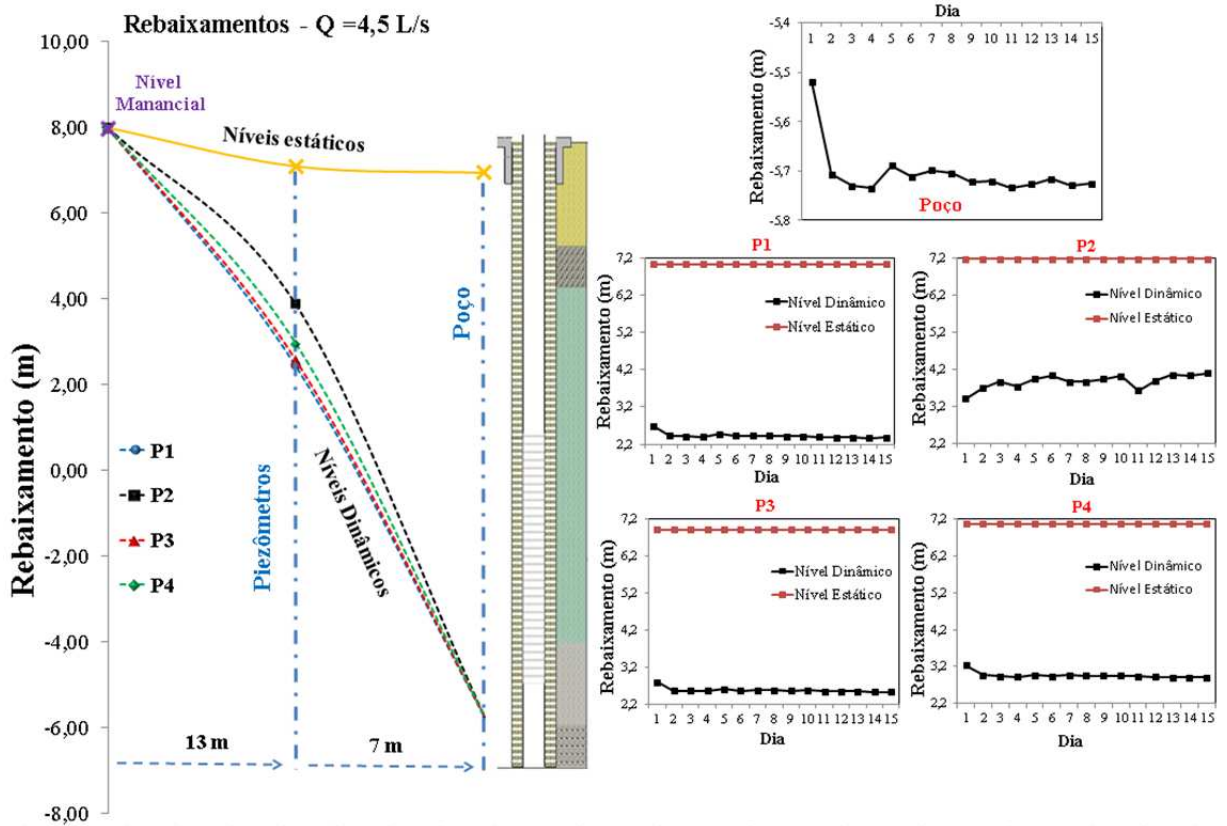
	Nível médio d'água Poço (m)	Nível médio d'água P1 (m)	Nível médio d'água P2 (m)	Nível médio d'água P3 (m)	Nível médio d'água P4 (m)
Nível estático (m)	6,941	7,089	7,197	6,962	7,115
Nível dinâmico (m)	-5,708	2,427	3,869	2,568	2,957
Rebaixamento Absoluto (m)	12,65	4,66	3,33	4,39	4,16

NOTA: As cotas são georreferenciadas, em relação ao nível do mar, conforme descrito no item 5.3.5.

Fonte: próprio autor.

A Figura 86 apresenta graficamente os valores de rebaixamento do poço de produção e dos piezômetros para a vazão de 4,5 L/s. Da mesma forma que para a vazão anterior, foi possível notar que o P1 obteve maior rebaixamento.

Figura 86. Rebaixamento do poço e piezômetros para  $Q = 4,5$  L/s



Fonte: próprio autor.

O comportamento atípico de P2 pode ser explicado ao acúmulo do ferro ao longo das semanas de monitoramento (toda vez que se tirava o medidor de nível, observa-se o aumento

da incrustação), onde o valor do rebaixamento ficava oscilando à medida que este ferro oxidado ia se aderindo às paredes do piezômetro, interferindo negativamente para a conexão hidráulica com o manancial superficial. Isso provavelmente poderia formar ou estava se formando uma película fina colmatação pelo ferro oxidado, devido sua grande quantidade presente no solo. Evidentemente que se denota uma perturbação em função do bombeamento, em comparação aos demais piezômetros que estavam apresentando uma resposta direta em suas medições.

Da mesma forma que a vazão anterior, o gráfico do piezômetro P2 apresentado na Figura 86 teve seu rebaixamento reduzido ao longo do monitoramento e esta anormalidade foi intensificada provavelmente por esta vazão ser maior que a anterior, favorecendo ainda mais a colmatação química do piezômetro pela presença excessiva do ferro no solo ao redor do mesmo, sendo observado este acúmulo em todo o período dos estudos, exceto nas primeiras semanas que sua presença ainda não era tão pronunciada.

#### 5.4.3.3 Vazão de 5,5 L/s (37 Hz)

A Tabela 33 traz os dados obtidos quando a vazão do poço foi de 5,5 L/s. Os dados correspondem a média das medidas realizadas.

Tabela 33 - Dados do poço e piezômetros para vazão de 5,5L/s: níveis médios estático e dinâmico e rebaixamento absoluto

	Nível médio d'água poço (m)	Nível médio d'água P1 (m)	Nível médio d'água P2 (m)	Nível médio d'água P3 (m)	Nível médio d'água P4 (m)
Nível estático (m)	6,941	7,089	7,197	6,962	7,115
Nível dinâmico (m)	-7,068	2,117	3,451	2,275	2,672
<b>Rebaixamento Absoluto (m)</b>	14,01	4,97	3,75	4,69	4,44

NOTA: As cotas são georreferenciadas, em relação ao nível do mar, conforme descrito no item 5.3.5.

Fonte: próprio autor.

Observa-se que o rebaixamento absoluto do poço para esta vazão foi em média 14,01 m, sendo 1,36 m maior que para a vazão de 4,5 L/s e 4,16 m maior que para a vazão de 3,6 L/s. Os piezômetros também apresentaram esse comportamento, tendo um maior rebaixamento nesta vazão maior. Os dados encontram-se no **APÊNDICE D**.

A Figura 87 apresenta graficamente os valores de rebaixamento do poço e dos piezômetros para a vazão de 5,5 L/s e da mesma forma que nas duas vazões anteriores, foi



processo de colmatção química do ferro preponderante no piezômetro P2 foi alterado provavelmente pela redução da concentração do ferro no meio líquido, devido à diluição, fazendo com que o rebaixamento ficasse oscilando para mais e para menos.

#### 5.4.3.4 Vazão de 6,0 L/s (40 Hz)

A Tabela 34 traz os dados obtidos quando a vazão do poço foi de 6,0 L/s. Os dados correspondem à média das medidas realizadas.

Tabela 34 - Dados do poço e piezômetros para vazão de 6,0 L/s: níveis médios estático e dinâmico e rebaixamento absoluto

	Nível médio d'água poço (m)	Nível médio d'água P1 (m)	Nível médio d'água P2 (m)	Nível médio d'água P3 (m)	Nível médio d'água P4 (m)
<b>Nível estático (m)</b>	6,941	7,089	7,197	6,962	7,115
<b>Nível dinâmico (m)</b>	-8,593	2,532	2,831	2,323	3,102
<b>Rebaixamento Absoluto (m)</b>	15,53	4,56	4,37	4,64	4,01

**NOTA:** As cotas são georreferenciadas, em relação ao nível do mar, conforme descrito no item 5.3.5.

Fonte: próprio autor.

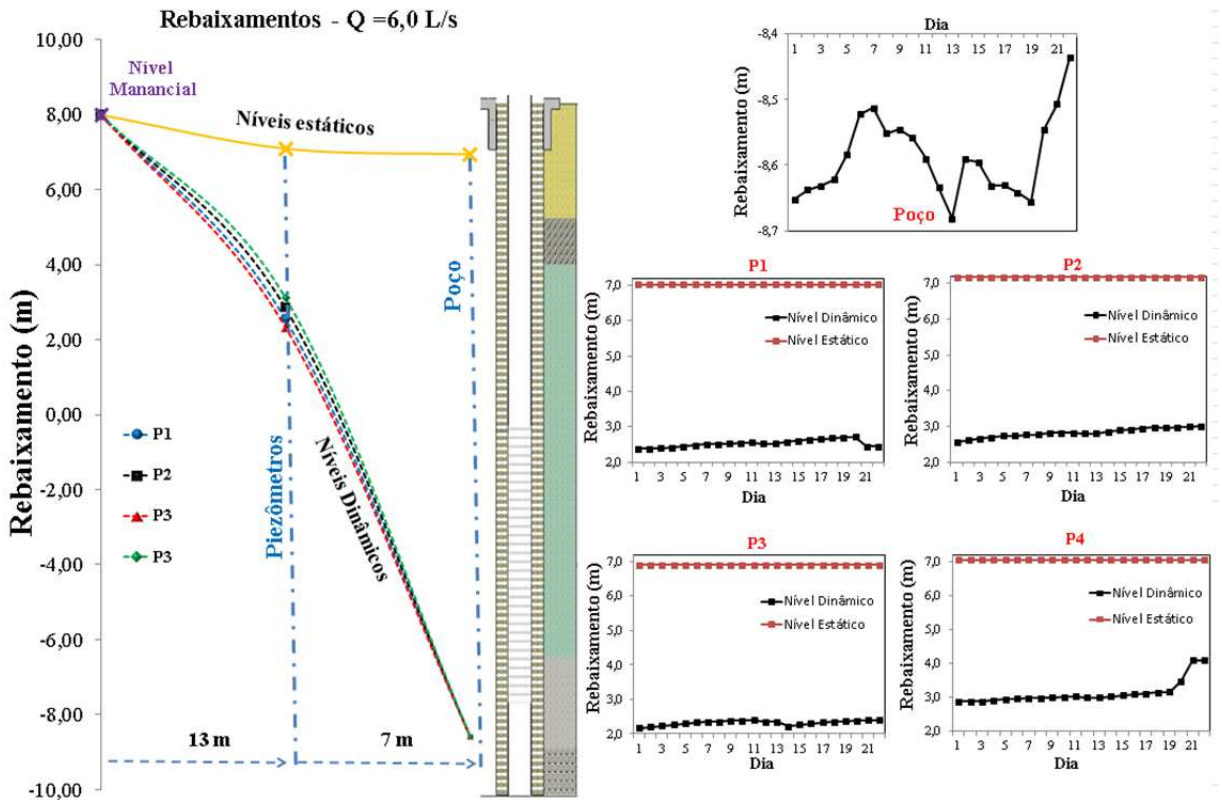
A Figura 88 apresenta graficamente os valores de rebaixamento dos piezômetros para a vazão de 6,0 L/s. Observa-se que o P3 foi o que obteve maior rebaixamento, no caso o piezômetro que está no alinhamento do poço em direção oposta ao manancial, seguido do P1, também alinhado ao poço, porém entre ele e o manancial. Observa-se um rebaixamento absoluto do poço ainda maior que nas vazões anteriores (15,53 m), mas que apresenta um comportamento bastante irregular com o tempo, demonstrando que outros fenômenos começam a ocorrer no solo, tais como a percolação da água da chuva, mudança da água bruta do manancial ora facilitando, ora dificultando a filtração em margem.

Além da ocorrência dos fenômenos supracitados, houve interrupção do bombeamento, cerca de 24 h, devido à falta de energia elétrica. Os dados deste período foram excluídos dos gráficos, entretanto a paralização do bombeamento repercutiu ainda nos últimos dias de monitoramento, com a diminuição abrupta do rebaixamento (a linha do gráfico ascendeu). Os dados encontram-se no **APÊNDICE E**.

O monitoramento dos rebaixamentos do poço e piezômetros, logo a partir dos primeiros dias de monitoramento, sofreu grande influência também devido a um período chuvoso na região (seguindo o mesmo comportamento da vazão anterior de 5,5 L/s). Mas

além da disponibilidade hídrica subsuperficial ter sido aumentada, a vazão de 6,0 L/s demonstrou ser um valor alto para o bombeamento do poço, pois o seu rebaixamento ficou oscilando provavelmente devido à quantidade que escoou do manancial para o poço ter diminuído e isso também ocorreu nos piezômetros, entretanto com uma amplitude menor, provavelmente por causa do seu distanciamento entre o poço e piezômetros. E a partir desta vazão, pode ser que a contribuição da água subterrânea tenha sido aumentada para a água do poço, podendo isso ser confirmado com o surgimento de outras substâncias na AFM (como por exemplo, fluoreto) quando for apresentado os parâmetros de qualidade de água.

Figura 88 - Rebaixamento do poço e dos piezômetros para Q = 6,0 L/s



Fonte: próprio autor.

A partir desta vazão, observou-se que o fio de sustentação do medidor de nível do piezômetro P4 ficou parecido com o do P2; isto é, a quantidade de ferro oxidado neste ponto aumentou consideravelmente.

#### 5.4.3.5 Vazão de 6,5 L/s (43 Hz)

A Tabela 35 apresenta os dados obtidos quando a vazão do poço foi de 6,5 L/s. Os dados correspondem a média das medidas realizadas.

Tabela 35 - Dados do poço e piezômetros para vazão de 6,5 L/s: níveis médios estático e dinâmico e rebaixamento absoluto

	Nível médio d'água poço (m)	Nível médio d'água P1 (m)	Nível médio d'água P2 (m)	Nível médio d'água P3 (m)	Nível médio d'água P4 (m)
Nível estático (m)	6,941	7,089	7,197	6,962	7,115
Nível dinâmico (m)	-11,075	1,775	2,520	1,818	2,333
<b>Rebaixamento Absoluto (m)</b>	18,02	5,31	4,68	5,14	4,78

NOTA: As cotas são georreferenciadas, em relação ao nível do mar, conforme descrito no item 5.3.5.

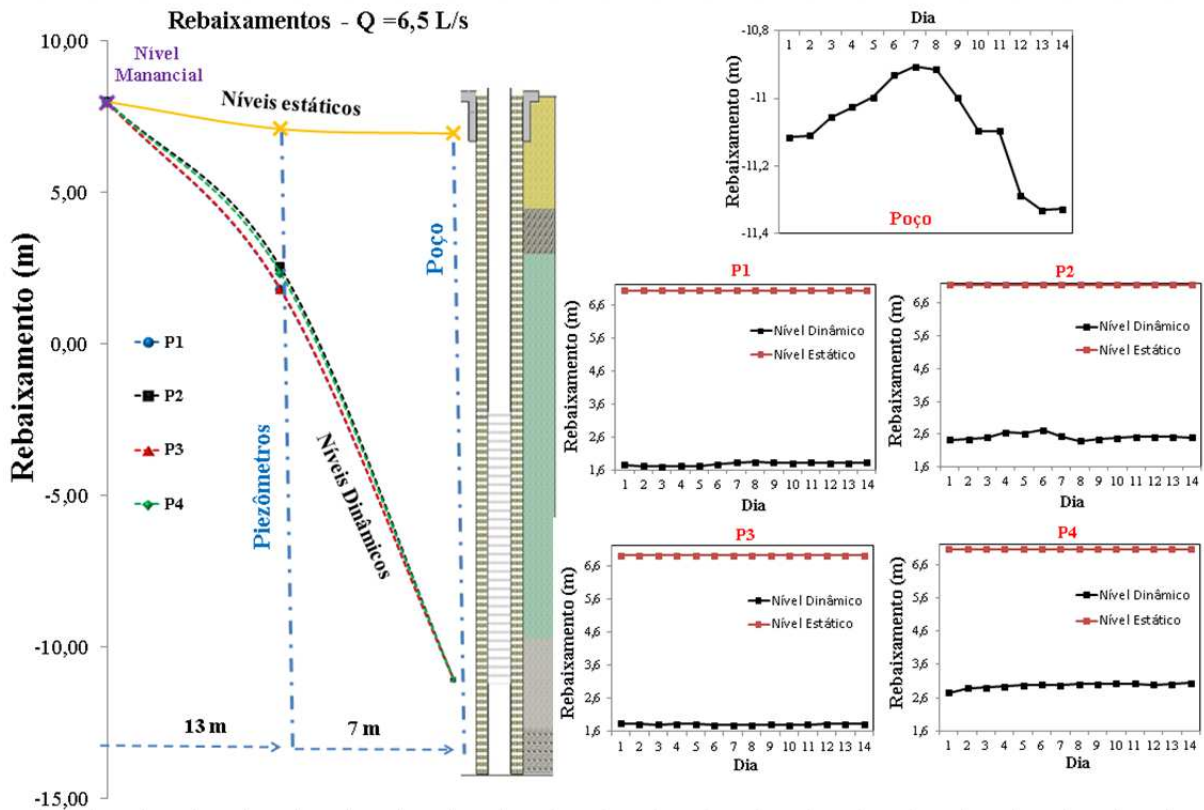
Fonte: próprio autor.

A Figura 89 apresenta graficamente os valores de rebaixamento dos piezômetros para a vazão de 6,5 L/s e da mesma forma que as quatro vazões anteriores, foi possível notar que o P1 obteve maior rebaixamento (seguido do P3), confirmando por fim, que os piezômetros alinhados ao poço contribuem mais para a vazão da água subsuperficial oriunda do açude.

Observa-se um rebaixamento absoluto do poço ainda maior que nas vazões anteriores (18,02 m), mas que apresenta um comportamento bastante irregular com o tempo, demonstrando que outros fenômenos começam a ocorrer no solo. Os dados encontram-se no **APÊNDICE F**.

O monitoramento dos rebaixamentos do poço e piezômetros para esta vazão de 6,5 L/s demonstrou ter sido influenciada por todas as interferências já citadas nas outras vazões menores, tais como: colmatação do ferro, aumento da disponibilidade hídrica devido às chuvas esparsas, aumento da contribuição da água subterrânea. Só que neste momento, por esta vazão já se demonstrar no limiar do bombeamento do poço, tais interferências agiriam em uma velocidade maior, de forma mais preponderante e o comportamento do gráfico do poço na vazão de 6,0 L/s passou para os piezômetros na vazão de 6,5 L/s, demonstrando ser uma situação insustentável em termos de quantidade de água bombeada e provavelmente pela piora da sua qualidade de água, sendo possível sua comprovação nos próximos itens deste trabalho.

Figura 89 - Rebaixamento do poço e dos piezômetros para Q = 6,5 L/s



Fonte: próprio autor.

O rebaixamento absoluto dos poços e piezômetros conforme a vazão aplicada encontra-se na Tabela 36. O comportamento do rebaixamento frente à vazão pode ser mais bem observado na Figura 90.

Tabela 36 - Resumo do rebaixamento absoluto do poço e dos piezômetros com a variação da vazão

Vazão (L/s)	Vazão Específica (m³/h.m)	Rebaixamento (m)				
		Poço	P1	P2	P3	P4
3,6	1,16	11,21	3,49	3,15	2,76	2,98
4,5	1,28	12,65	4,66	3,33	4,39	4,16
5,5	1,41	14,01	4,97	3,75	4,69	4,44
6	1,39	15,53	4,99	4,37	4,71	4,01
6,5	1,30	18,02	5,31	4,68	5,14	4,78

NOTA: As cotas são georreferenciadas, em relação ao nível do mar, conforme descrito no item 5.3.5.

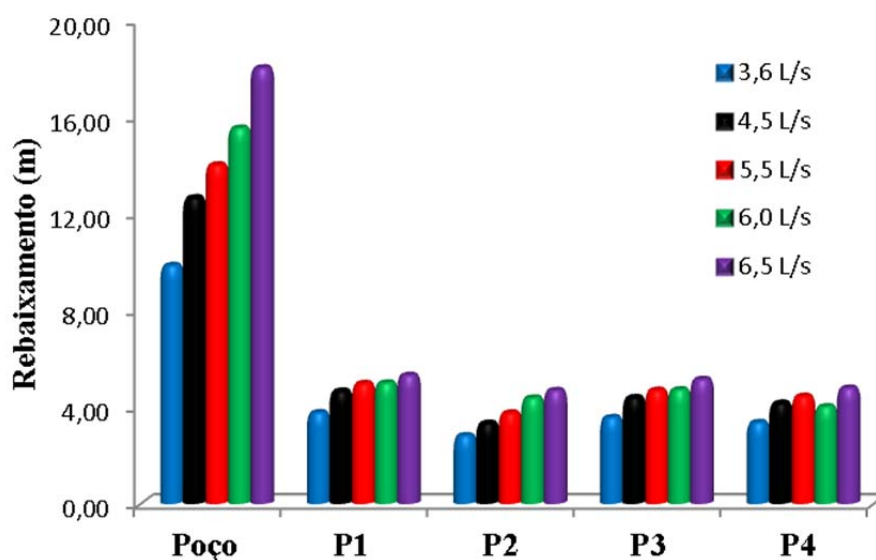
Fonte: próprio autor.

Como pode ser observado, quanto maior a vazão, maior o rebaixamento do poço e piezômetros. O piezômetro P4 apenas apresentou um comportamento distinto na vazão de 6,0



L/s apresentando um rebaixamento menor que na vazão de 5,5 L/s. O piezômetro P1 obteve o maior rebaixamento em todas as vazões; portanto, pode-se dizer que há uma contribuição da FM (fortes indícios), entretanto não é possível afirmar da vazão o quanto representa a parcela que é filtrada pela margem; isto é, a parcela que vem do manancial superficial (ver item 5.4.5). Acredita-se que seja uma parcela bastante significativa da vazão bombeada e a parcela que vem da água subterrânea também existe, conforme o surgimento de substâncias não presentes em vazões menores (ver item 5.4.6).

Figura 90 - Variação do rebaixamento absoluto do poço e dos piezômetros com a vazão aplicada



Fonte: próprio autor.

Com relação à vazão específica, observa-se na Figura 90 que o maior valor (1,41 m<sup>3</sup>/h.m) é para a vazão de 5,5 L/s demonstrando que é a vazão com melhor desempenho em termos de rebaixamento e vazão específica média para este poço foi de 1,31 m<sup>3</sup>/h.m.

Observou-se que o rebaixamento dos piezômetros P2 e P4 (piezômetros laterais ao poço), tiveram os menores valores. Pode-se atrelar este comportamento a quantidade de ferro oxidado encontrado dentro do piezômetro. Logo, esse ferro ficou aderido ao medidor e no fio de sustentação do mesmo (conforme demonstrado na Figura 91).

Os estudos de colmatção química do Capítulo 2, já demonstravam grande presença de ferro no solo de Granja Vargas. A água que percola o solo, por sua vez é fortemente influenciadas pelo tipo de solo do local devido a sua composição geológica. A presença de ferro em águas naturais é bastante comum, já que são constituintes naturais do solo e das rochas, se apresentando em minerais de silicatos sob a forma de diversos óxidos, tais como a



magnetita, hematita, siderita e a limonita, além dos minerais sulfurados como a pirita (MELO *et al.*, 2008).

Figura 91 - Encrustamento com ferro oxidado (ferrugem) no medidor – início (à esquerda) e após meses de medição (à direita)



Fonte: próprio autor.

Nas águas naturais, o ferro é encontrado principalmente sob as formas de bicarbonato ferroso ( $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ ) e sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ), espécies solúveis em água por dissociação, e hidróxido férrico ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) que se apresenta-se em suspensão coloidal (MELO *et al.*, 2008).

Diante de tudo o que foi observado referente aos rebaixamentos, pôde ser confirmado que a influência da AFM nos piezômetros das laterais (P2 e P4) é menor, favorecendo o aumento da parcela da água subterrânea e conseqüentemente a presença de ferro, agravando assim a colmatação química pela oxidação do mesmo.

O maior rebaixamento do poço foi na vazão de 6,5 L/s e seu valor absoluto foi de 18,02 m. Por outro lado, como já informado anteriormente, há cerca de 25 m de profundidade até se chegar na crista da bomba submersa; isto é, 25 m úteis para o rebaixamento. Não se sabe ao certo o porquê do aparecimento de início de cavitação com este rebaixamento, tendo em vista que havia ainda praticamente 7 m úteis de coluna d'água dentro do poço. Provavelmente, decorrente desta oscilação, a bomba succionava ar atmosférico juntamente com a massa líquida disponível, demonstrando indícios de cavitação. Por outro lado, como a vazão bombeada não foi comprometida, através de sua verificação, o valor de 6,5 demonstrou-se ainda sustentável, entretanto no limite.

Observou-se que a oscilação do nível dinâmico foi decorrente ao pequeno volume disponível dentro do poço; isto é, entre a tubulação de recalque e a tubulação do poço (tubo geomecânico), o que gera um volume em torno de 150 L, sendo o mesmo succionado em apenas alguns segundos de bombeamento (cerca de 20 s).

Por consequência, desse volume disponível ser muito pequeno para sucção dentro do poço, a capacidade instantânea de recarga da AFM acaba sendo prejudicada, uma vez que o tempo necessário para encher novamente o poço; isto é, sua recarga, é provavelmente maior que 20 s. Como evidência, foi possível escutar ruído de turbulência na abertura onde se inseria o medidor eletrônico no poço, demonstrando que o nível d'água no poço para esta vazão oscilava bastante, provavelmente dos 18 m até próximo dos 25 m de profundidade.

Desse modo, a vazão é considerada sustentável a partir do procedimento da norma ABNT NBR 12.212 foi de 4,17 L/s e a vazão máxima, a partir do monitoramento do rebaixamento do poço, foi de 6,5 L/s devido à utilização da técnica de FM. Isto demonstra que foi possível bombear uma vazão superior em 55% ao valor obtido pelo procedimento da norma ABNT NBR 12.212. Esse incremento na vazão é bastante relevante, tendo em vista que conhecer a vazão máxima suportável na prática, possibilita usufruir toda a capacidade da técnica, podendo utilizar essa informação em uma segunda perfuração, em uma futura ampliação do sistema.

#### 5.4.4 Qualidade da água filtrada em margem (AFM) em função da vazão de produção

As primeiras análises da água para fins de qualidade foram realizadas pelo Departamento de Ensaio e Apoio Laboratorial da Corsan (DEAL, Relatório de Ensaio nº 6061/19) foram realizadas após o término da construção do poço e da instalação do sistema de bombeamento. Internamente na empresa, existe uma listagem pré-estabelecida dos parâmetros a serem analisados para este tipo de água. Na Tabela 37 são apresentados os parâmetros analisados assim como seus respectivos resultados, método e valor máximo permitido (VMP), de acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 5/2017 - Ministério da Saúde, considerada como a legislação nacional vigente. De acordo com o VMP, observa-se que os valores de Cor, Turbidez, Ferro Total e Manganês estão acima do valor permitido.

Tabela 37 - Análise preliminar da água do poço realizada pela Corsan

Parâmetro	Resultado	Unidade	Método	VMP
Alcalinidade	323	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Titulométrico / SMEWW - 2320 B	-

Parâmetro	Resultado	Unidade	Método	VMP
Alumínio total	ND	mg/L Al	Espectrometria de Emissão por Plasma /SMEWW - 3120 B	0,2
Nitrogênio Total	1,4	mg/L N	Espectrofotométrico / SMEWW - 18 ed	-
Cloretos	33,8	mg/L Cl <sup>-</sup>	Cromatográfico / EPA - 300.1	250
Condutividade elétrica	684	μS/cm 25°C	Condutivimétrico / SMEWW - 2510 B	-
STD	514	mg/L	Gravimétrico / SMEWW - 2540 C	1000
Cor	151,6	mg/L Pt-Co	Fotométrico / DIN EN ISO - 6271-1	15
Dureza total	169,8	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Calculado / SMEWW - 2340-B	500
Ferro Total	5,5	mg/L Fe	Espectrometria de Emissão por Plasma /SMEWW - 3120 B	0,3
Fluoreto	ND	mg/L F <sup>-</sup>	Cromatográfico / EPA - 300.1	1,5
Manganês total	0,818	mg/L Mn	Espectrometria de Emissão por Plasma /SMEWW - 3120 B	0,1
pH	7,2	-	Eletrométrico / NBR - 14339	9,5
Sódio total	64	mg/L Na	Espectrometria de Emissão por Plasma /SMEWW - 3120 B	200
Turbidez	10	uT	Nefelométrico / SMEWW - 2130 B	1*

VMP – Valor máximo permitido de acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação N° 5/2017 do Ministério da Saúde; ND- não detectado; STD- sólidos totais dissolvidos; COT – carbono orgânico total; OD- oxigênio dissolvido; NMP – número mais provável; uT – Unidade de turbidez; \* - pré-desinfecção.

Fonte: DEAL - Relatório de Ensaio n° 6061/19

Salienta-se que o sistema de FM ainda não estava sendo monitorado quando realizadas as análises da Tabela 37, que foram realizadas logo após perfuração do poço, portanto, a qualidade desta água está mais ligada à água do rebaixamento do lençol freático do que a água filtrada em margem oriunda do manancial (Açude dos Felicianos). Estes valores servem para se ter noção do que existe normalmente nesta água.

Nos itens subsequentes serão demonstrados os resultados de qualidade da AFM com a variação da vazão. Vale salientar que a FM servirá no pré-tratamento e não como tratamento final. A água do poço ainda terá que ser submetida ao tratamento da ETA existente, devido à sua qualidade estar fora dos padrões de qualidade de água exigidos.

#### 5.4.4.1 Monitoramento da qualidade da água para vazão de 3,6 L/s e 83 dias de operação

O monitoramento da qualidade d'água na vazão de 3,6 L/s foi realizado num período de 83 dias de maneira contínua. Foi possível analisar 56 amostras de água bruta (AB) e de água filtrada em margem (AFM).

O resumo destas análises será apresentado a seguir, cujos valores correspondem à média aritmética para cada parâmetro e seu respectivo desvio padrão, tanto para AB quanto a

AFM, conforme Tabela 38. Observa-se que na vazão de 3,6 L/s, houve incremento de alumínio total, acima do VMP e o aumento de 3,5 vezes na concentração de Ferro total, cuja concentração na AB já se encontrava acima do VMP. Provavelmente, ambos os metais estão em grande quantidade no solo foram transferidos para AFM. A discussão deste parâmetro será discutido nos próximos itens deste capítulo.

Por outro lado, observa-se remoção de 94,7% da turbidez e 100,0% dos contaminantes biológicos. Apesar da remoção de 65,3% da cor aparente com a FM, o resultado na AFM ainda se encontra acima do VMP, devido à baixa qualidade da água bruta do manancial. A remoção deste parâmetro está associada quase que em sua totalidade ao material não dissolvido (material suspenso), visto que a cor verdadeira é praticamente o mesmo valor da cor aparente. Os dados das análises encontram-se no **APÊNDICE G**.

Tabela 38 - Monitoramento da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) na vazão de 3,6 L/s

Parâmetro	Unidade	Média AB ± Desvio padrão	Média AFM ± Desvio padrão	VMP
Alcalinidade	mg CaCO <sub>3</sub> /L	9,91 ± 0,29	278,48 ± 7,22	-
Alumínio total	mg/L Al	ND	0,71 ± 0,06	0,2
Cloretos	mg/L Cl <sup>-</sup>	ND	61,00 ± 9,07	250
Coliformes totais	NMP/100 mL	2057,72 ± 763,05	A	A
<i>E. Coli</i>	NMP/100 mL	52,32 ± 49,84	A	A
Condutividade elétrica	µS/cm	98,09 ± 6,24	609,98 ± 7,84	-
STD	mg/L	51,82 ± 4,82	310,09 ± 8,69	1000
Cor verdadeira	uH	59,20 ± 2,98	54,54 ± 2,57	-
Cor aparente	uH	170,30 ± 27,73	58,93 ± 3,78	15
COT	mg/L	12,28 ± 4,72	15,15 ± 3,84	-
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	41,25 ± 2,71	178,50 ± 7,36	500
Ferro Total	mg/L Fe	1,40 ± 0,18	4,93 ± 0,78	0,3
Fluoreto	mg/L F <sup>-</sup>	ND	0,31 ± 0,10	1,5
Manganês total	mg/L Mn	0,04 ± 0,02	0,36 ± 0,12	0,1
OD	mg/L O <sub>2</sub>	8,75 ± 0,36	6,76 ± 0,49	-
pH	-	6,56 ± 0,19	6,46 ± 0,11	6,0 a 9,5
Temperatura	°C	25,88 ± 1,87	23,28 ± 1,43	-
Turbidez	uT	20,08 ± 7,53	1,07 ± 0,55	1*

VMP – Valor máximo permitido de acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação N° 5/2017 do Ministério da Saúde; ND- não detectado; A- Ausente; STD- sólidos totais dissolvidos; COT – carbono orgânico total; OD- oxigênio dissolvido; NMP – número mais provável; uT – Unidade de turbidez; uH – unidade de Hazen (mg/L Pt-Co); \* - pré-desinfecção.

Fonte: próprio autor.

#### 5.4.4.2 Monitoramento da qualidade da água para vazão de 4,5 L/s e 21 dias de operação

O monitoramento para esta vazão foi para um período de pelo menos 21 dias de maneira contínua sendo possível coletar e analisar 14 amostras de água bruta (AB) e de água filtrada em margem (AFM).

O aumento de certos metais na AFM em vazões maiores indica que sua disponibilidade é diretamente proporcional à vazão. O aumento dos sólidos totais dissolvidos traz uma maior condutividade elétrica devido ao aumento de elétrons disponíveis em meio aquoso. A redução de oxigênio dissolvido favorece a alteração das condições redox e seus processos associados, pela situação dinâmica da água subsuperficial instaurada neste subsolo. O aumento da vazão pode contribuir para aceleração destes processos e a inter-relação entre estes parâmetros, provavelmente fazendo com que certos parâmetros tenham uma remoção menor (cor, turbidez) e o aumento do incremento de outras (fluoreto, cloreto, dureza, alcalinidade, ferro, manganês), haja vista que a lixiviação ocorre de forma mais acentuada com uma maior contribuição do aquífero.

O resumo destas análises baseados nos valores de média aritmética para cada parâmetro e seu respectivo desvio padrão, tanto para AB quanto a AFM, conforme Tabela 39. Observa-se que na vazão de 4,5 L/s, também houve incremento de alumínio total, acima do VMP e o aumento de 2,8 vezes na concentração de Ferro total, um pouco menos que na vazão anterior. Por outro lado, observa-se remoção de 98,9% da turbidez e 100,0% dos contaminantes biológicos. Apesar da remoção de 65,3% da cor aparente com a FM (mesma porcentagem obtida na vazão de 3,6 L/s), o resultado na AFM ainda se encontra acima do VMP, devido à baixa qualidade da água bruta. Os dados das análises estão no **APÊNDICE H**.

Observa-se que para esse período de monitoramento, a água bruta (manancial superficial) apresentou uma grande variação em sua qualidade em termos de turbidez ( $31,7 \pm 21,50$  uT) e a AFM demonstrou estável com turbidez média inferior a 1 uT.

Tabela 39 - Monitoramento da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) na vazão de 4,5 L/s

Parâmetro	Unidade	Média AB ± Desvio padrão	Média AFM ± Desvio padrão	VMP
Alcalinidade	mg CaCO <sub>3</sub> /L	10 ± 0,38	297 ± 4,22	-
Alumínio total	mg/L Al	ND	0,67 ± 0,06	0,2
Cloretos	mg/L Cl <sup>-</sup>	ND	51 ± 17,01	250
Coliformes totais	NMP/100 mL	2420	A	A
<i>E. Coli</i>	NMP/100 mL	180 ± 233,35	A	A

Parâmetro	Unidade	Média AB ± Desvio padrão	Média AFM ± Desvio padrão	VMP
Condutividade elétrica	µS/cm	96 ± 1,63	614 ± 14,98	-
STD	mg/L	49 ± 2,76	307 ± 6,40	1000
Cor verdadeira	uH	68 ± 3,54	58 ± 3,54	-
Cor aparente	uH	176 ± 67,12	61 ± 9,97	15
COT	mg/L	12,9 ± 0,71	13,6 ± 0,99	-
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	30 ± 1,63	187 ± 7,23	500
Ferro Total	mg/L Fe	1,67 ± 0,31	4,66 ± 1,01	0,3
Fluoreto	mg/L F <sup>-</sup>	ND	0,29 ± 0,04	1,5
Manganês total	mg/L Mn	0,08 ± 0,03	0,23 ± 0,09	0,1
Oxigênio Dissolvido	mg/L O <sub>2</sub>	8,48 ± 0,29	8,42 ± 0,64	-
pH	-	6,60 ± 0,26	6,58 ± 0,27	6,0 a 9,5
Temperatura	°C	19,5 ± 1,92	21,16 ± 1,09	-
Turbidez	uT	31,7 ± 21,50	0,98 ± 0,46	1*

VMP – Valor máximo permitido de acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 5/2017 do Ministério da Saúde; ND- não detectado; A- Ausente; STD- sólidos totais dissolvidos; COT – carbono orgânico total; OD- oxigênio dissolvido; NMP – número mais provável; uT – Unidade de turbidez; uH – unidade de Hazen (mg/L Pt-Co); \* - pré-desinfecção.

Fonte: próprio autor.

#### 5.4.4.3 Monitoramento da qualidade da água para vazão de 5,5 L/s e 21 dias de operação

O monitoramento para esta vazão foi para um período de pelo menos 21 dias de maneira contínua e foi possível coletar e analisar 9 amostras de água bruta (AB) e de água filtrada em margem (AFM).

O resumo destas análises será apresentado a seguir com os valores de média aritmética para cada parâmetro e seu respectivo desvio padrão, tanto para AB quanto a AF, conforme Tabela 40. Observa-se que na vazão de 5,5 L/s, também houve aparecimento de alumínio total, acima do VMP e o aumento de 4 vezes na concentração de Ferro total, um valor ainda maior que nas vazões anteriores. Por outro lado, observa-se remoção de 95,4% da turbidez e 100,0% dos contaminantes biológicos. Apesar da remoção de 54,5% da cor aparente com a FM, o resultado na AFM ainda se encontra acima do VMP, devido à baixa qualidade da água bruta. Nesta vazão, a remoção da cor aparente e turbidez foram menores que nas vazões anteriores, provavelmente devido ao arraste de MO contida no solo local. Os dados das análises estão no **APÊNDICE I**.

Tabela 40 - Monitoramento da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) na vazão de 5,5 L/s

Parâmetro	Unidade	Média AB ± Desvio padrão	Média AFM ± Desvio padrão	VMP
Alcalinidade	mg CaCO <sub>3</sub> /L	10,11 ± 0,33	279,00 ± 28,50	-
Alumínio total	mg/L Al	ND	0,65 ± 0,07	0,2
Cloretos	mg/L Cl <sup>-</sup>	ND	39,50 ± 0,71	250
Coliformes totais	NMP/100 mL	1913,80 ± 715,31	A	A
<i>E. Coli</i>	NMP/100 mL	19,25 ± 13,08	A	A
Condutividade elétrica	µS/cm	98,44 ± 4,10	620,11 ± 11,73	-
STD	mg/L	49,67 ± 1,32	312,22 ± 5,91	1000
Cor verdadeira	uH	56,25 ± 8,35	54,38 ± 1,77	-
Cor aparente	uH	123,33 ± 24,49	56,11 ± 5,46	15
COT	mg/L	13,00 ± 1,84	16,25 ± 5,16	-
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	35,78 ± 5,67	205,67 ± 17,13	500
Ferro Total	mg/L Fe	0,89 ± 0,34	3,55 ± 1,34	0,3
Fluoreto	mg/L F <sup>-</sup>	ND	0,27 ± 0,03	1,5
Manganês total	mg/L Mn	0,03 ± 0,01	0,53 ± 0,17	0,1
Oxigênio Dissolvido	mg/L O <sub>2</sub>	8,37 ± 0,59	7,29 ± 1,21	-
pH	-	6,90 ± 0,47	6,66 ± 0,16	6,0 a 9,5
Temperatura	°C	21,54 ± 1,82	21,59 ± 1,32	-
Turbidez	uT	25,70 ± 13,56	1,17 ± 0,49	1*

VMP – Valor máximo permitido de acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 5/2017 do Ministério da Saúde; ND - não detectado; A- Ausente; STD- sólidos totais dissolvidos; COT – carbono orgânico total; OD- oxigênio dissolvido; NMP – número mais provável; uT – Unidade de turbidez; uH – unidade de Hazen (mg/L Pt-Co); \* - pré-desinfecção.

Fonte: próprio autor.

#### 5.4.4.4 Monitoramento da qualidade da água para vazão de 6,0L/s e 33 dias de operação

O monitoramento para esta vazão foi para um período de pelo menos 33 dias de maneira contínua e foi possível coletar e analisar 23 amostras de água bruta (AB) e de água filtrada em margem (AFM).

O resumo destas análises será apresentado a seguir com os valores de média aritmética para cada parâmetro e seu respectivo desvio padrão, tanto para AB quanto a AF, conforme Tabela 41. Observa-se que na vazão de 6,0 L/s, também houve aparecimento de alumínio total, acima do VMP e o aumento de 3 vezes na concentração de Ferro total. Por outro lado, observa-se remoção de 70,0% da turbidez e 100,0% dos contaminantes biológicos. Apesar da remoção de 54% da cor aparente com a FM, o resultado na AFM ainda se encontra acima do VMP, devido à baixa qualidade da água bruta. Nesta vazão, a remoção de 70,0% da turbidez, devido à baixa qualidade da AB (turbidez elevada), a turbidez na AFM ficou acima do VMP. A velocidade do escoamento no solo aumentou consideravelmente, aumentando o

arraste de partículas e por consequência a turbidez na AFM. Os dados das análises estão no **APÊNDICE J**.

Tabela 41 - Monitoramento da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) na vazão de 6,0 L/s

Parâmetro	Unidade	Média AB ± Desvio padrão	Média AFM ± Desvio padrão	VMP
Alcalinidade	mg CaCO <sub>3</sub> /L	10 ± 0,58	273 ± 10,20	-
Alumínio total	mg/L Al	ND	0,68 ± 0,09	0,2
Cloretos	mg/L Cl <sup>-</sup>	ND	56 ± 7,31	250
Coliformes totais	NMP/100 mL	1035 ± 238	A	A
<i>E. Coli</i>	NMP/100 mL	67 ± 108	A	A
Condutividade elétrica	µS/cm	97 ± 2	612 ± 10	-
STD	mg/L	52 ± 3	310 ± 10	1000
Cor verdadeira	uH	54 ± 5	58 ± 17	-
Cor aparente	uH	143 ± 27	66 ± 20	15
COT	mg/L	9,74 ± 5,01	13,85 ± 6,38	-
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	42 ± 2	173 ± 11	500
Ferro Total	mg/L Fe	1,85 ± 2	5,57 ± 0,76	0,3
Fluoreto	mg/L F <sup>-</sup>	ND	0,46 ± 0,77	1,5
Manganês total	mg/L Mn	0,04 ± 0,01	0,35 ± 0,05	0,1
Oxigênio Dissolvido	mg/L O <sub>2</sub>	8,50 ± 0,15	6,61 ± 0,17	-
pH	-	6,52 ± 0,13	6,51 ± 0,10	6,0 a 9,5
Temperatura	°C	22,8 ± 1,5	22,9 ± 1,3	-
Turbidez	uT	33,63 ± 22,97	10,08 ± 4,65	1*

VMP – Valor máximo permitido de acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 5/2017 do Ministério da Saúde; ND - não detectado; A- Ausente; STD- sólidos totais dissolvidos; COT – carbono orgânico total; OD- oxigênio dissolvido; NMP – número mais provável; uT– Unidade de turbidez; uH – unidade de Hazen (mg/L Pt-Co); \* - pré-desinfecção.

Fonte: próprio autor.

#### 5.4.4.5 Monitoramento da qualidade da água para vazão de 6,5 L/s e 21 dias de operação

O monitoramento para esta vazão foi para um período de pelo menos 21 dias de maneira contínua e foi possível coletar e analisar 11 amostras de água bruta (AB) e de água filtrada (AF). O resumo destas análises será apresentado a seguir com os valores de média aritmética para cada parâmetro e seu respectivo desvio padrão, tanto para AB quanto a AF, conforme Tabela 42, pode-se observar que, na vazão de 6,5 L/s, também houve aparecimento de alumínio total, acima do VMP e o aumento de 4 vezes na concentração de Ferro total, que já se encontrava acima do VMP na AB. Por outro lado, observa-se remoção de 59,9% da turbidez e 100,0% dos contaminantes biológicos. Apesar da remoção de 45,2% da cor aparente e de 59,9% da turbidez com a FM, ambos os resultados na AFM ainda se encontram



acima do VMP, devido à baixa qualidade da água bruta. Os dados das análises estão no APÊNDICE K.

Tabela 42 - Monitoramento da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) na vazão de 6,5 L/s

Parâmetro	Unidade	Média AB ± Desvio padrão	Média AFM ± Desvio padrão	VMP
	mg CaCO <sub>3</sub> /L	9,82 ± 0,40	276,36 ± 33,39	-
<b>Alumínio total</b>	mg/L Al	ND	0,80 ± 0,07	0,2
<b>Cloretos</b>	mg/L Cl <sup>-</sup>	ND	59,67 ± 10,41	250
<b>Coliformes totais</b>	NMP/100 mL	777,60 ± 379,86	A	A
<b>E. Coli</b>	NMP/100 mL	75,70 ± 95,18	A	A
<b>Condutividade elétrica</b>	µS/cm 25°C	98,73 ± 5,39	628,55 ± 26,49	-
<b>STD</b>	mg/L	53,09 ± 4,91	325,73 ± 25,07	1000
<b>Cor verdadeira</b>	uH	53,73 ± 7,40	54,45 ± 8,47	-
<b>Cor aparente</b>	uH	153,27 ± 25,71	84,00 ± 33,78	15
<b>COT</b>	mg/L	11,65 ± 0,92	13,85 ± 1,06	-
<b>Dureza</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	40,40 ± 0,84	200,00 ± 12,47	500
<b>Ferro Total</b>	mg/L Fe	1,37 ± 0,25	5,40 ± 0,82	0,3
<b>Fluoreto</b>	mg/L F <sup>-</sup>	ND	0,42 ± 0,13	1,5
<b>Manganês total</b>	mg/L Mn	0,04 ± 0,03	0,28 ± 0,26	0,1
<b>Oxigênio Dissolvido</b>	mg/L O <sub>2</sub>	7,13 ± 1,92	6,07 ± 1,94	-
<b>pH</b>	-	6,72 ± 0,38	6,53 ± 0,10	6,0 a 9,5
<b>Temperatura</b>	°C	21,46 ± 2,60	21,92 ± 2,06	-
<b>Turbidez</b>	uT	25,85 ± 14,31	10,37 ± 3,83	1*

VMP – Valor máximo permitido de acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 5/2017 do Ministério da Saúde; ND - não detectado; A- Ausente; STD- sólidos totais dissolvidos; COT – carbono orgânico total; OD- oxigênio dissolvido; NMP – número mais provável; uT – Unidade de turbidez; uH – unidade de Hazen (mg/L Pt-Co); \* - pré-desinfecção.

Fonte: próprio autor.

#### 5.4.5 Avaliação da parcela de contribuição da FM

Para confirmação da contribuição da FM e sua porcentagem é necessário se ter informações detalhadas da qualidade de água do manancial, do poço de produção e do aquífero (através de poços profundos de monitoramento, piezômetros). Ghodeif *et al.* (2016) estudaram a utilização de traçadores para confirmação da FM e as parcelas de contribuição (FM x aquífero). Foi avaliado a FM no rio Nilo (Egito) em diferentes pontos e através de análises qualitativas detalhadas, conseguiu-se afirmar que a contribuição da FM foi maior que 50%. Nessa investigação, foram utilizados parâmetros físico-químicos para serem utilizados como traçadores (condutividade elétrica, cloretos e estrôncio).

Nesta pesquisa, como não era objetivo estudar tais contribuições, buscou-se dados obtidos nos ensaios/monitoramentos realizados para servir como traçador e trazer indícios da FM, a fim de subsidiar a avaliação de sua parcela de contribuição.

Para tanto, utilizou-se como traçador um parâmetro físico, neste caso, a temperatura média do manancial, piezômetros e poço de produção. As temperaturas da água dos piezômetros e poço de produção foram extraídas das sondas (medidores de nível, *leveloggers*) durante o monitoramento do rebaixamento do poço e piezômetros, para cada vazão avaliada. As temperaturas das amostras de AFM e manancial, podem variar um pouco dos valores aqui apresentados, pois são temperaturas medidas em horários diferentes por outros instrumentos. As temperaturas apresentadas nas tabelas de qualidade de água foram medidas durante as coletas de amostras para os ensaios laboratoriais.

A Tabela 43 apresenta os dados de temperatura média da água no manancial, poço de produção e piezômetros (P1, P2, P3 e P4) nas diferentes vazões avaliadas.

Tabela 43 - Monitoramento da temperatura da água no manancial, poço de produção e piezômetros, nas diferentes vazões avaliadas

Temperatura (°C)						
Vazão (L/s)	Manancial	Poço	P1	P2	P3	P4
0,0	23,38	21,24	20,96	21,49	21,25	21,50
3,6	24,84	22,22	21,79	20,98	21,19	21,36
4,5	23,58	22,16	21,66	20,83	21,12	21,37
5,5	23,75	22,14	21,64	20,89	21,03	21,44
6,0	23,83	22,11	21,71	21,20	20,94	21,62
6,5	23,46	22,10	21,64	21,07	20,98	21,55

**Nota:** A temperatura do manancial, para cada vazão, foi calculada a média do mês de referência, a partir dos boletins da ETA.

Fonte: próprio autor.

A partir da apresentação desses valores, observa-se que para toda vazão estudada, a temperatura média da água do poço aumentou em relação ao valor estático (sem bombeamento) e aos demais piezômetros, aproximando-se do valor da temperatura da água do manancial. Isto denota que há indícios consistentes de que FM estava acontecendo e de maneira bastante significativa. O P1, por estar no alinhamento entre manancial e poço de produção, sofreu aumento de sua temperatura em relação aos demais piezômetros, entretanto seus valores foram inferiores aos do poço.

Além disso, com o aumento da vazão, provavelmente as parcelas de contribuição da filtração em margem e aquífero foram alteradas. Não é possível afirmar qual parcela aumentou e qual diminuiu pelas informações levantadas.

Salienta-se que, para se afirmar valores de parcelas de contribuição, seria necessária uma análise mais minuciosa levando em consideração a variação da temperatura ao longo do tempo de cada monitoramento, instalação de piezômetros mais profundos e checagem dos valores obtidos automaticamente para descarte da influencia de algum problema operacional.

#### **5.4.6 Avaliação dos parâmetros de qualidade da AFM frente às diferentes vazões aplicadas**

A partir da apresentação do monitoramento de cada vazão, observou-se que alguns parâmetros se alteravam de acordo com a variação da vazão; isto é, sua concentração se alterava com o aumento da vazão. Isto ficou mais evidenciado nos seguintes parâmetros: turbidez, fluoretos, cloretos, cor aparente e cor verdadeira. Desta forma elaborou-se um gráfico para cada parâmetro a fim de comparar melhor os resultados.

Praticamente toda literatura, trazida neste trabalho que subsidia a técnica, estudou a FM no âmbito de sua eficiência referente à qualidade de água, não levando em consideração a variação da vazão. Na pesquisa de Esquivel (2012), foram avaliadas algumas vazões, mas não com este propósito de avaliar a qualidade da AFM em relação às diferentes vazões aplicadas. A variação da vazão traz um novo cenário, pois tentará esclarecer qual sua influência na qualidade da água e suas implicações quando a FM for aplicada em uma situação real para abastecimento público, uma vez que a demanda da rede varia, além do mais em região litorânea, por apresentar população flutuante nos meses de verão (caso de Granja Vargas).

Os parâmetros de cor e turbidez são bastante influenciados na variação da vazão, como pôde ser observado no decorrer dos itens anteriores, pois com o aumento da vazão, o tempo de viagem da água entre manancial e poço de produção diminui fazendo com que a velocidade dos processos que ali ocorrem (no subsolo) aumentem consideravelmente (SENS *et al.*, 2006). A redução na remoção de turbidez e cor aparente geralmente está ligada a aplicação de grandes taxas de infiltração (RAY e GRISCHEK, 2009) podendo neste caso ser atribuída esta consequência ao aumento da vazão, pois existe uma maior tendência de carreamento de partículas em suspensão. Ambos autores supracitados não estudaram a

qualidade da AFM correlacionando com a variação da vazão, inclusive com o aumento de Fe e Mn.

No mesmo sentido, com o aumento da vazão, poderá haver um aumento na parcela d'água proveniente do aquífero, sendo ela uma água filtrada em margem “mais antiga” que aquela nas camadas mais superficiais de solo, proporcionando certas substâncias a se concentrarem ao longo do tempo (BOUWER, 2002), podendo ser liberadas em menor ou maior quantidade, dependendo das condições redox daquele momento. As substâncias como fluoretos e cloretos, geralmente encontradas em águas de poços mais profundos sem utilização da técnica de FM (SENS *et al.*, 2006), quando houver um aumento considerável na vazão, tais substâncias poderão aparecer na AFM sem antes serem percebidas, por não apresentarem valores relevantes. E portanto, podendo a AFM necessitar de tratamento complementar (HISCOCK e GRISCHEK 2002).

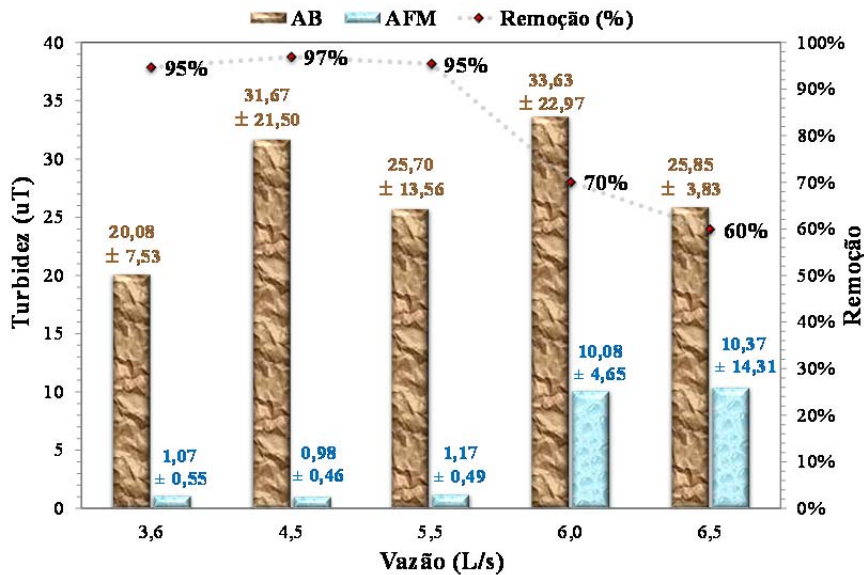
#### 5.4.6.1 Turbidez em função da vazão aplicada

Do ponto de vista sanitário, a turbidez, por si só, não é um problema, pois ela indica a presença de materiais suspensos. Contudo, esse material em suspensão pode servir de abrigo a micro-organismos e afetar o processo de desinfecção (SPERLING, 1996). Sendo assim, o Ministério da Saúde, por meio do Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 5 (MS, 2017), atribui o valor máximo permitido (VMP) para turbidez, de 1 uT. Salienta-se que existem 2 valores a serem considerados para a turbidez: 1 ou 0,5, a depender do tratamento utilizado na pré-desinfecção. O valor de 5 uT é na rede, depois que a água já tenha residual de desinfetante.

A Figura 92 demonstra o comportamento da turbidez na AB e AFM com a variação da vazão aplicada ao poço e a porcentagem de remoção em cada vazão. Ainda, nota-se aparentemente uma variação não muito expressiva na turbidez da AB (entre 20 e 34 uT, em média), entretanto quando se observa o seu desvio padrão, verifica-se que esta variação é com certeza expressiva sendo esses valores acima do VMP e uma variação significativa na sua remoção conforme se variou a vazão do poço: quanto maior a vazão, menor a remoção de turbidez, sendo que a partir de 6,0 L/s, a remoção diminui de 25 a 35 %. Entre 3,6 e 5,5 L/s, a remoção é maior que 95 % em média, sendo a maior remoção na vazão de 4,5 L/s. Observa-se que a turbidez para a AFM, especialmente para a vazão de 4,5 L/s, é bem estável, mesmo com uma grande variação da água bruta. Premissa confirmada para o uso da técnica em situações com grande variabilidade da água bruta (SENS *et al.*, 2006).

A melhora na qualidade da AFM é citada na literatura por diversos pesquisadores (DASH, 2008; FREITAS, 2010; GUEDES, 2018; SCHUBERT, 2001; SHAMRUKH e ABDEL-WAHAB, 2008; VERAS, 2011). Dash (DASH, 2008), por exemplo, obteve remoção de turbidez (95%) em um sistema de FM na Índia.

Figura 92 - Comportamento do parâmetro turbidez na AB e AFM em função da variação da vazão



Fonte: próprio autor.

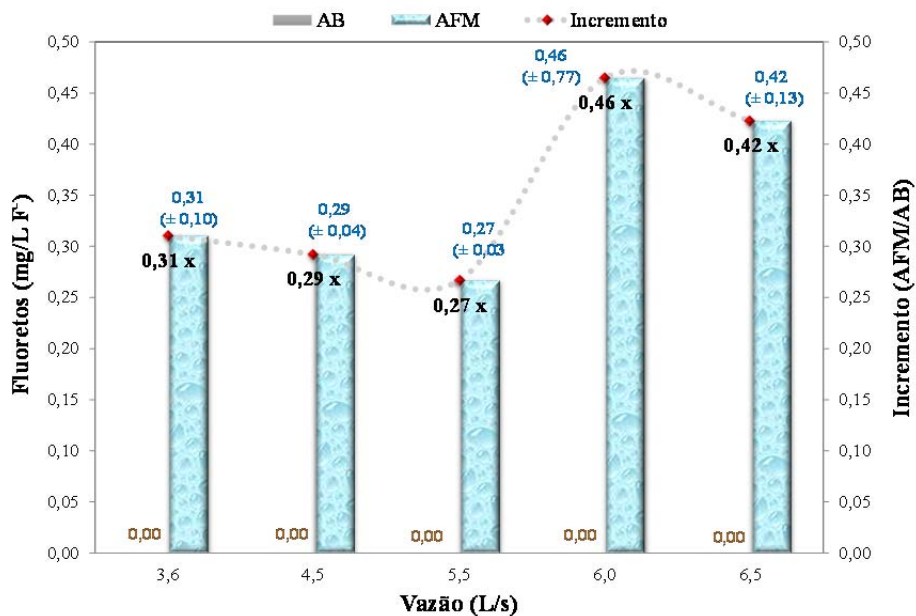
Isso demonstra que, apesar de uma maior vazão aumentar a quantidade da água produzida por FM (observada pelos valores de rebaixamento absolutos já apresentados), a qualidade da água frente à turbidez diminui consideravelmente. Nesse sentido, uma vazão maior, também carrega consigo uma quantidade maior de MO que está contida no solo e na própria água bruta, ou seja, a FM, tem sua eficiência diminuída. A quantidade de COT na AB é em média 12,5 mg/L, valor acima do que é preconizado pela literatura para a técnica (RAY e GRISCHEK, 2009). O valor de COT para a AFM aumenta para qualquer valor de vazão estudada, isso mostra que a FM além de não influenciar ou influenciar muito pouco na remoção deste parâmetro ainda ocorre um incremento proveniente do solo, da parcela d'água que vem do aquífero, não demonstrando relação com o aumento da vazão (ESQUIVEL, 2012), pois o maior valor de COT (16,25 mg/L) foi para a vazão de 5,5 L/s.

