

Carolina Gemelli Carneiro

**DESENVOLVIMENTO E DESEMPENHO DE SISTEMAS  
ALTERNATIVOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM  
LOCALIDADES RURAIS DA REGIÃO SERRANA DE  
SANTA CATARINA**

Dissertação submetida ao  
Programa de Pós-graduação em  
Engenharia Ambiental da  
Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do Grau  
de Mestre em Engenharia  
Ambiental.  
Orientador: Prof. Dr. Maurício  
Luiz Sens  
Co-orientador: Prof. Dr. Everton  
Skoronski

Florianópolis  
2017

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

Carneiro, Carolina Gemelli  
Desenvolvimento e Desempenho de Sistemas  
Alternativos de Tratamento de Água em Localidades  
Rurais da Região Serrana de Santa Catarina /  
Carolina Gemelli Carneiro ; orientador, Maurício  
Luiz Sens, coorientador, Everton Skoronski, 2017.  
209 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de  
Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós  
Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis,  
2017.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. Tratamento de água.  
3. Sistemas alternativos. 4. Filtro lento. 5.  
Localidades remotas. I. Sens, Maurício Luiz. II.  
Skoronski, Everton. III. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Ambiental. IV. Título.

Carolina Gemelli Carneiro

**DESENVOLVIMENTO E DESEMPENHO DE SISTEMAS  
ALTERNATIVOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM  
LOCALIDADES RURAIS DA REGIÃO SERRANA DE SANTA  
CATARINA**

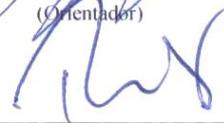
Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de  
“Mestre” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa  
Catarina

Florianópolis, 04 de Agosto de 2017.

Aprovado por:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Maurício Luiz Sens, Dr.  
(Orientador)

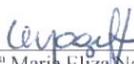
  
\_\_\_\_\_  
Prof. Everton Skoronski, Dr.  
(Coorientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Paulo Belli Filho, Dr.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Ramon Lucas Dalsasso, Dr.

  
\_\_\_\_\_  
André Leonardo Bortolotto Buck, Dr.

  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª Juliana Marques Schöntag, Dr.ª

  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª Maria Eliza Nagel Hassemer, Dr.ª  
(Coordenadora)



Dedico este trabalho aos meus queridos pais  
Fernando Antônio Carneiro e Elaine Gemelli.



## AGRADECIMENTOS

Início meus agradecimentos ao Universo, à natureza, à Vida e aos meus Protetores espirituais, que sempre estiveram junto de mim e das pessoas que me acompanharam, durante as jornadas de trabalho.

Dedico esta dissertação e agradeço, de todo meu coração, ao meu pai Fernando e à mãe Elaine por acreditarem em mim e me apoiarem em todas as situações com tanto amor.

Pai, esse trabalho é nosso! Tudo o que sei hoje, enfrentar qualquer situação fora da zona de conforto, saber comportar-me em diferentes ambientes sociais, fazer instalações hidro-sanitárias, caxambu, peças hidráulicas, entre outras coisas, aprendi com você! Muito Obrigada!

Agradeço também a minha família, em especial, ao meu irmãozinho Gustavo, Vó Elizena, Vó Alzeni, Tio Oilson, Tia Tereza, Inês, Doraci, Tio André, proporcionando o local de instalação do protótipo e Tia Ana Paula, pelas importantíssimas correções da nossa complicada língua portuguesa.

Agradeço, imensamente, ao meu companheiro de vida, Eldoni, que com todo o amor, paciência e carinho, tirou de seu tempo para viajar a Região Serrana e realizar visitas a campo, instalar sistemas, montar e desmontar...para que eu ficasse feliz e tranquila, muito obrigada!

Agradeço à família Lapoá, em especial ao meu Orientador Prof. Maurício Sens, que abriu as portas e viu uma perspectiva maior desse projeto, além das contribuições para o desenvolvimento do mesmo. Aos colegas, Thyara, Tiago B, Tiago G, Arthur, Karol, Giselle, Alcione, Duda, Sérgio, Diego e, em especial, à Juliana e ao Fernando pela parceria, leitura e contribuição científica.

Com carinho, igualmente, agradeço à Equipe LabTrat do CAV/UDESC, em especial ao Prof. Everton Skoronski, pela parceria e colaboração em todo o projeto. Foi um grande aprendizado! Gratidão! Também agradeço à parceria da Mylena, Artur, Karoliny, Darleila, Diego, Aline, Larissa e aos motoristas, especialmente, Maurício, Darlan e Júlio.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da UFSC, em especial à Prof. Maria Eliza Nigel, Prof Ramon Dalsasso, Prof. Paulo Belli e Prof William Matias. À CAPES, pelo apoio financeiro. Ao Jorge Tavares pelas excelentes contribuições para meu trabalho e pela amizade.

De mesmo modo, agradeço à 13ª Promotoria de Justiça de Lages, em especial ao Promotor Renee Cardoso, que sempre

demonstrou confiança em meus projetos junto ao CISAMA. À antiga Tractebel Energia, unidade de Lages.

Ao CISAMA, com especial carinho, ao amigo, eterno chefinho e Diretor Selenio Sartori; que com sua sagacidade e perseverança ajudou para que acontecesse este projeto, sempre acreditando em mim e no meu trabalho. Também agradeço, imensamente, à Neide Rodrigues, Pedro Jovane, Andressa Steffen, KatynaraGoedert, ValkyrieFabre, Danúsia Sartori e Dona Lúcia.

À AMURES dentre os principais envolvidos a Iraci Vieira, Oneris, Anderson, Danielli, DraZenalda, Seu Hamilton, Vania, Rose, Tarcisio (em memória). Um agradecimento especial ao Luiz Melo, meu parceiro de viagens e mão-de-obra e à Dete, por me receberem até altas horas da noite em sua casa para trabalhar. Ao André, pela parceria de trabalho e amizade.

À Jzago, em especial ao Carlos, pelo ótimo atendimento e parceria nesses anos de projeto. Ao Perini, Neri e Júnior, que trabalharam na adequação ambiental e montagem dos sistemas.

Aos proprietários rurais, que aceitaram e acreditaram no projeto. Em especial aos meus pais adotivos Luizinho e Janete, ao Gustavo, Guilherme, Larissa, Amanda (Lages). Ao Prefeito Pe Edilson (em memória), Chicão e Neuza (Campo Belo do Sul). À Associação dos Produtores de Mel, Prof Gilson, Armando, Seu José Branco, Tião, Rita (Cerro Negro). À minha mãe adotiva Maria, ao Donizete, Jéssica e Bianca (Painel).

Às pessoas que cuidaram de mim, em especial à vó adotiva Dona Bia. Gratidão, Dona Bia!! à Karine, Angelita e João. Além de minhas terapeutas, Rosane, Josyanne e Maria Helena.

Aos amigos-irmãos que fiz na Serra: Stefe, Elisa, Cléia, Renata, Helo (em memória), Vini, Bibi, Patrícia, Felipote e Nika.

À Sabesp/Fenasan pelo Prêmio, em especial à Diretora Maria Aparecida. À Prof. Elizabeth Duarte da Universidade de Lisboa, pela oportunidade de desfrutar da bolsa, conquistada durante o mestrado.

Aos meus amigos de infância Roberta, Mayara, Anie, Heitor, Patrícia, Adri, Angela, Rick e Gabriele, aos amigos da faculdade, em especial, Elis e Letícia e aos amigos-irmãos que fiz durante a maestria, Dudu e Tadeu.

Por final, finalizo meus agradecimentos, homenageando meu mascote de 12 anos, Guido (em memória), pelos ensinamentos, companheirismo, simplicidade, amor e paciência. Um grande interlocutor que me ensinou a meditar e amar os animais. Gratidão, meu amor! Te amarei para sempre!

Ninguém vence sozinho...

Muito obrigada a todos!!!! Namastê!!!

“A pesquisa deve ser cidadã”  
(*Prof. Dr. Paulo Belli Filho*)

“Tudo que vocês estão aprendendo, estudando, deve ser levado ao coração, à alma. O entendimento da sua natureza não deve ser feito pela cabeça, não deve ser intelectualizado e muito menos norteado pelos valores externos e sim, internos.”  
(*Calunga –por Luiz Antônio Gasparetto*)



## RESUMO

Estudos apontam que os sistemas de tratamento e distribuição de água potável, em locais remotos do Brasil, são predominantemente deficientes, tornando-se primordial a busca por alternativas tecnológicas e sustentáveis em prol da potabilização. Nesse contexto, este trabalho propôs o desenvolvimento, estudo e validação de sistemas alternativos e descentralizados de tratamento de água subterrânea (nascente) em três propriedades rurais da Serra Catarinense. Essas propriedades utilizam água para o uso domiciliar e como insumo para agroindústria familiar, designando-se, assim, pertinentes às regulamentações preconizadas pela Lei Federal Brasileira nº 11.445/2007 e Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Para o cumprimento desses objetivos, primeiramente, realizaram-se adequações nas áreas de preservação permanente, onde se encontravam as nascentes, assim como nos projetos e implantação desses sistemas, adequando-os às características socioambientais locais. Nesse ínterim, o sistema caracterizou-se por apresentar proteção de nascente, acrescida de tratamento com pré-filtro (PFA), reservatório para sedimentação de partículas em suspensão (RRS) e filtro lento com retrolavagem (FLR), usando materiais de fácil acesso, alto tempo de vida, baixo custo e baixo impacto ambiental. Os resultados obtidos na pesquisa validaram a possibilidade de implantar esse tipo de sistema adequado à realidade da região. A eficiência avaliada esteve vinculada ao comportamento hidráulico com tempos de detenção médios equivalentes aos teóricos e com resultados de curvas de passagem indicando nível comedido de zonas mortas no PFA e retromistura nos RRS e FLR. Na avaliação dos parâmetros operacionais, obtiveram-se dados médios de duração das carreiras de filtração, com 57 dias na propriedade de Lages (L1), 28 dias na de Campo Belo do Sul (L2) e 29 dias em Cerro Negro (L3) e tempos médios de recuperação dos filtros de 2,5 ; 5 e 6,2 horas, respectivamente, após retrolavagem. Quanto ao potencial de tratabilidade pelos parâmetros de qualidade de água, obtiveram-se resultados dentro do permitido pela Portaria, com relevante remoção de turbidez e cor aparente, durante as etapas dos tratamentos, com valores de 89,3% e 75,2% para L1, 93,2% e 36,7% para L2, 89,3% e 52,3% para L3, respectivamente. De forma geral, o sistema apresentou-se eficaz no tratamento e abastecimento em áreas rurais, porém, considera-se indispensável o comprometimento quanto à manutenção e operação, principalmente relacionado ao consumo e à funcionalidade.

**Palavras-chave:** Tratamento de água, Sistemas alternativos, Águas subterrâneas, Filtro lento, Localidades remotas.



## ABSTRACT

Recent researches indicate that the treatment and distribution systems of drinking water in remote areas of Brazil are predominantly deficient, making essential new search for technological and sustainable alternatives in favor to water treatments. In this context, this project proposed the development, study and validation of an alternative and decentralized groundwater treatment (spring based) system installed in three rural sites of the Serra Catarinense. These properties use water for domestic use and as an input for the family farm business (agro industry), thus designating themselves pertinent to the regulations recommended by Brazilian Federal Law n° 11,445/2007 and based on parameters required by the Brazilian potability standard, Ordinance n° 2,914/2011 of the Ministry of Health. At first to fulfill these objectives were made adjustments in the permanent preservation areas, where the springs were found, as well as in the projects and implementation of these systems, adapting them to the local socio-environmental characteristics. In the meantime, the system was characterized by the presence of spring protection, plus pre-filtration treatment (UPF), storage for sedimentation of residual particles (RSS) and slow sand filtration with backwash (SFB), using low cost and local materials and high life time. The results obtained in the research validated the implanting possibility of this system type to the region reality. The evaluated efficiency was bonded to the hydraulic behavior with detention times equivalent to the theoretical ones and the results of passage curves indicating dead zones level in the UPF and retromixture in the RSS and SFB. In the evaluation of the operational parameters were obtained data of average duration for the filtration runs, with 57 days in L1 (locality of Lages County), 28 days in L2 (locality of Campo Belo do Sul County) and 29 days in L3 (locality of Cerro Negro County) and average recovery times of filters with 2.5; 5 and 6.2 hours, respectively, after backwashing. Regarding the treatability potential of the water quality parameters, the results were obtained within the limits allowed by the Administrative law, with significant removal of turbidity and apparent color during the treatment stages, with values of 89.3% and 75.2% for L1, 93.2% and 36.7% for L2, 89.3% and 52.3% for L3, respectively. In general, the system was effective in the treatment and supply for the areas, however, is considered indispensable the commitment on care and operation, mainly regarding consumption rates and cleaning.

**Keywords:** Water treatment, Alternative system, Groundwater, Slow filter, Remote locations.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Abastecimento de água na zona rural em 2002.....	33
Figura 2 – Moradores em domicílios particulares de área rural que utilizam poços, nascentes ou de outras fontes alternativas no Brasil. ....	34
Figura 3 – Esquema de filtro lento com nível de água constante. ....	42
Figura 4 – Esquema de filtro lento com nível de água variável. ....	42
Figura 5 – Pré-filtro de fluxo ascendente em camadas.....	47
Figura 6 – a) Representação esquemática de estímulo unitário instantâneo e da respectiva resposta; b) Curva $E(\theta)$ do traçador em forma de pulso em função do tempo, escoamento não ideal. ....	52
Figura 7 – Esquema de utilização de trincheiras. ....	57
Figura 8 – Esquema de captação com drenos cobertos. ....	58
Figura 9 – Esquema do protetor de fonte, modelo Caxambu. ....	58
Figura 10 – Fluxograma com a metodologia empregada no âmbito da pesquisa.....	62
Figura 11 – Localização de Santa Catarina e Municípios da Região do Planalto Sul de SC. ....	63
Figura 12 – Mapa de Abrangência do estudo na Região Serrana.....	64
Figura 13 - a) Base para levantamento das imagens de satélite e b) controle dos pontos de nascente em Campo Belo do Sul. ....	68
Figura 14 – a) Propriedade e Agroindústria de Queijo Serrano; b) Forma de captação utilizada anteriormente ao projeto; c) Primeiros contatos na propriedade; d) Local de recuperação em torno da nascente.....	69
Figura 15 - a) Propriedade onde se encontra a nascente; b) Forma de captação de água por bombeamento, anteriormente ao projeto; c) Outras residências da Comunidade; d) Local da nascente e antiga barragem.....	71
Figura 16 – a) e b) Associação dos produtores de mel e Núcleo de Informática; c) Casa de extração de Mel; d) Núcleo de Informática e Associação dos produtores de mel; e) Local da nascente – olho d’água; f) Presença de dejetos de animais em torno da APP. ....	73
Figura 17 – Esquema do sistema de Proteção de fonte modelo caxambu. ....	80
Figura 18 – Pré-Filtro Ascendente – Esquema do processo. R25 = registro esfera DN 25 mm e R32 = registro esfera DN 32 mm.....	82
Figura 19 – Pré-Filtro Ascendente -Vista em planta. ....	82
Figura 20 – Pré-Filtro Ascendente - Corte longitudinal. ....	83
Figura 21 – Pré-Filtro Ascendente - Corte longitudinal. ....	83

Figura 22 – Reservatório para retrolavagem e sedimentação - Corte longitudinal.....	85
Figura 23 – Reservatório para retrolavagem e sedimentação - Vista em planta. ....	85
Figura 24 – Reservatório para retrolavagem e sedimentação – Processo. R25 = registro esfera DN 25 mm e R32 = registro esfera DN 32 mm com tubulações de mesmo DN. ....	86
Figura 25 – Corte Frontal do FLR e material filtrante. Funcionamento e estrutura. ....	91
Figura 26 – Esquema geral apresentando o RRS, FLR e RF de água filtrada. ....	92
Figura 27– Propriedade L2 - Croqui de representação da instalação do sistema de tratamento de água. ....	94
Figura 28– Propriedade L1 – Croqui de representação da instalação do sistema de tratamento de água. ....	95
Figura 29– Propriedade L3 - Croqui de representação da instalação do sistema de tratamento de água. ....	96
Figura 30 – Pontos de coleta de água na saída do CX (AB) e na saída do FLR (AF). Análise de parâmetros <i>in loco</i> na saída do CX(AB), saída PFA (APF), saída do RRS (AD) e saída do FLR(AF). ....	105
Figura 31 – Instalação dos cloradores nas propriedades a) L1 e b) L2. ....	106
Figura 32 – Fluxograma do sistema implantado. ....	110
Figura 33 -Nascente antes e após implantação da proteção modelo Caxambu em L1, L2 e L3. ....	111
Figura 34 - Pré-filtro instalado à jusante da proteção de nascente; a) L1, b) L3. ....	112
Figura 35 – Finalização da implantação dos Sistema com RRS, FLR e RF em a) L1; b) L2; c) L3. ....	113
Figura 36–Curva (C) de condutividade em função do tempo, referente ao Ensaio 1 e 2 no PFA. ....	115
Figura 37–Curva (C) de condutividade em função do tempo, referente ao Ensaio 1 e 2 no RRS. ....	115
Figura 38 – Curva (C) de condutividade em função do tempo, referente ao Ensaio 1 e 2 no FLR. ....	116
Figura 39 – Função da distribuição da idade de saída do efluente E( $\Theta$ ) para os ensaios 1 e 2 em PFA;RRS e FLR.....	117
Figura 40 – Função da distribuição cumulativa F do efluente em PFA, RRS e FLR para os ensaios 1 e 2.....	119

Figura 41 – Evolução da qualidade de água filtrada, durante o estudo preliminar da carreira de filtração, em função do tempo de operação dos filtros lentos em L1, L2 e L3.....	124
Figura 42 – Comportamento da turbidez durante as carreiras de filtração válidas para a propriedade L1. ....	126
Figura 43 – Comportamento da turbidez durante as carreiras de filtração válidas para a propriedade L2. ....	127
Figura 44 - Comportamento da turbidez durante as carreiras de filtração válidas para a propriedade L3. ....	128
Figura 45 – Curvas com variação da expansão e perda de carga da areia para diferentes velocidades de aproximação da água, durante o ensaio. ....	132
Figura 46 – Esquema do passo a passo para limpeza total do sistema. ....	133
Figura 47 – Esquema do passo a passo para retrolavagem e filtração.. ....	134
Figura 48 – Turbidez obtida durante a retrolavagem dos FLR, com velocidade média ascensional de $1,1\text{m min}^{-1}$ em 10 min de retrolavagem (valores médios e desvio padrão de amostragens), em L1 com 8retrolavagens, em L2 com 5 retrolavagens, L3 com 8 retrolavagens. ....	136
Figura 49 – Comportamento da turbidez nos períodos de recuperação estudados para o FLR da propriedade L1.....	140
Figura 50 – Comportamento da turbidez nos períodos de recuperação estudados para o FLR da propriedade L2.....	141
Figura 51 – Comportamento da turbidez nos períodos de recuperação estudados para o FLR da propriedade L3.....	142
Figura 52 – Medições das taxas de filtração média, aferidas pelas leituras nos hidrômetros, após RF, a cada visita em campo e taxas fixadas, através dos registros esfera, após FLR, para L1. ....	145
Figura 53 – Medições das taxas de filtração média, aferidas pelas leituras nos hidrômetros, a cada visita em campo e taxas fixadas, através dos registros esfera, após FLR, para L2. ....	146
Figura 54 – Medições das taxas de filtração média, aferidas pelas leituras nos hidrômetros, a cada visita em campo e taxas fixadas, através dos registros esfera, após FLR, para L3. ....	146
Figura 55 – Boxplot representando o comportamento da turbidez com seus intervalos interquartis, medianas e outliers, referente à AB, APF, AD e AF na propriedade L1.....	159
Figura 56 – Boxplot representando o comportamento da cor aparente com seus intervalos interquartis, medianas e outliers, referente à AB, APF, AD e AF na propriedade L1. ....	159

Figura 57 – Boxplot representando o comportamento da turbidez com seus intervalos interquartis, medianas e outliers, referente à AB, APF, AD e AF na propriedade L2. ....	160
Figura 58 – Boxplot representando o comportamento da cor aparente com seus intervalos interquartis, medianas e outliers, referente à AB, APF, AD e AF na propriedade L2. ....	160
Figura 59 – Boxplot representando o comportamento da turbidez com seus intervalos interquartis, medianas e outliers, referente à AB, APF, AD e AF na propriedade L3. ....	161
Figura 60 – Boxplot representando o comportamento da cor aparente com seus intervalos interquartis, medianas e outliers, referente à AB, APF, AD e AF na propriedade L3. ....	161

## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1 – Ferramenta de gerenciamento para estruturação das partes que compõem o trabalho realizado em 2014. Estrutura Analítica de Projeto (EAP) – <i>Work Breackdown Structure</i> (WBS). .....	184
Apêndice 2 - Ferramenta de gerenciamento para estruturação das partes que compõem o trabalho realizado durante o período de mestrado. Estrutura Analítica de Projeto (EAP) – <i>Work Breackdown Structure</i> (WBS). .....	185
Apêndice 3- Mapa de uso e ocupação do solo e área cercada para recuperação de nascente na Localidade Segredo/Lages. ....	186
Apêndice 4 – Área de Recuperação na Localidade Segredo / Lages – L1: a) Corte de espécies exóticas na área de recuperação; b) Plantio de mudas nativas; c) Cercamento da área de recuperação, bastante degradada; d) Local da nascente, degradada pelo pisoteio de animais. ....	187
Apêndice 5 - Mapa de uso e ocupação do solo e área cercada para recuperação de nascente em Campo Belo do Sul/SC. ....	188
Apêndice 6 - Localidade em Campo Belo do Sul/SC – L2: a) Árvores nativas a serem plantadas; b) Plantio de espécies nativas na APP; c) Nascente desprotegida e reservatório de água para consumo antes do projeto; d) Área degradada por animais de grande porte dentro da área cercada. ....	189
Apêndice 7 - Mapa de uso e ocupação do solo e área cercada para recuperação de nascente em Cerro Negro/SC. ....	190
Apêndice 8 - Localidade de Cerro Negro/SC – L3: a) Local utilizado para captação de água da comunidade e para dessedentação de animais; b) Reservatório para dessedentação de animais, fora do cercamento; c) Cercamento entorno da APP; d) Plantio de mudas de espécies nativas na área de recuperação. ....	191
Apêndice 9 - Metodologia de instalação da proteção de fonte, modelo Caxambu. a) Busca pelo afloramento de água que dá origem à nascente; b) Abertura do reservatório onde serão alocados os materiais de proteção; c) Assentamento do tubo no reservatório; d) Alocação das camadas filtrantes; e) Barragem para impermeabilização da saída de água; f) Cobertura do reservatório com material de polietileno e terra para fixação da vegetação e evitar lixiviação para o interior. ....	192
Apêndice 10 – Evolução da implantação da proteção de fonte. a) Finalização da instalação, ano 2014; b) Registro fotográfico após 30 dias; c) após 90 dias; d) após 1 ano; e) após 1 ano e meio; f) após 2 anos. ....	193
Apêndice 11–Metodologia de instalação do pré-filtro ascendente à jusante da proteção de nascente, Localidade de Lages/SC. ....	194

Apêndice 12 - a) Preparação da base para assentar os reservatórios; b) Posicionamento do RRS em cota abaixo do caxambu; c) Assentamento do RRS e do FLR em cota favorável à filtração e retrolavagem; d) Instalação finalizada do FLR e reservatório final, seguindo o relevo local; e) Vista do RRS FLR e antiga captação; f) Finalização.....	195
Apêndice 13 – Esquema de funcionamento da filtração e retrolavagem. ....	196
Apêndice 14 – Análise de dados do traçador para determinar o comportamento hidrodinâmico do PFA, Ensaio 1.....	197
Apêndice 15– Análise de dados do traçador para determinar o comportamento hidrodinâmico do PFA, Ensaio 2.....	198
Apêndice 16 – Análise de dados do traçador para determinar o comportamento hidrodinâmico do RRS, Ensaio 1.....	199
Apêndice 17 – Análise de dados do traçador para determinar o comportamento hidrodinâmico do RRS, Ensaio 2.....	200
Apêndice 18 – Análise de dados do traçador para determinar o comportamento hidrodinâmico do FLR, Ensaio 1.....	201
Apêndice 19 – Análise de dados do traçador para determinar o comportamento hidrodinâmico do FLR, Ensaio 2.....	202
Apêndice 20 – Análise e curva granulométrica da areia média, utilizada no FLR.....	203
Apêndice 21 – Análise e curva granulométrica da areia fina, utilizada no FLR.....	204
Apêndice 22 - Esquema do sistema para ensaio de expansão do meio filtrante no LALP.....	205
Apêndice 23 – Coleta de dados no ensaio de expansão, realizado no Laboratório da Lagora do Peri.....	206
Apêndice 24 –a) Retrolavagem do FLR; b) Limpeza do RF, mesma forma de limpeza do RRS; c) Limpeza do CX; d) Descarga de fundo do PFA; e) Tubos falcon, coletas de amostras após a retrolavagem do FLR. Procedimentos realizados na propriedade L3.....	207
Apêndice 25– Evidências de percalços e danos em L2, que interferiram no estudo da carreira e limpeza do sistema.....	208
Apêndice 26 – Capa do Manual didático para utilização dos proprietários rurais, sobre os sistema de tratamento de água.....	209

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Abastecimento de Água por Domicílios na área rural e urbana no Brasil.....	32
Tabela 2 – Limites máximos de aplicabilidade da filtração lenta por meio do parâmetro turbidez. ....	41
Tabela 3 – Termos para descrição do desempenho hidráulico do fluido em uma unidade de tratamento. ....	50
Tabela 4 – População urbana e rural dos municípios de estudo. ....	65
Tabela 5 – Distância entre propriedades e cidades de estudo.....	65
Tabela 6 – Características gerais das propriedades e consumo de água. ....	66
Tabela 7 – Propriedades de estudo e Leis e decretos municipais para o serviço de inspeção. ....	67
Tabela 8 – Relação do Plantio de mudas nativas nas áreas de recuperação. ....	74
Tabela 9 - Resultados dos parâmetros de qualidade de água, metodologia aplicada e equipamentos para caracterização de AB e auxílio na escolha da tecnologia de tratamento. ....	76
Tabela 10 – Características para definição de projeto. ....	93
Tabela 11 – Total de amostras nos dois ensaios realizados.....	98
Tabela 12 – Parâmetros físico-químicos e microbiológicas para análises, realizados de acordo com o estudo da carreira de filtração.....	103
Tabela 13 – Valores médios de turbidez analisados para determinação do tipo de tratamento. ....	107
Tabela 14 – Resultado da qualidade de água bruta para as três localidades de estudo, classificando o corpo hídrico.....	109
Tabela 15 – Valores médios obtidos de $\tau$ e $t_{m,1}$ em min, no PFA, RRS e FLR. ....	120
Tabela 16 – Valores médios para indicadores de mistura, dispersão e fluxo, referente aos dois ensaios realizados em cada unidade de tratamento. ....	121
Tabela 17 – Duração média das carreiras de filtração para as localidades de estudo. ....	125
Tabela 18 - Percentis e médias de turbidez das amostras coletadas por carreira de filtração. ....	129
Tabela 19– Relação do tamanho efetivo do grão $D_{10}$ e $D_{60}$ e coeficiente de uniformidade (CU).....	131
Tabela 20 – Resumo dos dados coletados no ensaio de expansão. ....	132

Tabela 21 – Monitoramento das vazões em $m^3.d^{-1}$ (médias e desvio padrão), disponíveis nas etapas dos sistemas de tratamento e vazão fixada para consumo. ....	143
Tabela 22 – Resultado das médias, desvio padrão, máximos, mínimos e eficiência de remoção de parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados no sistema L1, tomando como referência os valores permitidos pela Portaria 2.914/11 do MS. ....	149
Tabela 23 – Resultado das médias, desvio padrão, máximos, mínimos e eficiência de remoção de parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados no sistema L2, tomando como referência os valores permitidos pela Portaria 2.914/11 do MS. ....	151
Tabela 24 – Resultado das médias, desvio padrão, máximos, mínimos e eficiência de remoção de parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados no sistema L3, tomando como referência os valores permitidos pela Portaria 2.914/11 do MS. ....	153

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
**AB** – Água Bruta  
**AD** – Água decantada  
**AF** – Água Filtrada  
**AM** – Azul de Metileno  
**AMURES** – Associação Municipal da Região Serrana  
**ANVISA** – Agência Nacional de Vigilância Sanitária  
**APF** – Água pré-filtrada  
**APP** – Área de Preservação Permanente  
**As** – Área de seção  
**C** – Curva da concentração em função do tempo  
**C(t)** – Concentração de traçador em função do tempo  
**CAV/UDESC** – Centro de Ciências Agroveterinária da Universidade Estadual de SC  
**CCI** – Domicílios ligados à rede de distribuição de água com canalização interna  
**CISAMA** – Consórcio Intermunicipal Serra Catarinense  
**CU** – Coeficiente de Uniformidade  
**CX** – Caxambu  
**D10 ou d<sub>10</sub>** – Diâmetro específico das peneiras que permitem passar 10% da areia  
**D60 ou d<sub>60</sub>** – Diâmetro específico das peneiras que permitem passar 60% da areia  
**DN** – Diâmetro nominal  
**DTR** – Distribuição dos tempos médios de residência  
**ECOSSERA** – Cooperativa Ecoserra  
**E(Θ)** – curva que representa a distribuição dos tempos de residência do fluido  
**ETA** – Estação de Tratamento de Água  
**F** – curva que representa a fração remanescente do traçador com o tempo  
**FLA** – Filtro lento de areia  
**FLR** – Filtro lento retrolavável  
**FiME** – Filtração em múltiplas etapas  
**GNSS** – *Global Navigation Satellite System*  
**ha** - hectare  
**hab** – habitantes  
**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
**IDM** – Índice de Morill

**Incra** – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária  
**J** – perda de carga unitária  
**L** – litro  
**L<sub>total</sub>** – comprimento total  
**L1** – Localidade Segredo, Propriedade de estudo em Lages/SC  
**L2** – Localidade Capela dos Mota, Propriedade de estudo em Campo Belo do Sul/SC  
**L3** – Localidade São Roque, Propriedade de estudo em Cerro Negro/SC  
**LABTRAT** - Laboratório de Tratamento de Água e Efluentes  
**LAPOÁ** – Laboratório de Potabilização das Águas  
**MAPA** – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
**m** – metro  
**mca** – metro de coluna d'água  
**MS** – Ministério da Saúde  
**NMP/100 mL** – número mais provável em 100 mililitros  
**OD** – Oxigênio Dissolvido  
**PFA** – Pré-filtro ascendente  
**PFVAC** – Pré-filtro de escoamento vertical ascendente em subcamadas  
**PLANSAB** – Plano Nacional de Saneamento Básico  
**PNAD** – Pesquisa Nacional por amostra de domicílios  
**PVC** – Policloreto de vinila  
**q** – Taxa de filtração  
**Q** – Vazão  
**Q1** – vazão de água de lavagem  
**R25** – registro esfera DN 25 mm  
**R32** – registro esfera DN 32 mm.  
**RF** – reservatório final  
**RIISPOA** – Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal  
**RRS** – Reservatório para retrolavagem e sedimentação de turbidez residual  
**SATA** – Sistema de Abastecimento e Tratamento de Água  
**SC** – Santa Catarina  
**SCI** – Domicílios ligados à rede de distribuição de água Sem canalização interna  
**SDS** – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável  
**SNIS** - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento  
**SIE** – Serviço de Inspeção Estadual

**SIF** – Serviço de Inspeção Federal  
**SIM** – Serviço de Inspeção Municipal  
**SISBI** – Serviço Brasileiro de Atenção à Sanidade Agropecuária  
**SISBI/POA** – Serviço de Inspeção Interestadual, equivale ao SIF  
**STD** – Sólidos Totais Dissolvidos  
**SUASA** – Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária  
**T** – Temperatura  
**t** – tempo  
**t<sub>m</sub>** – tempo médio de residência  
**t<sub>i</sub>** - Tempo em que o traçador aparece pela primeira vez  
**t<sub>k</sub>** – tempo de residência médio derivado da curva do traçador  
**t<sub>p</sub>** – Tempo em que o pico de concentração do traçador é observado  
**t<sub>10</sub>** – Tempo no qual 10% do traçador passou pela etapa de tratamento  
**t<sub>50</sub>** – Tempo no qual 50% do traçador passou pela etapa de tratamento  
**t<sub>90</sub>** – Tempo no qual 90% do traçador passou pela etapa de tratamento  
**t<sub>50</sub>/τ** – Índice de tempo mediano de detenção  
**TAC** – Termo de Ajuste de Conduta  
**TRF** – Tempo de Residência do Fluido  
**UDESC** – Universidade Estadual de Santa Catarina  
**UFSC** – Universidade Federal de Santa Catarina  
**uH** – unidade Hazen  
**V** – volume  
**va** – Velocidade de aproximação

## **LISTA DE SÍMBOLOS**

**Θ** – tempo adimensional  
**Ø** – Diâmetro  
**Ø<sub>efetivo</sub>** – Diâmetro efetivo  
**τ** – tempo de detenção hidráulico teórico  
**σ<sup>2</sup>** - variância  
**Δh** - perda de carga  
**μS** – micro siemens



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>1.1</b>	<b>HIPÓTESES.....</b>	<b>28</b>
<b>1.2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>29</b>
1.2.1	OBJETIVO GERAL.....	29
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	29
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>31</b>
<b>2.1</b>	<b>SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO MEIO RURAL.....</b>	<b>31</b>
2.1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO SANEAMENTO AMBIENTAL FRENTE À SUSTENTABILIDADE DOS TERRITÓTIOS RURAIS NA SERRA CATARINENSE.....	34
2.1.1.1	Inspeção Agroindustrial em confluência ao Saneamento Ambiental.....	36
<b>2.2</b>	<b>TRATAMENTO DE ÁGUA NO AMBIENTE RURAL.....</b>	<b>38</b>
2.2.1	FILTRAÇÃO LENTA.....	40
2.2.1.1	Limpeza de Filtros Lentos.....	43
2.2.1.2	Uso de manta sintética não tecida em filtros lentos.....	44
2.2.1.3	Uso de Carvão em tratamento de água.....	45
2.2.2	PRÉ-TRATAMENTO.....	46
2.2.2.1	Pré-Filtro de Fluxo Ascendente.....	46
2.2.2.2	Unidade de Decantação.....	47
2.2.3	ESTUDO DO COMPORTAMENTO HIDRODINÂMICO DE UNIDADES DE TRATAMENTO.....	48
2.2.3.1	Características Hidráulicas com teste de traçador.....	49
2.2.4	CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS UTILIZADAS EM ÁREAS RURAIS.....	53
<b>2.3</b>	<b>ADEQUAÇÃO AMBIENTAL EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE.....</b>	<b>54</b>
2.3.1	TECNOLOGIAS EXISTENTES PARA PROTEÇÃO DE NASCENTES.....	56
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>61</b>
<b>3.1</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>63</b>
3.1.1	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	64

3.1.2	CARACTERIZAÇÃO DO SERVIÇO DE INSPEÇÃO MUNICIPAL DAS AGROINDÚSTRIAS FAMILIARES E ADEQUAÇÃO AMBIENTAL PARA RECUPERAÇÃO DE APP.....	66
3.1.2.1	Localidade Segredo/Lages (L1).....	69
3.1.2.2	Comunidade Capela do Mota/Campo Belo do Sul (L2) .....	70
3.1.2.3	Comunidade São Roque/Cerro Negro (L3).....	72
<b>3.2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA .....</b>	<b>74</b>
3.2.1	CARACTERIZAÇÃO DA AB E ESCOLHA DA TECNOLOGIA DE TRATAMENTO.....	74
3.2.2	DETERMINAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO.....	78
3.2.3	PROTEÇÃO DE NASCENTE - MODELO CAXAMBU.....	79
3.2.4	PRÉ-FILTRO ASCENDENTE .....	80
3.2.5	RESERVATÓRIO PARA RETROLAVAGEM DO FILTRO LENTO E SEDIMENTAÇÃO DE PARTÍCULAS REMANESCENTES .....	84
3.2.6	FILTRO LENTO COM RETROLAVAGEM .....	86
3.2.7	ESQUEMA E FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM CADA LOCALIDADE.....	93
<b>3.3</b>	<b>ESTUDO DA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA .....</b>	<b>97</b>
3.3.1	ESTUDO DOS PARÂMETROS HIDRÁULICOS E OPERACIONAIS	97
3.3.1.1	Avaliação do Comportamento Hidrodinâmico do Sistema pela DTR	97
3.3.1.2	Estudo das Carreiras de Filtração.....	99
3.3.1.3	Limpeza total dos sistemas e recuperação do FLR .....	100
3.3.1.4	Monitoramento das vazões do sistema, do Consumo e da Taxa de Filtração do FLR.....	102
3.3.2	MONITORAMENTO DE QUALIDADE DE ÁGUA.....	102
3.3.2.1	Desinfecção por Cloração .....	105
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>107</b>
<b>4.1</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA .....</b>	<b>107</b>
4.1.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA DE CONSUMO .....	108
4.1.2	IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO NAS TRÊS LOCALIDADES DE ESTUDO.....	110
<b>4.2</b>	<b>ESTUDO DA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS.....</b>	<b>114</b>

4.2.1	PARÂMETROS HIDRÁULICOS E OPERACIONAIS .....	114
4.2.1.1	Avaliação do Comportamento Hidrodinâmico do sistema pela Distribuição do tempo de residência (DTR) .....	114
4.2.1.2	Estudos das Carreiras de Filtração .....	122
4.2.1.3	Limpeza dos sistemas e Recuperação do FLR .....	130
4.2.1.4	Monitoramento das vazões do sistema, do consumo e da Taxa de Filtração do FLR .....	142
4.2.2	MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA DOS SISTEMAS 147	
4.2.2.1	Estudo de eficiência dos sistemas através de Parâmetros de Qualidade da Água 147	
<b>4.3</b>	<b>CONTEXTUALIZAÇÃO SOCIAL FRENTE À POLÍTICA NACIONAL DO SANEAMENTO BÁSICO .....</b>	<b>162</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>165</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>171</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico em regiões remotas do Brasil é considerado pouco contemplado em relação às áreas urbanas e evidenciamnotória precariedade, submetendo, principalmente, ospequenos proprietários rurais a onerosos e deficitários investimentos no setor (SNIS, 2015).

Com intuito de convalescer essa situação, a Lei Federal 11.445/2007, que institui a Política Nacional do Saneamento Básico, e o Decreto Federal 7.217/2010 preconizam que os serviços de saneamento básico devem buscar a universalização no âmbito territorial, incluindo áreas longínquas, pertencentes aos municípios brasileiros, independente da atividade desempenhada no local.

No entanto, a realidade do saneamento básico no Brasil evidencia que as Leis e normativas, de âmbitos federal e estadual, mostram-se convergidas aos grandes centros urbanos, caracterizados por municípios maiores de 50.000 habitantes. Esses municípios obtêm subsídios mais facilmente que os municípios considerados de pequeno porte, os quais representam cerca de 80% da totalidade no país (IBGE, 2010).

A carência de gerenciamento e planejamento, assim como a falta de corpo técnico para gestão integrada municipal do saneamento básico, dificulta a captação de recursos financeiros aos pequenos municípios.

Além disso, mais de 30 milhões de habitantes que vivem nas zonas rurais do país obrigam-se a se adequar às leis, mesmo com deficitária estrutura sociocultural, para dar suporte à tecnologia implantada (IBGE, 2010).

Segundo Di Bernardo e Paz(2008), as tecnologias de saneamento a serem implantadas devem apresentar grau de complexidade compatível às condições dos grupos locais a fim de buscar uma sustentável administração, operação e manutenção.

No setor de tratamento e abastecimento de água no Brasil, enquanto 93,87% dos domicílios urbanos estão ligados à rede de distribuição, apenas 33,4% dos domicílios nas áreas rurais estão ligados a redes de abastecimento de água com ou sem canalização interna. No restante dos domicílios rurais, a população capta água de poços e nascentes protegidos ou não, ou diretamente de cursos de água sem nenhum tratamento (IBGE, 2010).

Segundo o Censo Federal Agropecuário (2006), a maioria desses domicílios rurais encontram-se em propriedades agrícolas de pequeno porte, caracterizando-se como propriedades de base familiar, que representam 84% da agroindústria no país.

Além disso, essas agroindústrias familiares necessitam estar em conformidade às normativas de inspeção alimentar, como a de procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano (Portaria 2.914/2011), a fim de garantirem selos de inspeção federal (SIF), estadual (SISBI ou SIE) ou municipal (SIM), com o intuito de fabricarem produtos de qualidade para comércio e subsistência, segundo preconiza a Lei Federal 9.712/1998.

Nessa conjuntura, a Política Nacional do Saneamento Básico atrela-se a diferentes diretrizes em prol de seus princípios fundamentais, como a de estabelecer integração à Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei Federal 9.433/97) e ao Novo Código Florestal (Lei Federal 12.651/2012), tentando proteger mananciais e assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água.

As articulações com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de proteção ambiental e de promoção da saúde voltadas à melhoria da qualidade de vida no âmbito municipal, tornam o saneamento básico um fator determinante para o desenvolvimento socioambiental.

As diretrizes de cada Lei destacada convergem à propagação da educação aos pequenos proprietários quanto à conservação das áreas vulneráveis, precaução de uso e ocupação do solo e manutenção dos recursos hídricos em Áreas de Preservação Permanente.

Tais orientações visam a conscientizar sobre a ponte existente entre o saneamento básico e o nicho ecológico, resultando na preservação dos ecossistemas envolvidos.

Contudo, muitas propriedades rurais deixam de investir no setor de tratamento e abastecimento de água devido à falta de recurso financeiro, o que prejudica as condições de saúde dos usuários e a oportunidade de prosperar nos negócios.

Mesmo que no Brasil existam programas com critérios e procedimentos para investimentos nesse setor, percebe-se um déficit corporativo técnico na captação de recursos para fomentar iniciativas tecnológicas municipais. Isso evitaria gastos

excessivos com projetos, implantações, manutenção e operação de sistemas em localidades rurais.

Nessa conjuntura, com intuito de transmutar um fragmento dessa realidade, este trabalho tem por objetivo estudar o desempenho de três sistemas descentralizados de tratamento de águas subterrâneas(nascentes) em localidades remotas da Serra Catarinense.A pesquisa foi desenvolvida em três propriedades rurais da região, nos municípios de Campo Belo do Sul, Cerro Negro e Lages.

Anteriormente ao projeto, constataram-se áreas de preservação permanente (APP) degradadas em torno de nascentes, as quais são utilizadas para abastecimento, e nenhuma forma empregada de potabilização de água para consumo nas propriedades.

Ademanda estabelecida para implantação da tecnologia de tratamento relacionou-seàs características da água bruta local e a necessidade de melhorar a qualidade de vida dos indivíduos. Para isso, puderam-serealizar adequações ambientais nas APP e aplicar proteções de nascentes acrescidas de pré-tratamento e filtração lenta, que são tecnologias evidenciadas compatíveis à realidade apresentada.

## 1.1 HIPÓTESES

O delineamento da pesquisa baseou-se nas hipóteses:

*Hipótese 1:* é possível adequar e proteger ambientalmente APPs em torno do manancial (nascente) com propósito de captação de água para tratamento em localidades rurais.

*Hipótese 2:* é possível implantar e operar sistemas descentralizados de tratamento de água para abastecimento de propriedades rurais, visando ao consumo doméstico e ao uso em agroindústrias, de acordo com normas e leis vigentes do país.

*Hipótese 3:* é possível obter a eficiência de sistemas de tratamento descentralizado de água em localidades rurais através de parâmetros pré-estabelecidos.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um sistema alternativo e descentralizado de tratamento de água subterrânea (nascente) para pequenas propriedades rurais e agroindústrias de pequeno porte da região serrana de Santa Catarina, Brasil.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Projetar e implantar um sistema alternativo de tratamento de água para abastecimento em três propriedades rurais, conforme as diretrizes da Lei 11.445/2007 e a Resolução CONAMA 357/2005;
- Avaliar a eficiência dos sistemas implantados de tratamento de água por meio de parâmetros hidráulicos e de qualidade, considerando fatores climáticos e os cuidados de operação e manutenção em cada sistema.
- Validar os sistemas de acordo com os parâmetros estudados, seguindo as diretrizes de tratabilidade da Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO MEIO RURAL

Depois de sancionada a Lei Federal nº 11.445/2007 – a qual estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e institui a Política Nacional de Saneamento Básico, regulamentada a posteriori pelo Decreto Federal 7.217/2010 – o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água, fornecida à população, deve ser abordado em todo território que haja consumo humano e apresentar potabilidade, consoante à Portaria 2.914/2011.

Não obstante, mesmo que o marco legal da política de saneamento preconize a universalização dos serviços nos âmbitos municipais, vários autores descrevem a negligência dos mesmos nas áreas rurais do Brasil (BRASIL, 2007).

Ao definir a universalização como ampliação progressiva do acesso de todos os domicílios ocupados aos serviços de saneamento (BRASIL, 2010), o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) prevê que tais políticas e estratégias articulem as dimensões socioeconômicas, territoriais e institucionais para os próximos 20 anos. Porém, não se definem efetivas indubitabilidades temporais em alcançá-las na área rural.

Segundo Galvão Jr e Philippi Jr (2012), a universalização depende, em primeiro lugar, de uma caracterização adequada dos déficits existentes em cada setor do saneamento. A Pesquisa Nacional por amostra de domicílios (PNAD), por exemplo, baseia-se em entrevistas com ocupantes de domicílios permanentes selecionados por amostragem nacional criteriosa; já o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) limita-se à cobertura de áreas urbanas, seguindo a tradição de relegar o saneamento rural na agenda política do setor.

No entanto, o (PLANSAB, 2013) determina a existência do Programa de Saneamento Rural, sob responsabilidade do Ministério da Saúde e da FUNASA, visando a essa universalização, por meio de estratégias que garantam a equidade, a integralidade, a intersetorialidade, a sustentabilidade dos serviços implantados, a participação e o controle social.

Alguns dos programas que pretendem o apoio ao Saneamento Rural são: o Programa Nacional de Fortalecimento

da Agricultura Familiar (PRONAF), Programa Nacional de Educação Sanitária em Defesa Agropecuária, Programa de Combate à Pobreza Rural, o Programa Estadual de Saneamento Rural em Santa Catarina, entre outros (KOBAYAMA et al., 2008).

Segundo o censo demográfico de 2010, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no Brasil, cerca de 30 milhões de pessoas vivem em localidades rurais, aproximadamente 9,3 milhões de domicílios. O IBGE 2010 também relata que os serviços de saneamento prestados a essa parcela da população apresentam elevado déficit de cobertura. Apenas 33,4% dos domicílios nas áreas rurais estão ligados a redes de abastecimento de água com ou sem canalização interna.

No restante dos domicílios rurais, cerca de 66,6%, a população capta água de poços protegidos ou não, diretamente de cursos de água sem nenhum tratamento ou de outras fontes alternativas, geralmente inadequadas para consumo humano. Em contrapartida, cerca de 93,87% dos domicílios urbanos estão ligados à rede de distribuição de água tratada IBGE, 2010.

Os dados do (IBGE, 2014) demonstram que ainda são intensas as desigualdades no acesso aos serviços de abastecimento de água entre os habitantes das áreas urbanas e rurais, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Abastecimento de Água por Domicílios na área rural e urbana no Brasil.

Região	Nº domicílios (*1000)	Domicílios ligados à rede (%)			Outras formas (%)		
		CCI	SCI	Total	CCI	SCI	Total
<b>Urbana</b>	57.641	93,37	0,43	93,80	5,14	0,93	6,07
<b>Rural</b>	9.398	30,33	3,28	33,61	46,39	19,07	65,46
<b>Total</b>	67.039	84,53	0,84	85,44	11,04	3,52	14,56

Fonte: adaptado de IBGE – PNAD 2015.

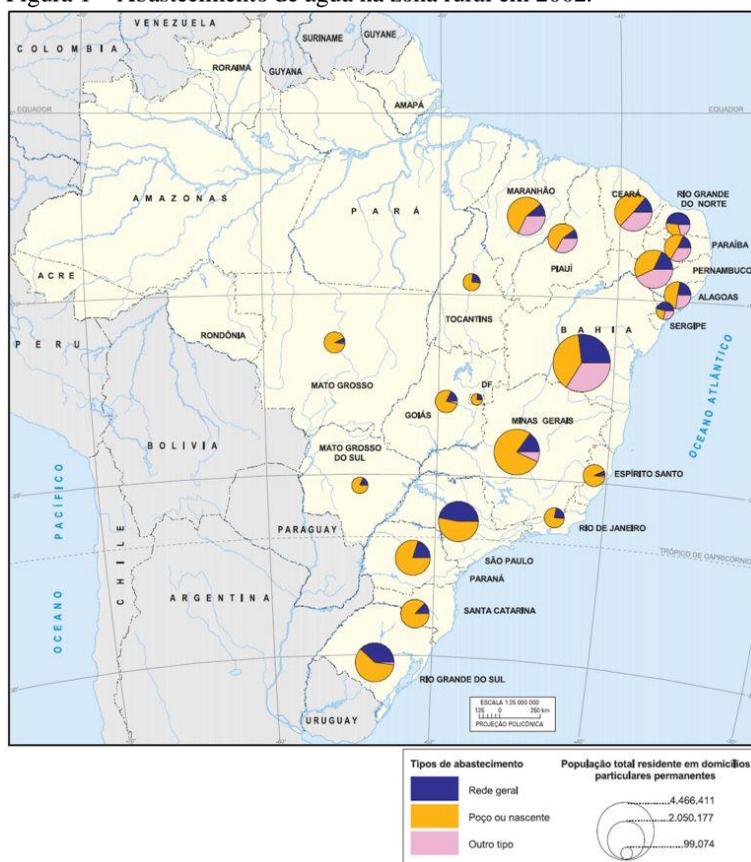
CCI: Com canalização interna. SCI: Sem canalização interna.

