

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**SELEÇÃO DE SOLUÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA
EM COMUNIDADES RURAIS BRASILEIRAS: ESTUDOS DE
CASO NO DISTRITO FEDERAL**

VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO

ORIENTADORA: YOVANKA PÉREZ GINORIS

CO-ORIENTADOR: RICARDO TEZINI MINOTI

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS**

BRASÍLIA/DF: 04 DE MARÇO DE 2026

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**SELEÇÃO DE SOLUÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM
COMUNIDADES RURAIS BRASILEIRAS: ESTUDOS DE CASO NO
DISTRITO FEDERAL**

VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS.**

APROVADA POR:

**Prof. Yovanka Pérez Ginoris, DSc (ENC-UnB)
(Orientadora)**

**Prof. Ricardo Tezini Minoti, DSc (ENC-UnB)
(Co-orientador)**

**Prof. Elaine Nolasco Ribeiro, DSc (UnB Planaltina)
(Examinadora Interna)**

**Prof. Paulo Sérgio Scalize, DSc (UFG)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, 04 DE MARÇO DE 2026

FICHA CATALOGRÁFICA

ARAUJO, VICTOR HENRIQUE DE SOUZA

Seleção de soluções de abastecimento de água em comunidades rurais brasileiras: estudos de caso no Distrito Federal. [Distrito Federal] 2026.

234 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2026).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Saneamento rural

2. Abastecimento de água

3. Diagnóstico Participativo

4. Soluções tecnológicas

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAUJO., V. H. S. (2026). Seleção de soluções de abastecimento de água em comunidades rurais brasileiras: estudos de caso no Distrito Federal. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 234 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Victor Henrique de Souza Araujo.

TÍTULO: Seleção de soluções de abastecimento de água em comunidades rurais brasileiras: estudos de caso no Distrito Federal. GRAU: Mestre ANO: 2026

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Victor Henrique de Souza Araujo
victorhsa9@gmail.com

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu Criador, Salvador e Amigo, obrigado por me sustentar nos momentos mais desafiantes e por me dar este estudo como uma missão.

Aos meus pais, Sérgio e Éliida, por sempre investirem na minha educação e por serem um apoio constante para que eu sempre busque coisas maiores. Ao meu irmão, Vinícius, por ser um parceiro de vida.

Ao meu amor, Laura, obrigado por ter sido um refúgio e um impulso durante todo esse processo. Agradeço também por toda a compreensão neste tempo, sem você, com certeza, seria mais complicado chegar até aqui.

De forma especial, agradeço à professora Yovanka Pérez Ginoris. Sua dedicação, amor pelo que faz e acolhimento a tornaram muito mais que uma orientadora. Obrigado por, muito mais que os conteúdos, me ensinar sobre a vida.

Minha gratidão também ao professor Ricardo Tezini Minoti por sua coorientação e ser uma inspiração no desejo pela promoção da saúde pelo saneamento. E aos professores Ricardo Silveira Bernardes e Ariuska Karla Amorim, por terem me apresentado e me motivado a seguir o caminho do saneamento rural.

Agradeço aos meus colegas do PTARH, de forma especial a Bianca, Felipe, Isabella, Márcio e Thiago, pelo companheirismo e auxílio durante a realização da pesquisa. Vocês foram essenciais em todo o processo.

Ao, agora amigo, Antônio Cândido Ribeiro, o Boy, muito obrigado. Sua disponibilidade e seu auxílio foram fundamentais para que eu realizasse a pesquisa de campo.

À CAPES, a gratidão pelo apoio financeiro que possibilitou minha dedicação exclusiva à pesquisa durante este tempo. À FAP pelo apoio financeiro para realização deste estudo.

Por fim, agradeço imensamente aos integrantes das comunidades Ecovila Terra Sublime e Assentamento Pequeno William por abrirem suas portas, possibilitando a realização deste estudo. Fico feliz por ter colaborado, mesmo que um pouco, com o aumento do vosso interesse pelo saneamento e sua importância para a saúde.