#### 5.4.6.2 Fluoretos em função da vazão aplicada

A Figura 93 demonstra o comportamento de Fluoretos na AFM com a variação da vazão aplicada ao poço. Este parâmetro não foi encontrado na AB, portanto, houve o aparecimento de cerca de 0,3 mg/L entre a vazão de 3,6 e 5,5 L/s. Quando a vazão aumenta, este valor chega a valores próximos a 0,5 mg/L, valores estes, dentro do VMP da Legislação vigente para água de consumo humano (1,5 mg/L). Nesse caso, é provável que a concentração de fluoretos é diretamente proporcional a vazão. O fato é que este material está sendo carregado para o poço, podendo ser proveniente do próprio sedimento do solo ou da água subterrânea.

O estudo de Hypolito *et al.* (2010) cita que é mais provável que a presença de íons fluoretos seja de águas subterrâneas do(s) aquífero(s), por estar relacionada à uma questão hidrogeológica, podendo ser considerada uma anomalia natural do mesmo. Pois a liberação de íons fluoreto à água requer condições alcalinas com elevados conteúdos de OH<sup>-</sup> e pH superior a 7,5, situação esta não encontrada na água do poço de produção (a AFM variou entre 6,46 e 6,66). Para se afirmar sua origem, teria que ter mais dados do solo na profundidade do poço para este parâmetro e da qualidade da água do aquífero, com piezômetros profundos.

Figura 93 - Comportamento do parâmetro Fluoretos na AFM em função da variação da vazão



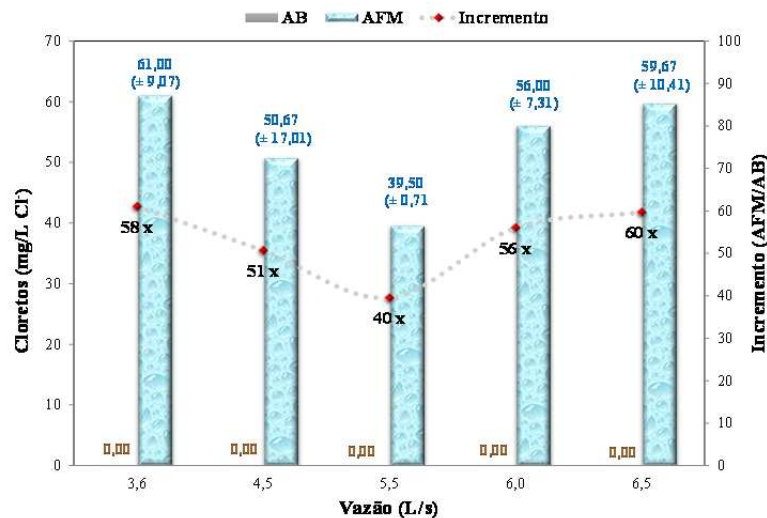
Fonte: próprio autor.

### 5.4.6.3 Cloretos em função da vazão aplicada

A Figura 94 demonstra o comportamento de Cloretos na AFM com a variação da vazão aplicada ao poço. Este parâmetro não foi encontrado na AB, portanto, houve o aparecimento de em torno de 50 mg/L entre a vazão de 3,6 e 5,5 L/s. Quando a vazão aumenta, este valor chega a valores próximos a 60 mg/L, valores estes, dentro do VMP da Legislação vigente para água de consumo humano (250 mg/L). Nesse caso, conforme a Figura 94, a concentração de cloretos foi maior na vazão de 3,6 L/s (61 mg/L), depois diminuiu com o aumento da vazão até 5,5 L/s quando voltou a aumentar. Este parâmetro teve comportamento semelhante ao de Fluoretos que foi incrementado a partir da FM.

Ressalta-se que os íons Cloretos tem relação à salinidade quando se tem proximidade com o mar. Esta localidade dista em torno de 8 km do mar (oceano Atlântico) e águas mais profundas no solo (proveniente do aquífero) podem ser influenciadas pela cunha salina no solo, por meio da água subterrânea oriunda da infiltração da água do mar (FERNANDES *et al.*, 2005). Evidentemente que a variação da concentração deste parâmetro é bastante singela, entre as vazões de 3,6 e 6,5 L/s, sua concentração vai diminuindo, parecendo que a FM está diluindo os íons Cloretos proveniente das camadas superficiais de solo, mas quando ultrapassa o valor de 5,5 L/s, a concentração de Cloretos aumenta, provavelmente porque eles já estejam dissolvidos na água subterrânea, facilitando seu incremento à AFM. Além do que, a partir da vazão 5,5 L/s o poço começa a ter um comportamento irregular, próximo do limite de sua vazão máxima.

Figura 94 - Comportamento do parâmetro Cloretos na AFM em função da variação da vazão



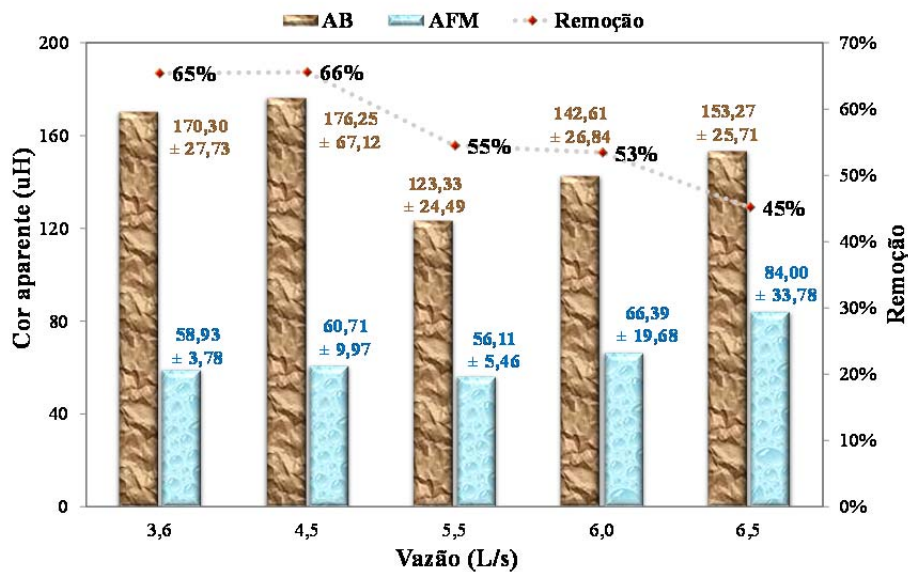
Fonte: próprio autor.

#### 5.4.6.4 Cor aparente em função da vazão aplicada

A Figura 95 demonstra o comportamento da cor aparente na AB e AFM com a variação da vazão aplicada ao poço e a porcentagem de remoção do parâmetro na AFM. Observa-se que a cor aparente variou na variação da vazão, em média, na AB entre 123 e 176 uH. Levando em consideração o desvio padrão, para todo este período monitorado, a AB variou de 98,84 uH (mínimo) até 243,37 uH (máximo). Houve uma remoção considerável entre a vazão de 3,6 e 5,5 L/s (acima de 55%). Entretanto, com o aumento da vazão (valores acima de 5,5 L/s), a remoção diminuiu para valores de até 45%. Da mesma forma que para a turbidez, a maior remoção da cor aparente foi obtida na vazão de 4,5 L/s. A legislação prevê um VMP de 15 uH.

Observa-se que, mesmo com a remoção de substâncias em suspensão que conferem cor aparente através da FM, devido à baixa qualidade da água bruta frente a esse parâmetro, os resultados no poço ainda se encontram acima do VMP. A remoção da cor aparente pela FM também vem sendo reportada por outros autores (VERAS, 2011). Se comparar o valor da cor aparente com a cor verdadeira, o valor da cor aparente na AFM é praticamente o valor da cor verdadeira na AB.

Figura 95 - Comportamento do parâmetro Cor aparente na AB e AFM em função da variação da vazão



Fonte: próprio autor.

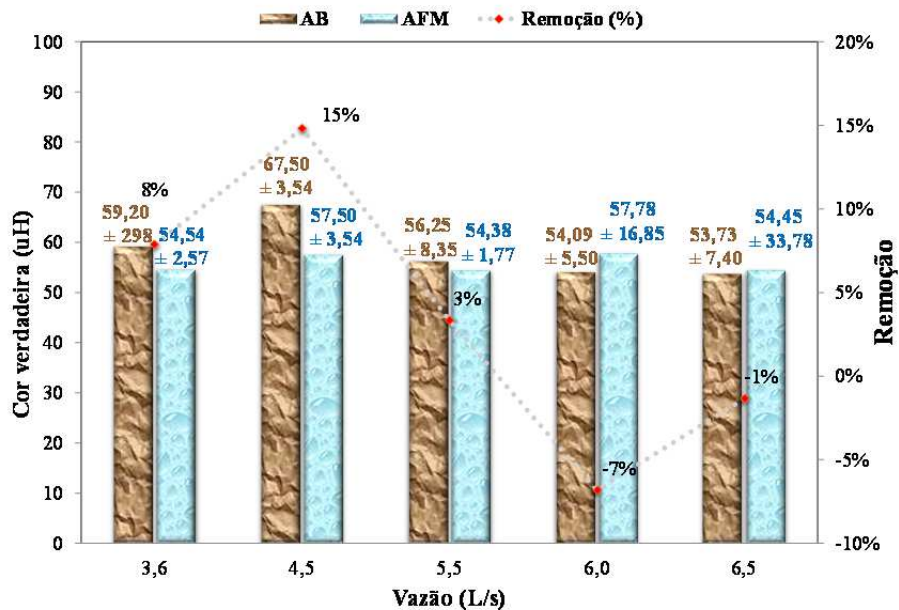


#### 5.4.6.5 Cor verdadeira em função da vazão aplicada

A Figura 96 demonstra o comportamento da cor verdadeira na AB e AFM com a variação da vazão aplicada ao poço. Observa-se pouca variação deste parâmetro, tanto na AB, quanto na AFM. Ainda, que houve uma remoção singela entre a vazão de 3,6 e 5,5 L/s, entre 3% e 15%, sendo que quando a vazão foi aumentada para 6,0 L/s e 6,5 L/s, houve incremento de cor aparente.

Observou-se que com o aumento da vazão, o tempo de viagem da água filtrada em margem diminuiu, fazendo com que a filtração ocorresse mais rapidamente, podendo carrear a MON solubilizada interferindo de forma negativa a remoção de cor verdadeira (ESQUIVEL, 2012), sendo isso constatado a partir de 6,0 L/s. Apesar de os valores de remoção não serem significativos, o melhor resultado (15%), foi obtido na vazão de 4,5 L/s, sendo esta vazão, a ideal para remoção não só de turbidez e cor verdadeira, mas também de cor aparente.

Figura 96 - Comportamento do parâmetro Cor verdadeira na AB e AFM em função da variação da vazão



Fonte: próprio autor.

A baixa remoção da cor verdadeira em comparação à cor aparente e turbidez, demonstra que a FM é eficiente na remoção de sólidos suspensos, mas não para remoção de substâncias orgânicas dissolvidas. Burgardt (2017), em seus estudos de filtração em sedimento do mar, observou o mesmo comportamento. Sabe-se, também, que a presença de ferro no solo confere cor a água, conforme observado por Soares (2009). A presença em

grandes quantidades de ferro foi confirmada, de acordo com os resultados da Figura 106 e Figura 107.

#### 5.4.6.6 Coliformes totais e fecais (*E.Coli*) em função da vazão aplicada

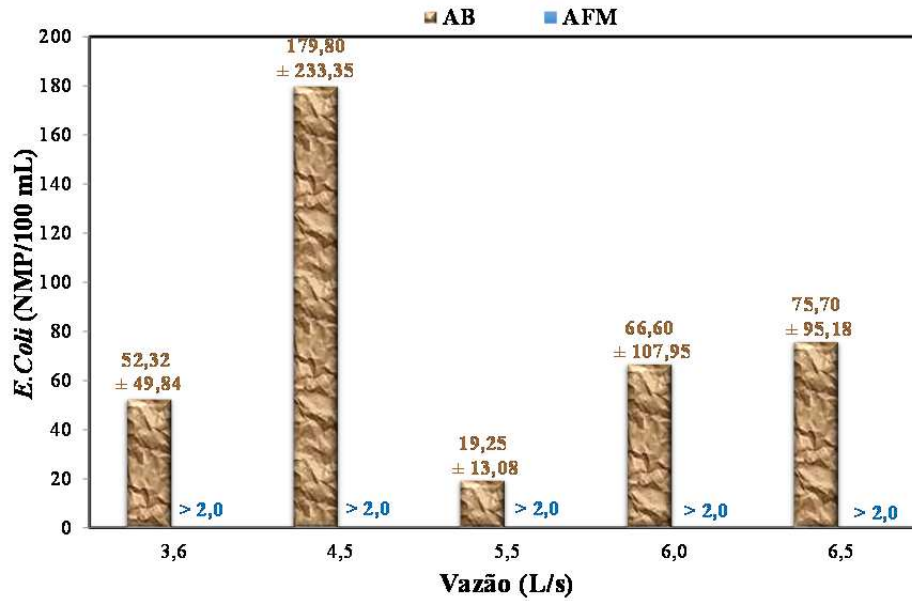
O padrão microbiológico estabelecido pela legislação (MS, 2017) determina que a água para consumo humano deve apresentar ausência em 100 mL para *Escherichia coli* ou coliformes termotolerantes e coliformes totais. Conforme demonstrado na Figura 97 para os parâmetros de coliformes, houve remoção de 100% tanto para *E. Coli* quanto para totais, independente da vazão aplicada, ou seja, a FM é eficiente na remoção desses contaminantes biológicos, por si só, não tendo qualquer relação com a vazão do poço.

Os gráficos abaixo ilustram os resultados observados na Figura 97, onde observa-se a ausência de coliformes fecais (Figura 98) e totais (Figura 99) na AFM, confirmando a remoção de 100 % dos parâmetros biológicos. A eficiência da FM na remoção de 100% desses contaminantes biológicos já foi bastante estudada (FREITAS, 2010).

Figura 97 - Cartelas de Colilert - água bruta (à esquerda) e água filtrada em margem (à direita)

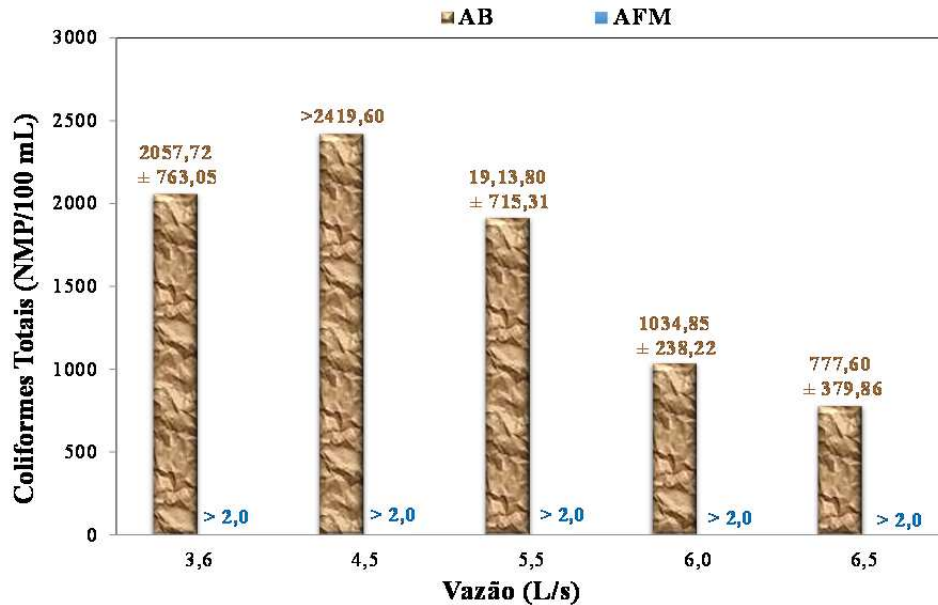


Fonte: próprio autor.

Figura 98 - Comportamento do parâmetro C. Fecais (*E.Coli*) na AB e AFM em função da variação da vazão

Fonte: próprio autor.

Figura 99 - Comportamento do parâmetro Coliformes Totais na AB e AFM em função da variação da vazão



Fonte: próprio autor.

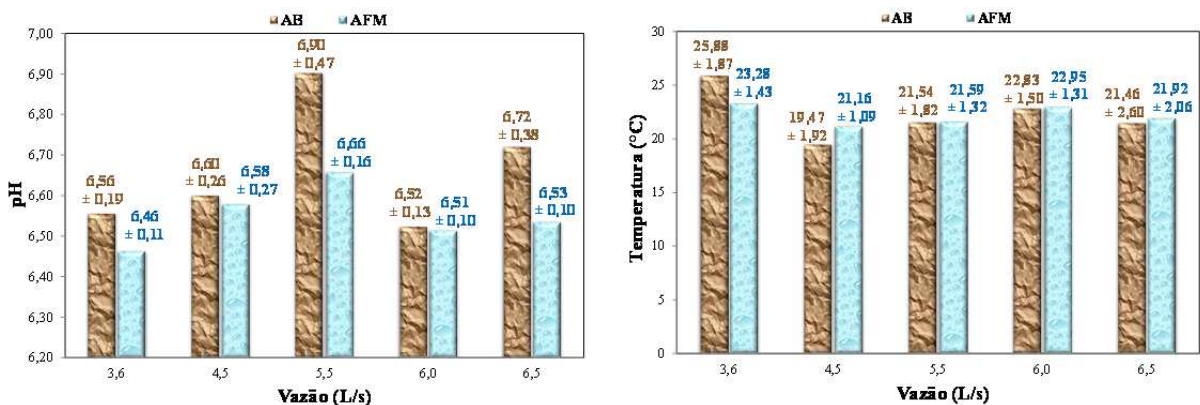
#### 5.4.6.7 Demais parâmetros físicos em função da vazão aplicada

Os parâmetros físicos a seguir (Figura 100) não demonstraram qualquer relação com a vazão aplicada ao poço, como era de se esperar. O gráfico à esquerda, referente ao pH, nos permite verificar um pH menor na AFM que na AB, sendo esse comportamento observado por outros autores (BLAVIER, 2014; DASH *et al.*, 2010; MICHELAN, 2010; MONDARDO,

2009; TYAGII *et al.*, 2013). A variação do pH não foi muito grande, sendo que o menor valor de pH foi de 6,46 (na AFM) e o maior valor, 6,9 (na AB). De qualquer forma, os resultados encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela Legislação Vigente de 6,0 a 9,5 (MS, 2017).

Observa-se também, uma correlação no pH da AB e AFM, o que é evidenciado pela pequena variação observada (em média, variou de 6,52 a 6,90), ou seja, quando o pH aumenta na AB, aumenta na AFM, da mesma forma, com a diminuição do pH. Isso também demonstra a conectividade hidráulica entre poço e manancial. Já a temperatura com as vazões, variou com mínimo (na média) de 19,47 °C e um máximo de 25,88 °C, ambas AB. A variação da temperatura na AFM foi de aproximadamente 2 °C (de 21,16 a 23,28 °C na média). Algo já comprovado na literatura (SENS *et al.*, 2006). O aumento da temperatura da AFM para com a temperatura nos demais piezômetros é um forte indício da ocorrência da FM, quanto mais próximo a temperatura do poço for da temperatura do manancial, maior será esta contribuição, conforme discutido mais detalhadamente no item 5.4.5.

Figura 100 - Comportamento dos parâmetros pH (à esquerda) e Temperatura (à direita) na AB e AFM com a variação da vazão



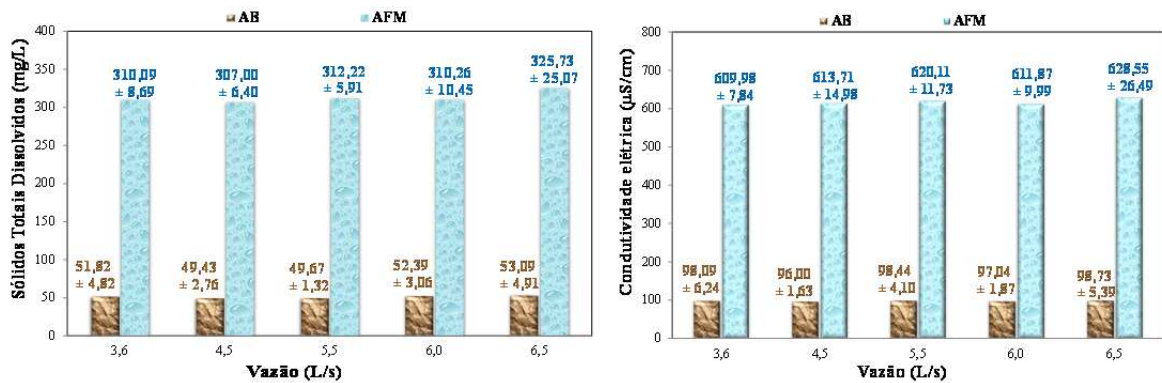
Fonte: próprio autor.

Da mesma forma, os STD e Condutividade elétrica (demonstrados na Figura 101) não sofreram influência da vazão. Mas é possível notar um incremento de em torno de 6x destes dois parâmetros na AFM. A presença destes parâmetros é resultado da composição do solo apresentar MO considerável, que por sua vez, é carregada junto com a AFM, aumentando a quantidade de sólidos dissolvidos. Isto demonstra que a baixa remoção da cor verdadeira, não se deve a ineficiência da FM frente à remoção de substâncias orgânicas solúveis, e sim, a

presença desses compostos no solo que acabam por ser carregados pela água até o poço (HISCOCK e GRISCHEK 2002).

Pela diminuição do pH na AFM, é possível que esse solo apresente substâncias húmicas e em decomposição anaeróbica, que conferem a água, um pH levemente ácido. A condutividade elétrica (gráfico da Figura 101, à direita), como observado por muitos autores (FREITAS, 2010), aumenta na AFM, devido à presença de sais no solo (ânions e cátions), que são lixiviados pela água no processo de filtração.

Figura 101 - Comportamento do parâmetro Sólidos totais dissolvidos (STD) (à esquerda) e Condutividade elétrica (à direita) na AB e AFM com a variação da vazão



Fonte: próprio autor.

#### 5.4.6.8 Demais parâmetros químicos em função da vazão aplicada

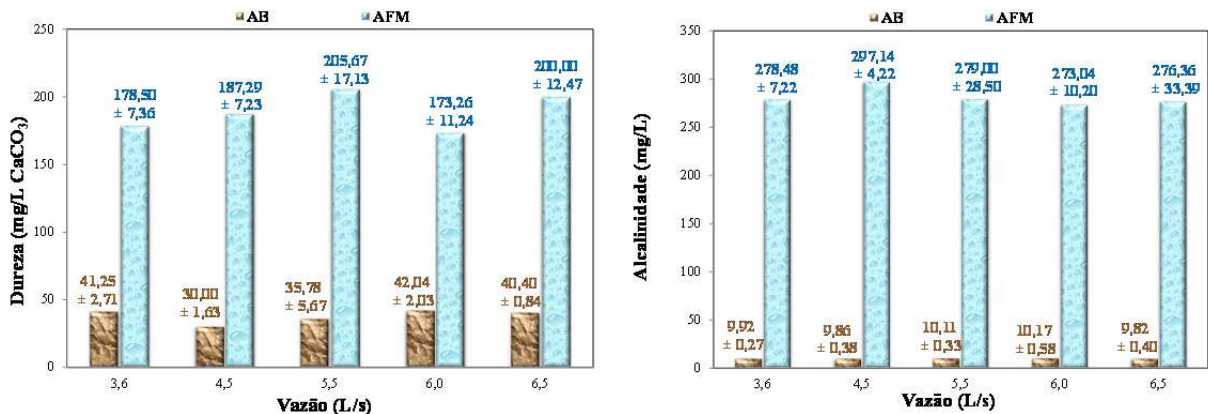
A dureza total em carbonato é limitada pela legislação (MS, 2017) em 500 mg/L e sua origem se deve à dissolução de rochas calcárias ricas em cálcio e magnésio ou antropogênica. A dureza em carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) (Figura 102, à esquerda), não variou de forma regular, com a variação da vazão. Contudo, observam-se quantidades entre 4 a 6 x maiores na AFM que na água bruta.

Com relação aos padrões de potabilidade, a AFM se enquadra nos valores estabelecidos pela Legislação Vigente (VMP= 500 mg/L) (MS, 2017). Isso se deve à composição do solo, que apresenta carbonatos. O mesmo comportamento se observa com relação à alcalinidade (Figura 102, à direita), com incrementos na AFM que variam de 26 a 29 x a quantidade apresentada na AB. A alcalinidade confere a água à capacidade de neutralizar compostos ácidos, podendo originar-se da dissolução de rochas, da reação do  $\text{CO}_2$  com a água, ou ainda de forma antropogênica pelos despejos industriais (SPERLING, 1996). Como



o aumento se deu na AFM é provável que as causas sejam as duas primeiras opções. Na prática, é interessante ter na água, não sendo necessário alcalinizá-la durante o tratamento, com carbonato.

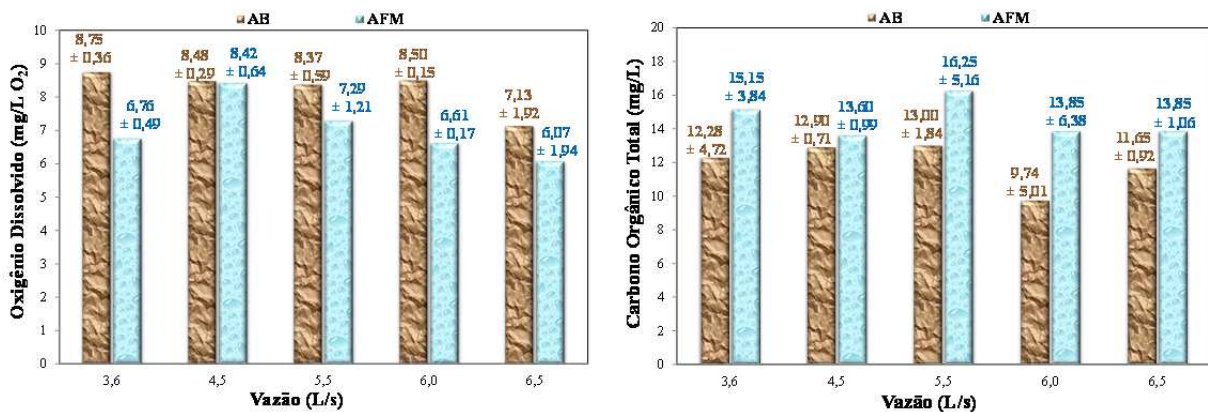
Figura 102 - Comportamento dos parâmetros Dureza (à esquerda) e Alcalinidade (à direita) na AB e AFM com a variação da vazão



Fonte: Próprio autor.

A Figura 103 mostra o comportamento do OD (à esquerda) e COT (à direita), na AB e AFM, com a variação da vazão.

Figura 103 - Comportamento dos parâmetros Oxigênio dissolvido - OD (à esquerda) e Carbono orgânico total - COT (à direita) na AB e AFM com a variação da vazão



Fonte: próprio autor.

Observa-se que não há um comportamento regular de ambos os parâmetros com a variação da vazão, mas que a disponibilidade de OD é maior na AB que na água filtrada, com uma variação máxima entre ambas de 23 % e mínima de 1%. Durante o percurso da água do manancial até o poço de produção, a concentração de OD tende a diminuir devido ao

consumo por bactérias aeróbias na degradação da matéria orgânica (BOURG e BERTIN, 1993; GUEDES, 2018; STUYFZAD *et al.*, 2004).

Já o COT, é maior na AFM que na bruta, de forma a concordar com os demais resultados que demonstram presença de matéria orgânica no solo. Pelo baixo consumo de oxigênio e aumento de COT, é possível que grande parte da matéria orgânica não seja biodegradável (GRIDCHECK *et al.*, 2007).

Os metais, manganês e ferro (Figura 104) aumentaram significativamente na AFM e Alumínio (Figura 105), que não foi observado na AB, foi detectado na AFM. O aparecimento acima do VMP da Legislação vigente (MS, 2017) independe da vazão aplicada e não parece ter relação direta com ela, variando aleatoriamente. Manganês (Figura 104, à esquerda), possui valores na AB inferiores ao VMP (0,1 mg/L), já o ferro (Figura 104, à direita), apresenta valores superior ao VMP (0,3 mg/L), até mesmo na água bruta, com incrementos de 3 a 4x na AFM.

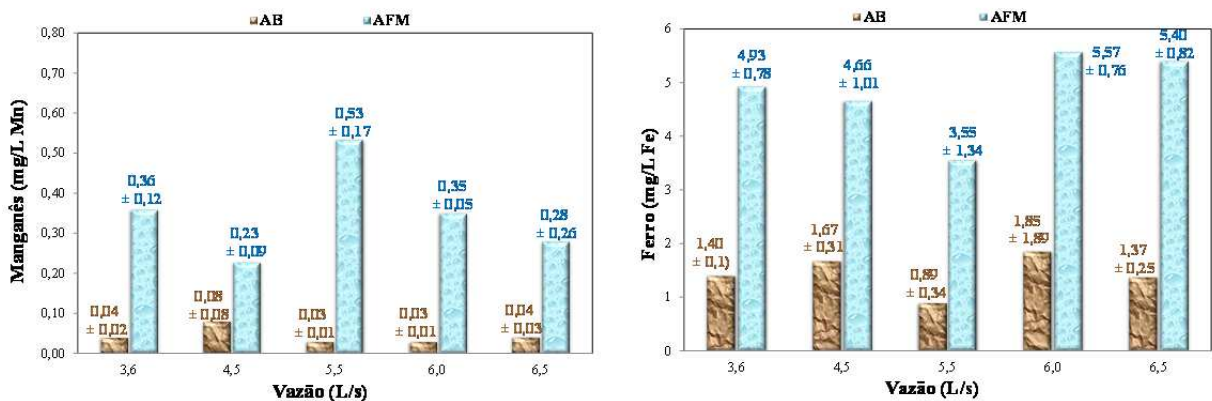
A FM é mais conhecida por possibilitar o incremento do ferro total na AFM ao invés de promover sua remoção (MICHELAN, 2010; SANTOS, 2012; SOARES, 2009), mas existem literaturas que obtiveram remoção deste parâmetro (FREITAS, 2010; GUEDES, 2018). Isso ocorre também para o elemento manganês na AFM. Esses elementos são, possivelmente, oriundos da própria composição do solo, que em determinadas condições foram liberados na água. Isso demonstra que a composição da AFM é muito influenciada pela composição da rocha e solo que a mesma atravessa e que substâncias químicas dissolvidas aumentem de acordo com o tempo de percurso. Em um estudo mais específico sobre a composição dos compostos ferríferos nos solos do Brasil, demonstra que a região sul do país, apresenta solos ricos em  $Fe_2O_3$ . A região da Granja Vargas, por exemplo, tem um solo que pode variar de 5 a 25%, em massa (g/kg), de  $Fe_2O_3$  (MELFI *et al.*, 1979).

Durante o processo de FM, ocorrem mudanças nas condições redox do solo: ambientes com baixa concentração de OD (chamado de ambiente redutor) proporcionam a ocorrência de reações de redução, tais como de metais como ferro e manganês, que se tornam solúveis na água (HISCOCK e GRISCHEK 2002; KUEHN e MUELLER, 2000; SCHMIDT *et al.*, 2003).

Observa-se que a razão da remoção de Fe, por ser um valor muito singelo, poderá estar associada à colmatação química, quando há grande disponibilidade deste elemento no solo, como o caso de Granja Vargas e decorrente das condições redox e disponibilidade de OD, possibilitando que isso aconteça atrelado a um valor de vazão considerável (taxas de

filtração alta). Pois outras pesquisas (FREITAS, 2010; GUEDES, 2018) tiveram remoção em situações com baixa concentração deste elemento associadas também a uma vazão pequena. O aumento da alcalinidade na AFM, conforme observado na Figura 102, pode favorecer a solubilização desses elementos no sedimento (margem), contribuindo para o aumento de suas concentrações (HYPOLITO *et al.*, 2010).

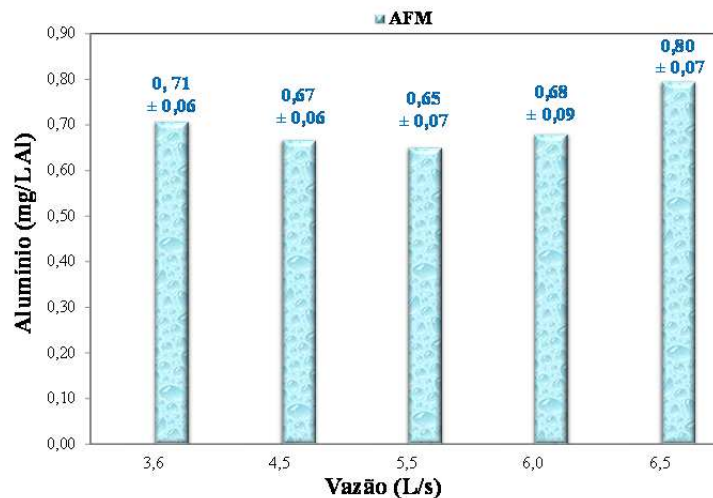
Figura 104 - Comportamento dos parâmetros Manganês (à esquerda) e Ferro (à direita) na AB e AFM com a variação da vazão



Fonte: próprio autor.

Já o alumínio (Figura 105), não presente na AB, aparece na AFM, em decorrência de sua presença no solo, em concentrações de até 4x acima do VMP (0,2 mg/L).

Figura 105 - Comportamento do parâmetro Alumínio na AB e AFM com a variação da vazão



Fonte: próprio autor.

A partir das informações de rebaixamento d'água no poço, levando em consideração a qualidade de água e os valores operacionais do sistema de bombeamento testados para



exploração da AFM, a faixa de vazão adequada é entre 3,6 L/s e 5,5 L/s para não se ter perda de qualidade de água. Evidentemente que quanto menor a vazão, maior será o tempo de viagem da água entre o manancial e o poço, tendo em vista que a filtração dar-se-á de maneira mais lenta. Desta forma, se a intenção for à busca da menor variação da qualidade possível da AFM, a menor vazão (3,6 L/s) é a que poderá trazer melhor resultado, pois ao observar todos os parâmetros analisados, as menores variações de desvio padrão é para esta vazão, mesmo que para alguns parâmetros a remoção média foi melhor para a vazão de 4,5 L/s. Este dado é muito relevante do ponto de vista de automação do tratamento, pois não se deseja que a água do poço fique variando.

Ressalta-se mais uma vez, que o poço de produção de água por FM, trata-se de um pré-tratamento e que a água ainda na sequência sofrerá outros tratamentos, como a coagulação/floculação, decantação, filtração e oxidação/desinfecção com o cloro. Assim, certos parâmetros de qualidade de água que se apresentam fora dos padrões serão corrigidos, a exemplo a aplicação de pré-cloração, que irá oxidar os metais e matéria orgânica ainda presentes, diminuindo a cor, o ferro e manganês. Mas com o pré-tratamento por FM e a redução das variações da qualidade da água bruta, a operação da ETA será facilitada. Além de poder reduzir o consumo de produtos químicos de forma geral proporcionando um maior rendimento da ETA, diminuindo a quantidade de lodo gerada no tratamento. Também reduzirá o consumo de água para lavagens de filtro, aumentando a produção efetiva de água tratada.

#### **5.4.7 Problemas diversos de operação do poço de produção**

Como já evidenciado nos ensaios, em nível laboratorial, demonstrados no Capítulo 2, a quantidade de ferro presente no solo é alta. Durante a operação do poço, houve alguns períodos de paralização do bombeamento devido à falta de energia elétrica, com já relatado no item 5.4.3.4 desta tese, mostrando nos gráficos, comportamento irregular do rebaixamento do poço e piezômetros. Na sequência, no item 5.4.3.5, foi discutida a questão da colmatação química deste elemento. A Figura 106 demonstra a quantidade deste ferro oxidado dentro do poço, encrustado no medidor de nível eletrônico, formando uma espécie de borra sobrenadante (lama).

Figura 106 - Encrustação de ferro oxidado (ferrugem) no medidor de nível eletrônico no poço



Fonte: próprio autor.

Como consequência, após a água do poço permanecer parada por horas (a paralização não ultrapassou 24h), foi necessário realizar expurgo do poço de produção por pelo menos 30 minutos até sua qualidade voltar ao normal, conforme Figura 107. O expurgo foi realizado com a frequência máxima que a bomba pode trabalhar; isto é, 60 Hz, promovendo assim a maior vazão possível para esta instalação.

Figura 107 - Realização do expurgo no poço de produção, antes (à esquerda) e depois (à direita) do procedimento



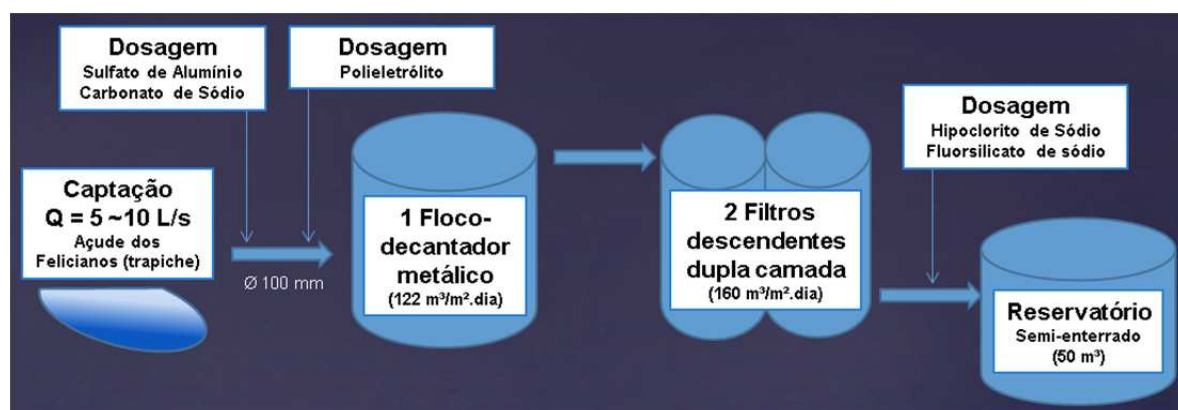
Fonte: próprio autor.

O item da sequência estuda a tratabilidade da nova água que chegará na ETA, ou seja, a água pré-tratada por FM. Assim, se pode determinar melhor as vantagens da aplicação da FM para a ETA Granja Vargas.

#### 5.4.8 Ensaio de tratabilidade com água filtrada em margem simulando a estação de tratamento de água existente

Antes de abordar os ensaios de tratabilidade da água a partir da AFM, será contextualizado o tratamento existente, por intermédio da ETA convencional de Granja Vargas. O Fluxograma apresentado na Figura 108 retrata as etapas do tratamento existente, assim como informações dos pontos de dosagem e volumes das etapas do tratamento. O tratamento atual foi descrito na introdução do Capítulo 3, item 5.1 e seu detalhamento, com os intervalos das doses dos produtos químicos adicionados no tratamento atual, será discutido a seguir. Relata-se que a ETA foi concebida por cilindros metálicos e por seu tamanho reduzido é configurada como compacta.

Figura 108 - Fluxograma do Sistema de Tratamento de Água Convencional (ETA Granja Vargas)



NOTA: Os valores de taxas ( $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ ) apresentados foram baseados na vazão de 7,5 L/s.

Fonte: próprio autor.

A captação é realizada através de bomba submersível que recalca uma vazão que varia de 5 a 10 L/s dependendo da época do ano (inverno >>> vazão menor e verão >>> vazão maior). A tubulação de 100 mm galvanizado, adução de água bruta, vem sobre o trapiche de madeira e aproximadamente 100 m de comprimento. Nesta tubulação, é dosado primeiramente Carbonato de Sódio, dosagens variando entre 10 e 30 mg/L, para alcalinizar a água bruta e na sequência em direção ao flocodcantador, menos de 1 m de distância ponto de dosagem de carbonato de sódio, é dosado Sulfato de Alumínio, como coagulante, dosagens variando entre 20 e 200 mg/L. O polieletrólito não iônico a base de poliacrilamida é adicionado quase ao final da tubulação de 100 mm que se conecta ao flocodcantador, dosagens variando entre 0,2 e 1,5 mg/L. Este produto serve para acelerar o processo de

coagulação/floculação/decantação durante o processo de tratamento. O hipoclorito de sódio ao final do tratamento é adicionado para desinfecção e o fluorsilicato de sódio, para gerar um residual de flúor na água tratada, conforme legislação vigente para água de consumo humano no Brasil.

A Figura 109 mostra uma foto da situação existente: à direita está o floco-decantador e à esquerda, os dois filtros (um atrás do outro). A operadora, neste momento, executava a retrolavagem dos filtros.

Figura 109 - Imagem dos filtros (2, à esquerda) e do floco-decantador (1, à direita)



Fonte: próprio autor.

O sistema de tratamento tem um tempo de detenção hidráulico total em torno de 45 minutos, para uma vazão de 7,5 L/s e opera cerca de 8 h por dia. Dependendo da demanda da população, nível dos reservatórios e qualidade da água bruta, este período de operação pode diminuir ou aumentar. O período de operação é um turno por dia e a operadora inicia o tratamento ao chegar e finaliza seu serviço diário com a lavagem dos filtros.

A variação da qualidade da água bruta é tão ampla que a dosagem de coagulante pode variar 10 vezes (20 mg/L em dias sem vento e 200 mg/L com vento forte) chegando ao ponto, algumas vezes de interromper o tratamento devido ao sistema existente não conseguir absorver toda esta oscilação de qualidade.

A partir da contextualização do tratamento existente, será dado início à discussão dos resultados de tratabilidade da AFM. Com base nos dados obtidos da qualidade da água do poço, há uma grande quantidade de ferro e uma quantidade razoável de manganês, alumínio e matéria orgânica (que confere cor a água) que deve ser removida. Os demais parâmetros, por ser em menor concentração, interferem menos na dosagem dos ensaios de tratabilidade. O

Carbonato de Sódio é utilizado como alcalinizante na situação atual, com água bruta proveniente do manancial superficial.

Como descrito no item 5.3.9, foram testados 4 configurações de tratamento, a Tabela 44 resume esta situação.

Tabela 44 - Resumo dos ensaios realizados no estudo de tratabilidade com AFM

Tratamento	Hipoclorito de sódio	Carbonato de sódio	Sulfato de Alumínio	Carvão ativado	Resultado	Observação
1	20 – 160 mg/L	10 – 20 mg/L (pH 7,8–8,2)	-	-	Não satisfatório	A partir de 120 mg/L, cloro residual (> 5 mg/L). Presença de cor e ferro
2	-	-	20 – 120 mg/L	-	Não satisfatório	A partir de 100 mg/L, alumínio residual (> 0,2 mg/L). Presença de cor e ferro
3	-	-	10 – 100 mg/L	4 – 20 mg/L	Não satisfatório	Presença de cor e ferro
4	10 – 80 mg/L	-	20 – 160 mg/L	-	Satisfatório	A partir de 100 mg/L, alumínio residual (> 0,2 mg/L)

Fonte: próprio autor.

No tratamento (configuração 1), a concentração do hipoclorito de sódio, como pré-oxidante, foi variada entre 20 e 160 mg/L, obtendo valores de oxidação consideráveis a partir de 80 mg/L (MORUZZI e REALI, 2012). Utilizou-se carbonato para aumento do pH inicial entre 7,8 e 8,2. Os valores melhoraram, porém a qualidade da água não ficou dentro do padrão de potabilidade exigido pela legislação.

O teste com adição de hipoclorito de sódio, como pré-oxidante, no primeiro ensaio se demonstrou satisfatório, porém na replicata, o resultado não demonstrou ser passível de reprodução, por isso foi descartado. Nesta situação, a elevação do pH para próximo de 8 se demonstrou adequada, porém não foi possível potabilizar a água dentro dos padrões exigidos, mesmo com grandes concentrações de hipoclorito. Altas concentrações de hipoclorito também não são interessantes uma vez que aumenta a possibilidade de formação de trihalometanos

(situação não analisada). A sugestão de tratamento com hipoclorito (configuração 1) foi relatada pela Corsan, pois tal configuração é utilizada em outra unidade de tratamento próxima à Palmares do Sul, no município Mostardas. Sendo assim, o ensaio de tratabilidade se iniciou com este teste. Mas nesta outra localidade, a captação é por poço profundo e na água bruta não tem Fe associada a MO, apenas Fe.

O tratamento com adição sulfato de alumínio (configuração 2) foi interessante, porém exigia concentrações muito altas (acima de 100 mg/L) fazendo com que houvesse o aparecimento de alumínio residual na água tratada. Portanto, esta tentativa indicava que o procedimento estava no rumo certo, porém teria que ter outro produto para auxiliar no tratamento a fim de baixar a concentração de sulfato de alumínio.

O tratamento com adição de carvão ativado em pó e sulfato de alumínio (configuração 3) – a AFM não apresentava odor, entretanto continha MO. A intenção era adicionar o carvão no início do ensaio para tentar adsorver a matéria orgânica e em seguida adicionar sulfato de alumínio férrico. Então, variou-se a concentração de carvão ativado em pó entre 4 a 20 mg/L e não houve alteração na qualidade de água tratada, o que mostra que sua pouca influência no tratamento, assim faz com que esse tratamento seja descartado também.

Em resumo, os ensaios de tratabilidade realizados, por intermédio do aparelho de testes de jarros, demonstraram que a adição de hipoclorito de sódio, sulfato de alumínio férrico e adição de carvão ativado em pó seguida de sulfato de alumínio férrico; isto é, configurações 1, 2 e 3 não são viáveis tecnicamente, pois nesta situação na AFM, havia ainda ferro e cor. O aumento da dosagem desses compostos também não foi interessante devido a grande quantidade de alumínio residual.

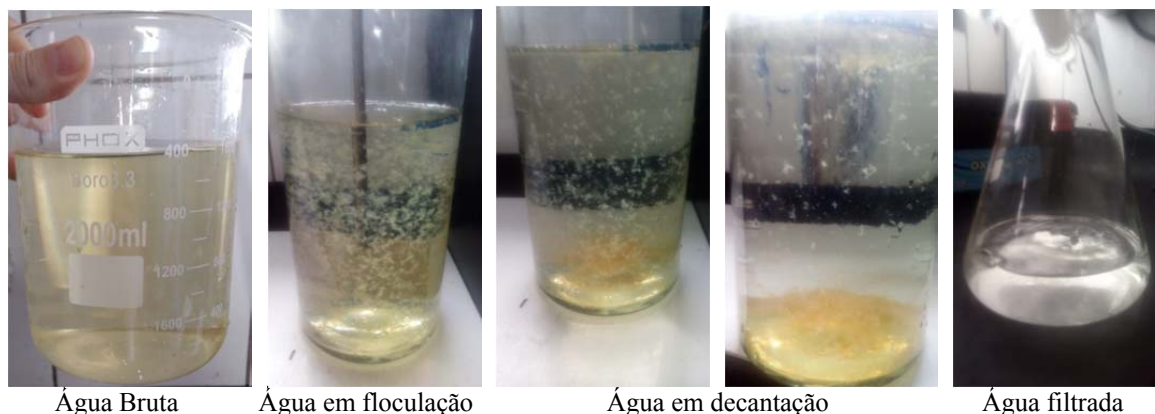
Como já exposto anteriormente, a água do poço, através do solo, tem sua alcalinidade em torno de 280 mg/L; diante disso, não sendo necessário alcalinizar a água para fins de potabilização, por meio da utilização da AFM. Devido à alcalinidade natural da AFM, a realização de ensaios variando o pH de coagulação não surtiram efeito positivo na água tratada, dispensando a utilização de carbonato de sódio para ajuste de pH.

A última configuração de tratamento, adição de hipoclorito de sódio com sulfato de alumínio férrico foi o único procedimento que conseguiu produzir água de qualidade para se enquadrar dentro dos padrões exigidos, conforme legislação vigente. A variação pH de coagulação não foi relevante para o coagulante utilizado.



A sequência de imagens da Figura 110 demonstra os resultados dos processos de clarificação convencional da água, com o equipamento de teste de jarros, simulando o processo que ocorre na ETA (coagulação/floculação, decantação e filtração).

Figura 110 - Imagens dos processos de tratamento em um ensaio de tratabilidade, após FM



Fonte: próprio autor.

De acordo com o ensaio de tratabilidade proposto, o procedimento que obteve resultado satisfatório está demonstrado na Tabela 45.

Tabela 45 - Procedimento satisfatório na tratabilidade da água

<b>Etapa do Tratamento</b>	<b>Tempo (Minutos)</b>	<b>Rotação do agitador (rpm)</b>	<b>Componente adicionado</b>	<b>Concentração (mg/L)</b>
Mistura rápida	1	250	NaClO	40
Coagulação/Floculação	1 a 7	60	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> )	80
Decantação	7 a 25	0 <sup>1</sup>	Polieletrólito não iônico a base de poliacrilamida <sup>2</sup>	0,2
Filtração	25		Filtração em funil com algodão <sup>3</sup>	

NOTAS:

- 1) Na etapa de coagulação/floculação, nos últimos 15 s, foi adicionado o polieletrólito.
- 2) O polieletrólito que a empresa utiliza chama-se, comercialmente, MAGNAFLOC LT 20.
- 3) Para simular a filtração da ETA existente, a empresa utiliza o algodão.

Fonte: próprio autor.

Caso a ETA venha a trabalhar com uma vazão menor que a atual, os tempos de detenção hidráulicos irão aumentar, melhorando o processo de potabilização (pré-oxidação, coagulação/floculação/decantação/filtração), pois o tempo de detenção do sistema irá passar de 45 min. para 1h30min, fazendo com que as etapas do tratamento ocorram mais lentamente,

podendo ser dispensado a utilização do, mas novos testes de jarros deverão ser realizados. Os resultados da água tratada são apresentados na Tabela 46.

Tabela 46. Qualidade da água filtrada em margem (AFM) e tratada no teste de jarros

Parâmetro	Unidade	Resultados	
		Média AFM ± Desvio padrão	Média Tratada ± Desvio padrão
Alcalinidade	mg CaCO <sub>3</sub> /L	272 ± 9,15	202 ± 12,1
Alumínio total	mg/L Al	0,70 ± 0,18	ND
Cloretos	mg/L Cl <sup>-</sup>	50 ± 0,20	ND
Coliformes totais	NMP/100mL	A	A
<i>E. Coli</i>	NMP/100mL	A	A
Condutividade elétrica	µS/cm 25°C	610 ± 8,64	270 ± 9,25
STD	mg/L	310 ± 6,52	185 ± 4,82
Cor verdadeira	µS/cm 25°C	55 ± 5	5 ± 2
Cor aparente	µS/cm 25°C	59 ± 4	9 ± 3
COT	mg/L	15 ± 2,69	5 ± 1,78
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	179 ± 14,8	145 ± 11,3
Ferro Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4,93 ± 0,78	ND
Fluoreto	mg/L F <sup>-</sup>	0,31 ± 0,08	ND
Manganês total	mg/L Mn	0,36 ± 0,14	ND
Oxigênio Dissolvido	mg/L O <sub>2</sub>	6,76 ± 1,12	8,26 ± 1,59
pH	-	6,46 ± 0,42	6,97 ± 0,26
Temperatura	°C	23 ± 1,33	23 ± 1,33
Turbidez	uT	1,07 ± 0,41	0,33 ± 0,16

Fonte: próprio autor.

**AB** - água bruta; **AFM** - água filtrada em margem; **STD** - sólidos totais dissolvidos; **COT** – Carbono orgânico total; **NMP**- número mais provável; **uT** – Unidades de turbidez; **A**- Ausente; **ND** – Não detectado

Ressalta-se que o teste de jarros com hipoclorito e sulfato foram realizados 5 vezes e em dias diferentes. Portanto, a partir do tratamento proposto, foi possível potabilizar a água filtrada em margem. Os valores apresentados na Tabela 46 são valores médios.

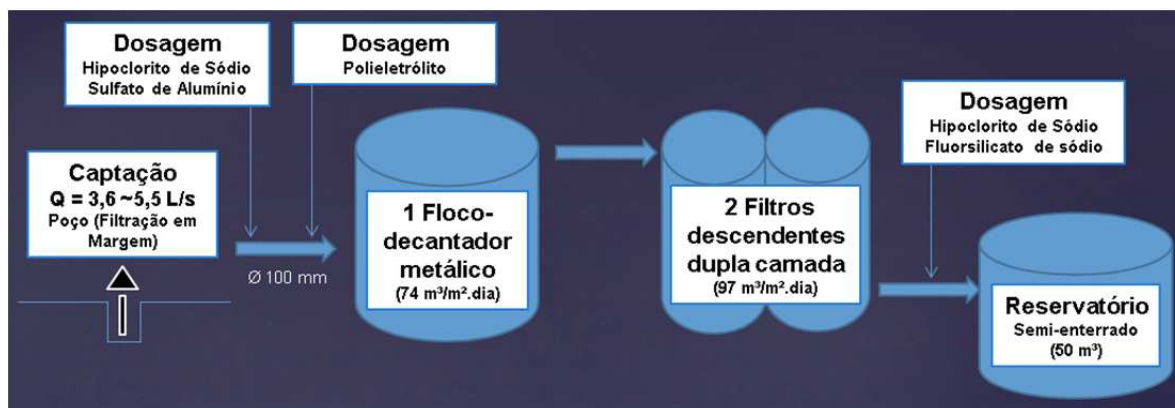
Um ponto positivo observado nos resultados da AFM, é que a oscilação da qualidade da água foi muito pequena, podendo assim estabelecer dosagens fixas. Sendo assim, pode-se redesenhar o fluxograma da ETA Granja Vargas, conforme demonstrado na Figura 111.

Assim sendo, o processo de tratamento que atualmente conta com a adição de 5 produtos distintos (Sulfato de alumínio, carbonato de sódio, polieletrólito, hipoclorito de sódio e fluorsilicato de sódio), poderá ser reduzido para 4 produtos, com a retirada do carbonato de sódio, pois a água do poço já vem alcalinizada. Mas também, a dosagem de



hipoclorito de sódio será necessária no início do processo; desta maneira, sendo dosado 2 vezes.

Figura 111. Fluxograma do novo Tratamento de Água para ETA Granja Vargas



NOTA: Os valores de taxas ( $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ ) apresentados foram baseados na vazão de 4,55 L/s.

Fonte: próprio autor.

Com relação ao lodo gerado (lodo proveniente da etapa de decantação e lavagem dos filtros), é provável que haverá uma redução de lodo gerado por causa da redução de turbidez em relação à água bruta do manancial; por outro lado, como há a presença de ferro na AFM, que contribui para o aumento de produção de lodo; diante do exposto não se pode discutir em relação a este ponto, uma vez que não foi estimada a produção de lodo em função da sequência de tratamento empregada.

#### 5.4 CONCLUSÕES

- Para atender a vazão atual da ETA Granja Vargas (entre 5 e 10 L/s operando 8 horas por dia) e operacionalmente o limite máxima de exploração seria próximo a 6,5 L/s, para atender a demanda atual, pode-se aumentar o número de horas de operação ou perfurar um segundo poço nas proximidades e os 2 poços trabalhando juntos com a técnica do sifão invertido (um único bombeamento) poderão suprir a vazão de 10 L/s;
- O monitoramento d'água subsuperficial no poço e piezômetros com utilização dos medidores eletrônicos de nível d'água e pressão atmosférica se demonstrou satisfatório e foi possível observar a variação do nível d'água ao longo do tempo para cada vazão, demonstrando conexão hidráulica entre manancial superficial e poço de produção;

- A água do açude dos Felicianos é compatível com a tecnologia de Filtração em Margem, em termos de qualidade físico-química e biológica. A filtração em margem conseguiu reduzir entre 60 e 97%, em média, a turbidez; remover 100% de coliformes totais e fecais (termotolerantes – *E. Coli*); reduzir entre 45 e 66%, em média, a cor aparente da água do manancial;
- A partir dos estudos de vazão realizados, a faixa de operação deste poço é entre 3,6 L/s e 5,5 L/s, levando em consideração qualidade de água e vazão. Provavelmente a contribuição da água do aquífero aumentou consideravelmente para vazões maiores que 5,5 L/s (decorrente do incremento de íons Fluoretos e Cloretos à AFM), prejudicando a filtração em margem;
- Com os ensaios de teste de jarros, chegou-se a uma dosagem ótima de 40 mg/L de hipoclorito de sódio como pré-oxidante, 80 mg/L de sulfato de alumínio férrico líquido e 0,2 mg/L de polieletrólito não iônico a base de poliacrilamida para os tempos de operação da ETA convencional em operação. Os valores obtidos são para a qualidade de água bruta (filtrada em margem) da época e para vazão de 3,6 L/s. O tratamento atual não dosa hipoclorito como pré-oxidante e a dosagem de sulfato de alumínio líquido varia de acordo com a qualidade da água bruta do manancial superficial, entre 20 e 200 mg/L.

## 5.5 CONSIDERAÇÕES

Decorrente da grande quantidade de ferro na água filtrada em margem, caso houver alguma paralização do bombeamento do poço, será necessário realizar expurgo, em torno de 30 min. ou mais, para a água voltar à qualidade de água anterior a queda do fornecimento de energia elétrica. Evidentemente, que a instalação de recalque deverá estar preparada para tal, assim como o operador de ETA, para realização deste procedimento;

Não foram realizados ensaios da presença de THMs na água tratada. É imprescindível sua realização no momento dos testes na situação real (ligação do poço à ETA), antes de liberar a água para abastecimento, devido à presença de MO na AFM e utilização de hipoclorito, como pré-oxidante.