A Região Sul do Brasil é caracterizada por apresentar uma cobertura de abastecimento de água de 87,9% com ligações à rede e 12,1% de outras formas. Desse total, na área rural, apenas 26,1% da população possui abastecimento através de redes, 72,89% têm acesso na forma de poços ou nascentes e 1,1% a outras formas para consumo (IBGE, 2014).

De acordo com IBGE (2004), a Figura 1 mostra o percentual de abastecimento rural no Brasil. Essa figura aponta que a maior fatia de abastecimento obtida nos estados de estudo é representada por poços. Nos estados do Nordeste e Minas Gerais, há um percentual representativo de outras fontes de abastecimento, também, devido à realidade local com clima árido.

Na região sul, principalmente no estado de Santa Catarina, o abastecimento é realizado majoritariamente por nascentes e poços e, em menor percentual, por redes públicas.

Figura 1 – Abastecimento de água na zona rural em 2002.

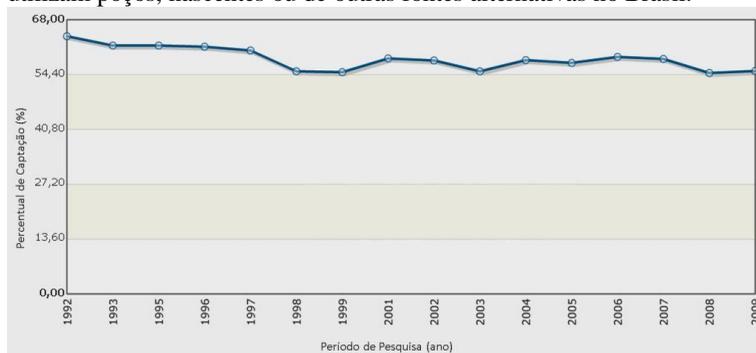


Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Trabalho e Rendimento, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2002.

Nota: Excetuando-se a população rural de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará e Amapá.

A Figura 2 mostra haver uma oscilação entre 54% a 66% no uso de poços, nascentes ou de outras fontes alternativas para captação e abastecimento de água no Brasil, no período de 1992 a 2009.

Figura 2 – Moradores em domicílios particulares de área rural que utilizam poços, nascentes ou de outras fontes alternativas no Brasil.



Fonte: IBGE – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio - PNAD, 2010.

A importância de conhecer a realidade das localidades rurais, caracterizadas por não obterem as mesmas medidas de saneamento que nas áreas urbanas (BARCELLOS et al., 2006), propicia o fomento em estudos, pesquisas e execuções referentes a esse setor, buscando, sempre, tecnologias sociais economicamente viáveis, tecnologicamente efetivas, descentralizadas, preservando os ecossistemas, os quais incluem o ser humano (SENS et al., 2014).

### 2.1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO SANEAMENTO AMBIENTAL FRENTE À SUSTENTABILIDADE DOS TERRITÓRIOS RURAIS NA SERRA CATARINENSE

Quando a Lei Federal 11.445/2007 refere-se à universalização dos serviços de saneamento básico, busca estabelecer uma nova relação entre o campo e a cidade, trazendo um conceito de sustentabilidade dos territórios rurais. Isso estimula o rompimento de uma visão em que áreas remotas são

vazios sociais de completo isolamento e abandono (RIBEIRO; ANDION; BURIGO, 2015).

Porém, mesmo com os novos estímulos vigentes na legislação, constata-se que o desejo de permanecer em zonas rurais encontra-se em decadência, principalmente pela juventude rural, talvez pela desinformação dos agricultores em beneficiar-se de oportunidades oferecidas, sentindo-se excluídos, ou então, não haver incentivos de produção que vislumbre trabalhar na agricultura (CARNEIRO; MALUF, 2003).

De acordo com os dados do último Censo Federal Agropecuário (2006) a Agricultura Familiar concentrava 84% nos estabelecimentos rurais no Brasil, e, embora ocupasse apenas 24% da área agrícola do país, respondia pela geração de 38% do valor bruto da produção agropecuária nacional, incluindo a maioria dos alimentos presentes na mesa dos brasileiros (PPA, 2015).

No caso de Santa Catarina, gestores do Planalto Serrano, pertencentes a Organizações não Governamentais (ONG), como: Centro Vianei de Educação Popular, articulada em redes locais e regionais como o Conselho de Segurança Alimentar e Nutricional (CONSEA); o Consórcio de Segurança Alimentar e Desenvolvimento (CONSAD); Rede Ecovida de Agroecologia; Grupo de Trabalho em Sócio-Economia Solidária de Santa Catarina; Rede Cepagro; Rede Mata Atlântica; Talher Nacional, entre outros; buscam estimular seus municípios em programas como o Programa Catarinense de Inclusão Social, instituído pela Lei Estadual 12.120/2002.

Tal Programa objetiva elevar os níveis de desenvolvimento socioeconômico dos municípios serranos de SC, através de medidas compensatórias (DOS SANTOS, 2006) como a organização de Cooperativas como a ECOSSERA, que visa à comercialização de produtos alimentícios agroecológicos, artesanatos e insumos para a produção, transformação e comercialização desses produtos regionais.

Essas cooperativas atualmente são apoiadas institucionalmente pelo Consórcio Intermunicipal da Serra Catarinense (CISAMA) e pelas Prefeituras atuantes com a participação dos produtores rurais.

Outro instrumento que prestigia a agricultura familiar é relatado por Linder (2012), que ressalta a importância do Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável na Serra

Catarinense, buscando maior reconhecimento da agricultura familiar como principal responsável pela produção de alimentos no país, agregando valor através de agroindústrias, da conservação cultural familiar, inclusão social, sustentabilidade e melhoria das condições de vida das pessoas do campo na perspectiva da economia solidária (GONÇALVES, 2008).

O forte perfil agrícola da região, com destaque à produção de maçã, pera, alho, feijão e batata-inglesa, somado à expressiva produção florestal - reflorestamento de pinus - da Macrorregião (SEBRAE-SC, 2013), associa-se à produção agroindustrial específica, a exemplo do queijo serrano, produção de mel, agricultura orgânica, uva, vinhos de altitudes e maçã em São Joaquim (CAZELLA; BURIGO, 2008; e RIBEIRO; ANDION & BURIGO, 2015).

Essa multifuncionalidade impulsiona a continuidade da agricultura familiar (CARNEIRO; MALUF, 2003), visando à possibilidade de mais acesso ao crédito com capacitação, ações de educação ambiental no campo, geração e distribuição de renda sob os olhos da economia solidária (LISBOA, 2005).

Nessa perspectiva, os programas de inclusão do agricultor tornam-se importantes orientadores diante da sistemática das políticas públicas, as quais tendenciam a instituírem-se de forma progressiva a partir de indicações geográficas globais.

Isso também compreende as normativas e as leis do saneamento básico, que se mostram enrijecidas para áreas rurais, assim como acontece nos saberes tradicionais existentes na região (LAGARES; LAGES; BRAGA, 2005).

Esses saberes tradicionais estão suscetíveis a ocultarem-se, podendo promover a inserção de uma minoria de produtores no mercado formal e, ao mesmo tempo, excluí-los se não forem capazes de cumprir com as convenções e tendências de uma sociedade cada vez mais regulamentada por normas de defesa de propriedade intelectual (KRONE; MENASCHE, 2010).

#### 2.1.1.1 Inspeção Agroindustrial em confluência ao Saneamento Ambiental

Medaets (2006) e Lagares; Lages e Braga (2005), discutindo as políticas de qualidade para produtos agrícolas no Brasil, ressaltam que as diferentes modalidades de certificação representam um atestado de conformidade de um produto a um

referencial, sendo a padronização um mecanismo de coordenação do sistema agroalimentar.

Os serviços de inspeção municipais, estaduais e federais de produtos de origem animal (SISBI/POA) são responsáveis pela fiscalização das agroindústrias de produtos de origem animal, tais como: abatedouros, fábricas de embutidos, laticínios, beneficiadores de mel e de ovos, entrepostos de pescado, dentre outros (BRASIL, 2008).

Frente a isso, o SUASA (Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária) facilita a produção e a inserção dos produtos da agricultura familiar no mercado formal, através da Lei Federal 9.712/1998 e Decreto Federal nº 5.741/2006, fortalecendo o foco no controle da qualidade sanitária dos alimentos; adesão ao SISBI (Serviço Brasileiro de Atenção à Sanidade Agropecuária); democratização do sistema de inspeção e descentralização do serviço, abrindo espaço para integração dos municípios e incentivando o desenvolvimento local (BRASIL, 1998).

O SISBI/POA é uma equivalência do SIF (Serviço de Inspeção Federal), o qual permite o comércio interestadual. O SISBI pode ser aderido também pelo SIM (Serviço de Inspeção Municipal), SIE (Serviço de Inspeção Estadual) ou Consórcios (PREZOTTO; DO NASCIMENTO, 2013; PREZOTTO; DA SILVA, 2010).

O Serviço de Inspeção Municipal é amparado legalmente por Lei e Decreto que regularizam a atividade (WILKINSON; MIOR, 1999). Cada município tem sua Lei e Decreto próprio, todos baseados em legislações federais. O Regulamento "mãe" que se tem como base é o RIISPOA - Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal, criado em 1952 e, desde então, com decretos, portarias e outras regulamentações que o complementam (PREZOTTO; DA SILVA, 2010).

Nesse sentido, percebe-se uma aproximação entre as leis que regulamentam os processos de inspeção, a Política Nacional do Saneamento básico (Lei Federal 11.445/2007) junto à Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde e aos Planos Municipais de Saneamento Básico, pois exigem água de qualidade, livre de contaminação microbiológica, para que se obtenham os procedimentos adequados de sanitização e produção de alimentos (BRASIL, 2011).

## 2.2 TRATAMENTO DE ÁGUA NO AMBIENTE RURAL

Como já referido anteriormente, a Lei Federal 11.445/2007 estabelece nos artigos 2º e 3º que os serviços de saneamento básico sejam prestados atendo-se ao controle social, sendo esse um dos princípios fundamentais, que garante à sociedade informações, representações técnicas e participação dessas políticas de serviços públicos. Tal controle visa à universalização do acesso à melhoria da qualidade de vida através da participação na prestação dos serviços de saneamento básico.

“A idéia, então, é gerar desenvolvimento pensando nas pessoas (expectativas, participação ativa e compromissos) e não somente na técnica (equipamentos, projetos e metodologias)” (DI BERNARDO; PAZ, 2008).

Segundo, ainda, Di Bernardo e Paz (2008), é comum no Brasil as Estações de Tratamento de água (ETA) não funcionarem adequadamente sem permitir que as mesmas tenham alternativas mais “amigáveis” às comunidades para maior desenvolvimento.

Como nas pequenas comunidades rurais (mais de 30 milhões de brasileiros) (IBGE 2010), onde há predominância de aspectos culturais interferentes no acompanhamento desses processos tecnológicos, considera-se de fundamental importância a providência do controle social. No entanto, nas maiores comunidades, onde as organizações sociais são heterogêneas, é mais fácil a implantação de ETAs com maior complexidade, em funções de recursos disponíveis (CINARA, 1997).

“Em 1987, na Noruega, a Assembléia Geral da ONU (Organização das Nações Unidas) incluiu o conceito de sustentabilidade no Relatório “*Brundtland*”, que vem sendo utilizado na concepção de programas de desenvolvimento, de modo que as atividades a serem realizadas na presente geração não comprometam os recursos e as condições ambientais das futuras

gerações. Aplicando o conceito em estações de tratamento de água, pode-se dizer que uma ETA é considerada sustentável quando, com qualidade, promove o nível desejado de serviço, economia e preservação ambiental. Pode, portanto ser mantida por seus usuários com pouco apoio e assistência técnica, e utilizada de maneira eficiente sem causar efeitos negativos ao ambiente” (DI BERNARDO; PAZ, 2008).

Nesse contexto, vários trabalhos científicos vêm sendo desenvolvidos em prol de soluções sustentáveis para as pequenas comunidades, principalmente de países em desenvolvimento (DI BERNARDO; PAZ, 2008).

De acordo com García e Galvis, (2000), os critérios para sustentabilidade no tratamento de água devem: a) acomodar a cultura local, considerando o nível de serviço disponível, capacidade de pagamento e possibilidade de operação e manutenção; b) adequar a tecnologia ao pessoal capacitado; c) admitir que pode haver desperdício de recurso, ineficácia e abandono das instalações; d) procurar minimização dos impactos ambientais; e e) consentir que haverá estudos de tratabilidade, instalação de pilotos e adaptações na região de implantação.

O objetivo principal, quando se envolve qualidade de água, é deixá-la de acordo com as normas de potabilidade para consumo atendendo às condições econômicas, de saúde dos usuários (PROSAB, 2009).

À vista disso, Di Bernardo e Paz (2008) salientam que o intuito é deixar de elaborar sistemas “padrão” para quaisquer situações, o que é comum no Brasil. Os autores relatam que muitas empresas de saneamento forcejam a utilização das tecnologias de ciclo completo e filtração direta, desconsiderando a qualidade do manancial e o tipo de comunidade.

A complexidade da tecnologia, além de estar relacionada ao controle social e às condições locais para manutenção e operação, atrela-se, igualmente, à disponibilidade de recurso local e à proximidade a um centro urbano para acesso a peças de reposição e materiais de construção; ao suporte técnico e disponibilidade de produtos químicos, caso haja profissional qualificado para operação (DI BERNARDO; PAZ, 2008).

Portanto, qualquer estudo que avalie esses diversos fatores e indicadores para tomada de decisão deve focar a estruturação de modelos visando à sustentabilidade (CINARA, 1997).

Tomando esse enfoque como premissa, enquadram-se, como alternativa para tratamento de água nas áreas rurais, as ETAs, operando com filtração lenta, com ou sem pré-tratamento, quando se dispõe de um manancial passível a essa técnica (PIZZOLATTI et al., 2010; DI BERNARDO; PAZ, 2008).

### 2.2.1 FILTRAÇÃO LENTA

A filtração lenta apresenta um potencial tecnológico para o tratamento de água, principalmente para países em desenvolvimento (BRITO et al., 2005). No Brasil, essa tecnologia é, muitas vezes, utilizada para a potabilização de água em pequenos centros urbanos ou em comunidades rurais que não têm acesso a sistemas públicos de abastecimento, onde a instalação e operação de Estações de Tratamento de Água (ETA) é algo inviável (PROSAB, 1999).

Essa tecnologia é considerada inteligível no que diz respeito à construção, à operação e à manutenção, pois favorece o uso de recursos locais, descarta o emprego de alguns produtos químicos e equipamentos sofisticados para controle, possibilitando um processo de tratamento de água bastante eficiente e acessível, evitando operações mais complicadas (PATERNIANI e CONCEIÇÃO, 2004; SÁ; CELIA; BRANDÃO, 2004; GIMBEL et al., 2006). Vide Tabela 2.

Sendo considerada uma tecnologia de purificação de água, a filtração lenta é utilizada há séculos e ainda considerada eficiente (PROSAB, 1999).

A filtração é recomendada quando há um valor limite de turbidez da água bruta e em baixas taxas de filtração, entre 3,0 e 12,0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d, o que permite o tratamento principalmente por meio das atividades biológicas (DI BERNARDO; DANTAS, 2005a).

Certamente, a taxa de filtração constitui-se por um parâmetro que está vinculado às variações sazonais de qualidade de água bruta, influenciando nas dimensões da unidade de filtração lenta, nos custos de desenvolvimento do sistema e nos fatores como perda de carga, duração da carreira de filtração e eficiência do processo (PYPER; LONGSDON, 1991).

Tabela 2 – Limites máximos de aplicabilidade da filtração lenta por meio do parâmetro turbidez.

<b>Autor</b>	<b>Turbidez para operação</b>
Huisman (1974)	10 mg/L de SiO <sub>2</sub>
Visscher(1987)	10 uT
Di Bernardo (2005)	10 uT
Hespanhol (1987)	10-50 uT

Fonte: adaptado de (MURTHA, 1998).

Para Murtha(1998), usam-se taxas mais conservadoras quando a qualidade de água bruta é inferior, contendo alta concentração de sólidos e cor, porém, quando a água bruta é de melhor qualidade ou há uso de pré-tratamento, pode-se utilizar de taxas maiores para filtração.

Um exemplo disso é relatado por Visscher (1990) ao apontar a aplicação de taxas maiores de filtração na estação de tratamento de água em Amsterdã (Holanda), em torno de 14,4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d, devido à utilização de unidades de pré-tratamento na mesma.

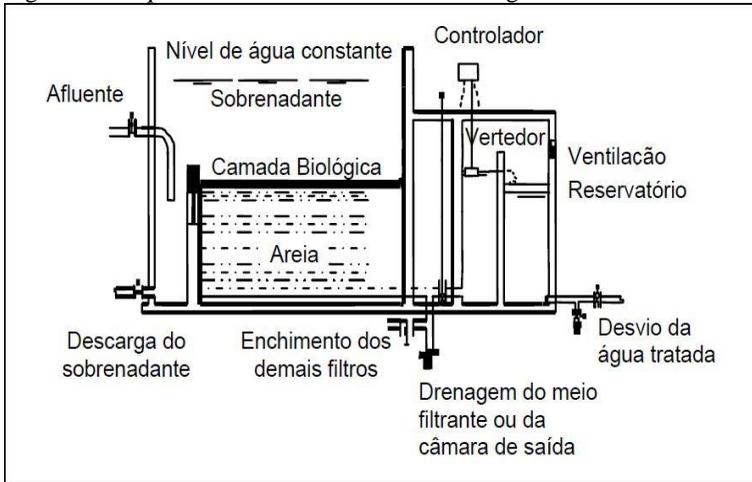
Esse exemplo confirma as considerações de Huisman e Wood (1974), o qual alega que o emprego de taxas de filtração baixas não assegura necessariamente a produção de água de melhor qualidade, pois pode haver muitas variações da mesma durante uma carreira de filtração, ou então, estar relacionado à formação da camada biológica, afetando a qualidade do efluente.

Segundo Huisman e Wood(1974), os filtros lentos descendentes são compostos por controlador de vazão, camada filtrante com areia fina sobre brita, camada suporte, sistema de drenagem, tubulação de descarga do sobrenadante, entre outras tubulações e válvulas.

Podem ser operados com taxa de filtração constante ou declinante e, para tal, é viável funcionarem com nível de água sobrenadante constante ou variável de acordo com a perda de carga no sistema, não alterando a eficiência dos mesmos. Porém, o filtro que opera com coluna de água variável é mais adequado do ponto de vista econômico e operacional (MURTHA, 1998 e DI BERNARDO; DANTAS, 2005b).

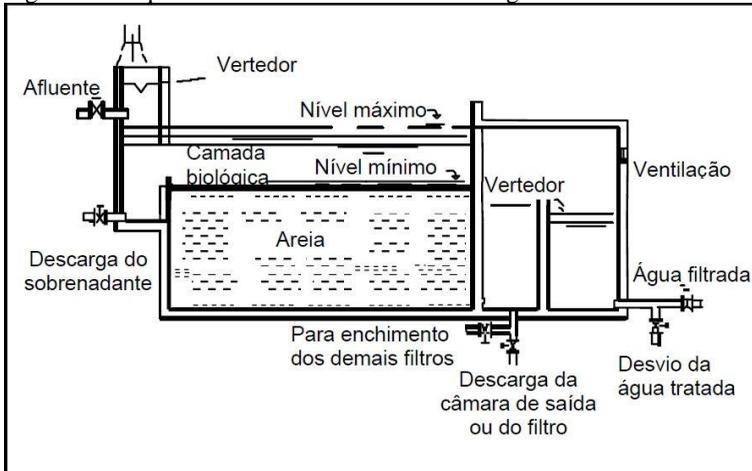
Os esquemas de filtro lento com nível constante (Figura 3) e com nível variado (Figura 4) foram retirados da literatura para melhor entendimento.

Figura 3 – Esquema de filtro lento com nível de água constante.



Fonte: Di Bernardo & Dantas (2005).

Figura 4 – Esquema de filtro lento com nível de água variável.



Fonte: Di Bernardo & Dantas (2005).

A camada de areia possui, tradicionalmente, 1,0 m de altura, diâmetro efetivo  $d_{10}=0,15$  a 0,35 mm e coeficiente de uniformidade  $d_{60}/d_{10}$  preferencialmente inferior a 3 (VISSCHER et al., 1987; LOGSDON et al., 2002 e DI BERNARDO; DANTAS, 2005a).

Em relação a essa camada de areia fina, é importante salientar que no início de funcionamento, quando o meio filtrante encontra-se limpo, a eficiência de remoção é relativamente baixa (DI BERNARDO; DANTAS, 2005b), havendo necessidade de um período de filtração para a formação de uma camada biológica, conhecida como “schmutzdecke” (HUISMAN; WOOD, 1974).

A *schmutzdecke*, ou camada biológica, atua nas ações físicas de coar e sedimentar, retendo partículas inertes, matéria orgânica, bactérias, algas, protozoários, metazoários, etc. (LLOTD, 1974; DI BERNARDO; DANTAS, 2005b).

A eficiência da filtração depende dessa camada biológica, a qual normalmente demora semanas ou meses para se formar, porém, quando desenvolvida, atua com intensa atividade biológica e garante produção de água com qualidade apropriada para uma desinfecção efetiva (LLOTD, 1974; DI BERNARDO; DANTAS, 2005b; SÁNCHEZ; LATORRE; GALVIS, 1999 e HENDRICKS, 2010).

#### 2.2.1.1 Limpeza de Filtros Lentos

A limpeza de filtros lentos acontece no final da carreira de filtração – período de estabilização da recuperação do filtro até a próxima colmatação (DI BERNARDO; PAZ, 2008).

De acordo com Pizzolatti (2010), quando a carga hidráulica, estipulada previamente, é atingida ou há alteração crescente na qualidade de água, após um período, determina-se a finalizaçãoda carreira de filtração, portanto, sendo necessário realizar a limpeza do filtro.

A forma mais utilizada para limpeza de filtros lentos é através de raspagem da camada superior colmatada (HUISMAN; WOOD, 1974). No entanto, apesar de a norma brasileira NBR 12.216/1992 estabelecer somente este método para limpeza, estudos de Emmendoerfer (2006); Pizzolatti (2010); Pizzolatti, et al. (2014) e De Souza et al. (2016) apresentaram a retrolavagem como um método eficiente para esse processo. Essa metodologia de limpeza tem se mostrado eficiente, principalmente, para filtros lentos de pequeno porte.

Segundo Soares et al. (2010), a retrolavagem mostra-se promissora pela facilidade de operação, comparado à raspagem manual. No processo, o fluxo de água ascendente fluidifica, total

ou parcialmente o meio filtrante, por meio de uma velocidade mínima de expansão (HENDRICKS, 2010).

Portanto, para a realização da retrolavagem em filtros lentos, é necessário armazenar água bruta ou filtrada (PIZZOLATTI et al., 2010), conhecer as características do meio filtrante e obter carga hidráulica suficientemente apropriada para conseguir uma velocidade de expansão do material filtrante a fim de realizar a limpeza (EMMENDOERFER, 2006; DE SOUZA et al., 2016).

#### 2.2.1.2 Uso de manta sintética não tecida em filtros lentos

O desempenho de filtros lentos pode ser fomentado através do uso de mantas sintéticas não tecidas no topo (GRAHAM et al., 1990; DI BERNARDO; DANTAS, 2005b), ou então, na camada suporte do meio filtrante (FERRAZ; PATERNIANI, 2002).

Segundo estudos realizados por Schujmann (2010) e Bergamini e Paterniani (2010), as mantas sintéticas são constituídas por polímeros e podem se manifestar para o aumento da carreira de filtração, possibilitando a adoção de taxas de filtração mais elevadas que as convencionais (GRAHAM; MBWETTE, 1987; GRAHAM; MBWETTE; STEITIEH, 1990). De mesmo modo, podem auxiliar na remoção de cor e turbidez e reduzir a espessura da camada filtrante, facilitando até o processo de retrolavagem. Para uma mesma taxa de filtração, a carreira chega a aumentar até cinco vezes, comparada a um filtro lento sem uso de manta e de mesma espessura (DI BERNARDO; PAZ, 2008).

Experimentos realizados por Paterniani (1991) revelaram um incremento das carreiras de filtração em até 258% para taxas de filtração de até 12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia com o uso das mantas não tecidas. Isso pode ser explicado porque as propriedades estruturais das mantas não tecidas oferecem um meio filtrante mais eficiente que a areia (FERNÁNDEZ et al., 2013).

Além disso, a espessura da camada de areia pode ser reduzida com a presença da manta no meio filtrante (DI BERNARDO; PAZ, 2008).

O emprego desse tipo de material, portanto, configura como uma solução econômica, pois é de baixo custo comercial, e operacional, principalmente para regiões rurais (CUMBI; PÁDUA, 2013).

### 2.2.1.3 Uso de Carvão em tratamento de água

O uso de carvão para adsorção de substâncias orgânicas é o mais comum no Brasil. Vários são os tipos de adsorventes usados no tratamento de água, destacando-se o carvão ativado, carvão antracitoso, resinas de trocas iônicas, óxidos de metais e alumina ativada (DI BERNARDO; DANTAS, 2005a).

A maior parte das substâncias que causam sabor, odor, mutagenicidade e toxicidade, incluindo agroquímicos, pode ser adsorvida no carvão ativado. No entanto, não se pode generalizar que qualquer tipo de carvão ativado adsorverá qualquer substância orgânica indesejável na água (DI BERNARDO; DANTAS, 2005a).

Na prática, a aplicação de carvão no tratamento de água pode acontecer na forma de filtros adsorventes, no qual o processo de filtração e adsorção ocorrem na mesma unidade, ou como adsorção pós-filtração, em que os processos de filtração e adsorção ocorrem em unidades diferentes (GRAESE et al., 1987).

Um estudo realizado por Ferreira e Teixeira (1996) teve o objetivo de comparar o comportamento hidráulico e eficiência de tratamento de água de meios filtrantes constituídos de areia-antracito e areia-carvão ativado granular, operados em unidades diferentes pelo processo de suspensões diluídas. Com base nos resultados obtidos, os autores concluíram que:

- a evolução de perda de carga, em ambos os filtros, apresentaram idêntico comportamento. Tanto o antracito como o carvão ativado granular, quando submetidos a uma mesma água decantada e operados com idênticas condições são capazes de produzir uma mesma evolução de perda de carga.
- com relação à qualidade da água, em ambos os filtros, foi praticamente a mesma para todas as carreiras de filtração realizadas. Observou-se em todas as carreiras de filtração realizadas a produção de um efluente com turbidez inferior a 0,2 uT em 95% dos resultados obtidos.

Nessa conjuntura, apesar de o carvão ativado apresentar alto potencial adsorvente na remoção de matéria orgânica dissolvida, agrotóxicos, fármacos, entre outros, comparado com o antracitoso; o estudo de Ferreira e Teixeira (1996) aponta que este pode ser considerado uma alternativa atraente de uso em áreas rurais por possuir um valor comercial mais acessível.

O carvão antracito é regido pela norma NBR 11.799/1990. Possui vantagens como: a) perda de carga reduzida em relação aos filtros por camada simples; b) reduz o tempo de retrolavagem; c) boa atividade adsortiva; d) permite o emprego de taxas de filtração maiores; e) proporciona maiores carreiras de filtração (CARBONÍFERA, 2016).

## 2.2.2 PRÉ-TRATAMENTO

A principal limitação para o uso da filtração lenta, foi apontada como sendo a qualidade da água bruta, que não deve ter cor e turbidez elevadas a ponto de delimitar em menor tempo a carreira de filtração (HUISMAN; WOOD, 1974; VISSCHER et al., 1987; HESPANHOL, 1987; GRAHAM; MBWETTE, 1987; DI BERNARDO; DANTAS, 2005b).

Este problema pode ser solucionado pela adoção de sistemas de pré-filtração antecedendo à filtração lenta (DI BERNARDO; DANTAS, 2005 e DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999).

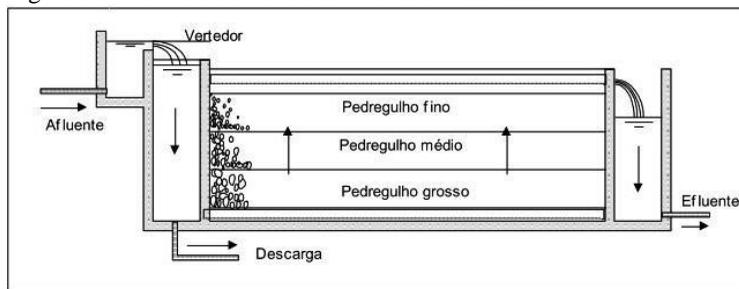
### 2.2.2.1 Pré-Filtro de Fluxo Ascendente

Consiste em uma série de camadas superpostas de pedregulhos com granulometrias decrescendo no sentido do fluxo. A vantagem principal deste tipo de filtro é que a disposição dos sólidos se concentra, majoritariamente, na parte inferior do leito, facilitando a limpeza por descarga de fundo (DI BERNARDO; DANTAS, 2005b).

Um estudo de Cleasby (1984) apresentou reduções consideráveis de turbidez e coliformes termotolerantes, devido à ação de pré-filtração ascendente, principalmente em períodos de intensa precipitação.

Di Bernardo e Dantas (2005), também recomenda esse tipo de unidade posteriormente a um pré-filtro dinâmico e anterior ao filtro lento, caracterizando uma filtração em múltiplas etapas (FIME). A Figura 5 mostra o funcionamento de pré-filtros ascendentes em camadas.

Figura 5 – Pré-filtro de fluxo ascendente em camadas.



Fonte: (DI BERNARDO; AGGIO, 1991).

### 2.2.2.2 Unidade de Decantação

“A sedimentação é o fenômeno físico em que, devido à ação da gravidade, as partículas suspensas apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica” (DI BERNARDO; PAZ, 2008).

Por definição de Di Bernardo & Dantas (2005a), a decantação com escoamento horizontal possui canal para distribuição de água. Pode, ainda, dispor de comportas de entrada para as unidades existentes, cortina de distribuição de água, calhas para coleta do sobrenadante, canal para destinação da água decantada e canaleta para extração do lodo.

Essa estrutura tem por objetivo a separação das partículas sólidas pela ação direta da gravidade, que estabelece um componente vertical de velocidade, no mesmo sentido da força da gravidade. As partículas relativamente grandes e densas são as que possuem velocidade de sedimentação alta. Durante o fluxo do efluente, essas partículas maiores tendem a reduzir a velocidade longitudinal, ocorrendo, assim, a decantação (MURTHA, 1998).

Apesar de a decantação ser uma forma de assegurar melhor qualidade de água, podendo reduzir picos de turbidez e propiciar um tratamento efetivo (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991), a maioria das interferências como turbulências, correntes secundárias e curtos-circuitos, tende a retardar a sedimentação das partículas que adentram na unidade (DI BERNARDO; DANTAS, 2005b).

### 2.2.3 ESTUDO DO COMPORTAMENTO HIDRODINÂMICO DE UNIDADES DE TRATAMENTO

Uma unidade de tratamento, independente do local em que é implantada, apresentará características hidráulicas a fim de mostrar seu desempenho, em cada etapa do sistema (HOWE et al., 2012).

Uma das melhores formas de determinar essas características hidráulicas é através do tempo de detenção ou residência, por meio de um traçador, medindo a quantidade de dispersão de um efluente (HOWE et al., 2012).

Portanto, conhecer o tempo de residência das unidades de tratamento por meio de traçador favorece o funcionamento e o desempenho real de cada etapa de tratamento a fim de gerar a distribuição do tempo de detenção, calcular concentrações de reagentes no efluente, quantificar a dispersão e tempo de contato para desinfecção, curtos-circuitos em tanques de sedimentação e reatores biológicos, padrões de escoamento em tratamentos naturais e grau de sucesso atingido no tratamento estabelecido (HOWE et al., 2012; METCALF; EDDY, 2016).

O tempo de detenção hidráulico teórico ( $\tau$ ) é um importante indicador do tempo real, obtido pelo volume útil da unidade sobre a vazão afluente (Equação 1).

Para um sistema fechado, ou seja, sem dispersão; independente da DTR (Distribuição do Tempo de Residência) que existe para uma unidade ou reator, ideal ou não-ideal, o  $\tau$  é igual ao tempo médio de residência ( $t_m$ ) (FOGLER; GÜRMENT, 1999).

$$\tau = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

Onde:

V = volume do reservatório;

Q = vazão (vazões de entrada e saída são iguais, o volume do reservatório é constante).

Di Bernardo & Dantas (2005a) reportam que a escolha do tipo de traçador depende do tamanho das unidades de tratamento,

da qualidade da água, custo do produto e que o mesmo não reaja com compostos presentes na água.

Os autores, do mesmo modo, salientam que, dependendo do estudo a ser realizado, o traçador pode ser aplicado de forma contínua ou em pulso. Para a forma contínua é importante se conhecer a concentração da solução utilizada, a vazão de aplicação do produto e o teor nas amostras coletadas, a fim de determinar a vazão de água afluyente à estação ou às unidades, por meio de balanço de massa.

Já, com a aplicação na forma de pulso, o traçador é pré-dosado e deve ser introduzido na entrada do sistema rapidamente. Então, realizam-se amostragens ou medições no afluyente da unidade ao longo do tempo.

Mesmo que o uso do traçador seja favorável a esse tipo de estudo não há uma substância ideal caracterizada semelhantemente ao fluido e que não cause alterações no meio de estudo, mesmo em baixas concentrações. O cloreto de sódio, por exemplo, caracteriza-se como não ideal (COTA; VON SPERLING; PENIDO, 2011). No entanto, é considerado de fácil aquisição, manuseio e de baixo custo; isso o torna acessível e frequente para ser correlacionado com a condutividade de água coletada (DI BERNARDO; DANTAS, 2005b).

### 2.2.3.1 Características Hidráulicas com teste de traçador

O traçador pode caracterizar o escoamento como pistão (*plugflow*) ou de mistura parcial ou completa (*perfect mixing*) da água afluyente (LEVENSPIEL, 2000; HOWE et al., 2012).

No escoamento ideal tipo pistão, todas as partículas do efluente seguem caminhos paralelos, retos e de mesma velocidade, sem mistura. Sendo assim, deve haver uma considerável relação comprimento/largura para isso acontecer (TEIXEIRA, 1993). Nesse tipo de escoamento, o tempo de residência deve ser o mesmo para todo o fluido (LEVENSPIEL, 2000).

Já o escoamento ideal tipo mistura completa caracteriza-se pela homogeneidade do fluido em toda extensão da unidade, não existindo variações espaciais de concentração e temperatura, por exemplo. Aplica-se melhor em unidades com agitação, geralmente (TEIXEIRA, 1993).

Escoamentos com comportamentos diferentes seriam considerados não-ideais (LEVENSPIEL, 2000). Ou seja, uma parte da vazão que entra na unidade estudada, chega antes ou depois do “ $\tau$ ”.

Nos modelos não ideais, a variação da concentração do traçador em forma de pulso, mostra certo grau de mistura, escoamentos preferenciais, curtos-circuitos, zonas mortas, zonas estagnantes, reclicos e retromistura (METCALF; EDDY, 2016).

Portanto, o mal uso do volume útil na unidade caracteriza em uma limitação no processo do tratamento (METCALF; EDDY, 2016).

Esses tipos de escoamentos podem ser detectados por meio de observações das curvas de distribuição de tempos de residência e da análise do comportamento hidráulico calculados a partir dos dados experimentais, como mostrado na Tabela 3, (LEVENSPIEL, 2000 e METCALF; EDDY, 2016).

Tabela 3 – Termos para descrição do desempenho hidráulico do fluido em uma unidade de tratamento.

<b>Indicador</b>	<b>Definição</b>
$\tau$	Tempo de Detenção Hidráulico teórico
$t_m$	Tempo médio de residência
$\sigma^2$	Índice de Dispersão para avaliar o grau de espalhamento da distribuição. Em um reator ideal pistonado se aproxima de zero e com o aumento da mistura, aproxima-se de 1
$t_i$	Tempo em que o traçador aparece pela primeira vez
$t_p$	Tempo em que o pico de concentração do traçador é observado
$t_{10}, t_{50}, t_{90}$	Tempo no qual 10, 50, 90% do traçador passou pelo reator
$t_{90}/t_{10}$	Índice de Dispersão de Morill, IDM. Razão tendendo a 1 em fluxo pistonado e 21,8 em mistura completa
$t_{50}/\tau$	Índice de tempo mediano de detenção. Em um fluxo pistonado eficiente, a curva C é muito parecida com a de Distribuição Gaussiana. Quando a relação é menor que 1,0 corresponde a uma curva assimétrica à esquerda. Valores maiores que 1,0, a curva é assimétrica para a direita.
$t_{10}/\tau$	Índice do nível de dispersão. A razão tende a 1 em reatores de fluxo pistonado e a 0,1 em reatores de mistura completa. Valores maiores ou menores que 1,0 a distribuição da vazão no reator é desordenada

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (2016) e Howe et al., (2012).

Segundo ainda Metcalf e Eddy (2016), essas curvas obtidas com traçador na forma de pulso, quando são utilizadas

concentrações em função do tempo, são chamadas curvas “C”. Já, quando se utiliza a fração remanescente do traçador com o tempo, são chamadas de curvas “F”.

Ao se caracterizar a curva “C”, o valor médio é dado pelo centroide da distribuição. Assim, o tempo de residência médio derivado da curva do traçador ( $t_k$ ) fica como mostrado na equação 2:

$$t_k = \frac{\int_0^{\infty} tC(t)dt}{\int_0^{\infty} C(t)dt} \quad (2)$$

Onde:

$t_k$  = tempo de residência médio derivado da curva do traçador;

t = tempo;

C(t) = concentração de traçador no tempo t.

Assim, para se definir o efeito da dispersão na distribuição, calcula-se a variância ( $\sigma^2$ ). Vide equação 3:

$$\sigma^2(C) = \frac{\int_0^{\infty} t^2C(t)dt}{\int_0^{\infty} C(t)dt} - (t_k)^2 \quad (3)$$

Nesse ínterim, é usual representar o tempo em relação ao tempo médio teórico forma adimensional ( $\Theta$ ), como representado na equação 4:

$$\Theta = \frac{t}{\tau} \quad (4)$$

Como mencionado, a resposta da aplicação tipo pulso denomina-se curva “C” e essa, normalizada em relação às variáveis de concentração e tempo, resultam na curva “E( $\Theta$ )”, a qual representa a distribuição dos tempos de residência do fluido na unidade.

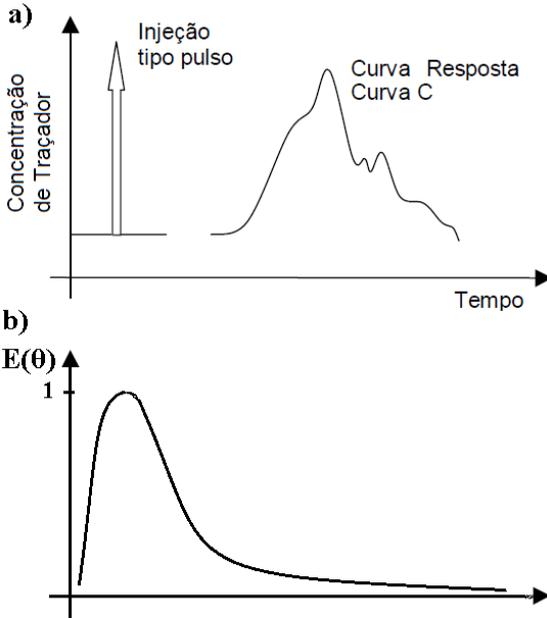
Portanto, para tempos suficientemente elevados, todo o efluente que entrou com  $t=0$  terá deixado o sistema entre o intervalo ( $t+dt$ ). Vide equação 5:

$$\int_0^{\infty} E(t)dt = 1 \quad (5)$$

Estabelece-se, assim, que a soma das frações de material na saída de um sistema é igual a 1 (Figura 6).

Nesse ínterim, os padrões de escoamento em unidades reais podem se divergir de situações ideais, interferindo na eficiência hidráulica dos processos implementados (TEIXEIRA, 1993).

Figura 6 – a) Representação esquemática de estímulo unitário instantâneo e da respectiva resposta; b) Curva  $E(\theta)$  do traçador em forma de pulso em função do tempo, escoamento não ideal.



Fonte: adaptado de Di Bernardo & Dantas (2005) e Levenspiel (2000).

## 2.2.4 CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS UTILIZADAS EM ÁREAS RURAIS

Segundo IBGE (2004), são consideradas alternativas de acesso à água no Brasil, aquelas realizadas por rede de abastecimento geral, captação por poços, nascentes, cacimbas, carros-pipa, água-da-chuva, entre outros.

De acordo com Stukel et al.(2003) essas formas de utilização nem sempre apresentam qualidade satisfatória para consumo. Isso se deve à falta de preservação do manancial, contaminações bacterianas por inadequada vedação de poços, proximidades das fontes a fossas ou áreas de pastagem ocupadas por animais.

Como apontado anteriormente nos dados do IBGE (2004), o maior percentual de utilização de água de abastecimento nas regiões rurais de SC é referente a poços e nascentes, com cerca de 86,5% dos domicílios. Somente 12,9% dos domicílios possuem rede geral e 0,6% utilizam de outros recursos para captação. Portanto, as águas de consumo nas regiões rurais, em sua maioria, provêm de mananciais subterrâneos (DO AMARAL et al., 2003).

No Brasil, as reservas de água subterrânea são estimadas em 112.000 km<sup>3</sup> e a contribuição anual média à descarga dos rios é da ordem de 2.400 km<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>, correspondente à contribuição dos fluxos subterrâneos às suas vazões totais médias de longo período (REBOUÇAS, 1988).

Segundo Todd (2005), a água que ocorre em zona de saturação preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas é comumente denominada de água subterrânea. Na zona de saturação todos os interstícios estão preenchidos com água sob pressão hidrostática.

Para Barcellos et al. (2006), as águas subterrâneas são caracterizadas por estarem totalmente abaixo da superfície terrestre, compreendendo os lençóis freáticos e profundos. Esse mesmo autor relata a existência, também, de mananciais sub-superficiais, que são as partes dos mananciais subterrâneos que afloram na superfície terrestre, tornando-se superficiais, denominados de nascentes.

No entanto, por definição de Todd (2005), a descarga da água subterrânea ocorre quando a água emerge do subsolo, portanto a nascente ocorre quando há fluxo para a superfície. O

mesmo autor, igualmente, declara que devem ser distinguidas as nascentes das áreas de percolação, que indicam um movimento mais lento das águas subterrâneas para a superfície do terreno.

Briggs (1897) dividiu todas as nascente em: (a) aquelas que resultam de forças não gravitacionais; e (b) as que resultam de forças gravitacionais. As fontes gravitacionais, que resultam do fluxo da água sob pressão hidrostática, são:

- nascentes de depressão - formada quando a superfície do terreno intercepta o nível d'água;
- nascentes de contato - criadas por uma formação portadora de água permeável sobrejacente a uma formação menos permeável que intercepta a superfície do terreno;
- fontes artesianas - resultantes do desprendimento de água sob pressão de aquíferos confinados, ou em afloramento do aquífero, ou através de uma abertura do leito confinante;
- nascentes tubulares ou de fratura - escoam de canais arredondados tais como colunas de lava ou canais por dissolução, ou fraturas em rochas impermeáveis ligadas a um reservatório de águas subterrâneas.

Da mesma maneira, visando ao estudo das grandezas das nascentes, Meinzer (1927) propôs uma classificação baseada na vazão que elas representam. Nesse estudo, ele destaca que as nascentes possuem flutuações em sua taxa de vazão. As flutuações são resultado de variações da taxa de reabastecimento em períodos que variam de minutos a anos, dependendo das condições geológicas e hidrológicas. Portanto, essa classificação gerou dois conceitos:

- nascentes perenes - são as que drenam extensos aquíferos permeáveis e apresentam descarga durante todo o ano;
- nascentes intermitentes - apresentam descarga durante apenas parte do ano. Essas apresentam flutuações mais ou menos regulares de descarga não associadas a efeitos de precipitações de chuvas ou outras causas sazonais.

### 2.3 ADEQUAÇÃO AMBIENTAL EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

Ao se contextualizar a atual sistemática do saneamento rural, voltada ao setor de tratamento e abastecimento de água, justifica-se que as medidas adequadas de atuação servem como atividades de prevenção e de proteção à saúde da população.

Galvão Jr. e Philippi Jr. (2012) evidenciam que as competências em matéria de saneamento já vêm estabelecidas na Constituição Federal (CF), servindo de veículo à estruturação do arcabouço legal para implantação de políticas relacionadas ao saneamento básico.

Nesse sentido, um dos primeiros assuntos a serem integrados, é referente à gestão dos recursos hídricos, visando à proteção do meio ambiente e conseqüente perpetuação da vida (GALVÃO JR.; PHILIPPI JR., 2012).

A CF atribui o domínio das águas à União e distribui aos estados membros da federação a competência para legislar genericamente sobre isso (BRASIL, 1988). No entanto, o art. 2, XIX, da CF, sofreu regulamentação por parte da Lei Federal nº 9.433/1997, criando o Sistema Nacional de Recursos Hídricos, a integração da gestão descentralizada dos recursos hídricos com a gestão ambiental e do uso do solo (MEIRELLES, 1996).

A Lei nº 9.433/1997 aborda aspectos abrangentes relacionados à utilização da água ao defini-la como um bem de domínio público, dotado de valor econômico, determinando que a bacia hidrográfica é a Unidade Territorial para implementação da Política Nacional de recursos hídricos e que a gestão desses recursos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e da comunidade (BRASIL, 1997).

A Lei nº 9.433/1997 também determina que o uso da água depende de outorga do poder público federal ou estadual, estabelecendo uma autorização de uso para captação ou derivação para abastecimento público. Em Santa Catarina, tais ordens advêm da Lei Estadual nº 9.748/1994 e Decreto nº 4.778/2006.

A prestação de serviços de saneamento básico não se norteia somente por diretrizes próprias (GALVÃO JR.e PHILIPPI JR., 2012). A Lei 11.445/2007 e o Decreto 7.217/2010 também prevêem a integração dos serviços com a Lei Federal 12.651/2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; com a Lei Estadual nº 16.342/2014, que institui o Código Estadual de SC do Meio Ambiente e estabelece outras providências; com a Resolução CONAMA 303/2002, a qual dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente; e com a Resolução CONAMA 369/2006, que dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que

possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente – APP.

Segundo o Art. 3º da Resolução CONAMA 303/2002, constitui-se Área de Preservação Permanente a área situada: (...) “II - ao redor de nascente ou olho d’água, ainda que intermitente, com raio mínimo de cinquenta metros de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte”.

No estado de Santa Catarina, a Lei Estadual nº 16.342/2014 altera a Lei Estadual nº 14.675/2009, a qual apontava diferentes limites para áreas de preservação permanente, ocorrendo divergências entre a legislação ambiental federal (GUIZZO, 2013).

Nesse interim, a atual Lei Estadual corrobora com a Lei Federal nº 12.651/2012 e à Lei Federal revogada nº 4.771/1965, estabelecendo uma faixa com raio mínimo de 50 metros de largura em entorno de quaisquer nascentes, perenes ou intermitentes.

Mais recentemente, a noção de saneamento passa a incorporar questões que vão além dos aspectos sanitários, agregando, com maior ênfase, a dimensão ambiental, com destaque à importância das intervenções para a preservação e a conservação do meio ambiente (BRASIL, 2011).

### 2.3.1 TECNOLOGIAS EXISTENTES PARA PROTEÇÃO DE NASCENTES

Dentro de uma bacia hidrográfica,

“os locais de rios e nascentes são normalmente considerados mananciais. Estes locais devem ser protegidos com florestas e quando a prática agrícola for permitida, deve ser utilizada a técnica de agricultura orgânica (KOBİYAMA; MOTA; CORSEUIL, 2008, p.56)”.

A irregular distribuição de chuvas, variações de temperatura, presença de substâncias húmicas, desmatamentos e métodos erosivos utilizados na agricultura (WEGELIN, 1984), principalmente em regiões subtropicais do Brasil, são os

principais indícios de interferência na qualidade de água, consentida por uma nascente (MURTHA, 1998).

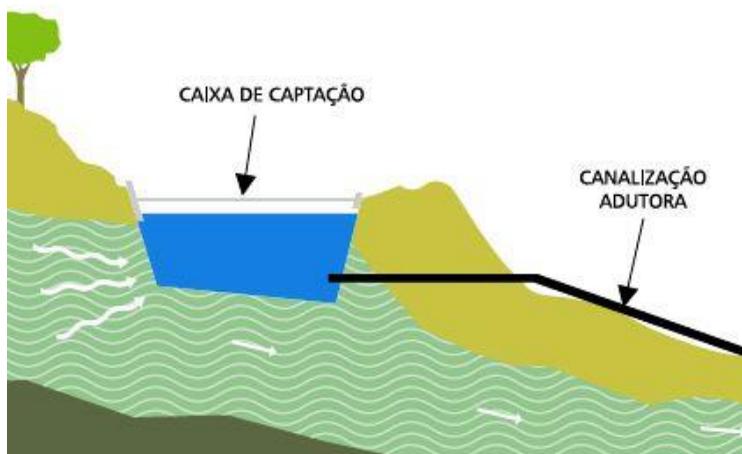
As proteções de nascentes têm como objetivo evitar a contaminação, sobretudo da água para consumo, por partículas de solo, matéria orgânica oriunda das plantas circunvizinhas, insetos entre outros (CALHEIROS et al., 2004).

A tarefa se resume na construção da caixa de captação ou depósito que, preferencialmente, deve ser revestida e sempre coberta (CALHEIROS et al., 2004).

Calheiros et al. (2004) descreve alguns modelos de proteção de nascente:

1) Trincheiras: utilizada quando o lençol freático está próximo à superfície. Esse modelo deve ser aberto transversalmente à direção do fluxo, possuindo uma declividade no sentido da largura a fim de que a água possa ser captada, canalizada ou bombeada. Vide Figura 7.

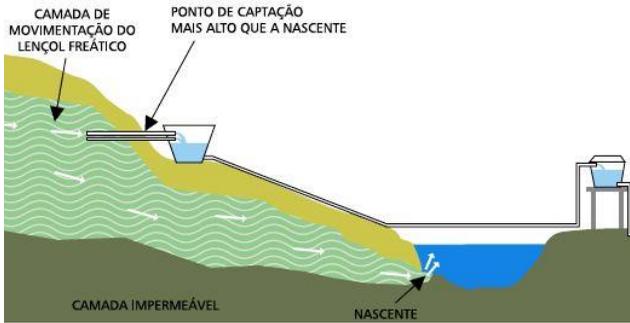
Figura 7 – Esquema de utilização de trincheiras.



Fonte: adaptado de Calheiros et al.(2004).

2) Captação com drenos cobertos: nesse caso a captação da água pode ser realizada em um nível mais elevado daquele da nascente. Utilizam-se drenos constituídos por tubos, os quais permitem conduzir a água por gravidade, para o abastecimento de uma caixa d'água. Vide Figura 8.

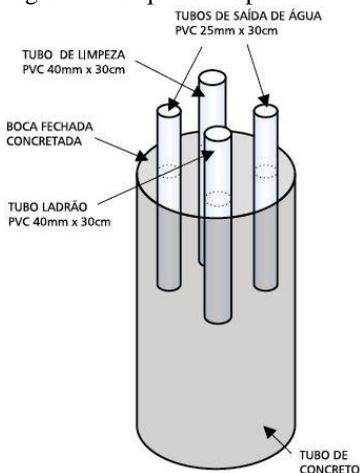
Figura 8 – Esquema de captação com drenos cobertos.



Fonte: adaptado de Calheiros et al.(2004).

3) Protetor de fonte modelo Caxambu: de baixo custo de construção, dispensa limpeza periódica da fonte. Trata-se de um tubo de concreto, assentado próximo à nascente, o qual possui tubulação para ser realizada a captação, outra para limpeza do sistema e outra para extravasão. Entre a nascente e o tubo de concreto é formado um leito filtrante com pedregulho, telha, brita, areia para realizar uma pré-filtração; e, logo em cima, disposta uma lona que protegerá o sistema do lixiviado. Essa forma é bastante executada pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural (EPAGRI).Vide Figura 9.

Figura 9 – Esquema do protetor de fonte, modelo Caxambu.



Fonte: adaptado de Calheiros et al. (2004).

Mesmo com a existência de tecnologias simples e baratas de implantação, favorecidas por instituições de apoio às famílias do campo, grande parte das pequenas propriedades rurais utiliza nascentes para uso de água sem qualquer tratamento e preservação (CALHEIROS et al., 2004).



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar o presente trabalho em prol de melhorias nas condições de subsistência e saneamento básico das localidades longínquas da Serra Catarinense, diagnosticou-se uma constante problemática referente à qualidade de água para consumo humano, na região.

Mesmo que o abastecimento de água para consumo seja, majoritariamente, realizado por captação de águas de nascentes, as mesmas, utilizadas para consumo e como insumo para produção e sanitização em agroindústrias, apresentaram desconformidades em relação a padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria 2.914/2011 do MS.

A fim de mitigar essa problemática, projetaram-se e implantaram-se três similares sistemas alternativos para tratamento de água provinda de nascentes. As propriedades de pequeno porte situam-se no Planalto Sul de Santa Catarina, municípios de Campo Belo do Sul, Cerro Negro e Lages.

A implantação aconteceu no ano de 2014 e foi subsidiada pela Tractebel Energia S.A - Unidade de Co-geração em Lages/SC, através de um Termo de Ajuste de Conduta (TAC) sob responsabilidade do Promotor de justiça da 13ª Promotoria de Justiça, com colaboração do Consórcio Intermunicipal Serra Catarinense (CISAMA), Associação dos Municípios da Região Serrana (AMURES) e da Engenharia Ambiental/Centro Agro-veterinário da Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC).

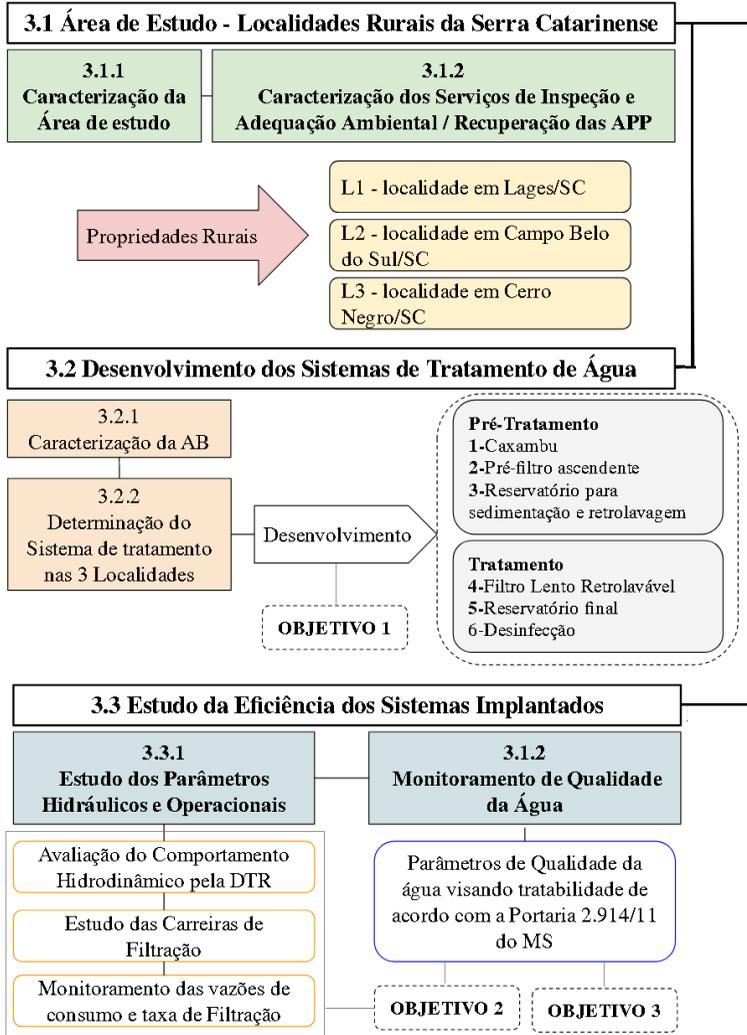
Os sistemas constituem-se de captação, tratamento edesinfecção, dispondo de tecnologia de baixo custo a fim de evitar o uso de métodos degradantes ao meio ambiente e atender ao que preconiza a Lei 11.445/2007, principalmente em consonância à universalização dos serviços de saneamento básico nos âmbitos municipais.

Doravante, os trabalhos foram conduzidos através do Laboratório de Tratamento de Água e Efluentes (LabTrat), administrado pela UDESC e do Laboratório de Potabilização de Águas (Lapoá), administrado pela UFSC.

Não obstante terem sido implantados com êxito, tais sistemas encontram-se em operação e remeteram a uma série de etapas necessárias para validação, melhorias de eficiência e desempenho, manutenções gerais e períodos de avaliação de

qualidade de água, incluindo instalação de desinfecção por cloração a fim de alcançar os objetivos propostos (Apêndice 1 e 2; Figura 10).

Figura 10 – Fluxograma com a metodologia empregada no âmbito da pesquisa.

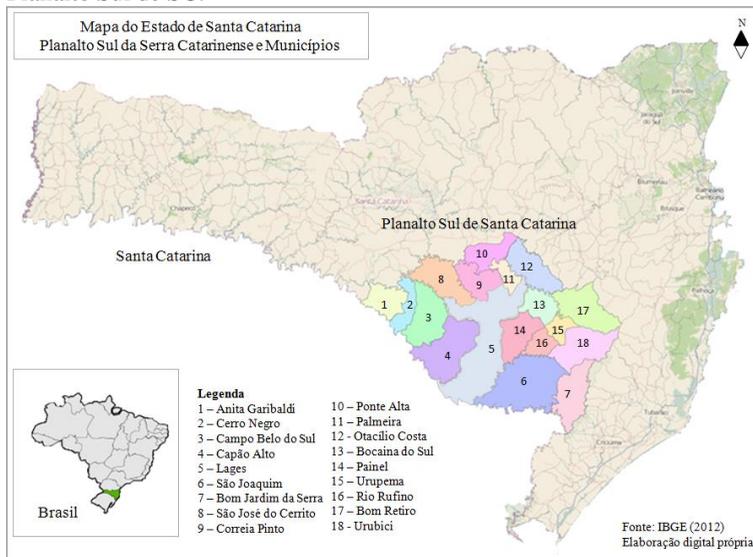


Fonte: elaborado pela autora (2017).

### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

As três propriedades rurais estão localizadas na Região Serrana de Santa Catarina, denominada Planalto Sul de SC, como mostra a Figura 11, e classificada como Região hidrográfica 04 ou Região Hidrográfica do Uruguai (POLESE et al., 2015).

Figura 11 – Localização de Santa Catarina e Municípios da Região do Planalto Sul de SC.



Fonte: elaborado pela autora (2016).

Essa região, também denominada Região da AMURES, possui clima frio e paisagem com campos de altitude. As atividades de turismo rural e agroindustriais são umas das predominantes, prevalecendo pela grande extensão campestre que ocupa, assim como um potencial econômico-cultural devido à produção agroalimentar e modo de vida, que remetem à interação histórica do povo com o meio ambiente (LINDER, 2012).

Segundo dados do IBGE (2010), essa região é composta por dezoito municípios, os quais ocupam uma área de 16.198,9 km<sup>2</sup> em que vivem 283.485 habitantes, sendo que cerca de 17 % encontram-se em território rural, configurando uma população absoluta rural de 48.634 habitantes.

### 3.1.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

Os sistemas de tratamento de água foram instalados em pequenas propriedades remotas da Região do Planalto Sul de SC, mais especificamente na área rural dos municípios de Lages, Campo Belo do Sul e Cerro Negro, Figura 12.

Figura 12 – Mapa de Abrangência do estudo na Região Serrana.



Fonte: elaborado pela autora (2016).

A Figura 12 mostra os municípios em destaque e também a extensão municipal e localização das propriedades (pontos maiores) em relação ao perímetro urbano (pontos menores).

A Tabela 4 mostra dados do IBGE (2010) sobre o número de pessoas que residem em área urbana e rural, o que pode caracterizar os municípios de Campo Belo do Sul e Cerro Negro como rural de pequeno porte e o município de Lages como urbano de grande porte.

Tabela 4 – População urbana e rural dos municípios de estudo.

<b>Município</b>	<b>População Total(hab)</b>	<b>População Urbana (hab)</b>	<b>População Rural (hab)</b>	<b>Percentual População rural (%)</b>
Lages	156.727	153.198	3.529	2,25
Campo Belo do Sul	7.483	4.406	3.077	41,11
Cerro Negro	3.581	764	2.817	78,66

Fonte: IBGE, 2010.

É possível perceber, também pela Tabela 5, que há uma distância significativa entre as cidades e as propriedades de estudo, agravada pela transporte rodoviário, que em sua maioria, caracteriza-se por estradas não pavimentadas, o que dificulta a mobilidade e acessibilidade dos que ali residem.

Tabela 5 – Distância entre propriedades e cidades de estudo.

<b>Município</b>	<b>Distância Propriedades/Cidades (Km)</b>
Lages	30,0
Campo Belo do Sul	20,5
Cerro Negro	30,7

Fonte: elaborado pela autora (2016).

Nesse ínterim, a seleção dessas propriedades para implantação dos sistemas foi realizada considerando-se o tamanho das mesmas, através da classificação do INCRA, 2015; o acesso ao saneamento básico, que é incipiente e precário; e as áreas prioritárias para recuperação de nascentes. Os critérios definidos foram:

- possuir APP de nascente degradada, a qual contribui para o abastecimento humano; e/ou
- quando houver agroindústria familiar, sendo inspecionada para obtenção selo de inspeção agroindustrial pelo SIM - Serviço de Inspeção Municipal.

O levantamento das agroindústrias familiares foi fornecido pelo CISAMA, através do programa de Segurança Alimentar, que realiza inspeções municipais a fim de garantir qualidade dos produtos comercializados no âmbito municipal por meio de uma certificação chamada Selo de Inspeção Municipal (SIM).

Portanto, selecionaram-se as propriedades da região serrana que se enquadram na classificação, sendo algumas com agroindústria familiar, captando e consumindo água por meio de nascentes.

A Tabela 6 mostra as localidades de estudo com as características peculiares de consumo e utilização da água informados pelos proprietários.

Esses foram colaboradores para o desenvolvimento e implantação dos sistemas, pois entenderam os benefícios ambientais e de saúde para todos que frequentam os locais.

Tabela 6 – Características gerais das propriedades e consumo de água.

<b>Município</b>	<b>Localidade</b>	<b>Atividades/usos</b>	<b>Consumo estimado (Ld<sup>-1</sup>)</b>
<b>Lages</b>	(L1) Segredo	Residencial Agroindústria de Queijo Serrano	1.000
<b>Campo Belo do Sul</b>	(L2) Capela dos Mota	Residencial	1.000
<b>Cerro Negro</b>	(L3) São Roque	Residencial Casa de extração de Mel Núcleo de Informática e Associação produtores de mel	1.000

Fonte: elaborado pela autora (2016).

### 3.1.2 CARACTERIZAÇÃO DO SERVIÇO DE INSPEÇÃO MUNICIPAL DAS AGROINDÚSTRIAS FAMILIARES E ADEQUAÇÃO AMBIENTAL PARA RECUPERAÇÃO DE APP

O Serviço de Inspeção Municipal dos produtos agroindustriais, na Região Serrana, é realizado de forma consorciada, através do Programa de Inspeção Alimentar do CISAMA. As agroindústrias familiares, objeto desta pesquisa, encontram-se nos municípios de Cerro Negro e Lages. No município de Campo Belo do Sul a propriedade não possui agroindústria.

O Programa do Consórcio é amparado legalmente por Lei e Decreto que regularizam a atividade exercida por médicos veterinários, engenheiros agrônomos, de alimentos e técnicos agrícolas dos 18 municípios da região. Todos esses municípios,

incluindo os de estudo, estão aderidos ao SUASA e possuem lei e decretos que regulamentam os serviços de inspeção municipal, permitindo-lhes livre comercialização dos produtos entre si (CISAMA, 2016).

As secretarias de agricultura municipais e o CISAMA são os apoiadores diretos para o funcionamento e adesão dos SIM nas agroindústrias na Região. Instituições como EPAGRI, IFSC e SENAR também cooperam com cursos de capacitações aos produtores.

Portanto, nas propriedades de Cerro Negro e Lages (Tabela 7), além de os proprietários receberem serviços de auxílio e inspeção municipal, têm a oportunidade de melhorar a qualidade de vida, através do consumo de água potável, que ainda é um dos maiores desafios nas áreas do interior do Brasil.

Tabela 7 – Propriedades de estudo e Leis e decretos municipais para o serviço de inspeção.

<b>Município</b>	<b>Agroindústria</b>	<b>Lei</b>	<b>Decreto</b>
Cerro Negro	Casa de extração de Mel	Lei nº 523/2010 (29/11/2010)	Nº 292 – A (29/05/2011)
Lages	Agroindústria de Queijo Serrano	Lei nº 3733/2011 (14/04/2011)	Nº 12.247/11 (18/08/2011)

Fonte: adaptado de CISAMA (2016).

Em relação à execução dos serviços de adequação ambiental e recuperação de APP, foram realizadas conforme a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433/1997, Lei nº 12.651/2012 e Resolução CONAMA 357/2005, por meio da retirada da vegetação exótica, plantio e identificação de mudas nativas e cercamento das APP, em torno das três nascentes. Esses serviços foram realizados com o apoio do projeto Nascentes do Futuro, da AMURES, coordenação da Empresa Sul Florestas.

No que diz respeito à autorização de uso da água nesses locais, identificou-se, na Lei Estadual 9.748/1994 e no Decreto Estadual nº 4.778/2006, que as localidades são passíveis de dispensa de outorga, pois têm caráter individual para satisfação das necessidades básicas da vida. Adicionalmente, a destinação da água subterrânea é exclusiva ao consumo familiar e de pequenos grupos populacionais dispersos, como também, as acumulações, captações, derivações e lançamentos são

considerados insignificantes, tanto do ponto de vista de volume quanto de carga poluente.

Portanto, cabe orientação, pelas instituições apoiadoras, aos proprietários para que façam um requerimento padrão junto à Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS), por meio da Diretoria de Recursos Hídricos, a fim de solicitar a Autorização de Uso Insignificante de recursos hídricos, dando-lhes o direito de usufruir, em conformidade à Lei.

Quanto aos diferentes usos do solo das propriedades, levantaram-se como pontos de controle na interpretação de imagens de satélite, a exemplo da Figura 13.

Figura 13 - a) Base para levantamento das imagens de satélite e b) controle dos pontos de nascente em Campo Belo do Sul.



Fonte: elaborado pela autora (2016).

Os dados levantados em campo utilizando receptores GNSS – sistema global de navegação por satélite – permitiram a composição do sistema de informação geográfica da propriedade e a realização de análise espacial das áreas de preservação permanente.

Cabe salientar que realizar a recuperação e proteção das áreas onde se encontram as nascentes - fontes de abastecimento para consumo humano - fechando as mesmas num raio de 30 a 50 metros a partir do olho d'água, é agir em conformidade com o inciso IX da Portaria 2.914/2011 e com os aspectos de potabilização de água através dessa norma. Também corrobora com a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433/1997 e com o Novo Código Florestal, Lei nº 12.651/2012, trazendo

vantagens como enriquecimento das matas nativas, evitando a entrada dos animais e, por conseguinte, o pisoteio e compactação do solo.

Nesse caso, de mesma maneira, evita-se o contato de animais de grande porte nos sistemas de tratamento de água, implantados próximos às nascentes.

### 3.1.2.1 Localidade Segredo/Lages (L1)

A propriedade possui área superficial de 191,74 ha, com uma residência e uma agroindústria familiar, denominada Agroindústria Segredo, cuja produção principal é o queijo serrano. A fonte de acesso à água é via nascente, localizada a cerca de 500 m da propriedade, em cota acima do local de consumo. Por essa razão, o abastecimento é feito por gravidade.

A Figura 14 mostra a propriedade anexa à agroindústria e os registros dos primeiros contatos com o proprietário, a forma de captação de água e a APP degradada próxima à nascente.

Figura 14 – a) Propriedade e Agroindústria de Queijo Serrano; b) Forma de captação utilizada anteriormente ao projeto; c) Primeiros contatos na propriedade; d) Local de recuperação em torno da nascente.



Fonte: elaborado pela autora (2015).

De acordo com o levantamento realizado em campo, verificou-se que a água da nascente abastecedora da

Agroindústria contribui para formação do Rio Caveiras e desagua a montante do ponto de captação da cidade de Lages. Prevê-se um consumo de 1.000 L d<sup>-1</sup>, sendo que metade é utilizada na residência e a outra metade na queijaria.

Para a produção do queijo serrano necessita-se de água, principalmente, para limpeza do local de fabricação e da ordenha. Portanto, a qualidade do produto está diretamente ligada às condições de potabilidade de água usada no local.

Em relação às atividades de proteção para recuperação em torno da APP, fixaram-se cercas com arames farpados totalizando uma área de 8.218,70 m<sup>2</sup> e realizada extração de espécies exóticas, plantio e manutenção de mudas nativas

No local ficou evidenciado o pisoteio do gado próximo à captação de água, que abastece a agroindústria e os moradores da comunidade.

Na APP, encontraram-se espécies arbóreas de grande porte como, por exemplo, o pinheiro *Araucaria angustifolia* (pinheiro araucária) e *Mimosa scabrella Benth* (bracatinga) que estão inseridos no processo de regeneração natural.

Inicialmente, a cobertura vegetal era na forma de pastagem criação de bovinos, o que tornou necessário o isolamento da área dentro de um perímetro de 280 m de cercamento, e o plantio de espécies nativas.

Complementarmente, os indivíduos de *Pinus* spp., encontrados dentro do perímetro da cerca, foram cortados para que não ocorresse disseminação da espécie exótica nesta área de recuperação. Para dar continuidade aos trabalhos de diagnóstico ambiental, realizou-se o georreferenciamento do perímetro e o levantamento do uso do solo da propriedade (Apêndice 3 e 4).

### 3.1.2.2 Comunidade Capela do Mota/Campo Belo do Sul (L2)

A comunidade distancia-se cerca de 20 Km da cidade de Campo Belo do Sul. Neste local, enfrenta-se escassez de água, principalmente nos períodos de estiagem do ano. A propriedade detentora da nascente possui área superficial de 20,18 ha. A captação de água para consumo residencial provém de uma nascente, localizada em cota mais baixa que da residência, em torno de 20 mca (Figura 15).

Nessa localidade não há agroindústria familiar, porém é constituída de nove habitações com intenção de usufruir deste

recurso natural. O objetivo maior de utilização desta água será para consumo residencial, cujo consumo per capita estimado é  $125 \text{ L hab}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ .

Figura 15 - a) Propriedade onde se encontra a nascente; b) Forma de captação de água por bombeamento, anteriormente ao projeto; c) Outras residências da Comunidade; d) Local da nascente e antiga barragem.



Fonte: elaborado pela autora (2015).

Anteriormente à adequação ambiental da APP, em torno da nascente, verificou-se a presença de animais de grande porte, os quais intensificaram a danos de mata nativa, deixando o local de nascente suscetível à degradação.

Devido a isso, as atividades de construção de cercas, plantio e manutenção de mudas para recuperação de nascente foram executadas em uma área de  $7.079,05 \text{ m}^2$  (Apêndice 5), totalizando um perímetro de 337 m de cercamento.

O solo raso e pedregoso tornou necessária a alteração dos limites definidos para o perímetro da cerca, tendo como consequência o aumento da área de recuperação. Essa alteração foi realizada com o devido consentimento do proprietário. As mudas foram plantadas dentro do perímetro da cerca, coroadas e identificadas com etiquetas (Apêndice 6).

### 3.1.2.3 Comunidade São Roque/Cerro Negro (L3)

As atividades beneficiadas pelo tratamento de água nessa região encontram-se na Comunidade São Roque, a 30 Km de distância da cidade de Cerro Negro e o acesso rodoviário é percorrido por estradas não pavimentadas em toda sua totalidade.

As Comunidades desta região rural são caracterizadas pelo grande número de apicultores e e agricultores, que obtêm subsistência através do que produzem. Devido a isso, considera-se que essas localidades têm como importante atividade econômica, a produção de mel, de diversas qualidades.

Diante do grande número de produtores do mel e da necessidade de estar sempre investindo em equipamentos de processamento e sanitização, as comunidades Raithz, São Roque, São José e Sagrado reuniram-se e formaram a Casa de Extração de Mel, referente ao Programa de Serviços de Inspeção Alimentar do CISAMA e a Associação dos Produtores de mel de Cerro Negro. Essa Associação possui uma sede, anexada ao Núcleo de Informática, que tem como objetivo disponibilizar a internet no campo através do Programa de Inclusão Digital Beija Flor.

As atividades nesses locais dependem de alguns fatores para acontecer como, por exemplo, a safra para envase do mel, organização de eventos e palestras para a comunidade na Associação e organização de aulas de informática, principalmente para crianças e jovens. Portanto, o consumo de água nesses dois espaços não é constante e está diretamente ligado às atividades da comunidade, estimando-se *a priori* um consumo em torno de 1.000 L . d<sup>-1</sup>.

Como citado anteriormente, o sistema de tratamento de água e a Associação estão localizados na mesma propriedade, totalizando uma área superficial de 47,48 ha, incluindo a APP.

O abastecimento é feito por gravidade, pois a nascente encontra-se a cerca de 20 mca do local das atividades, o que facilita a operação sistema. Alguns registros da localidade são mostrados na Figura 16.

As atividades de construção de cercas, plantio e manutenção de mudas plantadas para recuperação da APP foram executadas em uma área de 3.485,92 m<sup>2</sup>. Nesse local, também foram plantadas mudas de árvores nativas, totalizando um perímetro de 241 m de cercamento. O local da nascente e o uso e ocupação do solo podem ser observados no Apêndice 7.

O Apêndice 8 ilustra a erosão do solo ocasionada pelo pisoteio do gado dentro da área de preservação permanente de nascente. Como forma de mitigar esse dano, a área foi isolada, confeccionando-se um coxo para que o gado tenha acesso à água sem adentrar à área de preservação.

Figura 16 – a) e b) Associação dos produtores de mel e Núcleo de Informática; c) Casa de extração de Mel; d) Núcleo de Informática e Associação dos produtores de mel; e) Local da nascente – olho d’água; f) Presença de dejetos de animais em torno da APP.



Fonte: elaborado pela autora (2015).

A Tabela 8 apresenta o número de mudas replantadas em cada área de recuperação. O replantio foi realizado de forma aleatória de acordo com a disponibilidade de recurso e com o cálculo de vazios dentro da APP.

Com o isolamento da área e enriquecimento de mudas, espera-se cada vez mais uma melhoria significativa no processo de recuperação da APP e na qualidade da água do manancial.

Tabela 8 – Relação do Plantio de mudas nativas nas áreas de recuperação.

<b>Área de Recuperação</b>	<b>Mudas Plantadas</b>
L1 – Lages	135
L2 – Campo Belo do Sul	139
L3 – Cerro Negro	123
Total de mudas	397

Fonte: elaborado pela autora (2015).

## 3.2 DESENVOLVIMENTO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Após a regularização das áreas de captação para abastecimento e verificando os resultados das análises de água bruta (AB), foi possível constatar que os diferentes locais de execução do projeto apresentaram propriedades análogas nos parâmetros de qualidade de água, permitindo a adoção de um método geral com tratamento semelhante.

### 3.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA AB E ESCOLHA DA TECNOLOGIA DE TRATAMENTO

A função principal da caracterização físico-química e microbiológica da AB, nas três propriedades, foi de servir como suporte para o desenvolvimento mais adequado da tecnologia de tratamento, assim como classificar os corpos hídricos para fins de potabilização.

Tais características foram apresentadas por meio de parâmetros de qualidade d'água dentro do enquadramento de águas doces, Resolução CONAMA 357/2005, para, posteriormente, serem monitoradas através de parâmetros recomendados pela Portaria 2.914/11 do MS.

Como proferido anteriormente, a água utilizada para abastecimento nas residências e para formulação de produtos, sanitização de mãos e instalações agroindustriais advém de

nascentes, localizadas nas propriedades onde as mesmas se encontram.

Essas fontes foram caracterizadas como descargas perenes concentradas da água subterrânea que afloram à superfície do terreno como uma corrente (TODD, 2005), sendo gravitacionais tubulares ou de fraturas, ligadas à superfície e aos lençóis freáticos.

São nascentes associadas a efeitos de precipitação de chuvas ou outras causas sazonais, emergindo, portanto, com propriedades físicas, químicas e microbiológicas peculiares.

As amostragens da AB foram realizadas em campo e serviram como base para posterior comparação com as análises após a instalação dos sistemas de tratamento de água.

Na Tabela 9, encontram-se descritos os parâmetros das análises físico-químicas e microbiológicas, determinados a partir de regulamentações da Resolução CONAMA n° 357/2005 e Portaria n° 2.914/11 do MS.

Essa caracterização designou o desenvolvimento e execução de um sistema de tratamento de água não convencional de pequeno porte, usando tecnologias como pré-filtração e filtração lenta.

Tabela 9 - Resultados dos parâmetros de qualidade de água, metodologia aplicada e equipamentos para caracterização de AB e auxílio na escolha da tecnologia de tratamento.

Parâmetro	Unidade	Caracterização da AB para desenvolvimento do sistema			Equipamento	Metodologia aplicada
		L1	L2	L3		
Alcalinidade	mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	101,3	16	20,3	Spectroquant NOVA60 - MERCK	2320 B (APHA, 2005)
Amônia (Como NH <sub>3</sub> )	mgN L <sup>-1</sup>	0,1	<0,1	0,11	Spectroquant NOVA60 - MERCK	4500-NH <sub>3</sub> F (APHA, 2005)
Cloretos	mg L <sup>-1</sup>	170,2	21,2	21,3	Titulação (Bureta/Erlenmeyer)	4500-Cl B (APHA, 2005)
Clorofila <i>a</i>	µg L <sup>-1</sup>	n.d.	0,37	n.d.		10200 H (APHA, 2005)
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	1100	460	43	Estufa - DeLeo / Lâmpada UV BIOAUV 254365 - BioAmerica	9221 F (APHA, 2005)
Condutividade	µS cm <sup>-1</sup>	30	6,02	6,1	Phmetro/Milivoltímetro/Termômetro/Condutivímetro/TDS/Salinidade - HOMIS	2510 B (APHA, 2005)
Cor Aparente	uH	13,3	20,5	19	Spectroquant NOVA60 - MERCK	2120C (APHA, 2005)
Cor Verdadeira	uH	12,8	12,5	7	Spectroquant NOVA60 - MERCK	2120C (APHA, 2005)
DBO	mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	2	1	0	OxiTop - WTW	5210 B (APHA, 2005)
Ferro dissolvido	mg L <sup>-1</sup>	0,08	0,27	0,11	Spectroquant NOVA60 - MERCK	3500-Fe (APHA, 2005)
Fosforo total	mg L <sup>-1</sup>	0,016	0,02	0,03	Spectroquant NOVA60 - MERCK	4500-P (APHA, 2005)
Nitrato (como NO <sup>-3</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	0,78	0,314	0,39	Spectroquant NOVA60 - MERCK	4500-NO <sup>-3</sup> B (APHA, 2005)
Nitrito (como NO <sup>-2</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	<0,02	0,027	0,028	Spectroquant NOVA60 - MERCK	4500-NO <sup>-2</sup> B (APHA, 2005)

Tabela 9 - Resultados dos parâmetros de qualidade de água, metodologia aplicada e equipamentos para caracterização de AB e auxílio na escolha da tecnologia de tratamento. (Continuação).

Parâmetro	Unidade	Caracterização da AB para desenvolvimento do sistema			Equipamento	Metodologia aplicada
		L1	L2	L3		
<b>Oxigênio Dissolvido</b>	<b>mg L<sup>-1</sup></b>	7,3	7,59	7,59	Oxímetro - ALFAKIT	4500-O G (APHA, 2005)
<b>pH</b>		6,63	5,41	6,28	Phmetro/Milivoltímetro/Termômetro/Conduvímetero/TDS/Salinidade - HOMIS	4500-H+ B (APHA, 2005)
<b>Sólidos Dissolvidos Totais</b>	<b>mg L<sup>-1</sup></b>	45	91	106	Estufa - CienLab / Balança analítica - BEL Engineering	2540 C (APHA, 2005)
<b>Sólidos Suspensos Totais</b>	<b>mg L<sup>-1</sup></b>	129	72	125	Estufa - CienLab / Balança analítica - BEL Engineering	2540 D (APHA, 2005)
<b>Sulfato (como SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)</b>	<b>mg L<sup>-1</sup></b>	27	18	19	Spectroquant NOVA60 - MERCK	4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (APHA, 2005)
<b>Turbidez</b>	<b>uT</b>	5	5	6	Spectroquant NOVA60 - MERCK	2130 B (APHA, 2005)

Fonte: elaborado pela autora (2017).

### 3.2.2 DETERMINAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

Nessa conjuntura, desenvolveu-se um projeto piloto com intuito de avaliar os materiais que compoem o sistema, a durabilidade e a eficiência dos mesmos. Os estudos hidráulicos e de eficiência desse sistema basearam-se em trabalhos de Huisman e Wood (1974); Emmendoerfer (2006); Michelin (2010); Pizzolatti (2010); Soares et al. (2010) e Di Bernardo e Dantas (2005b), visando à otimização dos recursos disponíveis e recomendações de cada um.

Nesse processo, priorizaram-se duas situações que se apresentariam nos resultados de análise de qualidade da água bruta (COLLINS et al., 1991), cuja amostragem realizou-se em maio de 2014, período de pouca pluviosidade (EPAGRI/CIRAM):

- a) A água proveniente da nascente teria turbidez apropriada para tratamento com filtração lenta, máximo de 10 uT;
- b) A água proveniente da nascente teria turbidez maior que 10 uT.

Portanto, levando-se em consideração o recurso disponível para investimento, ao avaliar os resultados de turbidez menores que 10 uT, para essa amostragem, contemplando uma possível variação sazonal nos picos de turbidez, determinou-se que as tecnologias mais apropriadas para aplicação nas três localidades serão:

1. Pré-tratamento com:
  - a. Sistema de proteção de nascente – modelo Caxambu (CX);
  - b. Pré-filtro ascendente (PFA)- se necessário\*;
2. Reservatório para retrolavagem do filtro lento e sedimentação de turbidez residual (RRS);
3. Filtro lento com retrolavagem (FLR);
4. Reservatório final (RF);
5. Desinfecção da água para consumo.

\*Necessidade do pré-filtro, havendo alterações bruscas de turbidez em períodos intensos de chuvas.

A seguir, mostrar-se-ão os projetos referentes ao desenvolvimento do sistema de tratamento, assim como a metodologia de execução, tomando como exemplo a L1 de Lages, pois todas as outras propriedades tiveram implantações análogas a ela.

### 3.2.3 PROTEÇÃO DE NASCENTE - MODELO CAXAMBU

O primeiro procedimento aplicado foi uma adaptação de um modelo de proteção de nascente “Caxambu”, apresentado pela EPAGRI/SC e Calheiros et al. (2004), com o objetivo de realizar a captação de água com baixo custo, sem degradação ambiental e evitando a contaminação da nascente.

Esse modelo de proteção de nascente consiste em criar um reservatório natural de água pré-filtrada e, assim, obter uma parcela de água para posterior tratamento. O excedente continua o percurso natural de contribuição para corpos d’água.

O modelo consistiu em um tubo de concreto de 200 mm de diâmetro, servido de reservatório interno, contendo uma entrada e quatro saídas; duas dessas constituídas de dois tubos de PVC de 25 mm com 30 cm de comprimento para acesso e condução da água; e outras duas formadas por tubos de PVC de 40 mm de diâmetro com 30 cm de comprimento, sendo um para limpeza do reservatório interno e outro como extravasor do efluente excedente.

Esses diâmetros foram selecionados devido à demasiada utilização de materiais nesse tamanho em áreas rurais, o que facilitaria o trabalho de execução.

O sistema apresenta uma forma de reservação interna, onde a água subterrânea adentra-se e, ao mesmo tempo, é pré-filtrada para, então, ser captada ou seguir seu fluxo natural afluente para um curso d’água. O esquema a seguir mostra como é o funcionamento interno do modelo caxambu adaptado ao presente projeto (Figura 17).

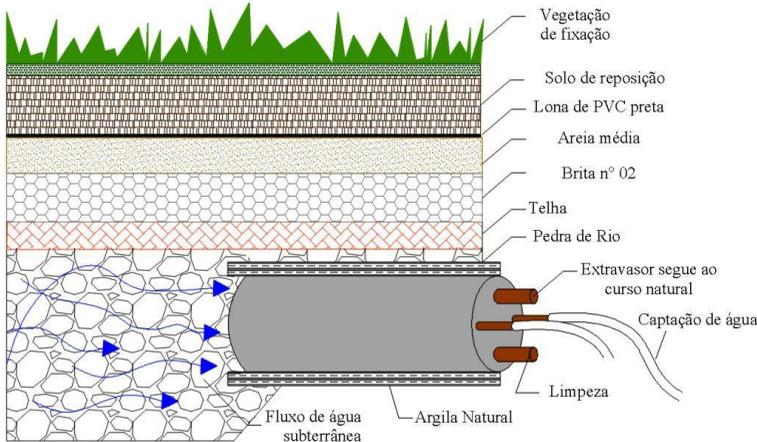
A figura esquematiza uma alternativa adequada para sobreposição das camadas. As espessuras e o tipo de material dessas camadas variam de acordo com o material disponível. Considera-se importante haver um volume considerável de material filtrante a fim de realizar a pré-filtração.

Além da camada de seixo rolado retirado do rio mais próximo, realizou-se a alocação de materiais porosos, como telhas, para fixação de microorganismos que auxiliam na etapa de pré-filtragem e areia grossa para cobertura do material no reservatório.

O tubo de limpeza fica fechado enquanto é realizada a captação de água. Contudo, de tempos em tempos, percebe-se a

necessidade de limpar o reservatório de concreto. Para isso, deve-se abrir o orifício e deixar escoar a água até que se perceba uma clarificação considerável da mesma. Posteriormente, fecha-se o tubo para continuar o processo.

Figura 17 – Esquema do sistema de Proteção de fonte modelo caxambu.



Fonte: Adaptado de Calheiros et al. (2004).

A metodologia de instalação do modelo de proteção da nascente pode ser visualizado no Apêndice 9 e 10. Essa metodologia foi aplicada analogamente em todas as propriedades de estudo.

### 3.2.4 PRÉ-FILTRO ASCENDENTE

O principal intuito dessa etapa de tratamento é remover sólidos grosseiros e alguns organismos e materiais finos a fim de amortecer os picos de turbidez em períodos de intensas chuvas.

Nessa unidade, o efluente é filtrado de maneira ascendente e o afluente pré-filtrado encaminhado à unidade subsequente.

Considerando a limitação de recurso financeiro, pressupõe-se como a melhor alternativa de material disponível, para possibilitar o processo, uma caixa d'água de 100 L de polietileno, que suportaria as intempéries e trabalharia com volume em torno de 70 L, suficiente para pré-tratamento, conforme a vazão de consumo.

O meio filtrante foi constituído de brita 01 (DN 19,0 mm a 9,5 mm), brita 02 (DN 25,0 mm a 19,0 mm), brita 03 (DN 50,0 mm a 25,0 mm) e brita 05 (DN 100 mm a 76 mm) com granulometrias menores no topo e maiores no fundo.

Com o decorrer do tempo de funcionamento, haverá propensão à progressiva retenção de impurezas, diminuição de vazão e aumento da perda de carga no meio granular, exigindo limpeza por descarga de fundo. A unidade opera com intermitência e taxa de filtração em torno de  $30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ .

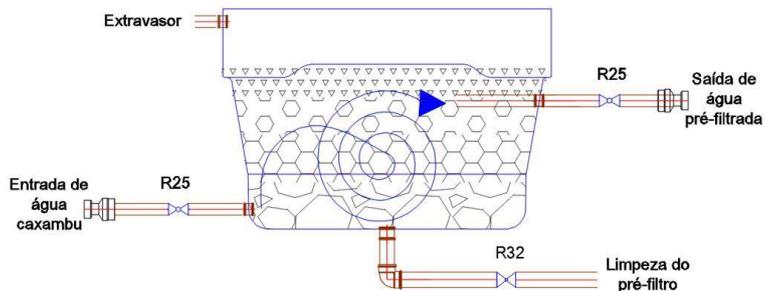
A tubulação adotada para entrada e saída do efluente a ser tratado foi de DN 25 mm e para limpeza da unidade, aos fundos, com DN 32 mm, com seus respectivos registros esfera para controle do sistema.

De forma preliminar, foi possível constatar que esse PFA foi necessário para as propriedades L1 e L3 devido à alta turbidez da água bruta, provinda da captação do caxambu em dias de intensas precipitações.

A metodologia de instalação foi aplicada analogamente nas propriedades e assemelha-se em ambas (Apêndice 11). Nas Figura 18 a 21, é possível verificar o projeto do pré-filtro ascendente e o processo de funcionamento do mesmo

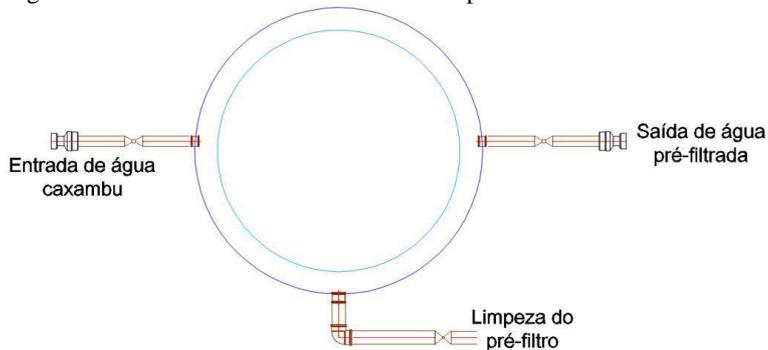
A caixa d'água de 100 L foi instalada cerca de 0,50 m à jusante da proteção de nascente modelo caxambu e assentada em pedras ardósias, a fim de facilitar o nivelamento em relação ao relevo e evitar resiliência entre materiais do solo e o polietileno. Para tal nivelamento, foi utilizada uma mangueira de nível transparente.

Figura 18 – Pré-Filtro Ascendente – Esquema do processo. R25 = registro esfera DN 25 mm e R32 = registro esfera DN 32 mm.



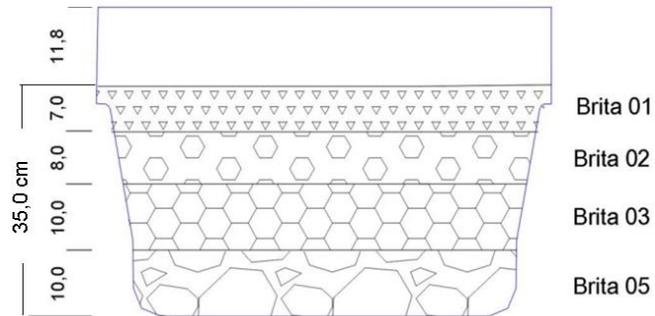
Fonte: elaborado pela autora (2014).

Figura 19 – Pré-Filtro Ascendente -Vista em planta.



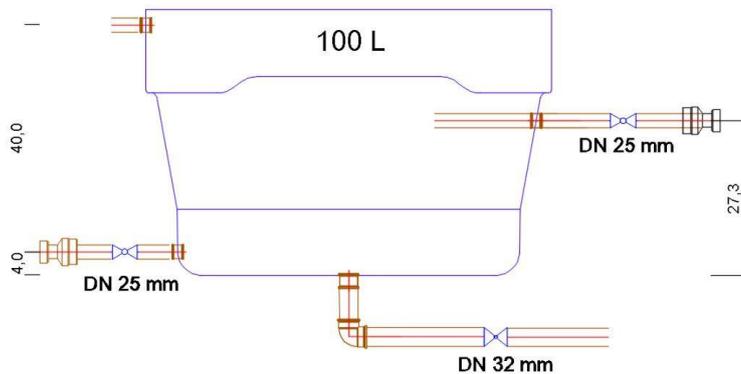
Fonte: elaborado pela autora (2014).

Figura 20 – Pré-Filtro Ascendente - Corte longitudinal.



Fonte: elaborado pela autora (2014).

Figura 21 – Pré-Filtro Ascendente - Corte longitudinal.



Fonte: elaborado pela autora (2014).

### 3.2.5 RESERVATÓRIO PARA RETROLAVAGEM DO FILTRO LENTO E SEDIMENTAÇÃO DE PARTÍCULAS REMANESCENTES

No projeto, a sedimentação objetivou separar as partículas sólidas pela ação direta da gravidade e reduzir a turbidez da água para o processo de filtração lenta, pois, considerando-se a realidade das áreas rurais, dificilmente ter-se-á um operador responsável pelo monitoramento da eficiência do sistema.

O reservatório de retrolavagem e sedimentação (RRS) pode ser considerado amortizador de picos de turbidez, no sentido de manter a qualidade do processo de filtração. A escolha da capacidade desta unidade foi baseada na norma da ABNT NBR 12.216/1992 e indicações de (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991).

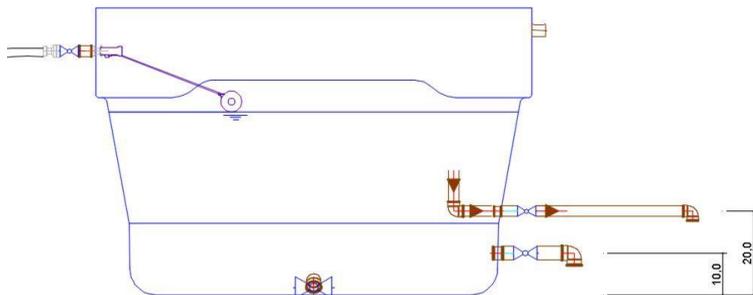
Para desenvolver essa unidade, foi preciso se adequar ao recurso disponível, tempo de projeto e execução, eficiência esperada e ao método de operação posterior.

A entrada da água pré-filtrada ocorre na cota superior do reservatório por meio de uma tubulação anexada a um registro esfera com DN 25 mm. O controle de entrada é feito por uma boia de nível a fim de evitar desperdício de água.

O que segue a próxima unidade de tratamento, o filtro lento, é o sobrenadante. Outra particularidade é que pode ser utilizado como reservatório de água para retrolavagem do filtro lento, sendo realizada a destinação do afluente por meio de uma tubulação localizada ao fundo desta unidade. Como esse reservatório também é de sedimentação, há deposição de lodo no fundo. No entanto, a tubulação de saída de água para retrolavagem encontra-se a uma distância de 10 cm da cota inferior, evitando o deslocamento do lodo para o filtro lento.

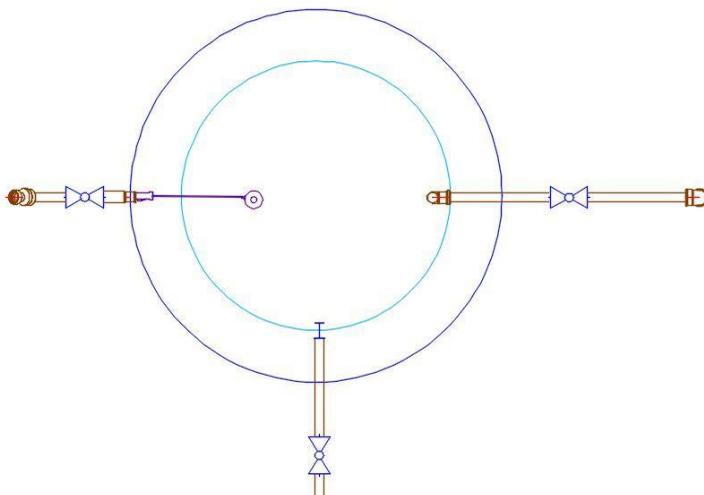
A limpeza desse reservatório deve ser realizada logo após a execução da retrolavagem do filtro lento para dar sequência à carreira de filtração do mesmo. As Figura 22, 23 e 24 apresentam os esquemas de projeto.

Figura 22 – Reservatório para retrolavagem e sedimentação - Corte longitudinal.



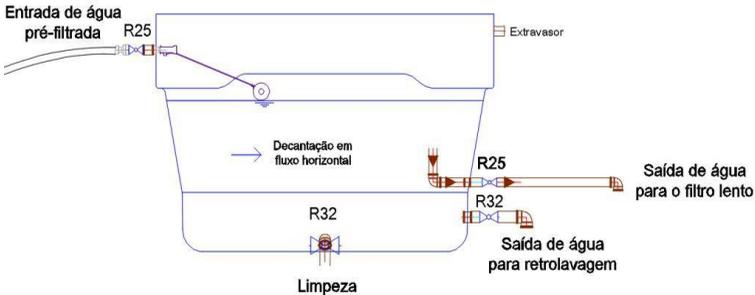
Fonte: elaborado pela autora (2014).

Figura 23 – Reservatório para retrolavagem e sedimentação - Vista em planta.



Fonte: elaborado pela autora(2014).

Figura 24 – Reservatório para retrolavagem e sedimentação – Processo. R25 = registro esfera DN 25 mm e R32 = registro esfera DN 32 mm com tubulações de mesmo DN.



Fonte: elaborado pela autora (2014).

### 3.2.6 FILTRO LENTO COM RETROLAVAGEM

Como mencionado anteriormente, a primeira análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água bruta foi determinante para selecionar o melhor tipo de tecnologia aplicada às três localidades. O desenvolvimento dessa unidade de filtração foi baseado em pesquisas de Huisman e Wood (1974), Di Bernardo e Dantas (2005b), Pizzolatti et al. (2014), Soares et al. (2010) e Emmendoerfer (2006).

Uma forte determinante para o desenvolvimento do FLR foi a avaliação do parâmetro turbidez, o qual apontou valores abaixo de 10 uT, principalmente em períodos nos quais não há intensa precipitação. Para os períodos de grande atividade das chuvas, optou-se pelo uso de pré-tratamento relatado nos itens anteriores.

Outros fatores de grande interferência para o desenvolvimento dessa tecnologia foram:

- a) O filtro deve ser de fácil instalação e manuseio, pois não haverá operação contínua do mesmo;
- b) Os materiais que constituirão o filtro devem ser de baixo custo, práticos e resistentes à grande variação de temperatura e a intempéries;
- c) Os materiais filtrantes devem ser apropriados para se obter um processo de filtração eficiente de acordo com o que é

estabelecido pela Portaria 2.914/2011 do MS para potabilização de água;

d) O filtro trabalhará para pequenas demandas de água, por isso será instalado individualmente nas propriedades remotas de pequeno porte;

e) O filtro poderá trabalhar com taxas variáveis de filtração, já que o controle de entrada de água será realizado por uma boia de nível.

Nessa conjuntura, procurou-se desenvolver e implantar três filtros lentos apropriados às características ambientais locais, porém de iguais estruturas devido à limitação de recurso financeiro para a compra de materiais e investimento em mão-de-obra.

A Figura 25 mostra a estrutura geral do FLR. Tal filtro foi constituído de material PVC resistente a altas pressões, caracterizado por um tubo de PVC com 250 mm de diâmetro e 1,50 m de altura. Dessa maneira, obtendo-se uma seção de escoamento de  $A = 0,05 \text{ m}^2$ . Todas as tubulações de entrada e saída também são de PVC, com diâmetros nominais estabelecidos de acordo com o oferecido no mercado.

A entrada da água com regulação por uma boia de nível com diâmetro de entrada relativo a uma tubulação de DN 25 mm (Figura 25).