## 6 CONCLUSÕES FINAIS

A partir de todo o trabalho realizado, foi possível concluir que:

- Foi verificada a potencialidade de Filtração em Margem em 15 poços dos 830 em operação, representando cerca de aproximadamente 2% do total de poços da Corsan, hoje em operação. Sendo que este número poderá ser bem maior, caso sejam analisadas estações de tratamento de água que tenham sua captação em rios, lagos, reservatórios (represas) com margens essencialmente arenosas; além dos poços lacrados que não foram levados em consideração na investigação do Capítulo 1;
- Com a concepção, projeto, construção e monitoramento dos sistemas piloto de bancada (em nível laboratorial) foi possível determinar o melhor local para a instalação do sistema piloto em escala real, assim como prever a qualidade da água filtrada, por meio de colunas de filtração;
- A composição química do solo mostrou que o ferro e a matéria orgânica no solo tendem a ter maior concentração nas camadas superiores e menor concentração nas camadas inferiores, indicando que existe a lixiviação destes elementos em função das mudanças das características de oxidação-redução do meio. Tais parâmetros foram os mais significativos nos ensaios de tratabilidade, no que diz respeito às dosagens de hipoclorito de sódio (pré-oxidante) e sulfato de alumínio férrico (coagulante);
- O manancial demonstrou ter conexão hidráulica sustentável com o poço ao longo de toda a pesquisa, confirmando os ensaios realizados em nível laboratorial;
- O sistema piloto em escala real conseguiu demonstrar que a filtração em margem pode ser uma alternativa como pré-tratamento de água para esta situação em específico, ETA Granja Vargas (Palmares do Sul, RS);
- Com a realização de ensaios de tratabilidade, foi possível simular em nível laboratorial, o tratamento da estação convencional em operação. A utilização de hipoclorito de sódio foi necessária para oxidação do ferro e manganês presente na água filtrada em margem e a utilização do sulfato de alumínio líquido foi necessária para remoção da matéria orgânica presente para

potabilizar a AFM dentro dos padrões exigidos. A utilização de polieletrólito foi necessária para se conseguir baixar os tempos de coagulação/floculação para situação existente;

- Para o tratamento atual na ETA utilizam-se os seguintes produtos: hipoclorito de sódio (como desinfetante), sulfato de alumínio (como coagulante), polieletrólito (como auxiliar na coagulação/floculação), carbonato de sódio (como alcalinizante) e fluorsilicato de sódio (como fonte de flúor). A partir da utilização da AFM, a partir do estudo de tratabilidade, o número de produtos químicos foi reduzido de 5 para 4, pois não foi mais necessário alcalizar a água bruta, haja vista que a filtração em margem, por meio do solo, elevou a alcalinidade para 280 mg/L, em média. Entretanto, foi necessário dosar hipoclorito como pré-oxidante, para oxidação do ferro presente na água do poço (água filtrada em margem);
- Mesmo com condições atmosféricas muito adversas (presença de muito vento causando turbulência na água do açude), a qualidade AFM permanece praticamente constante, evitando assim a interrupção do tratamento e possibilita a operação da ETA se tornar automatizada.

## 7 RECOMENDAÇÕES FINAIS

A partir da experiência em campo, em escala real, desta pesquisa e dos resultados obtidos recomenda-se para estudos futuros:

- Executar a conexão do poço na adutora existente que vem do lago para avaliar a utilização da filtração em margem na estação de tratamento existente, como pré-tratamento do sistema e operar a ETA convencional compacta, a fim de se confirmar os dados obtidos em nível laboratorial, nos ensaios de teste de jarros, com o intuito de produzir água dentro dos padrões de potabilidade;
- Realizar análise econômica global do sistema de tratamento de água da situação existente (adução superficial) em relação à utilização do poço (adução subsuperficial) para se tomar conhecimento de qual concepção é interessante do ponto de vista operacional, levando em consideração energia elétrica, insumos, lodo gerado, manutenção do sistema, encargos, disponibilidade de operadores de ETA, entre outros aspectos relevantes;
- Realizar de modelagens hidráulicas, para avaliação do escoamento da água subsuperficial e subterrânea;
- Realizar análises de THMs na água após tratamento na ETA, pois foi utilizado hipoclorito como pré-oxidante para oxidação do Fe e MO presentes na água filtrada em margem.
- Para continuação da pesquisa nesse local, decorrente da grande concentração de ferro na AFM, provável contribuição do aquífero nas maiores vazões estudadas e da vazão máxima do poço ainda ser inferior à vazão da ETA; poderá ser executado um novo poço mais próximo do manancial, mais raso e com o maior diâmetro possível a fim de se avaliar a água produzida com uma provável melhora em sua qualidade e quantidade suficiente para atender o SAA de Granja Vargas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIKEN, G. **Organic Matter in Ground Water**. in *U.S. Geological Survey Artificial Recharge Workshop Proceedings*. 2002. Califórnia, EUA.
- ALBUQUERQUE, T.B.V. **Caracterização física e biológica da zona hiporreica na interação Rio-Aquífero no Rio Beberibe - Pernambuco**. Doutorado, Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. p. 166, Recife-PE, 2015.
- ALMEIDA, G.C.P. **Caracterização Física e Classificação dos Solos**. Universidade Federal de Juiz de Fora- Faculdade de Engenharia-Departamento de Transportes: Juiz de Fora. p. 145, 2004.
- ARCARI, T. **AS INTERAÇÕES ENTRE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS EM UMA LAGUNA COSTEIRA: LAGOA DA CONCEIÇÃO, FLORIANÓPOLIS/SC, BRASIL**. Dissertação, Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Florianópolis, SC. p. 94, Florianópolis, sc, 2018.
- BAIRD, R.B., EATON, A.D. e RICE, EUGENE **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater** 23 ed 2017, Washington, DC: American Public Health Association.
- BAKER, M.N. e TARAS, M.J. **The quest for pure water: the history of the twentieth century**. 2 ed. Vol. 1. 1981, Denver: AWWA.
- BARTAK, R., GRISCHEK, T., GHODEIF, K. O. e WAHAAB, R. A. **Shortcomings of the RBF Pilot Site in Dishna, Egypt**. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2015. 20: p. 8.
- BAVEYE, P., Vandevivere, P., Hoyle, B.L., DeLeo, P.C., Sanchez de Lozada, D. (1998) **Environmental impact and mechanisms of biological clogging of saturated soils and aquifer materials**. *Critical Reviews in Environmental Sciences and Technology*. 28(2):123-191.
- BEYER, W. **Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesel und Sanden aus der Kornverteilung, Wasserwirt**. *Wassertech*, 1964. 14: p. 165-169.
- BLAVIER, J. *ET AL*. **Investigation of Riverbed Filtration Systems on the Parapeti River, Bolivia**. *Journal of Water Process Engineering*, 2014: p. 2736.
- BÖRNICK, H., EPPINGER, P., GRISCHEK, T. e WORCH, E. **Simulation of Biological Degradation of Aromatic Amines in River Bed Sediments**. *Water Research*, 2001. 35 (3): p. 616-624.
- BOULTON, A. J., FINDLAY, S., MARMONIER, P., STANLEY, E. H. e VALETT, H. M. **The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers**. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 1998. 29: p. 59-81.
- BOURG, A.C.M. e BERTIN, C. **Biogeochemical processes during the infiltration of river water into an alluvial aquifer**. *Environmental Science Technology*., 1993. 27: p. 661-666.
- BOUWER, H. **Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering**. *Hydrogeology Journal*, 2002. 10: p. 121-142.
- BOVING, T.B., CHOUDRI, B.S., CADY, P., CORDING, A., PATIL, K., and REDDY, V. **Hydraulic and Hydrogeochemical Characteristics of a Riverbank Filtration Site in Rural India**. *Water Environment Research*, 2014. 86 (7): p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de operação e manutenção de sistemas de tratamento de água por filtração em margem / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde**. – Florianópolis : Universidade Federal de Santa Catarina, 2018. 57 p. : il. ISBN 978-85-8388-121-6.

- BRITO, F.S.R. **Abastecimento de águas: parte geral, tecnologia e estatística**. Vol. 3. 1943, Rio de Janeiro: Imprensa Nacional.
- BURGARDT, T. **Filtração em sedimento do mar como pré-tratamento a osmose reversa**. Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. p. 130, Florianópolis-SC, 2017.
- BURGARDT, T., PIZZOLATTI, B.S., BORGES, L.K. e SENS, M.L. **Filtração angular em sedimento de praia como pré-tratamento a osmose inversa**. in *Saneamento Ambiental: Desenvolvimento e Qualidade de Vida na Retomada do Crescimento - Congresso ABES/FENASAN*. 2017. São Paulo.
- BURGARDT, T. e SENS, M.L. **Filtração em margem de mar como pré tratamento para a dessalinização da água**. Revista Eletrônica do PRODEMA, 2018. 12 (1): p. 30-37.
- CABRAL, J. J. S. P. Movimento De Água Subterrânea., in **Hidrogeologia Conceitos E Aplicações** 2008, CPRM: Rio de Janeiro. p. 237-277.
- CALDWELL, E. L. e PARR, L.W. **Ground water pollution and the bored-hole latrine**. J Infections Deseases, 1937. 61 (2): p. 148-183.
- CAMPOS, L. P. S. **Filtração em margem no tratamento de água: avaliação da aplicação da técnica no manancial da Lagoa do Peri, Santa Catarina, e análise prévia de viabilidade de aplicação em Rio Grande, Rio Grande do Sul**. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC. p. 60, Florianópolis-Santa Catarina, 2012.
- CAPUTO, H.P **Mecânica dos solos es suas aplicações: Mecânica das rochas, fundações e obras de terra**. 6 ed 1988, Rio de Janeiro: LTC.
- CEBALLOS, B.S., DANIEL, L.A. e BASTOS, R.K.X. **Remoção de microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. ABES. Rio de Janeiro, 2009.
- CECCONELLO, T. **Palmares do Sul**. Disponível em: [https://www.familysearch.org/wiki/pt/Ficheiro:Palmares\\_do\\_SulRS.png](https://www.familysearch.org/wiki/pt/Ficheiro:Palmares_do_SulRS.png). Acessado em: 08/05/2020.
- CHOI, H. C., KIM, K.S. e KIM, I.S. **Characteristics of contaminants transport in bank filtration through dunes**. Water Science Technology, 1998. 38: p. 97-103.
- CONAMA **Resolução N° 357, DE 17 de março de 2005**. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, 2005: p.
- CONNOR, R. e COATES, D. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2018**. . Programa Mundial das Nações Unidas para Avaliação dos Recurso Hídricos., WWAP em nome da ONU-Água. 2018.
- CRITTENDEN, J., TRUSSEL, R., HAND, D. e HOWE, K. **Water Treatment - Principles and Design**. 2 ed 2005: Wiley & Sons.
- DALAI, C. e RAMAKAR, J. **Review on Water Treatment Techniques Used for Riverbank Filtration**. . International Journal of Civil Engineering Research., 2014. 5 (3): p. 221-226.
- DASH, R.R. *et al.* **Lake bank filtration at Nainital, India: water-quality evaluation**. Hydrogeology Journal, 2008. 16 (6): p. 1089-1099.
- DASH, R.R., MEHROTRA, I., KUMAR, P., and GRISCHEK, T. **Lake bank filtration at Nainital, India: water-quality evaluation**. Hydrogeology Journal, 2008. 16 (6): p. 1089–1099.
- DASH, R.R., PRAKASH, E.V.P.B., KUMAR, P., MEHROTRA, I., SANDHU, C. e GRISCHEK, T. **River bankfiltration in Haridwar, India: removal of turbidity, organics and bactéria**. Hydrogeology Journal, 2010. 18: p. 973-983.

- DEMÉTRIO, J. G. A., PAIVA, A. L. R., FREITAS, D. A., BATISTA, A. G. S. B. e CABRAL, J. J. S. P. **Características hidrogeológicas das aluviões do Rio Beberibe na área da bateria de poços no Bairro de Caixa d'Água, Olinda-PE.** *Águas Subterrâneas*, 2013. 27 (3): p. 111-126.
- DI BERNARDO, L. e DANTAS, A.D.B. **Métodos e técnicas de tratamento de Água.** 2 ed. Vol. 1. 2005, São Carlos: Rima.
- DILLON, P., FALLOWFIELD, H., MILLER, M. e HUTSON, J. **The potential of riverbank filtration for drinking water supplies in relation to microcystin removal in brackish aquifers.** *Journal of Hydrology*, 2002. 266 (3-4): p. 209-221.
- DREWES, J.E. e SUMMERS, R.S. Natural Organic Matter Removal During Riverbank Filtration: Current Knowledge and Research Needs., in **Riverbank Filtration: Improving Source-Water Quality** 2002, Water Science and Technology Library: Dordrecht. p. 303-309.
- ESQUIVEL, L.G.R. **Remoção de matéria orgânica natural e precursores de trihalometanos por filtração em margem na lagoa do Peri, Santa Catarina, Brasil.** Tese submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Ambiental. Florianópolis, SC, 2012.
- ESQUIVEL, L. G. R., GRISCHEK, T., PIZZOLATTI, B. S., MONDARDO, R. I. e SENS, M. L. **Bank filtration in a coastal lake in South Brazil: water quality, natural organic matter (NOM) and redox conditions study.** *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2017. 19 (8): p. 2007-2020.
- ESQUIVEL, L. G. R., PIZZOLATTI, B. S., and SENS, M. L. **Tratamiento de agua potable por filtración inducida en una laguna costera en el sur de Brasil.** *Tecnología en Marcha*, 2012. 25 (4): p. 23-32.
- ESQUIVEL, L.G. R, MONDARDO, R. I., SENS, M. L., and GRISCHEK, T. **Removal of cyanobacteria and cyanotoxins during lake bank filtration at Lagoa do Peri, Brazil.** *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2014. 16 (6): p. 1133-1143.
- ESQUIVEL, L.G.R, PIZZOLATTI, B.S., SOARES, M. B. D., MICHELAN, D.C.G.S. e SENS, M.L. **Bank filtration: Application in rural areas. Case studies in Santa Catarina, Brazil.** in *21st Century Watershed Technology: Improving Water Quality and Environment Conference Proceedings, 21-24 February 2010, Universidad EARTH, Costa Rica*. 2010. St. Joseph, MI: ASABE.
- ESQUIVEL, L.G.R., PIZZOLATTI, B.S. e SENS, M.L. **Potencial de aplicação da filtração em margem em Santa Catarina, Brasil.** *Interciência*, 2016. 41, 740-747. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33948191003>. Acessado em: 02 Oct. 2019
- FERNANDES, M.M. **Mecânica dos solos** 2016, São Paulo: Oficina de textos.
- FERNANDES. M.A.B., SANTIAGO, M.M.F., GOMES, D.F., FILHO, J.M., FRISCHKORN, H., DE LIMA, J.O.G. **A origem dos cloretos nas águas subterrâneas na chapada do Apodi – Ceará.** *Águas Subterrâneas*, v. 19, n. 1, p. 25-34, 2005.
- FREITAS, D. A., CABRAL, J. J. S. P., ROCHA, F. J. S, PAIVA, A. L. R., e ALBUQUERQUE, T. B. V **Carvalho Filho, J. A. A. Uso da técnica de filtração em margem no Rio Beberibe-PE para remoção de microorganismos patogênicos.** in *XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves-RS*. 2013.
- FREITAS, D. A., P., CABRAL J. J. S., S., ROCHA F. J., R., PAIVA A. L., L., SENS M. e B., VERAS T. **Cryptosporidium spp. and Giardia spp. removal by bank filtration at Beberibe River, Brazil.** *River Research Applications*, 2017. 33 (7): p. 1079-1087.
- FREITAS, D.A. **O emprego da técnica de filtração em margem para tratamento de água no Rio Beberibe, região metropolitana do Recife.** Mestrado, Pós-Graduação em



- Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. p. 148, Recife-PE, 2010.
- FREITAS, D.A., CABRAL, J.J.S.P., PAIVA, A.L.R. e MOLICA, R.J.R. **Application of bank filtration technology for water quality improvement in a warm climate: a case study at Beberibe River in Brazil.** Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA, 2012. 61 (5): p. 319.
- FREITAS, J.B.A. **Caracterização da zona hiporreica no trecho médio do Rio Beberibe considerando aspectos biológicos e sedimentológicos.** Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. p. 146, Recife-PE, 2018.
- FURB **Tratamento da água.** Disponível em: <http://www.inf.furb.br/sias/saude/Textos/TratamentoAgua.html>. Acessado em: 07/04/2018.
- GHODIEF, K., GRISCHEK, T., BARTAK, R., WAHAAB, R., HERLITZIUS, J. Potencial of river bank filtration (RBF) in Egypt. Environ Earth Sci (2016) 75:671 DOI 10.1007/s12665-016-5454-3. Published online: 11 April 2016. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- GRICHECK, T., SCHUBERT, J., JAPERSE, J.L., STOWE, S.M. e COLLINS, M.R. What is the appropriate site for RBF: Bank filtration/recharge in fractured rock, in **Management of Aquifer Recharge for Sustainability 2007**, Acacia Publishing Incorporated.: Phoenix, Arizona.
- GRIDCHECK, T., SCHUBERT, J., JAPERSE, J.L., STOWE, S.M. e COLLINS, M.R. What is the appropriate site for RBF: Bank filtration/recharge in fractured rock, in **Management of Aquifer Recharge for Sustainability 2007**, Acacia Publishing Incorporated.: Phoenix, Arizona.
- GUEDES, T.L. **Avaliação do desempenho de um sistema de filtração em margem de rio com bombeamento fotovoltaico.** Doutorado, Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. p. 207, Florianópolis-SC, 2018.
- GUEDES, T.L., MICHELAN, D.C.G.S., LEAL, L.L., PAIVA, A.L.R., BURGARDT, T., CABRALL, J.J.S.P., DALSSASSP, L. e SENS, M. L. **Occurrence of iron in bank filtration wells: case studies in Ituporanga (SC) and Garanhuns (PE).** Desalination and Water Treatment, 2018. 101: p. 170-177.
- GUEDES, T.L.; SOUZA, F.H.; GHISI, D.B.; PEREZ, A.B.A.; DALSSASSO, R.L. e SENS, M.L. **Aplicação da filtração em margem de rio como alternativa de tratamento de água para comunidades isoladas.** Revista DAE, 2019. 67: p. 84-94.
- GUERRA, H.O.C. **Física dos Solos.** Campina Grande: UFCG. p. 173, 2000.
- GUNKEL, G. e HOFFMANN, A. Bank filtration of rivers and lakes to improve the raw water quality for drinking water supply., in **Water purification.** , GERTSEN N, S.L., Editor 2009, Nova Science Publishers Inc., : New York. p. 137–169.
- HAZEN, A. **Some physical properties of sands and gravels, with special reference to their use in filtration.** 24 ed 1982, Boston: Annual Report. Massachusetts State Board of Health.
- HEIZEN, G. **Efeito da variação da Granulometria na permeabilidade de amostras de areia.** Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Civil de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Joinville. p. 86, Joinville, 2019.
- HENZLER, A. F., GRESKOWIAK, J. e MASSMAN, G. **Modeling the fate of organic micropollutants during river bankfiltration (Berlin, Germany).** Journal of Contaminant Hydrology, 2014. 156: p. 78-92.

- HISCOCK, K.M. e GRISCHEK, T. **Attenuation of groundwater pollution by bank filtration.** *Journal of Hydrology*, 2002. 266: p. 139-144.
- HOFFMANN, A., GUNKEL, G. (2011b). **Bank filtration in the sandy littoral zone of Lake Tegel (Berlin): Structure and dynamics of the biological active filter zone and clogging processes.** *Limnologica*. 41:10-19.
- HORNER, C., HOLZBECHER, E. e NUTZMANN, G. **A coupled transport and reaction model for long experiments simulating bank filtration.** *Hydrological Processes*, 2007. 21 (8): p. 1015-1025.
- HU, B., TENG, Y. e ZHAI, Y. **Riverbank Filtration in China: A Review and Perspective.** *Journal of Hydrology*, 2016. 541 (Part B): p. 914-992.
- HUBBS, S.A. Evaluating streambed forces impacting the capacity of river bed filtration systems., in **Riverbank Filtration Hydrology. Nato Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences**, HUBBS, S.A., Editor 2006, Springer, Dordrecht.
- HULSHOFF, I., GRESKOWIAK, J., WIESE, B. e GRUTZMACHER, G. Relevance and Opportunities of BF to provide safe water for developing and newly-industrialized countries., in **Combination of MAR and adjusted conventional treatment processes for an Integrated Water Resources Management 2009**, TECHNIAU report 5.2.9
- HUNT, H. American Experience in Installing Horizontal Collector Wells., in **Riverbank Filtration: Improving Source-Water Quality.** 2003, Water Science and Technology Library.
- HYPOLITO, R., EZAKI, S., RÉREZ-AGUILAR, A. **Fluoreto nas águas subterrâneas dos aquíferos Tubarão e Cristalino, região de Salto-Indaiatuba (SP).** *Geociências*. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 63(4): 715-726, out. dez. 2010
- JANGADA, V.H. **REMOÇÃO DE Cryptosporidium spp. NO TRATAMENTO DE ÁGUAS POR FILTRAÇÃO EM MARGEM: SIMULAÇÃO COM COLUNAS DE SEDIMENTO E MICROESFERAS DE POLIESTIRENO.** Dissertação, Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. p. 103, Florianópolis/SC, 2014.
- KUEHN, W. e MUELLER, U.; **Riverbank filtration: an overview.** *J AmWater Works Assoc*, 2000. 92 (12): p. 60-69.
- KÜHN, W. e MÜLLER, U. **Riverbank filtration an overview.** *Journal American Water Works Association.*, 2000. 92: p. 60-69.
- LEE, S.I. e LEE, S.S. **Development of site suitability analysis system for riverbank filtration.** *Water Science and Engineering*, 2010: p. 85-94.
- MACHADO, P.L.O.A. **Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global.** *Química Nova*, 2005. 28 (2): p. 329-334.
- MARMONIER, P., FONTVIEILLE, D., GIBERT, J. e VANEK, V. **Distribution of dissolved organic carbon and bacteria at the interface between the Rhône River and its alluvial aquifer.** *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 1995. 14 (3): p. 2-392.
- MCDOWELL-BOYER, L.M., Hunt, J.R., Sitar, N. (1986) **Particle transport through porous media.** *Water Resources Research*. 22(13):1901-1921.
- MCKENZIE, N., COUGHLAN, K. e CRESSWELL, H. **Soil physical measurements and interpretation for land evaluation.** CSIRO Publishing, 2002: p.
- MELFI, A.J., PEDRO, G. e VOLKOFF, B. **Natureza e distribuição dos compostos ferríferos nos solos do Brasil.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 1979. 3: p. 47-54.

- MELLO, T.T.S. **Mecânica dos solos I - Caderno de aula de exercícios**. Curso de Engenharia Civil da Estácio de Sá, UCDB, Unigran e da Facsul. : Campo Grande 2020.
- MELO, M., COSTA, B. e AQUINO, O. **REMOÇÃO DE FERRO E SÍLICA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA VISANDO GERAÇÃO DE VAPOR: ESTUDO DE CASO**. in *XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*. 2008. Natal - RN: Revista de águas subterrâneas-ABAS.
- MEURER, E. J. **Fundamentos da Química do Solo**. 5 ed 2012, Porto Alegre: Evangraf.
- MICHELAN, D.C.G.S. **Filtração em margem de rio precedendo a filtração lenta, para remoção de carbofurano, em tratamento de água para consumo humano**. Doutorado, Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. p. 342, Florianópolis-SC, 2010.
- MIN, L., JINJIE, Y., CHANGMING, L., ZHU, J. e WANG, P. **The Spatial variability of streambeds vertical conductivity in na intermitente river, northwestern China**. *Environmental Earth Sciences*, 2013. 69: p. 873-883.
- MONDARDO, R.I. **Avaliação da filtração em margem como pré-tratamento à filtração direta descendente na remoção de células de cianobactérias e saxitoxinas**. Doutorado, Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC. p. 291, Florianópolis- Santa Catarina, 2009.
- MORUZZI, R.B. e REALI, M.A.P. **Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de anbastecimento público ou industrial - uma abordagem geral**. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 2012. 4 (1): p. 29-43.
- MASSMANN, G., Sültenfuss, J., Dünnbier, U., Knappe, A., Taute, T., Pekdeger, A., 2008. **Investigation of groundwater residence times during bank filtration in Berlin: a multitracer approach**. *Hydrol. Process.* 22, 788–801.
- MS, MINISTÉRIO DA SAÚDE **Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde de 03 de outubro de 2017**. Disponível em: <https://cevs-admin.rs.gov.br/upload/arquivos/201804/26143402-anexo-xx.pdf>. Acessado em: 24/03/2020.
- MUSTAFA, S., BAHAR, A., AZIZ, Z.A. e SURATMAN, S. **Modelling contaminant transport for pumping wells in riverbank filtration systems**. *Journal of Environmental Management*, 2016. 165: p. 159-166.
- NASCIMENTO, K.R.F. **Modelagem matemática do uso conjunto das águas superficiais e subterrâneas da sub-bacia do rio das fêmeas-bahia**. Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia, 2002. Relatório Final: p. 48.
- PAIVA, A. R. L., CABRAL, J. J. S. P. e DEMÉTRIO, J. G. A. **Exploração conjunta de água subterrânea e água Superficial induzida através de bombeamento próximo a mananciais**. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Natal, Rio Grande do Norte, 2008.
- PAIVA, A.L.R. **O processo de filtração em margem e um estudo de caso no Rio Beberibe**. Doutorado, Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE,. p. 171, Recife-PE, 2009.
- PAIVA, A.L.R., CABRAL, J.J.S.P., DEMÉTRIO, J.G.A. e SOBRAL, M.C.M. **Filtração em margem para indução de recarga e melhoria da qualidade de água- Estudo de caso: Rio Beberibe**. *Águas Subterrâneas*, 2010. 24 (1): p. 103-114.
- PARIMALARENGANAYAKI, S., BRINDHA, K., SANKARAN, K. e ELANGO, L. **Effect of recharge from a check dam and river bank filtration on geochemical and microbial composition of groundwater**. *Saudi Society for Geosciences*, 2015: p.

- PAVINATO, P. S. e ROSOLEM, C. A. **Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais**, . Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2008. 32 (3): p. 911-920.
- PHOLKERN, K, SRISUK, K, GRISCHEK, T., e SOARES, M; **Riverbed clogging experiments at potential river bank filtration sites along the Ping River, Chiang Mai, Thailand**. Environmental Earth Sciences, 2015. 73: p. 7699-7709.
- PINTO, C.S. **Curso básico de Mecânica dos solos**. 3 ed 2011, São Paulo: Oficina de textos.
- PORTARIA PORTARIA N° 320/2016. Disponível em: <https://saude.rs.gov.br/upload/arquivos/carga20170439/13053941-1489671355-320-20-20cevs.pdf>. Acessado em: 24/03/2020.
- RABELO, L. **Estudos preliminares para implantação da filtração em margem na Lagoa do Peri como pré-tratamento de água para remoção de fitoplâncton**. Mestrado, Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC. p. 152, Florianópolis-Santa Catarina, 2006.
- RAY, C. **Riverbank filtration: Understanding contaminant biogeochemistry and pathogen removal**. Vol. 14. 2002: NATO Science Series. IV Earth and Environmental Sciences.
- RAY, C. e GRISCHEK, T. **Riverbank Filtration: Understanding Contaminant Biogeochemistry And Pathogen Removal**. 2009, The Netherlands: Kluwer Academic Publ.
- RAY, C., JASPERSE, J. e GRISCHEK, T. Bank Filtration as Natural Filtration, in **Drinking Water Treatment**. Springer Netherlands, RAY, C., JAIN, R. (EDS.), Editor 2011, Dordrecht.
- RAY, C., SHUBERT, J., LINSKY, R.B. e MELIN, G. **Riverbank Filtration – improving source-walter quality**. Vol. 43. 2003, California, USA: Kluwer Academic.
- REINERT, D.J. and REICHERT, J.M. **Propriedades físicas do solo**. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/68/o/An\\_lise\\_da\\_zona\\_n\\_o\\_saturada\\_do\\_solo\\_t\\_exto.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo_t_exto.pdf). Acessado em: 24/03/2020.
- REUCHARDT, K. **Dinâmica da matéria e de energia de ecossistemas**. 2ª ed 1996, Piracicaba/SP: USP/ESALQ.
- RINCK-PFEIFFER, S., Ragusa, S., Sztajn bok, P., Vandavelde, T. (2000) **Interrelationships between biological, chemical and physical processes as an analog to clogging in aquifer storage and recovery (ASR) wells**. Water Resources. 34(7):2110-2118.
- ROCHA, S.F. **Implantação de um sistema de filtração em margem e avaliação hidrogeológica da interação Lago-Aquífero**. Doutorado, Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa. p. 130, Viçosa-MG, 2015.
- ROCHA, S.F. e MARQUES, E.G. **Caracterização Hidrogeológica de um Sistema de Filtração em Margem de Lago Hydrogeological Characterization of a Lake Bank Filtration System**. Anuario do Instituto de Geociencias, 2016. 39: p. 131.
- ROCHA, S.F. e MARQUES, E.G. **Three-dimensional modeling of steady-state flow in Lake bank filtration – Brazil**. Water Science and Technology: Water Supply, 2018. 19: p. ws2018052.
- RODRÍGUEZ, M., RODRÍGUEZ, G., SÉRODES, J. e SADIQ, R. **Subproductos De La Desinfección Del Agua Potable: Formación, Aspectos Sanitarios Y Reglamentación**. Interciência, 2007. 32 (11): p. 749-756.
- RUF, G. **Feasibility study for bank filtration at the Capivari Lake, Brazil**. Fakultät Bauingenieurwesen/ Architektur, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden. p. 85, Dresden, 2018.

- SÁ, J.U. **Poços coletores com drenos radiais-Projeto Experimental**. . Série Hidrogeologia - Pesquisa e Desenvolvimento.: Ministério de Minas e Energia CPRM – Serviço geológico do Brasil. Superintendência Regional da COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento. 1999.
- SANDHU, C., GRISCHEK, T., KUMAR, P., and RAY, C. **Potential for riverbank filtration in India**. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2011. 13 (2): p. 295-316.
- SANTIAGO&CINTRA **Como funciona o sistema RTK (Real Time Kinematic)?** Disponível em: <https://www.santiagoocintra.com.br/blog/geo-tecnologias/como-funciona-o-sistema-rtk-real-time-kinematic-y>. Acessado em:
- SANTOS, L. L., BARROS, T. H. S., CABRAL, J. J. S. P. e MELO, R. T. **Aplicação da tecnologia de filtração em margens para redução ou eliminação de contaminantes físico-químicos na região semi-árida de Pernambuco**. in *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. 2011. Maceió, Alagoas.
- SANTOS, L.L. **Filtração em margem para remoção de contaminantes físico-químicos em um reservatório de abastecimento público no Semiárido Pernambucano**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil., Universidade Federal de Pernambuco. p. Recife, 2012.
- SANTOS, L.L., CABRAL, J.J.S.P. e MELO, R.T. **Aplicação da técnica de filtração em margens em um reservatório eutrofizado no semi-árido nordestino**. Disponível em: <https://iwra.org/member/congress/resource/PAP00-5735.pdf>. Acessado em: 11/08/19.
- SEBOK, E.; KARAN, S.; ENGESGAARD, P. **Using hydrogeophysical methods to assess the feasibility of lake bank filtration**. *Journal of Hydrology* 562, p. 423-434. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.049>. 2018
- SCHIJJEN, J., BERGER, P. e MIETTINEN, I. Removal of pathogens, surrogates, indicators, and toxins using riverbank filtration, in **Riverbank filtration: improving source water quality**. 2002, Kluwer Academic Publishers: Dordrecht. p. 73-116.
- SCHMIDT, C.K., LANGE, F.T., BRAUCH, H.J. e KUEHN, W. **Experiences with Riverbank Filtration and Infiltration in Germany 2003**, Karlsruhe, Germany: DVGW-Water Technology Center (TSW),.
- SCHNEIDER, K-J. **Bautabellen für Ingenieure mit europäischen und nationalen Vorschriften (Equations for engineers with european and national regulations)**. 1996, Werner-Verlag, Düsseldorf.: Auflage.
- SCHOENHEINZ, D. **DOC as control parameter for the evaluation and management of aquifers with anthropogenic influenced infiltration**. Faculty of Forestry, Geo and Hydro Sciences, Dresden University of Technology. p. Germany, 2004.
- SCHUBERT, J. **Hdraulics aspects of riverbank filtration**. *Journal os Hydrology*, 2001: p. 145-161.
- SCHUBERT, J. Signicance of hydrologic aspects on the RBF performance., in **Riverbank Filtration Hydrologic 2006**, Nato Scienceseries IV: Earth and Environmental Sciences. p. 1-20.
- SENS, M. L., MONDARDO, R. I., DALSSASSO, R. L. e MELO FILHO, L. C. Filtração em Margem, in **Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano**. 2006, PROSAB-04: Minas Gerais. p. 173-236.
- SENS, M.L. e DALSSASSO, R.L. **Bank filtration of reservoir as an efficient technique for water supply treatment.**, in *Reservoir and River Basin Management: Exchange*

- of Experiences from Brazil, Portugal and Germany. Technical University of Berlin: Alemanha. p. 253, 2007.
- SENS, M.L., MONDARDO, R.I., DALSSASSO, R.L., e MELO FILHO, L.C. Capítulo 5 - **Filtração em Margem**, in Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. PROSAB-04: Minas Gerais. p. 173-236, 2006.
- SHAMRUKH, M. e ABDEL-WAHAB Water Pollution and Riverbank Filtration for Water Supply Along River Nile, Egypt., in **Riverbank Filtration for Water Security in Desert Countries** 2011, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. CAP. 2.
- SHAMRUKH, M. e ABDEL-WAHAB, A. **Riverbank filtration for sustainable water supply: application to a large-scale facility on the Nile River**. Technologies and Environmental Policy, 2008. 10: p. 351-358.
- SINGER, P. **Humic substances as precursors for potentially harmful disinfection by-products**. Water Science and Technology: Water Supply, 1999. 40 (9): p. 25-30.
- SINGH, P. , KUMAR, P. , MEHROTRA, I. , and GRISCHEK, T. **Impact of riverbank filtration on treatment of polluted river water**. Journal of Environmental Management, 2010. 91: p. 1055-1062.
- SIQUEIRA, M. **Poço artesiano: SIM ou NÃO?** . Disponível em: <https://casa.abril.com.br/construcao/poco-artesiano-sim-ou-nao/>. Acessado em: 08/05/2020.
- SOARES, M. **The Influence of High Infiltration Rates, Suspended Sediment Concentration and Sediment Grain Size on River and Lake Bed Clogging**. Fakultät III, Technischen Universität Berlin. p. 143, Berlin, 2015.
- SOARES, M., PIZZOLLATI, B. S. e SENS, M. L. **Estudo Hidrogeológico Preliminar para a Avaliação do Potencial de Colmatação do Sedimento das Margens da Lagoa do Peri e do Canal Sangradouro – Florianópolis – Santa Catarina – para a Implantação da Técnica da Filtração em Margem**. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, 2019: p.
- SOARES, M.B.D. **Estudo da Implantação em escala real da Filtração em Margem em Lago de piscicultura extensiva para dessedentação animal**. Mestrado, Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. p. 130, Florianópolis-SC, 2009.
- SONTHEIMER, H. **Experience with riverbank filtration along the Rhine river**. Journal of American Water Works Association, 1980: p. 386-390.
- SOPHOCLEOUS, M. **Interactions between groundwater and surface water: the state of the science**. Hydrogeologic Journal, 2002. 10: p. 52-67.
- SOUZA, A. D., SOBRAL, M. C. e GUNKEL, G. **Filtração em margem de rios e lagos como uma alternativa de tratamento de água**. in *SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE*. 2004. São Luiz do Maranhão: Abrh.
- SPERLING, E.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ª ed 1996, Belo Horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG.
- STEPICZUK, C., MARTIN, A. B., LONGABUCCO, P., BLOOMFIELD, J. A. e FFLER, S. W. **Allochthonous Contributions of THM Precursors to a Eutrophic Reservoir**. Lake and Reservoir Management, 1998. 14 (2-3): p. 344-355.
- STUYFZAD, P., JUHÁSZ-HOLTERMAN, M. e LANGE, W. **Riverbank filtration in Netherlands: well fields, clogging and geochemical reactions**. in *Advanced Research Workshop: Clogging in Riverbank Filtration*. 2004. Bratislava.

- STUYFZAND, P.J., JUHASZ-HOLTERMAN, M.H.A. e DE LANGE, W.J. Riverbank filtration in the Netherlands: Well fields, clogging and geochemical reactions., in **Riverbank Filtration Hydrology**, HUBBS, S.A., Editor 2006, NATO Science Series IV; Earth and Environmental Sciences.
- SUPORTE **Análise Granulométrica do Solo - Ensaios Geotécnicos - A Curva e os Tipos de Análise.** Disponível em: <http://www.suportesolos.com.br/blog/analise-granulometrica-do-solo-ensaios-geotecnicos-a-curva-e-os-tipos-de-analise/72/>.  
Acessado em: 16/04/2020.
- TOLDO, E.E., ALMEIDA, L.E.S.B. e CORRÊA, I.C.S. **Producion de Sedimentos em laguna costera de margen passiva: el ejemplo de la Lagoa dos Patos, Brazil.** Revista de Ciências del Mar, 1999. 15: p. 29-34.
- TRUSSELL, R.R. e CHANG, M. **Review of flow through porous media as applied to head loss in water filters.** Journal of Environmental Engineering, 1999. 125: p. 998-1006.
- TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água.** 3a edição - São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. ISBN 85-900823-6-9
- XIII - 643 p.
- TUFENKJI, N., RYAN, J. N. e ELIMELECH, M. **Bank filtration: a simple technology may inexpensively clean up poor-quality raw surface water.** Environmental Science and Technology, 2002: p. 423-428.
- TYAGII, S., DOBHAL, R., KIMOTHI, P.C., ADLAKHA, L.K., SINGH, P. e UNIYAL, D.P. **Studies of River Water Quality Using River Bank Filtration in Uttarakhand, India.** Water Quality Exposure and Health, 2013. 5: p. 139-148.
- UNESCO United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **United Water in a Changing World, The United Nations World Water Development.** 2009. Istanbul, Turkey: World Water Assessment Programme.
- VERAS, T.B. **Análise da interação Rio-Aquífero na zona hiporreica para a tecnologia de filtração em margem: estudo de caso no Rio Beberibe-PE.** Mestrado, Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco- UFPE. p. 136, Recife-PE, 2011.
- VERAS, T.B., CABRAL, J.J.S.P., PAIVA, A.L.R., BARCELLOS, R.L. e SANTOS, L.L. **Vertical hydraulic gradient research in hyporheic zone of Beberibe river in Pernambuco State (Brazil).** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2016. 21 (4): p. 674-684.
- WANG, L., SONG, J., ZHANG, B. e GUO, H. **Spatial and Temporal Variations of Streambed Vertical Hydraulic Conductivity in the Weihe River, China.** Water, 2016. 8 (3): p. 70.

## APÊNDICES

### Apêndice A- Lista dos 830 em operação poços da Corsan, cidade de localização e superintendência a qual faz parte.

Código do poço	Cidade	Superintendência Regional da Corsan
ACE - 02	ACEGUA	SURPA
AGS - 02	AGUA SANTA	SURPLA
AJU - 01	AJURICABA	SURMIS
AJU - 02	AJURICABA	SURMIS
PRM - 02	AJURICABA	SURMIS
ALG - 01C	ALEGRETE	SURFRO
ALG - 02	ALEGRETE	SURFRO
ALG - 07	ALEGRETE	SURFRO
ALG - 09	ALEGRETE	SURFRO
ALG - 10	ALEGRETE	SURFRO
ALG - 11C	ALEGRETE	SURFRO
ALG - 14A	ALEGRETE	SURFRO
ALG - 15B	ALEGRETE	SURFRO
ALG - 20A	ALEGRETE	SURFRO
ALG - 22	ALEGRETE	SURFRO
ALG - 23	ALEGRETE	SURFRO
ALG - 25	ALEGRETE	SURFRO
ALG - 27A	ALEGRETE	SURFRO
ALG - 28	ALEGRETE	SURFRO
ALG - 29	ALEGRETE	SURFRO
ALG - 30	ALEGRETE	SURFRO
BLC - 001	ALEGRETE	SURFRO
PNO - 01	ALEGRETE	SURFRO
PNO - 02	ALEGRETE	SURFRO
STD - 001	ALEGRETE	SURFRO
ALP - 06	ALPESTRE	SURPLA
AAL - 02	ALTO ALEGRE	SURMIS
AMF - 06	AMARAL FERRADOR	SURSUL
APR - 026	ANTONIO PRADO	SURNE
APR - 03	ANTONIO PRADO	SURNE
APR - 032	ANTONIO PRADO	SURNE
APR - 05	ANTONIO PRADO	SURNE
APR - 07	ANTONIO PRADO	SURNE
APR - 08	ANTONIO PRADO	SURNE
APR - 10	ANTONIO PRADO	SURNE
APR - 16	ANTONIO PRADO	SURNE
APR - 17	ANTONIO PRADO	SURNE
APR - 18	ANTONIO PRADO	SURNE



<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
APR - 19	ANTONIO PRADO	SURNE
APR - 29	ANTONIO PRADO	SURNE
APR - 32	ANTONIO PRADO	SURNE
APR - 39	ANTONIO PRADO	SURNE
APR - 43	ANTONIO PRADO	SURNE
ARA - 02	ARATIBA	SURPLA
ARA - 05	ARATIBA	SURPLA
ARA - 07	ARATIBA	SURPLA
ARM - 01	ARROIO DO MEIO	SURNE
ARM - 07C	ARROIO DO MEIO	SURNE
ARM - 08	ARROIO DO MEIO	SURNE
ARM - 10	ARROIO DO MEIO	SURNE
ARM - 11B	ARROIO DO MEIO	SURNE
ART - 02A	ARROIO DO TIGRE	SURCEN
ART - 03	ARROIO DO TIGRE	SURCEN
ART - 05B	ARROIO DO TIGRE	SURCEN
ART - 06	ARROIO DO TIGRE	SURCEN
ART - 17	ARROIO DO TIGRE	SURCEN
ART - 18	ARROIO DO TIGRE	SURCEN
ARR - 02	ARROIO DOS RATOS	SURMET
ARV - 03	ARVOREZINHA	SURNE
ARV - 04	ARVOREZINHA	SURNE
ARV - 05	ARVOREZINHA	SURNE
ARV - 08	ARVOREZINHA	SURNE
ARV - 09	ARVOREZINHA	SURNE
ARV - 11	ARVOREZINHA	SURNE
ARV - 15	ARVOREZINHA	SURNE
ARV - 20B	ARVOREZINHA	SURNE
ARV - 21A	ARVOREZINHA	SURNE
PCA - 01	BALNEARIO DE CACHOEIRINHA	SURMET
BPI - 01	BALNEARIO PINHAL	SURLIT
BPI - 02	BALNEARIO PINHAL	SURLIT
BPI - 04A	BALNEARIO PINHAL	SURLIT
MAG - 01	BALNEARIO PINHAL	SURLIT
TUV - 01	BALNEARIO PINHAL	SURLIT
BAO - 06	BARAO	SURNE
LPI - 01	BARAO	SURNE
BCO - 02A	BARAO DO COTEGIPE	SURPLA
BCO - 04	BARAO DO COTEGIPE	SURPLA
BCO - 05	BARAO DO COTEGIPE	SURPLA
BCO - 07	BARAO DO COTEGIPE	SURPLA
BTR - 03	BARAO DO TRIUNFO	SURMET
BAG - 01	BARRA DO GUARITA	SURMIS

<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
BAG - 03	BARRA DO GUARITA	SURMIS
BQU - 01	BARRA DO QUARAI	SURFRO
BQU - 01A	BARRA DO QUARAI	SURFRO
DOU - 01	BARRA DO RIBEIRO	SURMET
DOU - 02	BARRA DO RIBEIRO	SURMET
PET - 01	BARRA DO RIBEIRO	SURMET
PGR - 01	BARRA DO RIBEIRO	SURMET
BAR - 01	BARRACAO	SURPLA
BAR - 02A	BARRACAO	SURPLA
BAR - 03	BARRACAO	SURPLA
BAR - 06A	BARRACAO	SURPLA
LLP - 01	BENTO GONCALVES	SURNE
BJE - 04	BOM JESUS	SURNE
FON - 01	BOM PROGRESSO	SURMIS
BRS - 02	BOM RETIRO DO SUL	SURNE
BRS - 06	BOM RETIRO DO SUL	SURNE
BLE - 01A	BOQUEIRAO DO LEAO	SURCEN
BLE - 05	BOQUEIRAO DO LEAO	SURCEN
BLE - 06	BOQUEIRAO DO LEAO	SURCEN
BOS - 02	BOSSOROCA	SURPA
BOS - 04	BOSSOROCA	SURPA
BOS - 06	BOSSOROCA	SURPA
BRA - 02	BRAGA	SURMIS
BRA - 05	BRAGA	SURMIS
CCQ - 03	CACEQUI	SURPA
CCQ - 06A	CACEQUI	SURPA
CCQ - 07	CACEQUI	SURPA
CCQ - 10	CACEQUI	SURPA
CCQ - 13	CACEQUI	SURPA
CDO - 03	CACIQUE DOBLE	SURPLA
CBT - 04	CAIBATE	SURMIS
CBT - 05	CAIBATE	SURMIS
CBT - 07	CAIBATE	SURMIS
CAS - 03	CAMBARA DO SUL	SURNE
CPE - 02	CAMPESTRE DA SERRA	SURNE
CAM - 08	CAMPINA DAS MISSOES	SURMIS
CPS - 04	CAMPINAS DO SUL	SURPLA
CPS - 06	CAMPINAS DO SUL	SURPLA
CPS - 07	CAMPINAS DO SUL	SURPLA
CPS - 08	CAMPINAS DO SUL	SURPLA
CNO - 01	CAMPO NOVO	SURMIS
CNO - 04	CAMPO NOVO	SURMIS
CNO - 08	CAMPO NOVO	SURMIS
CNO - 12	CAMPO NOVO	SURMIS

<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
CBO - 05	CAMPOS BORGES	SURMIS
CBO - 09	CAMPOS BORGES	SURMIS
CGO - 02	CANDIDO GODOY	SURMIS
CGO - 12	CANDIDO GODOY	SURMIS
JDF - 01	CANELA	SURNE
CAR - 05	CARAZINHO	SURPLA
CAR - 06	CARAZINHO	SURPLA
CBA - 02	CARLOS BARBOSA	SURNE
CBA - 03A	CARLOS BARBOSA	SURNE
CBA - 04C	CARLOS BARBOSA	SURNE
CBA - 05A	CARLOS BARBOSA	SURNE
CBA - 06	CARLOS BARBOSA	SURNE
CBA - 09	CARLOS BARBOSA	SURNE
CBA - 10	CARLOS BARBOSA	SURNE
CBA - 11	CARLOS BARBOSA	SURNE
CBA - 12	CARLOS BARBOSA	SURNE
CBA - 16	CARLOS BARBOSA	SURNE
CBA - 17	CARLOS BARBOSA	SURNE
CBA - 18	CARLOS BARBOSA	SURNE
CBA - 19	CARLOS BARBOSA	SURNE
CBA - 20	CARLOS BARBOSA	SURNE
CBA - 26	CARLOS BARBOSA	SURNE
CBA - 34	CARLOS BARBOSA	SURNE
CBA - 39	CARLOS BARBOSA	SURNE
CSC - 01	CASCA	SURPLA
CSC - 02	CASCA	SURPLA
CSC - 03	CASCA	SURPLA
CSC - 04	CASCA	SURPLA
CSR - 01	CASEIROS	SURPLA
CSR - 02	CASEIROS	SURPLA
CAT - 02	CATUIPE	SURMIS
CAT - 03	CATUIPE	SURMIS
CAT - 05	CATUIPE	SURMIS
CAT - 06	CATUIPE	SURMIS
CLA - 01	CERRO LARGO	SURMIS
CLA - 02	CERRO LARGO	SURMIS
CLA - 03	CERRO LARGO	SURMIS
CLA - 04	CERRO LARGO	SURMIS
CLA - 05	CERRO LARGO	SURMIS
CLA - 06	CERRO LARGO	SURMIS
CLA - 07	CERRO LARGO	SURMIS
CLA - 08	CERRO LARGO	SURMIS
CLA - 13	CERRO LARGO	SURMIS

<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
CLA - 15	CERRO LARGO	SURMIS
CLA - 17	CERRO LARGO	SURMIS
CLA - 20	CERRO LARGO	SURMIS
CLA - 26	CERRO LARGO	SURMIS
CHA - 02B	CHAPADA	SURPLA
CHA - 03	CHAPADA	SURPLA
CHA - 04	CHAPADA	SURPLA
CHA - 05	CHAPADA	SURPLA
CHA - 06	CHAPADA	SURPLA
CHI - 01	CHIAPETTA	SURMIS
CHI - 03	CHIAPETTA	SURMIS
CHI - 05	CHIAPETTA	SURMIS
CHI - 09A	CHIAPETTA	SURMIS
CHU - 02B	CHUI	SURSUL
CHU - 05	CHUI	SURSUL
CHU - 08	CHUI	SURSUL
CHU - 09	CHUI	SURSUL
CIR - 01	CIRIACO	SURPLA
CIR - 03	CIRIACO	SURPLA
COL - 01	COLORADO	SURMIS
COL - 03	COLORADO	SURMIS
CON - 03	CONDOR	SURMIS
CON - 04	CONDOR	SURMIS
CON - 05	CONDOR	SURMIS
CON - 06	CONDOR	SURMIS
CNS - 01	CONSTANTINA	SURPLA
CNS - 02	CONSTANTINA	SURPLA
CNS - 03	CONSTANTINA	SURPLA
CNS - 05	CONSTANTINA	SURPLA
CNS - 07	CONSTANTINA	SURPLA
CNS - 08	CONSTANTINA	SURPLA
CBI - 02	CORONEL BICACO	SURMIS
CBI - 04	CORONEL BICACO	SURMIS
CBI - 05	CORONEL BICACO	SURMIS
CBI - 06	CORONEL BICACO	SURMIS
PRM - 01	CORONEL BICACO	SURMIS
CZA - 08	CRUZ ALTA	SURMIS
CZA - 17	CRUZ ALTA	SURMIS
CZS - 03	CRUZEIRO DO SUL	SURNE
DAV - 01	DAVID CANABARRO	SURPLA
DAV - 04	DAVID CANABARRO	SURPLA
DER - 01	DERRUBADAS	SURMIS
DER - 03	DERRUBADAS	SURMIS
DIL - 02B	DILERMANDO DE AGUIAR	SURCEN

<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
DIL - 05	DILERMANDO DE AGUIAR	SURCEN
CAS - 01	DOIS IRMAOS	SURSIN
DOI - 01	DOIS IRMAOS	SURSIN
DOI - 02	DOIS IRMAOS	SURSIN
DOI - 03	DOIS IRMAOS	SURSIN
DOI - 04	DOIS IRMAOS	SURSIN
DOI - 05	DOIS IRMAOS	SURSIN
DOI - 06	DOIS IRMAOS	SURSIN
DOI - 07	DOIS IRMAOS	SURSIN
DOI - 08	DOIS IRMAOS	SURSIN
DOI - 09	DOIS IRMAOS	SURSIN
LAG - 01	DOIS IRMAOS	SURSIN
DMC - 04	DOUTOR MAURICIO CARDOSO	SURMIS
ENC - 04A	ENCANTADO	SURNE
ENC - 05	ENCANTADO	SURNE
ENC - 06	ENCANTADO	SURNE
ENC - 07	ENCANTADO	SURNE
ENC - 08A	ENCANTADO	SURNE
ENC - 15	ENCANTADO	SURNE
ECZ - 03	ENCRUZILHADA DO SUL	SURPA
EIJ - 01	ENTRE IJUIS	SURMIS
EIJ - 01A	ENTRE IJUIS	SURMIS
EIJ - 03B	ENTRE IJUIS	SURMIS
EIJ - 05	ENTRE IJUIS	SURMIS
EIJ - 07	ENTRE IJUIS	SURMIS
EIJ - 08	ENTRE IJUIS	SURMIS
PRM - 02	ENTRE IJUIS	SURMIS
ERS - 01	ENTRE RIOS DO SUL	SURPLA
PRM - 01	ENTRE RIOS DO SUL	SURPLA
ERB - 02A	EREBANGO	SURPLA
ERB - 04	EREBANGO	SURPLA
ERE - 24	ERECHIM	SURPLA
ERG - 01	ERVAL GRANDE	SURPLA
ERG - 04	ERVAL GRANDE	SURPLA
ESM - 04	ESMERALDA	SURPLA
ESM - 04A	ESMERALDA	SURPLA
ESP - 03	ESPUMOSO	SURMIS
ESP - 06	ESPUMOSO	SURMIS
ESP - 07	ESPUMOSO	SURMIS
ESP - 09	ESPUMOSO	SURMIS
ESP - 11	ESPUMOSO	SURMIS
ESP - 12	ESPUMOSO	SURMIS
ESP - 15	ESPUMOSO	SURMIS

<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
ESP - 16	ESPUMOSO	SURMIS
ETA - 02A	ESTACAO	SURPLA
ETA - 10	ESTACAO	SURPLA
ETA - 11B	ESTACAO	SURPLA
ETA - 13A	ESTACAO	SURPLA
EVE - 04A	ESTANCIA VELHA	SURSIN
EVE - 06A	ESTANCIA VELHA	SURSIN
MAG - 01	ESTANCIA VELHA	SURSIN
EST - 04	ESTRELA	SURNE
EST - 05	ESTRELA	SURNE
EST - 08A	ESTRELA	SURNE
EST - 09	ESTRELA	SURNE
EST - 10	ESTRELA	SURNE
EST - 11A	ESTRELA	SURNE
EST - 12B	ESTRELA	SURNE
EST - 15	ESTRELA	SURNE
EST - 16	ESTRELA	SURNE
EST - 20	ESTRELA	SURNE
EST - 21	ESTRELA	SURNE
EST - 23A	ESTRELA	SURNE
EST - 28	ESTRELA	SURNE
FVA - 02B	FAGUNDES VARELA	SURNE
FVA - 04	FAGUNDES VARELA	SURNE
FAR - 10	FARROUPILHA	SURNE
FON - 02	FAXINAL DO SOTURNO	SURCEN
FXS - 01	FAXINAL DO SOTURNO	SURCEN
FXS - 03A	FAXINAL DO SOTURNO	SURCEN
FXS - 05A	FAXINAL DO SOTURNO	SURCEN
SAJ - 01	FAXINAL DO SOTURNO	SURCEN
FAX - 01	FAXINALZINHO	SURPLA
FAX - 02	FAXINALZINHO	SURPLA
BAN - 01	FELIZ	SURNE
BMF - 01	FELIZ	SURNE
CAR - 01	FELIZ	SURNE
CDW - 01	FELIZ	SURNE
COQ - 01	FELIZ	SURNE
FEL - 01	FELIZ	SURNE
FEL - 02	FELIZ	SURNE
FEL - 03	FELIZ	SURNE
FEL - 04	FELIZ	SURNE
FEL - 05	FELIZ	SURNE
FEL - 06	FELIZ	SURNE
FEL - 07A	FELIZ	SURNE
FEL - 09	FELIZ	SURNE

<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
FEL - 10	FELIZ	SURNE
FEL - 12	FELIZ	SURNE
MBE - 01	FELIZ	SURNE
MBE - 02	FELIZ	SURNE
NCX - 01	FELIZ	SURNE
ROC - 01	FELIZ	SURNE
SOB - 01	FELIZ	SURNE
SRQ - 01	FELIZ	SURNE
SRQ - 02	FELIZ	SURNE
VLB - 01	FELIZ	SURNE
VLH - 01	FELIZ	SURNE
CSJ - 01	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 05A	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 06A	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 07	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 08	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 09	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 11	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 12	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 14A	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 15	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 16	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 18	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 19	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 21	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 25	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 29	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 31	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 32	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 34	FLORES DA CUNHA	SURNE
FLC - 38	FLORES DA CUNHA	SURNE
LOI - 01	FLORES DA CUNHA	SURNE
LOI - 03	FLORES DA CUNHA	SURNE
LPP - 01	FLORES DA CUNHA	SURNE
SGO - 01	FLORES DA CUNHA	SURNE
SGO - 07	FLORES DA CUNHA	SURNE
FXA - 05A	FONTOURA XAVIER	SURNE
FOV - 01	FORTALEZA DOS VALOS	SURMIS
FOV - 04	FORTALEZA DOS VALOS	SURMIS
BOR - 01	GARIBALDI	SURNE
GAB - 03	GARIBALDI	SURNE
GAR - 01	GARIBALDI	SURNE
GAR - 02	GARIBALDI	SURNE

<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
GAR - 03A	GARIBALDI	SURNE
GAR - 08	GARIBALDI	SURNE
GAR - 10	GARIBALDI	SURNE
GAR - 13	GARIBALDI	SURNE
GAR - 16	GARIBALDI	SURNE
GAR - 17	GARIBALDI	SURNE
GAR - 18	GARIBALDI	SURNE
GAR - 19	GARIBALDI	SURNE
GAR - 20	GARIBALDI	SURNE
TAM - 01	GARIBALDI	SURNE
SAS - 03	GENERAL CAMARA	SURMET
SAS - 05	GENERAL CAMARA	SURMET
GVA - 02	GETULIO VARGAS	SURPLA
GIR - 01	GIRUA	SURMIS
GIR - 04	GIRUA	SURMIS
GIR - 06	GIRUA	SURMIS
GIR - 08	GIRUA	SURMIS
GIR - 09	GIRUA	SURMIS
GIR - 10	GIRUA	SURMIS
GIR - 11	GIRUA	SURMIS
GIR - 13	GIRUA	SURMIS
GIR - 14	GIRUA	SURMIS
GIR - 16	GIRUA	SURMIS
HOR - 01	GRAMADO	SURNE
PQF - 01	GRAMADO	SURNE
VAG - 02	GRAMADO	SURNE
GMI - 04	GUARANI DAS MISSOES	SURMIS
GMI - 15	GUARANI DAS MISSOES	SURMIS
GMI - 19	GUARANI DAS MISSOES	SURMIS
FON - 01	HUMAITA	SURMIS
HUM - 01	HUMAITA	SURMIS
IBI - 01	IBIACA	SURPLA
IBI - 05	IBIACA	SURPLA
IBI - 10	IBIACA	SURPLA
IBR - 01	IBIRAIARAS	SURPLA
IBR - 06	IBIRAIARAS	SURPLA
IBR - 09	IBIRAIARAS	SURPLA
IBB - 02	IBIRUBA	SURMIS
IBB - 05	IBIRUBA	SURMIS
IBB - 06	IBIRUBA	SURMIS
IBB - 08	IBIRUBA	SURMIS
IBB - 12	IBIRUBA	SURMIS
IGR - 01A	IGREJINHA	SURSIN
IGR - 02A	IGREJINHA	SURSIN