No caso de não funcionamento da boia, há um extravasor em cota acima. O fluxo é descendente e passa por um conjunto de camadas filtrantes até a parte inferior constituída de uma saída para limpeza de fundo com DN 25 mm e, outra para saída do efluente de água filtrada com DN 25 mm até um reservatório final.

O meio filtrante foi estabelecido, baseado em trabalhos de Graham et al. (1994), Ferraz e Paterniani (2002), Bergamini e Paterniani (2010) e Fernández et al. (2013), para apresentar:

- Uma camada de 20,0 cm de areia fina com diâmetro efetivo de 0,25 mm e coeficiente de desuniformidade  $1 \leq x < 2$ ;
- uma camada de 7,0 cm de areia média diâmetro efetivo 0,55 mm e coeficiente de desuniformidade  $1 \leq x < 2$ ;
- camadas suporte de 5,0 cm contendo seixo rolado médio 1/4 a 1/2 com 6 mm a 12 mm de diâmetro médio e, abaixo, 10,0 cm de seixo rolado graúdo 1/2 a 3/4 com 12 mm a 19 mm de diâmetro médio;

- manta de poliéster não tecida com espessura aproximada de 4,0 mm, permissividade de  $2,0 \text{ s}^{-1}$ , permeabilidade normal de  $0,39 \text{ cm s}^{-1}$ , abertura aparente de 0,212 mm e permitindo um fluxo de água de  $5.820,0 \text{ L min}^{-1} \text{ m}^2$  da linha comercial Bidim RT.

- Carvão antracitoso: massa específica real =  $1,4 \text{ g/cm}^3$ , tamanho efetivo: próximo a 1,0 mm, coeficiente de uniformidade  $\leq 1,40$ , solubilidade em ácido clorídrico  $\leq 5,00 \%$ , perda por abrasão  $\leq 1,00 \%$ .

A granulometria da areia foi escolhida em função das diretrizes da ABNT NBR 12.216/1992.

O uso de carvão no meio filtrante também foi uma alternativa adotada, pois o filtro pode atuar como potencial removedor de matéria orgânica dissolvida, o que pode ser comprovado pelos resultados de cor verdadeira nas análises de monitoramento de qualidade de água, posteriormente. De mesmo modo, o uso de manta sintética em conjunto com o material filtrante pode possibilitar a adoção de taxas de filtração mais elevadas que as convencionalmente utilizadas para filtração lenta.

A sistemática pararetrolavagem foi realizada por meio da água provinda do RRS e consiste em uma entrada de água superior com tubulação e controle de registro esfera com DN 25 mm, havendo, também, uma entrada de inferior com DN de 32 mm para limpeza do material suporte e, conseqüentemente, do conjunto manta/carvão. A saída de efluente retrolavado realiza-se através de um receptor, acima do material filtrante, que tem acesso ao meio externo.

A retrolavagem foi dimensionada tomando como referência estudos de expansão média de 40% a uma velocidade de aproximação  $0,34 \text{ m min}^{-1}$  por um estudo realizado por Emmendoerfer (2006). Segundo o autor e Pizzolatti (2010), nesta expansão a camada de areia encontra-se completamente fluidificada com perda de carga na camada suporte de 0,06 m.

Assim, possibilitou-se determinar o volume de reservação e a altura do RRS suficientes para obter carga hidráulica disponível para retrolavagem do filtro lento. Esse dimensionamento depende diretamente da velocidade de aproximação para expansão do meio filtrante e da altura do reservatório para vencer a perda de carga no meio filtrante e realizar a retrolavagem sem auxílio de bombas.

Para o cálculo do volume do reservatório, deve-se considerar a velocidade de aproximação ( $va$ ) necessária para a expansão desejada e o tempo de retrolavagem adotado. Portanto, pela equação 6, obtém-se o volume do reservatório:

$$\begin{aligned} V &= As * va * t * 1000 \\ V &= 170,0 L \end{aligned} \quad (6)$$

Onde,

$V$  = volume do reservatório de retrolavagem (L)

$As$  = Área de seção do filtro ( $m^2$ ) = 0,05  $m^2$

$va$  = Velocidade de aproximação ( $m \text{ min}^{-1}$ ) = 0,34  $m \text{ min}^{-1}$

$t$  = tempo de retrolavagem (min) = 10 min

Diante disso, para se determinar a altura mínima do reservatório e das saídas necessárias para que ocorra a retrolavagem com expansão média do meio filtrante de 40 %, somaram-se as perdas de carga na areia, comprimentos equivalentes das tubulações e conexões utilizadas no sistema, (PORTO, 2006). Portanto,

$$Ql = va * As = 0,000238 \text{ m}^3/\text{s} \quad (7)$$

Onde:

$Ql$  = vazão de água de lavagem ( $m^3 \text{ s}^{-1}$ )

Assim, através de cálculos de comprimentos equivalentes, divididos em dois trechos, obtiveram-se valores significativos de ( $L_{total}$ ) 12,28 m e 5,80 m, os quais foram multiplicados na equação 8 de perda de carga.

$$\Delta h = J * Ltotal \quad (8)$$

Onde:

$\Delta h$  = perda de carga na tubulação (m);

$J$  = perda de carga unitária ( $mm^{-1}$ );

$Ltotal$  = comprimento total (m).

Assim, aplicou-se a Equação 9 - fórmula de Fair-Whipple-Hisiao na determinação da perda de carga unitária - que, em projetos de instalações prediais de água fria ou quente tem por

característica tubulações com diâmetro menor que 110 mm, para P.V.C. rígido (PORTO, 2006).

$$J = 0,0008695 \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad (9)$$

Onde:

Q = vazão na tubulação ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ );

D = diâmetro da tubulação (m).

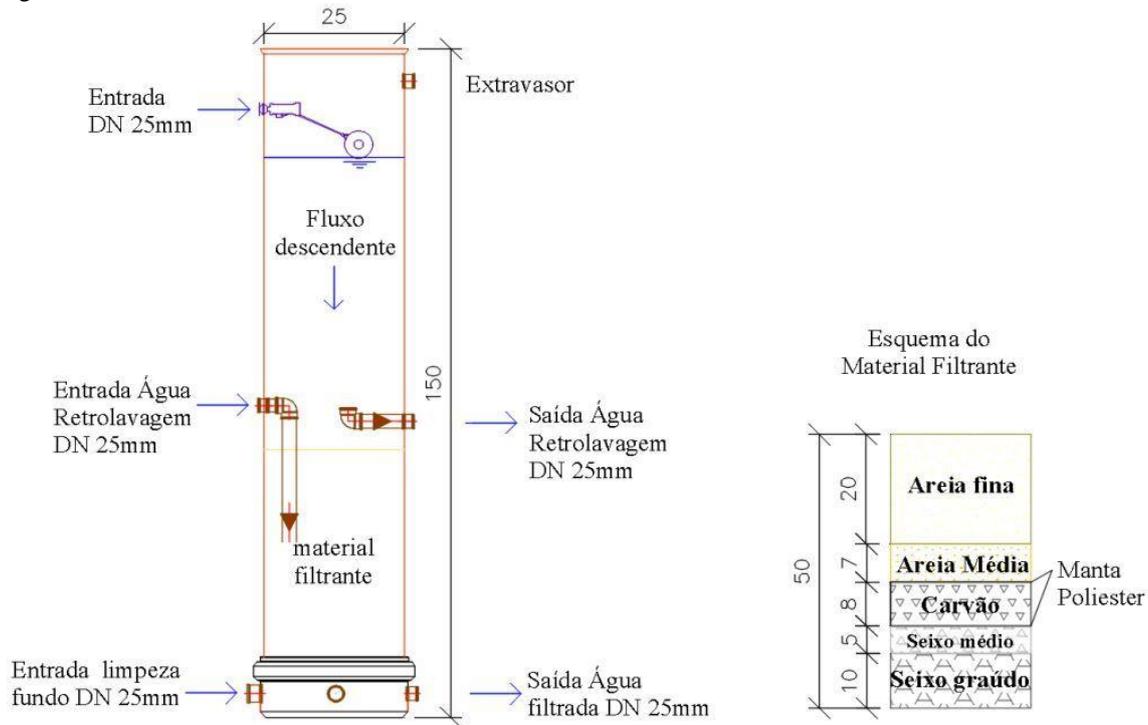
Desta maneira, resolvendo-se as equações, o dimensionamento do reservatório (RRS) resultou em cota mínima de X = 0,98 m acima da tubulação de retrolavagem, para exercer pressão suficiente durante o processo de retrolavagem.

Após a filtração lenta, o efluente tratado direciona-se a um reservatório de distribuição, com funções principais de reservar água para abastecimento de outros reservatórios à jusante e assegurar que a taxa de filtração possa ser mantida na aplicabilidade para filtro lento, não comprometendo o sistema.

A Figura 26 esquematiza o funcionamento do RRS, do FLR e do reservatório final, já que seus processos estão interligados, principalmente, no que concerne à retrolavagem.

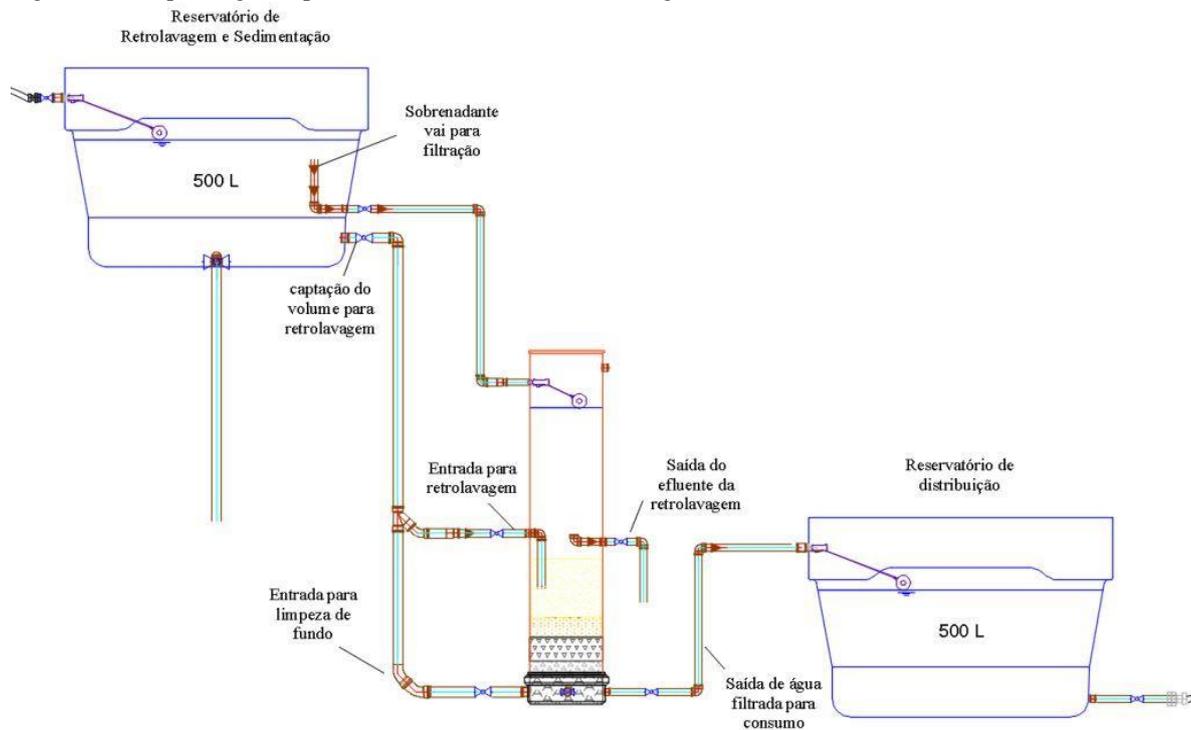
No Apêndice 12 é possível visualizar a metodologia de implantação do RRS, do FLR e do reservatório final na L1. Essa metodologia foi aplicada analogamente em todas as propriedades de estudo e assemelham-se entre si.

Figura 25 – Corte Frontal do FLR e material filtrante. Funcionamento e estrutura.



Fonte: elaborado pela autora (2014).

Figura 26 – Esquema geral apresentando o RRS, FLR e RF de água filtrada.



Fonte: elaborado pela autora (2014).

### 3.2.7 ESQUEMA E FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM CADA LOCALIDADE

Embora os resultados de parâmetros de qualidade de água bruta não tenham demonstrado uma discrepância considerável nas localidades de estudo, as características como relevo, clima, consumo de água, operação, manutenção e variação de qualidade associada à precipitação, referentes a cada uma delas, determinou algumas particularidades para instalações e posterior validação dos sistemas.

Em cada localidade, adaptou-se um sistema operacional do tratamento de água para, posteriormente, seguir ao abastecimento.

A Tabela 10 apresenta, resumidamente, algumas características que cada sistema apresenta, mostrando consumo estimado de água, cotas e necessidade ou não de recalque. A referência de nível foi tomada pelo fundo do RF, após o FLR.

Tabela 10 – Características para definição de projeto.

Propriedade	Característica	Consumo (L d <sup>-1</sup> )	♠CN	♥CA	♦NR	♣NP
L1	Residência e Agroindústria	1000	6	0	não	sim
L2	Residências	1000	0	-20	sim	não
L3	Residência e Agroindústria	1000	18	0	não	sim

♠ CN: Cota nascente (mca); ♥ CA: Cota de abastecimento (mca);  
♦ NR: necessita recalque; ♣ NP: necessita de pré-filtro.

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Em geral, o sistema de abastecimento nas três localidades rurais foi simples, realizado por meio de mangueiras de polietileno com diâmetro comercial de ½ ou ¾ de polegada, saindo do RF do tratamento até um reservatório à jusante, para armazenamento e consumo. Foram instalados hidrômetros nessas tubulações para conhecimento da vazão de consumo.

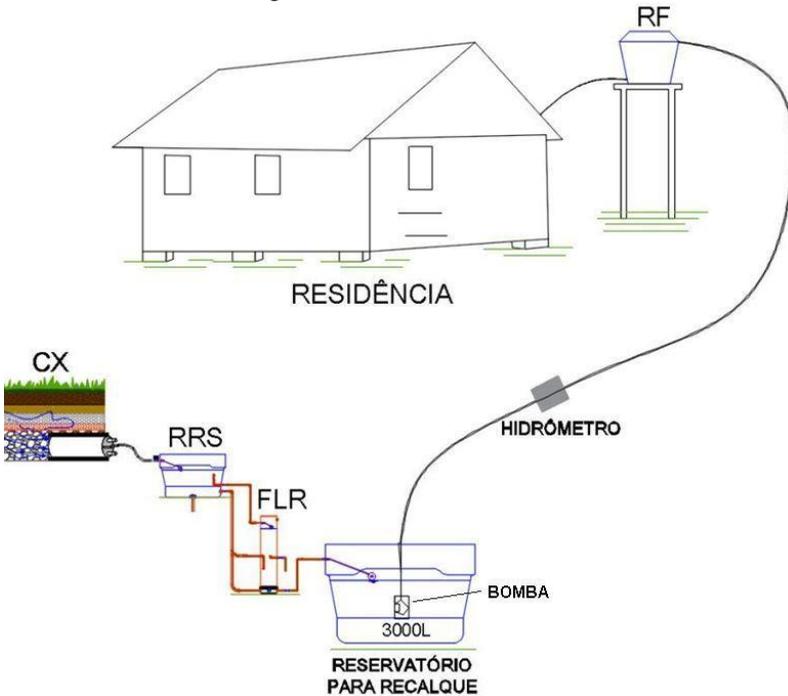
Os dados de cota foram levantados em campo com informações geográficas dos receptores GNSS, auxiliando nas definições de projeto.

Em vista disso, confeccionaram-se croquis para o entendimento de cada situação.

A principal adaptação, visando à melhor operação dos sistemas, relacionou-se ao relevo. As propriedades L1 (Figura 28) e L3 (Figura 29) possuem suas nascentes em cota acima do local de abastecimento, o que facilitou a operação via gravidade.

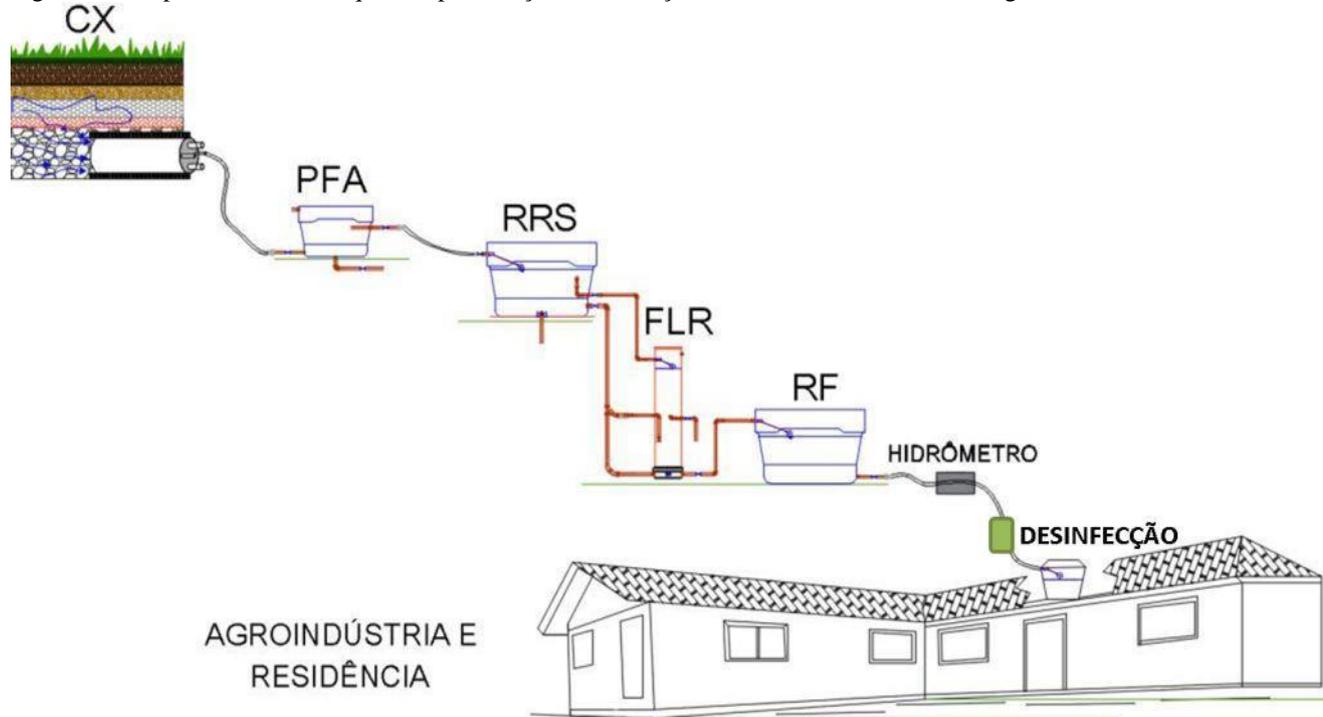
No entanto, na propriedade L2, a nascente encontra-se em cota abaixo do local de abastecimento, forçando o proprietário a adquirir uma bomba para recalque (Figura 27).

Figura 27– Propriedade L2 - Croqui de representação da instalação do sistema de tratamento de água.



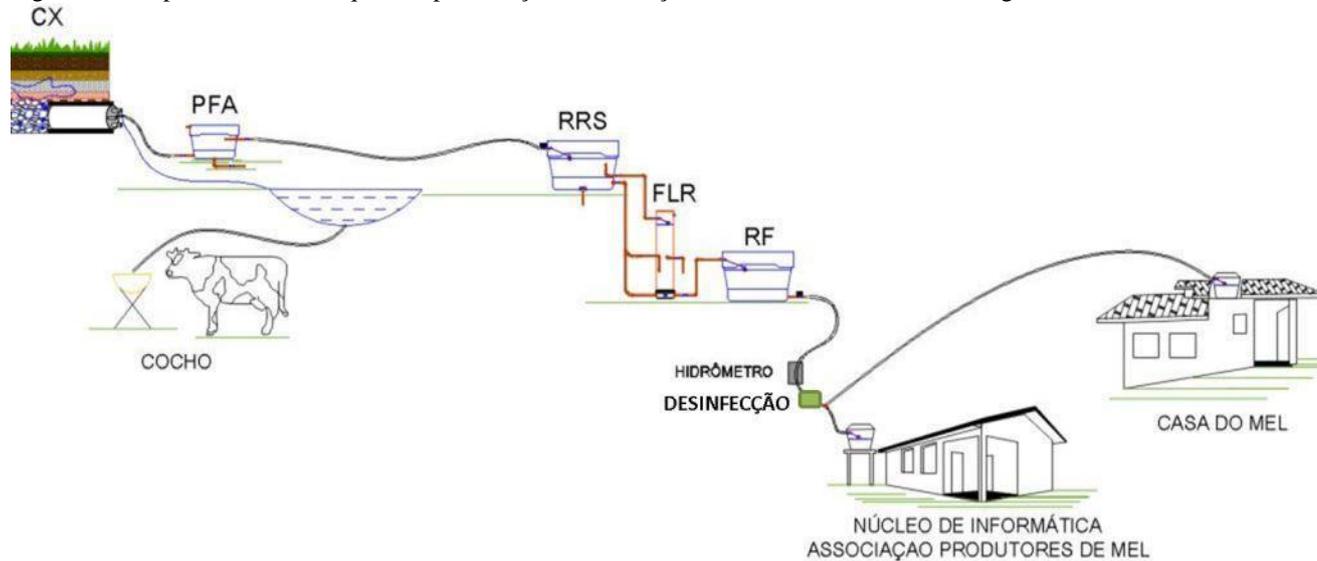
Fonte: elaborado pela autora (2016).

Figura 28– Propriedade L1 – Croqui de representação da instalação do sistema de tratamento de água.



Fonte: Fonte: elaborado pela autora (2016).

Figura 29– Propriedade L3 - Croqui de representação da instalação do sistema de tratamento de água.



Fonte: elaborado pela autora (2016).

### 3.3 ESTUDO DA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

A partir da implantação dos sistemas em cada propriedade, realizaram-se estudos para avaliar a eficiência dos mesmos perante parâmetros hidráulicos, operacionais e de qualidade de água.

#### 3.3.1 ESTUDO DOS PARÂMETROS HIDRÁULICOS E OPERACIONAIS

Esse estudo fez-se necessária fim de verificar se os sistemas possuem características operacionais e hidráulicas fundamentais para assegurar efetividade no tratamento e fornecer água apropriada para consumo num período de tempo estabelecido.

O distanciamento das propriedades e a disponibilidade financeira foram pontos desafiadores para tal estudo, tornando-o compendiado em alguns casos.

Os parâmetros foram avaliados através do estudo do comportamento hidráulico do sistema, da carreira de filtração, da limpeza, recuperação e monitoramento do consumo e taxa de filtração do filtro lento.

##### 3.3.1.1 Avaliação do Comportamento Hidrodinâmico do Sistema pela DTR

O estudo do comportamento hidráulico para esta pesquisa foi importante para conhecer a distribuição do tempo de residência (DTR), o comportamento do efluente a ser tratado e o tempo total real de tratamento da água desde o momento em que ela é oportunizada pela nascente.

A partir disso, conseqüentemente, avaliou-se o comportamento hidrodinâmico através das propostas de importantes autores como Fogler (1999); Levenspiel (2000); Howe et al. (2012) e Metcalf e Eddy (2016).

Para o estudo em questão, utilizou-se da função pulso por ser de fácil aplicação e por atender satisfatoriamente ao que se propõe. Realizaram-se dois ensaios, *in loco*, na propriedade L1.

Dentre todas as tentativas para utilização da técnica, optou-se pelo uso de uma solução aquosa de 10% cloreto de sódio

(NaCl) como traçador, seguindo a aplicação nas unidades PFA, RRS e FLR.

Após permitir que o sistema entrasse em regime permanente de escoamento, desde a nascente, realizou-se o cálculo do tempo de detenção teórico ( $\tau$ ) e estabilização da vazão de entrada e saída dessas unidades.

Em seguida, utilizou-se da técnica estímulo-resposta com a injeção do traçador, imediatamente na entrada do efluente, com  $t=0$ , a fim de conseguir maior efetividade dos dados, obtidos através do parâmetro condutividade.

A injeção do traçador foi realizada com o auxílio de um funil na tubulação de entrada, não havendo desperdício do material. O tempo de introdução foi em torno de 10 a 15 segundos em todos os ensaios. Esse tempo necessita ser inferior a 3% do  $\tau$ , para que seja caracterizado como injeção tipo pulso (DI BERNARDO; DANTAS, 2005a).

A concentração escolhida do traçador foi a que gerou relevantes condutividades em se comparando com a condutividade apresentada pela AB para se tornar o experimento adequadamente mensurável.

As leituras foram realizadas em intervalos regulares de 30 segundos para PFA e RRS e 1 minuto para FLR por meio de aferições com condutímetro digital portátil TDS e EC (hold) e condutímetro portátil HQ14d – Hach, até que se assegurasse da saída de toda a massa do traçador.

O total de amostras foi condizente à etapa de tratamento e realizada em tempos pré-estabelecidos através de tubos *falcón*. A Tabela 11 mostra o total de amostras para cada ensaio em relação à etapa de tratamento.

Tabela 11 – Total de amostras nos dois ensaios realizados.

<b>Etapa de tratamento</b>	<b>Total de amostras</b>	<b>Tempo de amostragem (min)</b>
PFA	39	23
RRS	24	80
FLR	24	35

Fonte: elaborado pela autora (2016).

Após os dados experimentais, geraram-se as análises de dados do traçador para: obter-se (C) pelas leituras regulares de condutividade em função do tempo nos dois ensaios, normalizar

essas curvas para se obter as funções de distribuição de idade de saída “E( $\Theta$ )” e distribuição cumulativa “F”, no intuito de extrair indicadores para determinação do comportamento de curtos-circuitos e grau de mistura.

Também, determinaram-se o tempo médio de permanência ( $t_m$ ) e o espalhamento da DTR através da variância ( $\sigma^2$ ).

### 3.3.1.2 Estudo das Carreiras de Filtração

#### 3.3.1.2.1 *Estudo Preliminar das Carreiras de Filtração em L1, L2 e L3*

No período de início da pesquisa, realizaram-se estudos preliminares da carreiras de filtração, em meados de março/2016, a fim de estabelecer o período de estudo hidráulico, operacional e das amostragens posteriores, em concordância com a disponibilidade financeira.

Portanto, este estudo foi essencial para definir a periodicidade das visitas e trabalhos em campo, assim como as amostragens.

Dessa forma, a carreira de filtração preliminar foi avaliada por meio de análises de turbidez de amostras coletadas após o FLR, a cada dois dias pelos proprietários, por um período em torno de 60 dias ou até que se percebessem alterações visuais na qualidade de água coletada.

Estabeleceu-se com os proprietários que a vazão de saída de AF (após o FLR) deveria estar fixada através de uma obstrução parcial do registro esfera à montante do reservatório final, buscando controlar a taxa de filtração e efetividade do tratamento.

A coleta das amostras para a carreira preliminar fez-se a cada dois dias, pelos proprietários, utilizando frascos plásticos limpos no laboratório, com enxágue prévio e etiquetados com as respectivas datas. Para as leituras do parâmetro, utilizou-se um turbidímetro portátil HACH 2100 N, usando método nefelométrico de análise.

### 3.3.1.2.2 *Estudo das Carreiras de Filtração posteriores*

Além do estudo preliminar no início da pesquisa, também efetivaram-se outras avaliações das carreiras de filtração nas três propriedades.

Também, fixou-se a vazão de saída da AF com a obstrução parcial do registro esfera à montante do RF, com intuito de controlar a taxa de filtração e, principalmente, obter o período máximo de desempenho do sistema com essa mesma taxa.

Analogamente, coletaram-se amostras após o FLR, em frascos plásticos limpos, com enxágue prévio e etiquetados com as respectivas datas de coleta, por 60 dias ou até que se percebessem alterações visuais na qualidade de água coletada.

A verificação da turbidez das amostras fez-se *in loco* fim de verificar a alteração da qualidade de água no período total. Utilizou-se de um turbidímetro portátil HACH 2100N, usando método nefelométrico de análise.

### 3.3.1.3 Limpeza total dos sistemas e recuperação do FLR

Os procedimentos de limpeza dos sistemas em cada propriedade foram análogos, obtendo-se métodos específicos para cada etapa do sistema.

Para a sequência de limpeza, gerou-se um protocolo utilizado como orientação aos proprietários que operarão o sistema, desde o CX até o RF.

A unidade considerada guia para atingimento do período de limpeza total do sistema foi o FLR, por causa da característica do efluente final.

Portanto, nessa unidade, primeiramente efetuaram-se verificações da diminuição da vazão e do aumento da turbidez da AF no período final das carreiras de filtração para as três localidades. Em seguida, realizaram-se as retrolavagens.

Esse procedimento não foi feito pelos proprietários no período da pesquisa, havendo somente a presença dos mesmos para aprendizado. Após os estudos definidos, gerou-se um protocolo para operação da retrolavagem através de um manual didático. O Apêndice 13 mostra as orientações de funcionamento da retrolavagem e filtração.

Conforme Pizzolatti (2010) e De Souza et al. (2016), uma forma de estudo da limpeza do filtro lento dá-se através do

monitoramento da água de retrolavagem. Para isso, durante o processo, fizeram-se amostragens, em recipientes *falcon* a cada trinta segundos durante um tempo estimado de retrolavagem, entre 5 a 15 min, analisando a turbidez *in loco*.

Segundo De Souza et al. (2016), é importante obterem-se dados de granulometria e velocidade de aproximação para expansão do meio filtrante a fim de diagnosticar a influência do esgotamento do material retido durante o processo de filtração.

Para se realizar a análise granulométrica, utilizou-se da técnica de peneiramento na separação e/ou classificação do material particulado, de acordo com a NBR 7181/84, a fim de destacar características importantes do meio filtrante como coeficiente de uniformidade e tamanho efetivo do grão.

Nesse contexto, foi possível analisar a curva granulométrica, destacando o tamanho efetivo do grão  $D_{10}$ , que corresponde a 10% da massa total passante na peneira,  $D_{60}$  correspondente a 60% em massa total das partículas menores e coeficiente de uniformidade (CU) sendo  $D_{60}/D_{10}$ .

Para efeitos de projeto, os estudos hidráulicos de expansão da areia basearam-se em Emmendoerfer (2006), dimensionando-se uma expansão média de 40% a uma velocidade de aproximação  $0,34 \text{ m min}^{-1}$  e perda de carga na camada suporte de 0,06 m.

No entanto, para se avaliar, experimentalmente, a velocidade mínima de fluidificação ( $vmf$ ) e perda de carga no meio filtrante fluidificado ( $hf$ ), realizou-se um ensaio de expansão no sistema existente do Laboratório de Águas da Lagoa do Peri (LALP), com as mesmas características do material filtrante implantado nas propriedades. Os testes granulométricos foram feitos no Labtrat e Lapoá.

Dessa maneira, a coluna experimental foi preenchida com 15 cm de camada suporte e 27 cm de areia média e fina, a fim de se obterem os dados necessários.

O estudo da recuperação dos FLR deu-se através de amostras de AB e AF, para leituras de turbidez, após a retrolavagem em duas carreiras de filtração realizadas em cada propriedade.

A taxa utilizada no período de estabilização do FLR foi em torno de 0,4-0,5 m/h, obtendo dados de turbidez a cada 15 min até a obtenção de valores em conformidade com a Portaria 2.914/11 do MS.

### 3.3.1.4 Monitoramento das vazões do sistema, do Consumo e da Taxa de Filtração do FLR

Quanto ao monitoramento da vazão de consumo, realizaram-se aferimentos em hidrômetros, instalados após os RF, localizados à jusante do sistema de tratamento. Já a medição da vazão provida das outras etapas do sistema foi aferida volumetricamente, com o auxílio de cronômetro e proveta graduada.

Também verificou-se a taxa de filtração no intuito de associar à vazão de consumo a interferência sobre a qualidade de água distribuída e o suporte quanto à disponibilidade de água demandada.

### 3.3.2 MONITORAMENTO DE QUALIDADE DE ÁGUA

O monitoramento de qualidade de água aconteceu conforme a aquiescência após o estudo preliminar das carreiras de filtração no início da pesquisa, em concordância com a disponibilidade financeira.

As amostras foram coletadas ao final das carreiras de filtração, sobre as quais foram avaliados parâmetros de qualidade in loco, no Laboratório de Tratamento de Águas e Efluentes (LabTrat/UFES) e no Laboratório de Potabilização de Água (LAPOÁ/UFSC). Além da coleta, foi realizada a preservação das amostras com a metodologia prevista na (APHA, 2012).

As diretrizes para seleção dos parâmetros foram estabelecidas pelo Anexo XV e entre outros parâmetros da Portaria 2.914/2011, assim como, da Resolução CONAMA 357/2005, acrescidos a outros parâmetros julgados necessários para se avaliar a efetividade dos sistemas. Ademais, os procedimentos das análises seguiram o que estabelece o Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2012).

Na Tabela 12 encontram-se os parâmetros utilizados para caracterizar a água de tratamento e abastecimento para as três localidades.

Tabela 12 – Parâmetros físico-químicos e microbiológicos para análises, realizados de acordo com o estudo da carreira de filtração.

<b>Parâmetro</b>	<b>Frequência</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Metodologia aplicada</b>
<b>Turbidez (uT)</b>	conforme carreira	Sonda multiparâmetros HI 98194 - HANNA	Hach 2100N (APHA, 2005)
<b>Cor verdadeira (uH)</b>	conforme carreira	Spectroquant NOVA60 - MERCK	2120C (APHA, 2005)
<b>Cor aparente (uH)</b>	conforme carreira	Sonda multiparâmetros HI 98194 - HANNA	
<b>pH</b>	conforme carreira	Sonda multiparâmetros HI 98194 - HANNA	
<b>Coliformes Totais (ausência/presença)</b>	conforme carreira	Kit de Análise ReadyCult (Merck)	9222 B (APHA, 2005)
<b>Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)</b>	conforme carreira	contagem em meio de cultura com ácido rosólico e revelação com luz UV 365 nm	9221 F (APHA, 2005)
<b>DBO<sub>5</sub> (mL L<sup>-1</sup>)</b>	conforme carreira	OxiTop - WTW	5210 B (APHA, 2005)
<b>Oxigênio Dissolvido (mg L<sup>-1</sup>)</b>	conforme carreira	Sonda multiparâmetros HI 98194 - HANNA	
<b>Sólidos Totais (mg L<sup>-1</sup>)</b>	conforme carreira	Estufa - CienLab / Balança analítica - BEL Engineering	2540 B (APHA, 2005)
<b>Sólidos Dissolvidos (mg L<sup>-1</sup>)</b>	conforme carreira	Estufa - CienLab / Balança analítica - BEL Engineering	2540 C (APHA, 2005)
<b>Sólidos Suspensos (mg L<sup>-1</sup>)</b>	conforme carreira	Estufa - CienLab / Balança analítica - BEL Engineering	2540 D (APHA, 2005)
<b>Ferro Dissolvido (mg L<sup>-1</sup>)</b>	conforme carreira	Spectroquant NOVA60 - MERCK	3500-Fe (APHA, 2005)

Tabela 12 - Parâmetros das análises físico-químicas e microbiológicas (continuação)

<b>Parâmetro</b>	<b>Frequência</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Metodologia aplicada</b>
<b>Fosforo total (mg L<sup>-1</sup>)</b>	conforme carreira	Spectroquant Pharo300 - MERCK	4500-P (APHA, 2005)
<b>Nitrato (mg L<sup>-1</sup>)</b>	conforme carreira	Spectroquant Pharo300 - MERCK	4500-NO <sub>3</sub> - (APHA, 2005)
<b>Nitrito (mg L<sup>-1</sup>)</b>	conforme carreira	Spectroquant Pharo300 - MERCK	4500-NO <sub>2</sub> - B (APHA, 2005)
<b>Amônia (mg L<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub>)</b>	conforme carreira	Spectroquant Pharo300 - MERCK	4500-NH <sub>3</sub> F (APHA, 2005)
<b>Condutividade (µS cm<sup>-1</sup>)</b>	conforme carreira	Sonda multiparâmetros HI 98194 - HANNA	
<b>Temperatura (°C)</b>	conforme carreira	Sonda multiparâmetros HI 98194 - HANNA	
<b>□Cloro residual livre (mg L<sup>-1</sup>)</b>	conforme carreira	Kit Cloro Livre Mod CN66 - HACH	

□ Leitura de cloro residual livre em localidades onde foi possível instalar a desinfecção.

Notas: (pH) potencial Hidrogeniônico; APHA: American Public Health Association, 2005.

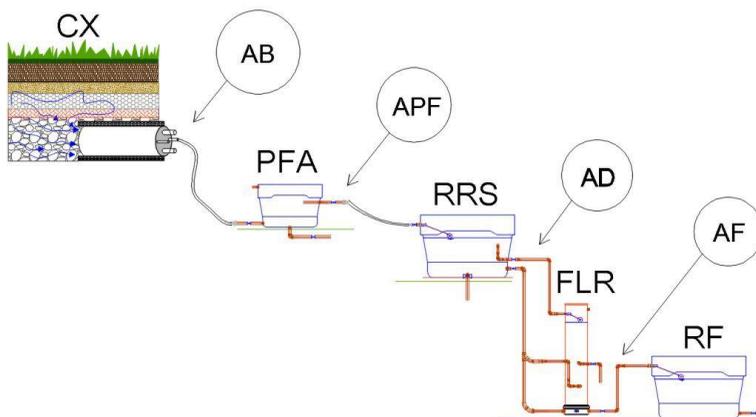
Fonte: elaborado pela autora (2017).

No que diz respeito à amostragem, fizeram-se coletas de água na saída do CX, caracterizando água bruta (AB) e na saída do filtro lento, caracterizando água filtrada (AF).

Realizaram-se, também, análises dos parâmetros: temperatura, condutividade, cor aparente, turbidez, pH, oxigênio dissolvido (OD) e sólidos totais dissolvidos (STD) em todas as unidades, caracterizando também água pré-filtrada (APF) e água decantada (AD), respectivamente (Figura 30).

As amostras de AB e AF foram coletadas em frascos de vidro com volume máximo de 1 L e 250 mL para outras análises físico-químicas e microbiológicas e imediatamente analisadas em laboratório.

Figura 30 – Pontos de coleta de água na saída do CX (AB) e na saída do FLR (AF). Análise de parâmetros *in loco* na saída do CX(AB), saída PFA (APF), saída do RRS (AD) e saída do FLR(AF).



Fonte: elaborado pela autora (2017).

### 3.3.2.1 Desinfecção por Cloração

Para a realização da cloração, optou-se pelo uso de dosadores tipo hidrojeter de hipoclorito de sódio líquido com vazão estipulada de 1,0 a 15,0 L. h<sup>-1</sup>. Este dosador é considerado preciso (funcionando de acordo com a vazão de consumo), resistente ao impacto e de fácil aplicabilidade, o que o torna favorável ao uso em áreas remotas, como as do presente estudo.

O dosador funcionou por meio de um hidrojetor destinado a criar um vácuo suficiente no tubo venturi para sucção, diluição e injeção da solução química de hipoclorito de sódio na água a tratar. A solução química teve a vazão regulada por uma válvula de regulação medida em L.hora<sup>-1</sup> por um medidor tipo rotâmetro, de leitura instantânea, munido de uma esfera flutuante, a qual indica a dosagem desejada.

Instalaram-se os dosadores de cloro nas propriedades L1 e L3, pois apresentam agroindústria familiar e são submetidas ao processos de inspeção Municipal (Figura 31).

No entanto, os proprietários dessas duas localidades reivindicaram o uso da desinfecção por cloro somente para o abastecimento nas agroindústrias, eliminando a possibilidade de utilizar água clorada para as residências.

Devido a essa mesma justificativa e tabu, não se instalou o dosador de cloro na propriedade L2, já que a mesma é somente composta por residência.

Para as localidades que obtiveram desinfecção com cloração, fizeram-se leitura de cloro livre, em pontos da tubulação, com o Kit Cloro Livre Mod CN66 – HACH.

Figura 31 – Instalação dos cloradores nas propriedades a) L1 e b) L2.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa etapa, expor-se-ão resultados da implantação *in loco* dos sistemas, da adequação ambiental nas APPs e do monitoramento de parâmetros hidráulicos e de qualidade de água, a fim de validar a eficiência e desempenho dos sistemas alternativos e descentralizados de tratamento, nas localidades remotas em estudo.

Em seguida, efetivar-se-á uma reflexão empírica regionalizada e contextualizada frente à Política Nacional do Saneamento Básico. Tal reflexão, embasa resultados provenientes do ambiente real da pesquisa, relacionados e influenciados por cuidados de operação e manutenção, assim como, pelas condições ambientais locais.

### 4.1 DESENVOLVIMENTO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Para se conceber o sistema de tratamento de água nas três localidades, tomou-se como premissa, a avaliação do parâmetro turbidez (Tabela 13), da qual a água da nascente teria valores apropriados para tratamento com filtração lenta de no máximo 10 uT (COLLINS et al., 1991). Atribuiu-se esse valor de turbidez como base, mesmo considerando que outros autores utilizem valores maiores para instalações com pré-filtração adjacente ao filtro lento. Como é o caso da filtração em múltiplas etapas (FiME), no qual os valores de turbidez podem ser aceitos com até 50 uT, usando filtro lento de areia (FLA) com pré-filtro de escoamento vertical ascendente em subcamadas (PFVAC) (DI BERNARDO; DANTAS, 2005b).

Tabela 13 – Valores médios de turbidez analisados para determinação do tipo de tratamento.

Parâmetro	Localidades de estudo		
	L1	L2	L3
Turbidez (uT)	5	5	6

Fonte: elaborado pela autora (2017).

#### 4.1.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA DE CONSUMO

As características físico-químicas e microbiológicas apresentadas na Tabela 14 deram diretrizes para o projeto e a implantação do sistema alternativo de tratamento de água como indicado por Huisman e Wood (1974), Di Bernardo e Dantas (2005b) e Di Bernardo; Brandão e Heller (1999).

Mesmo que os resultados das análises sejam referentes somente ao período de maio, do qual advêm poucas chuvas na região, foi possível tomar como pressupostos tais características para desenvolver o sistema de tratamento apropriado.

Através desses resultados e tomando como referência o enquadramento de águas doces pela Resolução CONAMA n° 357/2005, diagnosticou-se o corpo hídrico como Classe I em todas as propriedades de estudo, ou seja, são águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado.

Tabela 14 – Resultado da qualidade de água bruta para as três localidades de estudo, classificando o corpo hídrico.

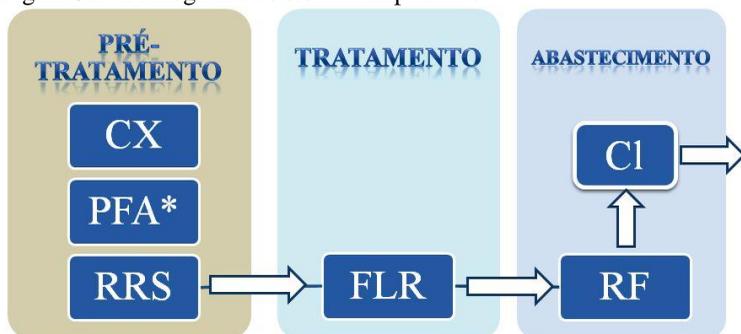
Parâmetro	Unidade	L1	L2	L3	CONAMA 357/2005 Classe I	Recomendações para FLA e PFVAC☼
Alcalinidade	mgCaCO <sub>3</sub> /L	101,3	16	20,3	-	-
Amônia (como NH <sub>3</sub> )	mgN/L	0,1	<0,1	0,11	<b>3,7</b>	-
Cloretos	mg/L	170,2	21,2	21,3	<b>250</b>	-
Clorofila <i>a</i>	µg/L	n.d.	0,37	n.d.	<b>10</b>	<b>5</b>
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	1100	460	43	<b>200</b>	<b>100%&lt;500; 95%&lt;250; 90%&lt;100</b>
Condutividade	µS/cm	30	6,02	6,1	-	-
Cor Aparente	uC	13,3	20,5	19	-	-
Cor Verdadeira	uC	12,8	12,5	7	-	<b>100%&lt;10 e 95%&lt;5</b>
DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /L	2,0	1,0	0	<b>3,0</b>	-
Ferro dissolvido	mg/L	0,08	0,27	0,11	<b>0,3</b>	<b>100%&lt;1,5; 95%&lt;1,0; 90%&lt;0,5</b>
Fosforo total	mg/L	0,016	0,02	0,03	<b>0,1</b>	-
Nitrato (como NO <sup>-3</sup> )	mgN/L	0,78	0,31	0,39	<b>10</b>	-
Nitrito (como NO <sup>-2</sup> )	mgN/L	<0,02	0,02	0,02	<b>1,0</b>	-
Oxigênio Dissolvido	mg/L	7,3	7,59	7,59	<b>&gt;6,0</b>	-
pH		6,63	5,41	6,28	<b>6,0 a 9,0</b>	-
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	45	91	106	<b>500</b>	-
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	129	72	125	-	-
Sulfato (como SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	27	18	19	<b>250</b>	-
Turbidez	uT	5	5	6	<b>40</b>	<b>100%&lt;15; 95%&lt;10 90%&lt;5</b>

☼ PFVAC: pré-filtro de escoamento vertical ascendente em subcamadas. Recomendação de Cleasby, (1991) e Di Bernardo & Dantas, (2005).

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Portanto, tendo como base os resultados de turbidez e levando-se em consideração o recurso disponível para investimento, determinaram-se as tecnologias mais apropriadas com pré-tratamento composto por sistema de proteção de nascente modelo Caxambu (CX), pré-filtro ascendente (PFA); reservatório para retrolavagem e sedimentação (RRS) e tratamento composto por filtro lento com retrolavagem (FLR), seguindo de reservação final (RF) e desinfecção da água por cloração, como mostra o fluxograma na Figura 32:

Figura 32 – Fluxograma do sistema implantado.



\*necessário quando a qualidade de água varia em períodos de intensa precipitação.

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Os sistemas de tratamento de água foram implantados nas respectivas APP das propriedades e o abastecimento realizado por tubulações de polietileno PEAD, devido à acessibilidade do preço.

#### 4.1.2 IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO NAS TRÊS LOCALIDADES DE ESTUDO

A captação de água bruta através das proteções de nascente contribuiu para a pré-filtração e serviu como um artifício estratégico para possibilitar a implantação das outras etapas de filtração previstas em projeto.

A Figura 33 apresenta como resultado, a implantação das proteções de fonte (CX) nas nascentes, em L1, L2 e L3, antese após as instalações.

Figura 33 -Nascente antes e após implantação da proteção modelo Caxambu em L1, L2 e L3.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

No que concerne ao PFA, o mesmo foi instalado em L1 e L3 a fim de minimizar os impactos da turbidez, nos períodos chuvosos (Figura 34). Já a implantação dos RRS e FLR ocorreu como o estabelecido na metodologia e adequados à realidade ambiental local (Figura 35).

Figura 34 - Pré-filtro instalado à jusante da proteção de nascente; a) L1, b) L3.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

Figura 35 – Finalização da implantação dos Sistema com RRS, FLR e RF em a) L1; b) L2; c) L3.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

## 4.2 ESTUDO DA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS

Após a apresentação dos sistemas implantados, seguem as avaliações dos parâmetros hidráulicos, operacionais e de qualidade de água com finalidade de validá-los, considerando as diferentes situações ambientais.

### 4.2.1 PARÂMETROS HIDRÁULICOS E OPERACIONAIS

#### 4.2.1.1 Avaliação do Comportamento Hidrodinâmico do sistema pela Distribuição do tempo de residência (DTR)

A avaliação do comportamento hidrodinâmico deu-se por meio de dois ensaios realizados nas unidades do sistema de propriedade L1, usando traçador do tipo pulso  $t = 0$  formado pela solução aquosa de NaCl.

O experimento foi importante, principalmente, para estudar a DTR no PFA, RRS e FLR. Para o CX, não foi possível realizar os ensaios devido à inviabilidade em introduzir o traçador na nascente. Portanto, seguem as análises das curvas para verificação da DTR, de acordo com as propostas de Fogler e Gürmen (1999); Levenspiel (2000); Howe et al. (2012) e Metcalf e Eddy (2016).

##### 4.2.1.1.1 *Análise das curvas de passagem para avaliação da DTR*

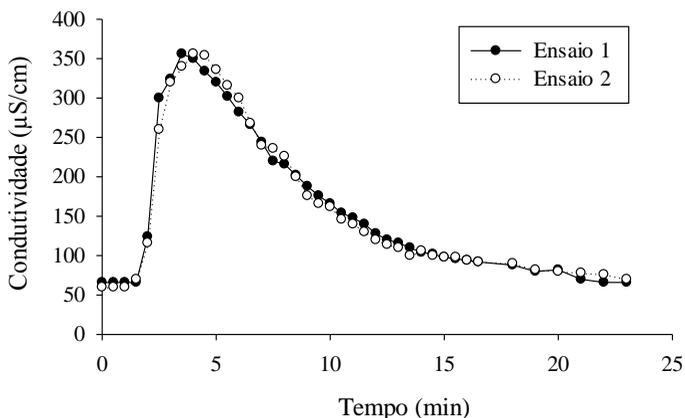
Para as três unidades de tratamento estudadas (PFA, RRS e FLR), onde o escoamento foi considerado não-ideal, após a coleta de dados em campo, iniciaram-se as análises dos dados do traçador para se obter a curva (C) pelas leituras regulares de condutividade em função do tempo, assim como, para determinar o tempo médio de permanência ( $t_m$ ), o espalhamento da DTR através da variância ( $\sigma^2$ ), a distribuição normalizada de saída da concentração adimensional  $E(\Theta)$  e a passagem acumulada do traçador durante a DTR (F).

Dos Apêndice 14 ao 19, apresenta-se as bases de cálculos e de análise de dados para geração do estudo, em todos os ensaios executados com sucesso.

Análise das Curvas no PFA, RRS e FLR

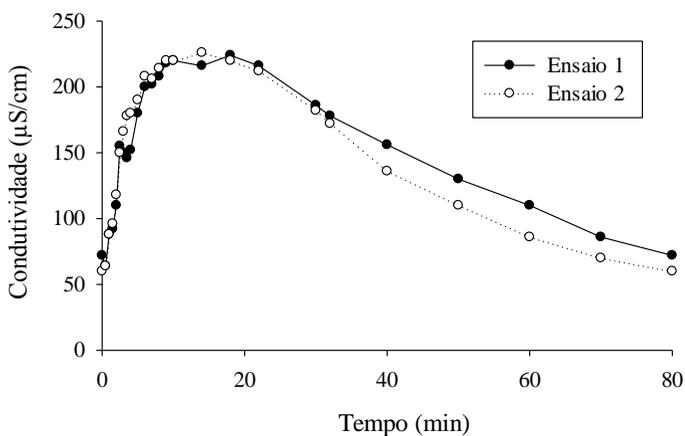
Os gráficos das Figura 36 a 38, mostram a curva C referente aos dados de condutividade coletados em função do tempo de residência do efluente para as unidades de tratamento PFA, RRS e FLR.

Figura 36–Curva (C) de condutividade em função do tempo, referente ao Ensaio 1 e 2 no PFA.



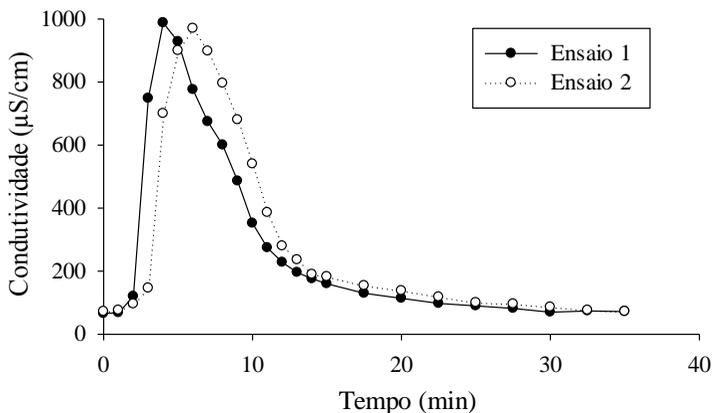
Fonte: elaborado pela autora (2017).

Figura 37–Curva (C) de condutividade em função do tempo, referente ao Ensaio 1 e 2 no RRS.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

Figura 38 – Curva (C) de condutividade em função do tempo, referente ao Ensaio 1 e 2 no FLR.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

Avaliando-se o perfil evolutivo dos valores de condutividade, percebeu-se uma similaridade comportamental nos dois ensaios realizados, os quais foram em diferentes períodos.

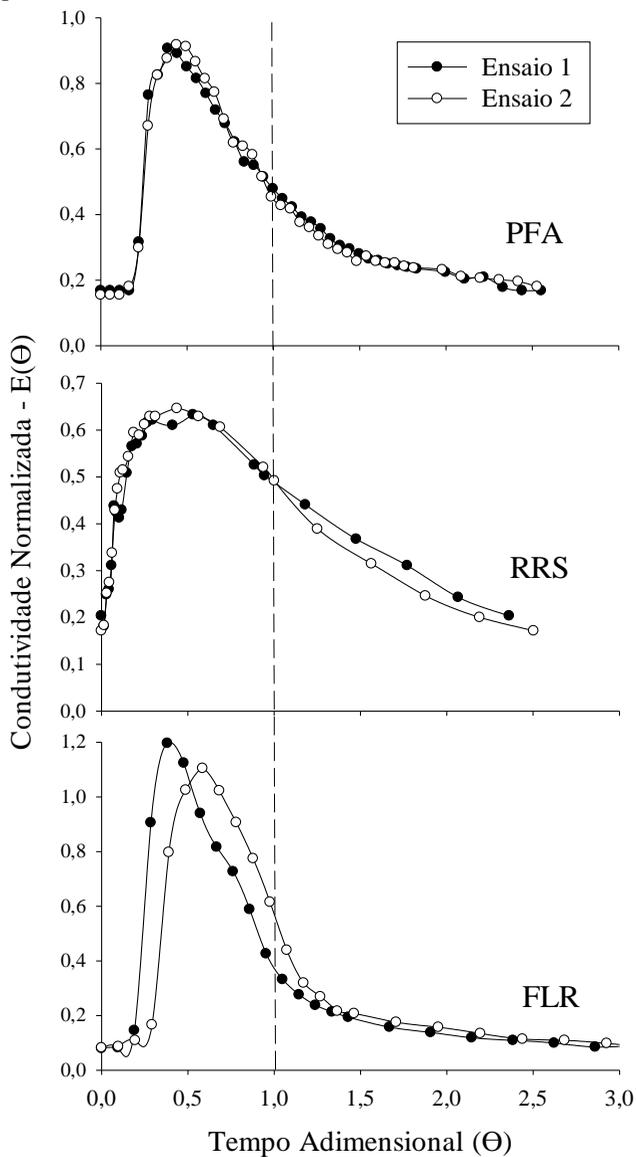
Algumas oscilações nas curvas iniciais de passagem do RRS demonstraram que pode haver caminhos preferenciais e áreas de recirculação em seu interior (FOGLER; GÜRMEEN, 1999). Percebe-se que os picos de condutividade aconteceram em tempos ( $t_p$ ) de 4,0 min para PFA, 19 min para RRS e 6 min para FLR, respectivamente.

Adicionalmente, no final dos picos de condutividade, as caudas não apresentaram relevantes oscilações, indicando pouca ou nenhuma zona morta, podendo apresentar melhor homogeneidade na mistura para todos os casos estudados.

De acordo com orientações de Howe et al. (2012), esses dados iniciais de traçador (Curvas C) têm de ser normalizados (área sobre a curva igual a 1) sobre os quais se obtiveram as Curvas  $E(\Theta)$  representando a distribuição de saída da concentração adimensional e (F) a distribuição cumulativa com o parâmetro  $\Theta$ , que representa o tempo adimensional.

Os dados das Curvas C também serviram para determinar o tempo médio ( $t_m$ ) e a propagação da curva do traçador, indicando o espalhamento da distribuição ( $\sigma^2$ ). As curvas  $E(\Theta)$ , portanto, estão apresentadas nos gráficos da Figura 39.

Figura 39 – Função da distribuição da idade de saída do efluente  $E(\Theta)$  para os ensaios 1 e 2 em PFA; RRS e FLR.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

Para condições de impulso e escoamento ideais, com pequena intensidade de dispersão, essas curvas representariam simetria da família das gaussianas e normais, onde os picos de condutividade normalizada estariam diretamente em função do tempo adimensional  $\Theta = 1,0$ ; que equivale ao  $t_m$  (LEVENSPIEL, 2000). No entanto, é perceptível que há um aparecimento prematuro do traçador em todos os casos. Segundo Levenspiel (1972), isso indica que há canalização do fluido em locais excepcionais e/ou algumas regiões de estagnação nas unidades ou zonas mortas.

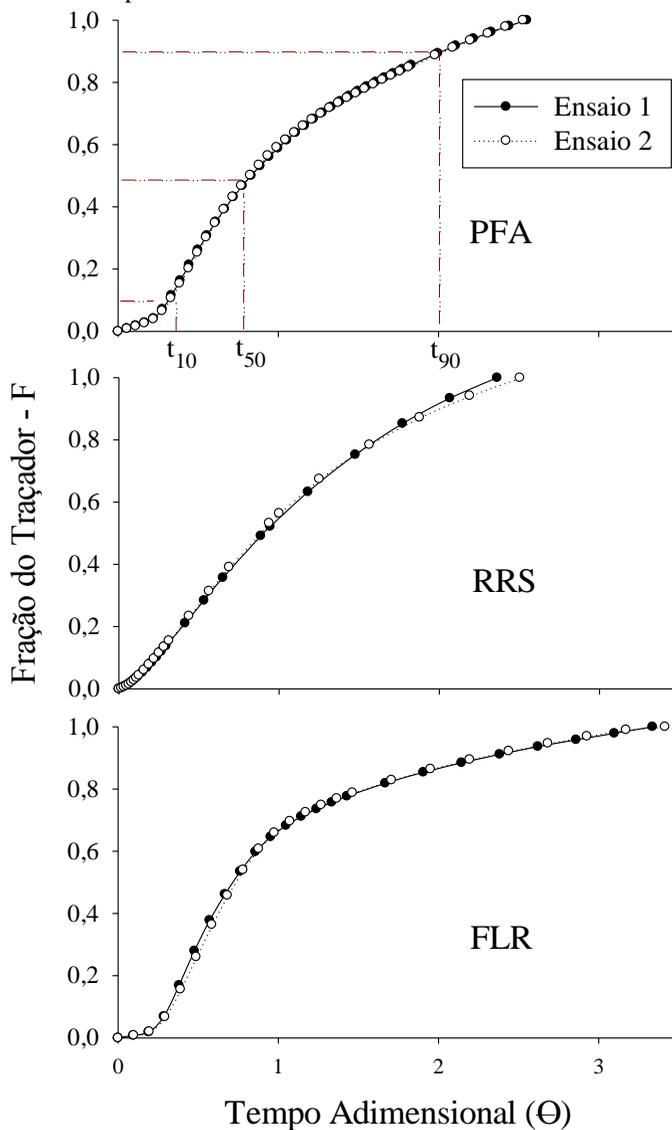
Essas curvas normalizadas de DTR demonstram similaridade dos comportamentos hidrodinâmicos em cada ensaio realizado (LEVENSPIEL, 2000).

Não obstante, mesmo que a curva  $E(\Theta)$  seja uma importante função de distribuição do tempo de residência para o reator ou unidade em estudo, Howe et al. (2012) informa que ela pode ser limitada quando se necessita determinar os valores específicos do tempo de residência.

Portanto, é possível calcular esses vários tempos a partir da área sob a curva dos gráficos  $E(\Theta)$  para se determinar a distribuição cumulativa, que é a Curva (F), (LEVENSPIEL, 1972). Por exemplo, Metcalf & Eddy (2016) salientam que é permitido inferir os valores de tempo no qual 10, 50, 90% do traçador passou pelo reator ou pela unidade a fim de definir  $t_{10}$ ,  $t_{50}$  e  $t_{90}$ .

A Figura 40 mostra as funções de distribuição cumulativas (F) para as três unidades. Com esses dados é possível verificar o desempenho hidráulico nas unidades com fluxo real.

Figura 40 – Função da distribuição cumulativa F do efluente em PFA, RRS e FLR para os ensaios 1 e 2.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

Para isso, desenvolveram-se alguns parâmetros e modelos de indicadores de eficiência hidráulica para caracterizar a DTR, como descreve no item a seguir.

### Determinação dos indicadores de eficiência hidráulica

O tempo de detenção teórico ( $\tau$ ) foi calculado, primeiramente, por meio do cálculo com os dados de volume e da vazão estabilizada na entrada e saída dessas unidades. Também foram consideradas as porosidades do meio filtrante no PFA e no FLR. Essas porosidades totais foram obtidas em laboratório e com auxílio de Di Bernardo e Dantas (2005), De Oliveria (2017) e Schujmann (2010).

Já  $t_m$  foi obtido através da normalização das curvas C e estão apresentados nos Apêndice 14 a 19.

Esses valores de tempos obtidos estão explicitados na Tabela 15, resumidamente.

Tabela 15 – Valores médios obtidos de  $\tau$  e  $t_m$ , em min, no PFA, RRS e FLR.

	Etapas de tratamento			
	PFA	RRS	FLR	Total (min)
$\tau$ (min)	9,19	32,26	9,08	50,53
$t_m$ (min)	9,06	32,92	10,37	52,35

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Segundo Howe et al. (2012) e Fogler & Gürmen (1999), em condições ideais ou não-ideais, o  $\tau$  e  $t_m$  da Tabela 15 teriam que ser iguais, caso contrário poder-se-iam diagnosticar espaços com ausência de mistura durante o percurso do efluente, em que o volume não seria utilizado.

Portanto, ao se verificarem as médias de  $t_m$  em PFA, RRS e FLR, observa-se que eles apresentam-se muito parecidos, obtendo-se uma diferença de 1,82 minutos a mais do  $t_m$  total. Isso indica que não há problemas graves de escoamento no sistema.

Assim, pode-se considerar, através desses parâmetros, que há um nível comedido de zonas mortas e curto-circuito em PFA ( $t_m < \tau$ ) e retromistura e/ou recirculação interna em RRS e FLR ( $t_m > \tau$ ).

Na Tabela 16, também são mostrados os valores e indicadores do tipo de escoamento que o sistema apresenta, de acordo com os dados da literatura para escoamentos ideais.

Tabela 16 – Valores médios para indicadores de mistura, dispersão e fluxo, referente aos dois ensaios realizados em cada unidade de tratamento.

Indicador	Etapas de Tratamento			Indicador para tipo de escoamento, dispersão e fluxo		
	PFA	RRS	FLR	Fluxo Pistão	Mistura Completa	Fração de Fluxo pela curva F
$\sigma^2$	0,40	0,40	0,57	<b>0</b>	<b>1</b>	-
<b>t<sub>i</sub> (min)</b>	2,00	1,50	2,00	-	-	-
<b>t<sub>10</sub></b>	0,33	0,24	0,32	-	-	<b>10%</b>
<b>t<sub>50</sub></b>	0,83	0,90	0,72	-	-	<b>50%</b>
<b>t<sub>90</sub></b>	1,98	1,95	2,31	-	-	<b>90%</b>
<b>t<sub>90</sub>/t<sub>10</sub> (IDM)</b>	6,00	8,13	7,22	<b>&lt;2</b>	<b>21,8</b>	-
<b>t<sub>50</sub>/τ</b>	0,09	0,03	0,07	<b>1</b>	<b>0</b>	-
<b>t<sub>10</sub>/τ</b>	0,04	0,01	0,03	<b>1</b>	<b>0,1</b>	-

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (2016) e Howe et al. (2012).

Por definição de Metcalf e Eddy (2016) reatores ideais com mistura completa têm as concentrações de quaisquer parâmetros em quaisquer pontos. Já nos reatores com fluxo pistonado, as partículas fluidas que passam possuem pouca ou nenhuma mistura longitudinal, essas partículas mantêm suas identidades no reator e o fluxo é aproximado em tanques abertos e com alta relação comprimento/altura.

Pela Tabela 16, verifica-se que o traçador apareceu logo no começo do experimento (t<sub>i</sub> com cerca de 1,5 a 2 minutos nas unidades), corroborando com as afirmações anteriores de que há uma antecipação do mesmo em relação ao t<sub>m</sub>, indicando caminhos preferenciais.

Outrossim, como foi mencionado anteriormente, Fogler & Gürmen (1999) relatam que a variância ( $\sigma^2$ ) mede o espalhamento da distribuição, atribuindo o comportamento à mistura do efluente, ou seja, o fluido modifica o impulso com a dispersão.

Diante dos dados explicitados acima para a  $\sigma^2$ , o grau de espalhamento do fluido está dentre valores intermediários, indicando-o razoável na mistura das unidades.

No que diz respeito ao Índice de Dispersão de Morill (IDM), segundo Metcalf & Eddy (2016), um reator adequado deve possuir esse índice abaixo de 2 para ser de fluxo pistão. No entanto, no presente estudo, o IDM apresentou-se com valores de 6,00 para PFA, 8,13 para RRS e 7,22 para FLR. Tais valores podem indicar que as unidades têm tendência de trabalharem como maior mistura.

O índice ( $t_{50}/\tau$ ) relata que um fluxo pistonado teria uma curva C muito parecida com a gaussiana, no entanto, quando se apresenta com valores menores que 1, como é o caso apresentado na Tabela 16, a curva é assimétrica para a esquerda. Isso pode ser confirmado pelos gráficos anteriores.

Complementarmente, o índice ( $t_{10}/\tau$ ) corrobora com as afirmações acima, mostrando que os valores perto de 0 indicam que há grande dispersão do efluente nas unidades, com tendência à mistura completa.

Para o caso de FLR, esperava-se um comportamento mais evidente de fluxo de pistão. No entanto, os dados não manifestaram essa característica como marcante. Isso pode ser atrelado à baixa relação comprimento/altura do mesmo, assim como ao fato de trabalhar com taxa mais baixa de filtração e/ou por interferência do meio filtrante durante o percurso, o que oportuniza a possibilidade de mistura e espalhamento do afluente para tratamento.

#### 4.2.1.2 Estudos das Carreiras de Filtração

O estudo das carreiras de filtração serviu como regulamentador para orientações específicas aos proprietários rurais sobre o tempo de limpeza total dos sistemas, visando à maior eficiência na qualidade de água abastecida.

Os pressupostos para a avaliação da carreira de filtração - posteriormente atrelada à limpeza e ao período de recuperação dos FLR - foram influenciados por fatores já demonstrados por Di Bernardo e Rivera (1996) como: as características do material filtrante, taxa de filtração e qualidade da água bruta.

A fixação da taxa de filtração, para este estudo, foi primordial para assegurar resultados fidedignos, considerando que o FLR trabalhou com carga hidráulica constante, devido ao controle da boia de nível na entrada.

Portanto, seguindo as orientações de Pizzolatti (2010), considerou-se prudente fazer avaliações da qualidade de água filtrada, utilizando-se do parâmetro turbidez para se estimar o período da limpeza no filtro e, conseqüentemente, no sistema.

Ao fim das carreiras de filtração, os proprietários que estavam fazendo as coletas relataram diminuir em torno de 50% a vazão da AF na saída do FLR. Esse fato acarretou insuficiência de abastecimento comparado à demanda para consumo.

Esse relato faz menção a uma característica, já observada por Di Bernardo e Dantas (2005), na qual a taxa de filtração opera em regime declinante, havendo necessidade de aumentar a vazão de saída e operação do filtro ou realizar a limpeza.

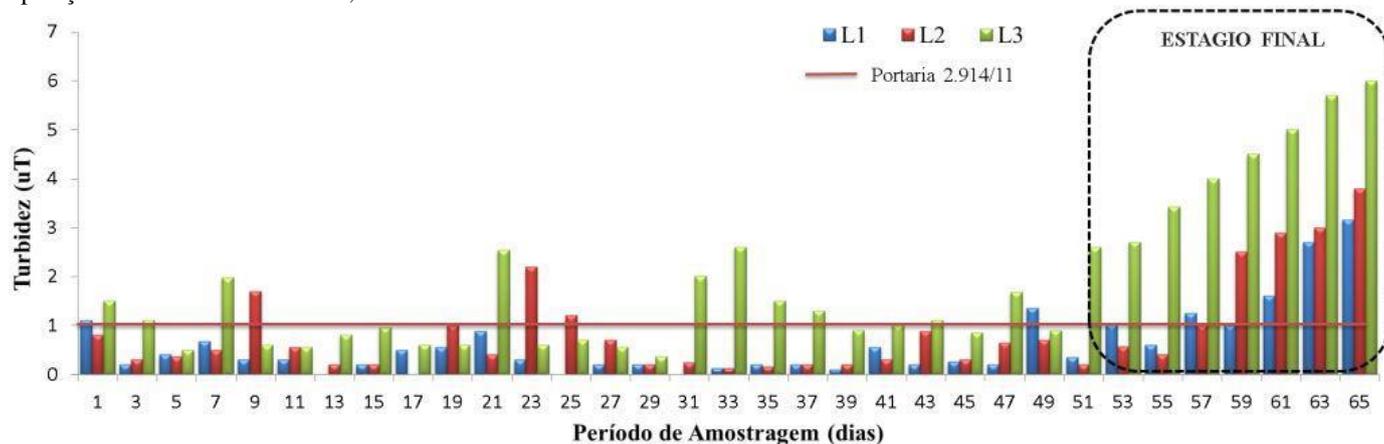
Para o presente estudo, orientou-se aos proprietários que mantivessem fixados os registros de saída, a fim de visualizar o período crítico em que a turbidez aumenta exponencialmente com o passar do tempo e, assim, alcançar o objetivo do estudo.

Dessa maneira, no período inicial da presente pesquisa, meados de março e abril/2016, primeiramente realizou-se um estudo preliminar para se determinar o período de amostragens e do estudo hidráulico. Esse período foi caracterizado com pouca atividade pluviométrica, ou seja, muitos dias de estiagem, havendo somente um dia com precipitações máximas, em torno de 40 mm em cada propriedade (EPAGRI/CIRAM, 2016).

Os dados representados na Figura 41 indicaram estudos iniciais de carreiras de filtração em torno de 50 a 60 dias, pois percebeu-se um aumento considerável do parâmetro turbidez durante este tempo.

A partir disso, atrelou-se uma campanha de coletas e trabalhos em campo com periodicidade máxima de 60 dias, de acordo com a disponibilidade financeira para o projeto.

Figura 41 – Evolução da qualidade de água filtrada, durante o estudo preliminar da carreira de filtração, em função do tempo de operação dos filtros lentos em L1, L2 e L3.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

Nessa conjuntura, realizaram-se três ensaios por localidade, dos quais fizeram-se válidas três carreiras de filtração para as localidades L1 e L2 e duas para L3, devido à disponibilidade de envolvimento diário dos proprietários em realizar as coletas.

As eventuais ocorrências de percalços operacionais e danos materiais, condizentes à pesquisa no âmbito real, para esse ensaio, dificultaram o estudo da vazão de consumo atrelada à taxa de filtração, assim como, a verificação de algum padrão de consumo.

Tais alterações afetaram a qualidade de água na duração de outras carreiras de filtração avaliadas, motivo pelo qual algumas foram desconsideradas.

Portanto, considerando os estudos realizados, a Tabela 17 apresenta a duração das carreiras de filtração estudadas, consideradas válidas.

Tabela 17 – Duração média das carreiras de filtração para as localidades de estudo.

<b>Localidades de estudo</b>	<b>Número de carreiras avaliadas válidas</b>	<b>Duração média das carreiras (dias)</b>
<b>L1</b>	2	57
<b>L2</b>	2	28
<b>L3</b>	1	30

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Os dados mostraram que as carreiras de filtração foram consideradas longas, (DI BERNARDO; DANTAS, 2005) mesmo havendo as variação sazonais de precipitação sobre a qualidade de água bruta (CLEASBY, 1984; PYPYER; LONGSDON, 1991; LOGSDON et al., 2002 e DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Os gráficos das Figura 42, 43 e 44 mostram o comportamento da turbidez nos diferentes ensaios de cada propriedade.

Esses gráficos mostram oscilações da turbidez, que podem ser causadas pela interferência da qualidade da AB, sobretudo nos períodos de chuva.

Embora a qualidade da AF sofra influências do processo de filtração e da qualidade da AB (DI BERNARDO; DANTAS, 2005), percebe-se que a carreira de filtração não foi prejudicada,

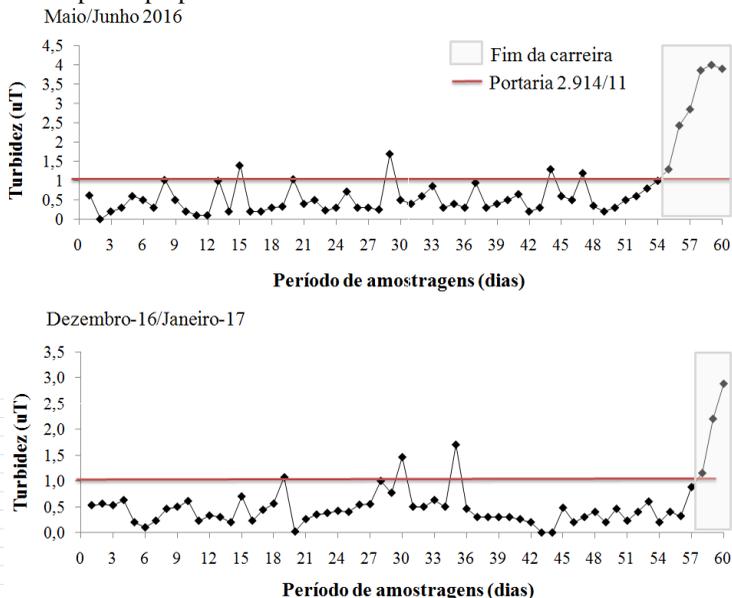
em sua totalidade, devido à eficiência da pré-filtração, ao amortecer picos prováveis de turbidez.

O gráfico da Figura 42, referente à propriedade L1, demonstra que a carreira de filtração é mais longa que nas outras propriedades. Esse diferencial pode ser atribuído ao eficiente desempenho do CX e do PFA.

A participação dos usuários nos cuidados e operação do sistema em L1 também foi eficiente e contribuiu para a melhoria da qualidade da água de abastecimento.

Nesse ínterim, o gráfico ainda mostra que os maiores picos de turbidez são atrelados aos dias de maior precipitação. Nos meses de maio/junho 2016, no 15° e 29° dias de amostragem, a turbidez apresentou-se com 1,4 uT e 1,7 uT com respectivas precipitações de 36 mm e 16 mm. Já, para Dezembro/Janeiro 2017, os 30° e 35° dias de amostragem mostraram valores de turbidez em torno de 1,46 uT e 1,7 uT, com respectivas precipitações de 30 mm e 48 mm.

Figura 42 – Comportamento da turbidez durante as carreiras de filtração válidas para a propriedade L1.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

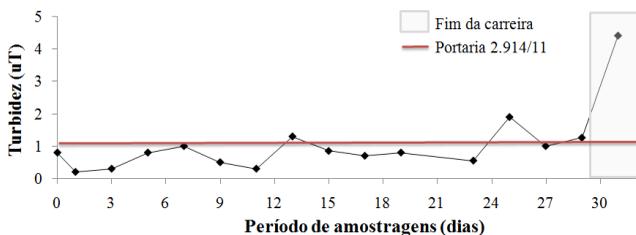
No entanto, com relação às localidades L2 e L3, Figura 43 e 44, percebeu-se, durante os estudos das carreiras válidas (para L2 meados de Dezembro-Janeiro/2017 e Março-Abril/2017 e L3 meados de Janeiro-Fevereiro/2017) e não válidas (para L2 meados de Julho/2016 e L3 meados de Julho e Outubro/2016), que as mesmas variavam em torno de 30 dias.

Pôde-se atribuir esse comportamento à variação da qualidade da AB, principalmente em períodos de intensa precipitação e/ou à participação nos cuidados e operação de ambos os sistemas. Visto que houve desgastes e degradações em ambos os sistemas.

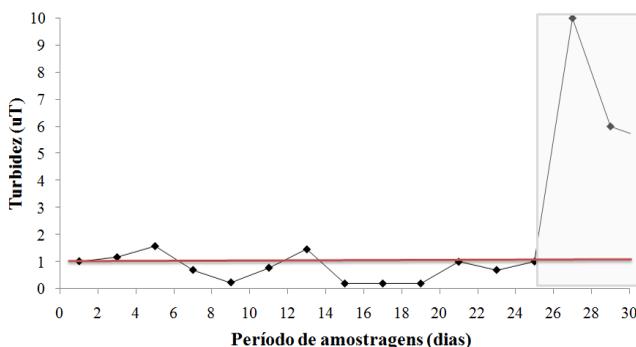
Nos gráficos da Figura 43, observou-se que houve alterações abruptas da turbidez nos finais das carreiras em ambos períodos de estudo, com valores de 4,4 uT e 10 uT respectivamente em meados dos meses de Dezembro/Janeiro 2017 com valores máximos de precipitação de 68 mm e Março/Abril 2017, com 51 mm.

Figura 43 – Comportamento da turbidez durante as carreiras de filtração válidas para a propriedade L2.

Dezembro-16/Janeiro-17



Março/Abril 2017



Fonte: elaborado pela autora (2017).

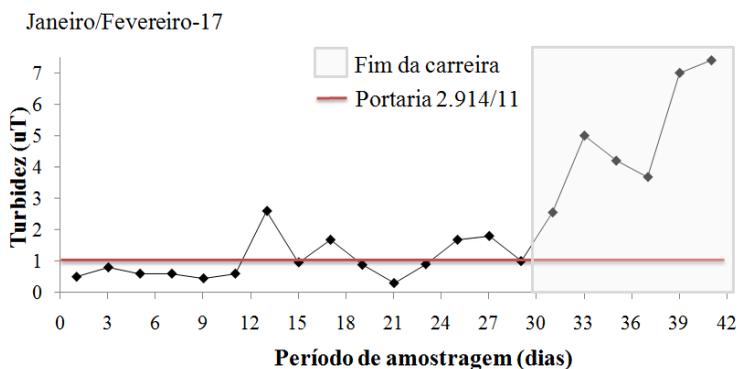
Esse sistema em L2 apresentou-se eficiente devido à longa carreira de filtração comparado com outros pilotos e estudos (DI BERNARDO E DANTAS, 2005 e PIZZOLATTI et al., 2010), porém manifestou necessidade de se obter melhor operação como: limpeza e cuidados para evitar danos materiais, assim como a instalação de pré-filtração, já que não há, a fim de minimizar os impactos durante as alterações pluviométricas.

Quanto à carreira de filtração para L3, representada pela Figura 44, percebeu-se uma intensa variação da turbidez em meados de Janeiro-Fevereiro/2017; com valores de 2,6 uT para o 13º dia, 1,68 uT para o 17º dia e 1,8 uT para o 27º dia, com respectivas precipitações de 28 mm, 20 mm e 7 mm.

Observou-se *in loco* que no sistema L3, houve uma variação considerável da turbidez da AB após o CX; podendo ser a causa das oscilações do parâmetro durante a carreira.

Essa variação pode ser atrelada às características do solo, facilitando a lixiviação do material particulado para dentro do CX, a fatores que influenciam na operação de filtração do CX ou a deficiências na operação como: limpeza no sistema e cuidados para evitar danos materiais.

Figura 44 - Comportamento da turbidez durante as carreiras de filtração válidas para a propriedade L3.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

Durante a obtenção dos dados no período de pesquisa, tornou-se necessário diminuir o intervalo de visitas a campo, para acompanhar melhor o comportamento dos parâmetros nas

amostragens e das carreiras de filtração. Portanto, a partir de Outubro/2016, passou-se a realizar trabalhos a cada 30 dias em média.

Nessa conjuntura, o total de carreiras completas acompanhadas para o estudo foram 8 por localidade.

Outrossim, considerou-se pertinente fazer uma simulação do comportamento dos sistemas perante ao que se estabelecemos anexos II e III da Portaria nº 2.914/11 do MS, a fim de verificar se os sistemas com filtração lenta atendem ao padrão de turbidez de acordo com o especificado no Art. 30, § 2º.

O Anexo III determina que os valores de turbidez devem atingir metas progressivas, a partir do ano de publicação da nova Portaria, considerando valor máximo permitido (VMP) de 1 uT em 25% das amostras no final do primeiro ano (Percentil 25), 50% das amostras no final do segundo ano (Percentil 50), 75% das amostras no final do terceiro ano (Percentil 75) e 95% das amostras no final do quarto ano (Percentil 95).

Portanto, na Tabela 18 são mostrados os percentis e médias das amostras coletadas por carreira de filtração para a sequência anual de validação dos sistemas em L1, L2 e L3.

Esses valores podem representar um indicativo para melhorias futuras e às metas progressivas para atendimento ao VMP de 1,0 uT em 95% das amostras para filtração lenta.

Tabela 18 - Percentis e médias de turbidez das amostras coletadas por carreira de filtração.

	<b>Turbidez nas Localidades de estudo (uT)</b>		
	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>
<b>Médias ± desvio padrão</b>	0,48± 0,30	0,78± 0,45	1,02 ± 0,60
<b>Percentil 25</b>	0,30	0,42	0,60
<b>Percentil 50</b>	0,40	0,80	0,88
<b>Percentil 75</b>	0,60	1,00	1,14
<b>Percentil 95</b>	1,07	1,54	2,04

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Anteriormente à Portaria atual, a Portaria nº 518/2004 do MS estabelecia o padrão de turbidez com VMP de 2,0 uT em 95% das amostras para filtração lenta.

Essa restrição crescente de VMP na Portaria 2.914/11 está atrelada aos avanços técnico-científico das áreas de interesse, experiências internacionais e a princípios preconizados nos Guias de Qualidade da Água para Consumo Humano da Organização Mundial da Saúde (UMBUZEIRO, 2012).

No entanto, elas tornam o desafio ainda maior, no que concerne ao alcance da universalização de excelência dos serviços de abastecimento e tratamento de água na área rural do Brasil.

Em vista disso, após o início dos processos de melhorias, de investimentos nos sistemas e levantamentos efetivos de dados, considera-se que os períodos de carreiras de filtração válidos à propriedade L1 enquadra-se no Percentil 95, para L2 no Percentil 75 e L3 no Percentil 50, mesmo que a maioria do resultados avaliados não ultrapassaram valores de 2,0 uT de turbidez.

Isso indica a necessidade de adequações operacionais e físicas dos sistemas L2 e L3 para otimização das carreiras de filtração e conformidade com a legislação.

#### 4.2.1.3 Limpeza dos sistemas e Recuperação do FLR

##### 4.2.1.3.1 *Ensaio Preliminar: expansão do material filtrante*

Como mencionado anteriormente, o desenvolvimento do projeto e execução do sistema de retrolavagem teve como referência os ensaios de fluidificação de Emmendoerfer (2006) com características gerais de expansão de 40% e velocidade de aproximação de  $0,34 \text{ m min}^{-1}$ .

Complementarmente a esse ensaio prévio, no período da pesquisa, foi possível realizar estudos análogos ao de Emmendoerfer, (2006), avaliando-se granulometria, de acordo com a NBR 7181/84, e expansão do material filtrante usado nos sistemas.

Os Apêndice 20 e 21 apresentam as curvas granulométricas e as respectivas características das areias média e fina como  $D_{10}$ ;  $D_{60}$  e coeficiente de uniformidade (CU), os quais estão resumidos na Tabela 19.

Tabela 19– Relação do tamanho efetivo do grão  $D_{10}$  e  $D_{60}$  e coeficiente de uniformidade (CU).

	$D_{10}$	$D_{60}$	CU
<b>Areia Média</b>	0,65	1,10	1,69
<b>Areia Fina</b>	0,48	0,85	1,77

Fonte: elaborado pela autora (2017).

A areia fina utilizada como material filtrante foi adquirida com a granulometria recomendada pela norma e literatura (0,15 a 0,35 mm). No entanto, após análise, detectou-se que apresentava variações granulométricas acima do estabelecido, com diâmetro efetivo ( $\phi_{\text{efetivo}}$ ) de 0,48 mm.

Apesar de haver uma redução de 5% na eficiência da remoção de cistos e giárdia, com uso de areia entre 0,128 mm e 0,615 mm de diâmetro efetivo (BELLAMY; HENDRICKS; LOGSDON, 1985), Pizzolatti, (2010) relata que uma maior granulometria resultaria em carreiras de filtração mais longas, devido ao aumento da penetração das impurezas no meio filtrante.

À vista disso, essas características afetaram a velocidade de aproximação para a ocorrência da expansão durante a retrolavagem, necessitando-se aumentar a carga hidráulica disponível dos RRS em cada sistema.

Os ajustes dependeram diretamente da velocidade de fluidificação do meio filtrante a fim de vencer a perda de carga e realizar a retrolavagem sem auxílio de bombas.

Assim, realizou-se o ensaio como mostra o esquema do Apêndice 22, simulando a atuação das mesmas areias nos sistemas. Os dados coletados no ensaio (Apêndice 23) demonstraram um nível máximo de expansão de 34,4 cm e perda de carga com 24,63 cm.

A partir disso, foi possível verificar em que cenário real de expansão o material filtrante se apresentou no FLR, através das médias de vazão ( $0,90 \pm 0,08 \text{ L s}^{-1}$ ), analisada *in loco*, na saída da água de lavagem.

A vazão na saída do efluente de lavagem enquadrou o sistema com velocidade de aproximação de  $1,15 \text{ m min}^{-1}$ .

A Tabela 20 mostra resumidamente esses dados.

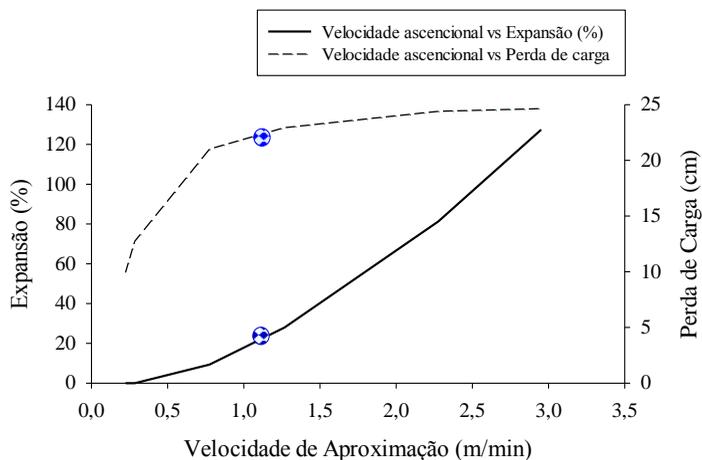
Tabela 20 – Resumo dos dados coletados no ensaio de expansão.

ENSAIO DE EXPANSÃO. COLUNA COM DN=60mm					
Ø Orifício de saída (mm)	Vazão (L h <sup>-1</sup> )	Altura de expansão (m)	Velocidade Ascensional (m min <sup>-1</sup> )	Expansão (%)	Perda de Carga (cm)
2,50	37,96	0,00	0,22	0,00	9,93
3,00	48,28	0,00	0,28	0,00	12,73
5,50	131,52	0,03	0,78	9,33	21,00
6,00	214,94	0,08	1,27	27,93	22,93
6,50	386,12	0,22	2,28	81,26	24,40
8,00	500,85	0,34	2,95	127,41	24,63

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Assim, com o auxílio das curvas da Figura 45, verificou-se uma variação de expansão em torno de 23%, assumindo que o sistema teria uma perda de carga do material filtrante fluidizado, em torno de 22,3 cm.

Figura 45 – Curvas com variação da expansão e perda de carga da areia para diferentes velocidades de aproximação da água, durante o ensaio.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

Para Richter & Netto (1991), expansões acima de 50% não são aconselháveis pois permitem atrito entre os grãos, podendo haver perda de materiais. Na literatura, consideram-se ideais expansões variando entre 25 e 50% para filtração rápida, e expansões promissoras em filtros lentos de 10% (PIZZOLATTI

et al., 2010) e 25% (DE SOUZA, 2012), sendo 40% o mais comum.

#### 4.2.1.3.2 Limpeza total das partes dos sistemas

A partir dos dados preliminares levantados, foi possível realizar o estudo da limpeza dos FLR e, conseqüentemente, do sistema de tratamento como um todo.

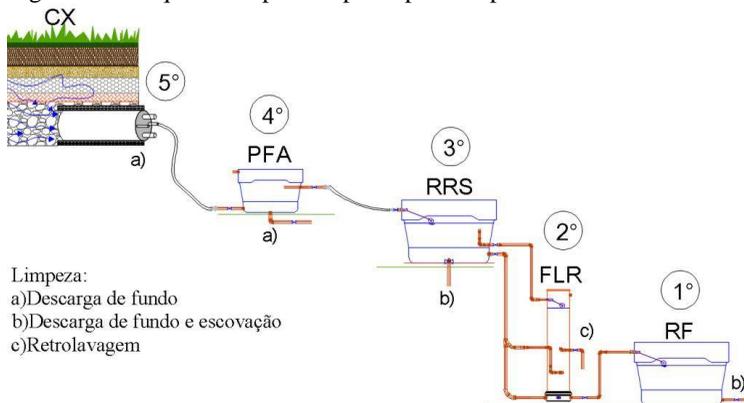
O procedimento de limpeza (Figura 46) foi análogo às três propriedades e gerou um protocolo para todo o sistema, desde o CX até o RF, que foi repassado aos proprietários, considerando a operação após as carreiras de filtração.

Nesse cenário, a limpeza, primeiramente, ocorre no RF (1°) através de métodos simples de escovação e escoamento de água no tanque. Em seguida, no FLR (2°) devido à necessidade de se obter expansão do meio filtrante através volume disponível de água pré-filtrada e à carga hidráulica proporcionada pelo RRS.

Por conseguinte à retrolavagem do FLR, realiza-se liberação do efluente remanecente, através da tubulação no fundo do RRS (3°) e escovação manual do mesmo.

Seguindo-se à montante do RRS, é realizada a limpeza do PFA (4°) e do CX (5°) através de descarga de fundo até que se clarifique a AB, finalizando o processo. O Apêndice 24 mostra detalhadamente alguns processos de limpeza realizados na propriedade L3.

Figura 46 – Esquema do passo a passo para limpeza total do sistema.

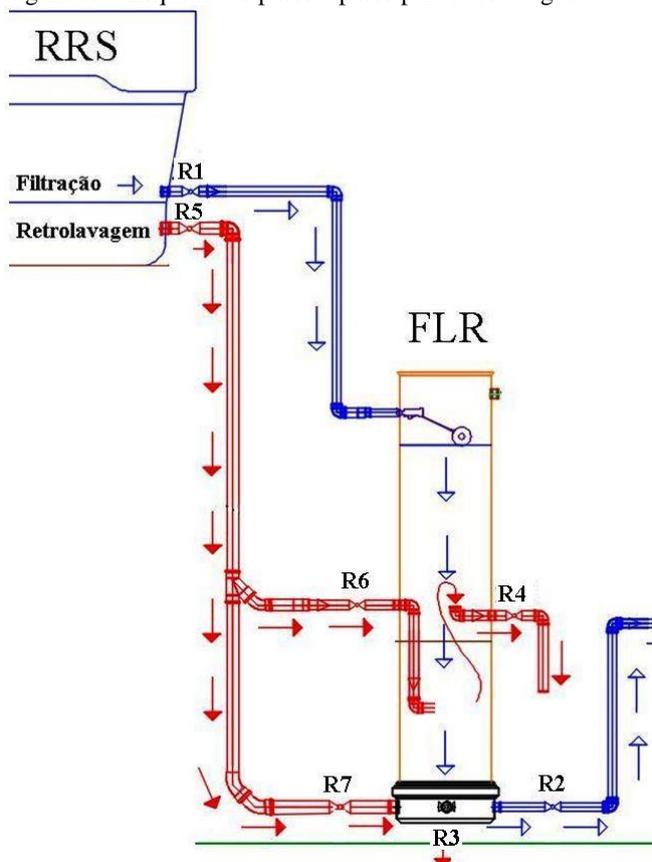


Fonte: elaborado pela autora (2017).

Segundo os estudos realizados por Pizzolatti (2010) e De Souza (2015), o uso de retrolavagem com AB (neste caso, pré-filtrada) garante facilidade na limpeza periódica, além de não promover variação significativa na carreira de filtração, quando comparado à limpeza com AF devido à essas águas serem de boa qualidade.

No que diz respeito ao procedimento de retrolavagem do FLR, seguem os passos relatados, os quais estão esquematizados na Figura 47.

Figura 47 – Esquema do passo a passo para retrolavagem e filtração.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

1) Fechar R1 para obstruir a entrada de água para filtração;

- 2) Fechar R2 de saída de AF;
- 3) Abrir R3 para esvaziamento da água remanecente, a fim de diminuir a carga hidráulica, até que o nível de água ficasse alguns centímetros abaixo da camada de areia fina, porém mantendo o material filtrante fluidificado. Após isso, fechar R3;
- 4) Abrir R4 para a saída de impurezas da água de lavagem;
- 5) Abrir R5 para que o efluente do RRS (desconsiderando lodo no fundo) tenha acesso ao material filtrante para expansão;
- 6) Abrir R6 para ocorrência da expansão da areia e abrir 1/3 de volta de R7 para contribuição na limpeza do fundo e do conjunto manta/carvão;
- 7) Aguardar o tempo estabelecido de limpeza para L1, L2 e L3;
- 8) Fechar R5, R6 e R7;
- 9) Aguardar a evasão do restante da água de lavagem e fechar R4;
- 10) Abrir R3 para o egresso da água remanecente sem deixar esvaziar por completo, fechar novamente R3;
- 11) Abrir R1 até que se complete a carga hidráulica para filtração (chegando ao nível de fechamento da bóia de nível);
- 12) Abrir R2 para o processo de filtração e recuperação do FLR.

Portanto, para se verificar o desempenho da limpeza (passo 7), a retrolavagem foi monitorada por meio do parâmetro turbidez em períodos pré-estabelecidos de 10 minutos ao final de cada carreira estudada.

De acordo com Nix & Taylor (2003), para monitoramento do tempo de retrolavagem de filtros rápidos, é necessário controlar a turbidez para que atinja valores de 10 a 15 uT. Isso torna um valor de referência para estudo em retrolavagem de filtros lentos, como apontado por Pizzolatti (2014).

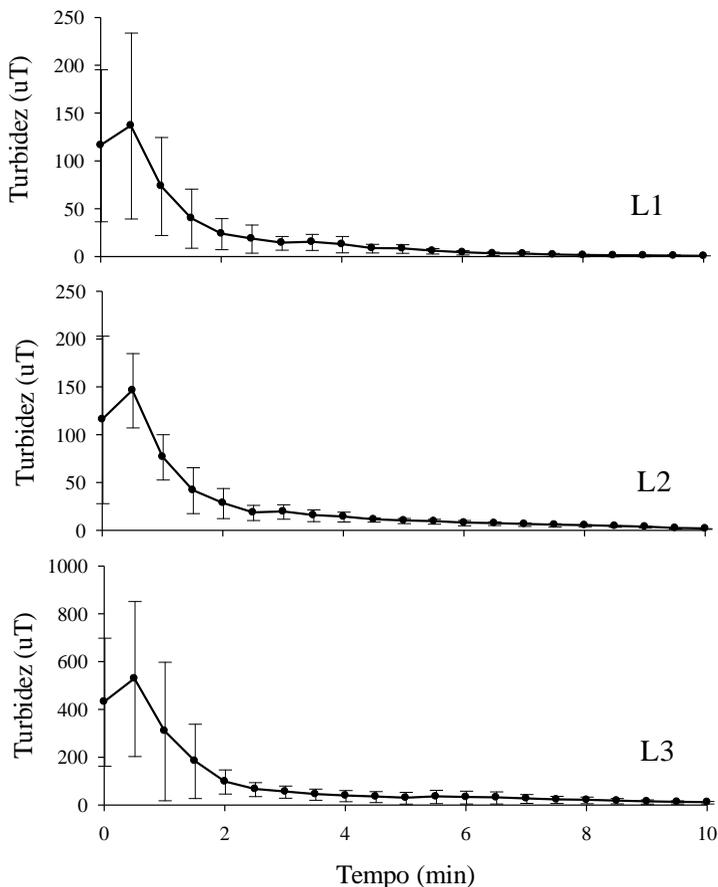
Ao todo, foram oito ensaios de limpeza para as localidades L1 e L3 e cinco para L2.

Para L2, a frequência de limpeza foi menor em razão de percalços e danos materiais no sistema durante o período de três carreiras, fazendo com que o mesmo perdesse as características apropriadas para o estudo. Os reparos foram acontecendo conforme a disponibilidade financeira. Evidências no Apêndice 25.

A Figura 48 apresenta os valores médios e desvio padrão de turbidez durante o processo da retrolavagem, mostrando, ao

final, que há uma limpeza significativa do meio filtrante, corroborando com estudos de Nix & Taylor (2003).

Figura 48 – Turbidez obtida durante a retrolavagem dos FLR, com velocidade média ascensional de  $1,1\text{m min}^{-1}$  em 10 min de retrolavagem (valores médios e desvio padrão de amostragens), em L1 com 8retrolavagens, em L2 com 5 retrolavagens, L3 com 8 retrolavagens.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

Para todas as localidades, os gráficos demonstraram comportamentos similares de retrolavagem, independente da qualidade de água.

Observa-se que os picos de turbidez, na maioria dos casos, deram-se no primeiro minuto de retrolavagem. Para L1 em torno de  $(137,11 \pm 97,22)$ , L2  $(146,60 \pm 38,82)$  e L3  $(529,50 \pm 324,31)$ .

Nesse ínterim, percebeu-se que a velocidade mínima de expansão mostrou-se adequada, pois o fluxo ascendente fluidificou o material filtrante, corroborando com estudos de Hendricks (2010).

Isso pode ser explicado pelo procedimento semelhante de limpeza aplicado e pela equivalente característica de projeto, meio filtrante e carga hidráulica dos FLR, mesmo tratando-se diferentes AB.

No entanto, os valores médios finais de turbidez entre 10 e 15 uT foram em tempos de cerca de 4,5 min  $(8,86 \text{ uT} \pm 4,53)$  para L1; para L2 foi cerca de 5,5 min  $(9,57 \text{ uT} \pm 2,53)$  e L3 em torno de 9 min  $(15,35 \text{ uT} \pm 8,90)$ . O que explica a interferência da característica do afluente para esse procedimento (Figura 48).

Esses dados corroboram com afirmações de Soares et al. (2010) no sentido de que a retrolavagem pode ser uma forma favorável para limpeza de filtros lentos, ao se comparar com a raspagem manual, que é bastante usual.

Outrossim, mesmo que a Lei 11.445/2007 estabeleça que haja prestação universal de serviços de abastecimento de água, mediante existência de estudo comprovando a viabilidade técnica e econômico-financeira no âmbito territorial brasileiro; para os locais de estudo, não há esse tipo de prestação e, conseqüentemente, arrecadação pelo consumo e operação. Dessa maneira, fica sob responsabilidade do proprietário os cuidados do seu próprio abastecimento.

Essa realidade faz com que o proprietário rural não sinta o valor desse bem comum, salvo quando ele apresenta-se escasso, principalmente em períodos de estiagem.

Portanto, para o cenário da limpeza dos sistemas, Pizzolatti (2010) recomenda que seja necessário um armazenamento de AB ou AF para a realização da retrolavagem, necessitando, para o presente estudo, em torno de 490 L de água do RRS para a limpeza ocorrer nos 10 min.

À vista disso, foi possível fazer uma semelhante inferência à estimativa realizada por Schöntag (2015) a fim de delimitar a produção mínima de água, suficiente para realizar a retrolavagem em cada sistema, almejando economia de água em caso de

aplicações dispendiosas de consumo como acontece na área urbana.

Portanto, fazendo uma prospecção da economia de água para retrolavagem, se as propriedades utilizarem do tempo médio estudado para atingir os valores mínimos de turbidez, L1 e L2 deixariam de gastar em torno de 50% do volume total disponível para limpeza.