<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
IGR - 03A	IGREJINHA	SURSIN
IGR - 06	IGREJINHA	SURSIN
IGR - 09	IGREJINHA	SURSIN
IGR - 10	IGREJINHA	SURSIN
IGR - 12	IGREJINHA	SURSIN
IGR - 13A	IGREJINHA	SURSIN
IGR - 15	IGREJINHA	SURSIN
GRM - 01	ILOPOLIS	SURNE
GRM - 04	ILOPOLIS	SURNE
ILO - 02	ILOPOLIS	SURNE
FON - 01	INDEPENDENCIA	SURMIS
IND - 02	INDEPENDENCIA	SURMIS
IND - 06	INDEPENDENCIA	SURMIS
IND - 11	INDEPENDENCIA	SURMIS
IND - 12	INDEPENDENCIA	SURMIS
INH - 01	INHACORA	SURMIS
INH - 02	INHACORA	SURMIS
INH - 03	INHACORA	SURMIS
INH - 04	INHACORA	SURMIS
INH - 05	INHACORA	SURMIS
IPE - 01	IPE	SURNE
IPE - 03	IPE	SURNE
IPE - 08	IPE	SURNE
IPE - 10	IPE	SURNE
IAA - 01	ITAARA	SURCEN
IAA - 03	ITAARA	SURCEN
ITP - 01	ITAPUCA	SURNE
ITQ - 01	ITAQUI	SURFRO
ITQ - 02C	ITAQUI	SURFRO
IVR - 01	IVORA	SURCEN
FON - 01	JABOTICABA	SURPLA
JAC - 02	JACUTINGA	SURPLA
JAQ - 02	JAQUIRANA	SURNE
JAQ - 03	JAQUIRANA	SURNE
JAQ - 04	JAQUIRANA	SURNE
JAQ - 05	JAQUIRANA	SURNE
JAQ - 06	JAQUIRANA	SURNE
JCA - 05A	JULIO DE CASTILHOS	SURCEN
JCA - 07A	JULIO DE CASTILHOS	SURCEN
JCA - 11	JULIO DE CASTILHOS	SURCEN
JCA - 17	JULIO DE CASTILHOS	SURCEN
JCA - 22	JULIO DE CASTILHOS	SURCEN
JCA - 25	JULIO DE CASTILHOS	SURCEN

<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
JCA - 26	JULIO DE CASTILHOS	SURCEN
JCA - 31	JULIO DE CASTILHOS	SURCEN
JCA - 35	JULIO DE CASTILHOS	SURCEN
JCA - 41	JULIO DE CASTILHOS	SURCEN
JCA - 43	JULIO DE CASTILHOS	SURCEN
JCA - 45A	JULIO DE CASTILHOS	SURCEN
LBO - 06	LAGOA BONITA DO SUL	SURCEN
LAG - 02	LAGOAO	SURCEN
LAJ - 04	LAJEADO	SURNE
LAJ - 05	LAJEADO	SURNE
LBS - 05	LIBERATO SALZANO	SURPLA
LBS - 06	LIBERATO SALZANO	SURPLA
LBS - 07	LIBERATO SALZANO	SURPLA
LBS - 08	LIBERATO SALZANO	SURPLA
LBS - PM1	LIBERATO SALZANO	SURPLA
MAH - 04	MACHADINHO	SURPLA
MAH - 05	MACHADINHO	SURPLA
MAH - 06	MACHADINHO	SURPLA
MAH - 07	MACHADINHO	SURPLA
MVI - 02	MANOEL VIANA	SURFRO
MVI - 04	MANOEL VIANA	SURFRO
MVI - 05	MANOEL VIANA	SURFRO
MMO - 03A	MARIANO MORO	SURPLA
MMO - 04	MARIANO MORO	SURPLA
MQS - 01	MARQUES DE SOUZA	SURNE
MQS - 02	MARQUES DE SOUZA	SURNE
MAM - 01A	MASSAMBARA	SURFRO
MAT - 02	MATA	SURCEN
MAT - 03	MATA	SURCEN
MAT - 04	MATA	SURCEN
MAX - 07	MAXIMILIANO DE ALMEIDA	SURPLA
MIR - 01	MIRAGUAI	SURMIS
MIR - 02	MIRAGUAI	SURMIS
MIR - 03	MIRAGUAI	SURMIS
MIR - 05	MIRAGUAI	SURMIS
MIR - 06	MIRAGUAI	SURMIS
MIR - 08	MIRAGUAI	SURMIS
TRQ - 01	MIRAGUAI	SURMIS
MRE - 04	MORRO REUTER	SURSIN
MRE - 05	MORRO REUTER	SURSIN
MRE - 10A	MORRO REUTER	SURSIN
MTC - 01	MUITOS CAPOES	SURPLA
MTC - 02	MUITOS CAPOES	SURPLA
MTC - 05	MUITOS CAPOES	SURPLA

<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
POR - 01	MUITOS CAPOES	SURPLA
NMT - 04A	NAO ME TOQUE	SURMIS
NMT - 05	NAO ME TOQUE	SURMIS
NMT - 06	NAO ME TOQUE	SURMIS
NMT - 07	NAO ME TOQUE	SURMIS
NMT - 08	NAO ME TOQUE	SURMIS
NMT - 09	NAO ME TOQUE	SURMIS
NMT - 11	NAO ME TOQUE	SURMIS
NON - 02	NONOAI	SURPLA
NON - 04	NONOAI	SURPLA
NON - 08	NONOAI	SURPLA
NON - 09	NONOAI	SURPLA
NON - 12	NONOAI	SURPLA
NON - 22	NONOAI	SURPLA
NON - 24	NONOAI	SURPLA
NAR - 03	NOVA ARACA	SURNE
NAR - 05	NOVA ARACA	SURNE
NAR - 06	NOVA ARACA	SURNE
NAR - 10A	NOVA ARACA	SURNE
NAR - 11	NOVA ARACA	SURNE
NAR - 15	NOVA ARACA	SURNE
NAR - 17	NOVA ARACA	SURNE
NAR - 20	NOVA ARACA	SURNE
NBA - 05	NOVA BASSANO	SURNE
NBA - 06A	NOVA BASSANO	SURNE
NBA - 07	NOVA BASSANO	SURNE
NBA - 08	NOVA BASSANO	SURNE
NBA - 13	NOVA BASSANO	SURNE
NBA - 16	NOVA BASSANO	SURNE
NBA - 20B	NOVA BASSANO	SURNE
NBR - 01	NOVA BRESCIA	SURNE
NBR - 03	NOVA BRESCIA	SURNE
NBR - 05	NOVA BRESCIA	SURNE
NPA - 03	NOVA PALMA	SURCEN
NPA - 05	NOVA PALMA	SURCEN
IMP - 02	NOVA PETROPOLIS	SURNE
IMP - 03	NOVA PETROPOLIS	SURNE
NPE - 16	NOVA PETROPOLIS	SURNE
NPE - 19	NOVA PETROPOLIS	SURNE
NRS - 06	NOVA ROMA DO SUL	SURNE
NRS - 07	NOVA ROMA DO SUL	SURNE
NRS - 08	NOVA ROMA DO SUL	SURNE
NRS - 12A	NOVA ROMA DO SUL	SURNE

<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
PFI - 01	PAIM FILHO	SURPLA
PFI - 02	PAIM FILHO	SURPLA
PFI - 03	PAIM FILHO	SURPLA
PFI - 04	PAIM FILHO	SURPLA
PFI - 05	PAIM FILHO	SURPLA
PFI - 06	PAIM FILHO	SURPLA
QUN - 04	PALMARES DO SUL	SURLIT
PAL - 06	PALMEIRA DAS MISSOES	SURPLA
PAL - 07	PALMEIRA DAS MISSOES	SURPLA
PAL - 08	PALMEIRA DAS MISSOES	SURPLA
PAN - 07	PANAMBI	SURMIS
PAN - 08	PANAMBI	SURMIS
PAN - 09	PANAMBI	SURMIS
PAN - 12	PANAMBI	SURMIS
PAN - 13	PANAMBI	SURMIS
PRI - 01	PARAI	SURNE
PRI - 03	PARAI	SURNE
PRI - 05	PARAI	SURNE
PRI - 06	PARAI	SURNE
PRI - 08	PARAI	SURNE
PRI - 11	PARAI	SURNE
PRI - 16	PARAI	SURNE
PRI - 24	PARAI	SURNE
PRI - 26	PARAI	SURNE
PRI - 28	PARAI	SURNE
PRI - 30	PARAI	SURNE
EGV - 01	PASSA SETE	SURCEN
PSE - 04	PASSA SETE	SURCEN
PET - 01	PASSO DA ESTANCIA	SURMET
PAV - 01	PAVERAMA	SURNE
PAV - 02	PAVERAMA	SURNE
PDA - 05	PEDRAS ALTAS	SURSUL
PJE - 01	PEJUCARA	SURMIS
PJE - 02	PEJUCARA	SURMIS
PJE - 04	PEJUCARA	SURMIS
PM - 01	PEJUCARA	SURMIS
LJP - 01	PINHEIRINHO DO VALE	SURPLA
PLU - 03	PORTO LUCENA	SURMIS
PLU - 10	PORTO LUCENA	SURMIS
PXA - 02A	PORTO XAVIER	SURMIS
PXA - 06A	PORTO XAVIER	SURMIS
PUT - 04	PUTINGA	SURNE
QUA - 01A	QUARAI	SURFRO
QUA - 02A	QUARAI	SURFRO

<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
QUA - 04	QUARAI	SURFRO
QUA - 05B	QUARAI	SURFRO
QUA - 06	QUARAI	SURFRO
QUA - 08	QUARAI	SURFRO
RED - 03	REDENTORA	SURMIS
RED - 04	REDENTORA	SURMIS
RED - 07	REDENTORA	SURMIS
RED - 10	REDENTORA	SURMIS
RED - 18	REDENTORA	SURMIS
PRM - 01	RIO DOS INDIOS	SURPLA
PNO - 02	RIO GRANDE	SURSUL
TOR - 05	RIO GRANDE	SURSUL
RIO - 01A	RIOZINHO	SURSIN
RIO - 02	RIOZINHO	SURSIN
RIO - 08	RIOZINHO	SURSIN
ROC - 01	ROCA SALES	SURNE
ROC - 02	ROCA SALES	SURNE
ROC - 04	ROCA SALES	SURNE
ROC - 06	ROCA SALES	SURNE
ROD - 03	RODEIO BONITO	SURPLA
ROD - 04	RODEIO BONITO	SURPLA
ROD - 05	RODEIO BONITO	SURPLA
ROD - 09	RODEIO BONITO	SURPLA
RDA - 01	RONDA ALTA	SURPLA
RDA - 02	RONDA ALTA	SURPLA
RDA - 03	RONDA ALTA	SURPLA
RDA - 07	RONDA ALTA	SURPLA
RDA - 16	RONDA ALTA	SURPLA
RON - 01	RONDINHA	SURPLA
SJA - 02	SALTO DO JACUI	SURMIS
SJA - 10	SALTO DO JACUI	SURMIS
SJA - 11	SALTO DO JACUI	SURMIS
FON - 03	SANANDUVA	SURPLA
SBA - 02	SANTA BARBARA DO SUL	SURMIS
SBA - 03	SANTA BARBARA DO SUL	SURMIS
SBA - 04	SANTA BARBARA DO SUL	SURMIS
SBA - 05	SANTA BARBARA DO SUL	SURMIS
SBA - 06	SANTA BARBARA DO SUL	SURMIS
LBV - 02	SANTA CRUZ DO SUL	SURCEN
LSC - 01	SANTA CRUZ DO SUL	SURCEN
LSC - 02	SANTA CRUZ DO SUL	SURCEN
LSC - 04	SANTA CRUZ DO SUL	SURCEN
LSC - 06	SANTA CRUZ DO SUL	SURCEN

<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
LSC - 07A	SANTA CRUZ DO SUL	SURCEN
SCZ - 16	SANTA CRUZ DO SUL	SURCEN
SCZ - 17	SANTA CRUZ DO SUL	SURCEN
SMS - 04	SANTA MARGARIDA DO SUL	SURPA
SMS - 05	SANTA MARGARIDA DO SUL	SURPA
ARS - 03	SANTA MARIA	SURCEN
FLO - 03	SANTA MARIA	SURCEN
SMA - 01	SANTA MARIA	SURCEN
SMH - 01	SANTA MARIA DO HERVAL	SURSIN
SMH - 02	SANTA MARIA DO HERVAL	SURSIN
SMH - 08	SANTA MARIA DO HERVAL	SURSIN
SMH - 09	SANTA MARIA DO HERVAL	SURSIN
BCH - 01C	SANTA VITORIA DO PALMAR	SURSUL
BCH - 02C	SANTA VITORIA DO PALMAR	SURSUL
HER - 06A	SANTA VITORIA DO PALMAR	SURSUL
HER - 09	SANTA VITORIA DO PALMAR	SURSUL
SVP - 08B	SANTA VITORIA DO PALMAR	SURSUL
SVP - 09C	SANTA VITORIA DO PALMAR	SURSUL
SVP - 10B	SANTA VITORIA DO PALMAR	SURSUL
SVP - 14	SANTA VITORIA DO PALMAR	SURSUL
SVP - 17	SANTA VITORIA DO PALMAR	SURSUL
SVP - 18	SANTA VITORIA DO PALMAR	SURSUL
SVP - 19	SANTA VITORIA DO PALMAR	SURSUL
SVP - 20	SANTA VITORIA DO PALMAR	SURSUL
SVP - 23A	SANTA VITORIA DO PALMAR	SURSUL
MIR - 01	SANTO ANTONIO DA PATRULHA	SURLIT
SAP - 01	SANTO ANTONIO DA PATRULHA	SURLIT
SAP - 11	SANTO ANTONIO DA PATRULHA	SURLIT
SAP - 12	SANTO ANTONIO DA PATRULHA	SURLIT
SAP - 14	SANTO ANTONIO DA PATRULHA	SURLIT
SAP - 15	SANTO ANTONIO DA PATRULHA	SURLIT
SAP - 17	SANTO ANTONIO DA PATRULHA	SURLIT
SAP - 18	SANTO ANTONIO DA PATRULHA	SURLIT
SAP - 24	SANTO ANTONIO DA PATRULHA	SURLIT
SAP - 25	SANTO ANTONIO DA PATRULHA	SURLIT
SAP - 33	SANTO ANTONIO DA PATRULHA	SURLIT
VIP - 03	SANTO ANTONIO DA PATRULHA	SURLIT
SAM - 02	SANTO ANTONIO DAS MISSOES	SURMIS
SAM - 05	SANTO ANTONIO DAS MISSOES	SURMIS
SAM - 06	SANTO ANTONIO DAS MISSOES	SURMIS
SAM - 07	SANTO ANTONIO DAS MISSOES	SURMIS
SAU - 01	SANTO AUGUSTO	SURMIS
SAU - 02	SANTO AUGUSTO	SURMIS
SAU - 04	SANTO AUGUSTO	SURMIS

<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
SAU - 05	SANTO AUGUSTO	SURMIS
SAU - 06	SANTO AUGUSTO	SURMIS
SAU - 09A	SANTO AUGUSTO	SURMIS
SAU - 11	SANTO AUGUSTO	SURMIS
SAU - 15A	SANTO AUGUSTO	SURMIS
SAU - 20	SANTO AUGUSTO	SURMIS
SAU - 22	SANTO AUGUSTO	SURMIS
FON - 124	SANTO CRISTO	SURMIS
SCR - 13A	SANTO CRISTO	SURMIS
SCR - 20	SANTO CRISTO	SURMIS
SCR - 22	SANTO CRISTO	SURMIS
SCR - 25	SANTO CRISTO	SURMIS
SCR - 26	SANTO CRISTO	SURMIS
SCR - 27	SANTO CRISTO	SURMIS
SES - 02	SANTO EXPEDITO DO SUL	SURPLA
SES - 03	SANTO EXPEDITO DO SUL	SURPLA
SES - 04	SANTO EXPEDITO DO SUL	SURPLA
SFR - 09	SAO FRANCISCO DE ASSIS	SURPA
SFR - 10	SAO FRANCISCO DE ASSIS	SURPA
SFR - 12	SAO FRANCISCO DE ASSIS	SURPA
SFR - 14	SAO FRANCISCO DE ASSIS	SURPA
SFR - 16	SAO FRANCISCO DE ASSIS	SURPA
LGR - 01	SAO FRANCISCO DE PAULA	SURNE
CAR - 01	SAO JERONIMO	SURMET
PDC - 01	SAO JERONIMO	SURMET
FON - 01	SAO JOAO DA URTIGA	SURPLA
FON - 02	SAO JOAO DA URTIGA	SURPLA
FON - 03	SAO JOAO DA URTIGA	SURPLA
SUR - 01	SAO JOAO DA URTIGA	SURPLA
SUR - 02	SAO JOAO DA URTIGA	SURPLA
SJR - 05	SAO JORGE	SURNE
SJR - 07	SAO JORGE	SURNE
SJH - 03	SAO JOSE DO HERVAL	SURNE
SJI - 01	SAO JOSE DO INHACORA	SURMIS
SJI - 03A	SAO JOSE DO INHACORA	SURMIS
SJN - 10	SAO JOSE DO NORTE	SURSUL
SJN - 14A	SAO JOSE DO NORTE	SURSUL
SJU - 02A	SAO JOSE DOS AUSENTES	SURNE
SJU - 06	SAO JOSE DOS AUSENTES	SURNE
SJU - 11	SAO JOSE DOS AUSENTES	SURNE
SLU - 02	SAO LUIZ GONZAGA	SURMIS
SLU - 03	SAO LUIZ GONZAGA	SURMIS
SLU - 03B	SAO LUIZ GONZAGA	SURMIS

<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
SLU - 05	SAO LUIZ GONZAGA	SURMIS
SLU - 06	SAO LUIZ GONZAGA	SURMIS
SLU - 09	SAO LUIZ GONZAGA	SURMIS
FON - 01	SAO MARTINHO	SURMIS
SMR - 04	SAO MARTINHO	SURMIS
SMM - 01	SAO MIGUEL DAS MISSOES	SURMIS
SMM - 02	SAO MIGUEL DAS MISSOES	SURMIS
SNI - 01	SAO NICOLAU	SURMIS
SNI - 02	SAO NICOLAU	SURMIS
SNI - 03	SAO NICOLAU	SURMIS
SPS - 02B	SAO PEDRO DO SUL	SURCEN
SPS - 03A	SAO PEDRO DO SUL	SURCEN
SPS - 04	SAO PEDRO DO SUL	SURCEN
SPS - 06	SAO PEDRO DO SUL	SURCEN
SPS - 07	SAO PEDRO DO SUL	SURCEN
SPS - 10	SAO PEDRO DO SUL	SURCEN
VBL - 01	SAO SEPE	SURCEN
VBL - 03	SAO SEPE	SURCEN
SVS - 03	SAO VICENTE DO SUL	SURPA
SVS - 06	SAO VICENTE DO SUL	SURPA
SVS - 09	SAO VICENTE DO SUL	SURPA
SVS - 10	SAO VICENTE DO SUL	SURPA
SAR - 16	SARANDI	SURPLA
LAZ - 01	SEBERI	SURPLA
SEB - 13	SEBERI	SURPLA
FON - 01	SEDE NOVA	SURMIS
SNO - 02	SEDE NOVA	SURMIS
PRM - 01	SELBACH	SURMIS
SEL - 03	SELBACH	SURMIS
SEL - 06	SELBACH	SURMIS
SEN - 05	SENTINELA DO SUL	SURMET
SER - 01	SERTAO	SURPLA
SSA - 01	SERTAO SANTANA	SURMET
SSA - 05	SERTAO SANTANA	SURMET
LOL - 01	SEVERIANO DE ALMEIDA	SURPLA
SEA - 05	SEVERIANO DE ALMEIDA	SURPLA
SEA - 13	SEVERIANO DE ALMEIDA	SURPLA
SEA - 16	SEVERIANO DE ALMEIDA	SURPLA
SOB - 01	SOBRADINHO	SURCEN
SOB - 02A	SOBRADINHO	SURCEN
SOB - 03	SOBRADINHO	SURCEN
SOB - 07	SOBRADINHO	SURCEN
SOL - 01A	SOLEDADE	SURPLA
FON - 01	TAPEJARA	SURPLA



<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
TAE - 01	TAPEJARA	SURPLA
TAE - 02	TAPEJARA	SURPLA
TAE - 03	TAPEJARA	SURPLA
TAE - 04	TAPEJARA	SURPLA
TAE - 05	TAPEJARA	SURPLA
TAE - 09	TAPEJARA	SURPLA
TAE - 10A	TAPEJARA	SURPLA
TAE - 11	TAPEJARA	SURPLA
TAE - 12	TAPEJARA	SURPLA
PAZ - 01	TAPERA	SURMIS
TAP - 02A	TAPERA	SURMIS
TAP - 03	TAPERA	SURMIS
TAP - 04	TAPERA	SURMIS
TAP - 05	TAPERA	SURMIS
TAP - 06	TAPERA	SURMIS
TAP - 07	TAPERA	SURMIS
TPE - 07C	TAPES	SURMET
TPE - 09B	TAPES	SURMET
TPE - 11B	TAPES	SURMET
TPE - 13A	TAPES	SURMET
TPE - 14	TAPES	SURMET
STR - 01	TAQUARA	SURSIN
FON - 123	TENENTE PORTELA	SURMIS
TPO - 03	TENENTE PORTELA	SURMIS
TPO - 06A	TENENTE PORTELA	SURMIS
TPO - 07	TENENTE PORTELA	SURMIS
TPO - 09	TENENTE PORTELA	SURMIS
TPO - 10	TENENTE PORTELA	SURMIS
TPO - 11	TENENTE PORTELA	SURMIS
TPO - 14A	TENENTE PORTELA	SURMIS
TPO - 17	TENENTE PORTELA	SURMIS
TPO - 24	TENENTE PORTELA	SURMIS
TPO - 31A	TENENTE PORTELA	SURMIS
TAR - 03	TERRA DE AREIA	SURLIT
TAR - 05	TERRA DE AREIA	SURLIT
TAR - 06	TERRA DE AREIA	SURLIT
TAR - 08	TERRA DE AREIA	SURLIT
TAR - 09	TERRA DE AREIA	SURLIT
TIR - 07B	TIRADENTES DO SUL	SURMIS
TIR - 15	TIRADENTES DO SUL	SURMIS
EMB - 01	TRAMANDAI	SURLIT
ETA - 01	TRAMANDAI	SURLIT
ETA - 02	TRAMANDAI	SURLIT

<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
NTR - 02A	TRAMANDAI	SURLIT
NTR - 03B	TRAMANDAI	SURLIT
TCA - 01	TRES CACHOEIRAS	SURLIT
TCA - 03	TRES CACHOEIRAS	SURLIT
TCO - 01	TRES COROAS	SURSIN
TCO - 02	TRES COROAS	SURSIN
TDE - 01	TRINDADE DO SUL	SURPLA
TDE - 02	TRINDADE DO SUL	SURPLA
TDE - 05	TRINDADE DO SUL	SURPLA
TDE - 06	TRINDADE DO SUL	SURPLA
FON - 123	TUCUNDUVA	SURMIS
TUC - 05	TUCUNDUVA	SURMIS
TUC - 18	TUCUNDUVA	SURMIS
TUC - 19	TUCUNDUVA	SURMIS
TUP - 06	TUPANCIRETA	SURCEN
TUP - 08	TUPANCIRETA	SURCEN
TUP - 09A	TUPANCIRETA	SURCEN
TUP - 11	TUPANCIRETA	SURCEN
TUP - 12	TUPANCIRETA	SURCEN
TUP - 14	TUPANCIRETA	SURCEN
TUP - 15	TUPANCIRETA	SURCEN
TUP - 16	TUPANCIRETA	SURCEN
TUP - 18	TUPANCIRETA	SURCEN
TUP - 19	TUPANCIRETA	SURCEN
TDI - 01	TUPARENDI	SURMIS
TDI - 03	TUPARENDI	SURMIS
TDI - 04	TUPARENDI	SURMIS
TDI - 07	TUPARENDI	SURMIS
TDI - 10	TUPARENDI	SURMIS
TDI - 11	TUPARENDI	SURMIS
ESP - 01	VIAMAO	SURMET
ITA - 02A	VIAMAO	SURMET
ITA - 04A	VIAMAO	SURMET
ITA - 05	VIAMAO	SURMET
ITA - 09	VIAMAO	SURMET
VDU - 05	VICENTE DUTRA	SURPLA
VDU - 08	VICENTE DUTRA	SURPLA
VDU - 10	VICENTE DUTRA	SURPLA
VGR - 04	VICTOR GRAEFF	SURMIS
VGR - 06	VICTOR GRAEFF	SURMIS
STZ - 01	VILA NOVA DO SUL	SURCEN
VNS - 01	VILA NOVA DO SUL	SURCEN
VNS - 02	VILA NOVA DO SUL	SURCEN
VNS - 08	VILA NOVA DO SUL	SURCEN

<b>Código do poço</b>	<b>Cidade</b>	<b>Superintendência Regional da Corsan</b>
FON - 123	VISTA GAUCHA	SURMIS
VGA - 06	VISTA GAUCHA	SURMIS
ATL - 01	XANGRI-LA	SURLIT
ATL - 02	XANGRI-LA	SURLIT
ATL - 3A	XANGRI-LA	SURLIT
COR PDS GRV 01	PALMARES DO SUL	SURLIT
COR PDS GRV 02	PALMARES DO SUL	SURLIT
COR PDS GRV 02 A	PALMARES DO SUL	SURLIT
COR PDS GRV 03	PALMARES DO SUL	SURLIT

---

Fonte: Corsan

**APÊNDICE B – Medição do rebaixamento do poço e piezômetros – Q=3,6 L/s.**

Medição	Nível Barômetro (m)	Nível d'água Poço (m)	Nível d'água P1 (m)	Nível d'água P2 (m)	Nível d'água P3 (m)	Nível d'água P4 (m)
Nível estático	0,914	-1,942	6,536	6,852	6,498	6,688
	0,917	6,887	7,031	7,150	6,902	7,054
	0,930	6,938	7,084	7,196	6,957	7,108
	0,924	6,928	7,088	7,201	6,957	7,112
	0,927	6,948	7,104	7,214	6,976	7,129
	0,930	6,957	7,100	7,205	6,973	7,127
	0,900	6,958	7,111	7,212	6,983	7,137
	0,901	6,951	7,097	7,199	6,969	7,124
	0,888	6,959	7,102	7,199	6,975	7,128
1	0,866	-2,310	4,251	4,881	4,312	4,634
2	0,877	-2,571	3,736	4,386	3,794	4,119
3	0,898	-2,654	3,580	4,230	3,639	3,966
4	0,891	-2,733	3,503	4,219	3,557	3,890
5	0,897	-2,771	3,445	4,188	3,496	3,837
6	0,880	-2,791	3,410	4,143	3,461	3,808
7	0,838	-2,822	3,389	4,089	3,437	3,792
8	0,828	-2,844	3,347	4,021	3,395	3,757
9	0,813	-2,854	3,325	3,993	3,373	3,739
10	0,786	-2,912	3,251	3,921	3,286	3,662
11	0,796	-2,897	3,268	3,936	3,321	3,689
12	0,782	-2,901	3,267	3,949	3,324	3,691
13	0,758	-2,878	3,266	3,926	3,321	3,684
14	0,811	-2,886	3,232	3,898	3,293	3,650
15	0,804	-2,867	3,272	3,994	3,335	3,691
16	0,815	-2,871	3,273	4,031	3,339	3,693
17	0,854	-2,863	3,279	4,097	3,347	3,701
18	0,863	-2,870	3,282	4,156	3,352	3,706
19	0,840	-2,862	3,288	4,171	3,358	3,713
20	0,845	-2,880	3,295	4,169	3,362	3,719
21	0,849	-2,856	3,292	4,184	3,364	3,721
22	0,821	-2,869	3,302	4,272	3,372	3,731
23	0,848	-2,871	3,289	4,280	3,360	3,719
24	0,867	-2,884	3,289	4,186	3,362	3,722
25	0,871	-2,875	3,289	4,356	3,360	3,719
26	0,897	-2,885	3,283	4,379	3,356	3,716
27	0,927	-2,874	3,280	4,207	3,357	3,715
28	0,929	-2,896	3,275	4,401	3,351	3,709
29	0,971	-2,901	3,254	4,437	3,331	3,689
30	0,987	-2,901	3,246	4,467	3,324	3,683
31	0,955	-2,917	3,246	4,463	3,322	3,681
32	0,942	-2,911	3,240	4,491	3,318	3,676

Medição	Nível Barômetro (m)	Nível d'água Poço (m)	Nível d'água P1 (m)	Nível d'água P2 (m)	Nível d'água P3 (m)	Nível d'água P4 (m)
33	0,911	-2,913	3,235	4,552	3,316	3,673
34	0,888	-2,880	3,477	4,249	3,546	3,904
35	0,839	-3,028	3,251	4,241	3,320	3,682
36	0,792	-3,040	3,251	4,428	3,324	3,681
37	0,823	-3,048	3,242	4,442	3,316	3,673
38	0,829	-3,051	3,240	4,465	3,316	3,674
39	0,786	-3,042	3,258	4,521	3,337	3,697
40	0,811	-3,035	3,261	4,667	3,340	3,701
41	0,797	-3,046	3,256	4,601	3,338	3,698
42	0,753	-3,032	3,277	4,735	3,360	3,721
43	0,728	-3,029	3,285	4,748	3,369	3,730
44	0,722	-3,034	3,282	4,808	3,367	3,726
45	0,775	-3,033	3,291	4,703	3,377	3,736
46	0,816	-3,027	3,295	4,725	3,380	3,740
47	0,836	-3,040	3,294	4,740	3,380	3,740
48	0,796	-3,021	3,306	4,788	3,393	3,753
49	0,801	-3,028	3,310	4,668	3,395	3,756
50	0,754	-3,031	3,308	4,688	3,396	3,763
51	0,767	-3,012	3,327	4,795	3,422	3,791
52	0,809	-3,008	3,342	4,921	3,433	3,798
53	0,858	-3,018	3,339	4,851	3,430	3,796
54	0,874	-3,012	3,340	4,905	3,432	3,795
<b>Média Nível estático</b>	0,851	6,941	7,089	7,197	6,962	7,115
<b>Média Nível dinâmico</b>		-2,909	3,328	4,384	3,399	3,756
<b>Rebaixamento absoluto (m)</b>		<b>9,85</b>	<b>3,76</b>	<b>2,81</b>	<b>3,56</b>	<b>3,36</b>

Fonte: próprio autor.

**APÊNDICE C – Medição do rebaixamento do poço e piezômetros – Q=4,5 L/s.**

Medição	Nível Barômetro (m)	Nível d'água Poço (m)	Nível d'água P1 (m)	Nível d'água P2 (m)	Nível d'água P3 (m)	Nível d'água P4 (m)
Nível estático	0,914	-1,942	6,536	6,852	6,498	6,688
	0,917	6,887	7,031	7,150	6,902	7,054
	0,930	6,938	7,084	7,196	6,957	7,108
	0,924	6,928	7,088	7,201	6,957	7,112
	0,927	6,948	7,104	7,214	6,976	7,129
	0,930	6,957	7,100	7,205	6,973	7,127
	0,900	6,958	7,111	7,212	6,983	7,137
	0,901	6,951	7,097	7,199	6,969	7,124
	0,888	6,959	7,102	7,199	6,975	7,128
	1	0,906	-5,384	2,900	3,554	2,981
2	0,894	-5,655	2,496	3,253	2,609	3,045
3	0,849	-5,687	2,450	3,503	2,569	2,995
4	0,839	-5,713	2,425	3,783	2,552	2,966
5	0,791	-5,720	2,411	3,790	2,551	2,955
6	0,768	-5,733	2,414	3,612	2,554	2,947
7	0,768	-5,726	2,417	3,954	2,562	2,946
8	0,748	-5,730	2,413	4,019	2,556	2,940
9	0,714	-5,722	2,415	3,607	2,564	2,938
10	0,758	-5,740	2,395	3,729	2,546	2,916
11	0,797	-5,741	2,400	3,866	2,556	2,919
12	0,790	-5,736	2,414	3,747	2,569	2,929
13	0,787	-5,716	2,418	3,939	2,580	2,938
14	0,762	-5,616	2,602	4,117	2,663	3,063
15	0,734	-5,696	2,437	4,050	2,554	2,946
16	0,771	-5,721	2,417	4,040	2,542	2,926
17	0,762	-5,719	2,430	4,029	2,569	2,943
18	0,738	-5,710	2,441	4,269	2,585	2,955
19	0,723	-5,684	2,444	3,621	2,569	2,973
20	0,722	-5,702	2,426	3,713	2,555	2,955
21	0,767	-5,705	2,432	3,861	2,566	2,959
22	0,842	-5,692	2,432	3,912	2,570	2,962
23	0,869	-5,716	2,419	3,827	2,560	2,954
24	0,870	-5,720	2,425	4,054	2,564	2,962
25	0,881	-5,719	2,412	4,092	2,553	2,949
26	0,887	-5,726	2,413	3,656	2,564	2,956
27	0,882	-5,718	2,420	3,875	2,573	2,964
28	0,935	-5,714	2,415	4,121	2,569	2,960
29	0,963	-5,730	2,405	4,053	2,558	2,948
30	0,944	-5,722	2,410	4,035	2,565	2,952
31	0,952	-5,748	2,373	3,317	2,523	2,912
32	0,914	-5,732	2,392	3,522	2,543	2,929

Medição	Nível Barômetro (m)	Nível d'água Poço (m)	Nível d'água P1 (m)	Nível d'água P2 (m)	Nível d'água P3 (m)	Nível d'água P4 (m)
33	0,885	-5,721	2,397	3,728	2,556	2,937
34	0,885	-5,724	2,394	3,901	2,547	2,930
35	0,879	-5,734	2,379	4,037	2,535	2,914
36	0,853	-5,722	2,383	4,030	2,546	2,918
37	0,864	-5,714	2,383	4,085	2,545	2,914
38	0,859	-5,714	2,375	4,007	2,536	2,906
39	0,838	-5,727	2,375	4,147	2,533	2,911
40	0,855	-5,728	2,375	4,039	2,533	2,909
41	0,856	-5,733	2,366	3,891	2,516	2,901
42	0,858	-5,725	2,376	4,102	2,528	2,909
<b>Média Nível estático</b>	0,832	6,941	7,089	7,197	6,962	7,115
<b>Média Nível dinâmico</b>		-5,708	2,427	3,869	2,568	2,957
<b>Rebaixamento absoluto (m)</b>		<b>12,65</b>	<b>4,66</b>	<b>3,33</b>	<b>4,39</b>	<b>4,16</b>

Fonte: próprio autor.

#### APÊNDICE D – Medição do rebaixamento do poço e piezômetros – Q=5,5 L/s.

Medição	Nível Barômetro (m)	Nível d'água Poço (m)	Nível d'água P1 (m)	Nível d'água P2 (m)	Nível d'água P3 (m)	Nível d'água P4 (m)
---------	---------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------

Medição	Nível Barômetro (m)	Nível d'água Poço (m)	Nível d'água P1 (m)	Nível d'água P2 (m)	Nível d'água P3 (m)	Nível d'água P4 (m)
Nível estático	0,914	-1,942	6,536	6,852	6,498	6,688
	0,917	6,887	7,031	7,150	6,902	7,054
	0,930	6,938	7,084	7,196	6,957	7,108
	0,924	6,928	7,088	7,201	6,957	7,112
	0,927	6,948	7,104	7,214	6,976	7,129
	0,930	6,957	7,100	7,205	6,973	7,127
	0,900	6,958	7,111	7,212	6,983	7,137
	0,901	6,951	7,097	7,199	6,969	7,124
	0,888	6,959	7,102	7,199	6,975	7,128
	1	0,890	-7,228	2,169	2,895	2,260
2	0,885	-7,346	2,053	3,085	2,181	2,636
3	0,871	-7,370	2,038	3,419	2,189	2,612
4	0,860	-7,345	2,034	3,307	2,190	2,602
5	0,828	-7,373	2,018	3,479	2,181	2,585
6	0,800	-7,356	2,020	3,650	2,185	2,586
7	0,810	-7,324	2,022	3,529	2,179	2,583
8	0,805	-7,308	2,019	3,690	2,192	2,581
9	0,768	-7,247	2,033	3,497	2,198	2,594
10	0,772	-7,220	2,033	3,769	2,203	2,590
11	0,735	-7,191	2,034	3,843	2,184	2,590
12	0,717	-7,175	2,032	3,381	2,202	2,585
13	0,721	-7,159	2,022	3,549	2,194	2,570
14	0,715	-7,156	2,009	3,654	2,185	2,557
15	0,690	-7,143	2,013	3,704	2,184	2,555
16	0,759	-7,136	2,007	3,496	2,176	2,543
17	0,796	-7,144	1,995	3,708	2,172	2,534
18	0,839	-7,137	1,997	3,783	2,178	2,535
19	0,873	-7,150	2,004	3,605	2,167	2,534
20	0,856	-7,143	1,999	3,755	2,178	2,533
21	0,815	-7,138	2,005	3,786	2,188	2,545
22	0,815	-7,107	2,047	2,918	2,170	2,604
23	0,761	-7,088	2,051	2,916	2,203	2,604
24	0,756	-7,058	2,083	3,144	2,254	2,651
25	0,800	-7,006	2,136	3,189	2,289	2,689
26	0,846	-6,973	2,154	3,256	2,311	2,714
27	0,839	-6,955	2,180	3,335	2,342	2,743
28	0,863	-6,911	2,203	3,348	2,362	2,767
29	0,863	-6,917	2,216	3,409	2,370	2,775
30	0,840	-6,904	2,229	3,279	2,386	2,787
31	0,834	-6,881	2,241	3,468	2,400	2,796
32	0,817	-6,883	2,239	3,336	2,400	2,793
33	0,806	-6,868	2,245	3,520	2,410	2,801
34	0,832	-6,860	2,254	3,523	2,413	2,804



Medição	Nível Barômetro (m)	Nível d'água Poço (m)	Nível d'água P1 (m)	Nível d'água P2 (m)	Nível d'água P3 (m)	Nível d'água P4 (m)
35	0,839	-6,855	2,246	3,492	2,413	2,801
36	0,831	-6,829	2,262	3,421	2,407	2,816
37	0,849	-6,843	2,263	3,545	2,405	2,813
38	0,831	-6,846	2,247	3,643	2,382	2,798
39	0,802	-6,830	2,265	3,434	2,409	2,818
40	0,810	-6,819	2,266	3,435	2,412	2,816
41	0,787	-6,818	2,265	3,549	2,409	2,815
42	0,744	-6,826	2,275	3,184	2,418	2,820
43	0,774	-6,816	2,308	2,788	2,360	2,868
<b>Média Nível estático</b>	0,809	6,941	7,089	7,197	6,962	7,115
<b>Média Nível dinâmico</b>		-7,068	2,117	3,451	2,275	2,672
<b>Rebaixamento absoluto (m)</b>		<b>14,01</b>	<b>4,97</b>	<b>3,75</b>	<b>4,69</b>	<b>4,44</b>

Fonte: próprio autor.

#### APÊNDICE E – Medição do rebaixamento do poço e piezômetros – Q=6,0 L/s

Medição	Nível Barômetro (m)	Nível d'água Poço (m)	Nível d'água P1 (m)	Nível d'água P2 (m)	Nível d'água P3 (m)	Nível d'água P4 (m)
---------	---------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------

Medição	Nível Barômetro (m)	Nível d'água Poço (m)	Nível d'água P1 (m)	Nível d'água P2 (m)	Nível d'água P3 (m)	Nível d'água P4 (m)
Nível estático	0,914	-1,942	6,536	6,852	6,498	6,688
	0,917	6,887	7,031	7,150	6,902	7,054
	0,930	6,938	7,084	7,196	6,957	7,108
	0,924	6,928	7,088	7,201	6,957	7,112
	0,927	6,948	7,104	7,214	6,976	7,129
	0,930	6,957	7,100	7,205	6,973	7,127
	0,900	6,958	7,111	7,212	6,983	7,137
	0,901	6,951	7,097	7,199	6,969	7,124
	0,888	6,959	7,102	7,199	6,975	7,128
	1	0,866	-8,652	2,373	2,573	2,159
2	0,826	-8,652	2,371	2,591	2,181	2,882
3	0,785	-8,635	2,385	2,621	2,209	2,893
4	0,764	-8,625	2,388	2,631	2,209	2,889
5	0,767	-8,652	2,373	2,626	2,203	2,878
6	0,737	-8,643	2,388	2,661	2,220	2,886
7	0,774	-8,629	2,392	2,661	2,232	2,884
8	0,780	-8,623	2,392	2,677	2,246	2,889
9	0,735	-8,642	2,398	2,701	2,251	2,897
10	0,732	-8,630	2,411	2,693	2,258	2,909
11	0,706	-8,594	2,420	2,716	2,282	2,923
12	0,690	-8,589	2,441	2,749	2,300	2,940
13	0,775	-8,578	2,447	2,746	2,293	2,943
14	0,822	-8,583	2,456	2,746	2,312	2,954
15	0,829	-8,531	2,473	2,761	2,328	2,969
16	0,849	-8,525	2,481	2,743	2,333	2,974
17	0,822	-8,512	2,481	2,742	2,336	2,975
18	0,783	-8,510	2,505	2,760	2,359	2,992
19	0,785	-8,518	2,508	2,786	2,357	2,989
20	0,780	-8,512	2,498	2,788	2,354	2,985
21	0,777	-8,531	2,506	2,803	2,362	2,990
22	0,802	-8,580	2,489	2,764	2,331	2,958
23	0,801	-8,543	2,509	2,785	2,365	2,991
24	0,788	-8,545	2,527	2,810	2,381	3,004
25	0,799	-8,534	2,539	2,835	2,382	3,013
26	0,787	-8,558	2,526	2,809	2,376	3,004
27	0,786	-8,569	2,532	2,829	2,384	3,012
28	0,822	-8,549	2,547	2,814	2,387	3,022
29	0,842	-8,559	2,544	2,824	2,395	3,026
30	0,842	-8,579	2,554	2,840	2,403	3,034
31	0,872	-8,582	2,556	2,824	2,401	3,037
32	0,865	-8,610	2,545	2,826	2,385	3,029

Medição	Nível Barômetro (m)	Nível d'água Poço (m)	Nível d'água P1 (m)	Nível d'água P2 (m)	Nível d'água P3 (m)	Nível d'água P4 (m)
33	0,832	-8,580	2,551	2,851	2,393	3,036
34	0,830	-8,638	2,531	2,808	2,339	2,993
35	0,795	-8,684	2,490	2,766	2,303	2,958
36	0,782	-8,651	2,532	2,823	2,359	3,006
37	0,770	-8,671	2,547	2,829	2,363	3,009
38	0,744	-8,722	2,495	2,794	2,316	2,963
39	0,732	-8,581	2,572	2,808	2,210	3,023
40	0,727	-8,596	2,580	2,893	2,218	3,028
41	0,741	-8,597	2,571	2,866	2,231	3,033
42	0,752	-8,595	2,592	2,921	2,254	3,054
43	0,774	-8,573	2,608	2,908	2,274	3,067
44	0,775	-8,620	2,607	2,896	2,277	3,067
45	0,768	-8,624	2,617	2,928	2,292	3,081
46	0,777	-8,640	2,638	2,913	2,314	3,100
47	0,790	-8,630	2,637	2,910	2,320	3,106
48	0,774	-8,618	2,654	2,947	2,334	3,123
49	0,795	-8,615	2,665	2,953	2,338	3,135
50	0,798	-8,660	2,631	2,968	2,315	3,111
51	0,796	-8,647	2,670	2,984	2,351	3,147
52	0,822	-8,646	2,691	2,985	2,364	3,161
53	0,814	-8,633	2,679	2,976	2,361	3,157
54	0,802	-8,647	2,693	2,928	2,374	3,169
55	0,813	-8,657	2,706	2,980	2,380	3,176
56	0,799	-8,663	2,689	3,002	2,366	3,167
57	0,802	-8,662	2,708	2,949	2,382	3,183
58	0,810	-8,463	2,729	3,020	2,401	3,203
59	0,800	-8,515	2,705	2,990	2,371	4,091
60	0,784	-8,534	2,428	2,996	2,387	4,102
61	0,794	-8,511	2,446	3,025	2,404	4,113
62	0,762	-8,475	2,437	2,957	2,395	4,106
63	0,734	-8,437	2,442	3,020	2,405	4,110
<b>Média Nível estático</b>	0,804	6,941	7,089	7,197	6,962	7,115
<b>Média Nível dinâmico</b>		-8,593	2,532	2,831	2,323	3,102
<b>Rebaixamento absoluto (m)</b>		<b>15,53</b>	<b>4,56</b>	<b>4,37</b>	<b>4,64</b>	<b>4,01</b>

Fonte: próprio autor.

**APÊNDICE F – Medição do rebaixamento do poço e piezômetros – Q=6,5 L/s**

Medição	Nível Barômetro (m)	Nível d'água Poço (m)	Nível d'água P1 (m)	Nível d'água P2 (m)	Nível d'água P3 (m)	Nível d'água P4 (m)
Nível estático	0,914	-1,942	6,536	6,852	6,498	6,688
	0,917	6,887	7,031	7,150	6,902	7,054
	0,930	6,938	7,084	7,196	6,957	7,108
	0,924	6,928	7,088	7,201	6,957	7,112
	0,927	6,948	7,104	7,214	6,976	7,129
	0,930	6,957	7,100	7,205	6,973	7,127
	0,900	6,958	7,111	7,212	6,983	7,137
	0,901	6,951	7,097	7,199	6,969	7,124
	0,888	6,959	7,102	7,199	6,975	7,128
1	0,769	-11,099	1,783	2,362	1,875	2,352
2	0,760	-11,112	1,749	2,440	1,862	2,311
3	0,761	-11,090	1,739	2,474	1,849	2,291
4	0,721	-11,160	1,711	2,438	1,825	2,259
5	0,731	-11,122	1,710	2,392	1,840	2,261
6	0,767	-11,145	1,711	2,487	1,808	2,254
7	0,802	-11,065	1,712	2,460	1,826	2,257
8	0,804	-11,100	1,691	2,491	1,822	2,251
9	0,891	-10,990	1,695	2,505	1,814	2,264
10	0,913	-11,081	1,693	2,517	1,798	2,270
11	0,903	-11,070	1,713	2,568	1,831	2,289
12	0,913	-10,955	1,710	2,698	1,824	2,291
13	0,891	-11,054	1,712	2,688	1,833	2,294
14	0,870	-10,965	1,717	2,672	1,828	2,301
15	0,876	-11,038	1,729	2,619	1,830	2,296
16	0,862	-10,991	1,720	2,580	1,843	2,294
17	0,837	-10,948	1,732	2,665	1,870	2,308
18	0,822	-10,908	1,790	2,800	1,753	2,345
19	0,791	-10,940	1,801	2,694	1,781	2,355
20	0,774	-10,943	1,802	2,772	1,802	2,355
22	0,808	-10,883	1,832	2,389	1,783	2,408
23	0,831	-10,891	1,822	2,432	1,785	2,397
24	0,848	-10,843	1,830	2,375	1,800	2,403
25	0,869	-10,973	1,833	2,390	1,799	2,401
26	0,873	-10,930	1,826	2,444	1,780	2,398
27	0,847	-10,990	1,833	2,445	1,813	2,402
28	0,844	-11,005	1,834	2,418	1,813	2,399
29	0,825	-10,999	1,815	2,458	1,800	2,381
30	0,791	-11,079	1,812	2,460	1,796	2,371
31	0,769	-11,120	1,796	2,474	1,788	2,356
32	0,765	-11,093	1,810	2,528	1,807	2,367

<b>Medição</b>	<b>Nível Barômetro (m)</b>	<b>Nível d'água Poço (m)</b>	<b>Nível d'água P1 (m)</b>	<b>Nível d'água P2 (m)</b>	<b>Nível d'água P3 (m)</b>	<b>Nível d'água P4 (m)</b>
33	0,781	-11,144	1,819	2,526	1,816	2,374
34	0,813	-11,090	1,817	2,522	1,806	2,361
35	0,830	-11,058	1,814	2,529	1,821	2,361
36	0,816	-11,255	1,810	2,542	1,824	2,359
37	0,831	-11,306	1,814	2,529	1,831	2,353
38	0,820	-11,304	1,804	2,510	1,822	2,340
39	0,790	-11,318	1,811	2,527	1,835	2,341
40	0,799	-11,324	1,811	2,547	1,834	2,337
41	0,808	-11,351	1,803	2,481	1,832	2,326
42	0,812	-11,328	1,813	2,492	1,832	2,335
<b>Média Nível estático</b>	0,820	6,941	7,089	7,197	6,962	7,115
<b>Média Nível dinâmico</b>		-11,075	1,775	2,520	1,818	2,333
<b>Rebaixamento absoluto (m)</b>		<b>18,02</b>	<b>5,31</b>	<b>4,68</b>	<b>5,14</b>	<b>4,78</b>

Fonte: próprio autor.

**APÊNDICE G – Análise da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) – Q = 3,6 L/s (f=30 Hz).**

Data	Origem	Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)			Alumínio total (mg/L Al)	Cloretos (mg/L Cl <sup>-</sup> )	Coliformes totais (NMP/100 mL)	<i>E. Coli</i> (NMP/100 mL)		Condutividade elétrica (µS/cm 25°C)	STD (mg/L)	Cor verdadeira (mg/L Pt-Co)	Cor aparente (mg/L Pt-Co)	COT (mg/L)	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Ferro Total (mg/L Fe)	Fluoreto (mg/L F <sup>-</sup> )	Mangânês total (mg/L Mn)	OD (mg/L O <sub>2</sub> )	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	
DEAL	14/06/19	POÇ	32	N	33,			68	51			151		169	5,	N	0,8						
		O	3	D	8	x	x	4	4			,6	x	,8	5	D	18	-	7,2	20	10		
Amost ra 1	28/11/19	AB	10	D	x	x	x	92	45	0	5	130	x	42	5	D	ND	8,6	7,0	21,	20,		
		AFM	27		x	x	x	60	30	5							0,0	0,4		21,	2,7		
Amost ra 2	29/11/19	AB	10	D	D	4	1	94	45	5	5	180	x	40	5	D	5	8,7	3	9	58		
		AFM	26		x	x	x	60	31	5							4,	0,1	6,4	23,	2,0		
Amost ra 3	30/11/19	AB	9	x	x	x	x	96	77	0	6	120	x	38	2	D	5	81	6,5	2	2,3		
		AFM	28		x	x	x	60	31	5							0,3	6,1	23,				
Amost ra 4	02/12/19	AB	10	D	D	x	x	98	54	5	6	130	x	40	4	D	5	9,2	6,6	5	18		
		AFM	28		x	x	x	60	31	5							5,	6,2	6,5	23,	1,7		
Amost ra 5	03/12/19	AB	10	D	x	x	x	96	56	0	6	140	x	40	D	D	2	8	6,5	5	20		
		AFM	27		x	x	x	59	31	5							6,1	23,					
Amost ra 6	04/12/19	AB	10	D	x	x	x	98	54	5	5	130	x	40	5	D	2	8	6,5	24	20		
		AFM	28		x	x	x	60	30	5							4,	0,2	23,	2,1			
Amost ra 7	05/12/19	AB	9	D	x	x	x	98	54	0	5	130	x	42	5	D	3	9	6,6	25	17		
		AFM	29		x	x	x	61	30	5							0,2	6,2	6,6	23,			
Amost ra 8	06/12/20 19	AB	10	D	D	641	9	98	54	0	5	130	x	40	4	D	3	8	6,5	3	14		
		AFM	29		x	x	x	62	31	5							5,	0,2	8,6	6,5	21,	1,3	
Amost ra 9	07/12/19	AB	10	x	x	x	x	98	54	0	5	130	x	40	4	D	3	1	1	2	20		
		AFM	29		x	x	x	61	30	5							5,	0,2	7,3	6,5	22,	2,1	
Amost ra 10	08/12/19	AB	10	D	x	x	x	98	49	0	6	120	x	42	4	D	5	9	3	7	14		
		AFM	29		x	x	x	61	30	5							5,	0,3	7,6	23,	1,4		
Amost ra 11	09/12/19	AB	10	0	x	x	x	98	50	0	6	140	x	40	4	D	5	1	6,6	25	12		
		AFM	28		x	x	x	61	30	5							5,	0,0	6,4	24,			
			0	0,7	x	x	x	1	4	0						8	0,3	0,1	7,3	6	7	1	

Data	Origem	Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)		Cloretos (mg/L Cl <sup>-</sup> )	Coliformes totais (NMP/100 mL)	<i>E Coli</i> (NMP/100 mL)	Condutividade elétrica (µS/cm 25°C)		Cor verdadeira (mg/L Pt-Co)	Cor aparente (mg/L Pt-Co)	COT (mg/L)	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Ferro Total (mg/L Fe)	Fluoreto (mg/L F <sup>-</sup> )	Manganês total (mg/L Mn)	OD (mg/L O <sub>2</sub> )	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	
Amost ra 12	10/12/19	AB	10	x	D	x	x	98	49	0	140	x	40	1,	N	0,0	6,3			
			27						61	30	6				4	D	2	8,9	7	24
Amost ra 13	11/12/19	AB	2	x	50	x	x	0	6	0	60	x	174	5	4	5	6	1	7	8
			N												1,	N	0,0	8,9		
Amost ra 14	12/12/19	AB	10	D	x	x	x	98	49	0	170	x	40	5	D	2	1	6,4	25	14
			28	0,6					62	30	5				5,	0,3		7,3	6,5	24,
Amost ra 15	13/12/19	AB	0	5	x	x	x	0	8	5	60	x	170	5	2	0,2	3	2	1	8
			N												1,	N	0,0	8,8	6,3	24,
Amost ra 16	16/12/19	AB	10	D	x	x	x	96	54	0	140	x	42	4	D	3	1	3	3	13
			27						61	30	5				5,	0,3		7,3	6,2	23,
Amost ra 17	17/12/20 19	AB	0	0,7	x	x	x	1	4	5	60	x	180	5	4	0,2	1	8	2	3
			N															8,8	6,4	25,
Amost ra 18	18/12/19	AB	10	D	x	x	x	94	48	0	140	x	45		D		1	3	3	16
			28						61	31	5						0,2	6,4	6,7	23,
Amost ra 19	20/12/19	AB	0	0,7	x	x	x	2	1	5	60	x	180		8		4	8	2	2
			N												1,	N	0,0	8,7		
Amost ra 20	21/12/19	AB	10	D	x	x	x	94	48	0	280	x	40	7	D	3	1	6	25	14
			25						61	31	5				5,	0,3		0,2	7,4	6,3
Amost ra 21	22/12/19	AB	0	0,8	x	x	x	0	1	5	60	x	160	5	2	8	1	9	3	8
			N												1,	N	0,0	8,6	6,7	25,
Amost ra 22	23/12/19	AB	10	D	x	x	x	70	99	49	0	150	x	48	6	D	2	5	1	3
			25						60	31	5				5,	0,3		0,2	7,3	6,3
Amost ra 23	24/12/19	AB	0	0,7	x	A	A	0	2	5	60	x	170	5	5	9	2	9	25	6
			N												1,	N	0,0	8,8	6,7	
Amost ra 24	25/12/20 19	AB	10	D	x	x	x	98	54	0	180	x	42	5	D	3	1	2	23	14
			28						61	31	5				5,	0,3		0,2	6,4	
Amost ra 25	26/12/19	AB	0	0,6	x	x	x	0	1	5	60	x	180	5	2	6	7,2	1	23	1
			N												1,	N	0,0	8,6	6,7	25,
Amost ra 26	27/12/19	AB	10	D	D	x	x	94	48	0	180	x	40	5	D	5	1	3	4	20
			27						60	31	5				4,	0,2		0,2	7,1	6,4
Amost ra 27	28/12/19	AB	0	0,7	48	x	x	0	2	5	55	x	180	8	8	9	6	2	25	2,3
			N												1,	N	0,0	8,6	6,7	25,
Amost ra 28	29/12/19	AB	10	D	x	x	x	98	49	0	170	x	42	5	D	5	3	1	3	22
			28						62	32	5						0,2	7,2	6,2	24,
Amost ra 29	30/12/19	AB	0	0,7	x	x	x	0	0	5	55	x	170	5	2	0,3	9	3	9	1,6
			N												1,	N	0,0		6,7	25,
Amost ra 30	31/12/19	AB	10	D	x	x	x	94	49	0	200	x	40	6	D	3	8,6	2	3	20
			29						60	32	5				5,	0,3		7,3	6,4	24,
Amost ra 31	1/1/20	AB	0	0,7	x	x	x	0	0	5	55	x	170	5	2	0,3	3	9	9	2
			N																	
Amost ra 32	2/1/20	AB	10	D	x	x	x	90	46	0	180	x	42	5	D	5	8	6,7	25	24
			29						60	30	5						0,2	7,1	6,5	24,
Amost ra 33	3/1/20	AB	0	x	x	x	x	0	0	5	55	x	190	5	0,3	6	9	2	9	2
			N												1,	N	0,0	8,6	6,2	25,
Amost ra 34	4/1/20	AB	10	D	x	,6	4,1	94	49	0	180	x	40	3	D	5	2	1	2	22
			28						61	31	6				5,	0,2		7,2	6,4	
Amost ra 35	5/1/20	AB	0	0,8	x	A	A	0	2	0	60	x	186	5	7	0,3	2	8	25	2
			N																	
Amost ra 36	6/1/20	AB	10	D	x	x	x	96	49	0	200	x	40	1	D	5	3	8	3	25
			28						61	30	6				5,	0,3		0,2	7,1	6,6
Amost ra 37	7/1/20	AB	0	0,7	x	x	x	1	0	0	60	x	185	5	3	5	6	1	1	4
			N																	
Amost ra 38	8/1/20	AB	10	N	x	x	x	98	54	6	180	x	40	1,	N	0,0	8,4	6,4	25,	24

Data	Origem	Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Alumínio total (mg/L Al)	Cloretos (mg/L Cl <sup>-</sup> )	Coliformes totais (NMP/100 mL)	<i>E. Coli</i> (NMP/100 mL)	Condutividade elétrica (µS/cm 25°C)	STD (mg/L)	Cor verdadeira (mg/L Pt-Co)	Cor aparente (mg/L Pt-Co)	COT (mg/L)	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Ferro Total (mg/L Fe)	Fluoreto (mg/L F <sup>-</sup> )	Mangânês total (mg/L Mn)	OD (mg/L O <sub>2</sub> )	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	
ra 25			D						0				3	D	5	1	2	4		
	AFM	27	0,7	x	x	x	60	31	5				5,	0,2	0,2	7,2	6,4		0,9	
		N					0	1	4	60	x	180	5	6	8	6	9	25	8	
Amost ra 26	27/12/19	AB	10	D	x	x	94	49	0	180	x	38	3	D	6	6	6,4	3	25	
		28					62	30	5				5,			7,2	6,5		0,9	
	AFM	0	0,8	x	x	x	0	0	5	60	x	185	5	0,3	0,3	2	2	25	6	
					2419				6				1,	N	0,0		6,3	30,		
Amost ra 27	30/12/19	AB	10	0	x	,6	70	92	51	0	180	x	44	3	D	5	8,4	3	5	
		26					61	33	6				5,	0,2		7,1	6,7	25,	0,8	
	AFM	8	0,7	x	A	A	0	0	0	60	x	190	5	3	0,3	9	7	8	7	
			N						6				1,	N	0,0	8,8	6,5	26,		
Amost ra 28	01/01/20	AB	9	D	x	x	97	51	0	180	x	42	3	D	5	1	9	3	15	
		28					60	31	5				4,	0,3		6,3	6,4	26,	0,9	
	AFM	6	0,7	x	x	x	0	1	5	60	x	180	9	1	0,4	6	7	1	3	
			N	N					6				1,	N	0,0	8,4	6,5	25,		
Amost ra 29	02/01/20	AB	10	D	D	x	94	51	0	160	x	40	3	D	5	6	3	4	15	
		28					62	31	5				4,		0,4	6,4	6,3		0,9	
	AFM	0	0,7	70	x	x	0	5	5	55	x	170	4	0,3	6	1	3	25	4	
									6				1,	N			6,4			
Amost ra 30	03/01/20	AB	10	x	x	x	89	49	5	200	x	38	2	D	ND	8,6	1	24	37	
		27					61	31	5				4,	0,2		6,4			0,5	
	AFM	8	x	x	x	x	1	7	5	55	x	166	6	9	0,5	3	6,4	24	2	
			N						6				1,	N	0,0			24,		
Amost ra 31	04/01/20	AB	10	D	x	x	89	54	0	180	x	46	5	D	5	8,8	6,5	3	27	
		28					60	30	6						0,3	0,4	6,3	6,3	0,6	
	AFM	0	0,7	x	x	x	0	1	0	65	x	172	4	2	1	9	7	24	6	
			N	N					6				1,	N			6,4	26,		
Amost ra 32	05/01/20	AB	10	D	D	x	92	49	0	180	x	48	3	D	ND	8,6	9	2	20	
		27					60	30	5				4,	0,3	0,4	6,3	6,3		0,7	
	AFM	6	0,7	60	x	x	6	0	5	60	x	180	4	3	4	7	9	24	9	
			N		2419	17,			6				1,	N		8,6	6,4			
Amost ra 33	06/01/20	AB	10	D	x	,6	1	96	53	0	180	x	40	3	D	ND	3	9	26	
		28					61	30	5				4,			6,4	6,3	24,	0,9	
	AFM	0	0,7	x	A	A	3	2	5	60	x	173	2	0,3	0,4	1	6	3	3	
			N		2419	17			6				1,	N	0,0	8,6	6,5	27,		
Amost ra 34	13/01/20	AB	10	D	x	,6	0	99	49	0	180	8	42	3	D	5	1	1	21	
		28					61	30	5			20,		0,3	0,4	6,6	6,3	22,		
	AFM	0	0,7	x	A	A	3	0	5	60	6	170	3	2	3	1	3	2	0,7	
			N				10		6				1,	N	0,0		6,4			
Amost ra 35	14/01/20	AB	10	D	x	x	1	51	0	180	8,9	40	3	D	5	8,8	9	29	22	
		27					60	31	5				3,		0,4	6,6	6,3	23,	0,5	
	AFM	6	0,8	x	x	x	1	5	5	60	9,2	176	4	0,3	5	4	6	3	9	
			N	N			10		6				1,	N	0,0		6,4			
Amost ra 36	15/01/20	AB	10	D	D	x	3	49	0	150	5	40	2	D	5	8,8	9	29	19	
		28					62	31	5				13,		0,2	0,4	6,6	6,2	24,	0,5
	AFM	0	0,7	70	x	x	0	0	5	55	2	181	3	8	1	3	6	1	8	
			N						6				1,	N	0,0	8,7	6,5	29,		
Amost ra 37	16/01/20	AB	10	D	x	x	96	46	0	150	13	40	2	D	5	3	2	2	21	
		28					61	30	5					0,2		6,3	6,2	23,	0,6	
	AFM	0	0,7	x	x	x	3	9	5	60	15	176	3	2	0,4	7	9	6	2	
			N						6				1,	N	0,0	8,8	6,4	24,		
Amost ra 38	17/01/20	AB	10	D	x	x	99	54	0	180	8	40	5	D	5	1	7	2	20	



Data	Origem	Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Alumínio total (mg/L Al)	Cloretos (mg/L Cl <sup>-</sup> )	Coliformes totais (NMP/100 mL)	<i>E. Coli</i> (NMP/100 mL)	Condutividade elétrica (µS/cm 25°C)	STD (mg/L)	Cor verdadeira (mg/L Pt-Co)	Cor aparente (mg/L Pt-Co)	COT (mg/L)	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Ferro Total (mg/L Fe)	Fluoreto (mg/L F <sup>-</sup> )	Manganês total (mg/L Mn)	OD (mg/L O <sub>2</sub> )	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	
Amost ra 39	20/01/20	AFM	8	0,8	x	x	60	30	5	17,	3,	6,3	6,3	23,	0,5					
		AB	10	D	x	x	96	59	0	170	8,5	40	3	D	5	9	2	6	21	
Amost ra 40	27/01/20	AFM	0	0,7	x	x	3	0	5	60	6	178	6	8	9	3	9	9	9	
		AB	10	D	x	,6	14	94	50	0	180	x	40	3	D	5	8	9	27	29
Amost ra 41	29/01/20	AFM	0	0,7	x	A	A	0	0	5	60	x	180	5	2	0,4	7	9	22	3
		AB	10	D	D	x	x	98	48	0	160	x	40	1	D	5	9	1	28	33
Amost ra 42	31/01/20	AFM	6	0,8	68	x	x	1	9	5	60	x	180	9	0,4	6	1	9	23	8
		AB	10	x	x	x	x	98	49	0	180	x	38	3	D	5	3	1	26	13
Amost ra 43	01/02/20	AFM	0	x	x	x	0	0	5	60	x	180	6	0,3	0,5	9	3	21	6	
		AB	10	D	x	x	x	96	54	0	190	x	40	4	D	5	9	3	27	14
Amost ra 44	02/02/20	AFM	0	0,8	x	x	x	4	0	5	60	x	180	5	9	0,5	2	9	21	3
		AB	10	D	x	x	x	94	49	5	150	x	40	1	D	2	2	2	5	16
Amost ra 45	03/02/20	AFM	0	0,7	x	x	x	3	1	5	55	x	185	5	8	5	1	5	6	4
		AB	9	D	x	x	x	99	54	0	180	x	42	6	D	5	3	6,6	3	20
Amost ra 46	04/02/20	AFM	0	0,7	x	x	x	0	0	5	60	x	180	9	0,3	0,4	9	7	1	1
		AB	10	D	x	x	x	94	54	0	190	x	46	3	D	5	8,3	3	4	22
Amost ra 47	05/02/20	AFM	0	0,6	x	x	x	0	1	5	70	x	180	5	3	6	4	9	21	1
		AB	10	D	x	x	x	99	54	0	190	x	49	5	D	5	8,6	6,6	24	18
Amost ra 48	06/02/20	AFM	0	0,8	x	x	x	0	0	5	70	x	190	5	1	6	9	9	20	3
		AB	10	D	D	x	x	0	59	0	188	x	50	3	D	5	8,8	9	5	19
Amost ra 49	07/02/20	AFM	0	0,7	70	x	x	0	2	0	60	x	190	4	8	5	7	9	5	9
		AB	10	D	x	x	x	0	59	0	190	x	40	5	D	1	8,9	6,8	29	23
Amost ra 50	10/02/20	AFM	9	0,7	x	x	x	0	0	5	70	x	200	5	0,3	3	6,5	9	23	7
		AB	10	D	x	,6	70	9	56	0	200	x	40	3	D	5	8	1	28	29
Amost ra 51	12/02/20	AFM	6	0,6	x	A	A	0	1	5	55	x	180	9	3	0,6	2	9	5	9
		AB	10	D	D	x	x	99	49	0	179	x	42	5	D	5	8,7	9	28	21
		AFM	28	0,7	70	x	x	62	35	5	55	x	180	4,	0,3	0,4	6,5	6,4	23	0,9

Data	Origem	Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Alumínio total (mg/L Al)	Cloretos (mg/L Cl <sup>-</sup> )	Coliformes totais (NMP/100 mL)	<i>E Coli</i> (NMP/100 mL)	Condutividade elétrica (µS/cm 25°C)	STD (mg/L)	Cor verdadeira (mg/L Pt-Co)	Cor aparente (mg/L Pt-Co)	COT (mg/L)	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Ferro Total (mg/L Fe)	Fluoreto (mg/L F <sup>-</sup> )	Manganês total (mg/L Mn)	OD (mg/L O <sub>2</sub> )	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	
		0					0	0	5				5		5	1	7			
Amost ra 52	13/02/20	AB	10	N			10		6				1,	N	0,0		6,5			
			27	D	x	x	x	0	54	0	180	x	40	3	D	5	8,8	1	28	20
Amost ra 53	14/02/20	AFM	8	0,8	x	x	0	1	0	55	x	180	5	2	0,4	9	9	21	6	
			10	N				10		6				1,	N	0,0	8,4	6,5		
Amost ra 54	17/02/20	AB	10	D	x	x	9	55	0	190	x	40	9	D	3	4	2	27	19	
			28					61	30	5							6,4			0,7
Amost ra 55	18/02/20	AFM	0	0,7	x	x	1	2	5	60	x	180	5	0,3	0,4	7	6,3	21	8	
			10	N				12		6				1,	N	0,0	8,3	6,4		
Amost ra 56	19/02/20	AB	10	D	x	x	0	53	0	200	x	38	3	D	5	9	9	27	22	
			28					62	30	5				4,	0,3		6,4	6,3	21,	0,9
Amost ra 56	19/02/20	AFM	0	0,7	x	x	0	0	5	60	x	180	5	2	0,4	7	3	6	6	
			10	N				11		6				1,	N	0,0	8,4	6,6		
Amost ra 56	19/02/20	AB	9	D	x	x	0	49	0	180	x	42	8	D	3	1	1	28	20	
			28					61	32	5				5,	0,3	0,4	6,4	6,4		0,9
Amost ra 56	19/02/20	AFM	0	0,8	x	x	1	0	5	55	x	179	5	3	5	5	9	23	4	
			10	N				11		6				1,	N	0,0	8,8	6,7		
Amost ra 56	19/02/20	AB	10	D	x	,6	70	2	54	0	190	x	40	8	D	5	1	2	28	19
			28					62	32	5				5,	0,3		6,4	6,4	22,	0,7
			0	0,7	x	A	A	0	0	5	55	x	180	9	1	0,4	9	5	8	6

Fonte: próprio autor.

**ND-** não detectado; **A-** Ausente; **STD-** sólidos totais dissolvidos; **COT** – carbono orgânico total; **OD-** oxigênio dissolvido; **NMP** – número mais provável; **uT** – Unidade de turbidez.

**APÊNDICE H – Análise da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) – Q = 4,5 L/s (f=34 Hz)**

Data	Origem	Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)		Alumínio total (mg/L Al)	Cloretos (mg/L Cl)	Coliformes totais (NMP/100 mL)	E Coli (NMP/100 mL)	Condutividade elétrica (µS/cm 25°C)		Cor verdadeira (mg/L Pt-Co)	Cor aparente (mg/L Pt-Co)	COT (mg/L)	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Ferro Total (mg/L Fe)	Fluoreto (mg/L F)	Manganês total (mg/L Mn)	OD (mg/L O <sub>2</sub> )	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	
		32	N					68	51												151,
DEAL	14/06/19	POÇ	32	N	33,																
		O	3	D	8	x	x	4	4	x	6	x	8	5	D	8	-	7,2	20	10	
Amost	14/09/19	AB	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ra 1		AFM	x	x	x	x	x	0	4	x	55	x	x	x	2	x	3	6	6	21,	0,
Amost	15/09/19	AB	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ra 2		AFM	x	x	44	x	x	4	1	x	55	x	x	x	6	x	3	5	2	22,	0,
Amost	16/09/19	AB	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ra 3		AFM	x	x	x	x	x	61	30	x	55	x	x	x	0,3	x	9,4	5	3	21,	1,
Amost	17/09/19	AB	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ra 4		AFM	x	x	x	x	x	63	31	x	50	x	x	x	8	x	6,4	9	3	19,	0,
Amost	18/09/19	AB	x	x	x	x	x	x	x	250	x	x	x	D	x	8,2	2	17	37		
ra 5		AFM	x	x	x	x	x	64	32	x	55	x	x	0,3	x	8,5	6,3	19,	1,		
Amost	19/09/19	AB	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	D	x	8,1	6,5	17	82		
ra 6		AFM	x	x	x	x	x	60	30	x	55	x	x	0,3	x	8,5	6,3	22	66		
Amost	20/09/19	AB	10	D	x	,6	8	96	50	x	300	x	32	1	D	x	8,1	6,5	18	48	
ra 7		AFM	29	0,	x	A	A	60	29	x	60	x	186	4,	0,2	x	8,3	6,3	1,		
Amost	21/09/19	AB	10	x	x	x	x	94	46	x	150	x	28	6	D	0,08	1	6,5	1	19	
ra 8		AFM	29	6	x	x	x	59	30	x	90	x	200	8	0,1	8,9	6,5	20,	0,		
Amost	22/09/19	AB	10	x	x	x	x	96	48	x	125	x	30	8	D	0,08	8	4	19	19	
ra 9		AFM	29	9	x	70	x	63	31	x	60	x	190	4	0,2	6,6	6,5	20,	0,		
Amost	23/09/19	AB	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ra 10		AFM	x	x	x	x	x	60	30	x	55	x	x	0,3	x	6,6	19,	0,			
Amost	24/09/19	AB	10	x	x	x	x	94	48	x	130	x	28	8	D	0,1	5	7	21	21	
ra 11		AFM	30	0	x	x	x	60	30	x	65	x	188	2	0,3	8,4	2	3	76		
Amost	25/09/19	AB	9	x	x	x	x	96	48	x	125	x	30	8	D	0,1	8,6	7	22	19	
ra 12		AFM	29	0,	x	38	x	60	30	x	60	x	180	4	0,3	8,4	2	1	59		
Amost	26/09/19	AB	10	x	x	x	x	98	52	0	130	4	32	8	D	0,1	8,6	6,5	8	21	
ra 13		AFM	29	x	x	x	x	60	30	6	70	14,	178	4	0,2	8,1	6,5	22,	1,		

Data	Origem	Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)		Cloretos (mg/L Cl <sup>-</sup> )	Coliformes totais (NMP/100 mL)	<i>E. Coli</i> (NMP/100 mL)	Condutividade elétrica (µS/cm 25°C)		Cor verdadeira (mg/L Pt-Co)	Cor aparente (mg/L Pt-Co)	COT (mg/L)	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Ferro Total (mg/L Fe)	Fluoreto (mg/L F <sup>-</sup> )	Manganês total (mg/L Mn)	OD (mg/L O <sub>2</sub> )	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)
		9					2	8	0		3			8		9	2	4	61
Amostra 14	27/09/19	10	x	x	2419,6	14,8	98	54	5	200	13,4	30	1,9	N	8,4	7,2	20,3	19	
		28	0,				61	30	5		12,		6,			7,4	20,	1,	
	AFM	8	7	x	A	A	6	4	5	65	9	189	8	0,3	0,11	8,4	4	8	91

Fonte: próprio autor.

**ND-** não detectado; **A-** Ausente; **STD-** sólidos totais dissolvidos; **COT** – carbono orgânico total; **OD-** oxigênio dissolvido; **NMP** – número mais provável; **uT** – Unidade de turbidez.

**APÊNDICE I – Análise da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) – Q = 5,5 L/s (f=37 Hz)**

Data	Origem	Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Alumínio total (mg/L Al)	Cloretos (mg/L Cl <sup>-</sup> )	Coliformes totais (NMP/100 mL)	<i>E Coli</i> (NMP/100 mL)	Condutividade elétrica (µS/cm 25°C)	STD (mg/L)	Cor verdadeira (mg/L Pt-Co)	Cor aparente (mg/L Pt-Co)	COT (mg/L)	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Ferro Total (mg/L Fe)	Fluoreto (mg/L F <sup>-</sup> )	Manganês total (mg/L Mn)	OD mg/L O <sub>2</sub>	pH	Temperatura °C	Turbidez (uT)
DEAL 14/06/19	POÇ O	32	N 33, D 8	33, 8	x	x	68	51	151, 6	169, 8	5,5	ND	0,81	8	x	7,2	20	10	
Amostra 1 14/09/19	AB AF M	10 27 0	x x x	x x x	x x x	x x x	98 61 0	49 30 7	0 5 5	120 55	x	26 194	0,8 3 3	ND 0,2 0,1	0,02 8,1	8,8	3 3	21,9 21,9	39 0, 85
Amostra 2 15/09/19	AB AF M	10 21 0	x x x	x x x	x x x	x x x	98 62 8	49 31 0	0 5 5	130 55	x	30 200	0,5 0,2 6	ND 0,2 0,55	0,02 8,4	9,1	1 3	20,1 21,9	24 0, 85
Amostra 3 16/09/19	AB AF M	11 29 0	x x x	x x x	x x x	x x x	98 61 2	49 31 9	x 5	180 70	x	30 222	0,5 4 0,3	ND 0,6	0,03 0,6	6 3	6,5 3	23 23	57 2, 31
Amostra 4 17/09/2019	AB AF M	10 29 0	x 0, 6	x x A	x x A	x x A	98 63 2	49 32 0	5 5 5	110 55	x	40 230	0,7 2,7 5	ND 0,2 0,55	0,02 5,8	4 2	19,8 6,6	19 1, 15	
Amostra 5 18/09/19	AB AF M	10 26 6	x x x	x x x	x x x	x x x	98 63 0	49 31 5	5 5 5	100 55	x	36 230	1 3 6	ND 0,2 0,5	0,03 7,5	3 5 7	8 6,6	19 1, 21	
Amostra 6 19/09/19	AB AF M	10 29 7	x x x	x x x	x x x	x x x	98 63 2	49 31 5	5 5 5	100 55	x	39 200	0,8 3 0,3	ND 0,6	0,03 7,3	1 6	20,3 6,7	17 0, 91	
Amostra 7 20/09/19	AB AF M	10 29 8	x 0, 7	ND 40	x x	x x	90 61 9	49 30 2	5 5 5	110 55	x	42 200	0,9 0,2 8	ND 0,2 0,6	0,03 7,3	2 6 9	21,8 6,8	18 0, 72	
Amostra 8 21/09/19	AB AF M	10 29 0	x x 39	x x	x x	x x	90 62 0	49 31 4	5 5 0	130 50	x	39 186	1,3 3,2 6	ND 0,2 0,6	0,02 5,1	8 4 5	24 6,4	,3 1, 51	
Amostra 9 22/09/19	AB AF M	10 30 0	x x x	x x A	x x A	x x A	90 59 8	49 30 8	5 5 5	130 55	x	40 189	1,5 7 0,3	ND 0,7	0,06 8,1	6,3 6,4	23,9 22,9	19 1, 06	

Fonte: próprio autor.

**ND-** não detectado; **A** - Ausente; **STD-** sólidos totais dissolvidos; **COT** – carbono orgânico total; **OD-** oxigênio dissolvido; **NMP** – número mais provável; **uT** – Unidade de turbidez.

**APÊNDICE J – Análise da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) – Q = 6,0 L/s (f=40 Hz)**

	Data	Origem	Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Alumínio total (mg/L Al)	Cloretos (mg/L Cl <sup>-</sup> )	Coliformes totais (NMP/100 mL)	<i>E. Coli</i> (NMP/100 mL)	Condutividade elétrica (µS/cm 25°C)	STD mg/L	Cor verdadeira (mg/L Pt-Co)	Cor aparente (mg/L Pt-Co)	COT (mg/L)	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Ferro Total (mg/L Fe)	Fluoreto (mg/L Cl <sup>-</sup> )	Manganês total (mg/L Mn)	OD (mg/L O <sub>2</sub> )	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uF)
DEAL	14/06/19	POÇO	32	N	33,			68	51	151		169		N	0,8					
		O	3	D	8	x	x	4	4	x	,6	x	,8	5,5	D	18	x	7,2	20	10
Amost	26/10/19	AB	10	D	x	x	x	0	55	48	100	x	44	1,3	D	3	6	2	26	16
ra 1		AFM	28					61	30					0,2	0,4	6,9	6,4		1,7	
			0	0,8	66	x	x	1	2	80	82	x	180	3,4	8	2	8	9	25	1
Amost	27/10/19	AB	10	D	x	x	x	98	50	61	120	x	40	1,4	D	3	9	3	6	16
ra 2		AFM	27					62	33	12				0,3	0,4	6,8	6,4	21,	5,8	
			0	0,6	x	x	x	0	1	9	150	x	170	3,8	1	4	3	6	4	1
Amost	30/10/19	AB	10	D	D	x	x	96	47	50	110	x	42	1,4	D	3	6	1	5	17
ra 3		AFM	28	0,6	60	x	x	61	32					0,1	6,7	6,4	21,	4,3		
			0	5	60	x	x	4	2	55	60	x	180	6	9	0,3	6	1	1	6
Amost	31/10/19	AB	10	D	x	x	x	98	54	40	180	x	40	1,4	D	3	9	1	21	29
ra 4		AFM	27					62	31					0,3	6,4	6,4	21,	6,0		
			0	0,6	x	x	x	0	1	60	65	x	180	5,8	4	0,3	6	2	2	2
Amost	01/11/20	AB	12	D	x	2	228	97	52	50	160	x	45	1,5	D	3	8,6	2	21	59
ra 5	19	AFM	26	0,4		A	A	61	31					0,3	6,5	6,4	21,	4,7		
			0	7	x	A	A	8	0	55	65	x	190	4,8	8	0,3	3	9	3	6
Amost	06/11/19	AB	12	0	x	x	x	98	54	50	130	x	40	5	D	3	8,6	5	21	59
ra 6		AFM	25					61	32					0,2	6,5	6,5	22,			
			0	0,7	x	x	x	1	0	50	65	x	170	5,5	0,3	9	6,5	5	1	9,6
Amost	07/11/19	AB	10	0	x	x	x	98	54	50	130	x	40	1,8	D	3	1	9	22	17
ra 7		AFM	25					62	32					0,2	6,4	6,5	22,	3,5		
			0	0,6	x	x	x	0	0	45	55	x	180	6,6	8	0,3	6	3	1	1
Amost	08/11/19	AB	10	x	x	3	6,3	96	54	50	120	x	40	1,6	D	3	1	6,5	2	30
ra 8		AFM	28			A	A	62	30			x	180	6	0,3	5	6,4	2	23	1
			0	0,7	x	A	A	0	2	50	70			6	0,3	5	6,4	2	23	1
Amost	09/11/19	AB	10	x	x	x	x	98	54	55	110	x	40	1,4	D	4	2	6,4	7	39
ra 9		AFM	27					62	31					0,2	6,3	6,4	23,			
			0	x	43	x	x	0	1	50	70	x	160	5,8	9	0,4	3	6	9	14
Amost	10/11/19	AB	10	x	x	x	x	98	54	55	100	x	42	1,5	D	3	8,6	6,4	9	30
ra 10		AFM	28					61	32					0,3	0,3	6,4	6,4			
			0	0,7	x	x	x	1	0	50	60	x	160	6	2	6	2	3	23	10
Amost	12/11/19	AB	10	x	x	x	x	98	56	50	180	x	42	1,4	D	3	8,4	5	6	32
ra 11		AFM	29					62	32					0,3	0,4	7	9	3	14	
			0	0,6	x	x	x	0	0	50	65	x	160	6	0,3	0,4	7	9	3	14
Amost	13/11/19	AB	10	x	x	x	x	98	54	60	180	x	44	1,5	D	3	9	6,5	5	40
ra 12		AFM	28					62	30					0,3	0,3	6,6	6,3	22,		
			0	0,7	48	x	x	0	0	55	65	x	160	6,2	0,4	5	6,6	1	9	16
Amost	14/11/19	AB	10	x	x	x	x	96	54	60	180	x	40	1,5	D	3	8,4	6	3	33

Data	Origem	Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Alumínio total (mg/L Al)	Cloretos (mg/L Cl <sup>-</sup> )	Coliformes totais (NMP/100 mL)	<i>E. Coli</i> (NMP/100 mL)	Condutividade elétrica (µS/cm 25°C)	STD mg/L	Cor verdadeira (mg/L Pt-Co)	Cor aparente (mg/L Pt-Co)	COT (mg/L)	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Ferro Total (mg/L Fe)	Fluoreto (mg/L Cl <sup>-</sup> )	Manganês total (mg/L Mn)	OD (mg/L O <sub>2</sub> )	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	
Amost ra 14	15/11/19	AFM	27 0	0,8	x	x	60	31	60	60	x	170	6	0,4	0,3	6,6	22,	4	10	
		AB	28 10	x	x	>241 9,6	22, 1	98	54	60	150	x	44	1,5	D	0,0	8,6	6,5	23	30
Amost ra 15	18/11/19	AFM	28 0	0,7	x	A	A	0	0	55	55	x	150	6	0,3	0,3	1	2	23	12
		AB	27 10	x	x	x	x	96	54	60	150	x	40	1	D	0,0	8,6	6,4	24	34
Amost ra 16	19/11/19	AFM	27 0	0,6	x	x	x	0	0	50	70	x	170	5	0,3	0,3	9	6	24	14
		AB	28 10	x	x	x	x	98	54	60	170	5	45	1,5	D	3	8,6	6,4	21	21
Amost ra 17	20/11/19	AFM	28 0	0,8	x	x	x	0	3	55	70	3	165	5,5	0,4	0,3	1	6,4	26	16
		AB	27 10	x	x	x	x	98	49	55	150	1	40	1,5	D	5	8,6	6,5	26	9
Amost ra 18	22/11/19	AFM	27 0	0,7	58	A	A	0	2	55	55	6	190	5,9	N	0,0	8,4	6,6	24	16
		AB	28 10	x	x	866,4	9,8	98	54	55	130	8	44	1,6	D	5	7	1	24	17
Amost ra 19	23/11/19	AFM	27 0	0,8	58	x	x	0	2	55	55	0,8	190	5,8	9	6	6	2	2	12
		AB	28 10	x	x	x	x	98	54	55	130	4	44	1,6	D	5	7	1	24	17
Amost ra 20	24/11/19	AFM	27 0	0,7	x	x	x	2	6	50	55	6	180	6	6	0,4	2	9	2	10
		AB	28 10	x	x	x	x	94	48	60	180	8,4	42	1,5	D	5	3	2	2	18
Amost ra 21	26/11/19	AFM	29 0	0,7	55	x	x	8	0	55	55	2	180	6	8	0,4	6	2	23	14
		AB	27 10	x	x	x	x	98	54	50	150	7,9	40	1,4	D	5	3	1	1	24
Amost ra 22	27/11/19	AFM	28 0	0,6	x	x	x	0	0	55	60	4	180	5	2	3	1	6,5	3	1
		AB	29 10	x	x	x	x	92	45	50	130	7,1	45	1,2	D	5	6	3	2	4
Amost ra 23	28/11/19	AFM	27 0	x	60	x	x	8	4	55	50	9	180	5	6	8	7	1	2	2
		AB	28 10	x	x	x	x	98	54	50	150	13,	40	1,4	D	0,2	0,3	6,8	22,	5,5

Fonte: próprio autor.

**ND-** não detectado; **A** - Ausente; **STD-** sólidos totais dissolvidos; **COT** – carbono orgânico total; **OD-** oxigênio dissolvido; **NMP** – número mais provável; **uT**– Unidade de turbidez.

**APÊNDICE K– Análise da qualidade da água bruta (AB) e da água filtrada em margem (AFM) – Q = 6,5 L/s (f=43 Hz)**

	Data	Origem	Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Alumínio total (mg/L Al)	Cloretos (mg/L Cl <sup>-</sup> )	Coliformes totais (NMP/100 mL)	<i>E Coli</i> (NMP/100 mL)	Condutividade elétrica (uS/cm 25°C)	STD (mg/L)	Cor verdadeira (mg/L Pt-Co)	Cor aparente mg/L Pt-Co	COT (mg/L)	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Ferro Total (mg/L Fe)	Fluoreto (mg/L Cl <sup>-</sup> )	Mangânês total (mg/L Mn)	OD (mg/L O <sub>2</sub> )	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)
DEAL	14/06/19	POÇ O	32 3	ND	33, 8	x	x	68 4	51 4	x	151 ,6	x	169 ,8	5, 5	N D	0,8 18	x	7,2	20	10
Amost ra 1	12/10/19	AB	9 28	x	D	x	x	8 62	54 32	50	135	x	40	8	D	ND	3,9 6	6,5 2	26	15
		AFM	6	x	48	x	x	0 0	0 0	45	112	x	200	6 6	N D	0,0 3,3	6,7 6,5	26	5	
Amost ra 2	13/10/19	AB	10 29	x	x	x	x	2 61	54 32	60	140	x	40	9	D	5	9	2	25	16
		AFM	9	x	x	x	x	0 0	0 0	55	100	x	210	5 8	N D	0,0 0,1	6,8 6,5	19, 19,	4, 7	7,1
Amost ra 3	14/10/19	AB	10 28	x	x	x	x	98 65	49 34	65	180	x	40	3	D	6	3	1	39	
		AFM	0	x	x	x	x	6 7	50	90	x	200	5	4	D	0,1	4	2	6	1
Amost ra 4	15/10/20 19	AB	10 27	x	x	x	x	0 69	50 29	55	140	x	40	2	D	5	2	7,1	7	5
		AFM	0	x	x	x	x	2 6	55	55	x	220	5	7	D	0,0 0,4	5,4 5,4	21, 21,	7,3 8	7
Amost ra 5	17/10/19	AB	10 29	x	D	x	x	92 61	66 32	50	180	x	40	3	D	5	6	3	6	7
		AFM	0	x	63	x	x	3 0	60	65	x	200	5	9	D	0,2 8,7	8,4 6,8	8 8	4 4	
Amost ra 6	18/10/19	AB	10 27	x	x	509	3	98 62	48 31	65	120	x	40	2	D	ND	9	7,4	8	2
		AFM	0	x	x	A	A	8 1	53	53	x	210	5	3	D	0,1 8,1	4,9 8,1	7 2	8	8
Amost ra 7	19/10/19	AB	9 18	x	x	x	x	88 62	54 39	55	120	x	40	2	D	ND	1	6,3	20	19
		AFM	0	x	x	x	x	0 2	55	55	x	200	6	7	D	0,3 5,3	1 6,5	22 2	2	
Amost ra 8	22/10/19	AB	10 29	x	x	x	x	4 64	52 32	40	180	x	42	3	D	8	3	9	1	59
		AFM	9	0,7	x	x	x	5 3	45	65	x	200	6	0,3	D	0,3 7,3	3 19,	6 8	8 5	
Amost ra 9	23/10/19	AB	10 28	x	x	x	x	0 62	54 32	50	135	x	40	3	D	5	8,6	3	3	15
		AFM	6	0,8	68	x	x	0 2	50	55	x	180	6	8	D	0,3 0,0	9 8,6	9 6,5	8 22,	13
Amost ra 10	24/10/19	AB	10 29	x	x	x	x	98 60	54 32	50	180	11	42	2	D	6	8	1	5	15
		AFM	0	0,8	x	x	x	0 0	55	121	1	180	6	0,3	D	0,9 6,4	9 6,4	2 6,4	9 24	2 18
Amost ra 11	25/10/19	AB	10 29	x	x	1046	8, 2	98 61	49 31	51	176	3	x	4	D	4	6	9	24	18
		AFM	0	0,88	x	A	A	0 2	76	153	6	x	2	3	D	0,5 8,5	2 9	6,5 8	8 3	

Fonte: próprio autor.

ND- não detectado; A - Ausente; STD- sólidos totais dissolvidos; COT – carbono orgânico total; OD- oxigênio dissolvido; NMP – número mais provável; uT – Unidade de Turbidez.

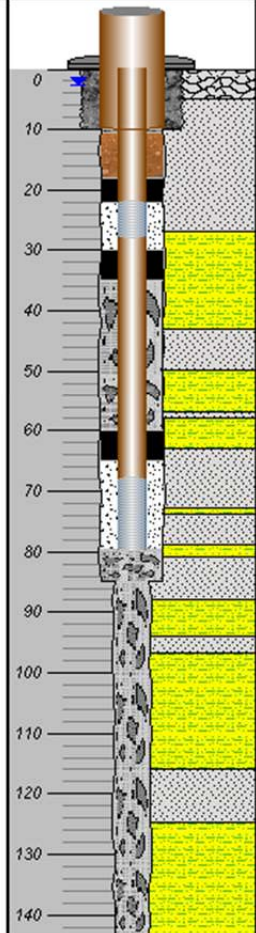


**ANEXOS**



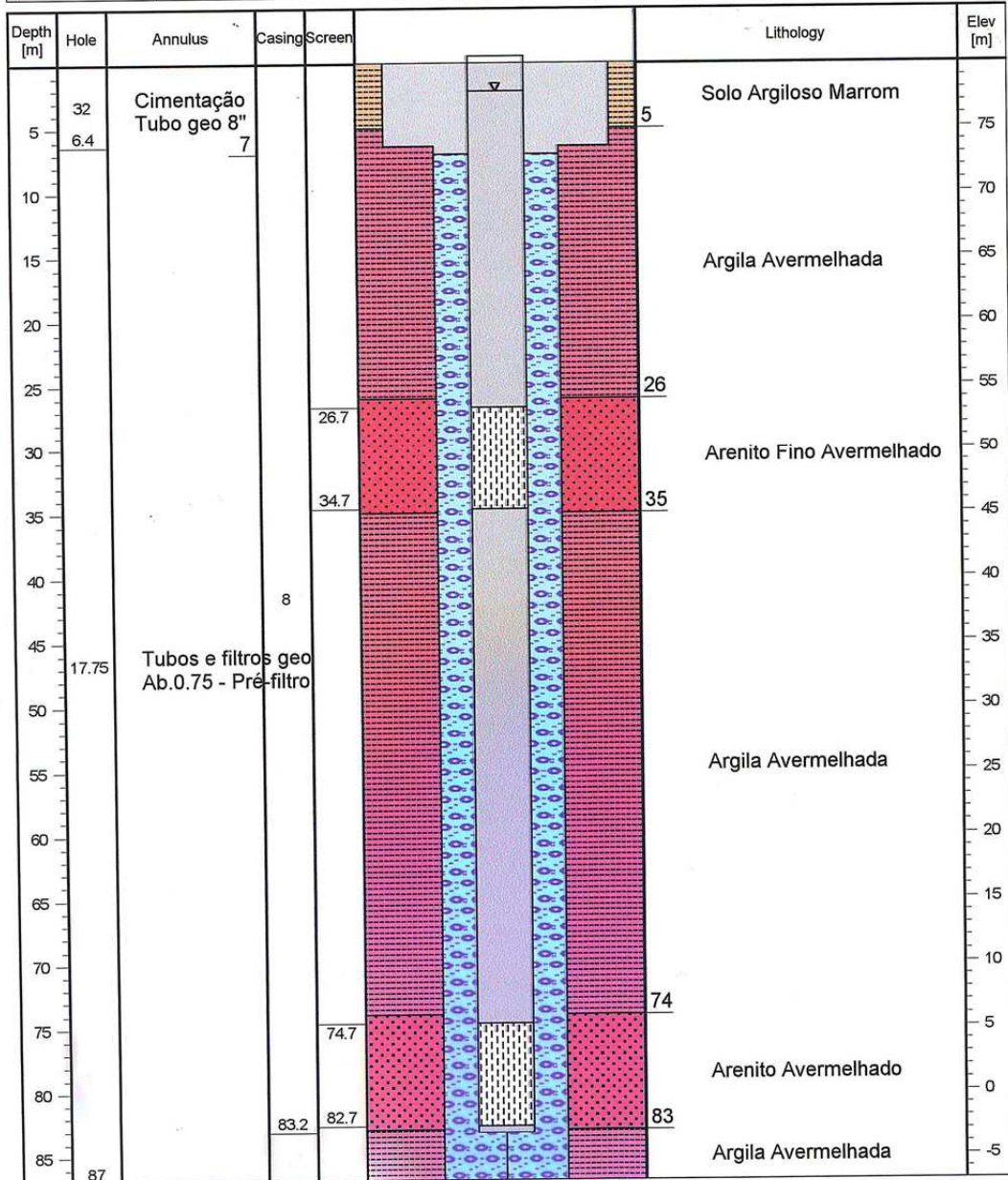


<b>MUNICÍPIO</b>	<b>OSÓRIO</b>	<b>Coordenadas UTM</b>	<b>Coordenadas Geograf.</b>
<b>LOCALIDADE</b>	<b>ATLANTIDA SUL</b>	X 588051	-50 05' 17.64942"
<b>Endereço</b>	<i>Estrada do Mar</i>	Y 6695207	-29 52' 14.39173"
<b>Regional</b>	<i>SURLIT</i>	Z 6 m	<b>Carta</b>
<b>Bacia</b>	<i>Tramandaí</i>	ZR 6,6 m	
<b>Código</b>	<i>L-10</i>	<b>Merid.Central</b> 51	<b>Folha</b> SH.22-X-C-V-3
<b>Perfurador</b>	CORSAN	<b>Fuso</b> 22 J	
<b>Proprietário</b>	CORSAN	<b>Data (Inic.-Fim)</b>	<b>CREA CORSAN nº</b>
<b>Aquífero</b>	<i>Sist. Aquíf. Costeiro I</i>	15/08/2000	17865
		22/08/2000	<b>ART Obra nº</b>
			922109

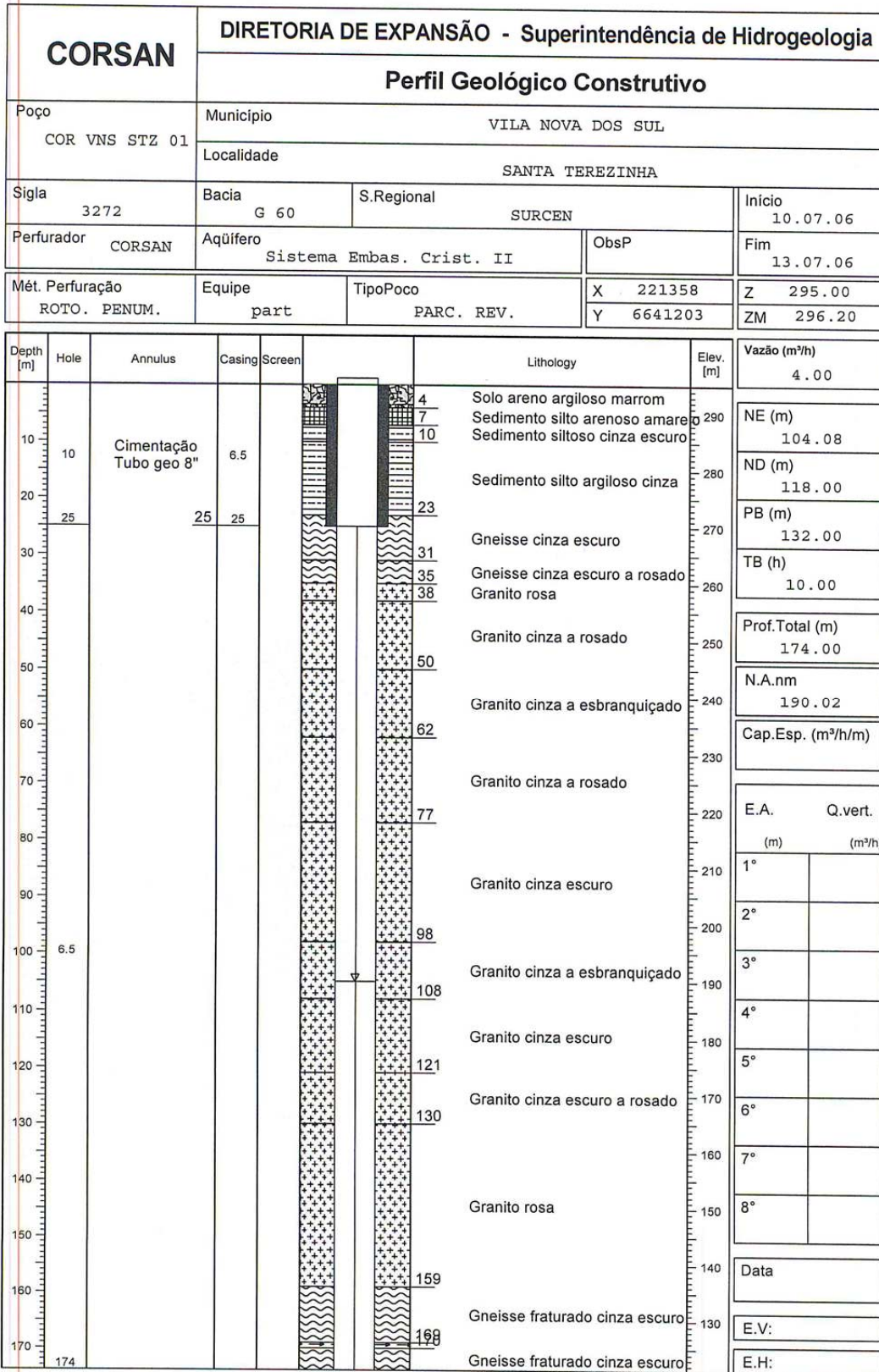
Método de Perfuração	φ	E.A. m/h	Perfil Construtivo	Revest.	φ	Material Anelar	Litologia	
Retículo	28			Res. Calcedrão	18	Solo Sanitário: Cimento	Arenoso-Arenoso cinza	
				PVC Granulado	8	Selamento com Cimento e Material de Preenchimento	amarelo	
				Filtro	8	Cimentação Interalme		
						Pré-Filtro: Areia		
						Cimentação Interalme		
Retículo	17,1				PVC Granulado	8	Material de Preenchimento	amarelo
							amarelo	
						Cimentação Interalme	amarelo	
						Pré-Filtro: Areia	amarelo	
						Cimentação Interalme	amarelo	
							amarelo	
							amarelo	
Retículo	3,875						Material de Preenchimento	amarelo
								amarelo

Projeto Operacional	Vazão (m³/h)	Vazão (m³/dia)	N.E. (m)	N.D. (m)	Prof. Bomba (m)	Tempo Máx. Bomb. (h)
	150	2400	2,56	23	36	16
<b>Profundidade Total</b>	144 m					
<b>Profundidade Útil</b>	30 m					
<b>Cap. Específica</b>	7.368 m³/h/m					
<b>Restrições</b>	<i>Cor(240), Turb(27), Fe(8.1), Mn(0.284)</i>					
<b>Situação</b>	Operação Contínua					
<b>Serviço</b>						
<b>Data</b>	Carlos Alvin Heine Responsável Técnico CREA 31289					

Poço nº	3027	<b>DIRETORIA DE EXPANSÃO - Superintendência de Hidrogeologia</b>					
Sigla	COR MT 4	<b>Perfil Geológico Construtivo</b>					
S.Regional	SURCEM	Município	MATA	Início	270802		
Perfurador	CORSAN	Localidade	SEDE	Fim	020902		
Bacia	G 60	Aquífero	GUARANI	EA	Data	21107777	
Mét. Perfuração	ROTATIVA	Equipe	TS 25	TipoPoco	TOT.REV.		
X	746931	Z	80.00	Vazão (m³/h)	NE	ND	
Y	6726868	ZM	80.62		2.77	53.00	
					PB	TB	
					66.00	16.00	
					Prof.Total	N.A.nm	
					87.00	77.85	
					Cap.Esp.	0.84	





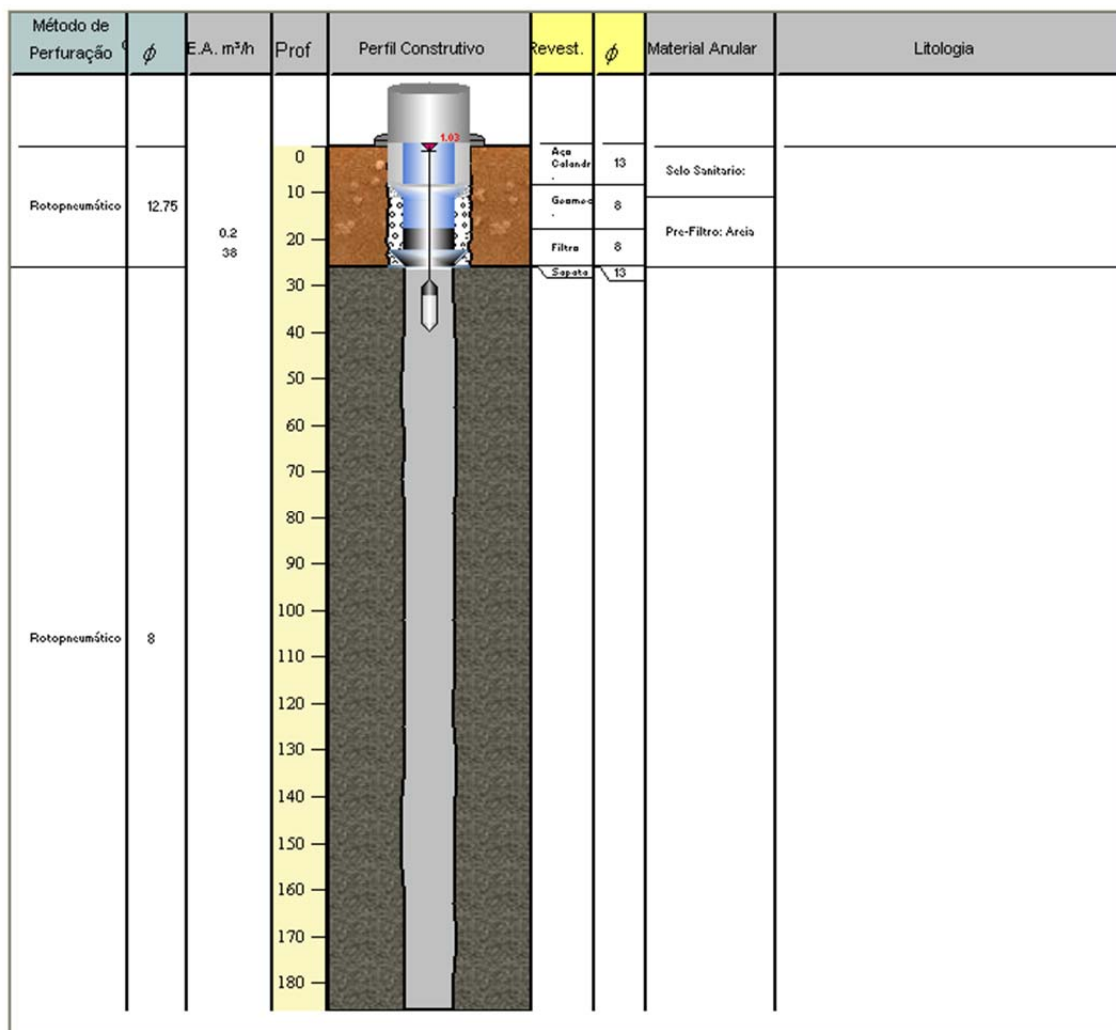




Companhia Riograndense de Saneamento  
Superintendência de Recursos Hídricos e Meio Ambiente  
SURHMA

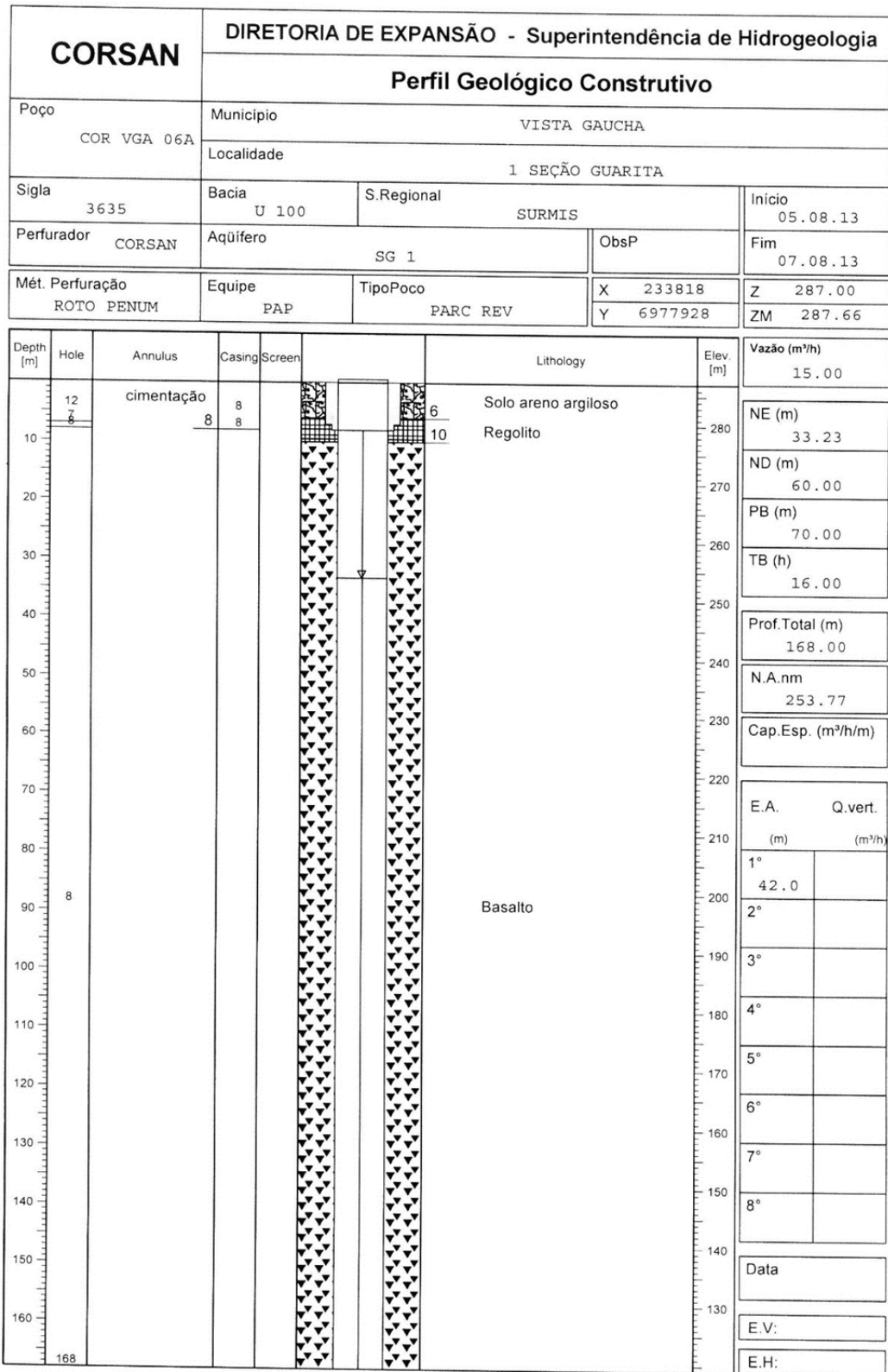
Código Poço *COR.FLC.SGO.07*  
Número Geral *3376*

<b>Município</b>	FLORES DA CUNHA	<b>Coordenadas UTM</b>	480729 6783865	<b>Coordenadas Geográficas</b>	-51° 11' 28.5" -29° 05' 47.6"
<b>Localidade</b>	SÃO GOTARDO				
<b>Endereço Regional</b>	(ao lado da entrada para o campo do Cruzeiro)	<b>Z</b>	708 m	<b>Folha</b>	SH.22-VD-III-2
<b>Bacia</b>	Serra	<b>Z + rev.</b>	708 m	<b>Carta</b>	Caxias do Sul
<b>Perfurador</b>	Taquari-Antas	<b>Fuso</b>	22 J		
<b>Proprietário</b>	CORSAN	<b>Merid.Centr</b>	51		
<b>Aquífero</b>	Sist. Aquíf. Serra Geral II	<b>Início</b>	13/09/2007	<b>CREA CORSAN N°</b>	17865
		<b>Fim</b>	16/09/2007	<b>ART Obran°</b>	5304881



#### Dados Operacionais

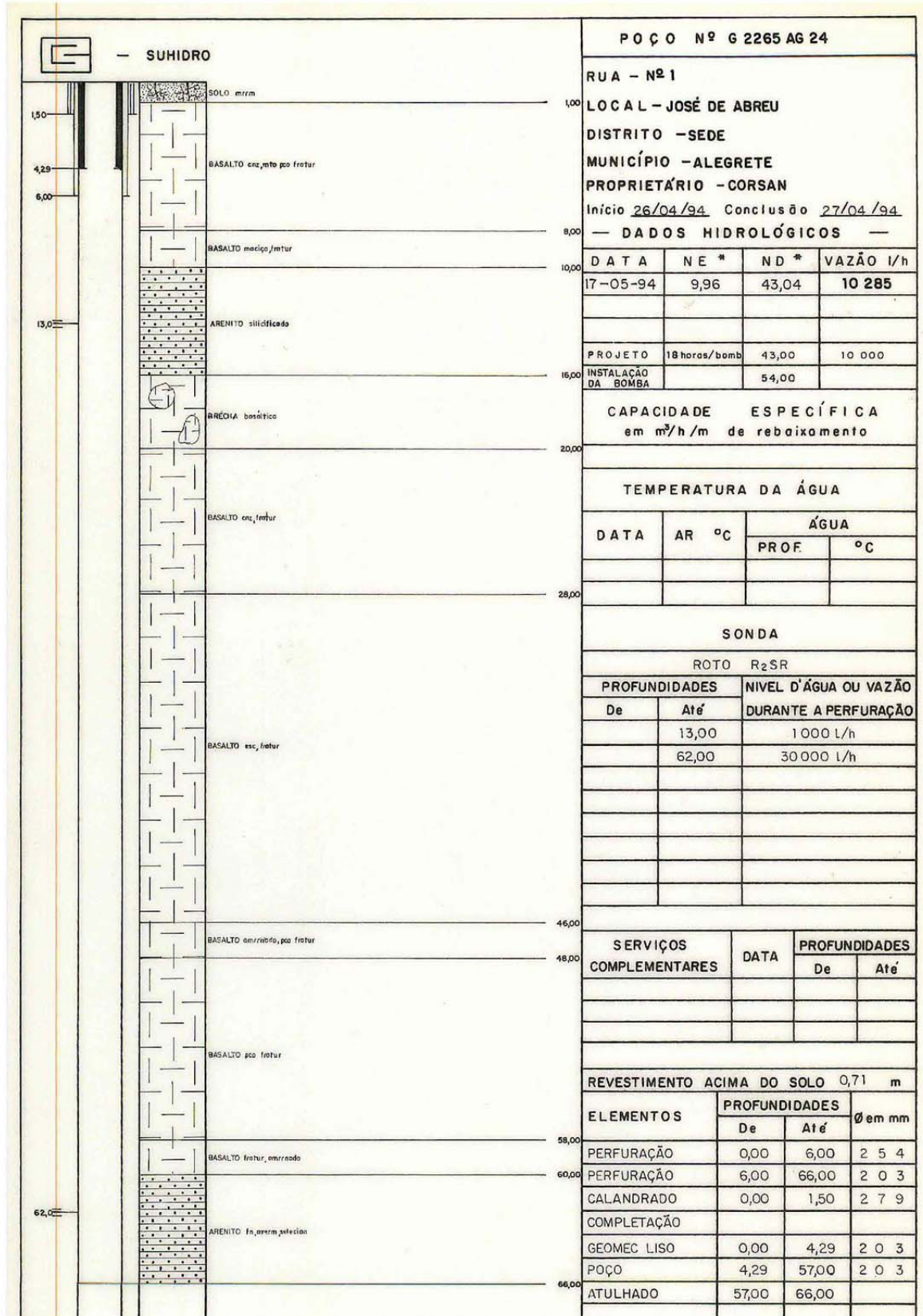
Vazão (m³/h)	Vazão (m³/dia)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Prof. Bomba (m)	Tempo Máx. Bombeamento (h)
30	300	1.03	30	40	10
<b>Profundidade Total</b>	186 m	<b>Situação</b> <i>Operação Contínua</i>		26/10/2007	
<b>Profundidade Útil</b>	0 m	<b>Serviço</b>			
<b>Capacidade Específica</b>	1.03 m³/h/m	<b>Licença</b>			
<b>Restrição</b>					











Prof. [m]		Furo	Espaço Anular	Revest.	Filtro	Descrição Litológica				Cota [m]
1										-1
2										-2
3										-3
4								Areia		-4
5										-5
6	9.5		Cimentação							-6
7										-7
8										-8
9										-9
10								Rochas Granitóides		-10
11										-11

Sigla COR AMF 4		<b>Perfil Geológico Construtivo</b>				
S.Regional SURSUL	Município	AMARAL FERRADOR			Início 230301	
Perfurador CORSAN	Localidade <i>R. Cor Amal Potórum</i>	SEDE			Fim 230301	
Bacia L 30	Aquífero FORM. CRIST.	EA			Data 090301	
Mét. Perfuração ROTOPNEUM	Equipe TS 24	Tipo POCO PARC. REV.	Obs Perfil		E.H:	
X	Z	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	NE	ND	PB	
Y	ZM				TB	
		Prof. Total 11.00	N.A.nm	Cap. Esp.		