No caso de L3, seriam economizados somente 10% do volume provindo no RRS. Esse dado acarreta um maior cuidado para com o proprietário rural, em armazenar e regular o desperdício de água nos períodos de seca, principalmente, para se efetivar a qualidade do tratamento.

Verifica-se, portanto, que esses dados são importantes, principalmente para os períodos de estiagem, que ocorrem, geralmente, nos meses de dezembro a fevereiro e de julho a setembro, na região (EPAGRI/CIRAM).

Além do mais, estimou-se, também, uma produção anual de água de lavagem em termos econômicos, baseada na Tarifa social ano 2016 pela Companhia Estadual de Águas e Saneamento (CASAN), considerando o custo da água tratada de R\$7,46/até 10 m<sup>3</sup>.

Portanto, hipoteticamente, para a propriedade L1, onde foram estimadas cerca de 6 carreiras de filtração por ano, o custo de retrolavagem no tempo total de 10 min seria em torno de R\$21,93 reais, porém, realizando-se o tempo de lavagem estudado, o proprietário poderia economizar 55% do valor, gastando no máximo R\$12,06 reais.

Para as propriedades L2 e L3, onde se estima ocorrer cerca de 12 carreiras de filtração, o custo da retrolavagem no maior tempo, ficaria em torno de R\$43,86 reais. No entanto, fazendo-se o uso dos tempos estudados, na L2 evitar-se-ia gastar 45% do valor, economizando R\$19,70 reais. Já, em L3 ter-se-ia pouca economia, podendo poupar 10% do valor (R\$4,40 reais).

#### *4.2.1.3.3 Recuperação: estabilização da qualidade de água após a limpeza do FLR*

O período de recuperação ou estabilização, após a retrolavagem, tornou-se uma questão extremamente relevante, depois da publicação do relatório do Grupo de Peritos de

Badenoch, sobre *Cryptosporidium* em água de abastecimento (BADENOCH, 1990).

O relatório aponta que o processo de estabilização pode ser necessário para formar uma barreira às partículas micrométricas, para redução da passagem de oocistos e outras partículas.

Também relata que a baixa qualidade de água filtrada, após a retrolavagem, é causada por combinações de estágios iniciais, atrelados ao contato da interface do meio filtrante com o efluente de entrada e à presença de água de lavagem remanescente no sistema de filtração (AMIRTHARAJAH; WETSTEIN, 1980; BADENOCH, 1990; COLTON; HILLIS; FITZPATRICK, 1996).

Apesar disso, estudos de Pizzolatti (2014) apontam que a própria presença de sólidos pode ser um fator de diminuição do tempo de estabilização, contribuindo para o tratamento no período de início da carreira e maturação de filtros lentos.

Dentre os vários fatores que influenciam a passagem das partículas no período de recuperação do filtro, após retrolavagem, os principais são relatados por Amirtharajah & Wetstein (1980) como sendo: a qualidade do efluente de entrada, taxa de filtração, controle da taxa de retrolavagem, além de um período de descarte após a retrolavagem.

O controle da taxa de retrolavagem pode ser dado através do manejo da válvula de lavagem, a fim de determinar a velocidade de fluidificação e expansão do meio filtrante (COLTON; HILLIS; FITZPATRICK, 1996).

Em consequência disso, se tal controle não é efetivo, há desperdício e distribuição não uniforme do material, que iria proporcionar um melhor período de recuperação e filtração, posteriormente.

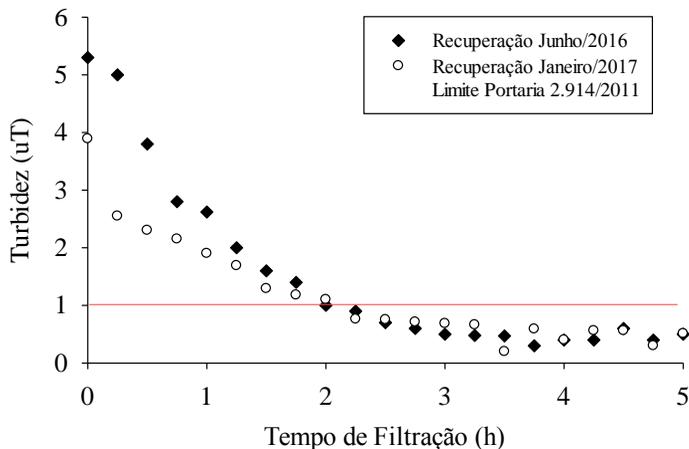
Colton, Hillis e Fitzpatrick (1996) realizaram, em seus experimentos com filtração direta, uma recuperação com controle de taxa característica de filtração lenta (0,08-0,3 m/h), relatando uma redução do particulado final em até 57%, comparado ao processo de recuperação sem redução de taxa.

Nesse íterim, o estudo de Colton, Hillis e Fitzpatrick (1996) possibilitou para o presente trabalho a utilização de uma taxa reduzida de filtração no período de estabilização dos FLR (taxa média de 0,4-0,5 m/h), obtendo dados de turbidez em intervalos de 15 min.

As Figura 49, 50 e 51 apresentam, respectivamente, a recuperação da qualidade da água após efetuar a limpeza da

carreira de filtração em L1 (junho/2016 e janeiro/2017), L2 (junho/2016 e março/2017) e L3 (dezembro/2016 e janeiro/2017).

Figura 49 – Comportamento da turbidez nos períodos de recuperação estudados para o FLR da propriedade L1.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

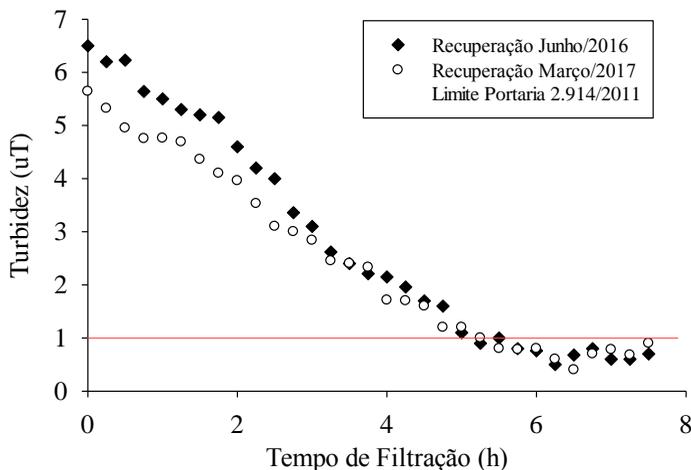
O comportamento da recuperação mostra-se condicente com os resultados de Pizzolatti (2014) e De Souza et al. (2016), pois apresenta um decaimento progressivo da turbidez, durante o tempo.

No período de recuperação estudado para L1 (Figura 49), observou-se que a qualidade de água, medida pela turbidez, passa a se estabilizar a partir de 3 horas ( $0,55 \text{ uT} \pm 0,07$ ), apresentando-se apta para acionamento para abastecimento, a partir de 2 horas, como mostram os valores abaixo de  $1,0 \text{ uT}$  da linha de limite estabelecida pela Portaria 2.914/11 do MS. Os valores médios de AB para a recuperação de junho/2016 foram ( $6,39 \text{ uT} \pm 0,64$ ) e janeiro/2017 foram ( $3,23 \text{ uT} \pm 0,56$ ).

Em se tratando do período de recuperação estudado para L2 (Figura 50), é possível verificar que a turbidez passa a estabilizar-se a partir de 6 horas ( $0,62 \text{ uT} \pm 0,15$ ), apresentando-se apta para abertura para consumo a partir de 5 horas, como mostram os valores abaixo da linha de limite da Portaria 2.914/11

do MS. Os valores médios de AB para a recuperação de junho/2016 foram  $(3,74 \text{ uT} \pm 0,38)$  e março/2017 foram  $(3,61 \text{ uT} \pm 0,44)$ .

Figura 50 – Comportamento da turbidez nos períodos de recuperação estudados para o FLR da propriedade L2.

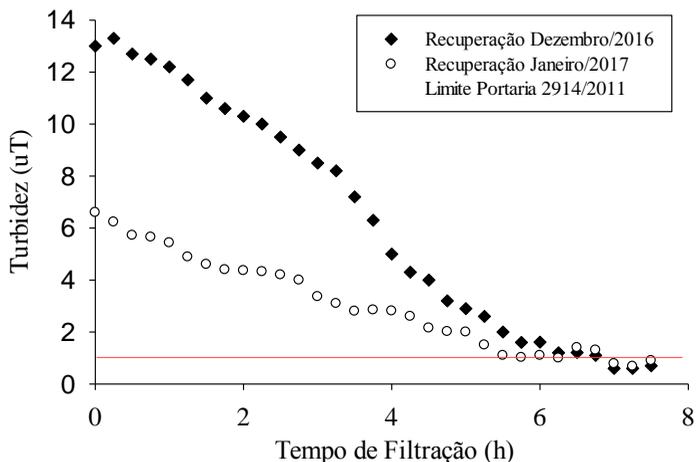


Fonte: elaborado pela autora (2017).

Para os períodos de estudo de L3 (Figura 51), verifica-se que a turbidez passa a estabilizar-se a partir de 7 horas  $(0,91 \text{ uT} \pm 0,11)$ , apresentando-se apta para abertura para consumo a partir de 6,2 horas, como mostram os valores abaixo da linha de limite da Portaria 2.914/11 do MS. Os valores médios de AB para a recuperação de Dezembro/2016 foram  $(5,93 \text{ uT} \pm 1,13)$  e Março/2017 foram  $(7,66 \text{ uT} \pm 0,69)$ .

Esse período de estudo foi importante para diagnosticar o tempo de descarte essencial para demandar água de qualidade, a partir da limpeza dos FLR para o consumo.

Figura 51 – Comportamento da turbidez nos períodos de recuperação estudados para o FLR da propriedade L3.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

#### 4.2.1.4 Monitoramento das vazões do sistema, do consumo e da Taxa de Filtração do FLR

Adicionalmente aos estudos anteriores e de acordo com a disponibilidade financeira, também se realizou um monitoramento da vazão em todas as partes dos sistemas a fim de:

- avaliar-se a disponibilidade hídrica do manancial para se evitar insuficiência para o corpo hídrico (Novo Código Florestal, Lei Federal 12.651/2012), paralelo ao sistema de tratamento;
- avaliar-se o comportamento de cada etapa para disponibilidade hídrica de tratamento e abatecimento;
- avaliar-se a demanda de consumo (aferida nos hidrômetros) atrelada à taxa de filtração fixada no FLR para disponibilidade de água.

Assim, a Tabela 21 apresenta as vazões aferidas volumetricamente em todas as etapas dos sistemas nas três localidades de estudo, assim como a vazão fixada para consumo estimado em cada uma delas.

Tabela 21 – Monitoramento das vazões em  $\text{m}^3.\text{d}^{-1}$  (médias e desvio padrão), disponíveis nas etapas dos sistemas de tratamento e vazão fixada para consumo.

<b>Vazão nas etapas de tratamento(<math>\text{m}^3.\text{d}^{-1}</math>)</b>			
<b>Étapas</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>
<b>CX</b>	(12,98±3,65)	(26,50±6,75)	(18,60±2,55)
<b>PFA</b>	(12,02±6,64)	-	(12,41±2,88)
<b>RRS</b>	(7,50±1,52)	(7,88±1,24)	(7,02±1,75)
<b>FLR (vazão fixada através do Registro final)</b>	(1,11±0,17)	(1,03±0,09)	(1,12±0,15)

Fonte: elaborado pela autora (2017).

A aferição da vazão captada para tratamento pelo CX sempre foi aferida na tubulação ligada diretamente aos sistemas. Ademais, sempre observou-se um extravasamento de água na tubulação de cota acima (extravasor) em direção ao corpo hídrico. Portanto, através dos dados obtidos, percebe-se que os mananciais, onde estão instaladas as captações modelo caxambu, disponibiliza quantia suficiente de água para tratamento.

Devido a isso, pode-se considerar que o CX não impactou negativamente a nascente e nem danificou nenhum dos recursos hídricos à jusante.

O PFA trabalhou nas propriedades L1 e L3 com taxas de filtração de  $(12,02\pm 6,64) \text{m}^3.\text{m}^2.\text{d}^{-1}$  e  $(12,41\pm 2,88) \text{m}^3.\text{m}^2.\text{d}^{-1}$ , respectivamente, corroborando com as recomendações de taxa de aplicação entre 12 a  $24 \text{m}^3.\text{m}^2.\text{d}^{-1}$  para pré-filtros com escoamento vertical ascendente (DI BERNARDO; DANTAS, 2005b).

As vazões de saída dos RRS foram praticamente as mesmas, devido às semelhantes características de projeto e desempenho para demandar água ao FLR.

Além desse monitoramento, também realizaram-se leituras de volume de consumo nos hidrômetros instalados em cada período de retorno para amostragem e trabalho em campo.

Esse controle foi importante, para o presente estudo, no sentido de comparar, através de uma média diária de consumo, se a demanda de água para abastecimento estava coerente com o que foi estabelecido em projeto.

Ou seja, como o FLR foi projetado para trabalhar com uma taxa de filtração em torno de  $20,0 \text{m}^3.\text{m}^2.\text{d}^{-1}$ , através do controle

de um registro esfera; muitas vezes a demanda de água para distribuição não era suficiente em alguns horários do dia de consumo e/ou quando a taxa do FLR declinava no final da carreira.

Assim, por relato dos proprietários, algumas vezes foi necessário abrir o registro de saída de AF, aumentando a taxa de filtração e, conseqüentemente, afetando na efetividade do tratamento no decorrer das carreiras.

No entanto, como não houve uma apuração diária controlada na medição dos hidrômetros e do FLR, nas três localidades, não é possível para o presente estudo, afirmar em quais momentos foram abertos os registros durante essas carreiras.

Para melhor demonstrar esses dados levantados, as figuras 52, 53 e 54 apresentam os valores das taxas fixadas após a recuperação dos FLR, consoante aos estudos de Graham e Mbvette (1987), Graham; Mbvette & Steitieh (1990) e Paterniani (1991), com médias em L1 de  $(20,35 \pm 0,61) \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ , L2  $(18,71 \pm 2,07) \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  e L3  $(19,89 \pm 1,21) \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ , através do controle do registro esfera, à montante do RF; assim como, as taxas médias lidas nos hidrômetros, para cada intervalo de medição (coincidentes às carreiras de filtração).

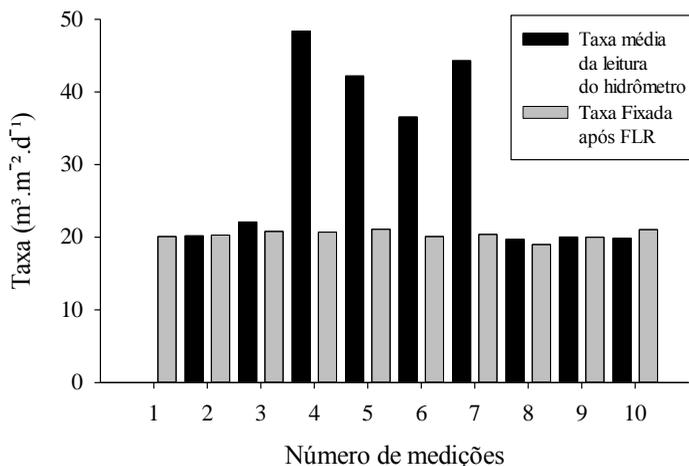
A Figura 52, referente à L1, mostra que em quatro medições do volume de consumo médio, pelo hidrômetro, o FLR teria trabalhado com taxas médias de  $(42,80 \pm 6,22) \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ . Esse comportamento está acima do estabelecido em projeto e do que seria o estabelecido na literatura para filtração lenta, como apontado por Visscher (1990).

Ao entrar em contato com o proprietário, o mesmo relatou a necessidade em abrir o registro de controle devido à falta de água para suas atividades. As que se dão na queijariavariaram, nesses períodos. Isso levou à necessidade de se obter mais água.

Também foi permitido que se permanecesse por três dias fazendo leituras de volume de consumo na propriedade. O que se constatou foi que, nos horários entre 6 e 7 horas da manhã e 12 e 14 horas da tarde, o consumo passava de 300L, totalizando um gasto diário médio de 1650,0L.

Para mitigar tal problema, principalmente, no intuito de não sobrecarregar o FLR e efetivar o tratamento, necessitou-se aumentar a reservação para 2.000L de AF à montante da agroindústria e da residência.

Figura 52 – Medições das taxas de filtração média, aferidas pelas leituras nos hidrômetros, após RF, a cada visita em campo e taxas fixadas, através dos registros esfera, após FLR, para L1.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

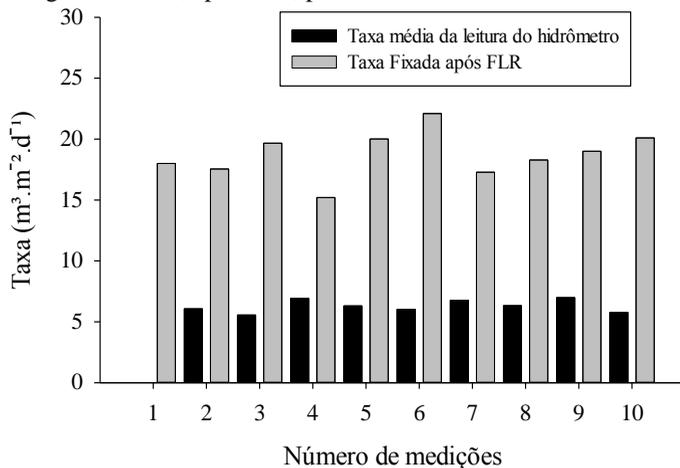
Em L2, o gráfico da Figura 53 mostra que a medição no hidrômetro representou uma taxa média  $(6,30 \pm 0,50) \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  apropriada ao que Huisman e Wood (1974) estabelece, podendo ser atribuído à reservação de 3000L já existente ou pelo baixo consumo na residência.

No entanto, em L3 (Figura 54), os valores em quatro medições realizadas, mostraram um comportamento anômalo de alto consumo, representados pelas taxas de filtração, chegando a valores médios de  $(60,26 \pm 12,37) \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ .

Segundo relatos dos Associados, tal período coincidiu com falta de água para consumo na casa do mel e na Associação, devido a um desvio clandestino de água para dessedentação de animais em uma propriedade cercana.

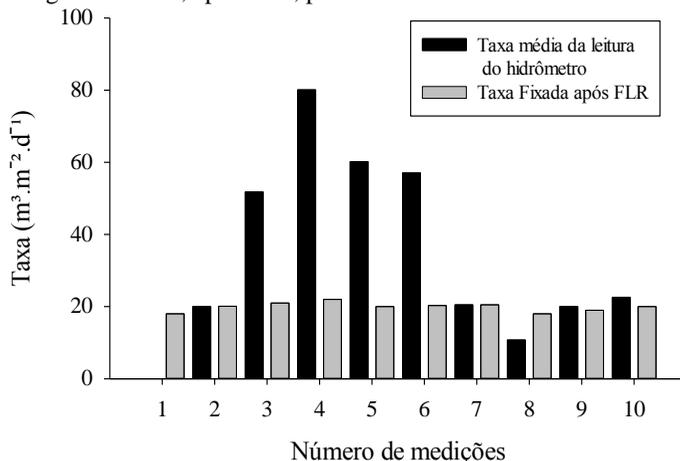
Foram necessárias várias reuniões de conscientização e educação ambiental, assim como, aumentar a capacidade de RF para 2.000L a fim de mitigar tal problema e evitar sobrecarga do FLR. No entanto, observou-se que houve significativas alterações na qualidade de água abastecida para esse período.

Figura 53 – Medições das taxas de filtração média, aferidas pelas leituras nos hidrômetros, a cada visita em campo e taxas fixadas, através dos registros esfera, após FLR, para L2.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

Figura 54 – Medições das taxas de filtração média, aferidas pelas leituras nos hidrômetros, a cada visita em campo e taxas fixadas, através dos registros esfera, após FLR, para L3.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

Esse evento corrobora com o ponto de vista de Vianna (1997) e Locks (1998) sobre a desinformação de algumas comunidades mais tradicionais, como as rurais do país.

Demonstra-se aqui um dos desafios reais que os profissionais do saneamento ambiental podem se deparar, quando se propõem a trabalhar em locais de diferentes culturas e educação; mas que ao mesmo tempo, torna instigante a dedicação em prol da melhoria da qualidade de vida e universalização do saneamento nessas áreas.

#### 4.2.2 MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA DOS SISTEMAS

##### 4.2.2.1 Estudo de eficiência dos sistemas através de Parâmetros de Qualidade da Água

Por definição, a Portaria vigente nº 2.914/2011 do MS adota os termos em seu Art. 5º como: (...): “V - água tratada: água submetida a processos físicos, químicos ou combinação destes, visando atender ao padrão de potabilidade” e “III - padrão de potabilidade: conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano, conforme definido nesta Portaria”.

Seguindo esses conceitos, este item apresenta-se no intuito de verificar-se o potencial de tratabilidade dos sistemas a fim de propiciar água adequada ao consumo nas propriedades.

À vista disso, realizaram-se análises de alguns parâmetros de qualidade de água, determinados na Portaria 2.914/2011, utilizando como pressupostos, os parâmetros do Anexo XV para controle de qualidade de água com soluções alternativas, assim como, outros que se julgaram importantes para verificar o desempenho dos sistemas.

O monitoramento dos parâmetros aconteceu com a realização de medições *in loco* e em Laboratório, após cada amostragem realizada.

As amostragens sucederam-se de acordo com o estudo das carreiras de filtração, ou seja, ao final delas, salvo quando também se dispunha da participação dos proprietários rurais, como foi o caso das coletas de amostras para leituras de turbidez das carreiras de filtração, discutidas anteriormente.

Tal monitoramento estabeleceu-se dessa forma devido à dificuldade de logística tendo em vista as localidades serem remotas e, ainda, ao limitado recurso financeiro disponível.

Como já relatado, realizaram-se análises dos parâmetros: temperatura, condutividade, cor aparente, turbidez, pH, OD e STD em todas as etapas de tratamento. Os outros parâmetros foram avaliados sob a perspectiva do comportamento da AB e AF.

Em virtude do período de pesquisa ter sido reduzido (cerca de 1 ano) e as 8 carreiras de filtração serem consideradas longas nas três propriedades, obteve-se um número de dados relativamente baixos ( $n=8$ ) para que se pudesse fazer inferências estatísticas ou testes de hipótese relevantes sobre cada parâmetro.

Devido a isso, optou-se por realizar uma análise descritiva do comportamento médio dos parâmetros em cada etapa, assim como, avaliar o potencial de remoção entre os dados de AB e AF e se os mesmos mostraram-se consoantes à Portaria vigente.

Das Tabelas 22 a 24 são apresentados os resultados com as médias, desvio padrão, valores máximos e mínimos e percentual de remoção dos parâmetros estudados durante o período de pesquisa em L1, L2 e L3, respectivamente.

Tabela 22 – Resultado das médias, desvio padrão, máximos, mínimos e eficiência de remoção de parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados no sistema L1, tomando como referência os valores permitidos pela Portaria 2.914/11 do MS.

Parâmetro	AB (CX)	APF (PFA)	AD (RRS)	AF (FLR)	Remoção Média (%)	Limites Portaria 2.914/11 MS
<b>Turbidez (uT)</b>	5,23 <sup>a</sup> ± 2,21 <sup>b</sup> (1,70 - 9,90) <sup>c</sup>	2,98 ± 1,56 (1,14 - 5,84)	2,66 ± 1,50 (0,63 - 5,00)	0,56 ± 0,09 (0,0 - 1,70)	89,3	5 (rede); 1,0 (após filtração lenta)
<b>Cor aparente (uH)</b>	5,30 ± 2,21 (3,00 - 10,10)	3,57 ± 2,59 (0,40 - 8,80)	2,39 ± 1,48 (0,20 - 5,00)	1,31 ± 0,88 (0,2 - 3,0)	75,2	15 (após desinfecção)
<b>pH</b>	6,52 ± 0,70 (5,12 - 7,10)	6,48 ± 0,61 (5,40 - 7,20)	6,69 ± 0,42 (6,00 - 7,10)	6,68 ± 0,46 (5,91 - 7,22)	-	6,0 a 9,0
<b>Oxigênio Dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	6,66 ± 1,71 (4,10 - 9,37)	6,84 ± 1,69 (3,89 - 8,96)	7,46 ± 2,27 (4,10 - 11,03)	7,04 ± 2,36 (4,12 - 10,20)	-	-
<b>Condutividade (µS.cm<sup>-1</sup>)</b>	66,77 ± 5,05 (56,0 - 72,9)	67,97 ± 7,90 (58,0 - 71,4)	67,67 ± 2,50 (63,0 - 71,4)	64,82 ± 4,51 (64,0 - 77,7)	-	-
<b>Temperatura (°C)</b>	17,41 ± 2,62 (13,0 - 20,8)	18,06 ± 3,12 (13,0 - 21,6)	17,65 ± 2,93 (13,3 - 21,0)	17,56 ± 2,96 (13,0 - 20,0)	-	-
<b>Sólidos Dissolvidos (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	35,72 ± 4,91 (28,0 - 44,5)	33,56 ± 4,61 (29,0 - 44,0)	34,12 ± 6,45 (24,0 - 41,2)	27,72 ± 7,41 (19,0 - 44,1)	22,4	1000
<b>Sólidos Suspensos (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	25,79 ± 17,53 (4,0 - 64,8)	-	-	12,75 ± 13,53 (2,0 - 25,0)	50,56	-
<b>Sólidos Totais (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	60,05 ± 22,93 (28,0 - 106,0)	-	-	39,40 ± 25,74 (21,0 - 78,0)	34,4	-
<b>Cor verdadeira (uH)</b>	1,13 ± 0,94 (3,0 - 0,2)	-	-	0,47 ± 0,3 (1,1 - 0,1)	58,4	-

(<sup>a</sup>) médias (<sup>b</sup>) Desvio padrão. (<sup>c</sup>) Mínimos e máximos.

Tabela 22 – Resultado das médias, desvio padrão, máximos, mínimos e eficiência de remoção de parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados no sistema L1, tomando como referência os valores permitidos pela Portaria 2.914/11 do MS. (Continuação)

Parâmetro	AB (CX)	APF (PFA)	AD (RRS)	AF (FLR)	Remoção Média (%)	Limites Portaria 2.914/11 MS
<b>Coliformes Totais (ausência/presença)</b>	Presença	-	-	Presença	-	Ausência em 100mL
<b>Coliformes fecais (NMP/100mL)</b>	134,13 <sup>a</sup> ± 33,77 <sup>b</sup> (99,0 - 183,0) <sup>c</sup>	-	-	82,29 ± 54,22 (50,0 - 202,0)	38,7	Ausência em 100mL
<b>DBO<sub>5</sub> (mL.L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub>)</b>	2,00 ± 1,41 (0,0 - 4,0)	-	-	1,88 ± 1,36 (0,0 - 4,0)	6	-
<b>Ferro Dissolvido (mg L<sup>-1</sup>)</b>	0,06 ± 0,03 (0,03 - 0,12)	-	-	0,05 ± 0,02 (0,02 - 0,08)	17	0,3
<b>Fosforo total (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	0,50 ± 0,67 (0,0 - 1,6)	-	-	0,41 ± 0,47 (0,05 - 1,18)	18	-
<b>Nitrato (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	6,21 ± 3,34 (1,0 - 11,0)	-	-	7,01 ± 3,30 (1,0 - 11,3)	-	10
<b>Nitrito (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	0,04 ± 0,03 (0,01 - 0,10)	-	-	0,05 ± 0,04 (0,01 - 0,10)	-	1
<b>Amônia (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	0,65 ± 0,84 (0,17 - 2,68)	-	-	0,68 ± 0,31 (0,2 - 4,1)	-	1,5

(<sup>a</sup>) médias (<sup>b</sup>) Desvio padrão. (<sup>c</sup>) Mínimos e máximos.

Tabela 23 – Resultado das médias, desvio padrão, máximos, mínimos e eficiência de remoção de parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados no sistema L2, tomando como referência os valores permitidos pela Portaria 2.914/11 do MS.

Parâmetro	AB (CX)	AD (RRS)	AF (FLR)	Remoção Média (%)	Limites - Portaria 2.914/11 MS
<b>Turbidez (uT)</b>	8,98 <sup>a</sup> ± 4,62 <sup>b</sup> (3,37 - 20,10) <sup>c</sup>	3,78 ± 1,70 (1,00 - 5,90)	0,61 ± 0,22 (0,0 - 1,9)	93,2	5 (rede); 1,0 (após filtração lenta)
<b>Cor aparente (uH)</b>	10,48 ± 5,41 (5,00 - 20,00)	9,83 ± 5,57 (3,9 - 20,0)	6,63 ± 5,16 (2,7 - 18,0)	36,7	15 (após desinfecção)
<b>pH</b>	6,82 ± 0,39 (5,9 - 7,18)	6,86 ± 0,33 (6,47 - 7,48)	6,89 ± 0,20 (6,75 - 7,32)	-	6,0 a 9,0
<b>Oxigênio Dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	6,74 ± 1,70 (4,30 - 9,04)	7,11 ± 1,68 (4,10 - 9,30)	6,49 ± 1,72 (4,3 - 9,36)	-	-
<b>Condutividade (µS.cm<sup>-1</sup>)</b>	35,39 ± 4,54 (30,0 - 41,9)	37,73 ± 3,50 (32,0 - 44,0)	32,72 ± 4,71 (34,0 - 47,2)	-	-
<b>Temperatura (°C)</b>	19,16 ± 4,54 (12,0 - 25,0)	17,49 ± 3,40 (12,0 - 22,0)	17,52 ± 3,41 (13,0 - 23,0)	-	-
<b>Sólidos Dissolvidos (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	14,02 ± 3,91 (9,0 - 20,0)	16,78 ± 3,11 (13,0 - 22,2)	14,11 ± 5,54 (9,0 - 23,9)	-	1000
<b>Sólidos Suspensos (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	27,05 ± 20,49 (4,2 - 61,0)	-	10,08 ± 9,97 (0,7 - 20,0)	63,1	-
<b>Sólidos Totais (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	43,83 ± 20,69 (20,0 - 76,0)	-	24,20 ± 13,11 (10,7 - 52,0)	44,7	-
<b>Cor verdadeira (uH)</b>	3,18 ± 2,72 (0,9 - 9,0)	-	2,79 ± 2,02 (0,6 - 5,0)	12,3	-

(<sup>a</sup>) médias (<sup>b</sup>) Desvio padrão. (<sup>c</sup>) Mínimos e máximos.

Tabela 23 – Resultado das médias, desvio padrão, máximos, mínimos e eficiência de remoção de parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados no sistema L2, tomando como referência os valores permitidos pela Portaria 2.914/11 do MS. (continuação)

<b>Parâmetro</b>	<b>AB (CX)</b>	<b>AD (RRS)</b>	<b>AF (FLR)</b>	<b>Remoção Média (%)</b>	<b>Limites - Portaria 2.914/11 MS</b>
<b>Coliformes Totais (ausência/presença)</b>	Presença	-	Presença	-	Ausência em 100mL
<b>Coliformes fecais (NMP/100mL)</b>	386,88 <sup>a</sup> ± 269,45 <sup>b</sup> (28 - 800) <sup>c</sup>	-	225,88 ± 220,27 (44 - 1000)	41,6	Ausência em 100mL
<b>DBO<sub>5</sub> (mL.L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub>)</b>	2,31 ± 1,33 (0,0 - 4,0)	-	1,18 ± 1,13 (0,0 - 3,0)	49	-
<b>Ferro Dissolvido (mg L<sup>-1</sup>)</b>	0,06 ± 0,02 (0,03 - 0,09)	-	0,06 ± 0,03 (0,03 - 0,13)	-	0,3
<b>Fosforo total (mg.L<sup>-1</sup> como P)</b>	0,34 ± 0,47 (0,04 - 1,26)	-	0,60 ± 0,55 (0,02 - 1,4)	-	-
<b>Nitrato (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	5,40 ± 3,98 (1,0 - 12,1)	-	4,98 ± 3,38 (1,0 - 10,4)	-	10
<b>Nitrito (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	0,08 ± 0,07 (0,01 - 0,22)	-	0,07 ± 0,04 (0,01 - 0,23)	-	1
<b>Amônia (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	0,71 ± 0,89 (0,0 - 2,7)	-	0,83 ± 0,97 (0,2 - 3,0)	-	1,5

(<sup>a</sup>) médias (<sup>b</sup>) Desvio padrão. (<sup>c</sup>) Mínimos e máximos.

Tabela 24 – Resultado das médias, desvio padrão, máximos, mínimos e eficiência de remoção de parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados no sistema L3, tomando como referência os valores permitidos pela Portaria 2.914/11 do MS.

Parâmetro	AB (CX)	APF (PFA)	AD (RRS)	AF (FLR)	Remoção Média (%)	Limites - Portaria 2.914/11 MS
<b>Turbidez (uT)</b>	10,54 <sup>a</sup> ±3,40 <sup>b</sup> (6,0 - 17,0) <sup>c</sup>	9,91±3,37 (5,6 - 16,8)	8,68 ± 7,47 (1,0 - 28,6)	1,28 ± 0,59 (0,5 - 2,6)	89,3	5 (rede); 1,0 (após filtração lenta)
<b>Cor aparente (uH)</b>	23,93 ± 11,60 (13,8 - 43,0)	18,73 ± 6,78 (12,0 - 30,0)	14,04 ± 7,58 (4,1 - 27,0)	11,4±7,22 (1,3 -21,7)	52,3	15 (após desinfecção)
<b>pH</b>	6,42 ± 0,44 (5,72 - 6,95)	6,49 ± 0,52 (5,55 - 7,00)	6,73 ± 0,74 (5,40 - 7,95)	6,94 ± 0,35 (6,49 - 7,60)	-	6,0 a 9,0
<b>Oxigênio Dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	6,88 ± 0,91 (4,6 - 7,6)	6,51 ± 2,11 (3,9 - 10,6)	6,06 ± 1,22 (4,7 - 8,2)	6,56 ± 1,63 (4,1 - 8,5)	-	-
<b>Condutividade (µS.cm<sup>-1</sup>)</b>	51,00 ± 28,12 (34,0 - 118,0)	44,55 ± 14,81 (34,0 - 80,0)	45,5 ± 14,09 (38,0 - 80,0)	50,72 ± 10,61 (40,0 - 70,0)	-	-
<b>Temperatura (°C)</b>	18,57 ± 3,26 (14,0 - 23,0)	18,83 ± 3,42 (14,0 - 24,0)	19,76 ± 3,30 (15,0 - 25,0)	19,36 ± 3,48 (15,2 - 25,0)	-	-
<b>Sólidos Dissolvidos (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	29,53 ± 19,69 (16,0 - 68,0)	28,25 ± 12,05 (18,0 - 47,2)	25,70 ± 7,46 (19,0 - 40,1)	25,01 ± 8,77 (12,0 - 42,0)	-	1000
<b>Sólidos Suspensos (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	21,85 ± 8,31 (3,0 - 25)	-	-	8,35 ± 12,47 (3,0 - 17,0)	61,7	-
<b>Sólidos Totais (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	46,7 ± 11,85 (26,0 - 65,1)	-	-	33,14 ± 15,41 (24,0 - 45,0)	30,0	-
<b>Cor verdadeira (uH)</b>	9,21 ± 8,62 (20,6 - 0,1)	-	-	8,30 ± 3,74 (1,3 - 20,7)	11,9	-

(<sup>a</sup>) médias (<sup>b</sup>) Desvio padrão. (<sup>c</sup>) Mínimos e máximos.

Tabela 24 – Resultado das médias, desvio padrão, máximos, mínimos e eficiência de remoção de parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados no sistema L3, tomando como referência os valores permitidos pela Portaria 2.914/11 do MS. (continuação)

Parâmetro	AB (CX)	APF (PFA)	AD (RRS)	AF (FLR)	Remoção Média (%)	Limites - Portaria 2.914/11 MS
<b>Coliformes Totais (ausência/presença)</b>	Presença	-	-	Presença	☺	Ausência em 100mL
<b>Coliformes fecais (NMP/100mL)</b>	116,5 <sup>a</sup> ± 122,0 <sup>b</sup> (6 - 284) <sup>c</sup>	-	-	191,75 ± 74,61 (15 - 696)	☺	Ausência em 100mL
<b>DBO<sub>5</sub> (mL.L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub>)</b>	2,37 ± 1,68 (0,0 - 4,0)	-	-	2,12 ± 1,50 (0,0 - 5,0)	-	-
<b>Ferro Dissolvido (mg L<sup>-1</sup>)</b>	0,13 ± 0,18 (0,03 - 0,6)	-	-	0,17 ± 0,03 (0,02 - 0,65)	-	0,3
<b>Fosforo total (mg.L<sup>-1</sup> como P)</b>	0,49 ± 0,40 (0,05 - 1,6)	-	-	0,58 ± 0,44 (0,05 - 1,72)	-	-
<b>Nitrato (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	5,23 ± 3,62 (0,05 - 1,6)	-	-	4,41 ± 3,15 (1,0 - 9,6)	-	10
<b>Nitrito (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	0,04 ± 0,02 (0,01 - 0,1)	-	-	0,05 ± 0,01 (0,01 - 0,10)	-	1
<b>Amônia (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	0,84 ± 0,18 (0,0 - 2,5)	-	-	0,84 ± 0,35 (0,0 - 4,1)	-	1,5

(<sup>a</sup>) médias (<sup>b</sup>) Desvio padrão. (<sup>c</sup>) Mínimos e máximos.

☺ Com a desinfecção a partir de novembro/16, os coliformes fecais e totais apresentaram-se como ausentes em 100mL das amostras.

Assim, fazendo-se uma análise dos dados apresentados nas Tabela 22, 23 e 24, seguem as seguintes discussões:

Diante dos cenários reais de proteção e recuperação das APPs em torno das nascentes, consoante ao que estabelece o Novo Código Florestal, pressupôs-se como suprimidos os adventos de biocidas, fertilizantes, despejos industriais e/ou domésticos à montante das fontes de água.

Mesmo assim, optou-se por realizar análises de séries nitrogenadas, DBO e fósforo total no intuito de verificar alguma anomalia nos resultados, principalmente caracterizadas por algum tipo de contaminação nos locais.

Em um estudo de caso, Castro; Oliveria & Di Souza (2009) mostraram que a biodisponibilidade de  $\text{NO}^{-3}$ ,  $\text{NO}^{-2}$  e  $\text{NH}_3$  no manancial, relacionado com pH, OD e temperatura, indicam e estão associados à vulnerabilidade de atividades antrópicas.

Além do mais, Libânio (2008) relata que, em geral, as águas naturais apresentam DBO inferior a  $5 \text{ mg.L}^{-1}$ , para destinação ao abastecimento, corroborando com os dados de L1 ( $1,88 \pm 1,36$ )  $\text{mg L}^{-1}$ , L2 ( $1,18 \pm 1,13$ )  $\text{mg L}^{-1}$  e L3 ( $2,12 \pm 1,50$ )  $\text{mg L}^{-1}$ .

Em relação ao fósforo total, o mesmo autor relata a importância de os dados estarem abaixo de  $0,02 \text{ mg L}^{-1}$ , para serem caracterizadas como águas não poluídas. No presente caso, a AB das propriedades apresentaram fósforo total com valores de L1 ( $0,50 \pm 0,67$ ), L2 ( $0,34 \pm 0,47$ ) e L3 ( $0,49 \pm 0,40$ )  $\text{mg.L}^{-1}$ , havendo pouca remoção pela filtração lenta.

Libânio (2008) aponta que uma provável causa dessa maior concentração de fósforo possa ter sido originada da (...) “dissolução de compostos do solo e decomposição da matéria orgânica”, extremamente abundante nas APPs dos locais.

Os resultados, em todas as propriedades, apresentaram-se dentro dos padrões exigidos pelo CONAMA 357/2005 e pela Portaria 2.914/2011 do MS, por isso entende-se não haver foco de contaminação na fonte de captação, tampouco para abastecimento.

Os resultados médios de pH, em todos os sistemas, caracterizaram a água em condição ácida a neutras de solução, apresentando-se com valores entre 6 e 7. Para os sistemas de abastecimento público, a Portaria estabelece pH em torno de 6,0 a 9,0. Portanto, as águas apresentaram-se adequadas aos padrões estabelecidos.

Em geral, as águas com baixo pH têm característica de serem corrosivas a certos metais (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991), no entanto, como os sistemas são compostos por PVC e tubulação de polietileno, poderia ser descartada a hipótese de ocorrência de tal evento.

A temperatura média da água nas três localidades variou entre 17 a 19°C. Por serem propriedades situadas em uma região de clima frio, esperavam-se tais valores de temperatura. Essas podem influenciar no tempo de contato do cloro, durante a desinfecção (Anexo IV e V da Portaria 2.914/11).

Em relação aos metais presentes na água, os dados de ferro dissolvido (como  $\text{Fe}^{+2}$ ) mostraram-se abaixo de  $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$  em todas as localidades. Mesmo comumente encontrado em águas subterrâneas (RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991), as AB das localidades conferiram baixos valores. Isso é um bom indicativo para não haver susceptibilidade na mudança de cor, no caso de eventual oxidação (PIZZOLATTI et al., 2010).

O OD teve pouca variação nas médias de cada etapa dos sistemas, apresentando-se com valores entre 6,0 e  $7,0 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $\text{O}_2$ . A concentração de OD é diretamente ligada à pressão atmosférica, tendo a apresentar valores mais baixos em regiões montanhosas, comparadas às do nível do mar, onde a saturação gira em torno de  $9,2 \text{ mg.L}^{-1}$  (LIBÂNIO, 2008). Devido a isso, as condições de aerobiose em L1, L2 e L3 podem ser apropriadas ao abastecimento.

Em relação à condutividade, não houve uma diferença significativa da AB para a AF nos três sistemas. Isso também pode ser visualizado nos resultados de sólidos dissolvidos. No entanto, L1 mostrou uma remoção de 22,4% de sólidos dissolvidos, podendo ser atrelado ao desempenho do sistema de tratamento implantado.

Nota-se que os dados de sólidos dissolvidos estiveram abaixo do permitido pela Portaria em 100% das análises das três propriedades.

Os dados de cor verdadeira mostraram-se de acordo com estudos de Ferreira & Teixeira (1996), apresentando remoções consideráveis de 58,4% em L1, 12,3% em L2 e 11,9% em L3. Esses dados vão de frente ao que foi discutido por De Souza (2015) em relação a remoções de compostos dissolvidos pela filtração lenta.

No entanto, esses dados também podem ser atrelados à presença do carvão presente nos FLR.

No indicativo de qualidade microbiológica, percebeu-se que os FLR de L1 e L2 obtiveram remoção de 38,7 e 41,6%, respectivamente de coliformes termotolerantes. No entanto, L3 não obteve remoção. Já os dados de coliformes totais foram qualitativos, diagnosticados como presentes em todas as análises.

De acordo com Brito et al. (2005), a eficiência da remoção está evidenciada pelo amadurecimento do filtro lento e deveria ser mais eficiente, podendo chegar a 99% (COLLINS et al., 1991).

Tais dados permitem inferir que os filtros não estão apresentando um amadurecimento efetivo, apropriado para a remoção microbiológica, sendo de total importância a desinfecção após tratamento.

Nesse ínterim, os sistemas para cloração somente foram implementados quando houve permissão e aceitação dos proprietários, assim como, recurso disponível para execução da instalação.

Citando-se Vianna (1997) sobre a discussão da evolução dos padrões de potabilidade com enfoque nos desafios culturais e educacionais em diferentes regiões do país, tem-se que:

“Os que já tiveram oportunidade de lidar com obras sociais ou de apoio assistencial a comunidades do interior do país conhecem bem essa situação. As fossas existentes são utilizadas (quando utilizadas) com objetivo principal de se *esconder*, não para evitar a transmissão de doenças, e constitui crença mais ou menos generalizada que a origem de vermes está no *sangue*. Microorganismos constituem para eles coisas abstratas, da mesma forma que para toda a população mundial, até há alguns séculos atrás, uma vez que fogem a sua percepção sensorial” (VIANNA, 1997; p.50).

Seguindo essa realidade existente na região de estudo, em L1, somente no final do projeto o clorador foi instalado, promovendo falta de resultados quanto à efetividade da

desinfecção para esta pesquisa. Em conversa com o proprietário, ficará sob responsabilidade do mesmo e do Serviço de Inspeção Municipal a realização do controle microbiológico.

Não obstante, em L3 realizou-se a cloração com sucesso a partir de novembro/2016, havendo monitoramentos, *in loco*, de cloro livre girando em torno de  $(1,0 \pm 0,5) \text{ mg L}^{-1}$ . Esses dados estão de acordo com a Portaria vigente, a qual estabelece valor máximo de  $2 \text{ mg L}^{-1}$  e mínimo de  $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ .

Em algumas das amostras cloradas de L3, realizaram-se análises de coliformes total e termotolerantes obtendo-se ausência em 100mL e 0 NMP/100 mL, respectivamente, em todas elas, afetando-se a desinfecção para a Associação de Apicultores e Casa do Mel.

Com referência aos sólidos suspensos, os mesmos apresentaram considerável remoção de 50,5% em L1; 63,1% em L2 e 61,7% em L3, corroborando com os valores de remoção da turbidez por serem parâmetros correlacionados (LIBÂNIO, 2008).

Os dados de turbidez e cor aparente manifestaram relevante remoção durante as etapas dos sistemas. Devido a isso, foram apresentados na forma de *boxplot* para se obter uma melhor visualização do comportamento estatístico nas etapas do tratamento.

#### 4.2.2.1.1 *Comportamento da turbidez e cor aparente nas etapas dos sistemas de tratamento*

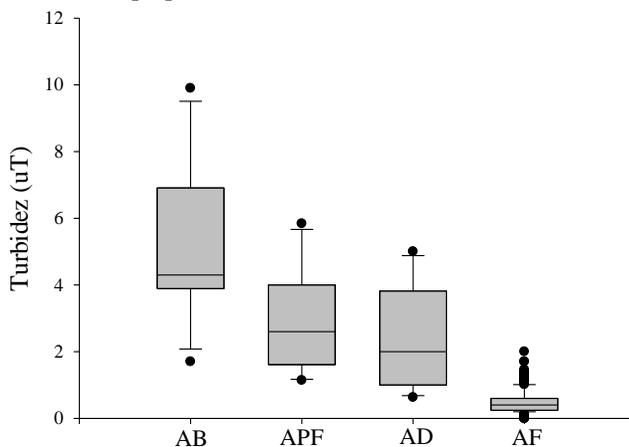
As Tabela 22, 23 e 24 apresentaram os valores médios dos parâmetros analisados em cada etapa dos três sistemas estudados em L1, L2 e L3.

Em L1, a turbidez média removida foi de 89,3% e a cor aparente média foi de 75,2%, da AB até a AF. Os valores atingiram uma tênue remoção até o RRS. Após o FLR, a AF apresentou uma melhoria abrupta, deixando a água dentro dos valores exigidos pela Portaria 2.914/11.

Da mesma forma, ocorreu para L2 e L3. A remoção da turbidez foi de 93,2% para L2 e 89,3% para L3 e a remoção da cor aparente em L2 foi 36,7% e em L3, 52,3%; sendo a mais efetiva, após o FLR.

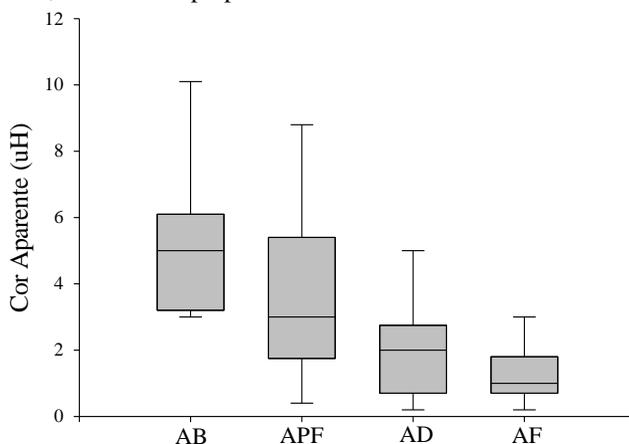
Portanto, os gráficos das Figura 55 a 60 mostram esses comportamentos descritos, principalmente, através das medianas e do intervalo interquartis da AB, APF e AD em relação à AF.

Figura 55 – Boxplot representando o comportamento da turbidez com seus intervalos interquartis, medianas e outliers, referente à AB, APF, AD e AF na propriedade L1.



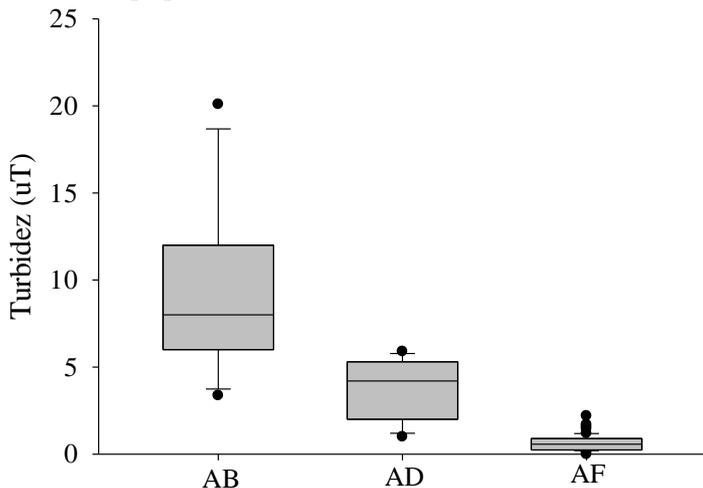
Fonte: elaborado pela autora (2017).

Figura 56 – Boxplot representando o comportamento da cor aparente com seus intervalos interquartis, medianas e outliers, referente à AB, APF, AD e AF na propriedade L1.