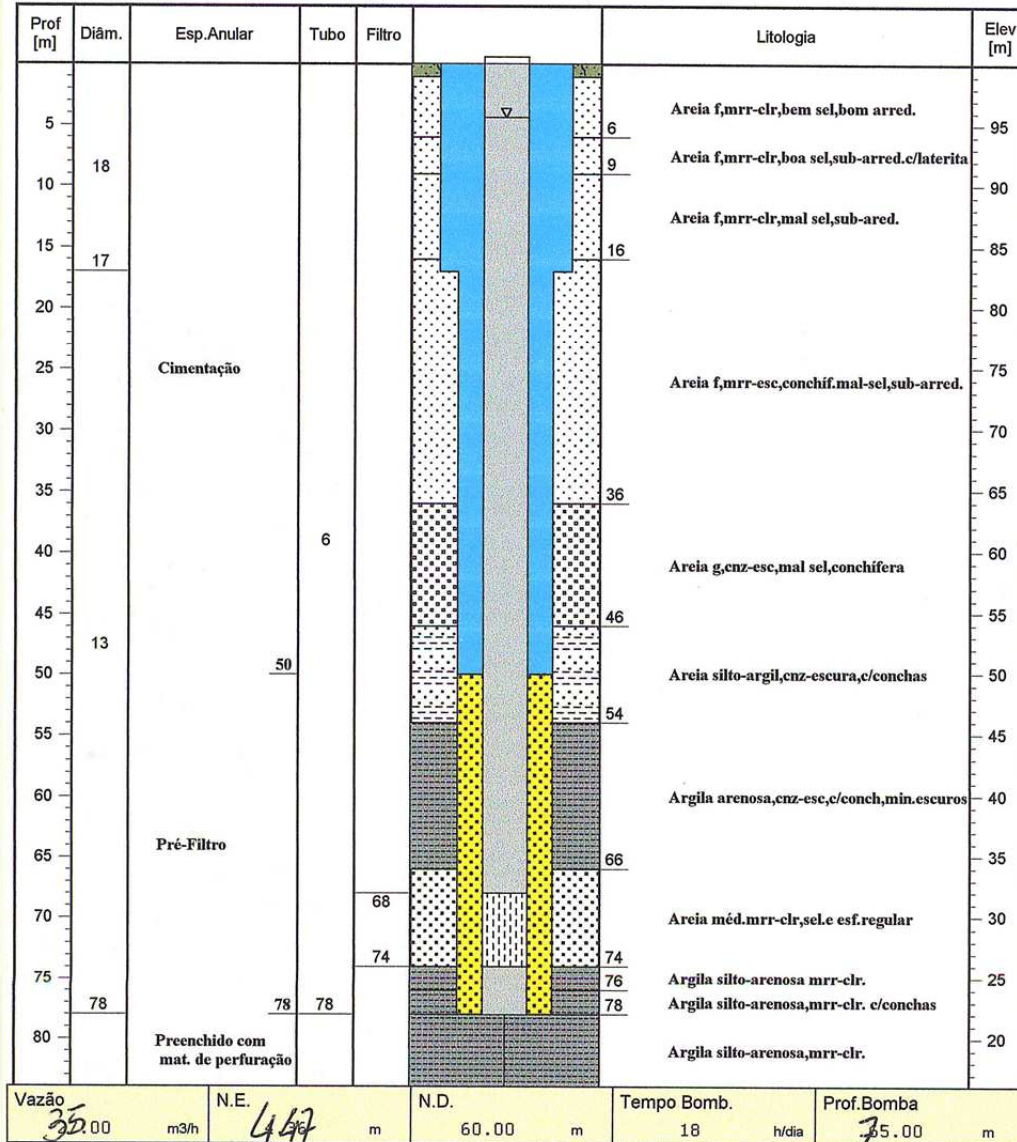
**COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO**

**PERFIL GEOLÓGICO CONSTRUTIVO**

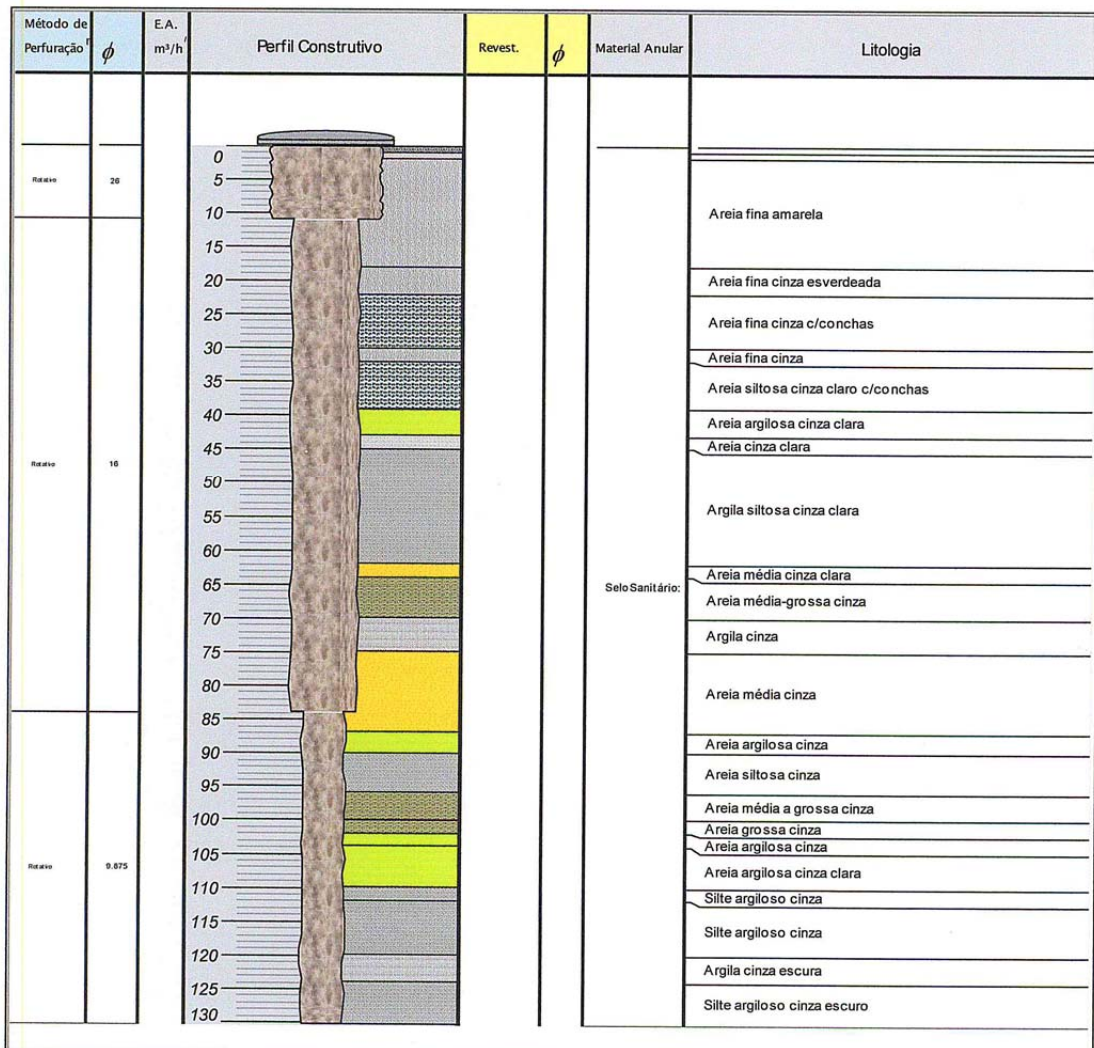
UTM: 557.611 E  
6.643,984 N

Poço nº <b>COR PDS GRV 01</b>		Município PALMARES DO SUL			
		Local GRANJA VARGAS			
Sigla Local PDS		Tipo Perf. ROTATIVA - 25		EA FILTROS	
X 100	Y 100	Z 100.00	ZM 100.62 3,3	N.A. 95.64	
Data Perf. 17.09.98-03.10.98		Obs:			

Medidas em metros - Diâmetros e revestimentos em polegadas.



<b>MUNICÍPIO</b>	<b>PALMARES DO SUL</b>	<b>Coordenadas UTM</b>	<b>Coordenadas</b>
<b>LOCALIDADE</b>	<b>GRANJA VARGAS</b>	X 557382	-50.40
<b>Endereço</b>	<i>Rua da Aviação</i>	Y 6644311	-30.33
<b>Regional</b>	<i>SURLIT</i>	Z 9 m	SH.22-Z-A-II-1
<b>Bacia</b>	<i>Litoral Médio</i>	ZR 9 m	M.C./Fuso: 51 / 22 J
<b>Código</b>	<i>L-20</i>		
<b>Perfurador</b>	CORSAN	<b>Data (Inic.-Fim)</b>	<b>CREA CORSAN nº</b>
<b>Proprietário</b>	CORSAN	04/10/2001	17865
<b>Aquífero</b>	<i>Sist. Aquíf. Costeiro I</i>	11/10/2001	<b>ART Obra nº</b>
			4260152



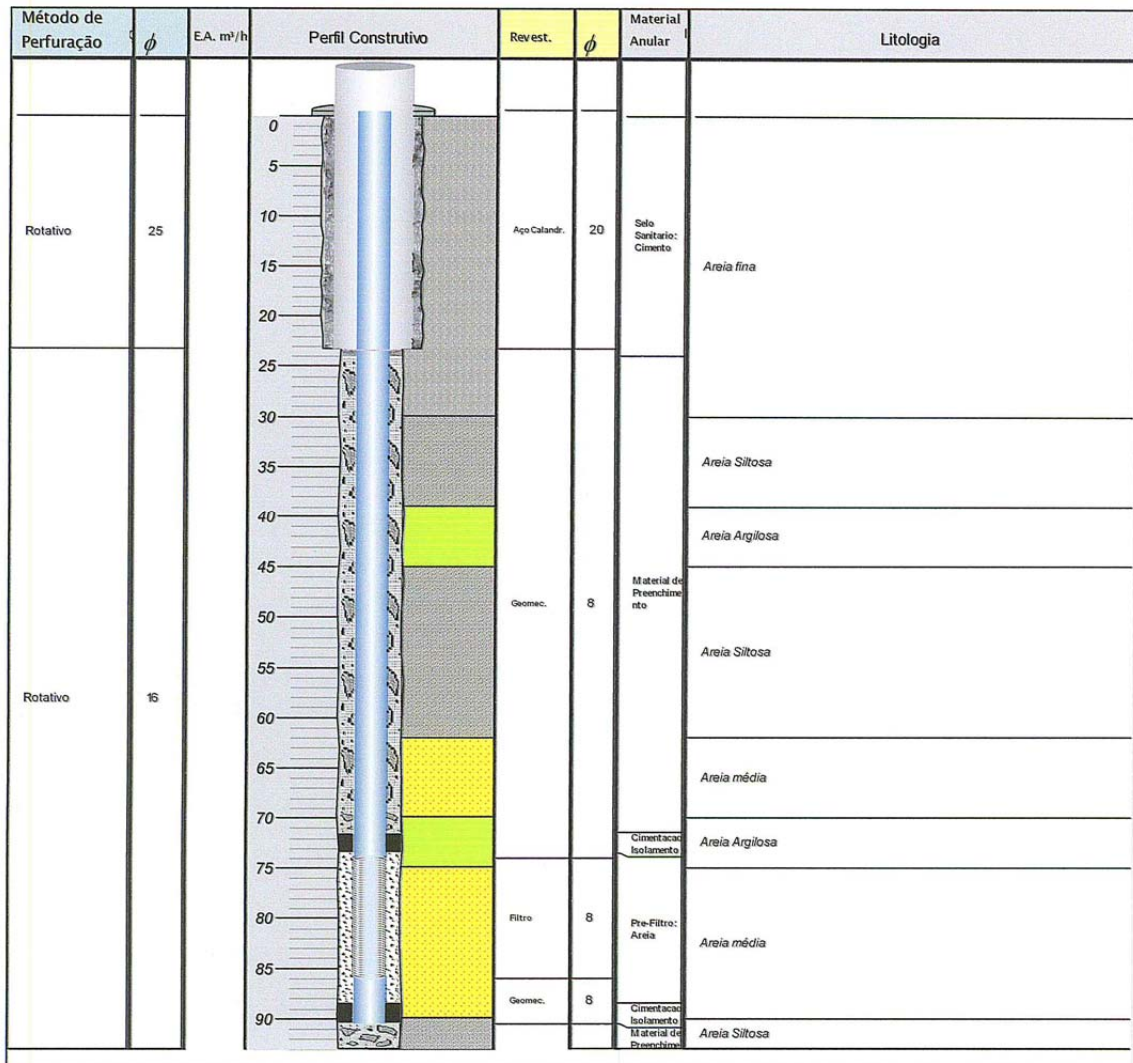
Projeto Operacional	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Vazão (m <sup>3</sup> /dia)	N.E.(m)	N.D.(m)	Prof.Bomba (m)	Tempo Máx.Bomb. (h)
		0	0			
Profundidade Total	130.33	m	Situação <i>Selado</i>		Data	
Profundidade Útil	0	m	Serviço		Jorge Luiz Fetter Furtado	
Cap. Específica		m <sup>3</sup> /h/m			Responsável Técnico	
Restrições					CREA 45909	





Código Poço *COR PDS GRV 02 A*  
Número Geral *2932*

<b>Município</b>	PALMARES DO SUL	<b>Coordenadas UTM</b>	557396 6644305	<b>Coordenadas Geográficas</b>	-50 24' 10.47481" -30 19' 54.20568"
<b>Localidade</b>	GRANJA VARGAS				
<b>Endereço</b>	Na esquina da Rua da Aviação			<b>Z</b>	9 m
<b>Regional</b>	SURLIT			<b>Z + rev.</b>	9.52 m
<b>Bacia</b>	Litoral Médio	L - 020		<b>Fuso</b>	22 J
<b>Perfurador</b>	CORSAN			<b>Merid.Centr</b>	51
<b>Proprietário</b>	CORSAN			<b>Início</b>	30/10/2001
<b>Aquífero</b>	Sist. Aquíf. Quaternário Costeiro I			<b>Fim</b>	02/11/2001
				<b>CREA CORSAN N°</b>	17865
				<b>ART Obra n°</b>	1427139



### Dados Operacionais

Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Vazão (m <sup>3</sup> /dia)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Prof. Bomba (m)	Tempo Máx. Bombeamento (h)
90	1620	5.07	15	20	18

Profundidade Total	93 m	Situação	Tamponado	23/11/2001
Profundidade Útil	90.5 m	Serviço		
Capacidade Específica	14 m <sup>3</sup> /h/m	Licença		
Restrição	Cor (25), Turb.(2.2), Fe (0.4) e Mn (0.38)			Carlos Alvin Heine 31289

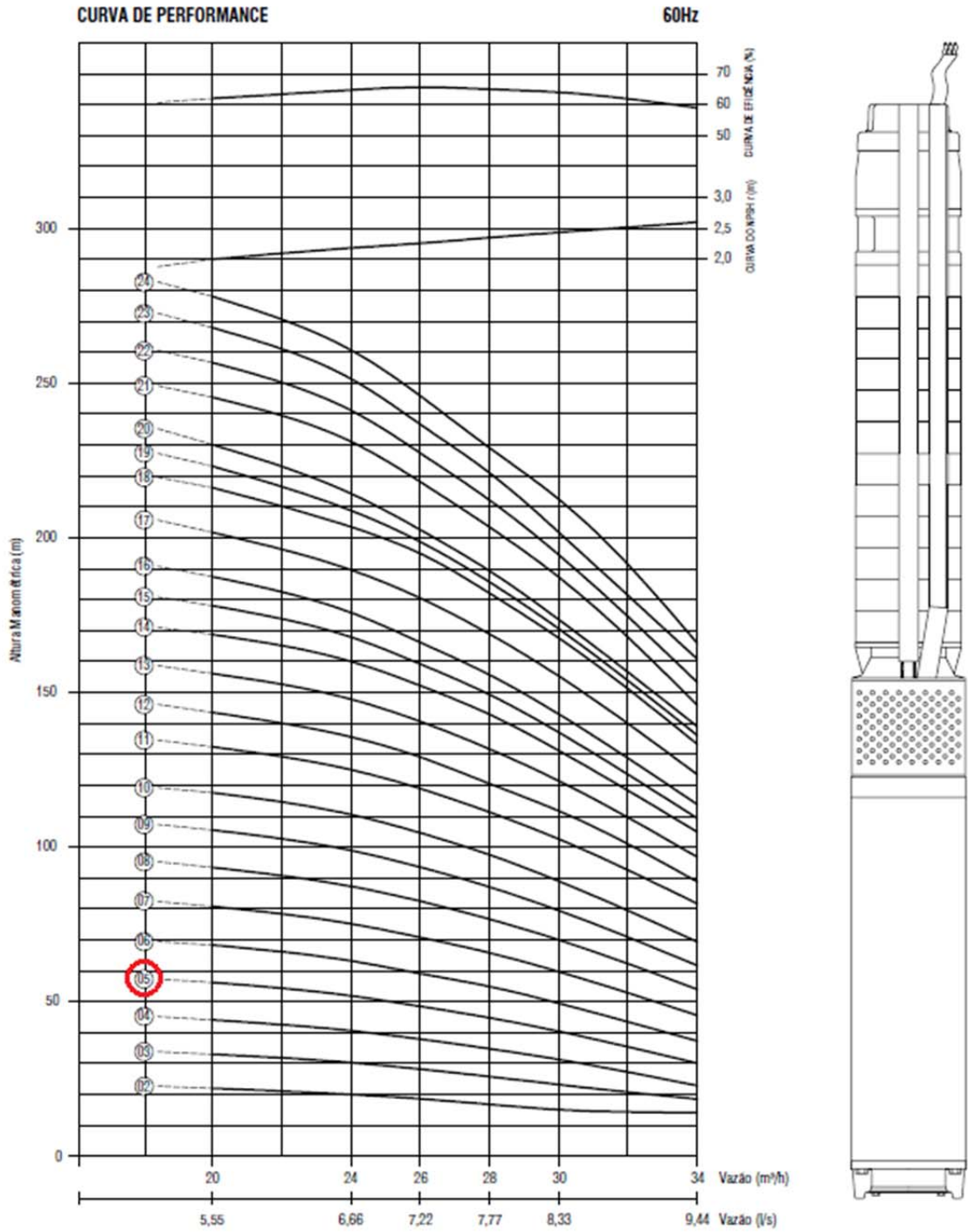


**ANEXO B - Classificação granulométrica de solos.**

Classificação	Diâmetro dos grãos
Argila	menor que 0,002 mm
Silte	entre 0,002 e 0,06 mm
Areia	entre 0,06 e 2,0 mm
Pedregulho	entre 2,0 e 60,0 mm

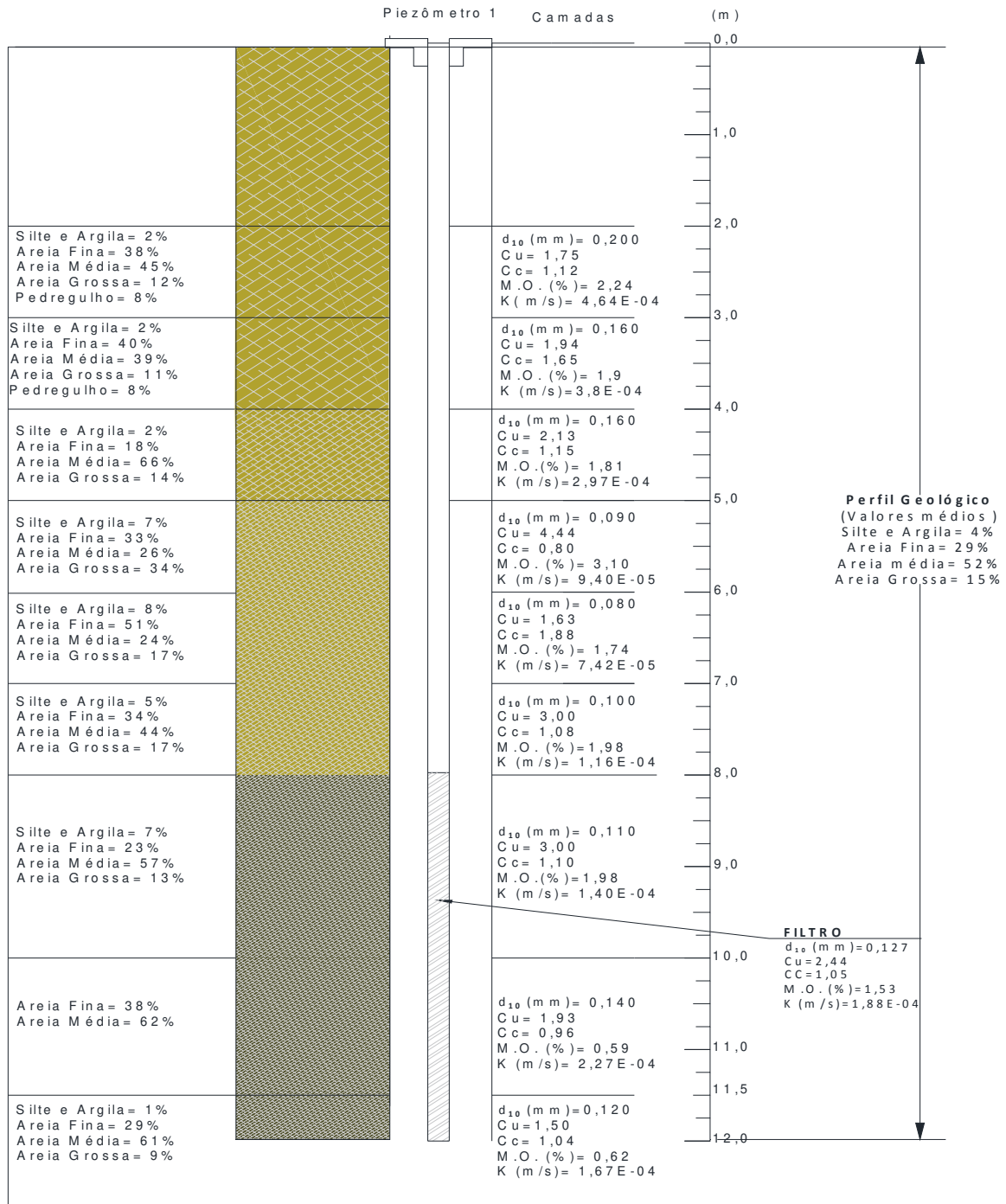
Fonte: ABNT NBR 6502/95

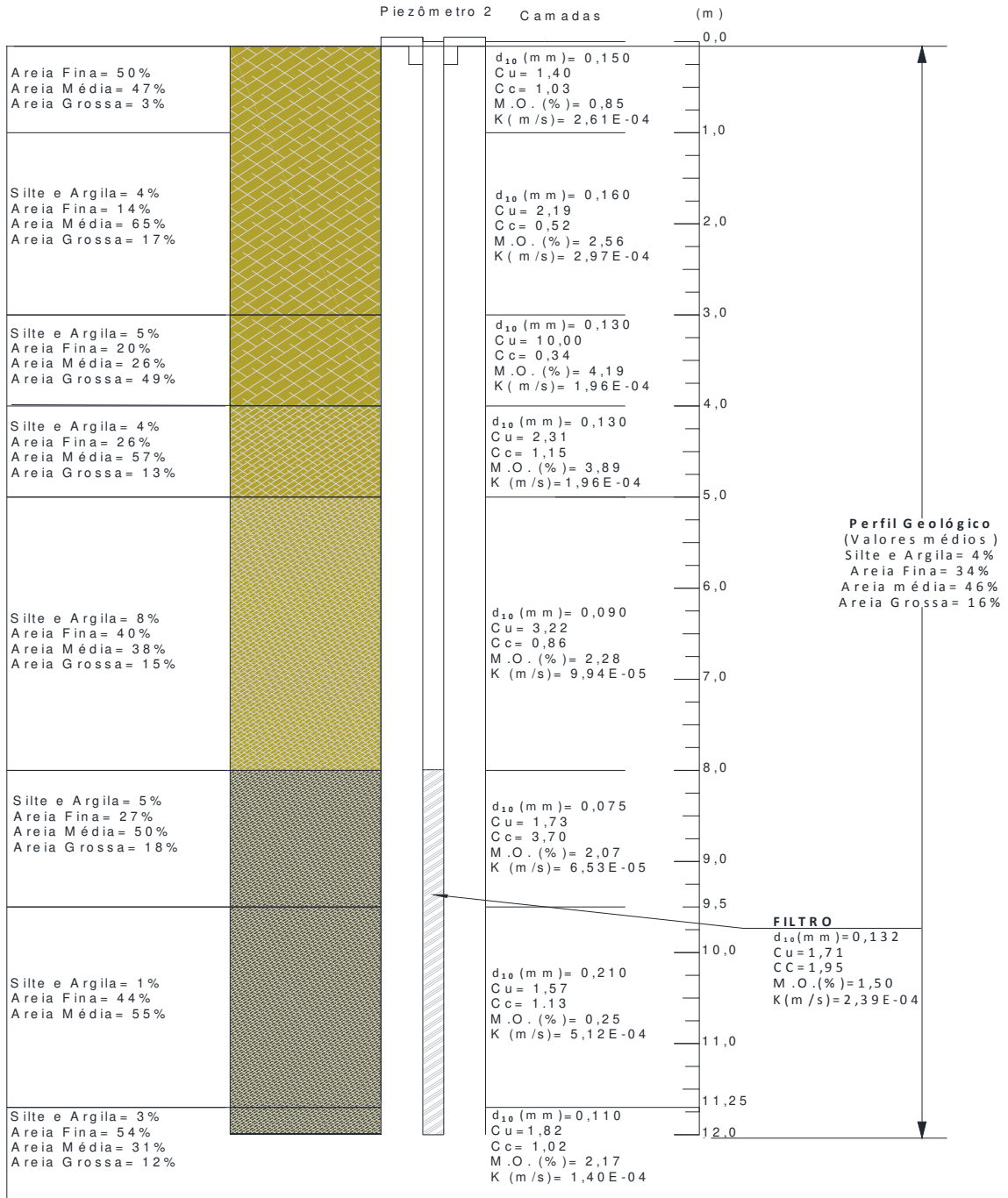
**ANEXO C - Curva da Bomba EBARA BHS 512-5 fornecida pelo fabricante e tabela de informações de vazão e altura manométrica.**

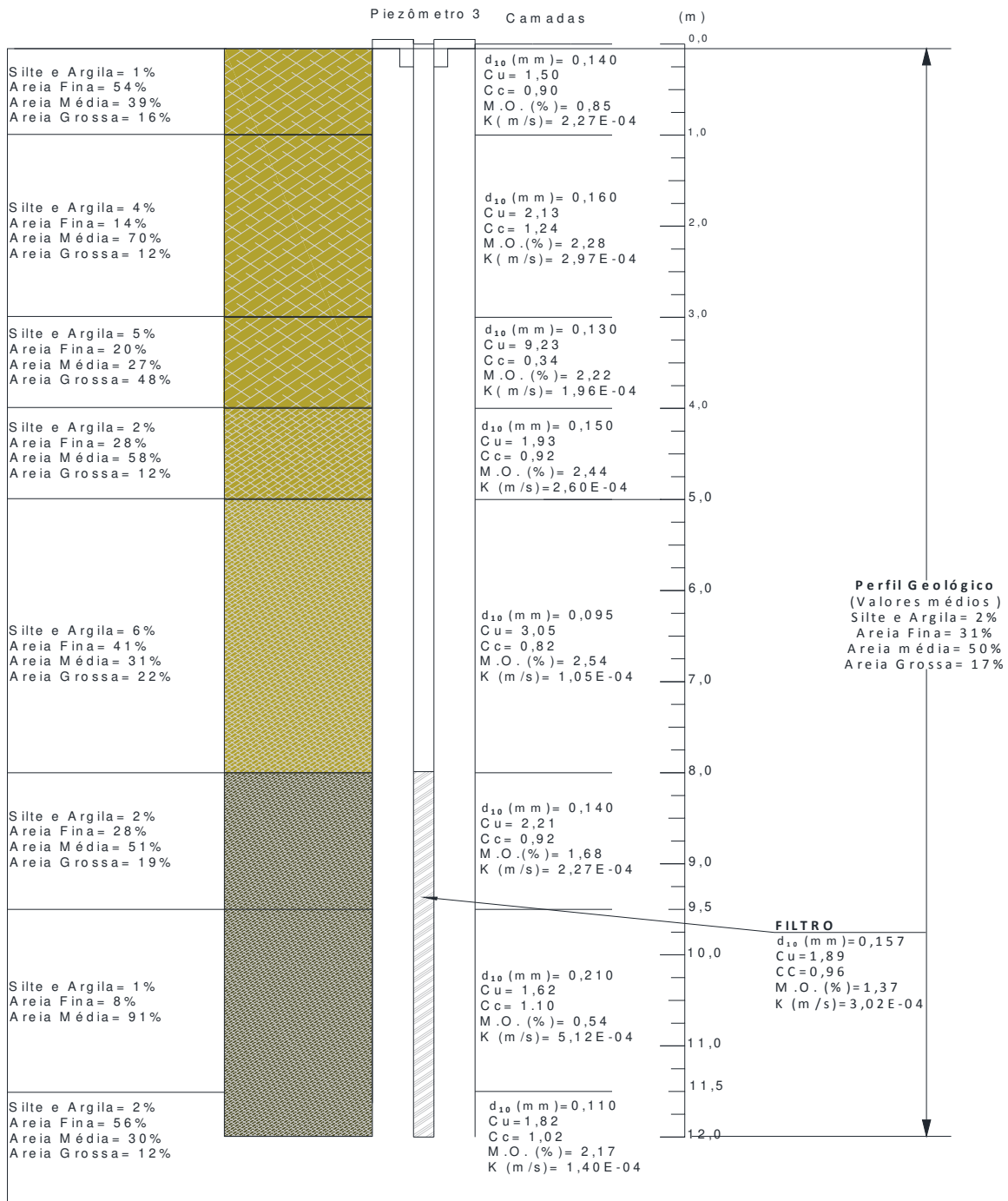


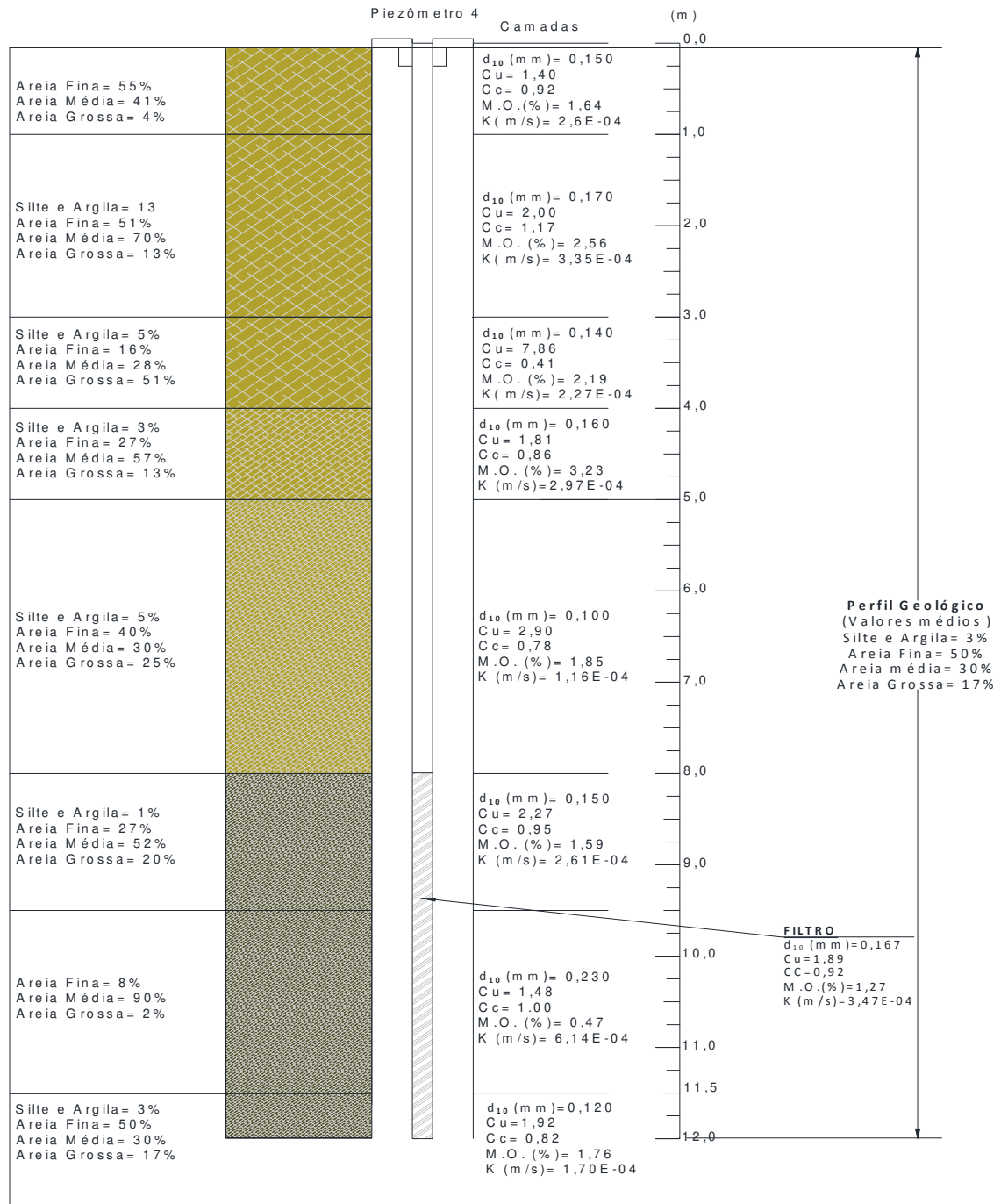
BOMBA MODELO	Nº EST.	POTÊNCIA		MOTOR MODELO	VAZÃO E ALTURA MANOMÉTRICA							TRIFÁSICO (220, 380, 440V)			MONOFÁSICO (220, 254, 440V)		MASSA(Kg)	
		HP	KW		0	20	24	26	28	30	34	m³/h	LM (mm)	LB (mm)	L (mm)	LM (mm)	L (mm)	C/Trif. 220, 380, 440V
BHS 512-05	05	7,5	5,59		67,5	56,2	51,9	48,5	44,8	40,4	30,1	610	623	1233	665	1288	69,9	74,9

**ANEXO D - Perfil geológico dos piezômetros 1, 2, 3 e 4.**











## ANEXO E – Teste de Vazão – DGPPO/CORSAN



COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO  
Superintendência de Recursos Hídricos  
DGPPO/SURHI

## TESTE DE VAZÃO

Equipe: TT 02

Data: 25/06/2019

Código do poço: COR PDS GRV 03  
Município: Palmares do Sul  
Endereço: ETA - Granja Vargas  
G.M.B: Grundfos SP 14/12 7,5cv  
Profundidade: 30,00 m  
Revest. acima: 50,0 cm Tipo de Revest: geomecânico  
Prof. Sucção: 27,00 m  
Tubos adutores: 2"  
Orifício: 22,18 mm  
Resp. p/preech.: Eduardo Borba  
Coord. UTM: 558143 6643585 12 m

Saída: 24/06/2019 13:00  
Chegada: 25/06/2019 09:00  
Início montagem: 25/06/2019 09:00  
Fim montagem: 25/06/2019 17:00  
Início teste: 26/06/2019 08:00  
Fim teste: 27/06/2019 09:00  
Início desm.: 28/06/2019 14:00  
Fim desm.: 29/06/2019 12:00  
Inscrição DEAL 6061/19

Data:	Hora:
24/06/2019	13:00
25/06/2019	09:00
25/06/2019	09:00
25/06/2019	17:00
26/06/2019	08:00
27/06/2019	09:00
28/06/2019	14:00
29/06/2019	12:00
6061/19	

TEMPO	REBAIXAMENTO				RECUPERAÇÃO		
	OBSERVADOS		CALCULADOS		TEMPO	PARCIAL	NA
	NA	REGUA	NA	Q m3/h			
			2,6				22,55
1	11,98	0,9	14,58	21,04	0,5	1440,5	8,57 13,98
2	1,91	0,88	16,49	20,81	1	1441	2,82 11,16
3	0,61	0,87	17,1	20,69	1,5	1441,5	1,48 9,68
4	0,7	0,85	17,8	20,45	2	1442	0,84 8,84
5	0,39	0,83	18,19	20,21	2,5	1442,5	0,4 8,44
6	0,3	0,83	18,49	20,21	3	1443	0,34 8,1
7	0,09	0,82	18,58	20,08	3,5	1443,5	0,37 7,73
8	0,12	0,81	18,7	19,96	4	1444	0,1 7,63
9	0,15	0,81	18,85	19,96	5	1445	0,26 7,37
10	0,14	0,8	18,99	19,84	6	1446	0,22 7,15
12	0,18	0,79	19,17	19,71	8	1448	0,27 6,88
14	0,13	0,79	19,3	19,71	10	1450	0,25 6,63
15	0,12	0,77	19,42	19,46	12	1452	0,13 6,5
20	0,24	0,75	19,66	19,21	16	1456	0,27 6,23
25	0,24	0,74	19,9	19,08	24	1464	0,33 5,9
30	0,16	0,74	20,06	19,08	32	1472	0,24 5,66
35	0,16	0,73	20,22	18,95	40	1480	0,19 5,47
40	0,15	0,73	20,37	18,95	50	1490	0,28 5,19
50	0,19	0,72	20,56	18,82	60	1500	0,21 4,98
	Rebx	ND	NE	ND	NR	Rebx	%
		19,95	22,55	2,60	22,55	4,98	19,95 88,070175
DADOS DE PROJETO POÇO: COR PDS GRV 03							
Vazão	NE	ND	PB	TB	cap esp	RT	Rubrica Data
15,00 m3/h	2,60 m	22,55 m	27,00 m	16 h/dia	0,75	Marcio	12/07/2019

## ANEXO F – Coordenadas Georreferenciadas pelo equipamento RTK

Nome	Descrição	Norte	Este	H	Solução
M145-001	BASE	6643547,893	558172,123	10,149	FIXO
1	MU	6643583,762	558125,126	8,670	FIXO
2	MU	6643598,355	558116,005	8,584	FIXO
3	CE	6643608,394	558108,565	8,557	FIXO
4	MU	6643600,048	558150,591	8,214	FIXO
05-PIE01	PIEZ	6643590,707	558153,833	8,607	FIXO
05-PIE02	PIEZ	6643593,749	558143,781	8,590	FIXO
05-PIE03	PIEZ	6643582,894	558140,347	8,753	FIXO
05-POCO	PIEZ	6643586,729	558148,275	8,724	FIXO
05-PIE04	PIEZ	6643579,084	558153,096	8,596	FIXO
06-REGUA13	REGUA	6643583,402	558173,928	9,016	FIXO
7	TRAP	6643581,704	558174,247	8,130	FIXO
8	TRAP	6643585,043	558179,369	8,706	FIXO
9	TRAP	6643584,482	558179,648	8,711	FIXO
10	NA	6643584,724	558180,924	7,513	FIXO
11-REGUA13	REGUA	6643605,243	558216,313	7,971	FIXO
12	NA	6643605,347	558216,188	7,500	FIXO
13	TRAP	6643633,393	558262,943	8,469	FIXO
14	TRAP	6643634,188	558262,334	8,498	FIXO
15	NA	6643629,052	558256,513	7,507	FIXO
16-REGUA12	REGUA	6643583,329	558173,930	8,009	FIXO
17	PE	6643569,652	558151,436	8,796	FIXO
18	CR	6643567,645	558153,789	9,760	FIXO
19	CR	6643572,907	558163,430	9,741	FIXO
20	PE	6643575,562	558163,609	8,466	FIXO
21	CR	6643571,348	558163,184	9,820	FIXO
22	PE	6643569,431	558162,866	9,109	FIXO
23	PE	6643566,140	558157,684	8,987	FIXO
24	CR	6643566,687	558155,658	9,854	FIXO
25	CR	6643555,192	558162,981	9,849	FIXO
26	PE	6643557,398	558163,401	9,081	FIXO
27	CR	6643555,311	558160,650	9,871	FIXO
28	PE	6643555,570	558158,468	8,897	FIXO
29	CR	6643550,628	558157,472	10,056	FIXO
30	PE	6643549,781	558155,159	8,732	FIXO
31	PE	6643550,108	558158,786	9,537	FIXO
32	PE	6643544,227	558162,730	9,485	FIXO
33	CR	6643542,845	558162,135	10,044	FIXO
34	PE	6643539,895	558160,974	8,533	FIXO
35	MU	6643534,764	558157,054	8,713	FIXO
36	CR	6643551,007	558176,165	10,143	FIXO
37	PE	6643551,514	558174,743	9,486	FIXO
38	PE	6643549,803	558180,329	8,198	FIXO
39	MU	6643549,593	558181,872	8,200	FIXO
40	CR	6643559,332	558171,522	10,133	FIXO
41	PE	6643557,797	558171,160	9,471	FIXO
42	CR	6643560,468	558170,411	9,871	FIXO
43	PE	6643560,649	558168,399	9,238	FIXO
44	PE	6643565,490	558171,454	8,455	FIXO
45	RES	6643554,759	558154,850	8,802	FIXO
46	RES	6643554,575	558150,028	8,745	FIXO
47	RES	6643549,959	558149,839	8,871	FIXO
48	RES	6643549,326	558154,517	8,736	FIXO



49	CHAPA	6643552,535	558155,567	10,252	FIXO
50	RES	6643561,547	558147,182	8,765	FIXO
51	RES	6643566,248	558144,151	8,815	FIXO
52	RES	6643564,132	558140,918	8,829	FIXO
53	RES	6643559,419	558143,979	8,852	FIXO
54	CE	6643566,191	558136,332	8,815	FIXO
55	EDF	6643569,645	558137,467	8,744	FIXO
56	EDF	6643575,093	558145,775	8,802	FIXO
57	EDF	6643580,809	558141,687	8,871	FIXO
58	EDF	6643576,228	558133,516	8,999	FIXO
59	BD	6643596,058	558125,549	8,521	FIXO
60	BD	6643600,195	558118,589	8,305	FIXO
61	BD	6643600,471	558113,983	8,439	FIXO
62	PT	6643598,438	558113,581	8,539	FIXO
63	BD	6643604,720	558110,965	8,411	FIXO
64	BD	6643605,948	558115,674	8,391	FIXO
65	BD	6643605,136	558122,403	8,359	FIXO
66	EX	6643602,054	558111,554	8,496	FIXO
67	MU	6643587,901	558098,123	8,777	FIXO
68	MU	6643580,461	558085,222	8,693	FIXO
69	PT	6643574,055	558069,351	8,441	FIXO
70	MU	6643572,315	558070,008	8,497	FIXO
71	MU	6643576,153	558053,775	8,562	FIXO
72	MU	6643558,464	558045,067	8,641	FIXO
73	PT	6643551,046	558026,957	8,657	FIXO
74	MU	6643549,198	558028,468	8,633	FIXO
75	BD	6643551,503	558024,205	8,454	FIXO
76	BD	6643549,473	558023,834	8,541	FIXO
77	BD	6643545,019	558026,563	8,460	FIXO
78	BD	6643541,691	558021,859	8,520	FIXO
79	BD	6643546,004	558019,036	8,512	FIXO
80	BD	6643547,414	558015,666	8,469	FIXO
81	BD	6643546,993	558013,806	8,624	FIXO
82	MU	6643543,497	558016,771	8,829	FIXO
83	BD	6643552,062	558011,605	8,594	FIXO
84	BD	6643554,093	558013,312	8,664	FIXO
85	BD	6643557,017	558013,623	8,510	FIXO
86	BD	6643567,069	558008,406	8,529	FIXO
87	BD	6643569,475	558012,407	8,567	FIXO
88	BD	6643559,656	558018,097	8,458	FIXO
89	BD	6643558,161	558020,117	8,445	FIXO
90	BD	6643557,727	558022,285	8,458	FIXO
91	MU	6643560,724	558021,829	8,569	FIXO
92	EX	6643555,816	558023,798	8,518	FIXO
M145-002	MARCO	6643591,785	558138,618	8,583	FIXO

LOCALIDADE: Rua Pedro Fraga, Granja Viana, Palmares do Sul - RS.

Ponto: M145-001

Implantação: 09/08/2019

Receptor: GEOMAX ZENITH 25

Datum: SIRGAS 2000

#### Coordenadas Geodésicas

Latitude: 30°20'18,6668"S  
 Longitude: 50°23'41,2584"W  
 Solução: Fixo  
 Tempo de Rastreo: 01:31:29



Coordenadas UTM	Desvio Padrão
Leste: 558172,123	0,041
Norte: 6643547,893	0,073
h geo: 10,149	0,084
H orto: 6,269	0,084

#### Descrição do Marco:

O M145-001 está materializado por um marco de concreto trapezoidal. O ponto define-se pelo orifício central da chapa de alumínio localizado no topo do marco.

#### Itinerário:

O M145-001 encontra-se localizado dentro do imóvel da CORSAN, na parte superior ao talude da piscina de tratamento de água, distando 3,54 metros da cerca ao sul do próprio da CORSAN.

#### Observações:

O Marco está vinculado ao Sistema Geodésico Brasileiro com base no RBMC. Meridiano Central: -51° e Zona 22 S.



LOCALIDADE: Rua Pedro Fraga, Granja Viana, Palmares do Sul- RS.

Ponto: M145-002

Implantação: 09/08/2019

Receptor: GEOMAX ZENITH 25

Datum: SIRGAS 2000

#### Coordenadas Geodésicas

Latitude: 30°20'17,2468"S  
 Longitude: 50°23'42,5221"W  
 Solução: Fixo  
 Tempo de Rastreo: 00:45:42



Coordenadas UTM	Desvio Padrão
Leste: 558138,618	0,029
Norte: 6643591,785	0,077
h geo: 8,583	0,076
H orto: 4,703	0,076

#### Descrição do Marco:

O M145-002 está materializado por um marco de concreto trapezoidal. O ponto define-se pelo orifício central da chapa de alumínio localizado no topo do marco.

#### Itinerário:

O M145-002 encontra-se localizado dentro do imóvel da CORSAN, nas proximidades do portão de acesso, ao final da Rua Pedro Fraga, distando 0,51 metros da cerca ao norte do próprio da CORSAN.

#### Observações:

O Marco está vinculado ao Sistema Geodésico Brasileiro com base no RBMC. Meridiano Central: -51° e Zona 22 S.



**ANEXO G – Artigo submetido à revista científica – Parte 1**



1 **A REVIEW OF SEVENTEEN YEARS OF BANK FILTRATION**  
2 **IN BRAZIL: RESULTS, BENEFITS AND CHALLENGES –**  
3 **PART 1: STATE OF SANTA CATARINA**

4  
5  
6 **ABSTRACT**

7 This work is the first part of a national review, about Bank Filtration (BF) that began in  
8 2003, in Brazil. These studies were conducted in the laboratory and in the field with water and  
9 natural sediment from the study regions, showing how BF has been efficient worldwide for  
10 the treatment of water for public supply, as an alternative treatment. It aims to show the  
11 synthesis of results to date and point out the main benefits and challenges; that is, the state of  
12 the art at the national level. The review is concentrated in Santa Catarina (part 1), Pernambuco  
13 and Minas Gerais (part 2). BF demonstrates efficiency in reducing parameters such as:  
14 turbidity and coliforms (total and fecal), pesticides and toxins. However, BF showed low  
15 capacity in reducing parameters such as: salinity and true color. BF is highly dependent on  
16 local geological conditions, so parameters such as iron, manganese, fluorine, alkalinity,  
17 hardness, and chlorides can be added to the treated water.  
18

19 **Keywords:** Water Treatment; Bank Filtration; Public Supply Systems; Natural Sediment;  
20 Water Quality.

21  
22  
23  
24 **RESUMO**

25 Este trabalho é a primeira parte de uma revisão nacional sobre Filtragem em Margem (FM),  
26 iniciada em 2003 no Brasil. Os estudos foram realizados em laboratório e em campo com  
27 água e sedimentos naturais das regiões estudadas, mostrando como a FM tem sido eficiente  
28 mundialmente no tratamento alternativo de água para abastecimento público. Tem como  
29 objetivo mostrar a síntese dos resultados até o momento e apontar os principais benefícios e  
30 desafios; isto é, o estado da arte em nível nacional. A revisão está concentrada nos Estados de  
31 Santa Catarina (parte 1), Pernambuco e Minas Gerais (parte 2). A FM demonstra eficiência na  
32 redução de parâmetros como: turbidez e coliformes (total e fecal), pesticidas e toxinas.  
33 Entretanto, a FM apresentou baixa capacidade de reduzir parâmetros como: salinidade e cor  
34 verdadeira. A FM é dependente das condições geológicas locais assim, parâmetros como  
35 ferro, manganês, flúor, alcalinidade, dureza e cloretos podem ser adicionados à água tratada.  
36

37 **Palavras-chave:** Tratamento de água; Filtração em Margem, Sistemas de Abastecimento  
38 Público; Sedimento Natural; Qualidade de Água.

## 1. INTRODUCTION

The increasing industrialization of Brazil in recent years has brought incalculable damage to the environment, especially to surface waters, where deterioration has provided technical challenges to water treatment technologies already employed. Thus, water pretreatment technologies have been widely studied to ensure that treatment plants meet national potability standards.

Bank Filtration (BF) is a water treatment technology that has been used for over 140 years throughout Europe (RAY *et al.*, 2003; SOARES, 2015). In Brazil, this technology has been studied for 17 years, limited to small-scale field studies, with no reports on this technology implementation in full scale. BF consists of the use of natural materials from the bank itself and from the bottom of the source as a filtering medium. It occurs through the positive, natural or induced hydraulic gradient (through pumping) in wells with hydraulic connection, built near the banks of the surface well (Figure 1).

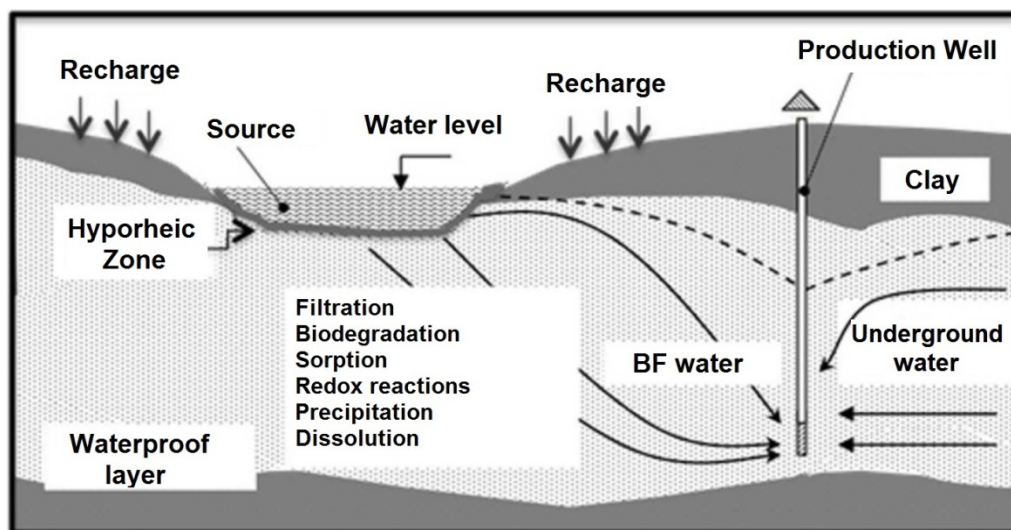


Figure 1 - Operation diagram of Bank Filtration

Source: Esquivel *et al.* (2012) adapted from Hiscock and Grischek (2002) and Sens *et al.* (2006)

This gradient induces the water flow through the soil, which removes or attenuates the contaminants present in the surface water in the source-production well route. Captured water is a mixture of both aquifer and surface water percolated by the bank. The proportion of filtered well water captured from wells depends on a number of factors, including bottom depth and permeability, water viscosity, stock elevation, and pumping rates.

According Donald and Grygaski (2002) *apud* Sens *et al.* (2006), the BF system location requires important information about local soil characteristics such as:

1. **Hydraulic conductivity:** it is recommended that the value is at least 1 to 2 m/d.
2. **Porosity:** the larger the grain size and porosity value, the greater the specific porosity or specific flow of the aquifer.
3. **Particle size analysis:** the larger the grain size, the larger the pore size.
4. **Organic matter content:** the presence of soil layers or pockets with OM can give water undesirable characteristics, such as color, taste, and odor.

In addition to physical retention, several other phenomena occur during the water flow towards the well, since the bank soil contains microorganisms that can act in certain substances (pesticides, toxins, organic matter, among others), promoting water quality improvement. Thus, BF works as a low-cost pretreatment in the production of high-quality

75 water supply and can perform as the only treatment before disinfection (MONDARDO,  
76 2009).

77 BF has been applied in Europe to produce water for supply, most often along the Rhine,  
78 Elbe and Danube rivers (RAY *et al.*, 2003). In the United States, interest has grown because it  
79 is a low-cost, complete or alternative treatment for filtration systems to remove waterborne  
80 pathogens, such as Giardia, Cryptosporidium and viruses (SENS *et al.*, 2006).

81 The first known BF use for water supply purposes was from a company in the United  
82 Kingdom (Glasgow Waterworks), which built a drainage pipe parallel to the Clyde River in  
83 1810 to extract filtered water from the riverbank. In the mid-nineteenth century, BF was  
84 officially adopted in Europe to produce drinking water. In Western Europe, one of the first BF  
85 facilities was built in Germany on both sides of the Rhine River due to limited groundwater  
86 resources in the region. Due to an outbreak of the cholera epidemic in Hamburg, Germany, in  
87 1892, caused by the direct use of the waters of the Elbe River for public supply, the use of  
88 artificial or natural passages of underground river water as a new form of water abstraction for  
89 human consumption has become essential. Statistical data from 1998 showed that, among  
90 sources used for water supply by members of the Rhine River Sanitation Association  
91 (German and Dutch side), 49% corresponded to BF and groundwater recharge (RAY *et al.*,  
92 2003).

93 Some BF facilities on the Danube have been operating for over a century, near the cities of  
94 Vienna, Austria, and Bratislava in the Slovak Republic. Other important BF projects can be  
95 found in Budapest, and in the city of Belgrade in Yugoslavia (SENS *et al.*, 2006). In Brazil,  
96 BF has been used for some time, without being named, in the Upper Itajaí Valley - Santa  
97 Catarina State, through wells of 1.2 to 1.5 m in diameter, built along the rivers of Itajaí do  
98 Sul, Itajaí do Oeste and Itajaí do Norte (tributaries of the Itajaí Açu River) (SENS *et al.*,  
99 2006).

100 This work is a national review in the field of bank filtration technology that shows the  
101 results obtained over 17 years of studying BF in Brazil to date and point out the main benefits  
102 and challenges of the technique; that is, the state of the art at the national level. It was divided  
103 into two parts for a better understanding and organization of the content on bank filtration:  
104 Part 1 describes the researches performed in the state of Santa Catarina, and Part 2 describes  
105 the researches performed in the states of Pernambuco and Minas Gerais. This first part was  
106 compiled on a result matrix, from which, tables were created containing physical, chemical,  
107 biological and specific contaminant parameters. For each grouping of results, there was a  
108 discussion of the elaborated table.

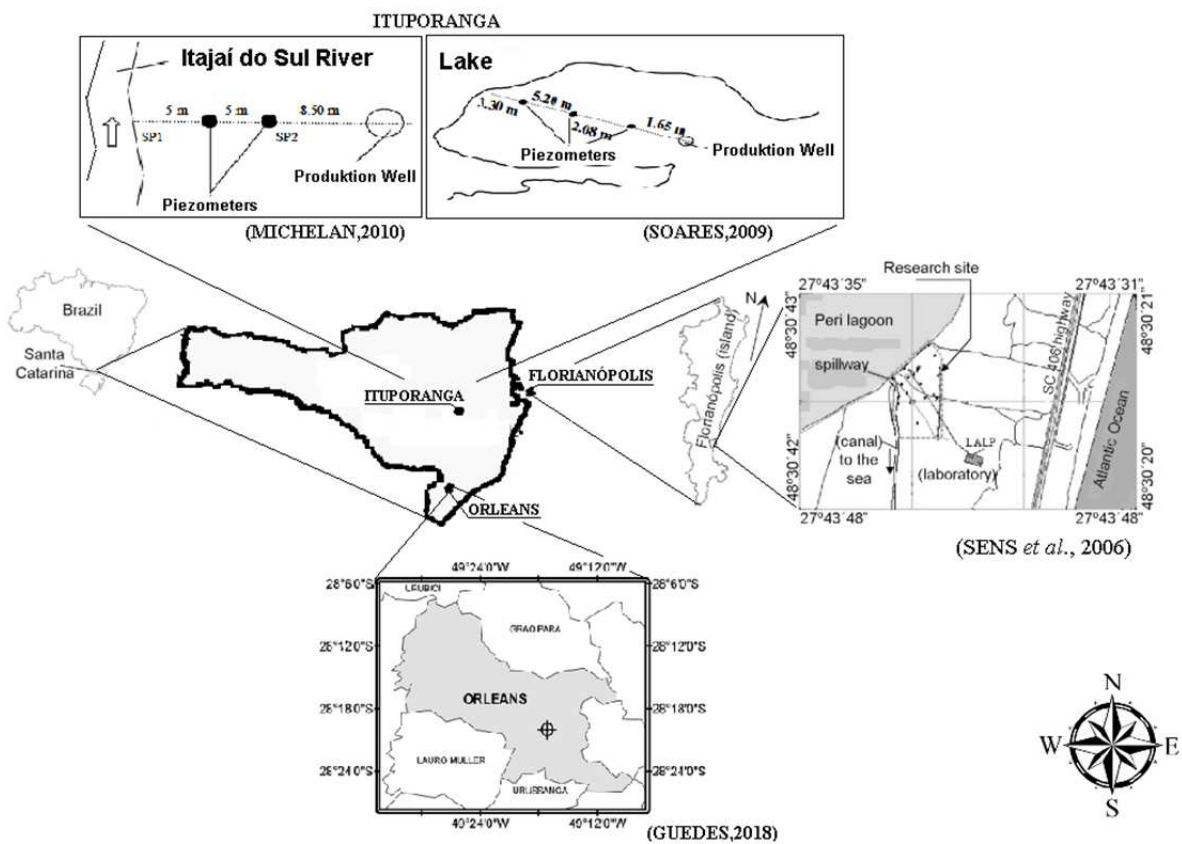


109  
110 **Figure 2** - Map of Brazil indicating the three federative states involved in BF research: Santa  
111 Catarina, Minas Gerais and Pernambuco states  
112 Source: Authors

113 A bibliographic search was performed in the national and international databases,  
 114 including articles, theses, dissertations, book chapters and course conclusions, totaling 53  
 115 documents that indicated that research on the subject is concentrated in the States of Santa  
 116 Catarina, Pernambuco and Minas Gerais (**Figure 2**).

117  
 118 **2. STUDIES CARRIED OUT IN THE STATE OF SANTA CATARINA**

119  
 120 The first studies in Brazil using the BF technique were performed in 2003 in Peri Lake,  
 121 located in the south of Florianópolis island, in the state of Santa Catarina (SC), located in  
 122 southern Brazil (SENS *et al.*, 2006). Another study location in the city of Florianópolis took  
 123 place in the Barra da Lagoa region (BURGARDT, 2017). The state of Santa Catarina had two  
 124 other study sites as well: the city of Ituporanga, in an aquaculture lake (SOARES, 2009) and  
 125 the Itajaí do Sul river (MICHELAN, 2010), and the city of Orleans, in the Belo River  
 126 (GUEDES, 2018). The study sites in the state of Santa Catarina are shown in **Figure 3**.



128  
 129 **Figure 3 - Location of the study points of the BF technique - Santa Catarina, Brazil**  
 130 Source: Adapted by the authors from Sens *et al.* (2006), Soares (2009), Michelan (2010) and Guedes (2018)

131  
 132 **2.1 Peri Lake – Florianópolis (SC): Lake bank characterization**

133  
 134 Peri Lake is located in the southern region of Florianópolis island. The lake has  
 135 approximately 5.0 km<sup>2</sup> (SILVA, 1999), an average depth of 4.2 m, its deepest part reaches 11  
 136 m (SIMONASSI, 2001). The aquifer has an average depth of 20 m, a hydraulic conductivity  
 137 of 1x10<sup>-4</sup> m/s and an effective porosity of 25% (ESQUIVEL *et al.*, 2012). The lake water is  
 138 approximately 3 m above sea level with no saline wedge intrusion (CAMPOS, 2012). The  
 139 studies were conducted in an area with marine deposits (SANTOS *et al.*, 1989; OLIVEIRA,



140 2002). The design of the production well (P1) began in 2003 at 20 m from the shore of the  
141 lagoon (SENS *et al.*, 2006). In 2011, this well was replaced by a new one with a smaller  
142 diameter (P2), keeping the same distance from the lake (ESQUIVEL *et al.*, 2017).

143 The sediment analysis carried out from the bottom of the lake, near the wells, showed the  
144 presence of 85% of fine sand in the bottom of the Peri Lake (in the first 50 cm), and 13%  
145 medium/coarse sand, with little depth variation, and detection of 4% clay (MONDARDO,  
146 2009; ESQUIVEL *et al.*, 2012; SOARES, 2015; SOARES *et al.*, 2019). The presence of  
147 organic matter (OM) was also found in the order of 27% in the first 30 cm depth (SENS and  
148 DALSSASSO, 2007).

149 The effective diameter values ( $d_{10}$ ) in Peri Lake were similar in the first 50 cm, indicating  
150 hydraulic conductivity from  $1.7 \times 10^{-4}$  to  $2.9 \times 10^{-4}$  m/s (RABELO, 2006; ESQUIVEL *et al.*,  
151 2012; SOARES, 2015; SOARES *et al.*, 2019). The sediment site also has a low curvature  
152 coefficient (mean CC of 1.0) and a low uniformity coefficient (mean CU 1.4), indicating  
153 uniformity of grains and sediments with grain size tending to homogeneity (ESQUIVEL *et*  
154 *al.*, 2012; SOARES, 2015; SOARES *et al.*, 2019). The low specific porosity, ranging from  
155 25% to 26%, is attributed to the organic deposition of compounds and/or presence of retained  
156 gases in the medium (physical and biological clogging) (ESQUIVEL *et al.*, 2012).

157 Through soil evaluation to a large extent, marine sediments were identified in its  
158 composition, with dark sand (since there is OM) up to about 1 m deep, fine sand (also  
159 containing OM) from 1 to 4 m deep, fine white sand between 4 and 18 m, and clay between  
160 18 and 23 m. The presence of fine sand falls on a scale of 80 to 99% in the first 5.5 m depth  
161 (SENS *et al.*, 2006; SENS and DALSSASSO, 2007; ESQUIVEL *et al.*, 2016).

162 Sens *et al.* (2007) built P1 with 100 mm in diameter, 12 m deep and the filter in the last 4  
163 m, approximately 20 m from the lake. Monitoring studies have indicated that the flow  
164 naturally proceeded towards the main well (SENS and DALSSASSO, 2007; MONDARDO,  
165 2009). Two protection wells were also built on each side of P1 to ensure that the water  
166 infiltrated preferably came from Peri Lake (SENS *et al.*, 2006). When P2 was built, with 50  
167 mm in diameter and 12 m deep, 20 m from Peri Lake and a 2 m filter, P1 was  
168 decommissioned (ESQUIVEL *et al.*, 2017). Seven piezometers were drilled, four of them 12  
169 m deep, located at 8, 40, 55 and 57 m from the bank, and the remaining at 4, 5, and 6 m deep,  
170 1 m from the bank (ESQUIVEL *et al.*, 2012, 2016, 2017). The quality of bank filtered water  
171 in P1 and P2 are discussed in **Table 1**. The saturated aquifer layer (D) was defined as roughly  
172 18 m, with effective porosity ( $n_e$ ) corresponding to 20% (SENS *et al.*, 2006; SENS and  
173 DALSSASSO, 2007; ESQUIVEL *et al.*, 2012). The pumping flow (Q) in the first study  
174 corresponded to 24 m<sup>3</sup>/d (approximately 0.26 L/s), obtaining hydraulic conductivity (K) of  
175  $1.49 \times 10^{-5}$  m/s, and  $1.5 \times 10^{-4}$  m/s, and the vertical conductivity ( $K_v$ ) obtained was  $1.42 \times 10^{-5}$   
176 m/s and horizontal ( $K_h$ ),  $1.42 \times 10^{-4}$  m/s (SENS *et al.*, 2006; SENS and DALSSASSO, 2007;  
177 ESQUIVEL *et al.*, 2012). After 48 h of pumping, the well lowered about 0.6 m (SENS *et al.*,  
178 2006; SENS and DALSSASSO, 2007). The water's travel time from the lake to the well was  
179 about 10 days for the 5.5 m deep well, and 14 days for P1 with a depth of 12 m (SENS and  
180 DALSSASSO, 2007).

181

### 182 **2.1.1 Water quality characterization: physical, chemical and biological parameters**

183

184 **Table 1** shows raw water physical parameters (RW - water from the source – Peri Lake)  
185 and filtered water (FW - water in production wells - P1 or P2) between the years 2004 and  
186 2017 (SENS *et al.*, 2006; SENS and DALSSASSO, 2007; MONDARDO, 2009; CAMPOS,  
187 2012; ESQUIVEL *et al.*, 2012, 2016, and 2017).

188 As observed, BF was very effective in turbidity removal, in both P1 and P2, (94 and 97%  
 189 average removal, respectively) and consequently, apparent color (89 and 93% removal,  
 190 respectively). Not as expressively, advantageous BF results in true color removal were noted  
 191 as well. In production well P1 (SENS *et al.*, 2006; MONDARDO, 2009), the total dissolved  
 192 solids (TDS) increased at an average of 3.2 times. The authors pointed out that the increase in  
 193 TDS was due to the presence of calcium sediment at the site, which was also related to the  
 194 increase in P1 conductivity (3 times), total hardness (7 times) and total alkalinity (11 times) as  
 195 per **Table 2**. Moreover, it was considered that TDS variation was caused by the leaching of  
 196 existing compounds in the soil.

197  
 198 **Table 1 – Results of the physical parameters obtained in Peri Lake**

	Apparent color (Pt–Co Units)	True color (Pt–Co Units)	Turbidity (NTU)	TDS (mg/L)	Temperature °C
<b>Ref.</b>	(ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2017; MONDARDO, 2009; SENS and DALASSO, 2007; SENS <i>et al.</i> , 2006)	(ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2017; MONDARDO, 2009; SENS and DALASSO, 2007; SENS <i>et al.</i> , 2006)	(ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2017; MONDARDO, 2009; SENS and DALASSO, 2007; SENS <i>et al.</i> , 2006)	(MONDARDO, 2009; SENS <i>et al.</i> , 2006)	(ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2017; MONDARDO, 2009; SENS and DALASSO, 2007; SENS <i>et al.</i> , 2006)
<b>RW</b>	56 to 78	5 to 9.5	5.64 to 7.24	36 to 36.4	20.5 to 25.5
<b>FW (P1)</b>	2 to 10	2 to 5	0.22 a 0.4	111 to 121.6	21.4 a 24.4
<b>% average removal</b>	89	47	94	x	x
<b>FW/RW removal</b>	x	x	x	3.2	x
	Apparent color (Pt–Co Units)	True color (Pt–Co Units)	Turbidity (NTU)	TDS (mg/L)	Temperature °C
<b>Ref.</b>	(CAMPOS, 2012; ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2012, 2016, and 2017)	x	(CAMPOS, 2012; ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2012, 2016, and 2017)	x	(CAMPOS, 2012; ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2012, 2016, and 2017)
<b>RW</b>	61 to 90	NA	6.7	NA	20.7
<b>FW (P2)</b>	6 to 6.5	NA	0.19	NA	22.3 to 22.35
<b>% average removal</b>	93	x	97	x	x

199 **RW**- raw water (source-Peri Lake); **FW**- filtered water (production well); **FW/RW average** - average increment of parameter in FW; **NA**-  
 200 Not analyzed; **NTU**- Turbidity Unit; **TDS**- Total Dissolved Solids.

201 Source: Adapted by the authors from Sens (2006), Sens and Dalsasso (2007), Mondardo (2009)  
 202 Campos (2012) and Esquivel (2012, 2016, and 2017)

203  
 204  
 205 The RW chemical analysis allowed identification and quantification of polysaccharides  
 206 (18.8%), humic substances (39.5%), block-built humic substances (15.5%), low molecular  
 207 weight acids (8.4%) and 12% neutral substances (ESQUIVEL *et al.*, 2017). Regarding the  
 208 water's chemical quality for the BF system (SENS *et al.*, 2006; SENS and DALASSO,  
 209 2007; MONDARDO, 2009; CAMPOS, 2012; ESQUIVEL *et al.*, 2012, 2016, and 2017),  
 210 there was a significant increase in alkalinity in P1 and P2, with respect to the supply (10 and  
 211 14 times, respectively) and total hardness (7 and 9 times, in P1 and P2, respectively) as  
 212 observed in **Table 2**.

213 There was also a 3- to 4-fold increase in electrical conductivity in both wells. Esquivel *et al.*  
 214 (2017) mentioned that the increase of these parameters after BF is justified by the  
 215 interaction with the aquifer, which has leached minerals in its composition. However, even

216 with the increase of these parameters, as well as total hardness, Ca hardness and Mg hardness  
 217 in FW, they were within the potability standards effective in 2012 (Ministry of Health  
 218 Ordinance 2914, current Annex XX of Consolidation Ordinance N° 5).

219 In P2, the hardness results in calcium and magnesium showed an increase of 11 and 2  
 220 times, respectively. In this well, there was also a small increase of manganese and little  
 221 variation of iron in relation to the source. In terms of the source, the chloride variation in both  
 222 wells was not significant either. Similar concentrations of chloride in RW and wells P1 and  
 223 P2 indicated that most of the filtered water comes from the lake (ESQUIVEL *et al.*, 2017).  
 224 The pH of the source varied slightly over the 13 years of the study, not exceeding 0.6 pH  
 225 units. **Table 2** shows a small increase in pH in both wells in relation to the source, which  
 226 agrees with the observed increase in alkalinity and total hardness.  
 227  
 228

**Table 2 - Results of chemical parameters obtained in Peri Lake**

	Total Alkalinity (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Chlorides (mg Cl <sup>-</sup> /L)	Electrical conductivity (µS/cm)	Hardness Ca (mg/L)	Hardness Mg (mg/L)	Total Hardness (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	Mn <sup>2+</sup> (mg/L)	pH
<b>Ref.</b>	(ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2017; MONDARDO, 2009; SENS and DALSSASSO, 2007; SENS <i>et al.</i> , 2006)	(ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2017; MONDARDO, 2009; SENS and DALSSASSO, 2007; SENS <i>et al.</i> , 2006)	(ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2017; MONDARDO, 2009; SENS and DALSSASSO, 2007; SENS <i>et al.</i> , 2006)	x	x	(ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2017; MONDARDO, 2009; SENS and DALSSASSO, 2007; SENS <i>et al.</i> , 2006)	x	x	(ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2017; MONDARDO, 2009; SENS and DALSSASSO, 2007; SENS <i>et al.</i> , 2006)
<b>RW</b>	7.64 to 9.6	17.0 to 18.15	67.08 to 78	NA	NA	10.5 a 11.45	NA	NA	7.1 to 7.3
<b>FW (P1)</b>	84.9 to 90	17.68 to 19	222 to 226	NA	NA	74.3 to 85	NA	NA	7.6 to 7.88
<b>FW/RW average</b>	11	x	3	x	x	7	x	x	x
<b>Ref.</b>	(CAMPOS, 2012; ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2012, 2016, and 2017)	(CAMPOS, 2012; ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2012, 2016, and 2017)	(CAMPOS, 2012; ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2012, 2016, and 2017)	(CAMPOS, 2012; ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2012, 2016, and 2017)	(CAMPOS, 2012; ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2012, 2016, and 2017)	(CAMPOS, 2012; ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2012, 2016, and 2017)	(CAMPOS, 2012; ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2012, 2016, and 2017)	(CAMPOS, 2012; ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2012, 2016, and 2017)	(CAMPOS, 2012; ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2012, 2016, and 2017)
<b>RW</b>	7.4 to 8	11.9 to 12	64 to 74	7.8 to 7.86	4.2	10.2 to 11.53	0.013 to < 0.03	to < 0.007 to 0.02	6.83 to 7.38
<b>FW (P2)</b>	105.5	14 to 14.7	235	85 to 85.6	10 to 10.5	95.8 to 96	0.01	0.094	7.86
<b>FW/RW average</b>	14	x	4	11	2	9	x	x	x

229 **RW**- raw water (source-Peri Lake); **FW**- filtered water (production well); **FW / RW average** - average increment of parameter in FW; **NA**-  
 230 Not analyzed

231 Source: Adapted by the authors from Sens (2006), Sens and Dalsasso (2007), Mondardo (2009), Campos (2012),  
 232 Esquivel (2012, 2016, and 2017)  
 233

234 In isolation, Esquivel *et al.* (2017) also analyzed bromides in RW and FW in well P2, not  
 235 observing variations. Furthermore, 3.1 and 34 mg/L of calcium and 1 and 2.4 mg/L of  
 236 magnesium were obtained in RW and FW, respectively. The increase in the values of these  
 237 parameters aligns with the increase of total hardness.

238 The changes observed in alkalinity, total hardness and conductivity conditions in FW, as  
 239 evidenced by studies performed in P1 (**Table 2**), as well as complementary chemical aspects  
 240 of FW (**Table 3**). These changes were justified by Sens *et al.* (2006), who attributed them to  
 241 the presence of calcium sediments in the geological profile, observing fragments during well  
 242 drilling. Nevertheless, the authors considered that there was a great influence of sediments on  
 243 the increase of the electrical conductivity from the lake. The same chemical behavior  
 244 aforementioned was observed in P2.

245 Regarding the evaluation of nitrate ions, Mondardo (2009) observed the appearance of 1.24  
 246 mg/L in P1. The other authors did not detect variations between the source and the production  
 247 well (SENS *et al.*, 2006; SENS and DALSSASSO, 2007; ESQUIVEL *et al.*, 2012, 2016, and  
 248 2017) except Sens *et al.*(2006), who noted a small 1.25-fold increase in nitrate ions in FW  
 249 (1.93 mg/L), the appearance of ammoniacal nitrogen (between 1.2 and 1.9 mg NH<sub>3</sub>-N/L)  
 250 (SENS *et al.*, 2006; SENS and DALSSASSO, 2007), and the removal of 100% chlorophyll in  
 251 well P1 (SENS and DALSSASSO, 2007). There was no evaluation of these parameters in P2.  
 252 Some authors (CAMPOS, 2012; ESQUIVEL *et al.*, 2016) observed a 2-fold increase in the  
 253 concentration of hydrogen sulfide in P2 as well (**Table 4**).

254 **Table 3** shows the absorbance 254 nm results, which indicates a considerable removal of  
 255 dissolved organic matter (DOM) in P1 (66%) and 29% in P2. In addition, there was a  
 256 significant decrease in total organic carbon (TOC) and dissolved oxygen (DO) in P1 and 98%  
 257 of DO decrease in P2.

258  
 259

**Table 3 – Results of complementary chemical parameters**

	Absorbance 254 nm (cm <sup>-1</sup> )	DOC (mg/L)	TOC (mg/L)	DO (mg O <sub>2</sub> /L)	Orthophosphate (mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L)
<b>Ref.</b>	(MONDARDO, 2009; SENS and DALSSASSO, 2007)	x	(MONDARDO, 2009; SENS and DALSSASSO, 2007)	(MONDARDO, 2009; SENS and DALSSASSO, 2007; SENS <i>et al.</i> , 2006)	(MONDARDO, 2009; SENS and DALSSASSO, 2007; SENS <i>et al.</i> , 2006)
<b>RW</b>	0.116 to 0.14	NA	7.1 to 7.27	6.82 to 7.36	0.05 to 0.66
<b>FW (P1)</b>	0.019 to 0.067	NA	1.8 to 1.93	2.48 to 2.64	0.46 to 0.49
<b>% average removal</b>	66	x	74	64	2
	Absorbance 254 nm (cm <sup>-1</sup> )	DOC (mg/L)	TOC (mg/L)	DO (mg O <sub>2</sub> /L)	Orthophosphate (mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L)
<b>Ref.</b>	(CAMPOS, 2012; ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2012)	(CAMPOS, 2012; ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2012, and 2017)	(CAMPOS, 2012; ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2012, and 2017)	(CAMPOS, 2012; ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2012, 2016, and 2017)	x
<b>RW</b>	7.8	3.42 to 4.2	5.4 to 6	8.6 to 8.64	N.A.
<b>FW (P2)</b>	5.5	3.32 to 3.6	4.3	0.02 to 0.22	N.A.
<b>% average removal</b>	29	11	26	98	x

260 **RW**- raw water (source-Lagoa do Peri); **FW**- filtered water (production well); **NA**- Not analyzed; **DOC**- Dissolved Organic Carbon; **TOC**-  
 261 Total Organic Carbon; **DO**- Dissolved oxygen.

262 Source: Adapted by the authors from Sens (2006), Sens and Dalsasso (2007), Mondardo (2009), Campos (2012),  
 263 Esquivel (2012, 2016, and 2017)

264  
 265

266 Concerning the chemical aspects related to the degradation dynamics of OM, Esquivel  
 267 (2012) mentioned that the process begins with the rapid consumption of DO, leading to an  
 268 increase in nitrate ion (due to ammonium oxidation and the onset of OM degradation), and  
 269 elevated manganese, iron, and sulfide values as the travel time increases. Even with the low  
 270 OM reduction observed by the DOC analysis (**Table 3**), the removal of DOM (through  
 271 absorbance results at 254 nm) responsible for the formation of trihalomethanes (THM) stands  
 272 out (CAMPOS, 2012).

273 Campos (2012) and Esquivel *et al.* (2012, and 2016), highlight that the DO decrease  
 274 indicates the occurrence of anoxic conditions, which is in agreement with the low oxide-  
 275 reduction potential obtained in P2 (ORP in RW = 52 in FW = -307) (ESQUIVEL *et al.*, 2012)  
 276 according to **Table 4**. With the low oxygen in the medium, microorganisms continue to use  
 277 other electron-accepting species such as OM.

278 Esquivel *et al.* (2012 and 2017), in a more in-depth study, observed that the lake water  
 279 presented around 8.6 mg O<sub>2</sub>/L. Through P2 monitoring, redox conditions were identified in  
 280 the first meters of infiltration, where practically all oxygen, nitrate and sulfate were  
 281 consumed. Iron and manganese dissolved, and the odor confirmed the presence of hydrogen  
 282 sulfide. There was a gradual decrease of iron (II) and sulfide ions with increasing distance and  
 283 depth to P2, where pyrite (FeS<sub>2</sub>) formation occurs, as well as possible precipitation of iron  
 284 carbonate (FeCO<sub>3</sub>). The concentration of manganese ions (II) increased as it approached P2.

285 Regarding the Trihalomethane Formation Potential (THMFP), Esquivel (ESQUIVEL *et*  
 286 *al.*, 2012) perceived a seasonal behavior, with a higher THMFP concentration at higher  
 287 temperature periods, possibly due to the desorption/dissolution of natural organic matter  
 288 (NOM). The decrease in UV-254 nm absorbance values in the systems and the reduction of  
 289 specific ultraviolet absorption (SUVA), as shown in **Table 4**, demonstrated that the water  
 290 infiltration in the soil, on the well source route, preferentially promotes the THMPF removal  
 291 in relation to the entire NOM. Esquivel concluded, through a first-order kinetic model, that  
 292 the removal of NOM and THMFP occurs in the first days of infiltration, and the reduction of  
 293 easily degradable NOM occurs in less than 2 days. As such, the moderately degradable  
 294 fraction would need 60 to 90 days of travel to have 95% removal. An increase in travel time  
 295 to remove slowly degradable NOM, which in practice is non-degradable, would not  
 296 significantly change the removal achieved in their studies as about 95% of THMFPs are  
 297 present in the easily degradable OM fraction (ESQUIVEL *et al.*, 2012, and 2017).

298  
 299 **Table 4 - Evaluation of chemical parameters by Esquivel studies in P2**

	ORP (mV)	THMFP(µg CHCl <sub>3</sub> /L)	% oxygen saturation	S <sup>2-</sup> (mg/L)	H <sub>2</sub> S (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	SUVA (L/m <sup>2</sup> ·mg)
RW	52	73	96 to 96.2	< 0.01	0.007	3.06	2.3
FW	-307	51	2 to 2.25	0.018 to 0.02	0.018	< 0.52	1.9

300 **RW** - raw water (source-Lagoa do Peri); **FW**- filtered water (production well); **ORP** - Oxide-reduction potential; **THMFP** - Trihalomethane  
 301 Formation Potential; **SUVA**- specific ultraviolet absorption.

302 Source: Adapted by the authors from Esquivel *et al.* (2012, and 2017).

303  
 304 Microbiological parameters were performed only for P1. The first analyses of BF  
 305 efficiency for the removal of phytoplankton, including cyanobacteria and, more specifically,  
 306 *Cylindrospermopsis raciborski*, were performed by Sens *et al.* (2006), whose results  
 307 demonstrated 100% removal (**Table 5**). In later studies of Sens and Dalsasso (2007),  
 308 Mondardo (2009), Romero *et al.* (2014), similar results were obtained. Studies also showed  
 309 improvement in FW quality in P1, which refers to the presence of equivalent saxitoxins, and  
 310 no traces were found after treatment.

311 In all studies, none of the parameters in **Table 5** were detected: they were either absent or  
 312 undetected. Laboratory research involving sediments from the lake bank indicated that the



313 removal of phytoplankton, cyanobacteria and *C. raciborski* occurs in the first centimeters of  
 314 the filter medium, reaching values of 94 to 100% removal. The OM present in the bank  
 315 sediments, mechanisms of adsorption and degradation, production flow and travel time, were  
 316 aspects that influenced the biological results (SENS and DALSSASSO, 2007). The removal  
 317 rates of saxitoxins and neosaxitoxins ranged from 40 to 100% (SENS and DALSSASSO, 2007;  
 318 MONDARDO, 2009; ROMERO *et al.*, 2014; SOARES *et al.*, 2019).  
 319  
 320

**Table 5 – Results of biological parameters in Peri Lake**

	Cyanobacteria (cells/mL)	Cylindrospermopsis raciborskii (cells/mL)	Phytoplankton (cells/mL)	Dissolved saxitoxin equivalent (µg/L)
<b>Ref.</b>	(ROMERO <i>et al.</i> , 2014; SENS and DALSSASSO, 2007; SENS <i>et al.</i> , 2006)	(MONDARDO, 2009; ROMERO <i>et al.</i> , 2014; SENS and DALSSASSO, 2007; SENS <i>et al.</i> , 2006)	(MONDARDO, 2009; ROMERO <i>et al.</i> , 2014; SENS and DALSSASSO, 2007; SENS <i>et al.</i> , 2006)	(MONDARDO, 2009; ROMERO <i>et al.</i> , 2014; SENS and DALSSASSO, 2007; SENS <i>et al.</i> , 2006)
<b>RW</b>	1.3·10 <sup>6</sup> to 1.53·10 <sup>6</sup>	9.43·10 <sup>5</sup> to 1.22·10 <sup>6</sup>	1.4·10 <sup>6</sup> to 1.55 ·10 <sup>6</sup>	3.8 to 6.05
<b>FW</b>	A or ND	A or ND	A or ND	ND

321 **RW**- raw water (source-Peri Lake); **FW**- filtered water (production well); **A** - absent; **ND**- Not detected.

322 Source: Adapted by the authors from Sens (2006), and Sens and Dalsasso (2007), Mondardo (2009), Romero *et al.* (2014)  
 323  
 324

### 325 2.1.2 Modeling

326  
 327 The implementation of the bank filtration system in Peri Lake provided conditions for the  
 328 application of simulations and computational modeling that could generate information about  
 329 the hydraulics of the applied process, as well as confirm the observations obtained in the field.  
 330 New scenarios and conditions could be explored using models 1(ESQUIVEL *et al.*, 2012), 2  
 331 (SOARES, 2015) and 3 (VARELA *et al.*, 2018) according to **Table 6**.  
 332  
 333

**Table 6 - Synthesis of the models elaborated from field research**

Modeling	Hypotheses	Scenarios	Main Results
1 (ESQUIVEL <i>et al.</i> , 2012)	Estimate the travel time of the water to the production wells and the natural behavior of groundwater.	1) No pumping	From the bottom of the lake to where the well grooves begin at 20 m from the lake and 9.5 m deep, it was an estimated 190 days.
		2) With pumping	With a flow of 30 m <sup>3</sup> /d of water, the minimum estimated time was at least 80 days. The water in the lake naturally infiltrates towards the piezometer system.
2 (SOARES, 2015)	Evaluate the behavior of groundwater in different BF pumping scenarios, at flows of 100 L / s and 200 L / s and considering different levels of bank clogging.	1) Natural water availability conditions	The lake feeds the aquifer and the Sangradouro channel, which is also fed by groundwater.
		2) Decreased water level of the lake	The more the surface water level decreases, the more the channel is fed by groundwater, adopting an identity of flow gain and losing the characteristic of influential water body. With an applied flow rate of 100 L/s, under favorable conditions, the infiltration rates in the lake remain constant.
		3) In dry conditions	The flow of groundwater goes to the well gallery, reducing the natural recharge of the lake caused by the infiltration, and the channel suffers water loss due to pumping.
3 (VARELA <i>et al.</i> , 2018)	Define the best water catchment scenario on the banks of Peri Lake.	1) Possible flows	Maximum exploitation supported by the 15 m <sup>3</sup> / h (4.17 L/s per well).
		2) Number of possible wells	Maximum quantity of 15 wells, totaling a maximum flow of 62.5 L/s. 15 wells operating at 15 m <sup>3</sup> /h would not generate saline wedge intrusion.

3) Possibility of approaching the water treatment station (Casan).

15 wells with a flow of 15 m<sup>3</sup>/h allocated closer to the water treatment station, would generate impairment in 4 wells due to the saline wedge coming from the proximity to the sea.

334 Source: Adapted by the authors from Esquivel, *et al.* (2012), Soares (2015) and Varela *et al.* (2018).

## 335 2.2 Barra da Lagoa – Florianópolis (SC): Study site characterization

336  
337 Barra da Lagoa is a neighborhood located in the eastern region of Florianópolis island, as  
338 shown in **Figure 3**. The location has the UTM coordinates of 753835.29 m E and 6948108.09  
339 m S, zone 22. The saline water catchment station is located approximately 50 m from the sea  
340 (BURGARDT, 2017). The soil in the Barra da Lagoa corresponds to a sedimentary aquifer  
341 composed of elements that vary from coarse to fine sand and may present small amounts of  
342 silt and clay (GUEDES JÚNIOR, 2005).

343 The angular filtration system, where the production well is tilted at an angle between -20°  
344 and -45° with the soil level used by Burgardt (BURGARDT, 2017; BURGARDT *et al.*, 2017;  
345 BURGARDT and SENS, 2018), aimed at improving the characteristics of sea water for  
346 subsequent referral to the reverse osmosis process.

347 The angular capture system used by Burgardt (2017) was designed with a length of 70 m  
348 (being 30 m in the sea), with a pump house and a discharge pipe 4,200 m long. The PVC pipe  
349 for suction was 160 mm in nominal diameter (ND) and 200 mm in DN, for the discharge pipe.  
350 For the water suction, four sets of motor pumps (4 CV) associated in parallel were used,  
351 repressing an average of 41.66 m<sup>3</sup>/h (11.57 L/s) (BURGARDT, 2017; BURGARDT *et al.*,  
352 2017; BURGARDT and SENS, 2018). A phytoplankton screen at the entrance of the system  
353 prevented the capture points from being blocked by fine sediments such as sand and small  
354 solids, as protection, besides, the project had a backwash operation when there was a lower  
355 quality of filtered water or less flow (BURGARDT, 2017).

356 Soil samples at 1 m, 3 m, 4 m and 6 m in depth, as well as sand contained on the surface,  
357 were analyzed in order to compare the samples submitted to climatic conditions with samples  
358 from the subsoil. The local sand presented, on average, from 1 to 6 m in depth, 0.17 mm and  
359 0.24 mm in effective diameter-D10, and D-60, respectively. The surface sand presented 0.23  
360 mm and 0.28 mm of effective diameter-D10 and D-60, respectively. The uniformity  
361 coefficient was, on average, 1.39. This shows that over the 6 m depth, the characteristics of  
362 the filter medium undergo little change, being quite uniform as well. These results give the  
363 site the ability to remove impurities (BURGARDT, 2017).

### 365 2.2.1 Water quality characterization: physical and chemical parameters

366  
367 Physical and chemical parameters were analyzed weekly between August and September  
368 2016 (BURGARDT, 2017; BURGARDT *et al.*, 2017; BURGARDT and SENS, 2018), and  
369 the results are shown in **Table 7**. The authors observed that the levels of salinity and electrical  
370 conductivity indicated that water filtration originated from the ocean, without mixing with  
371 fresh groundwater. There was also a considerable decrease in turbidity and apparent color.  
372 True color, TDS and DOC did not show a significant decrease in FW, nor did the absorbance  
373 at 254 nm.

374  
375 **Table 7 – Results of the physical and chemical parameters obtained in Barra da Lagoa**

	Apparent Color (Pt-Co Units)	True Color (Pt-Co Units)	Turbidity (NTU)	TDS (mg/L)	Temp. (°C)	Absorbance 254 nm (cm <sup>-1</sup> )	DOC (mg/L)	Electrical conductivity (µS/cm)	pH	Salinity (g/kg)
<b>RW</b>	30.6 to 32.77	3.8 to 3.97	2.37 to 2.65	34.200 to 34.474	19.1 to 20.05	0.022 to 0.025	4.43 to 5.23	48.7 to 50.78	8.31	34.5 to 35.39

	Apparent Color (Pt-Co Units)	True Color (Pt-Co Units)	Turbidity (NTU)	TDS (mg/L)	Temp. (°C)	Absorbance 254 nm (cm <sup>-1</sup> )	DOC (mg/L)	Electrical conductivity (µS/cm)	pH	Salinity (g/kg)
FW (P1)	5.3	3.23 to 3.6	0.13 to 0.15	33.200 to 34.148	19.1 to 19.95	0.022 to 0.2	3.71 to 4.54	48.2 to 5024	8.11	34.4 to 35.34
% average removal	83	5	95	3	x	12	13	x	x	x

376 RW- raw water (source-Barra da Lagoa); FW- filtered water (production well); Pt-Co- Color Unit, NTU- Turbidity Unit; TDS-Total  
377 Dissolved Solids; DOC – Dissolved Organic Carbon.

378 Source: Adapted by the authors from Burgardt (2017).

379 The system also showed a decrease in dissolved organic compounds, but on a smaller  
380 scale, considering the results of absorbance 254 nm and DOC. The parameters of pH, salinity  
381 and electrical conductivity did not change significantly, showing a simple reduction, while the  
382 temperature remained constant (BURGARDT, 2017).

### 383 2.3 Aquaculture Lake – Ituporanga (SC): Study site characterization

384  
385 Ituporanga is a municipality in the state of Santa Catarina, Brazil, which has the UTM  
386 coordinates of 638149.00 m E and 6966884.00 m S zone 22. It is 163 km from the city of  
387 Florianópolis, the state capital. The BF facilities used by Soares (2009) were located next to  
388 an aquaculture lake on the EPAGRI's premises. The purpose of the system was the treatment  
389 of lake water for animal drinking.

390 The location chosen for drilling showed a higher constitution of coarse sand (32.4%) in the  
391 first 1.2 m of depth, followed by fine sand (91%) in the second layer of the soil (1.20 to 2.10  
392 m), with low clay and silt content. Subsequent predominance of clay (50%) was observed in  
393 the third layer, following up to 4.6 m. The porosity of the second layer corresponded to about  
394 30 to 35%, with hydraulic conductivity (K) of  $5.4 \times 10^{-4}$  m/s. It was observed that the lake  
395 shore presented an average hydraulic conductivity around  $2.22 \times 10^{-7}$  m/s, indicating  
396 sediment clogging and little potential for infiltration (SOARES, 2009).

397 A production well was drilled with a depth of 2.8 m and a diameter of 1 m. The well flow  
398 at the maximum (dynamic) level corresponded to 0.03 L/s, according to the rainfall conditions  
399 of the period, with intermittent pumping. It was observed that, in an average obtained from  
400 100 days of operation, 25% of the water filtered by the well originated from the lake and the  
401 rest came from the aquifer. The time taken from the water to the well corresponded to about  
402 70 days (SOARES, 2009).

#### 403 2.3.1 Water quality characterization: physical, chemical and biological parameters

404  
405 **Table 8** shows the physical parameters analyzed in the aquaculture lake between 2009 and  
406 2010. There was an increase in FW of 4 and 5 times of apparent color and turbidity,  
407 respectively (SOARES, 2009). A 6-fold increase in turbidity was also observed by Soares  
408 (2009) and Romero *et al.* (2010), who considered the influence of clay and iron in the  
409 increase observed in the apparent color and turbidity parameters, with a small true color  
410 removal. It was taken into account that such aspects were influenced by rainfall at the site and  
411 the leaching capacity of the compounds in the soil as well. The occurrence of iron and  
412 manganese in FW could also be correlated with the observed physical results. There was a  
413 100% removal of TDS and 12% of SS (suspended solids), whose low removal was attributed  
414 to the accommodation of the soil around the well (SOARES, 2009).

415  
416  
417  
418



419

**Table 8 - Results of physical parameters obtained in the aquaculture lake**

	Apparent color (Pt-Co Units)	True color (Pt-Co Units)	Turbidity (uNTU)	TDS (mg/L)	SS (mg/L)	Temp. (°C)
<b>RW</b>	136.6	55.3	16.4	10.9	98	27.5
<b>FW</b>	512	42.5	87.2	0.05	86	25.5
<b>% removal</b>	x	23	x	100	12	x
<b>FW/RW</b>	4	x	5	x	x	x

420 **RW**-raw water (aquaculture lake); **FW**- filtered water (production well); **FW / RW**- parameter increase in FW; **NTU** - turbidity unit; **TDS**-  
 421 total dissolved solids; **SS**- suspended solids.

422

Source: Adapted by the authors from Soares (2009).

423

424

425

426

427

428

429

**Table 9** presents the results of the chemical parameters obtained in the aquaculture lake (SOARES, 2009). The increase of total iron, manganese (II), nitrite and nitrate ions in the FW was observed by Soares (2009). Romero *et al.* (2010) also observed a 6-fold increase in total iron concentration after BF. These results were related to the clogging of the bottom of the source and long travel time, since the hydraulic permeability at the site proved to be limited (SOARES, 2009).

430

431

432

433

434

435

436

Moreover, oxygen reduction over the course of the journey and the closing of the banks allowed the solubilization of compounds, such as iron and manganese, found in FW after precipitation. Such aspects also influenced the increase in the alkalinity and electrical conductivity observed, in addition to the chemical characteristics of the soil at the site (SOARES, 2009).

**Table 9 - Results of the chemical parameters obtained in the aquaculture lake**

	Total alkalinity (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Electrical conductivity (µS/cm)	Total iron (mg/L)	Mn <sup>2+</sup> (mg/L)	pH	Absorbance 254 nm (cm <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	DO (mg/L)
<b>RW</b>	19.6	21.2	0.42	0.094	7.5	0.117	0.0065	0.13	9
<b>FW</b>	68.4	101	2.8	0.4	6.03	0.13	0.036	0.22	2.8
<b>% removal</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	69
<b>FW/RW</b>	3	5	7	4	x	1.1	6	2	x

437 **RW**-raw water (aquaculture lake); **FW**- filtered water (production well); **FW / RW**- parameter increase in FW; **DO**- dissolved oxygen

438

439

Source: Adapted by the authors from Soares (2009).

440

441

442

443

444

**Table 10** shows that there was a reduction in microbiological parameters (SOARES, 2009; ROMERO *et al.*, 2010), identifying the absence of *E. Coli* and Phytoplankton in the treated water.

**Table 10 – Results of biological parameters obtained in the aquaculture lake**

Ref.	Total coliforms (MPN/100 mL)		Total phytoplankton (cells/mL)	<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)	
	(SOARES, 2009)	(ROMERO <i>et al.</i> , 2010)	(SOARES, 2009)	(SOARES, 2009)	(ROMERO <i>et al.</i> , 2010)
<b>RW</b>	12000	10000	8300	160	142
<b>FW</b>	170	1.77 log	A	A	2.15 log
<b>% removal</b>	98.3	97.8	100	100	99.1

445 **RW**- raw water (aquaculture lake); **FW**- filtered water (production well); **MPN** - most probable number; **A**- absent.

446

Source: Adapted by the authors from Soares (2009) and Romero *et al.* (2010)

447

448

449

## 2.4 Itajaí do Sul River - Ituporanga (SC): Study site characterization

Ituporanga is a city located in the central-west region of the State of Santa Catarina. It is 163 km from the state capital, Florianópolis. The Itajaí do Sul River is the main watercourse in the region, belonging to the Itajaí do Sul sub-basin, which covers 10 municipalities in Santa Catarina, including Ituporanga. The stretch of the Itajaí do Sul River that was part of the study area, belonging to Ituporanga, has the UTM coordinates of 637862.24 m E and 6967007.30 m S, zone 22, altitude of 370 m, annual rainfall ranging from 1,300 to 1,500 mm and precipitation daily maximum of 120 mm. The section of the river studied, 33 m wide on average, was approximately 3 km downstream of agricultural areas and approximately 23 m from the urban perimeter. The position of surface water in relation to agricultural areas was approximately 3 and 10 m (vertical and horizontal distance, respectively) (MICHELAN, 2010; ROMERO *et al.*, 2010; MICHELAN *et al.*, 2011; GUEDES *et al.*, 2018).

The subsoil of the perforated site showed a constitution of clay, silt and fine sand in the first 1.2 m of depth, followed by a layer of silt (58.16%), fine sand (29.61%), clay (6.74 %), medium sand (4%) and coarse sand (1.49%) up to 3.9 meters deep, where the predominance of fine, medium and coarse gravel (50.22%) started. It was considered that the last layer contributed to a hydraulic permeability (K) of  $3.0 \times 10^{-3}$  m/s. Michelin (2010) obtained a weighted effective porosity of 19%, with a travel time of 15 days while Romero *et al.* (2010) found 36.2% porosity, with a travel time of 28 days.

The production well, located 18.5 m from the source, was dug in order to measure 4.7 m in depth and 1 m in diameter. The well went into operation with a maximum production flow of 12.76 m<sup>3</sup>/d (0.15 L/s) (MICHELAN, 2010; ROMERO *et al.*, 2010; MICHELAN *et al.*, 2011; GUEDES *et al.*, 2018).

### 2.4.1 Water quality characterization: physical, chemical and biological parameters

Table 11 shows that there was partial removal of all the studied physical parameters, except in the studies by Romero *et al.* (2010) where a small increase in TDS of 1.2 times in FW was observed (non-Tabulated result). The turbidity removal was more expressive, on average 68%, with Romero *et al.* (2010) achieving 84% removal of this parameter.

**Table 11** - Results of the physical parameters obtained in the Itajaí do Sul River

	Apparent color (Pt-Co Units)	True color (Pt-Co Units)	Turbidity (NTU)	TDS (mg/L)	Temp. (°C)
Ref.	(MICHELAN, 2010; ROMERO <i>et al.</i> , 2010)	(MICHELAN, 2010; ROMERO <i>et al.</i> , 2010)	(MICHELAN, 2010; MICHELAN <i>et al.</i> , 2011; ROMERO <i>et al.</i> , 2010)	(MICHELAN, 2010; MICHELAN <i>et al.</i> , 2011)	(MICHELAN, 2010; ROMERO <i>et al.</i> , 2010)
RW	229 to 231	40 to 44	32 to 36.5	43 to 45	20.7 to 22
FW	120 to 181	49 to 54	6 to 13	34 to 44.2	19.7 to 21
% average removal	35	10	68	12	x

RW-raw water (Itajaí do Sul River); FW- filtered water (production well); NTU - Turbidity Unit, TDS - Total Dissolved Solids, FW / RW - parameter increase in FW.

Source: Adapted by the authors from Michelin (2010), Romero *et al.* (2010) and Michelin *et al.* (2011)

Among the chemical parameters analyzed, according to Table 12, the increase in PA of 4 times on average in the total iron concentration stands out (MICHELAN, 2010; ROMERO *et al.*

489 *al.*, 2010; MICHELAN *et al.*, 2011; GUEDES *et al.*, 2018), a factor associated to Michelin *et*  
 490 *al.* (2010) with a decrease in DO (54%), which causes the compound to solubilize.

491 Other parameters that suffered an increase in FW were nitrate ions and, mainly, ammonia,  
 492 with an 11-fold increase in relation to the source. The degradation of organic compounds was  
 493 also observed through the absorbance results of 254 nm and TOC (MICHELAN, 2010).

494

495

**Table 12** – Results of the chemical parameters obtained in the Itajaí do Sul River

Ref.	Tot. hardness (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Tot. iron (mg/L)	pH	Abs. 254 nm (cm <sup>-1</sup> )	TOC (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NH <sub>3</sub> (mg/L)	DO (mg/L)	
	(ROMERO <i>et al.</i> , 2010)	(MICHELAN, 2010)	(GUEDES <i>et al.</i> , 2018; MICHELAN, 2010; MICHELAN <i>et al.</i> , 2011; ROMERO <i>et al.</i> , 2010)	(GUEDES <i>et al.</i> , 2018; MICHELAN, 2010; ROMERO <i>et al.</i> , 2010)	(MICHELAN, 2010; ROMERO <i>et al.</i> , 2010)	(MICHELAN, 2010)	(MICHELAN, 2010)	(MICHELAN, 2010)	(GUEDES <i>et al.</i> , 2018; MICHELAN, 2010)	
<b>RW</b>	19.4	20.6	0.42 to 1.26	6.4 to 6.7	0.22 to 0.32	4.4	0.06	0.38	0.6	8.7
<b>FW</b>	12.9	26.4	2.82 to 4.9	5.8 to 6.1	0.078 to 0.079	3.7	< 0.1	< 0.1 to 0.589	6.8	4
<b>% average removal</b>	33.5	x	x	x	71	16	83	x	x	54
<b>FW/RW</b>	x	1.32	4	x	x	x	x	1.6	11	x

496 **RW**-raw water (source-Itajaí do Sul River); **FW**- filtered water (production well); **TOC**- Total organic carbon, **DO**- dissolved oxygen.

497 Source: Adapted by the authors from Michelin (2010), Romero *et al.* (2010), Michelin *et al.* (2011), Guedes *et*  
 498 *al.* (2018)

499

499 Regarding microbiological parameters, **Table 13** shows the efficiency of BF in the  
 500 removal of total coliforms (MICHELAN, 2010; ROMERO *et al.*, 2010) and *E. coli*  
 501 (MICHELAN, 2010; ROMERO *et al.*, 2010; MICHELAN *et al.*, 2011). In another study,  
 502 Michelin *et al.* (2011) mentions the removal of 2 logs of total coliforms.

503

504

**Table 13** – Results of the biological parameters obtained in the Itajaí do Sul River

	Total coliforms (MPN/100 mL)	<i>E. coli</i> (MNP/100 mL)
	(MICHELAN, 2010; ROMERO <i>et al.</i> , 2010)	(MICHELAN, 2010; MICHELAN <i>et al.</i> , 2011; ROMERO <i>et al.</i> , 2010)
<b>RW</b>	20000 to 25000	1500 to 3300
<b>FW</b>	140 to 170	3.8 to 5.2
<b>% average removal</b>	99.3	99.8

505 **RW**-raw water (source-Itajaí do Sul River); **FW**- filtered water (production well); MNP- most probable number.

506 Source: Adapted by the authors from Michelin (2010), Romero *et al.* (2010), Michelin *et al.* (2011)

507

## 508 2.4.2 Carbofuran removal

509

510 The BF removal of the pesticide Carbofuran, frequently observed in the Itajaí do Sul  
 511 River, was verified. The results show that, on average, it is possible to remove around 69% of  
 512 the pesticide in FW (MICHELAN, 2010; ROMERO *et al.*, 2010).

513 For more details regarding carbofuran removal using BF technology, Michelin (2010)  
 514 carried out a test involving filtration columns whose results showed a travel time of 25 days  
 515 for the removal of carbofuran in the order of 80%. The half-life of the compound in the  
 516 system corresponded to 10.5 days at neutral pH.

## 517 2.5 Belo River –Orleans (SC): Study site characterization

518

519 Orleans is a municipality located in southern Santa Catarina, as shown in **Figure 3**,  
520 and is 196 km from the state capital, Florianópolis. The BF system approached by Guedes  
521 (GUEDES, 2018; GUEDES *et al.*, 2019) corresponded to the structure located on the Belo  
522 River bank, about 2.16 km from the source, inserted in the rural area of Orleans, Santa  
523 Catarina, which has the UTM coordinates of 667449.00 m E and 6831854.00 m S zone 22. In  
524 addition to the abstraction well, the system was composed of pumping that was performed  
525 using photovoltaic energy.

526 The granulometric composition of the banks of Belo River found coarse sand (34.5%),  
527 medium sand (22.4%), fine gravel (21.6%), fine sand (19.7%), medium gravel (1.4%), in  
528 addition to clay and silt (0.89%). The composition of the site showed a flow condition for  
529 sediment transport, and the effective soil porosity varied from 29% to 32.5% (GUEDES,  
530 2018; GUEDES *et al.*, 2019).

531 The geological profile of the land presented clay and silt (up to 2 m deep), basalt rocks  
532 and sand (between 2 to 5 m) in addition to coarse sand (5 to 10 m deep), considering the water  
533 level of the corresponding groundwater at an average depth of 2.5 m. The hydraulic  
534 conductivity of the soil presented an average of  $5.2 \times 10^{-5}$  m/s, typical for sediments composed  
535 of coarse and medium sand (GUEDES, 2018; GUEDES *et al.*, 2019).

536 The production well, called P1, was built 8 inches in diameter, 15 m deep and was  
537 located 17 m from the source. The time taken from the water to the well fluctuated between  
538 16 and 32 days, depending on the lowering of the aquifer and the pump used, the pumping  
539 being intermittent (GUEDES, 2018). Subsequently, Guedes *et al.* (2019), in a second  
540 production well (P2) 1 m in diameter and 5 m deep, 25 m from the source, also pumped  
541 intermittently, as the energy supply system was through photovoltaic cells. It was also  
542 possible to identify the hydraulic connection between the water in the wells and the source  
543 (GUEDES, 2018; GUEDES *et al.*, 2019).

544

### 545 2.5.1 Water quality characterization: physical, chemical and biological parameters

546

547 The results in **Tables 14, 15 and 16** represent the physical, chemical and biological  
548 parameters, respectively, obtained in the production wells P1 (GUEDES, 2018) and P2  
549 (GUEDES *et al.*, 2019). **Table 14** shows the excellent efficiency of BF in removing the  
550 studied physical parameters, both in P1 and in P2, with removal percentages above 95%.

551

552 **Table 14 - Results of physical parameters obtained in Belo River**

	Apparent color (Pt–Co Units)	True color (Pt–Co Units)	Turbidity (NTU)
RW	94.5	22.7	23.4
FW (P1)	4.9	0.4	0.3
% average removal	95	98	99
RW	146.1	NA	18.4
FW (P2)	0.8	NA	0.3
% average removal	99	NA	98

553 RW-raw water (source-Belo River-Orleans); FW- filtered water (production well); NTU - turbidity unit.

554 Source: Adapted by the authors from Guedes (2018); Guedes *et al.* (2019)

555

556 In **Table 15**, it is possible to observe that there was an increase of 1.3 and 1.2 in the  
557 electrical conductivity (GUEDES, 2018; GUEDES *et al.*, 2019) due to the chemical  
558 characteristics of the sediments, influencing the composition of the leachate materials, such as

559 the release of soil ions. The BF efficiency in the total iron removal was also observed in both  
 560 wells. There was a DOC reduction, showing the degradation of organic compounds during  
 561 filtration (GUEDES, 2018), of DO, as well as a decrease in pH, which was much greater in  
 562 P2.

563 **Table 15 - Results of chemical parameters obtained in Belo River**

	Electrical conductivity ( $\mu\text{S/cm}$ )	Total iron (mg/L)	pH	DOC (mg/L)	DO (mg/L)
<b>RW</b>	72.3	0.9	6.8	2.8	7.8
<b>FW (P1)</b>	95.7	0.1	6.3	0.9	5.1
<b>% average removal</b>	x	89	x	68	35
<b>FW/RW</b>	1.3	x	x	x	x
<b>RW</b>	66.1	1.2	6.4	NA	7.5
<b>FW (P2)</b>	81.2	0.1	5.2	NA	5.4
<b>% average removal</b>	x	92	x	x	28
<b>FW/RW</b>	1.2	x	x	x	x

564 **RW**-raw water (source-Belo River-Orleans); **FW**- filtered water (production well); **FW/RW** - increment of the parameter in the FW; **DOC** -  
 565 Dissolved organic carbon; **DO** - dissolved oxygen.

566 Source: Adapted by the authors from Guedes (2018); Guedes *et al.* (2019)

567

568 The system's location in a rural area justifies the presence of microbiological contaminants  
 569 due to the existence of animal husbandry in the region, in addition to the possibility of illegal  
 570 effluent discharges along the source path. In the data in **Table 16**, the absence of E. Coli after  
 571 BF is observed in both wells without, however, eliminating total coliforms (GUEDES, 2018;  
 572 GUEDES *et al.*, 2019). Nonetheless, 99.99% of removal was obtained.

573 **Table 16 - Synthesis of the biological parameters of the research in Belo River**

	Total coliforms (MPN/100ml)	E. coli (MPN/100ml)		Total coliforms (MPN/100 mL)	E. coli (MPN/100 mL)
<b>RW</b>	110000	6800	<b>RW</b>	84000	4900
<b>FW (P1)</b>	15.3	A	<b>FW (P2)</b>	4,5	A
<b>% average removal</b>	99.99	100	<b>% average removal</b>	100.0	100

574 **RW**-raw water (source-Belo River-Orleans); **FW**- filtered water (production well); MPN - most probable number.

575 Source: Adapted by the authors from Guedes (2018); Guedes *et al.* (2019)

576

### 577 3 FINAL CONSIDERATIONS

578

579 From the content prepared for Part 1 of this review, for the correct application of BF,  
 580 sustainable sources from surface and underground water must be relied on in hydraulic  
 581 connection with the local aquifer formed by alluvial or unconsolidated materials. The  
 582 hydrogeology of the aquifer, the hydrology of the water body, the morphology of the river or  
 583 lake, the composition of its bottom and its quality in addition to the temperature of the surface  
 584 and groundwater are other local characteristics to consider when applying BF (ESQUIVEL *et*  
 585 *al.*, 2016).

586 As discussed in Burgardt (2017), the BF technique does not remove salinity. In these cases,  
 587 BF can be at least used as pre-treatment of water desalination plants for supply systems.  
 588 Regarding carbofuran, Michelan (2010) conducted a test involving filtration columns with  
 589 results that showed a travel time of 25 days for a removal in the order of 80%.

590 In all studies carried out, the flow rates applied were low to the point of representing  
 591 something consistent for the real scale of a public supply system. In the future, it would be

592 interesting to accomplish a study that analyzed quality and quantity (higher flows) to  
593 understand what will happen with the travel time and its final quality.

594 As can be seen in this review, among the parameters involved in the studies presented, the  
595 BF technique demonstrates efficiency in reducing parameters such as: turbidity and coliforms  
596 (total and fecal), pesticides and toxins. Although, the technique showed low capacity to  
597 reduce parameters, for example: salinity and true color. Parameters such as pH and dissolved  
598 oxygen do not change significantly.

599 It is also important to note that once the technique is dependent on the soil composition  
600 inherent to local geological conditions, parameters as iron, manganese, fluorine, alkalinity,  
601 hardness and chlorides can be added to the treated water as a function of the redox conditions  
602 during runoff as well as through variation flow, changing the contribution of the source and  
603 aquifer.

604 In summary, for public supply systems, BF can be used to make pre-treatment in already  
605 consolidated situations, that is, in systems in operation (water treatment plants), which can  
606 make the raw water quality reach the beginning of treatment with the same standards of water  
607 quality (or better standards, for example: less turbidity) as when the current treatment systems  
608 were conceived (start of operation), causing them to have a longer useful life or even a greater  
609 flow. The final considerations will be presented in the second part of this review.

610

#### 611 4. REFERENCES

612 BURGARDT, T. **Filtração em sedimento do mar como pré-tratamento a osmose reversa.**

613 Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade  
614 Federal de Santa Catarina. p. 130, Florianópolis-SC, 2017.

615 BURGARDT, T., PIZZOLATTI, B. S., BORGES, L. K., and SENS, M. L. **Filtração angular**  
616 **em sedimento de praia como pré-tratamento a osmose inversa.** in *Saneamento*

617 *Ambiental: Desenvolvimento e Qualidade de Vida na Retomada do Crescimento -*  
618 *Congresso ABES/FENASAN.* 2017. São Paulo.

619 BURGARDT, T. and SENS, M.L. **Filtração em margem de mar como pré tratamento**  
620 **para a dessalinização da água.** Revista Eletrônica do PRODEMA, 2018. 12 (1): p.

621 30-37.

622 CAMPOS, L. P. S. **Filtração em margem no tratamento de água: avaliação da aplicação**  
623 **da técnica no manancial da Lagoa do Peri, Santa Catarina, e análise prévia de**

624 **viabilidade de aplicação em Rio Grande, Rio Grande do Sul.** Trabalho de  
625 Conclusão de Curso, Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de

626 Santa Catarina- UFSC. p. 60, Florianópolis-Santa Catarina, 2012.

627 DONALD, D.; GRYGASKI, T. **Development of a Sustainable Potable Water Supply for**  
628 **Rural Villages in The Coastal Region of Tanzania, Africa.** Ontario: WW

629 Engineering, 2002. 36 p.

630 ESQUIVEL, L. G. R., GRISCHEK, T., PIZZOLATTI, B. S., MONDARDO, R. I. , and  
631 SENS, M. L. **Bank filtration in a coastal lake in South Brazil: water quality,**

632 **natural organic matter (NOM) and redox conditions study.** Clean Technologies  
633 and Environmental Policy, 2017. 19 (8): p. 2007-2020.

634 ESQUIVEL, L. G. R., PIZZOLATTI, B. S., and SENS, M. L. **Potencial de aplicação da**  
635 **filtração em margem em Santa Catarina, Brasil.** Interciência, 2016. 41, 740-747.

636 Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33948191003>. Acessado em:  
637 02 Oct. 2019

638 ESQUIVEL, L. G. R., PIZZOLATTI, B. S., and SENS, M. L. **Tratamiento de agua potable**  
639 **por filtración inducida en una laguna costera en el sur de Brasil.** Tecnología en

640 Marcha, 2012. 25 (4): p. 23-32.



- 641 GUEDES JÚNIOR, A. **Áreas de proteção ambiental para poços de abastecimento público**  
642 **em aquíferos costeiros.** Doutorado, Pós- Graduação em Engenharia de Produção,  
643 Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). p. 184, Florianópolis-SC, 2005.
- 644 GUEDES, T. L. **Avaliação do desempenho de um sistema de filtração em margem de rio**  
645 **com bombeamento fotovoltaico.** Doutorado, Pós-Graduação em Engenharia  
646 Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. p. 207, Florianópolis-SC, 2018.
- 647 GUEDES, T. L., MICHELAN, D. C. G. S., LEAL, L. L., PAIVA, A. L. R., BURGARDT, T.,  
648 CABRAL, J. J. S. P., DALSSASSO, R. L., and SENS, M. L. **Occurrence of iron in**  
649 **bank filtration wells: case studies in Ituporanga (SC) and Garanhuns (PE).**  
650 *Desalination and Water Treatment*, 2018. 101: p. 170-177.
- 651 GUEDES, T. L., SOUZA, F. H., GHISI, D. B., PEREZ, A. B. A., DALSSASSO, R. L., and  
652 SENS, M. L. **Aplicação da filtração em margem de rio como alternativa de**  
653 **tratamento de água para comunidades isoladas.** *Revista DAE*, 2019. 67: p. 84-94.
- 654 HISCOCK, K. M. and GRISCHEK, T. **Attenuation of groundwater pollution by bank**  
655 **filtration.** *Journal of Hydrology*, 2002. 266: p. 139-144.
- 656 MICHELAN, D. C. G. S. **Filtração em margem de rio precedendo a filtração lenta, para**  
657 **remoção de carbofurano, em tratamento de água para consumo humano.**  
658 Doutorado, Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa  
659 Catarina. p. 342, Florianópolis-SC, 2010.
- 660 MICHELAN, D. C. G. S., PIZZOLATTI, B. S., SOARES, M. B., DALSSASSO, R. L., and  
661 SENS, M. L. **Desempenho do sistema filtração em margem seguida de filtração**  
662 **lenta retrolavável em Ituporanga Santa Catarina.** *Revista DAE*, 2011. 59: p. 28-  
663 36.
- 664 MONDARDO, R. I. **Avaliação da filtração em margem como pré-tratamento à filtração**  
665 **direta descendente na remoção de células de cianobactérias e saxitoxinas.**  
666 Doutorado, Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Universidade Federal de Santa  
667 Catarina- UFSC. p. 291, Florianópolis- Santa Catarina, 2009.
- 668 OLIVEIRA, J. S. **Análise sedimentar em zonas costeiras: subsidio ao diagnostico**  
669 **ambiental da Lagoa do Peri – Ilha de Santa Catarina, Brasil.** Mestrado, Pós-  
670 Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC. p. 169,  
671 Florianópolis-SC, 2002.
- 672 RABELO, L. **Estudos preliminares para implantação da filtração em margem na Lagoa**  
673 **do Peri como pré-tratamento de água para remoção de fitoplâncton.** Mestrado,  
674 Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina-  
675 UFSC. p. 152, Florianópolis-Santa Catarina, 2006.
- 676 RAY, C., MELIN, G., and LINSKY, R. B. **Riverbank Filtration – improving source-water**  
677 **quality.** Vol. 43. 2003, California, USA: Kluwer Academic.
- 678 ROMERO, L. G., MONDARDO, R. I., SENS, M. L., and GRISCHEK, T. **Removal of**  
679 **cyanobacteria and cyanotoxins during lake bank filtration at Lagoa do Peri,**  
680 **Brazil.** *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2014. 16 (6): p. 1133-1143.
- 681 ROMERO, L. G., PIZZOLATTI, B. S., SOARES, M. B. D., MICHELAN, D. C. G. S., and  
682 SENS, M. L. **Bank filtration: Application in rural areas. Case studies in Santa**  
683 **Catarina, Brazil.** in *21st Century Watershed Technology: Improving Water Quality*  
684 *and Environment Conference Proceedings, 21-24 February 2010, Universidad*  
685 *EARTH, Costa Rica.* 2010. St. Joseph, MI: ASABE.
- 686 SANTOS, G. F., SILVA, J. T. N., MENDONÇA, M., and VEADO, R. W. **Análise**  
687 **ambiental da Lagoa do Peri.** *Geosul*, 1989. 4 (8): p. 101-123.
- 688 SENS, M. L. and DALSSASSO, R. L. **Bank filtration of reservoir as an efficient technique**  
689 **for water supply treatment.,** in *Reservoir and River Basin Management: Exchange*

690 of Experiences from Brazil, Portugal and Germany. GUNKEL, G.S., M.C. Technical  
691 University of Berlin: Alemanha. 253. 2007.