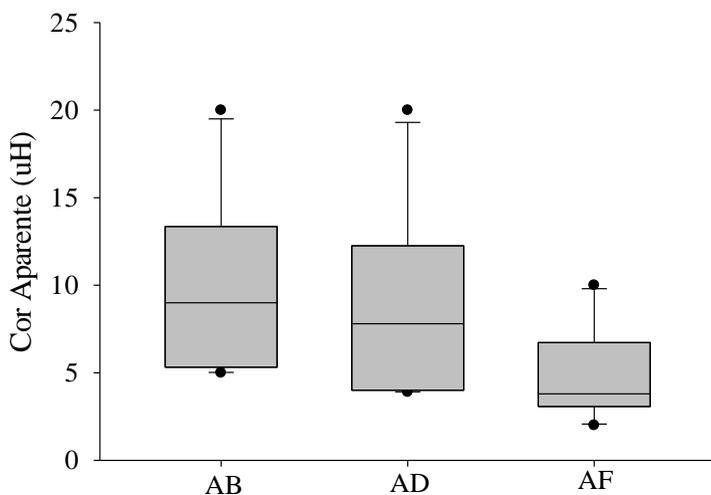
Fonte: elaborado pela autora (2017).

Figura 57 – Boxplot representando o comportamento da turbidez com seus intervalos interquartis, medianas e outliers, referente à AB, APF, AD e AF na propriedade L2.



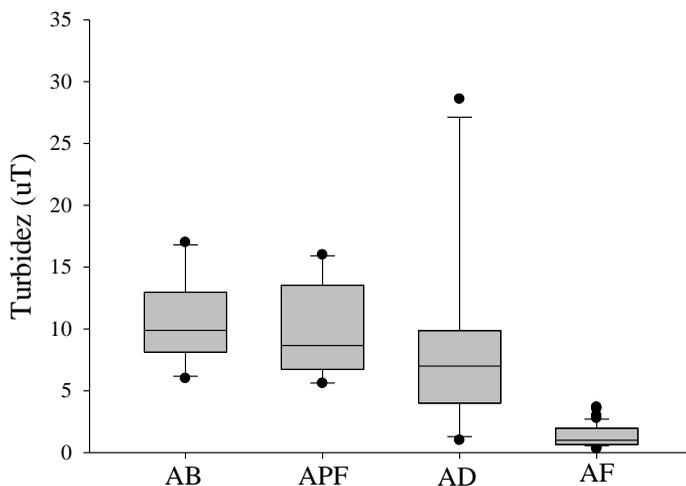
Fonte: elaborado pela autora (2017).

Figura 58 – Boxplot representando o comportamento da cor aparente com seus intervalos interquartis, medianas e outliers, referente à AB, APF, AD e AF na propriedade L2.



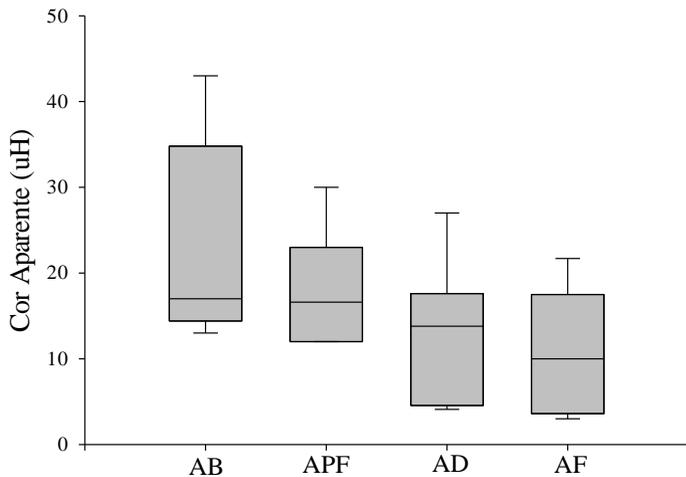
Fonte: elaborado pela autora (2017).

Figura 59 – Boxplot representando o comportamento da turbidez com seus intervalos interquartis, medianas e outliers, referente à AB, APF, AD e AF na propriedade L3.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

Figura 60 – Boxplot representando o comportamento da cor aparente com seus intervalos interquartis, medianas e outliers, referente à AB, APF, AD e AF na propriedade L3.



Fonte: elaborado pela autora (2017).

Como os dados de turbidez foram igualmente importantes no sentido de estabelecer o tempo de limpeza, calcularam-se, também, as médias das leituras do transpasse da turbidez nos FLR em cada localidade, sendo  $(3,55 \pm 2,74)$  uT em L1;  $(2,45 \pm 1,48)$  uT em L2 e  $(7,30 \pm 4,36)$  uT em L3.

Dessa forma, mesmo que esses parâmetros, em média, possam ser considerados adequados e validados perante os limites da Portaria vigente para L1, L2 e L3, nesta última houve muitas variações, tanto de turbidez, cor aparente, entre outros parâmetros.

Essas variações em L3 foram atreladas à precipitação local, acometendo o desempenho do CX à operação das partes do sistema, considerando limpeza, comportamento inapropriado de alto consumo e aumento da taxa de filtração nos períodos mostrados na Figura 54.

Portanto, para validar L3 perante a Portaria e operacionalmente, entende-se que deva haver comprometimento sobre os cuidados e operação do sistema, principalmente quanto ao consumo e limpeza.

#### 4.3 CONTEXTUALIZAÇÃO SOCIAL FRENTE À POLÍTICA NACIONAL DO SANEAMENTO BÁSICO

Através desse trabalho, necessitou-se contextualizar as áreas de estudo a fim de entender a complexidade sócio-cultural sobre o saneamento básico na Região Rural da Serra Catarinense.

Primeiramente, faz-se uma alusão à cultura e à organização social que o “Serrano” pratica.

Segundo o antropólogo Locks (1998), a ambiência e a cultura de fazenda na Serra trazem consigo pouca ou nenhuma consciência em integrar-se a um município ou um distrito como um todo. Para o Serrano, este todo encontra-se dentro da “propriedade”, razão pela qual a vinculação impessoal com uma autoridade pública perde nitidez.

(...) “a fazenda é tomada aqui como espaço social simbólico, constituindo verdadeiro locus por onde se articulou o poder econômico, político e se engendraram as relações sociais; lugar onde os agentes elaboraram grande parte de sua

representação de mundo” (...) (LOCKS, 1998; p. 88).

Essa contextualização faz com que alguns princípios fundamentais da Lei 11.445/2007, Art. 2º (BRASIL, 2007) possam ser considerados desafiadores e, ao mesmo tempo, estimulantes diante da realidade de subsistência. Portanto, considera-se relevante fazer alusão à realidade local sendo analisados os seguintes incisos desses princípios:

*“I - universalização do acesso”*, mesmo com a determinação do Decreto 7.217/2010 em ampliar progressivamente o acesso de todos os domicílios ao saneamento básico, tratando-se aqui do serviço de abastecimento de água, considera-se o princípio um desafio à comunidade rural da Serra Catarinense. Isso se deve às características socioculturais e políticas da região, assim como o grande distanciamento geográfico das mesmas em relação aos centros urbanos.

*“V - adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais”*. Nesse inciso é importante salientar que as estruturas das unidades de tratamento e abastecimento de água, nas áreas remotas supracitadas, são impedidas a adequarem-se à realidade local, mesmo tomando como diretrizes as normas técnicas vigentes no Brasil. Tal realidade aponta condições inadequadas de infraestrutura e dificuldades de acesso rodoviário entre comunidades. Outrossim, por ser uma região composta por grande quantidade de nascentes, pequenos corpos d'água (POLESE et al., 2015) e rios, sinaliza a importância em se aplicar inovadoras alternativas para métodos, técnicas e processos de tratamento de água descentralizados.

*“VIII - utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas; e XII - integração das infra-estruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos”*. Considera-se aqui a relevância em: (1) recuperar APP em torno das nascentes que contribuem para o abastecimento humano, contemplando ações voltadas à adequação ambiental das propriedades rurais onde os sistemas estão inseridos, abrangendo a gestão sistemática dos recursos hídricos conforme instituído na Política Nacional de Recursos Hídricos - Lei nº 9.433, de 1997. O entendimento da água como um recurso que pode ser utilizado, desde que seja preservado,

torna-se um desafio, bem como (2) desenvolver um sistema de tratamento e abastecimento de água de baixo custo, utilizando materiais resistentes e de fácil operação, apropriados às condições particulares de cada localidade rural. Esses princípios estimulam o desenvolvimento do projeto, tomando como referência a Lei 9.433/97, que visa ao incentivo à racionalização do uso de água e reconhecimento da mesma como bem econômico; mesmo que o consumo seja associado a pequenas vazões e considerado insignificante perante às legislações de outorga do estado.

*“XIII - adoção de medidas de fomento à moderação do consumo de água”*. Salienta-se aqui o desafio em adotar medidas para educação ambiental e capacitação dos usuários de água potável visando à conservação dos recursos hídricos existentes e de como utilizá-los de maneira não impactante negativamente ao ecossistema (BRASIL, 1997).

No entanto, mesmo com as dificuldades caracterizadas anteriormente, percebe-se um anseio de permanência na área rural e estímulo de trabalho aos mais jovens visualizados nas três pequenas propriedades de estudo.

A busca por melhor qualidade de vida nas áreas remotas está fechando lacunas que antes eram consideradas inconcebíveis, tais como investir em saneamento básico rural e aceitar alternativas de melhorias para qualidade de água.

Nessa conjuntura, percebeu-se um notável interesse, principalmente das propriedades que possuem agroindústria familiar, em estabelecer novos arquétipos em prol de melhorias no saneamento da região rural da Serra Catarinense em que a consciência ambiental internaliza-se constantemente na população, mostrando um entendimento, por exemplo, de que um simples olhar para uma amostra de água cristalina não a caracteriza potável.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos na pesquisa fundamentaram a possibilidade do desenvolvimento de um sistema alternativo e descentralizado para o tratamento de água proveniente de nascentes, em localidades rurais longínquas, onde o abastecimento público urbano ou comunitário seria inviável.

Constatou-se que a Serra Catarinense possui um número expressivo de produtores rurais os quais utilizam água de nascente no dia-a-dia para uso doméstico e nas agroindústrias. Portanto, os sistemas projetados e implantados mostraram-se adequados à realidade da região, assim como às condições climáticas, econômicas e operacionais.

Os resultados fundamentam as hipóteses formuladas, pois, para se desenvolver tecnologias desse âmbito visando a efetividade de tratamento e abastecimento, foram necessários dois pontos chave: a incorporação da idéia pelo proprietário responsável e a adequação ambiental visando a proteção do manancial, utilizados para captação.

Tomando como exemplo as estações de tratamento de água para abastecimento urbano, as mesmas possuem um operador remunerado e capacitado, que executará as funções para o tratamento adequar-se às determinações legais. No entanto, nas localidades remotas da região, verificou-se que dificilmente haveria uma pessoa com essas características. Assim, para se cumprir a Lei 11.445/2007 quanto à universalização dos serviços de saneamento básico, esse operador viria a ser alguém que se conscientizasse da importância de consumir água de qualidade e quisesse capacitar-se para operar um sistema implantado em seu local de moradia.

A presença do serviço de inspeção municipal nas propriedades que têm agroindústria, também, foi de grande valia no sentido de estimular o produtor a fim de cuidar dos sistemas em prol da manutenção da qualidade da água, principalmente para desinfecção.

Para a concepção do projeto, a caracterização da água bruta no início foi um dos principais quesitos para as tomadas de decisões, diante das diretrizes da Resolução CONAMA nº 357/2005.

Consideraram-se igualmente relevantes as visitas às APPs, inicialmente degradadas, e às nascentes (olho d'água), a

aproximação com os agricultores a fim de conhecer seus hábitos de consumo, entre outros, e a adequação do projeto principal às características físicas, geográficas, climatológicas, econômicas e culturais para obter sucesso na implantação.

Constatou-se que a recuperação das APPs em torno das nascentes foi um aspecto determinante para assegurar a existência das mesmas e evitar grandes variações da qualidade da água bruta.

Também, o uso de pré-tratamento junto à filtração lenta foi considerado pertinente, pois verificaram-se oscilações nos padrões de qualidade da água bruta, sobretudo nos períodos de chuvas, o que possibilitou melhor trabalho dos filtros. O sistema L2 apresentou-se eficiente devido à longa carreira de filtração, porém manifestou conveniência à obtenção de pré-filtração, já que não a possui, a fim de minimizar os impactos durante as alterações pluviométricas.

Dessarte, embora as condições reais de estudo mostrarem diferentes situações ambientais nas três localidades, constatou-se que foi possível reconhecer a terceira hipótese levantada, verificando viabilidade em estudar a eficiência dos sistemas implantados no tocante do que a literatura e as normas estabelecem diante de parâmetros hidráulicos, operacionais e de qualidade de água.

#### ● Parâmetros Hidráulicos

Na possibilidade de avaliação do comportamento hidrodinâmico no sistema L1, representando os outros, verificou-se que o experimento realizado com traçador na forma de pulso foi importante para conhecer a DTR no PFA, RRS e FLR. Os dados de condutividade, em função do tempo, caracterizaram o escoamento como não-ideal e com adequada homogeneidade na mistura para todas as unidades.

O conhecimento do tempo médio de detenção, nas unidades, foi um importante dado, pois propiciou entender o tempo de tratamento efetivo em todo o sistema, o que pode também auxiliar no processo de operação do mesmo, essencialmente em dias de chuva.

Os resultados das curvas de passagem e dos indicadores demonstraram haver um nível comedido de zonas mortas e curto-circuito em PFA, assim como, retromistura e/ou recirculação interna em RRS e FLR.

Os resultados das curvas F também indicaram que o sistema apresentou características marcantes de trabalhar com fluxo de mistura completa.

Esperava-se um comportamento mais evidente de fluxo de pistão no FLR. No entanto, apresentou-se fluxo com mistura completa como característica mais marcante. Isso pode ser atrelado à baixa relação comprimento/altura do mesmo e ao fato de trabalhar com taxa mais baixa de filtração, o que oportuniza a possibilidade de mistura e espalhamento do efluente para tratamento.

#### ● Parâmetros Operacionais

Esses parâmetros foram primordiais na regulamentação e orientação aos proprietários sobre o tempo de limpeza dos sistemas, visando à melhor qualidade da água.

As carreiras de filtração, estudadas através da turbidez, mostraram uma duração média em torno de 57 dias em L1, 28 dias em L2 e 29 dias em L3. A longevidade da carreira em L1 foi atribuída ao eficiente desempenho do CX e do PFA, principalmente, ao amortizar picos de turbidez durante os períodos de muita chuva e aos melhores cuidados com o sistema.

Para todo final de carreira de filtração, avaliou-se, experimentalmente, que o material filtrante dos FLR obtém uma variação de expansão em torno de 23% e tempos de lavagem diferentes para cada sistema por serem águas de diferentes características.

Conjuntamente, determinou-se um protocolo de limpeza dos sistemas como um todo, começando-a do RF até o CX, para haver carga hidráulica para a retrolavagem através do RRS.

Avaliou-se que a propriedade L1 possui um tempo médio de lavagem de 4,5 min, L2 de 5,5 min e L3 de 9,0 min, chegando à turbidez abaixo de 15uT ao final delas. E o período de recuperação dos FLR, respectivamente, após a limpeza, foi em torno de 2,5 ; 5 e 6,2 horas.

Constatou-se que os sistemas não trabalharam com as taxas fixadas em alguns períodos de estudo, afetando a qualidade da água e a demanda ao consumo. Uma solução para essa operação foi aumentar o volume de reservação para 2000L em L1 e L3 a fim de não sobrecarregar o desempenho dos filtros.

- Parâmetros de Qualidade da água

Os parâmetros de qualidade da água também serviram para validar os sistemas de acordo com o que estabelece a Portaria 2914/2011 do MS.

Diante dos cenários reais de proteção e recuperação das APPs em torno das nascentes, os resultados das séries nitrogenadas, DBO, fósforo total, em todas as propriedades, apresentaram-se dentro dos padrões exigidos pelo CONAMA 357/2005 e pela Portaria 2.914/2011 do MS, concluindo que não há foco de contaminação na fonte de captação, tampouco, para abastecimento.

As águas nas três localidades caracterizaram-se em condições ácidas a neutras de solução, apresentando-se com valores entre 6 e 7 e as temperaturas médias variaram entre 17 a 19°C por ser uma região de clima frio.

Em relação aos metais presentes na água, os dados de ferro dissolvido (como  $\text{Fe}^{+2}$ ) mostraram-se abaixo de  $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$  em todas as localidades. Ademais, o OD teve pouca variação nas médias de cada etapa dos sistemas, apresentando-se com valores entre  $6,0$  e  $7,0 \text{ mg.L}^{-1}$ , cujas condições de aerobiose podem ser apropriadas ao abastecimento em L1, L2 e L3.

Os dados de sólidos dissolvidos também estiveram abaixo do permitido pela Portaria em 100% das análises e os de cor verdadeira apresentaram um diferencial para filtração lenta, com remoções de 58,4% em L1, 12,3% em L2 e 11,9% em L3, podendo ser atrelados à presença do carvão nos FLR como adsorvido da matéria orgânica dissolvida.

A L3 foi a única propriedade onde se realizou a cloração, com dados cloro livre, girando em torno de  $(1,0 \pm 0,5) \text{ mg L}^{-1}$ . Os filtros não apresentaram um amadurecimento efetivo, apropriados para a remoção microbiológica, recomendando-se a desinfecção após o tratamento em todas as propriedades.

Os parâmetros turbidez e cor aparente apresentaram relevante remoção durante as etapas dos tratamentos com valores de 89,3% e 75,2% para L1, 93,2 e 36,7% para L2, 89,3 e 52,3 para L3, respectivamente.

Portanto, mesmo que esses parâmetros, em média, possam ser considerados adequados e validados perante os limites da Portaria vigente às localidades estudadas, em L3, houve muitas variações atreladas à operação dos sistemas, considerando o

comportamento inapropriado de alto consumo e aumento da taxa de filtração nos períodos amostrados.

Para validar as propriedades L1, L2 e L3 perante Portaria, e operacionalmente, conclui-se que deva haver comprometimento sobre os cuidados e operação do sistema, principalmente, quanto ao consumo e limpeza.

De modo geral, o desenvolvimento dos sistemas alternativos e descentralizados de tratamento e abastecimento de água, vinculados à adequação ambiental, demonstrou que é possível aplicar uma tecnologia simples e de baixo custo, usando filtração lenta e pré-filtração no intuito de melhorar as condições sanitárias e qualidade de vida em localidades rurais de difícil acesso.

### **Recomendações**

Recomenda-se para pesquisas futuras:

- Manter o cercamento e o desenvolvimento da vegetação nativa nas APPs.
- Verificar a eficiência de remoção dos principais parâmetros em cada etapa de tratamento.
- Adequar o projeto, almejando simplificá-lo para deixar a operacionalização de forma inteligível. Exemplo: diminuir o número de registros no processo; projetar usando padrões de consumo, adequar o RRS.
- Verificar necessidade de instalar um pré-filtro para amortizar picos de turbidez da água bruta para L2.
- Fazer um estudo mais detalhado do consumo e das carreiras de filtração a fim de evitar sobrecarga no FLR, como por exemplo a remoção da turbidez, cor aparente e OD da água filtrada.
- Elaborar capacitações de educação ambiental para os proprietários e para futuros projetos, no sentido de conscientizarem-se do uso da desinfecção da água, como forma de prevenção de doenças de veiculação hídrica.
- Realizar um estudo holístico de percepção com os proprietários, visando, principalmente, às relações das variáveis ambientais sobre o ambiente humano.
- Cuidados de operação dos sistemas com a finalidade de contribuir com o efetivo tratamento e a qualidade da água de abastecimento.



## REFERÊNCIAS

AMIRTHARAJAH, A.; WETSTEIN, D. P. Initial degradation of effluent quality during filtration. **J. AWWA**, v. 9, n. 72, p. 518–524, 1980.

APHA. **American Public Health Association. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. New York: APHA-AWWA-WEF: 21th ed., 2005.

APHA. **American Public Health Association. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. Washington: APHA-AWWA-WEF: 22th ed., 2012.

BADENOCH, J. **Cryptosporidium in Water Supplies**. London.: Departments of the Environment and Health. HMSO, 1990.

BARCELLOS, C. M. et al. Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. **Cad. Saúde Pública**, v. 22, p. 22 (9): 1967–1978, 2006.

BELLAMY, W. D. ; HENDRICKS, D. W. ; LOGSDON, G. S. Slow sand filtration: influences of selected process variables. **Journal-American Water Works Association**, v. 77, n. 12, p. 62–66, 1985.

BERGAMINI, N. C.; PATERNIANI, J. E. S. Benefícios do emprego de mantas não tecidas instaladas no topo da camada de areia de filtros lentos no tratamento de água para pequenas comunidade. (Benefits of using non-woven blankets installed at the top of the sand bed of slow filters). **Omnia Exatas. Journal Article, Brazil**, v. 3, p. 53–59, 2010.

BRASIL. **Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988.

BRASIL. **Congresso Nacional. Lei Federal nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e dá outras providências**. Diário Oficial da União. Brasília-DF, 1997.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.712, de 20 de Novembro de 1998. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA**.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, Resolução CONAMA nº 303**.

**BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357.**

**BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, Resolução CONAMA nº 369.**

**BRASIL. Congresso Nacional. Lei Federal nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico.**Diário Oficial da União. Brasília-DF, 2007.

**BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário - MDA. Documento Orientador sobre o Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária – SUASA.**Brasília/DF, 2008. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/>>

**BRASIL. Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007.**Diário Oficial da União. Brasília-DF, 2010.

**BRASIL. Ministério de Estado da Saúde. Portaria MS 2.914, de 12 de Dezembro de 2011.**Diário Oficial da União. Brasília-DF, 2011a.

**BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Plano Plurianual 2012-2015 - Contextualização.** Disponível em: <[http://mi.gov.br/c/document\\_library](http://mi.gov.br/c/document_library)>. Acesso em: 22 dez. 2015b.

**BRASIL. Congresso Nacional. Lei Federal nº 12.651, de 25 de Maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências.**Diário Oficial da União. Brasília-DF, 2012.

**BRIGGS, L. J. The Mechanics of soil moisture. Bull. 10, Div. Soils, U.S. Dept. Agric., Washington, D. C., p. 24, 1897.**

**BRITO, L. L. A. DE et al. Amadurecimento de filtros lentos de areia e remoção de microrganismos indicadores de qualidade da água ao longo da profundidade do leito: uma avaliação. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 10, n. 4, p. 307–317, 2005.**

**CALHEIROS, R. DE O. et al. Preservação e Recuperação das Nascentes (de água e de vida). Piracicaba: Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios PCJ - CTRN. (Preservation and Recovery of Springs (Water and Life)). Institutional Report, Brazil, 2004.**

**CARBONÍFERA, C. S. Carbonífera Crisciúma SA.** Disponível em: <[http://www.carbocri.com.br/produtos/carbotrat\\_ap/](http://www.carbocri.com.br/produtos/carbotrat_ap/)>. Acesso em: 16 mar. 2016.

CARNEIRO, M. J.; MALUF, R. **Para Além da Produção: multifuncionalidade e agricultura familiar**. MAUAD EDIT ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

CASTRO, S. S. L.; OLIVEIRA, T. M. B. F.; DI SOUZA, L. Dinâmica da série nitrogenada nas águas da bacia hidrográfica Apodi / Mossoró - RN - Brasil. v. 34, n. 3, p. 17–26, 2009.

CAZELLA, A. A.; BURIGO, F. L. O desenvolvimento territorial no planalto catarinense: O difícil caminho da intersetorialidade. **Revista Extensão Rural**, v. XV, n. Jan-Jun, p. 5–30, 2008.

CINARA. **Los comportamientos sociales y culturales a considerar en la selección de tecnologías para la potabilización de água**. [s.l.] Universidad del Valle/CINARA. Cali, Colombia, 1997.

CISAMA. **Consórcio Intermunicipal Serra Catarinense - Programa de Inspeção Alimentar**. Disponível em: <<http://www.cisama.sc.gov.br/>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

CLEASBY, J. L. Slow sand and direct in-line filtration of a surface water. **Journal of the American Water Works Association**. New York, n. 12, p. 44–55, 1984.

COLLINS, M. R.; EIGHMY, T. T.; MALLEY, J.P., J. Evaluating modifications to slowsand filters. **Journal of American Water Works Association**, v. 83, n. 9, p. 62–70, 1991.

COLTON, J. F.; HILLIS, P.; FITZPATRICK, C. S. B. Filter backwash and start-up strategies for enhanced particulate removal. **Water Research**, v. 30, n. 10, p. 2502–2507, 1996.

COTA, R. S.; VON SPERLING, M.; PENIDO, R. C. S. Tracer studies and hydraulic behaviour of planted and un-planted vertical-flow constructed wetlands. **Water Science and Technology**, v. 64, n. 5, p. 1056–1063, 2011.

CUMBI, H. A.; PÁDUA, V. L. **Avaliação do desempenho de mantas sintéticas não tecidas no tratamento de água para consumo humano visando utilização em comunidades rurais - ensaio em escala piloto**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

DE OLIVEIRA, P. H. **Avaliação da Perda de Carga durante Operação e Limpeza de Filtros Lentos Ascendentes**. Florianópolis/SC: Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2017.

DE SOUZA, F. H. **Influência do diâmetro efetivo do meio filtrante em Filtros Lentos Retroláveveis**. Florianópolis/SC: Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2012.

DE SOUZA, F. H. **Tratamento de Água para Abastecimento por meio de Filtros Lentos de Fluxo Ascendente com Limpeza por Retrolavagem e Descarga de Fundo**. Florianópolis/SC: [Dissertação] Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

DE SOUZA, F. H. et al. Study of slow sand filtration with backwash and the influence of the filter media on the filter recovery and cleaning. **Environmental Technology**, v. 3330, n. February, p. 1–9, 2016.

DI BERNARDO, L.; AGGIO, C. E. G. Estudo qualitativo e quantitativo da comunidade biótica presente em um sistema de pré-filtro e filtro lento para tratamento de águas de abastecimento. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Goiânia**, 1991.

DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas. In: **(Multi-Stage Filtration Water Treatment). Book Section, Brazil**. Rio de Janeiro: ABES: [s.n.]. p. 114.

DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de tecnologias de tratamento de água. (Selection of Water Treatment Technologies) Book with Brazilian publisher**. LDIBE LTDA ed. São Carlos–SP: [s.n.].

DI BERNARDO, L.; RIVERA, A. Influence of sand uniformity coefficient on slow sand filtration performance. In: **In: GRAHAM, N. J. D.; COLLINS, M. R. (Eds.). Advances in slow sand and alternative biological filtration**. 1. ed. UK: John Wiley and Sons, Chichester, 1996. p. 179–188.

DI BERNARDO, L. & DANTAS, A. **Métodos e técnicas de Tratamento de Água. Volume 2**. 2nd. ed. São Carlos: RiMa, 2005a.

DI BERNARDO, L. & DANTAS, A. **Métodos e técnicas de Tratamento de Água. Volume 1**. 2nd. ed. São Carlos: RiMa, 2005b.

DO AMARAL, L. A. et al. Água De Consumo Humano Como Fator De Risco À Saúde Em Propriedades Rurais. **Revista de Saude Publica**, v. 37, n. 4, p. 510–514, 2003.

DOS SANTOS, H. L. **Construção Social de Mercado Orgânico: O**

**Caso da Cooperativa Ecoserra na Serra Catarinense.** [s.l.] UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

**ECOSSERA. Cooperativa Ecoserra.** Disponível em: <<http://www.cooperativaecoserra.com.br/>>. Acesso em: 19 jan. 2016.

**EMMENDOERFER, M. L. Filtração Lenta Com Retrolavagem Para Propriedades Rurais De Uso Familiar.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Trabalho de Conclusão de Curso, 2006.

**EPAGRI/CIRAM. Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina, Brasil.** Disponível em: <<http://www.ciram.epagri.sc.gov.br/>>.

**FERNÁNDEZ, J. M. et al. Uso de Mantas Sintéticas y Naturales en Filtración Lenta en Arena. Una Experiencia en Ambientes Tropicales (Use of Synthetic and Natural Blankets in Slow Filtration in Sand. An Experience in Tropical Environments).** *Journal of Chemical Information and Modeling*, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2013.

**FERRAZ, C. F.; PATERNIANI, J. E. S. Redução da Espessura da Camada Suporte através da Substituição por Mantas não-tecidas na Filtração Lenta de Águas de Abastecimento (Layer Thickness Reduction Support by Replacement by Nonwoven Blankets in Slow Water Filtration).** *Eng. Sanit. Ambient. Sanitary and Environmental Engineering Journal of Brazil*, v. 7, p. 15, 2002.

**FERREIRA, S. S. F.; TEIXEIRA, B. A. DO N. Estudo comparativo do comportamento hidráulico de meios filtrantes de areia-antracito e areia-carvão ativado granular no tratamento de água. In: AIDIS. Consolidación para el desarrollo. México, D.F, AIDIS, p.1-11 [t.3], Ilus.México, DF, 1996.**

**FOGLER, H. S.; GÜRMENTEN, M. N. Elements of chemical reaction engineering.** 3. ed. Michigan: Prentice Hall, Inc. a Pearson Education Company, 1999.

**GALVÃO JR., A. D. C.; PHILIPPI JR., A. Gestão do saneamento básico: abastecimento de água e esgotamento sanitário.** Editora Ma ed. Barueri, SP: Coleção Ambiental, 2012.

**GARCÍA, V. M.; GALVIS, G. Sostenibilidad en Proyectos de Abastecimiento de Agua Taller Selección de Tecnología para el Mejoramiento de la Calidad de Agua Cali, Colombia., 2000.**

GIMBEL, R. et al. **Recent Progress in Slow Sand and Alternative Biofiltration Processes**. 1<sup>o</sup>. ed. London: IWA Publishing: [s.n.].

GONÇALVES, A. F. Experiências em economia solidária e seus múltiplos sentidos. **Revista Katalisys**, v. 11, n. 1, p. 132–142, 2008.

GRAESE, S. L.; SNOEYINK, V. L.; LEE, R. G. Granular Activated Carbon Filter-Adsorber Systems. **Journal - American Water Works Association**, v. 79, p. 64–74, 1987.

GRAHAM, M. J. D.; MBWETTE, T. S. A. Improving the efficiency of slow sand filtration with nonwoven synthetic fabrics. **Filtration & separation**, n. February, p. 46–50, 1987.

GRAHAM, M. J. D.; MBWETTE, T. S. A.; STEITIEH, M. A. R. Performance of Fabric-Protected Slow Sand Filters Treating a Lowland Surface Water. **Journal of Institution of Water and Environmental Management**, p. 51–61, 1990.

GRAHAM, N. J. D.; MBWETTE, T. S. A.; DI BERNARDO, L. Fabric protected slow sand filtration: a review. **Slow Sand Filtration - an international compilation of recent scientific and operational developments**. American Water Works Association, p. 95–105, 1994.

GUIZZO, C. **Área de Preservação Permanente: Análise comparada entre o Código Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina – Lei n<sup>o</sup> 14.675 de 13 de abril de 2009 – e a Lei 12.651 de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**. [s.l.] Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, 2013.

HENDRICKS, D. **Water Treatment Unit Processes: Fisical, Chemical and Biological**. 1<sup>a</sup>. ed. [s.l.] CRC Press, 2010.

HESPANHOL, I. Filtração Lenta. In: **Azevedo Neto, J.M. de & Vilela, S.M. – Técnicas de Tratamento e Abastecimento de Água**. CETESB/ASC ed. São Paulo: [s.n.], p. 225–256.

HOWE, K. J. et al. **Principles of water treatment**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2012.

HUISMAN, L.; WOOD, W. **Slow sand filtration**. Geneva: World Health Organization, 1974.

IBGE. Dimensão Ambiental - Saneamento. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**, p. 164, 2004.

IBGE. **Acesso ao sistema de abastecimento de água - área rural**.

Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 5 maio. 2016a.

**IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (Institution for surveys and data management in Brazil), 2010b.**

**IBGE. Banco de Dados Agregados (PNAD).** Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/pnad/>>. Acesso em: 1 jan. 2016.

**INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária.** Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/acesso-terra>>. Acesso em: 5 mar. 2015.

**KOBIYAMA, M.; MOTA, A. A.; CORSEUIL, C. W. Recursos Hídricos e Saneamento.** 1<sup>o</sup> edição ed. Curitiba - PR: Organic Trading, 2008.

**KRONE, E. E.; MENASCHE, R.** Políticas públicas pra produtos com identidade cultural: uma reflexão a partir do caso do queijo artesanal serrano do sul do Brasil. **Anais do VIII Congresso Latino-Americano de Sociologia Rural**, p. 1–14, 2010.

**LAGARES, L.; LAGES, V.; BRAGA, C. Valorização de produtos com diferencial de qualidade e identidade Indicações Geográficas e Certificações para Competitividade nos Negócios. (Valorization of products with quality differential and identity Geographical Indications Business Competitiveness).** 1. ed. Brasília: [s.n.].

**LEVENSPIEL, O. Chemical Reaction Engineering.** 2. ed. Oregon: John Wiley Sons Inc., EUA, 1972.

**LEVENSPIEL, O. Engenharia das Reações Químicas.** 3. ed. ed. São Paulo, SP. Brasil: Editora Blücher, 2000.

**LIBÂNIO, M. Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água.** 2. ed. Campinas - SP: Editora Átomo, 2008.

**LINDER, M. O. Dinâmicas Territoriais de Desenvolvimento: O caso da Serra Catarinense.** [s.l.] Universidade de São Paulo - USP, 2012.

**LISBOA, A. D. M. Imprecisões E Limites Economia Solidária E Autogestão : Imprecisões E Limites.** p. 109–115, 2005.

**LLOTD, B. The Functional Microbial Ecology of Slow Sand Filtration.** [s.l.] University of Sourrey, England, 1974.

**LOCKS, G. A. Identidade dos Agricultores Familiares Brasileiros de São José do Cerrito , SC .** [s.l.] UFSC - Universidade Federal de

Santa Catarina, 1998.

LOGSDON, G. S. et al. Slow sand filtration for small water systems. **Journal of Environmental Engineering and Science**, v. 1, n. 5, p. 339–348, 2002.

MEINZER, O. E. Large Springs in the United States, U. S. **Geological Survey Water-Supply Paper 557, Washington, D. C.**, p. 94, 1927.

MEIRELLES, H. L. **Direiro Administrativo Brasileiro**. 21. ed. São Paulo: Malheiros: [s.n.].

METCALF, L.; EDDY, H. P. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. In: 5°. ed. [s.l.] McGraw-Hill, 2016. p. 2008.

MICHELAN, D. C. G. DOS S. **Filtração Em Margem De Rio Precedendo A Filtração Lenta, Para Remoção De Carbofurano, Em Tratamento De Água Para Consumo Humano**. [s.l.] Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2010.

MURTHA, N. A. **Avaliação da influência de variáveis hidráulicas, parâmetros de projeto e das características da água bruta na eficiência de filtros lentos de areia**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 1998.

NIX, D. K.; TAYLOR, J. S. **Filter evaluation procedures for granular media** American Water Works Association. Denver, Colorado, EUA: [s.n.].

PATERNIANI, J. E. S. Utilização de Mantas Sintéticas não Tecidas na Filtração Lenta em Areia de Águas de Abastecimento. **São Carlos: Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos-USP**, p. 245, 1991.

PATERNIANI, J. E. S.; CONCEIÇÃO, C. H. Z. DA. Eficiência da Pré-Filtração e Filtração Lenta no Tratamento de Água para Pequenas Comunidades. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 1, p. 17–24, 2004.

PIZZOLATTI, B. S. et al. Water treatment for rural areas by slow sand filtration. **Desalination and Water Treatment**, v. 2010, n. 701, p. 21–24, 2010.

PIZZOLATTI, B. S. **Estudos de Limpeza de Filtro lento por Raspagem e Retrolavagem**. [s.l.] [Dissertação]. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

PIZZOLATTI, B. S. et al. Comparison of backwashing with conventional cleaning methods in slow sand filters for small-scale communities. **Desalination and Water Treatment**, p. 1–7, 2014.

PIZZOLATTI, B. S. **Influência da técnica de limpeza de filtros lentos e diâmetro dos grãos sobre a qualidade da água produzida, com destaque para remoção de carbamatos e oocistos de *Cryptosporidium* (simulados por microesferas)**. [s.l.] [Tese]. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2014.

PLANSAB. **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 16 mar. 2016.

POLESE, C. et al. Análise da hidrografia da Coxilha Rica , Sul do município de Lages – SC Introdução. **Geosul**, v. 30, p. 47–66, 2015.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4<sup>a</sup>. ed. São Carlos/SP: EESC-USP: [s.n.].

PPA. **Plano Plurianual 2016-2015**.

PREZOTTO, L. L.; DA SILVA, J. B. **Documento Orientador sobre o Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária – SUASA. Ministério do Desenvolvimento Agrário - MDA** Brasília - DF, 2010.

PREZOTTO, L. L.; DO NASCIMENTO, M. A. R. **Manual de Orientações sobre Constituição de Serviços de Inspeção Municipal (SIM)**. Brasília/DF, 2013. Disponível em: <[www.seminarioosuasa.com.br](http://www.seminarioosuasa.com.br)>

PROSAB. **Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro: ABES: Valter Lúcio de Pádua (coordenador), 2009.

PYPER, G. R.; LONGSDON, G. S. Slow Sand Filter and Package Treatment Plant Evaluation Operating Costs and Removal of Bacteria, Giardia and Trihalomethanes. **Report to Comittee on slow sand filtration**, v. 1, p. 122–148, 1991.

REBOUÇAS, A. C. Groundwater in Brazil. **Episodes**, v. 11, p. 209–214, 1988.

RIBEIRO, A. C.; ANDION, C.; BURIGO, F. Ação coletiva e coprodução para o desenvolvimento rural: um estudo de caso do Colegiado de Desenvolvimento Territorial da Serra Catarinense. **Revista de Administração Pública**, v. 49, n. 1, p. 119–140, 2015.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. DE. **Tratamento de Água: tecnologia atualizada**. São Paulo (SP): Edgard Blucher: FAPESP: [s.n.].

SÁ, J. C.; CELIA, C.; BRANDÃO, S. Influência do diâmetro efetivo da areia na eficiência da filtração lenta no tratamento de águas contendo *Microcystis aeruginosa*. **Lloydia (Cincinnati)**, v. 518, 2004.

SÁNCHEZ, L. D.; LATORRE, J.; GALVIS, G. Comportamiento de la Población de Algas u Protozoos despues de la Limpieza de la biomembrana en un Filtro Lento en Arena. **20<sup>a</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, p. 4251-4263, 1999.

SANTA CATARINA. **Lei Estadual nº 9.748 de 30 de novembro de 1994** Florianópolis, 1994.

SANTA CATARINA. **Lei 12.120 de 9 de janeiro de 2002. Governo do Estado de Santa Catarina**. Brasil, SC, 2002.

SANTA CATARINA. **Decreto nº 4.778, de 11 de outubro de 2006**. Florianópolis, 2006.

SANTA CATARINA. **Lei Estadual nº 14.675, de 13 de abril de 2009** Florianópolis, 2009.

SANTA CATARINA. **Governo de Santa Catarina. Lei Estadual nº 16.342, de 21 de janeiro de 2014. institui o Código Estadual do meio Ambiente e estabelece outras providências**. Diário Oficial do Estado de Santa Catarina, 2014.

SCHÖNTAG, J. M. **Esferas de Poliestireno como Elemento Filtrante em Filtração Rápida Descendente**. [s.l.] [Tese]. Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

SCHUJSMANN, O. S. **Estudo da viabilidade técnica de utilização de geotêxteis não tecidos para filtração da água da chuva**. [s.l.] Universidade de São Paulo - USP, 2010.

SEBRAE-SC. **Santa Catarina em Números: Macrorregião Serra Catarinense/Sebrae/SC**. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/uf/santa-catarina/acesse/estudos-e-pesquisas/sc-em-numeros/municipais/relatorios-municipais/>>. Acesso em: 18 dez. 2015.

SENS, M. L. et al. Saneamento Rural. **Projeto Tecnologias Sociais para a Gestão da Água Programa de Capacitação em Gestão da Água Saneamento rural**, p. 150, 2014.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - Diagnósticos água e esgoto.** Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos>>. Acesso em: 14 nov. 2015.

SOARES, M. B. D. et al. Backwashed Slow Sand Filtration for Water Supply during Droughts Periods in Animal Production. **asaefrymulti.com**, v. 2010, n. 701, p. 21–24, 2010.

STUKEL, T. et al. A Longitudinal Study of Rainfall and Coliform Contamination in Small Community Drinking Water Supplies. **Environmental Science & Technology**, v. 24, n. 4, p. 571–575, 2003.

TEIXEIRA, E. C. **Hydrodynamic processes and hydraulic efficiency of chlorine contact units.** [s.l.] University of Bradford, England, 1993.

TODD, D. K. **Ground Water Hydrology** New York, 2005.

UMBUZEIRO, G. A. **Guia de potabilidade para substâncias químicas.** São Paulo/SP: ABES, 2012.

VIANNA, M. R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água.** 3. ed. Belo Horizonte - MG: Imprimatur, 1997.

VISSCHER, J. T. et al. Slow Sand Filtration for Community Water Supply. p. 149, 1987.

VISSCHER, J. T. Slow Sand Filtration: Design, Operation, and Maintenance. **American Water Works Association**, v. 82, n. 6, p. 67–71, 1990.

WEGELIN, M. **Horizontal-flow roughing filtration: An appropriate pretreatment for slow sand filters in developing countries**In: WHO, IRCWDDuebendorf, Suíça, 1984.

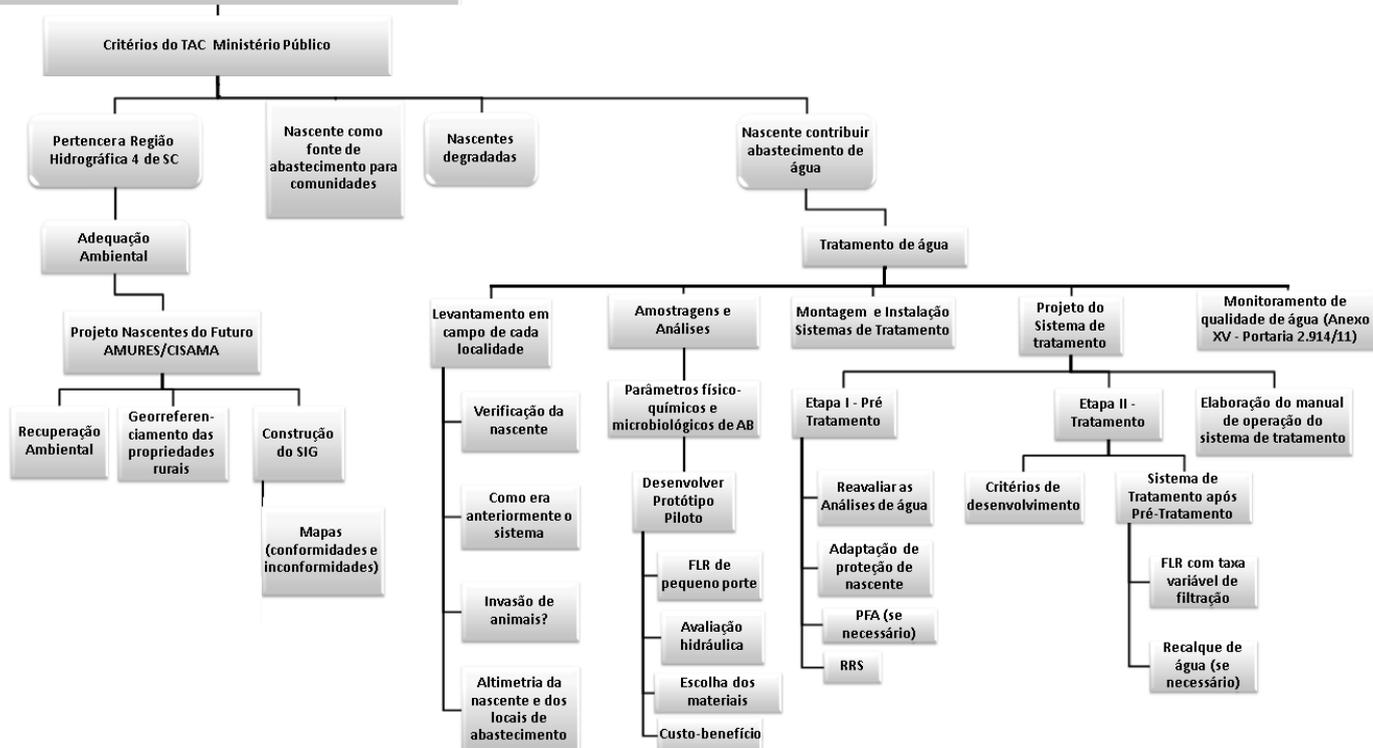
WILKINSON, J.; MIOR, L. C. Setor informal , produção familiar e pequena agroindústria : interfaces. **Estudos Sociedade e Agricultura**, 2003.



## APÊNDICES

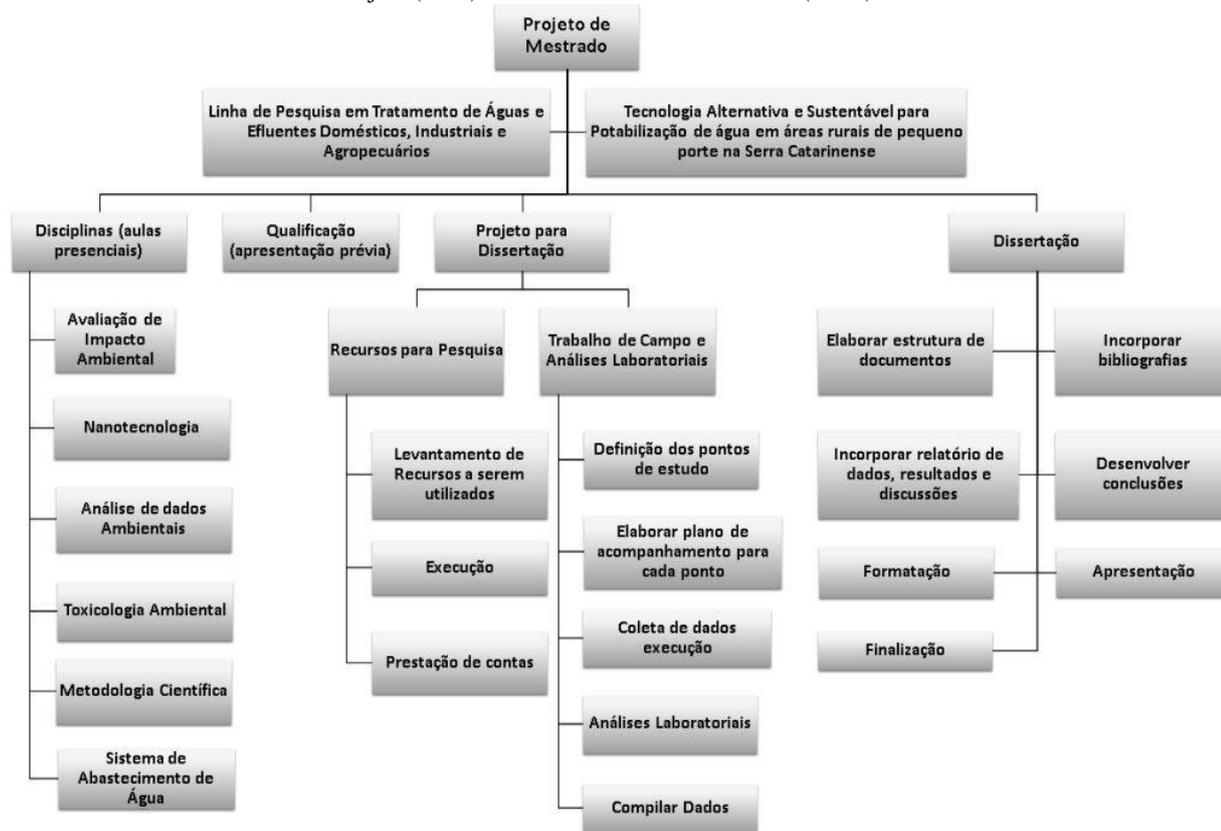
Apêndice 1 – Ferramenta de gerenciamento para estruturação das partes que compõem o trabalho realizado em 2014. Estrutura Analítica de Projeto (EAP) – *Work Breakdown Structure* (WBS).

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE - APP e  
ADEQUAÇÃO AMBIENTAL DE PROPRIEDADES RURAIS PARA O  
DESENVOLVIMENTO SUSTENTADO DA REGIÃO DA AMURES / ANO 2014



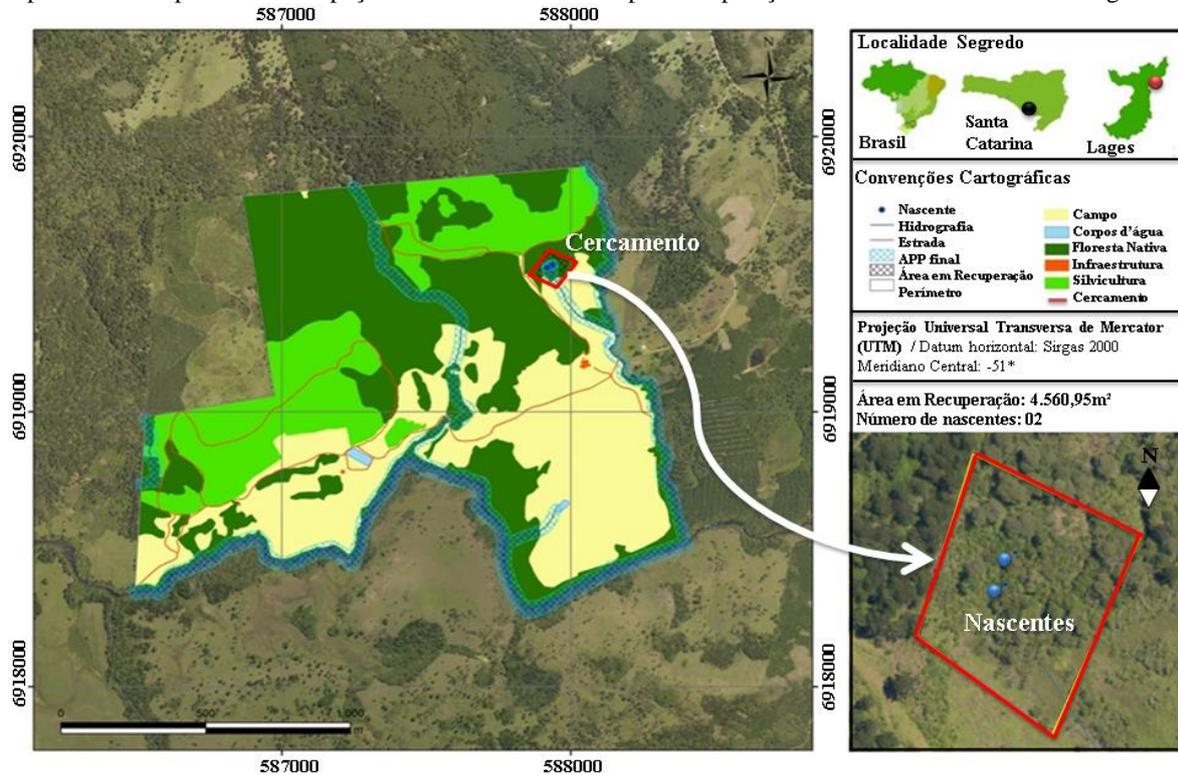
Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 2 - Ferramenta de gerenciamento para estruturação das partes que compõem o trabalho realizado durante o período de mestrado. Estrutura Analítica de Projeto (EAP) – *Work Breakdown Structure* (WBS).



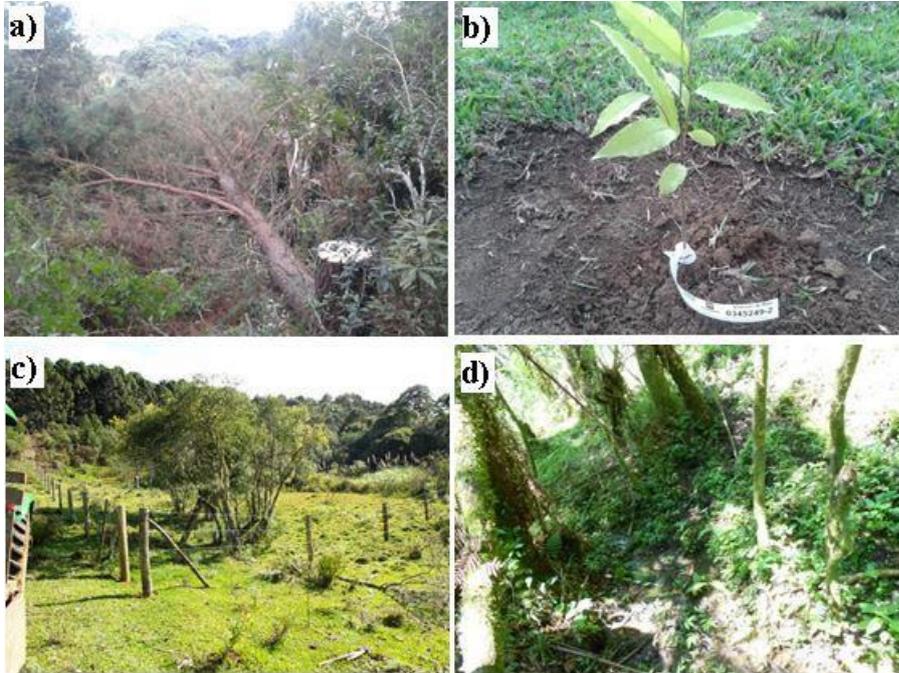
Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 3- Mapa de uso e ocupação do solo e área cercada para recuperação de nascente na Localidade Segredo/Lages.



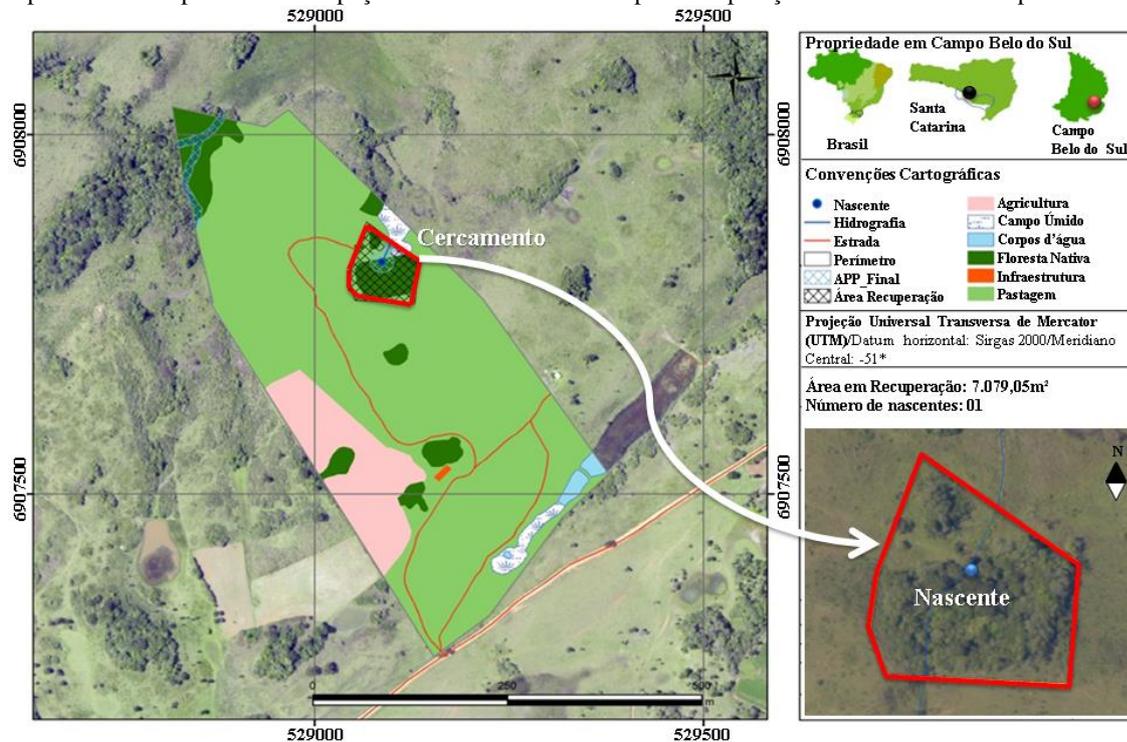
Fonte: Google maps/2016 e adaptação da adequação Ambiental Empresa Sul Florestas Ltda.

Apêndice 4 – Área de Recuperação na Localidade Segredo / Lages – L1: a) Corte de espécies exóticas na área de recuperação; b) Plantio de mudas nativas; c) Cercamento da área de recuperação, bastante degradada; d) Local da nascente, degradada pelo pisoteio de animais.



Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 5 - Mapa de uso e ocupação do solo e área cercada para recuperação de nascente em Campo Belo do Sul/SC.



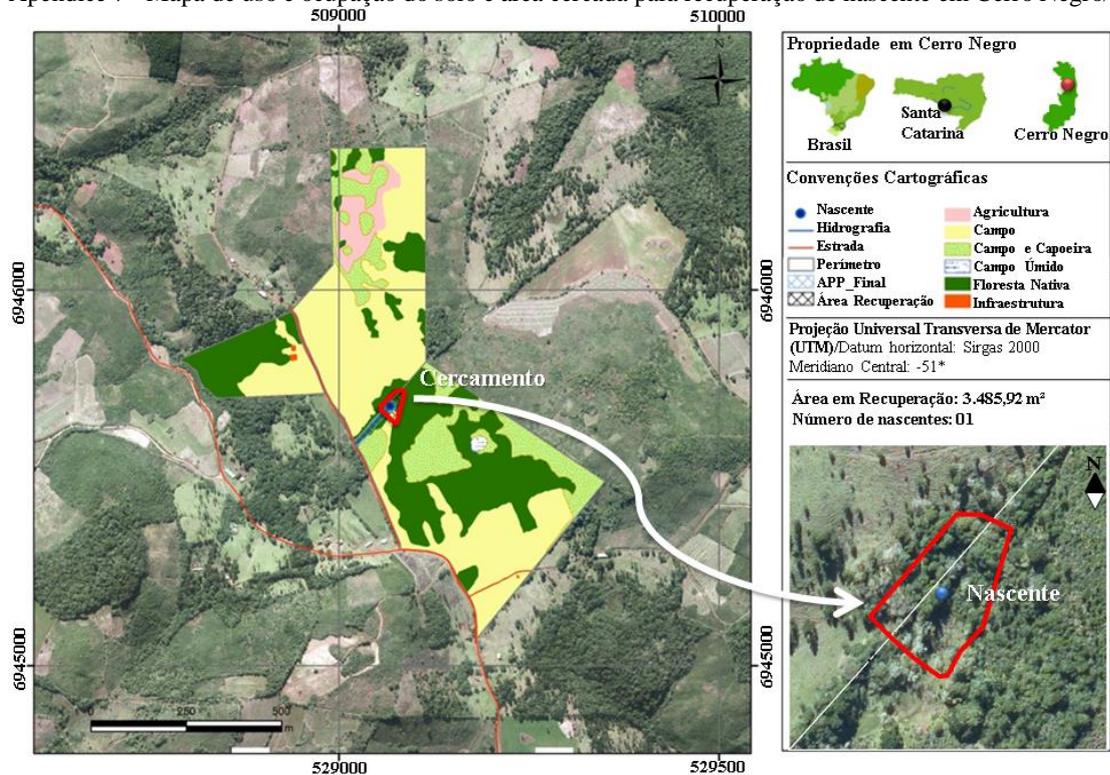
Fonte: Adaptação da adequação Ambiental realizada pela Empresa Sul Florestas Ltda. e Google maps/2016.

Apêndice 6 - Localidade em Campo Belo do Sul/SC – L2: a) Árvores nativas a serem plantadas; b) Plantio de espécies nativas na APP; c) Nascente desprotegida e reservatório de água para consumo antes do projeto; d) Área degradada por animais de grande porte dentro da área cercada.



Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 7 - Mapa de uso e ocupação do solo e área cercada para recuperação de nascente em Cerro Negro/SC.



Fonte: Adaptação da adequação Ambiental realizada pela Empresa Sul Florestas Ltda. e Google maps/2016.

Apêndice 8 - Localidade de Cerro Negro/SC – L3: a) Local utilizado para captação de água da comunidade e para dessedentação de animais; b) Reservatório para dessedentação de animais, fora do cercamento; c) Cercamento entorno da APP; d) Plantio de mudas de espécies nativas na área de recuperação.



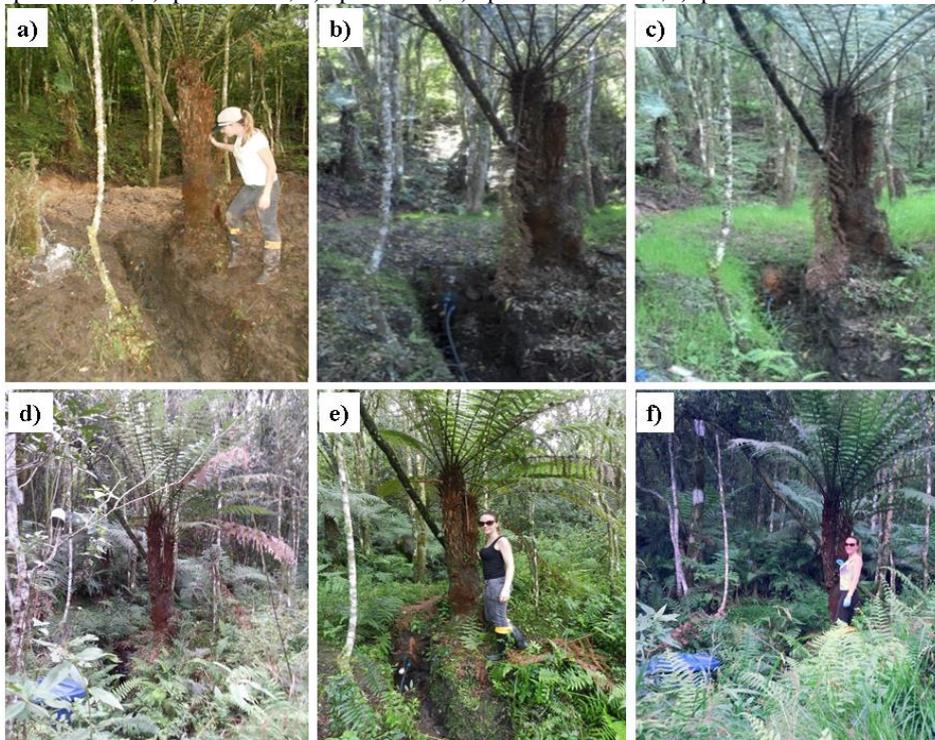
Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 9 - Metodologia de instalação da proteção de fonte, modelo Caxambu. a) Busca pelo afloramento de água que dá origem à nascente; b) Abertura do reservatório onde serão alocados os materiais de proteção; c) Assentamento do tubo no reservatório; d) Alocação das camadas filtrantes; e) Barragem para impermeabilização da saída de água; f) Cobertura do reservatório com material de polietileno e terra para fixação da vegetação e evitar lixiviação para o interior.



Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 10 – Evolução da implantação da proteção de fonte. a) Finalização da instalação, ano 2014; b) Registro fotográfico após 30 dias; c) após 90 dias; d) após 1 ano; e) após 1 ano e meio; f) após 2 anos.



Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 11–Metodologia de instalação do pré-filtro ascendente à jusante da proteção de nascente, Localidade de Lages/SC.



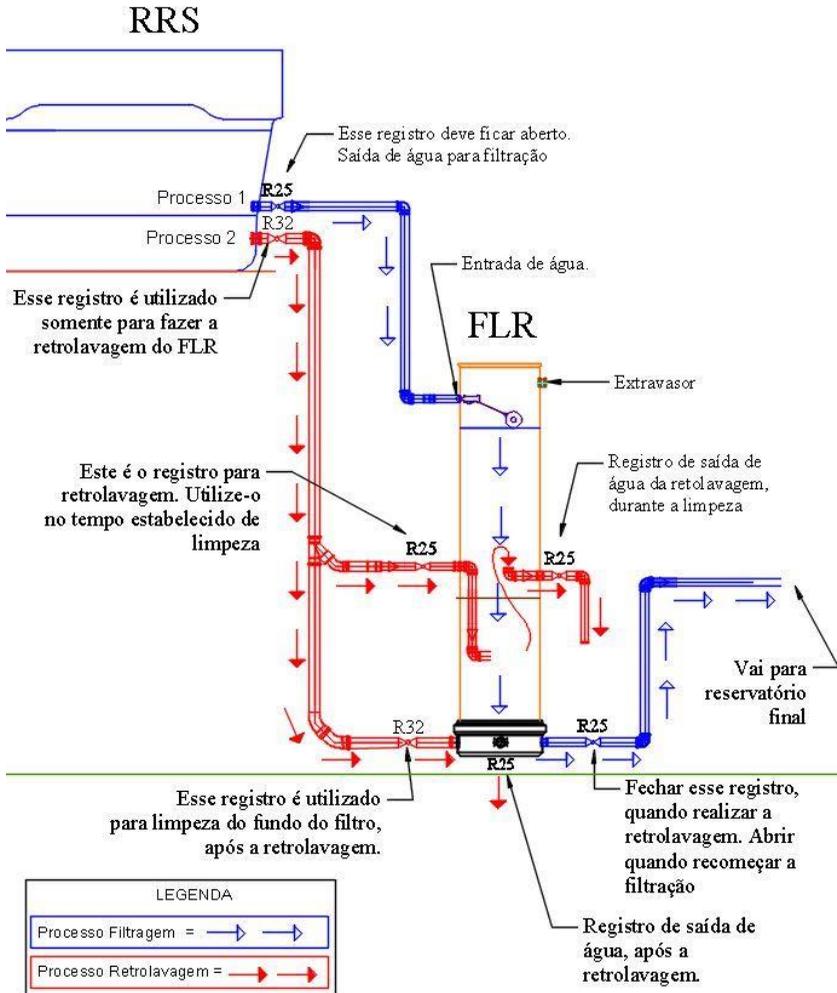
Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 12 - a) Preparação da base para assentar os reservatórios; b) Posicionamento do RRS em cota abaixo do caxambu; c) Assentamento do RRS e do FLR em cota favorável à filtração e retrolavagem; d) Instalação finalizada do FLR e reservatório final, seguindo o relevo local; e) Vista do RRS FLR e antiga captação; f) Finalização.



Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 13 – Esquema de funcionamento da filtração e retrolavagem.



Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 14 – Análise de dados do traçador para determinar o comportamento hidrodinâmico do PFA, Ensaio 1.

$\tau$ (min)	t (min)	C(t) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	$t_k$ (mi n)	$C_k$ ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	$\Delta t_k$ (min)	$C_k t_k \Delta t_k$ ( $\mu\text{S}\cdot\text{min}^2/\text{cm}$ )	$C_k \Delta t_k$ ( $\mu\text{S}\cdot\text{min}/\text{cm}$ )	$C_k(t_k - t_m)^2 \cdot \Delta t_k$ ( $\mu\text{S}\cdot\text{min}^3/\text{cm}$ )	$\theta$	$E\theta$	$F\theta$
9,19	0	66	0	0	0	0	0	0	0	0,17	0
	0,5	66	0,25	66	0,5	8,25	33	2535,08	0,06	0,17	0,01
$t_m$ (min)	1	66	0,75	66	0,5	24,75	33	2254,09	0,11	0,17	0,02
	1,5	66	1,25	66	0,5	41,25	33	1989,60	0,17	0,17	0,03
9,01	2	124	1,75	95	0,5	83,125	47,5	2506,87	0,22	0,32	0,04
	2,5	300	2,25	212	0,5	238,5	106	4850,73	0,28	0,76	0,07
$\sigma_t^2$ (min <sup>2</sup> )	3	324	2,75	312	0,5	429	156	6122,51	0,33	0,83	0,12
	3,5	356	3,25	340	0,5	552,5	170	5649,46	0,39	0,91	0,16
0,40	4	350	3,75	353	0,5	661,875	176,5	4892,12	0,44	0,89	0,21
	4,5	334	4,25	342	0,5	726,75	171	3882,15	0,50	0,85	0,26
	5	320	4,75	327	0,5	776,625	163,5	2973,73	0,55	0,82	0,31
	5,5	302	5,25	311	0,5	816,375	155,5	2203,93	0,61	0,77	0,35
	6	282	5,75	292	0,5	839,5	146	1556,14	0,67	0,72	0,39
	6,5	266	6,25	274	0,5	856,25	137	1047,19	0,72	0,68	0,43
	7	244	6,75	255	0,5	860,625	127,5	653,95	0,78	0,62	0,47
	7,5	220	7,25	232	0,5	841	116	361,26	0,83	0,56	0,50
	8	216	7,75	218	0,5	844,75	109	174,35	0,89	0,55	0,53
	8,5	202	8,25	209	0,5	862,125	104,5	61,11	0,94	0,51	0,56
	9	188	8,75	195	0,5	853,125	97,5	6,83	1,00	0,48	0,59
	9,5	176	9,25	182	0,5	841,75	91	5,04	1,05	0,45	0,61
	10	166	9,75	171	0,5	833,625	85,5	46,22	1,11	0,42	0,64
	10,5	154	10,25	160	0,5	820	80	122,07	1,16	0,39	0,66
	11	148	10,75	151	0,5	811,625	75,5	227,34	1,22	0,38	0,68
	11,5	140	11,25	144	0,5	810	72	359,74	1,28	0,36	0,70
	12	128	11,75	134	0,5	787,25	67	501,27	1,33	0,33	0,72
	12,5	120	12,25	124	0,5	759,5	62	648,95	1,39	0,31	0,74
	13	116	12,75	118	0,5	752,25	59	823,18	1,44	0,30	0,76
	13,5	110	13,25	113	0,5	748,625	56,5	1013,47	1,50	0,28	0,77
	14	104	13,75	107	0,5	735,625	53,5	1199,62	1,55	0,26	0,79
	14,5	102	14,25	103	0,5	733,875	51,5	1411,51	1,61	0,26	0,80
	15	98	14,75	100	0,5	737,5	50	1644,67	1,66	0,25	0,82
	15,5	96	15,25	97	0,5	739,625	48,5	1885,61	1,72	0,24	0,83
	16	94	15,75	95	0,5	748,125	47,5	2154,78	1,77	0,24	0,84
	16,5	92	16,25	93	0,5	755,625	46,5	2434,23	1,83	0,23	0,86
	18	88	17,25	90	1,5	2328,75	135	9155,65	2,00	0,22	0,89
	19	80	18,5	84	1	1554	84	7557,51	2,11	0,20	0,92
	20	82	19,5	81	1	1579,5	81	8905,21	2,22	0,21	0,94
	21	70	20,5	76	1	1558	76	10025,27	2,33	0,18	0,96
	22	66	21,5	68	1	1462	68	10599,97	2,44	0,17	0,98
	23	66	22,5	66	1	1485	66	12002,26	2,55	0,17	1
<b>Soma</b>						31898,6	3538,50	116444,70			

Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 15– Análise de dados do traçador para determinar o comportamento hidrodinâmico do PFA, Ensaio 2.

$\tau$ (min)	t (min)	C(t) ( $\mu\text{S/cm}$ )	$t_k$ (mi n)	$C_k$ ( $\mu\text{S/cm}$ )	$\Delta t_k$ (min)	$C_k t_k \Delta t_k$ ( $\mu\text{S}\cdot\text{min}^2/\text{cm}$ )	$C_k \Delta t_k$ ( $\mu\text{S}\cdot\text{min}/\text{cm}$ )	$C_k(t_k - t_m)^2 \Delta t_k$ ( $\mu\text{S}\cdot\text{min}^3/\text{cm}$ )	$\theta$	$E\theta$	$F\theta$
9,19	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0
	0,5	60	0,25	60	0,5	7,5	30	2348,6	0,1	0,2	0,01
$t_m$ (min)	1	60	0,75	60	0,5	22,5	30	2090,7	0,1	0,2	0,02
	1,5	70	1,25	65	0,5	40,625	32,5	2001,7	0,2	0,2	0,03
9,10	2	116	1,75	93	0,5	81,375	46,5	2510,7	0,2	0,3	0,04
	2,5	260	2,25	188	0,5	211,5	94	4408,2	0,3	0,7	0,07
$\sigma^2_i$ (min <sup>2</sup> )	3	320	2,75	290	0,5	398,75	145	5843,2	0,3	0,8	0,11
	3,5	340	3,25	330	0,5	536,25	165	5643,0	0,4	0,9	0,15
0,40	4	356	3,75	348	0,5	652,5	174	4976,7	0,4	0,9	0,20
	4,5	354	4,25	355	0,5	754,375	177,5	4171,9	0,5	0,9	0,25
	5	336	4,75	345	0,5	819,375	172,5	3261,2	0,5	0,9	0,30
	5,5	316	5,25	326	0,5	855,75	163	2413,6	0,6	0,8	0,35
	6	300	5,75	308	0,5	885,5	154	1726,3	0,7	0,8	0,39
	6,5	268	6,25	284	0,5	887,5	142	1151,8	0,7	0,7	0,43
	7	240	6,75	254	0,5	857,25	127	700,2	0,8	0,6	0,47
	7,5	236	7,25	238	0,5	862,75	119	406,4	0,8	0,6	0,50
	8	226	7,75	231	0,5	895,125	115,5	209,9	0,9	0,6	0,53
	8,5	200	8,25	213	0,5	878,625	106,5	76,6	0,9	0,5	0,56
	9	176	8,75	188	0,5	822,5	94	11,4	1,0	0,5	0,59
	9,5	166	9,25	171	0,5	790,875	85,5	2,0	1,0	0,4	0,62
	10	162	9,75	164	0,5	799,5	82	34,9	1,1	0,4	0,64
	10,5	146	10,25	154	0,5	789,25	77	102,2	1,2	0,4	0,66
	11	140	10,75	143	0,5	768,625	71,5	195,1	1,2	0,4	0,68
	11,5	130	11,25	135	0,5	759,375	67,5	312,6	1,3	0,3	0,70
	12	120	11,75	125	0,5	734,375	62,5	439,5	1,3	0,3	0,72
	12,5	114	12,25	117	0,5	716,625	58,5	581,2	1,4	0,3	0,73
	13	110	12,75	112	0,5	714	56	746,9	1,4	0,3	0,75
	13,5	100	13,25	105	0,5	695,625	52,5	905,0	1,5	0,3	0,77
	14	106	13,75	103	0,5	708,125	51,5	1114,5	1,5	0,3	0,78
	14,5	100	14,25	103	0,5	733,875	51,5	1366,9	1,6	0,3	0,79
	15	98	14,75	99	0,5	730,125	49,5	1581,2	1,6	0,3	0,81
	15,5	98	15,25	98	0,5	747,25	49	1854,5	1,7	0,3	0,82
	16	94	15,75	96	0,5	756	48	2123,9	1,8	0,2	0,84
	16,5	92	16,25	93	0,5	755,62	46,5	2378,5	1,8	0,2	0,85
	18	90	17,25	91	1,5	2354,62	136,5	9071,0	2,0	0,2	0,89
	19	82	18,5	86	1	1591	86	7602,1	2,1	0,2	0,91
	20	80	19,5	81	1	1579,5	81	8764,2	2,2	0,2	0,94
	21	78	20,5	79	1	1619,5	79	10270,3	2,3	0,2	0,96
	22	76	21,5	77	1	1655,5	77	11843,2	2,4	0,2	0,98
	23	70	22,5	73	1	1642,5	73	13111,7	2,5	0,2	1
<b>Soma</b>						32111,6	3529,50	118353			

Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 16 – Análise de dados do traçador para determinar o comportamento hidrodinâmico do RRS, Ensaio 1.

$\tau$ (min)	$t_i$ (s)	$t$ (min)	$C(t)$ ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	$t_k$ (min)	$C_k$ ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	$\Delta t_k$ (min)	$C_k t_k \Delta t_k$ ( $\mu\text{S} \cdot \text{min}^2/\text{cm}$ )	$C_k \Delta t_k$ ( $\mu\text{S} \cdot \text{min}/\text{cm}$ )	$C_k(t_k - t_m)^2 \Delta t_k$ ( $\mu\text{S} \cdot \text{min}^3/\text{cm}$ )	$\theta$	$1 E\theta$	$F\theta$
32,26	0	0	72	0	0	0	0	0	0	0	0,2034	0
	30	0,5	64	0,25	68	0,5	8,5	34	38436,6932	0,0148	0,1808	0,0028
$t_m$ (min)	60	1	88	0,75	76	0,5	28,5	38	41690,4916	0,0295	0,2486	0,0060
	90	1,5	92	1,25	90	0,5	56,25	45	47891,0442	0,0443	0,2599	0,0098
33,87	120	2	110	1,75	101	0,5	88,375	50,5	52109,5689	0,0590	0,3107	0,0140
	150	2,5	155	2,25	132,5	0,5	149,0625	66,25	66249,9918	0,0738	0,4378	0,0195
$\sigma_t^2$ (min <sup>2</sup> )	180	3	150	2,75	152,5	0,5	209,6875	76,25	73857,8165	0,0886	0,4237	0,0258
	210	3,5	146	3,25	148	0,5	240,5	74	69393,8202	0,1033	0,4124	0,0320
0,38	240	4	152	3,75	149	0,5	279,375	74,5	67599,9257	0,1181	0,4293	0,0382
	300	5	180	4,5	166	1	747	166	143218,1419	0,1476	0,5084	0,0521
	360	6	200	5,5	190	1	1045	190	152952,7249	0,1771	0,5649	0,0679
	420	7	202	6,5	201	1	1306,5	201	150603,0272	0,2067	0,5705	0,0847
	480	8	208	7,5	205	1	1537,5	205	142582,2648	0,2362	0,5875	0,1018
	540	9	218	8,5	213	1	1810,5	213	137124,6487	0,2657	0,6157	0,1195
	600	10	220	9,5	219	1	2080,5	219	130093,0396	0,2952	0,6214	0,1378
	840	14	216	12	218	4	10464	872	417180,7322	0,4133	0,6101	0,2105
	1080	18	224	16	220	4	14080	880	281103,7449	0,5314	0,6327	0,2839
	1320	22	216	20	220	4	17600	880	169359,4113	0,6495	0,6101	0,3573
	1800	30	186	26	201	8	41808	1608	99664,7738	0,8857	0,5254	0,4913
	1920	32	178	31	182	2	11284	364	3004,0316	0,9447	0,5028	0,5217
	2400	40	156	36	167	8	48096	1336	6045,5171	1,1809	0,4406	0,6331
	3000	50	130	45	143	10	64350	1430	177055,6559	1,4761	0,3672	0,7523
	3600	60	110	55	120	10	66000	1200	535631,5811	1,7713	0,3107	0,8524
	4200	70	86	65	98	10	63700	980	949526,0748	2,0666	0,2429	0,9341
4800	80	72	75	79	10	59250	790	1336244,4453	2,3618	0,2034	1,0000	
<b>Soma</b>							406219,25	11992,50	5288619,17			

Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 17 – Análise de dados do traçador para determinar o comportamento hidrodinâmico do RRS, Ensaio 2.

$\tau$ (min)	$t_i$ (s)	$t$ (min)	$C(t)$ ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	$t_k$ (min)	$C_k$ ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	$\Delta t_k$ (min)	$C_k t_k \Delta t_k$ ( $\mu\text{S}\cdot\text{min}^2/\text{cm}$ )	$C_k \Delta t_k$ ( $\mu\text{S}\cdot\text{min}/\text{cm}$ )	$C_k(t_k - t_m)^2 \cdot \Delta t_k$ ( $\mu\text{S}\cdot\text{min}^3/\text{cm}$ )	$\theta$	$E\theta$	$F\theta$
32,26	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0,1715	0
	30	0,5	64	0,25	62	0,5	7,75	31	31164,4971	0,0156	0,1830	0,0028
$t_m$ (min)	60	1	88	0,75	76	0,5	28,5	38	37006,2921	0,0313	0,2516	0,0062
	90	1,5	96	1,25	92	0,5	57,5	46	43373,0883	0,0469	0,2745	0,0103
31,96	120	2	118	1,75	107	0,5	93,625	53,5	48815,3612	0,0626	0,3373	0,0151
	150	2,5	150	2,25	134	0,5	150,75	67	59126,1661	0,0782	0,4288	0,0211
$\sigma_i^2$ (min <sup>2</sup> )	180	3	166	2,75	158	0,5	217,25	79	67388,8585	0,0939	0,4746	0,0281
	210	3,5	178	3,25	172	0,5	279,5	86	70869,7584	0,1095	0,5089	0,0358
0,41	240	4	180	3,75	179	0,5	335,625	89,5	71207,1301	0,1252	0,5146	0,0438
	300	5	190	4,5	185	1	832,5	185	139464,6628	0,1565	0,5432	0,0604
	360	6	208	5,5	199	1	1094,5	199	139290,0320	0,1878	0,5946	0,0782
	420	7	206	6,5	207	1	1345,5	207	134143,6127	0,2190	0,5889	0,0967
	480	8	214	7,5	210	1	1575	210	125605,9651	0,2503	0,6118	0,1155
	540	9	220	8,5	217	1	1844,5	217	119395,6808	0,2816	0,6290	0,1349
	600	10	220	9,5	220	1	2090	220	110945,4231	0,3129	0,6290	0,1546
	840	14	226	12	223	4	10704	892	355251,9744	0,4381	0,6461	0,2344
	1080	18	220	16	223	4	14272	892	227113,9160	0,5633	0,6290	0,3142
	1320	22	212	20	216	4	17280	864	123516,9922	0,6884	0,6061	0,3915
	1800	30	182	26	197	8	40976	1576	55917,5582	0,9388	0,5203	0,5325
	1920	32	172	31	177	2	10974	354	323,9169	1,0014	0,4917	0,5641
	2400	40	136	36	154	8	44352	1232	20142,4050	1,2517	0,3888	0,6744
	3000	50	110	45	123	10	55350	1230	209261,3247	1,5646	0,3145	0,7844
	3600	60	86	55	98	10	53900	980	520379,8323	1,8775	0,2459	0,8721
	4200	70	70	65	78	10	50700	780	851657,4296	2,1905	0,2001	0,9419
	4800	80	60	75	65	10	48750	650	1204279,1605	2,5034	0,1715	1
<b>Soma</b>							357210,50	11178,00	4765641,04			

Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 18 – Análise de dados do traçador para determinar o comportamento hidrodinâmico do FLR, Ensaio 1.

$\tau$ (min)	$t_i$ (s)	$t$ (min)	Ensaio 1 C(t) ( $\mu\text{S/cm}$ )	$t_k$ (min)	$C_k$ ( $\mu\text{S/cm}$ )	$\Delta t_k$ (min)	$C_k t_k \Delta t_k$ ( $\mu\text{S}\cdot\text{min}^2/\text{cm}$ )	$C_k \Delta t_k$ ( $\mu\text{S}\cdot\text{min}/\text{cm}$ )	$C_k(t_k - t_m)^2 \cdot \Delta t_k$ ( $\mu\text{S}\cdot\text{min}^3/\text{cm}$ )	$\theta$	Ensaio 1 E $\theta$	Ensaio 1 F $\theta$
9,08	0	0	66	0	0	0	0	0	0	0	0,08	0
	60	1	68	0,5	67	1	33,5	67,0	6686,39	0,10	0,08	0,01
$t_m$ (min)	120	2	120	1,5	94	1	141	94,0	7596,82	0,19	0,15	0,02
	180	3	748	2,5	434	1	1085	434,0	27705,50	0,29	0,91	0,07
10,49	240	4	988	3,5	868	1	3038	868,0	42408,63	0,38	1,20	0,17
	300	5	928	4,5	958	1	4311	958,0	34371,31	0,48	1,12	0,28
$\sigma^2_t$ (min <sup>2</sup> )	360	6	776	5,5	852	1	4686	852,0	21213,53	0,57	0,94	0,38
	420	7	674	6,5	725	1	4712,5	725,0	11541,15	0,67	0,82	0,46
0,59	480	8	600	7,5	637	1	4777,5	637,0	5694,24	0,76	0,73	0,54
	540	9	486	8,5	543	1	4615,5	543,0	2149,99	0,86	0,59	0,60
	600	10	352	9,5	419	1	3980,5	419,0	410,53	0,95	0,43	0,65
	660	11	274	10,5	313	1	3286,5	313,0	0,03	1,05	0,33	0,68
	720	12	228	11,5	251	1	2886,5	251,0	256,13	1,14	0,28	0,71
	780	13	196	12,5	212	1	2650	212,0	856,64	1,24	0,24	0,74
	840	14	176	13,5	186	1	2511	186,0	1685,36	1,33	0,21	0,76
	900	15	160	14,5	168	1	2436	168,0	2701,67	1,43	0,19	0,78
	1050	17,5	130	16,25	145	2,5	5890,625	362,5	12027,55	1,67	0,16	0,82
	1200	20	114	18,75	122	2,5	5718,75	305,0	20810,22	1,91	0,14	0,85
	1350	22,5	98	21,25	106	2,5	5631,25	265,0	30681,97	2,14	0,12	0,88
	1500	25	90	23,75	94	2,5	5581,25	235,0	41320,48	2,38	0,11	0,91
	1650	27,5	82	26,25	86	2,5	5643,75	215,0	53402,26	2,62	0,10	0,94
	1800	30	70	28,75	76	2,5	5462,5	190,0	63352,35	2,86	0,08	0,96
	1950	32,5	74	31,25	72	2,5	5625	180,0	77577,16	3,10	0,09	0,98
	2100	35	72	33,75	73	2,5	6159,375	182,5	98738,9	3,34	0,09	1
							<b>Soma</b>	<b>90863,00</b>	<b>8662,00</b>	<b>563188,79</b>		

Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 19 – Análise de dados do traçador para determinar o comportamento hidrodinâmico do FLR, Ensaio 2.

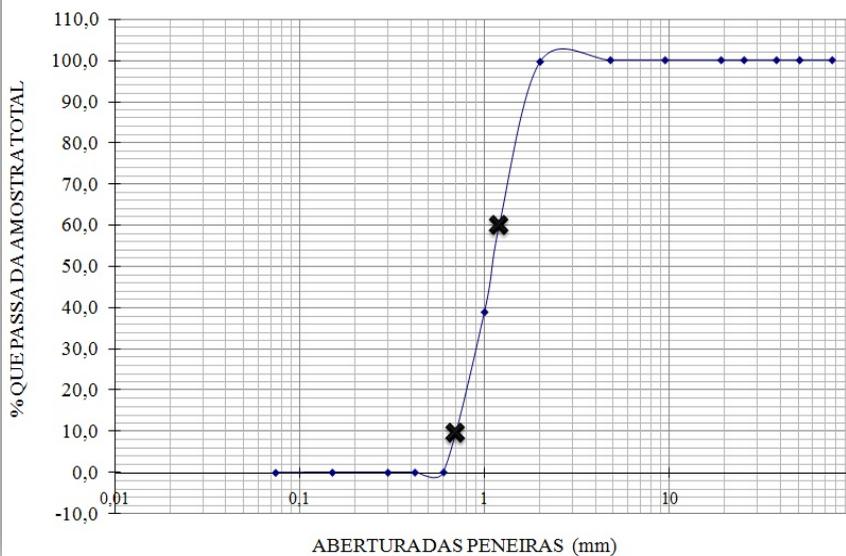
$\tau$ (min)	$t_i$ (s)	$t$ (min)	Ensaio 2 C(t) ( $\mu\text{S/cm}$ )	$t_k$ (min)	$C_k$ ( $\mu\text{S/cm}$ )	$\Delta t_k$ (min)	$C_k t_k \Delta t_k$ ( $\mu\text{S}\cdot\text{min}^2/\text{cm}$ )	$C_k \Delta t_k$ ( $\mu\text{S}\cdot\text{min}/\text{cm}$ )	$C_k(t_k - t_m)^2 \cdot \Delta t_k$ ( $\mu\text{S}\cdot\text{min}^3/\text{cm}$ )	$\theta$	Ensaio 2 E $\phi$	Ensaio 2 F $\theta$
9,08	0	0	72	0	0	0	0	0	0	0	0,08	0
	60	1	76	0,5	74	1	37	74,0	7034,71	0,10	0,09	0,01
$t_m$ (min)	120	2	96	1,5	111	1	166,5	111,0	8498,55	0,20	0,11	0,02
	180	3	146	2,5	423	1	1057,5	423,0	25406,80	0,29	0,17	0,07
10,25	240	4	700	3,5	800	1	2800	800,0	36450,60	0,39	0,80	0,16
	300	5	900	4,5	935	1	4207,5	935,0	30914,03	0,49	1,02	0,26
$\sigma^2_t$ (min <sup>2</sup> )	360	6	970	5,5	934	1	5137	934,0	21073,87	0,59	1,10	0,36
	420	7	898	6,5	847	1	5505,5	847,0	11911,29	0,68	1,02	0,46
0,55	480	8	796	7,5	738	1	5535	738,0	5581,35	0,78	0,91	0,54
	540	9	680	8,5	610	1	5185	610,0	1868,24	0,88	0,77	0,61
	600	10	540	9,5	463	1	4398,5	463,0	260,48	0,98	0,61	0,66
	660	11	386	10,5	333	1	3496,5	333,0	20,80	1,07	0,44	0,70
	720	12	280	11,5	258	1	2967	258,0	403,09	1,17	0,32	0,73
	780	13	236	12,5	213	1	2662,5	213,0	1078,26	1,27	0,27	0,75
	840	14	190	13,5	186	1	2511	186,0	1964,56	1,37	0,22	0,77
	900	15	182	14,5	168	1	2436	168,0	3034,42	1,46	0,21	0,79
	1050	17,5	154	16,25	146	2,5	5931,25	365,0	13139,76	1,71	0,18	0,83
	1200	20	138	18,75	128	2,5	6000	320,0	23119,70	1,95	0,16	0,86
	1350	22,5	118	21,25	109	2,5	5790,625	272,5	32972,17	2,20	0,13	0,89
	1500	25	100	23,75	98	2,5	5818,75	245,0	44650,88	2,44	0,11	0,92
	1650	27,5	96	26,25	91	2,5	5971,875	227,5	58239,60	2,68	0,11	0,95
	1800	30	86	28,75	81	2,5	5821,875	202,5	69305,21	2,93	0,10	0,97
	1950	32,5	76	31,25	74	2,5	5781,25	185,0	81584,57	3,17	0,09	0,99
	2100	35	72	33,75	36	2,5	3037,5	90,0	49702,27	3,41	0,08	1
							<b>Soma</b>	<b>92255,63</b>	<b>9000,50</b>	<b>528215,19</b>		

Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 20 – Análise e curva granulométrica da areia média, utilizada no FLR.

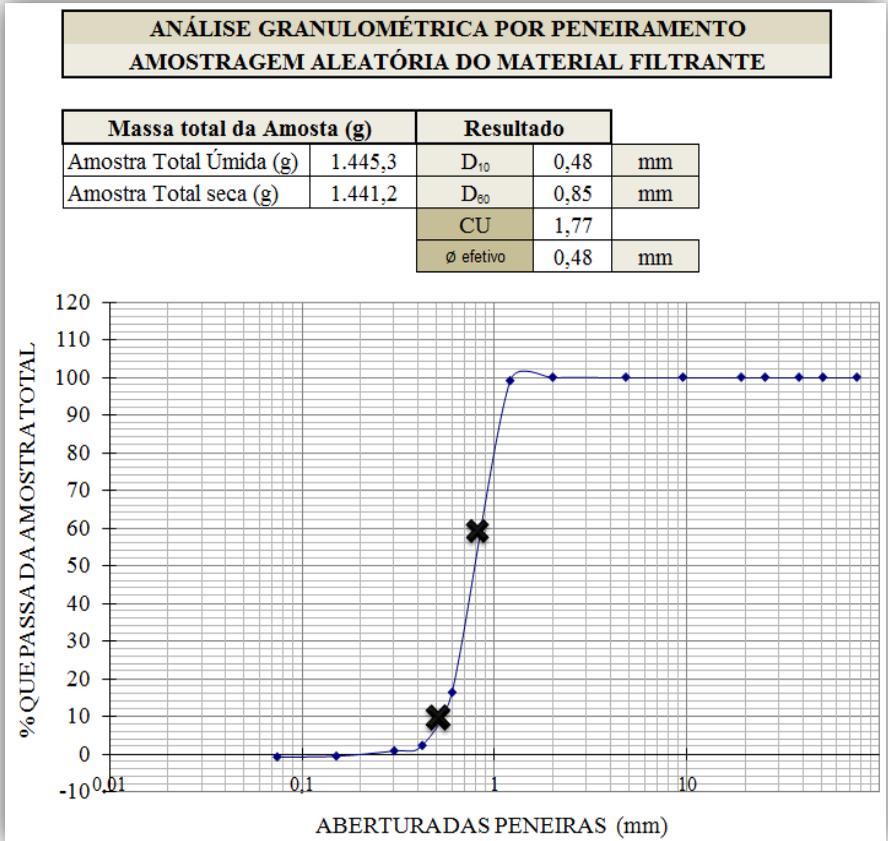
**ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO  
AMOSTRAGEM ALEATÓRIA DO MATERIAL FILTRANTE**

Massa total da Amosta (g)		Resultado		
Amostra Total Úmida (g)	752,7	D <sub>10</sub>	0,65	mm
Amostra Total seca (g)	750,1	D <sub>60</sub>	1,1	mm
		CU	1,69	
		Ø efetivo	0,65	mm



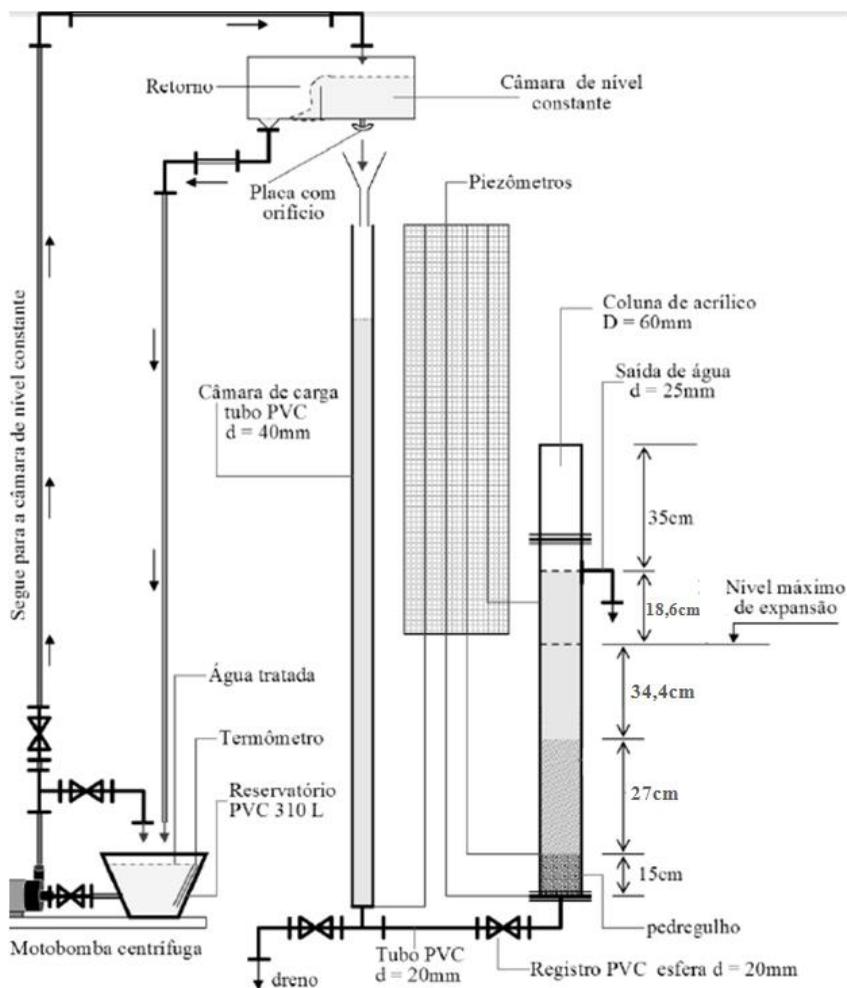
Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 21 – Análise e curva granulométrica da areia fina, utilizada no FLR.



Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 22 - Esquema do sistema para ensaio de expansão do meio filtrante no LALP.



Fonte: Adaptado de Emmendoerfer, (2006) e De Souza, (2015).

Apêndice 23 – Coleta de dados no ensaio de expansão, realizado no Laboratório da Lagora do Peri.

Leituras	Vazão 1 (L/s)	Perda de Carga com piezômetro (cm)	Altura expansão (cm)	(%) expansão	Ø orifício de saída (mm)
1	0,011	12,8	0	0	2,5
2	0,011	11			
3	0,011	9,7			
4	0,010	10,2			
5	0,010	9,9			
<b>Média</b>	0,011	9,93			
Leituras	Vazão 2 (L/s)	Perda de Carga (piezômetro) cm	Altura expansão (cm)	(%) expansão	Ø orifício de saída (mm)
1	0,013	12,3	0	0	3
2	0,013	13,8			
3	0,013	12,7			
4	0,014	12,8			
5	0,013	12,7			
<b>Média</b>	0,013	12,73	0,00	0,00	
Leituras	Vazão 3 (L/s)	Perda de Carga (piezômetro) cm	Altura expansão (cm)	(%) expansão	Ø orifício de saída (mm)
1	0,037	20	2	7,41	5,5
2	0,037	22,4	2,8	10,37	
3	0,036	22	2,5	9,26	
4	0,036	22,1	2,6	9,63	
5	0,037	22	2,7	10	
<b>Média</b>	0,037	21,00	2,52	9,33	
Leituras	Vazão 4 (L/s)	Perda de Carga (piezômetro) cm	Altura expansão (cm)	(%) expansão	Ø orifício de saída (mm)
1	0,060	21,3	7,9	29,26	6
2	0,060	24	7,8	28,89	
3	0,059	22,3	7	25,93	
4	0,059	23	7,5	27,78	
5	0,059	22,4	7,5	27,78	
<b>Média</b>	0,060	22,93	7,54	27,93	
Leituras	Vazão 5 (L/s)	Perda de Carga (piezômetro) cm	Altura expansão (cm)	(%) expansão	Ø orifício de saída (mm)
1	0,110	24,8	22,5	83,33	6,5
2	0,109	24,5	22,7	84,07	
3	0,108	24,5	22	81,48	
4	0,105	24,3	21	77,78	
5	0,105	24,4	21,5	79,63	
<b>Média</b>	0,107	24,40	21,94	81,26	
Leituras	Vazão 6 (L/s)	Perda de Carga (piezômetro) cm	Altura expansão (cm)	(%) expansão	Ø orifício de saída (mm)
1	0,142	28,5	35	129,63	8
2	0,139	27,6	35	129,63	
3	0,141	25,5	34	125,93	
4	0,137	24,2	34	125,93	
5	0,137	24,2	34	125,93	
<b>Média</b>	0,139	24,63	34,4	127,41	

Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 24 –a) Retrolavagem do FLR; b) Limpeza do RF, mesma forma de limpeza do RRS; c) Limpeza do CX; d) Descarga de fundo do PFA; e) Tubos falcon, coletas de amostras após a retrolavagem do FLR. Procedimentos realizados na propriedade L3.



Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 25– Evidências de percalços e danos em L2, que interferiram no estudo da carreira e limpeza do sistema.



Fonte: desenvolvido pela autora.

Apêndice 26 – Capa do Manual didático para utilização dos proprietários rurais, sobre os sistema de tratamento de água.

# **TRATAMENTO DE ÁGUA PARA LOCALIDADES RURAIS USANDO FILTRAÇÃO LENTA**

## **MANUAL**

COMO UTILIZAR MEU  
SISTEMA DE TRATAMENTO  
DE ÁGUA



Fonte: desenvolvido pela autora.