692 SENS, M. L., MONDARDO, R. I., DALSSASSO, R. L., and MELO FILHO, L. C. Filtração  
693 em Margem, in **Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e**  
694 **microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para**  
695 **consumo humano.** 2006, PROSAB-04: Minas Gerais. p. 173-236.

696 SILVA, R. L. **Aspectos limnológicos, variabilidade espacial e temporal na estrutura da**  
697 **comunidade fitoplanctônica da Lagoa do Peri. Santa Catarina, Brasil.** Doutorado,  
698 Universidade Federal de São Carlos-UFSCar. p. 218, 1999.

699 SIMONASSI, J. C. **Caracterização da Lagoa do Peri, através da análise de parâmetros**  
700 **físicoquímicos e biológicos, como subsídio ao gerenciamento dos recursos hídricos**  
701 **da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil.** Mestrado, Pós-graduação em Engenharia de  
702 Produção, Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC. p. Florianópolis-SC, 2001.

703 SOARES, M. **The Influence of High Infiltration Rates, Suspended Sediment**  
704 **Concentration and Sediment Grain Size on River and Lake Bed Clogging.**  
705 Doutorado, Technischen Universität Berlin. p. 143, 2015.

706 SOARES, M. B. D. **Estudo da Implantação em escala real da Filtração em Margem em**  
707 **Lago de piscicultura extensiva para dessedentação animal.** Mestrado, Pós-  
708 Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. p. 130,  
709 Florianópolis-SC, 2009.

710 SOARES, M., PIZZOLATTI, B. S., and SENS, M. L. **Estudo Hidrogeológico Preliminar**  
711 **para a Avaliação do Potencial de Colmatação do Sedimento das Margens da**  
712 **Lagoa do Peri e do Canal Sangradouro – Florianópolis – Santa Catarina – para a**  
713 **Implantação da Técnica da Filtração em Margem.** Anuário do Instituto de  
714 Geociências - UFRJ, 2019: p.

715 VARELA, S. C., GUIGUER JÚNIOR, N., ZANATTA, L., and PREIS, C. M. **Modelagem**  
716 **numérica para a avaliação da disponibilidade hídrica e da intrusão de cunha**  
717 **salina para a captação de águas subterrâneas na Lagoa do Peri.** in *XX Congresso*  
718 *Brasileiro de Águas Subterrâneas.* 2018. Campinas-SP.



**ANEXO H – Artigo submetido à revista científica – Parte 2**

1 **A REVIEW OF SEVENTEEN YEARS OF BANK FILTRATION**  
2 **IN BRAZIL: RESULTS, BENEFITS AND CHALLENGES –**  
3 **PART 2: STATES OF PERNAMBUCO AND MINAS GERAIS**

4  
5 **ABSTRACT**

6 This work is the second part of “A Review of seventeen years of bank filtration in  
7 Brazil: results, benefits, and challenges”. Part 2 describes the research on water treatment  
8 carried out in the states of Pernambuco (Olinda city, metropolitan region of Recife and region  
9 of Garanhuns) and Minas Gerais (Viçosa city). The main benefit of bank filtration (BF) is that  
10 it is an alternative way of obtaining a higher quality raw water compared to the traditional  
11 water supply methods when local geological conditions are favorable. BF technology  
12 highlights other relevant aspects: it may become one of the main water pretreatments in rivers  
13 or lakes with sandy sediments; it is possible to obtain quality water in a well up to the first  
14 impenetrable layer (30 m deep); the technology removes 100% of total and fecal coliforms; it  
15 may reduce water turbidity at high levels; its pretreatment application may reduce the amount  
16 of inputs in the water and consequently, the generated sludge.

17  
18  
19 **Keywords:** Bank Filtration; Water Treatment; Local Geological Conditions; Pretreatment;  
20 Impenetrable Layer.

21  
22  
23 **RESUMO**

24 Este trabalho é a segunda parte de “A Review of seventeen years of bank filtration in Brazil:  
25 results, benefits, and challenges”. A parte 2 descreve as pesquisas sobre tratamento de água  
26 realizadas no estado de Pernambuco (cidade de Olinda, região metropolitana de Recife e  
27 região de Garanhuns) e estado de Minas Gerais (cidade de Viçosa). O principal benefício da  
28 filtração em margem (FM) é ser uma forma alternativa de obtenção de água bruta de melhor  
29 qualidade em comparação com os métodos tradicionais de captação de água, quando as  
30 condições geológicas locais são favoráveis. A tecnologia de FM destaca outros aspectos  
31 relevantes: pode se tornar um dos principais pré-tratamentos de água em rios ou lagos com  
32 sedimentos arenosos; é possível obter água de qualidade em poço até a primeira camada  
33 impenetrável (30 m de profundidade); a tecnologia remove 100% dos coliformes totais e  
34 fecais; pode reduzir a turbidez da água em altos níveis; a aplicação como pré-tratamento pode  
35 reduzir a quantidade de insumos na água e, conseqüentemente, o lodo gerado.

36  
37 **Palavras-chave:** Filtração em Margem; Tratamento de água; Condições Geológicas Locais;  
38 Pré-tratamento; Camada Impenetrante.

40 **1. INTRODUCTION**

41 This second part of “A Review of seventeen years of bank filtration in Brazil: results,  
42 benefits, and challenges” (continuation of Part 1 - State of Santa Catarina) consolidates the  
43 results obtained over 17 years of studying BF in Brazil to date and draws attention to the main  
44 advantages and challenges of the technique; that is, the state of the art at the national level. It  
45 illustrates the research performed in the states of Pernambuco and Minas Gerais, where results  
46 were compiled in a result matrix, from which tables were created containing physical,  
47 chemical, biological, and specific contaminant parameters. For each grouping of results, there  
48 was a discussion of the elaborated table.

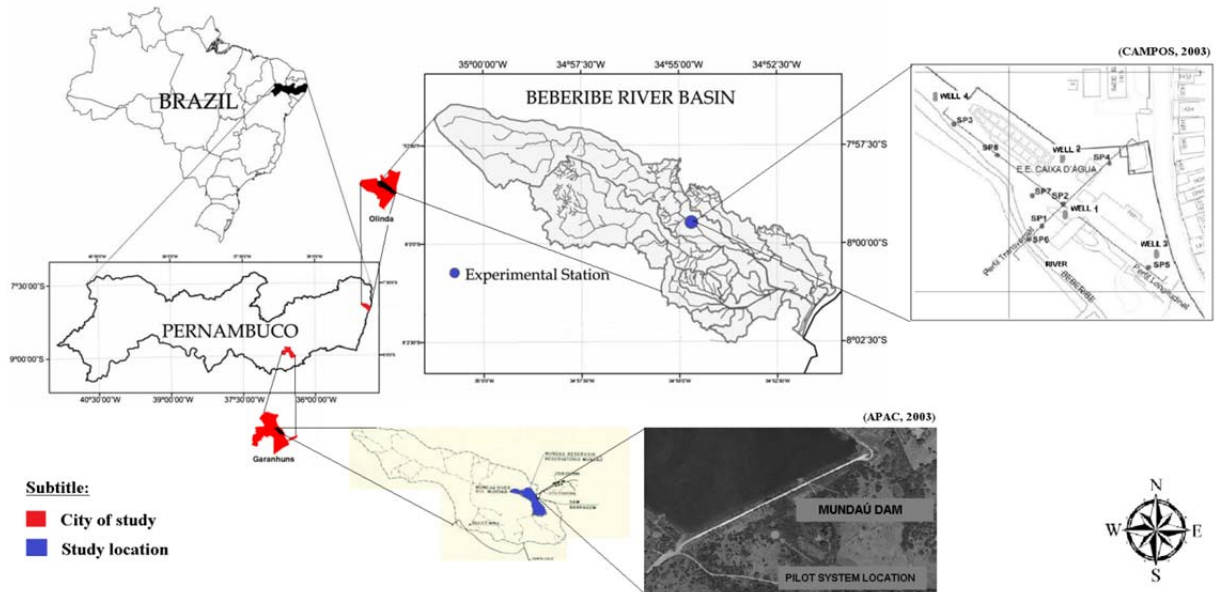
49 A bibliographic search was conducted in the national and international databases, which  
50 included articles, theses, dissertations, book chapters and course conclusion, totaling 53 (27 in  
51 Part 1 and 26 in Part 2) documents that suggested that research on the subject is concentrated  
52 in the states of Santa Catarina, Pernambuco and Minas Gerais (**Figure 1**).  
53



54 **Figure 1** - Map of Brazil indicating the three federative states involved in BF research: Santa  
55 Catarina, Minas Gerais and Pernambuco states  
56  
57 Source: Authors (Part 1)  
58

59  
60  
61 **2. STUDIES CARRIED OUT IN THE STATE OF PERNAMBUCO**  
62

63 BF as a method of water pre-treatment in the state of Pernambuco (PE) took place in  
64 partnership with Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). The first  
65 experimental station in the state was installed at the Caixa d'Água Elevatory Station, in  
66 Olinda, on the banks of the Beberibe River, in the metropolitan region of the city of Recife,  
67 Pernambuco (PAIVA, 2009). Other studies in Pernambuco occurred in a semi-arid region in  
68 the city of Garanhuns, in the Mundaú Public Supply Reservoir, which has an advanced  
69 eutrophication process. The study sites in Pernambuco are shown in **Figure 2**.



**Figure 2** - Study sites for the BF technique in the state of Pernambuco, Brazil  
 Source: Adapted from APAC and Campos (2003)

## 2.1 Beberibe River - Olinda (PE) - Characterization of the banks of Beberibe River

The study site of the Beberibe River basin is located between the UTM coordinates of 261228.80 m E and 9105854.46 m S, zone 25, located in the metropolitan region of Recife, crossing the municipalities of Recife, Olinda and Camaragibe (CAMPOS, 2003). The river has a predominant west-east orientation, with a drainage area of 81 km<sup>2</sup>. It has a length of around 19 km, from the confluence of the Araça and Pacas rivers to the end of the Atlantic Ocean. In normal periods, the river is narrow, approximately 6 m wide (PAIVA, 2009).

The study area is located on the COMPESA site, where water is pumped to two treatment stations that serve some neighborhoods in Recife and Olinda (FREITAS, 2018), with the study site situated the UTM coordinates of 9115500.00 to 9116000.00 m E and 289500.00 to 290000.00 m S, zone 25, which is on the border between Olinda and Recife. Even though the region is highly urbanized, it is close to the Ecological Reserves of Mata de Passarinho and Mata Dois Unidos (located in higher quotas), which provide an adequate groundwater recharge in the region (PAIVA, 2009).

The researchers' interest in this region was motivated by the fact that, according to data from the monitoring network of the Environment and Water Resources Company of Pernambuco (CPRH), there are high rates of fecal coliform concentration. Moreover, there are difficulties related to intense industrial, urban (domestic sewage, runoff) and agricultural activity, riparian deforestation, construction of highways and bridges, rainwater drainage from highways and dumps, all of which impact the Beberibe watershed (PAIVA *et al.*, 2010).

The project was installed on the banks of the Beberibe River, presenting silt-clay material, which continually grades to sand and then clay with thickness varying between 2 and 5 m. Sequentially, several layers of coarse, medium, and fine sand were found, up to 18 m, where the sandy silt begins and subsequently, clay. There is also a peat layer under the riverbed (PAIVA, 2009; PAIVA *et al.*, 2010; VERAS, 2011; FREITAS *et al.*, 2012; FREITAS, 2018).

The granulometric analysis of the riverbank (0.2 m deep) indicated silty-clay sand sediments, with 44% sand, 29.8% silt and 24.99% clay, with 8.46% of OM. The riverbed sediments (0.3 m deep) showed characteristics that varied from coarse to very fine sand, composed with a range of 57.95% to 96.75% of sand. According to the studies, the amount of

105 OM fluctuated between 0.46% to 11.1%, which was higher at the bank (VERAS, 2011;  
106 ALBUQUERQUE, 2015; VERAS *et al.*, 2016; FREITAS, 2018).

107 The riverbed infiltration rates varied between  $1 \times 10^{-3}$  m/s and  $1.19 \times 10^{-3}$  m/s. Freitas (2018)  
108 pointed out that the average diameter of the sediments in the first 5 cm of the hyporrheic zone  
109 was approximately 0.067 mm. As it was as much as 10 cm deep, the sediment had an average  
110 diameter of 0.057 mm.

111 The hyporrheic fauna found in two different points of the Beberibe River is distributed in  
112 groups corresponding to rotifers (2% to 68%), nematodes (18% to 41%) and annelids (14% to  
113 54%), 3% of which are other taxonomic groups (VERAS *et al.*, 2016; FREITAS, 2018), with  
114 local groups as the most representative (96% dominance) (ALBUQUERQUE, 2015).

115

### 116 **2.1.1 Characterization of the production well surroundings**

117

118 Granulometric tests at a depth of 7 to 7.45 m denoted a composition of 37% gravel, 23%  
119 coarse sand, 20% medium sand, 18% fine sand and 2% silt and clay. At a depth of 15 to 45 m,  
120 the test indicated a marked presence of fine sand (63%), in addition to medium sand (23%),  
121 clay (10%) and silt (4%) (PAIVA, 2009; PAIVA *et al.*, 2010).

122 The pumping tests showed that there is a hydraulic conductivity in the locale, varying  
123 between  $1.4 \times 10^{-5}$  and  $1.7 \times 10^{-5}$  m/s, mainly due to the coarse sand layer identified in the  
124 lithological profiles. The hydraulic conductivity of the aquifer measured by piezometers is  
125 approximately  $3.0 \times 10^{-5}$  m/s (PAIVA, 2009; PAIVA *et al.*, 2010).

126 The production well (P1), 15 m from the Beberibe River, was built 15 m deep, 6 inches in  
127 diameter, with a filter section between 6 and 13 m. After the flow tests, it stabilized between  
128  $12.5 \text{ m}^3/\text{h}$  and  $12.6 \text{ m}^3/\text{h}$  (3.47 and 3.5 L/s), and the potentiometric studies indicated the flow  
129 of natural water towards the well, which was intensified during pumping (PAIVA, 2009;  
130 FREITAS, 2010; PAIVA *et al.*, 2010; CABRAL *et al.*, 2011; FREITAS *et al.*, 2011; VERAS,  
131 2011; FREITAS *et al.*, 2012; DEMÉTRIO *et al.*, 2013; FREITAS *et al.*, 2017). Nonetheless,  
132 the authors found the hydraulic connection between the river, well and aquifer. Santos (2010)  
133 was able to confirm this through isotope analyses.

134 A series of studies was carried out based on P1, however, in 2012, 3 more production wells  
135 were installed on site. In relation to the first production well, the new wells were located in  
136 the north (P2), southeast (P3) and northwest (P4), as shown in **Figure 3**. Each one had  
137 characteristics similar to P1, with 6 inches in diameter and 15 m depth with a filter section  
138 between 6 and 12 m. The average flow of the wells was  $9.57 \text{ m}^3/\text{h}$  (2.7 L/s) in P2,  $9.13 \text{ m}^3/\text{h}$   
139 ( $2.5 \text{ L/s}$ ) in P3 and  $9.8 \text{ m}^3 / \text{h}$  (2.72 L/s) in P4. Although, the latter well has not yet been  
140 studied. In the same way, there was a hydraulic connection between the wells, the aquifer and  
141 the shallow source (FREITAS *et al.*, 2012, 2017; FREITAS, 2018).

142

### 143 **2.1.2 Characterization of water quality: physical and chemical parameters**

144

145 The following are the compilations of physical, chemical, biological and contaminant  
146 parameters analyzed in the BF system on the Beberibe River, through production wells P1, P2  
147 and P3, between 2009 and 2018. P2 has not been extensively studied.

148 Freitas (2018) conducted research on the P2 and P3 well systems, with the location  
149 characterization of the facilities, which is mainly maintained by evaluating the hyporrheic  
150 zone of the Beberibe River. Thus, the performed water analysis of physical and chemical  
151 parameters served as complementary information in the research area. Veras (2011) achieved  
152 the parameters analysis at P1 through monitoring records over 6 months, identifying turbidity  
153 values less than 1.6 NTU in FW, while RW reached concentrations greater than 140 NTU.  
154 Similarly, the apparent color showed maximum levels of about 30 Pt – Co Units in the FW, in

155 a period of intense rains, while the RW had rates greater than 320 Pt – Co Units. These results  
 156 have not been tabulated.

157 **Table 1** presents the physical parameters assessed at different times of the BF system  
 158 operation applied in the Beberibe River by some authors, according to the references in the  
 159 table.

160 The P1 studies demonstrate great variation of apparent color and turbidity in the source.  
 161 However, BF proved to be quite efficient in its removal. The average removal percentage  
 162 involves the results obtained by different researchers over time, without obtaining less than  
 163 98% apparent color removal (ALBUQUERQUE, 2015; VERAS *et al.*, 2017), and less than  
 164 95% turbidity removal (PAIVA, 2009; FREITAS, 2010; PAIVA *et al.*, 2010; FREITAS *et al.*,  
 165 2012, 2013 and 2017). In the P3 studies by Freitas *et al.* (2017), they obtained excellent  
 166 results in removing these two physical parameters as well. An SS removal of 98% at P1 was  
 167 also observed (PAIVA, 2009).

168  
 169  
 170 **Table 1 – Results of the physical parameters obtained in the Beberibe River**

	Apparent color (Pt–Co Units)	Turbidity (NTU)	SS (mg/L)	Temperature (°C)
<b>Ref.</b>	(ALBUQUERQUE, 2015; FREITAS <i>et al.</i> , 2017)	(ALBUQUERQUE, 2015; FREITAS, 2010; FREITAS <i>et al.</i> , 2012, 2013, 2017; PAIVA, 2009; PAIVA <i>et al.</i> , 2010)	(PAIVA, 2009)	(FREITAS <i>et al.</i> , 2017)
<b>RW</b>	169, to 180.3	14.3 to 87.62	75.27	27.6
<b>FW (P1)</b>	0 to 2.7	0.09 to 1.12	<1.63	27.3
<b>% average removal</b>	99	98	98	x
	<b>Apparent color (Pt–Co Units)</b>	<b>Turbidity (NTU)</b>	<b>SS (mg/L)</b>	<b>Temperature (°C)</b>
<b>References</b>	(FREITAS <i>et al.</i> , 2017)	(FREITAS <i>et al.</i> , 2017)	(FREITAS <i>et al.</i> , 2017)	(FREITAS <i>et al.</i> , 2017)
<b>RW</b>	169.1	44	x	27.6
<b>FW (P3)</b>	1.8	0.04	x	27.5
<b>% removal</b>	99	100	x	x

171 **RW**- raw water (source-Beberibe River); **FW**- filtered water (production wells); **NTU**- Turbidity Unit; **SS**- Suspended solids.  
 172 Source: Adapted from Paiva (2009); Freitas (2010); Paiva *et al.* (2010); Freitas *et al.* (2012 and 2013); Albuquerque (2015) and Freitas *et al.*  
 173 (2017)

174  
 175 Regarding the chemical results analyzed in well P1, **Table 2** shows a considerable decrease  
 176 in alkalinity, but a less pronounced alkalinity of bicarbonates, calcium, copper, nickel,  
 177 manganese and total hardness. In these studies, the removal of 100% chromium and 96% total  
 178 iron stands out. The pH also showed a small decrease.

179 In Paiva's *et al.* (2010) studies at P1, unlike what was observed in **Table 2**, there was a 2-  
 180 fold increase in the concentration of manganese. Zinc also varied, with a 1.4-fold increase in  
 181 P1 water (PAIVA, 2009) and a 13% removal in 2010 (FREITAS, 2010) (results not  
 182 tabulated). The electrical conductivity slightly fluctuated, with a decrease of 4% (PAIVA,  
 183 2009; FREITAS *et al.*, 2017) and a 1.1-fold increase of (FREITAS, 2010; PAIVA *et al.*,  
 184 2010; FREITAS *et al.*, 2012). Unlike the results in **Table 2**, the hardness in Freitas' works  
 185 had a 1.3-fold increased (FREITAS, 2010; PAIVA *et al.*, 2010; FREITAS *et al.*, 2012). The  
 186 increase in electrical conductivity and total hardness (FREITAS *et al.*, 2012) were attributed  
 187 to the leaching of some compounds from the soil or changes in redox conditions.

188  
 189  
 190  
 191



**Table 2** – Results of the chemical parameters obtained in P1

	Total Alc. (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Alc. of bicar. in CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	Total hardness (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Chlorides (mg Cl/L)	pH	Ferro total (mg/L)	Mn <sup>2+</sup> (mg/L)	Cu <sup>+</sup> (mg/L)	Cr <sup>3+</sup> (mg/L)	Ni <sup>2+</sup> (mg/L)
<b>Ref.</b>	(ALBUQUERQUE, 2015; FREITAS, 2010; PAIVA, 2009)	(PAIVA, 2009)	(PAIVA, 2009)	(ALBUQUERQUE, 2015; FREITAS, 2010; FREITAS <i>et al.</i> , 2012, 2017; PAIVA, 2009)	(ALBUQUERQUE, 2015; FREITAS <i>et al.</i> , 2017)	(ALBUQUERQUE, 2015; FREITAS, 2010; FREITAS <i>et al.</i> , 2012, 2017; PAIVA, 2009)	(FREITAS, 2010; FREITAS <i>et al.</i> , 2012; PAIVA, 2009; PAIVA <i>et al.</i> , 2010)	(FREITAS, 2010; FREITAS <i>et al.</i> , 2012; PAIVA, 2009; PAIVA <i>et al.</i> , 2010)	(FREITAS, 2010; PAIVA, 2009; PAIVA <i>et al.</i> , 2010)	(FREITAS, 2010; PAIVA, 2009)	(FREITAS, 2010; PAIVA, 2009)
<b>RW</b>	25.64 to 101.8	25.64	9.41	30.69 to 87.6	22.5 to 40.1	6.6 to 7.5	1.59 to 2.31	0.01 to 0.057	0.01 to 0.072	0.028 to 0.033	0.38
<b>FW (P1)</b>	12.09 to 18.3	12.09	5.7	33.24 to 49.2	30.1 to 30.4	5.5 to 6.6	0.05 to 0.098	0.02 to 0.038	< 0.01 to 0.026	0	0.31
<b>% average removal</b>	71	53	40	36	15	x	96	30	55.6	100	25

193 **RW**- raw water (source-Beberibe River); **FW**- filtered water (production well).

194 Source: Adapted from Paiva (2009); Freitas (2010); Paiva *et al.* (2010); Freitas *et al.* (2012 and 2013); Albuquerque (2015) and Freitas *et al.* (2017)

195  
196  
197 Veras (2011), through monitoring P1 over time, found a decrease in pH, electrical  
198 conductivity, total alkalinity and total hardness of filtered water in relation to raw water  
199 (results not tabulated).

200 **Table 3** shows an average removal of more than 50% of all evaluated parameters  
201 (ammonia, nitrite, nitrate, BOD and COD), indicating the degradation of the compounds  
202 present in RW as it infiltrates the soil. The removal of 100% nitrites and 90% ammonia stands  
203 out.

204  
205

**Table 3** – Other results of chemical parameters obtained in P1

	DOC (mg/L)	NH <sub>3</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
<b>Ref.</b>	(FREITAS <i>et al.</i> , 2012)	(ALBUQUERQUE, 2015; FREITAS, 2010; FREITAS <i>et al.</i> , 2012; PAIVA, 2009; PAIVA <i>et al.</i> , 2010)	(ALBUQUERQUE, 2015; FREITAS, 2010; FREITAS <i>et al.</i> , 2012; PAIVA, 2009; PAIVA <i>et al.</i> , 2010)	(ALBUQUERQUE, 2015; FREITAS, 2010; FREITAS <i>et al.</i> , 2012; PAIVA, 2009; PAIVA <i>et al.</i> , 2010)	(FREITAS, 2010; FREITAS <i>et al.</i> , 2012; PAIVA, 2009; PAIVA <i>et al.</i> , 2010)	(FREITAS, 2010; PAIVA, 2009; PAIVA <i>et al.</i> , 2010)
<b>RW</b>	26.8	0.29 to 4.81	0 to 5.3	0.88 to 3.3	3.27 to 6.17	11 to 27.18
<b>FW (P1)</b>	9.2	0.2 to 0.448	0 to 0.005	0.003 to 0.51	0.81 to 2.43	3 to 15.27
<b>% average removal</b>	66	90	100	73	68	58

206 **RW**- raw water (source-Beberibe River); **FW**- filtered water (production well); **% average removal** - average removal of the parameter in  
207 the FW; **DOC** - dissolved organic carbon; **BOD**- Biochemical oxygen demand; **COD** - Chemical oxygen demand; **NH<sub>3</sub>** - Ammonia; **NO<sub>2</sub><sup>-</sup>**  
208 Nitrite; **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** - Nitrate.

209 Source: Adapted from Paiva (2009); Freitas (2010); Paiva *et al.* (2010); Freitas *et al.* (2012) and Albuquerque (2015)

210  
211 Despite the oscillations observed in the raw water throughout the monitoring, there was a  
212 large removal of nitrogen compounds in the research by Veras (2011), with ammonia, nitrite  
213 and nitrate presenting results very close to zero most of the time.

214 **Table 4** shows the results of some chemical parameters evaluated in P2 and P3. The table  
215 highlights the BF's efficiency in removing 97% of magnesium (FREITAS, 2018). A small  
216 decrease in the conductivity of P2 (FREITAS, 2018) and P3 was also observed, oscillating  
217 between a decrease of 4.45% (FREITAS *et al.*, 2017) (A) and an 1.2-fold increase in FW in  
218 relation to RW (FREITAS, 2018) (B).

**Table 4 - Results of some chemical parameters obtained in P2 and P3**

Ref.	Chlorides (mg Cl <sup>-</sup> /L)	Electrical conductivity (μS/cm) A	Electrical conductivity (μS/cm) B	Total hardness (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	pH
	(FREITAS <i>et al.</i> , 2017)	(FREITAS <i>et al.</i> , 2017; FREITAS, 2018)	(FREITAS, 2018)	(FREITAS <i>et al.</i> , 2017)	(FREITAS, 2018)	(FREITAS <i>et al.</i> , 2017; FREITAS, 2018)
<b>RW</b>	x	394.75	x	x	3.125	6.76
<b>FW (P2)</b>	NA	345	x	x	0.1	7.22
<b>% average removal</b>	x	13	x	x	97	x
<b>RW</b>	22.5	247	394.75	31.3	3.125	6.6 to 7.2
<b>FW (P3)</b>	35.4	236	475.75	37.3	0.1	5.4 to 6.54
<b>% average removal</b>	x	4.45	x	x	97	x
<b>FW/RW</b>	1.6	x	1.2	1.2	x	x

**RW**- raw water (source-Beberibe River); **FW**- filtered water (production well); **FW/RW** - increment of the parameter in FW.  
Source: Adapted from Freitas *et al.* (2017) and Freitas (2018)

220  
221  
222

223 Freitas *et al.* (2017) recorded an increase in chlorides and total hardness in P1 and P3 as  
224 well as a decrease in electrical conductivity and pH in both wells. Such changes were related  
225 to the degradation of OM, physical-chemical processes and dissolution of compounds during  
226 filtration. In addition, a redox potential of -66.2 mV in P2 and 5.42 mV in P3 was observed  
227 (FREITAS, 2018).

### 228 2.1.3 Biological parameters and specific contaminant

229

230 The following tables (**Table 5** and **Table 6**) demonstrate the efficiency of BF in removing  
231 microbiological parameters. It is possible to observe a great variation of total coliforms and *E.*  
232 *coli* in the source with time. However, even in periods of high concentrations ( $\geq 160,000$ ), as  
233 in the studies by Freitas *et al.* (2013 and 2017), the absence of these parameters in the water of  
234 the production well were verified. Freitas *et al.* (2017) also evaluated total coliforms in well  
235 P3, obtaining the same result.

236

237

**Table 5 - Results of some biological parameters evaluated in well P1**

Parameters	References	Raw water-Beberibe River	Filtered water P1 production well
<b>Cyanobacteria (cells/mL)</b>	(FREITAS, 2010; FREITAS <i>et al.</i> , 2012)	~1,678 to ~15,286	Absent
	(FREITAS, 2010)	1,516 to 48,932	< 2.0
	(PAIVA <i>et al.</i> , 2010)	>160,000	< 2.0
<b>Total coliforms (MPN/100 mL) A</b>	(FREITAS <i>et al.</i> , 2012)	1,516 to 30,804	Absent
	(FREITAS <i>et al.</i> , 2013, 2017)	$\geq 1,600$ to $\geq 160,000$	Absent
	(ALBUQUERQUE, 2015)	>1,600 to >1,160	Absent
	(FREITAS, 2010)	300 to 4,220	Absent
	(PAIVA <i>et al.</i> , 2010)	>160,000	< 2.0
<b><i>E. coli</i> (MPN/100 mL)</b>	(FREITAS <i>et al.</i> , 2012)	300 to 3,428	Absent
	(FREITAS <i>et al.</i> , 2013)	50,000 to $\geq 160,000$	Absent
	(ALBUQUERQUE, 2015)	>60 to >1,600	Absent

Source: Adapted from Freitas (2010); Paiva *et al.* (2010); Freitas *et al.* (2012 and 2013); Albuquerque (2015) and Freitas *et al.* (2017)

238

239



240 Contrary to the results in **Table 5**, the monitoring carried out by Veras (2011) in well P1,  
 241 showed that only 50% of the samples performed in the well had absent thermotolerant  
 242 coliforms, with an average presence of < 2 MPN/100 mL, which was the lowest concentration  
 243 of total coliforms.

244 Another interesting study conducted in wells P1 and P2 was about the efficiency of BF in  
 245 removing pathogenic microorganisms from water, such as protozoa and helminths (FREITAS  
 246 *et al.*, 2013 and 2017), as shown in **Table 6**. The results found in RW correspond to the  
 247 parameter percentage of 16 total samples.

248 Veras *et al.* (2017) also verified the BF potential in the removal of drugs. The contaminant  
 249 found, with the specific constancy in the Beberibe River, was a widely used anti-  
 250 inflammatory, diclofenac. Contaminant concentrations in RW ranged from 0.029 to 0.055  
 251 mg.L<sup>-1</sup> in wells P1 and P2, results were obtained from 0 to 0.009 mg.L<sup>-1</sup>, demonstrating that  
 252 BF has great potential in attenuating this contaminant.

253  
 254 **Table 6** - Results of BF studies on the removal of protozoa and helminths found in the  
 255 Beberibe River

	Ancilostomid eo spp.	Ascaris lumbricoides	Cryptospori- dium spp.	Endolimax nana	Entamoeba coli	Entamoeba histolytica/E. disparae	Giardia spp.	Hymenolepis nana/H. diminutive	Iodamoeba butschlii	Isospora belli	Paramecium spp.	Strongyloide s stercoralis
<b>Ref.</b>	(FREITAS <i>et al.</i> , 2013, 2017)	(FREITAS <i>et al.</i> , 2013, 2017)	(FREITAS <i>et al.</i> , 2017)	(FREITAS <i>et al.</i> , 2013)	(FREITAS <i>et al.</i> , 2013)	(FREITAS <i>et al.</i> , 2013, 2017)	(FREITAS <i>et al.</i> , 2013, 2017)	(FREITAS <i>et al.</i> , 2013, 2017)	(FREITAS <i>et al.</i> , 2013)	(FREITAS <i>et al.</i> , 2013, 2017)	(FREITAS <i>et al.</i> , 2013)	(FREITAS <i>et al.</i> , 2013, 2017)
<b>RW</b>	25% and 44%	100% and 69%	75 %	100%	50%	100% and 50 %	75% and 50%	63% and 38%	88%	88% and 6%	88%	38% and 81%
<b>FW (P1)</b>	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
<b>RW</b>	44%	69%	75 %	NA	NA	50%	50%	38%	NA	6%	NA	81%
<b>FW (P3)*</b>	A	A	A	NA	NA	A	A	A	NA	A	NA	A

256 **RW**- raw water (source-Beberibe River); **FW**- filtered water (production well); A- Absent; NA- Not Analyzed. \* The analyses in P3 were  
 257 performed in the 2017 studies by Freitas, (FREITAS *et al.*, 2017).

258 Source: Adapted from Freitas *et al.* (2013 and 2017)

259  
 260  
 261 **2.1.4 Modeling**

262 Throughout the years that corresponded to the efficiency studies of the BF pilot system  
 263 applied to the Beberibe River, two different surveys were applied in 2013 (PAIVA, 2013) and  
 264 2015 (SANTOS *et al.*, 2015), which focused on mathematical modeling and simulations, as  
 265 seen in **Table 7**.

266  
 267  
 268 **Table 7** - Synthesis of the models elaborated from field research

Hypotheses	Scenarios	Main Results
Understand the flow processes between the Beberibe River and the aquifer system through pumping induced by a production well (PAIVA,	Simulation in dry period (0 to 183 days) with recharge of 218 mm/year	Hydraulic loads (drawdown) reached levels lower than -2.0 m around the production well.  There was a contribution from the river in its upstream stretch: 6.41 m <sup>3</sup> / day leaving laterally from the first layer to the left bank, and 25.50 m <sup>3</sup> / day vertically.
	Simulation in rainy	Hydraulic loads (drawdown) reached levels below -1.7 m around the production well.

Hypotheses	Scenarios	Main Results
2013).	season (183 to 365 days) with recharge of 571 mm / year	The flow occurred in the direction of the river to the production well, in its upstream section, in the values of 17.97 m <sup>3</sup> / day, exiting laterally from the first layer to the left bank, and 40.93 m <sup>3</sup> / day vertically.
	Both scenarios	About 20% of the pumping flow corresponded to the Beberibe River contribution. The potentiometric maps show that the underground flow occurred in the direction of the river's flow, from right to left, with an inflow of underground flow in the northwest direction, due to the existing natural recharge zone. Contribution of the river to the aquifer only in the area upstream of the dam, since the hydraulic load on the river is greater in this stretch.
Develop a numerical model of the river-aquifer interaction on the banks of the Beberibe River and analyze the sensitivity of conductance and recharge (SANTOS <i>et al.</i> , 2015).	Dry season	Levels less than -2 m around the well -2.3 m.
	Wet season	Levels less than -1.7 m, -1.6 m and -2 m. Sharp lowering of the groundwater around the production well.
	Other variations	The effect on the hydraulic load caused by variations in the conductance values is not significant. As for the recharge contour condition, due to precipitation and flow from the recharge zone of the free aquifer, there was a greater sensitivity in variations in hydraulic loads.

Source: Adapted from Paiva (2013) and Santos *et al.* (2015)

## 2.2 Mundaú Public Supply Reservoir - Guaranhuns (PE) - Characterization of the production well surroundings

The watershed of the Mundaú River is located in the states of Pernambuco and Alagoas. The Mundaú River rises in the municipality of Garanhuns, a semi-arid region in Pernambuco, where it spans approximately 69 km. The Mundaú River basin, in its entire length, has an area of 4,090.39 km<sup>2</sup>, of which 2,154.26 km<sup>2</sup> is in Pernambuco. The Mundaú basin has three reservoirs, the Mundaú-Guaranhuns Public Supply Reservoir with a capacity of 1,968,600 m<sup>3</sup> (APAC).

The BF production well was built on land that belongs to COMPESA, at the UTM coordinates of 9016346.00 m E and 775746.00 m S, zone 24 (SANTOS *et al.*, 2011 and 2014; GUEDES *et al.*, 2018). This dam is one that is responsible for the water supply in that municipality and was chosen for this study because it presents frequent blooms of cyanobacteria and receives water effluents from the municipality. The water flows from the body and base of the dam to the production well in a natural way (SANTOS *et al.*, 2011).

To implement the production well, it was decided to change the soil, building two trenches parallel to the well, 10 m long, 1 m wide and 1 m deep, with a total capacity of 10 m<sup>3</sup>, in order to improve the water collection captured by the well as the region has very shallow soil layers, which could harm the BF system (SANTOS *et al.*, 2011 and 2014; GUEDES *et al.*, 2018). Both trenches were filled with medium and coarse sand (diameter between 0.5 and 2.0 mm), generating high permeability.

The production well was built 38 m from the base of the dam, with a depth of 2.5 m and a diameter of 1 m. The two trenches were located 4 m away from the well in the center (SANTOS *et al.*, 2011 and 2014; GUEDES *et al.*, 2018). The system was operated with intermittent pumping, with the applied flow varying throughout the studies.

The granulometry tests carried out with material collected up to 1 m deep showed medium sand (32%), fine sand (28%), clay (21.5%), silt (12%), coarse sand (5 %) and gravel (1.4%) in its composition. In the first depth of 2.5 m, there was a higher occurrence of fine sand (36%), clay (24%), medium sand (19%), silt (14%), coarse sand (5%) and gravel (2.5 %) (SANTOS *et al.*, 2011).

### 2.2.1 Characterization of water quality: physical and chemical parameters

Santos *et al.* (2011) were the pioneers in research involving the system applied in the Mundaú Reservoir, with a flow rate of 1.37 m<sup>3</sup>/h (0.38 L/s). As seen in **Table 7**, the technology was efficient in removing turbidity. It also showed a considerable decrease in pH

307 (2.21 pH units) and a 48% decrease in DO. The influencing factors in the aforementioned  
 308 parameters are based on the OM degradation that occurs during the filtration process  
 309 (SANTOS *et al.*, 2011; GUEDES *et al.*, 2018).

310 The authors pointed out the influence of groundwater on the resulting electrical  
 311 conductivity, considering that the water from the dam possibly receives an increase in salinity,  
 312 and the sediments do not have the necessary capacity to retain salts. The high electrical  
 313 conductivity was presented as a factor characteristic of shallow aquifers, and, considering the  
 314 lesser depth of the well, it was assumed that there is greater dissolution of salts in the medium  
 315 (SANTOS *et al.*, 2011).

316 The analysis of total iron, in turn, was the object of study by Guedes *et al.* (2018), through  
 317 a flow of 0.53 m<sup>3</sup>/h (0.15 L/s). It is observed in **Table 8** that there was an increase in FW of  
 318 100 times in relation to RW.

319  
 320 **Table 8** – Physical and chemical parameters obtained in BF studies in the Mundaú Reservoir

	Turbidity (NTU)	Temp. (°C)	pH	Electrical conductivity (µS/cm)	DO (mg/L)	Total iron (mg/L)
Ref.	(GUEDES <i>et al.</i> , 2018; SANTOS <i>et al.</i> , 2011)	(SANTOS <i>et al.</i> , 2011)	(GUEDES <i>et al.</i> , 2018; SANTOS <i>et al.</i> , 2011)	(SANTOS <i>et al.</i> , 2011)	(GUEDES <i>et al.</i> , 2018; SANTOS <i>et al.</i> , 2011)	(GUEDES <i>et al.</i> , 2018)
<b>RW</b>	27.32 to 44.1	28.24	8.46 to 8.5	586.6	7.2 to 8.2	0.3
<b>FW</b>	13.3 to 14.2	24.88	6.25 to 6,	1112.2	3.58 to 4.4	30.1
<b>% average removal</b>	61	x	x	x	48	x
<b>FW/RW</b>	x	x	x	1.9	x	100

321 **RW**- raw water (Mundaú Reservoir); **FW**- filtered water (production well); **FW / RW** - increment of the parameter in the FW; **NTU**-  
 322 Turbidity Unit; **DO**- Dissolved oxygen.

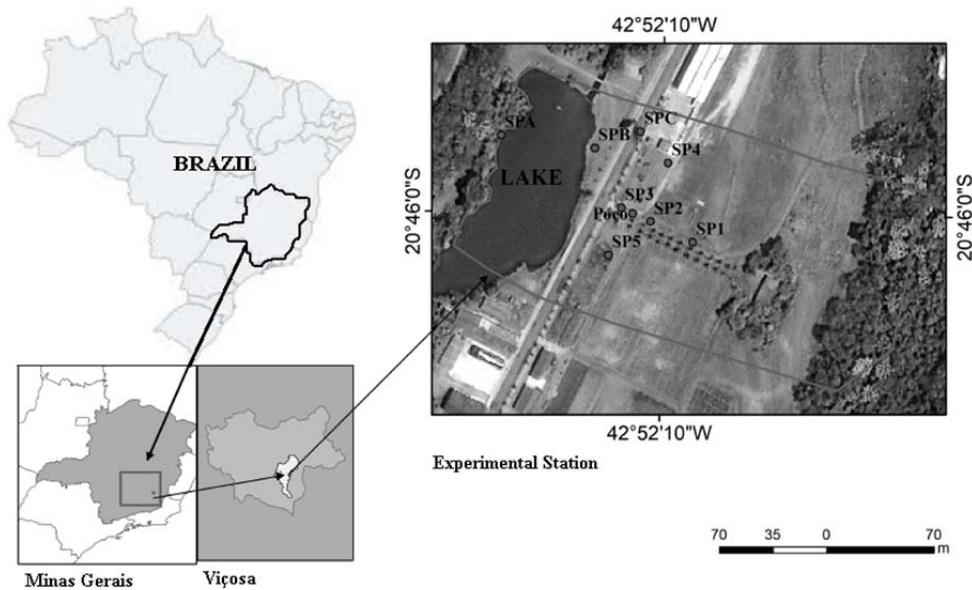
323 Source: Adapted from Santos *et al.* (2011) and Guedes *et al.* (2018)

324  
 325 Applying a lower flow rate than those from their studies in 2011 (0.24 m<sup>3</sup>/h (0.07 L/s) and  
 326 2014, Santos *et al.* (2014) obtained results that indicated turbidity removal, decreased pH and  
 327 DO, in addition to increased electrical conductivity, similar to previous studies. However, the  
 328 authors included the analysis of the iron parameter, and the total concentrations found in the  
 329 FW corresponded to levels of up to 46 mg/L, while in the raw water there was a close  
 330 variation to zero, a result even greater than that found by Guedes *et al.* (2018). The authors  
 331 still cited the existence of cyanobacteria in the reservoir water but did not identify their  
 332 presence in filtered water.

### 333 334 **3 LAGOA UFV LAKE- VIÇOSA (MG)**

335 Viçosa is a municipality in the southern region of the state of Minas Gerais (MG). The BF  
 336 system was installed in a microbasin located on the premises of the Federal University of  
 337 Viçosa (ROCHA, 2015; ROCHA and MARQUES, 2016 and 2018) between the UTM  
 338 coordinates of 722976.32 m E and 720336.30 m E, 7703120.40 m S and 7700386.54 m S,  
 339 zone 23S, as shown in **Figure 3**. The pilot project was implemented in the experimental field  
 340 of Prof. Diogo Alves de Mello, in the period between May/2013 and October/2013 (ROCHA,  
 341 2015).

342



**Figure 3** – Location map of the study area - State of Minas Gerais

Source: Adapted from Rocha (2015)

### 3.1 Characterization of the production well surroundings

The facilities near the lake had a geomechanical PVC production well 4 inches in diameter and 25 m deep. In the first 4 m of depth, soil with silt-clay texture was followed by soil with silt-sand texture, up to 25 m, where the rocky top begins (ROCHA, 2015; ROCHA and MARQUES, 2016 and 2018).

The pumping was configured as intermittent, with a flow variation between 4.5 m<sup>3</sup>/h and 6.1 m<sup>3</sup>/h (1.25 L/s and 1.7 L/s). In addition, transmissivity values (T) equal to 1.0 x 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s and hydraulic conductivity (K) of 5.0 x 10<sup>-5</sup> m/s were obtained, with potentiometric results indicating the natural flow of the aquifer towards the lake, passing through the production well. The travel time was identified as at least 85 days, with water passage speed through the porous medium of 0.41 m/d (ROCHA, 2015; ROCHA and MARQUES, 2016 and 2018).

### 3.2 Characterization of water quality: physical, chemical and biological parameters

Rocha's experiments included the analysis of the basic parameters of the water quality of the lake and the installed production well, as seen in **Table 9** (ROCHA, 2015).

It was possible to verify a 39% reduction in turbidity in the production well, as well as pH, phosphates, DO, BOD and complete removal of E. coli. Such aspects show the degradation activity that occurs during the filtration process at the site. The decrease of 1.06 pH unit was attributed to the decomposition of organic matter, which in turn gives rise to organic acids responsible for the decreased pH. The increased temperature was considered a natural aspect of the process since it is influenced by the composition of the area.

**Table 9** - Results of the parameters obtained at the UFV lake in 2015.

	Turbidity (NTU)	pH	Temp. (°C)	Phosphates (mg/L)	DO (mg O <sub>2</sub> /L)	BOD (mg/L)	E. coli (MPN/100 mL)
RW	9.24	6.19	22.62	0.07	6.1	4.48	2114
FW	5.66	5.13	23.22	0.03	5.2	1.87	A.
<b>% average removal</b>	<b>39</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>57</b>	<b>15</b>	<b>58</b>	<b>100</b>

RW- raw water (source-UFV Lake); FW- filtered water (production well); NTU- Turbidity Unit; DO- dissolved oxygen; BOD - biochemical demand for oxygen; MPN- most probable number.

Source: Adapted from Rocha (2015)

### 3.3 Modeling

374

375 Rocha (2015) and Rocha and Marques (2018) addressed aspects of the hypothesis  
376 modeling around the system installed at the UFV lake, such as the identification of the  
377 underground flow and possible configurations of filtered water exploitation, according to  
378 **Table 10**.

379

380

**Table 10** - Synthesis of the models elaborated from field research.

Hypotheses	Scenarios	Main results
Understand the flow shape of the aquifer at the site of the BF system and evaluate variations in flow and pumping during periods of drought.	Simulations with 1, 5 and 10 years, flow variation, pumping variation and allocation of an extra well.	The flow is horizontal and goes towards the lake, passing through the production system, besides, even in dry periods, the system has available water for pumping. Exploitable flow rates vary up to 38 m <sup>3</sup> /h (10.55 L/s). The installation of a second well at the site would likely influence the aquifer's recharge capacity.

381

382

Source: Adapted from Rocha (2015) and Rocha and Marques (2018)

### 383 4 FINAL CONSIDERATIONS

384 The following includes the considerations of all the data collected to compose this  
385 review (part 1 and part 2), contemplating the three states that carried out research in the area.

386 The turbidity removal is quite pronounced in BF, considering that a large part of what is  
387 suspended in the source is retained in the filtering medium; that is, on its bank. In almost all  
388 studies cited, the removal value reached 100%, except in the city of Ituporanga (aquaculture  
389 lake), Mundaú (reservoir in the city of Guaranhuns) and in the city of Viçosa. In these three  
390 cases, there was the presence of granular material of large diameter in the soil (gravel, pebble,  
391 rock), which may have caused this low reduction (Mundaú and Viçosa) or even increase  
392 (Ituporanga). Long periods of rain can also impair the reduction of physical parameters.

393 Regarding the apparent color, due to the turbidity removal through the soil, its removal  
394 was also very high, with the exception of Ituporanga, where there was an increased apparent  
395 color, likely for the same reason mentioned above. The true color tends to be very similar to  
396 the source. Factors of distance from the well in relation to the source, soil composition and the  
397 pumping flow of the well are very relevant to obtain the highest removal value. Low removal  
398 of physical parameters was observed during periods with large volumes of rainfall, which  
399 result in compound leaching, such as organic matter and colloidal materials.

400 The increased flow can be beneficial from the standpoint of the volume of water  
401 pumped, on the other hand, it can bring a greater contribution from the aquifer and thereby, an  
402 increase of undesirable chemical elements (Fe, Mn, Al, F, among others) contained in the soil.  
403 Therefore, the increased flow should always be monitored to find the ideal point between flow  
404 x quality, thus, making the most of this technology.

405 In some studies, the results of total organic carbon (TOC) and dissolved oxygen (DO)  
406 had a decrease of around 50% and lower values in others. Its reduction is directly linked to the  
407 water quality of the source and the presence of organic matter (OM) in the soil. Studies have  
408 found that there is a simple reduction or the permanence of a value similar to that of the  
409 source with a slight increase.

410 In practically, all of the research observed that the values of conductivity, total hardness  
411 and alkalinity increased after BF, which was attributed to the processes of erosion and  
412 dissolution of the materials when the water passes underground, as well as fields. The pH, in  
413 most studies, decreases after BF, probably due to the presence of some acidic species in the  
414 soil. When such species are not found in the soil, the pH tends to be similar to that of the  
415 source.



416 With regard to total and fecal coliforms (*E. Coli*), the technology, as it is put into  
417 operation, may appear at the beginning of the pumping (first days), afterwards, the research  
418 indicates 100% removal or close to this value. Other microbiological parameters studied as  
419 well as other specific contaminants were significantly reduced (toxins, pesticides and drugs).  
420 This fact can be linked to the travel time between source and well. This travel time is  
421 determined by the distance between the source and the well and its flow. Likewise, the study  
422 of the flow variation can bring about the optimization of the removal of these parameters.

423 Salinity was not considered as a parameter in any of the studies, despite being an  
424 important parameter for the quality of drinking water, especially in Northeast Brazil.  
425 Obviously, in shallow wells, the concentration of salinity does not tend to be high, but in  
426 studies close to the sea, this parameter must be analyzed when the intention is to use BF for a  
427 real supply situation, in order to fit the values in current legislation.

428 The main benefit of BF is that it is an alternative way to obtain better quality raw  
429 water compared to traditional water supply methods when soil conditions are favorable. BF  
430 technology highlights other relevant aspects: it may become one of the main water  
431 pretreatments in rivers or lakes with sandy sediments; it is possible to obtain quality water in a  
432 well up to the first impenetrable layer; the technology removes 100% of total and fecal  
433 coliforms; it may reduce water turbidity at high levels; the application as pretreatment may  
434 reduce the amount of inputs in the water and consequently, the generated sludge.

435 In summary, for public supply systems, the big challenge in Brazil is to apply BF as a  
436 pre-treatment in already consolidated situations, that is, in systems in operation (water  
437 treatment plants), which can make the quality of raw water reach the beginning of treatment  
438 with the same standards (or better) as when the current treatment systems were conceived,  
439 causing them to have a longer useful life or even receive a greater flow.

440 Finally, after years of research in Brazil, BF provides well-trained professionals  
441 another way to obtain quality water, proving that it is even possible to acquire with a shallow  
442 well (up to 30 m). Furthermore, specialists in water treatment can consider that better quality  
443 raw water is achievable by simplifying the treatment process instead of designing more  
444 treatment steps. The fact remains that BF unites areas of knowledge hitherto: geology,  
445 chemistry, and biology, which are normally treated in isolation; making the technology  
446 increasingly elucidated and widespread.

447

## 448 REFERENCES

- 449 ALBUQUERQUE, T. B. V. **Caracterização física e biológica da zona hiporreica na interação Rio-**  
450 **Aquífero no Rio Beberibe - Pernambuco.** Doutorado, Pós-Graduação em Engenharia Civil,  
451 Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. p. 166, Recife-PE, 2015.
- 452 APAC, AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Bacias Hidrográficas: Bacia do**  
453 **Rio Mundaú.** Disponível em:  
454 [http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page\\_id=5&subpage\\_id=19](http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=19). Acessado em: 07 Dec.  
455 2019
- 456 CABRAL, J. J. S. P.; FREITAS, D. A.; PAIVA, A. L. R.; and VERAS, T. B. **Bankfiltration for**  
457 **water quality improvement in Beberibe River, Recife Metropolitan Region.** 2011.  
458 Disponível em: <https://iwra.org/member/congress/resource/PAP00-5708.pdf>. Acessado em:  
459 11/08/2019
- 460 CAMPOS, H. L. **Processo histórico de gestão na Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe (PE): Uma**  
461 **retrospectiva.** Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro-  
462 UFRJ. p. 226, Rio de Janeiro, 2003.
- 463 DEMÉTRIO, J. G. A.; PAIVA, A. L. R.; FREITAS, D. A.; BATISTA, A. G. S. B.; and CABRAL, J.  
464 J. S. P. **Características hidrogeológicas das aluviões do Rio Beberibe na área da bateria**  
465 **de poços no Bairro de Caixa d'Água, Olinda-PE.** Águas Subterrâneas, 2013. 27 (3): p. 111-  
466 126.

- 467 FREITAS, D. A.; CABRAL, J. J. S. P.; PAIVA, A. L. R.; and VERAS, T. B. **Influência da zona**  
468 **ripária e da zona hiporreica na interação dos aquíferos com os mananciais de superfície.**  
469 in *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. 2011. Maceió-AL.
- 470 FREITAS, D. A.; CABRAL, J. J. S. P.; ROCHA, F. J. S.; PAIVA, A. L. R.; and ALBUQUERQUE, T.  
471 B. V. **Uso da técnica de filtração em margem no Rio Beberibe-PE para remoção de**  
472 **microorganismos patogênicos.** in *XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento*  
473 *Gonçalves-RS*. 2013.
- 474 FREITAS, D. A. P.; CABRAL, J. J. S.; ROCHA, F. J.; PAIVA A. L.; SENS M. L.; and VERAS, T.  
475 **Cryptosporidium spp. and Giardia spp. removal by bank filtration at Beberibe River,**  
476 **Brazil.** *River Research Applications*, 2017. 33 (7): p. 1079-1087.
- 477 FREITAS, D. A. **O emprego da técnica de filtração em margem para tratamento de água no Rio**  
478 **Beberibe, região metropolitana do Recife.** Mestrado, Pós-Graduação em Engenharia Civil,  
479 Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. p. 148, Recife-PE, 2010.
- 480 FREITAS, D. A.; CABRAL, J. J. S. P.; PAIVA, A. L. R.; and MOLICA, R. J. R. **Application of**  
481 **bank filtration technology for water quality improvement in a warm climate: a case**  
482 **study at Beberibe River in Brazil.** *Journal of Water Supply: Research and Technology—*  
483 *AQUA*, 2012. 61 (5): p. 319.
- 484 FREITAS, J. B. A. **Caracterização da zona hiporreica no trecho médio do Rio Beberibe**  
485 **considerando aspectos biológicos e sedimentológicos.** Mestrado, Programa de Pós-  
486 Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. p. 146,  
487 Recife-PE, 2018.
- 488 GUEDES, T. L.; MICHELAN, D. C. G. S.; LEAL, L. L.; PAIVA, A. L. R.; BURGARDT, T.;  
489 CABRAL, J. J. S. P.; DALSSASSO, R. L.; and SENS, M. L. **Occurrence of iron in bank**  
490 **filtration wells: case studies in Ituporanga (SC) and Garanhuns (PE).** *Desalination and*  
491 *Water Treatment*, 2018. 101: p. 170-177.
- 492 PAIVA, A. L. R. **O processo de filtração em margem e um estudo de caso no Rio Beberibe.**  
493 Doutorado, Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco –  
494 UFPE, p. 171, Recife-PE, 2009.
- 495 PAIVA, A. L. R.; CABRAL, J. J. S. P.; DEMÉTRIO, J. G. A.; and SOBRAL, M. C. M. **Filtração em**  
496 **margem para indução de recarga e melhoria da qualidade de água- Estudo de caso: Rio**  
497 **Beberibe.** *Águas Subterrâneas*, 2010. 24 (1): p. 103-114.
- 498 PAIVA, A. L. R.; CABRAL, J. J. S. P.; DEMÉTRIO, J. G. A.; and FREITAS, D. A. **Interação Rio-**  
499 **Aquífero com Bombeamento em um Poço Próximo ao Rio num Sistema de Filtração em**  
500 **Margem.** *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2013. 18 (1): p. 235-247.
- 501 ROCHA, S. F. **Implantação de um sistema de filtração em margem e avaliação hidrogeológica da**  
502 **interação Lago-Aquífero.** Doutorado, Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade  
503 Federal de Viçosa. p. 130, Viçosa-MG, 2015.
- 504 ROCHA, S. F.; and MARQUES, E. G. **Caracterização Hidrogeológica de um Sistema de Filtração**  
505 **em Margem de Lago Hydrogeological Characterization of a Lake Bank Filtration**  
506 **System.** *Anuario do Instituto de Geociencias*, 2016. 39: p. 131.
- 507 ROCHA, S. F. and MARQUES, E. G. **Three-dimensional modeling of steady-state flow in Lake**  
508 **bank filtration – Brazil.** *Water Science and Technology: Water Supply*, 2018. 19: p.  
509 ws2018052.
- 510 SANTOS, L. L.; CABRAL, J. J. S. P.; PAIVA, A. L. R.; and ROSÁRIO, M. **Utilização de Isótopos**  
511 **estáveis para análise da interação da água superficial e água subterrânea num estudo de**  
512 **Filtração em Margem.** in *XVI Congresso Brasileiro de águas Subterrâneas e XVII Encontro*  
513 *Nacional de Perfuradores de Poços*. 2010. São Luis- MA.
- 514 SANTOS, L. L.; BARROS, T. H. S.; CABRAL, J. J. S. P.; and MELO, R. T. **Aplicação da tecnologia**  
515 **de filtração em margens para redução ou eliminação de contaminantes físico-químicos**  
516 **na região semi-árida de Pernambuco.** in *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*.  
517 2011. Maceió-AL.
- 518 SANTOS, L. L.; CABRAL, J. J. S. P.; CIRILO, J. A.; FREITAS, D. A., and SENS, M. L. **Aplicação**  
519 **da tecnologia de filtração em margem para população difusa no Semiárido**  
520 **Pernambucano.** *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2014. 19 (4): p. 49-58.

- 521 SANTOS, L. L.; CABRAL, J. J. S. P.; and MELO, R. T. **Aplicação da técnica de filtração em**  
522 **margens em um reservatório eutrofizado no semi-árido nordestino.** Disponível em:  
523 <https://iwra.org/member/congress/resource/PAP00-5735.pdf>. Acessado em: 11/08/19.
- 524 SANTOS, W. J. S.; MONTEIRO, R. V. A.; and PAIVA, A. L. R. **Modelagem numérica da**  
525 **interação Rio Aquífero: estudo de caso - Rio Beberibe.** in *XXIIIConic / VII Coniti / IV Enic.*  
526 2015. Universidade Federal de Pernambuco.
- 527 VERAS, T. B.; CABRAL, J. J. S. P.; PAIVA, A. L. R.; DUARTE, M. M. B.; and ZAIDAN, L. E. M.  
528 C. A. **A filtração em margem na remoção de fármacos: Estudo de caso Rio Beberibe -**  
529 **PE, Brasil.** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto p. 13º Simpósio de Hidráulica  
530 e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa - Porto, 2017.
- 531 VERAS, T. B. **Análise da interação Rio-Aquífero na zona hiporreica para a tecnologia de**  
532 **filtração em margem: estudo de caso no Rio Beberibe-PE.** Mestrado, Pós-Graduação em  
533 Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco- UFPE. p. 136, Recife-PE, 2011.
- 534 VERAS, T. B.; CABRAL, J. J. S. P.; PAIVA, A. L. R.; BARCELLOS, R. L.; and SANTOS, L. L.  
535 **Vertical hydraulic gradient research in hyporheic zone of Beberibe river in Pernambuco**  
536 **State (Brazil).** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2016. 21 (4): p. 674-684.