RESUMO

SELEÇÃO DE SOLUÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS BRASILEIRAS: ESTUDOS DE CASO NO DISTRITO FEDERAL

O direito humano à água, estabelecido pela Organização Mundial da Saúde (OMS), garante a todas as pessoas acesso à água suficiente, segura e fisicamente acessível para usos pessoais e domésticos. No Brasil, a garantia desse direito nas zonas rurais é um dos maiores desafios para alcançar a meta de universalização do serviço até 2033. Nesse contexto, este buscou selecionar soluções de abastecimento de água para consumo humano nas comunidades Ecovila Terra Sublime e no Assentamento Pequeno William, localizadas no Distrito Federal, considerando aspectos ambientais, socioeconômicos, culturais e demográficos. A abordagem baseou-se em um diagnóstico participativo, que envolveu entrevistas semiestruturadas, monitoramento da qualidade da água e caracterização ambiental. Além disso, aplicou-se a Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) e definiram-se critérios técnicos, culturais e de sustentabilidade ambiental para balizar as tecnologias de tratamento recomendadas nas matrizes do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR). A partir dos diagnósticos, soluções viáveis foram apresentadas aos moradores, e a seleção final ocorreu de forma conjunta com a população, por meio de matrizes de priorização de critérios e grupos focais. Os resultados revelaram que a água das fontes de ambas as comunidades não atende ao padrão de potabilidade da Portaria GM/MS nº 888/21. No Assentamento, a percepção de qualidade esteve majoritariamente ligada a parâmetros organolépticos, com identificação de possíveis rotas de contaminação dos poços por efluentes. Já na Ecovila, notou-se resistência ao uso de produtos químicos e provável contaminação do córrego por fezes de animais silvestres. A AQRM indicou probabilidade de infecção diária e carga de doenças superiores aos limites recomendados pela EPA e OMS na Ecovila e em quatro dos seis domicílios avaliados no Assentamento, confirmando a urgência da instalação de sistemas de tratamento. Como desfecho, a comunidade da Ecovila selecionou a Filtração em Múltiplas Etapas; no Assentamento, a Filtração Lenta Domiciliar foi escolhida pelos domicílios 1 e 3, enquanto o domicílio 4 optou por um sistema com Aeração, Decantação e Filtração. Conclui-se que as etapas incluídas neste estudo se mostraram promissoras para a seleção de tecnologias de abastecimento nas comunidades rurais estudadas, por alinharem-se ao PNSR, incorporando não apenas os critérios técnicos, mas também os aspectos ambientais, socioeconômicos, culturais e demográficos, a favor da sustentabilidade das soluções tecnológicas nas áreas rurais brasileiras.

Palavras-chave: Saneamento rural; Abastecimento de água; Diagnóstico participativo; Soluções tecnológicas.

ABSTRACT

SELECTION OF WATER SUPPLY SOLUTIONS IN BRAZILIAN RURAL COMMUNITIES: CASE STUDIES IN THE FEDERAL DISTRICT

The human right to water, as established by the World Health Organization (WHO), guarantees all people access to sufficient, safe, and physically accessible water for personal and domestic use. In Brazil, ensuring this right in rural areas is one of the greatest challenges to achieving the goal of universal access to water services by 2033. In this context, this study sought to select water supply solutions for human consumption in the Ecovillage Terra Sublime and Pequeno William communities, located in the Federal District, taking into account environmental, socioeconomic, cultural, and demographic aspects. The approach was based on a participatory assessment, which involved semi-structured interviews, water quality monitoring, and environmental characterization. In addition, the Quantitative Microbiological Risk Assessment (QMRA) was applied, and technical, cultural, and environmental sustainability criteria were defined to guide the treatment technologies recommended in the matrices of the National Rural Sanitation Program (PNSR). Based on the assessments, viable solutions were presented to the residents, and the final selection was made jointly with the community through criteria prioritization matrices and focus groups. The results revealed that the water from the springs in both communities does not meet the potability standards of Ordinance GM/MS No. 888/21. In the Settlement, the perception of quality was mostly linked to organoleptic parameters, with the identification of possible routes of contamination of the wells by effluents. In the Ecovillage, however, there was resistance to the use of chemicals and likely contamination of the stream by wild animal feces. The QRMA indicated a probability of daily infection and disease burden exceeding the limits recommended by the EPA and WHO in the Ecovillage and in four of the six households assessed in the Settlement, confirming the urgency of installing treatment systems. As a result, the Ecovillage community selected Multi-Stage Filtration; in the Settlement, Household Slow Filtration was chosen by households 1 and 3, while household 4 opted for a system with Aeration, Decantation, and Filtration. It is concluded that the steps included in this study proved promising for the selection of water supply technologies in the rural communities studied, as they align with the PNSR, incorporating not only technical criteria but also environmental, socioeconomic, cultural, and demographic aspects, in favor of the sustainability of technological solutions in rural areas of Brazil.

Keywords: Rural sanitation; Water supply; Participatory diagnosis; Technological solutions

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. OBJETIVO GERAL	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1. O RURAL E O SANEAMENTO NO BRASIL	5
3.1.1. Dinâmicas do rural no Brasil.....	5
3.1.2. Saneamento básico como um direito	7
3.1.3. Panorama do saneamento básico nas áreas rurais do Brasil.....	8
3.1.4. O abastecimento de água nas diferentes ruralidades.....	11
3.2. SOLUÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS.....	13
3.2.1. Experiências de soluções tecnológicas de tratamento de água em áreas rurais.....	13
3.2.2. Programas desenvolvidos no âmbito nacional.....	24
3.2.3. Matriz tecnológica do Programa Nacional de Saneamento Rural	28
3.2.3.1. Filtração Lenta Convencional.....	32
3.2.3.2. Filtração lenta domiciliar	33
3.2.3.3. Filtração em Múltiplas Etapas (FIME)	34
3.2.3.4. Tratamento Convencional	35
3.2.3.5. Tratamento convencional em batelada.....	36
3.2.3.6. Filtração em Margem.....	37
3.2.3.7. Separação em Membranas.....	37
3.2.3.8. Desinfecção	38
3.2.3.9. Dessalinização Solar	40
3.3. DIAGNÓSTICOS DE SANEAMENTO EM COMUNIDADES RURAIS	42
3.4. AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO	49
3.5. METODOLOGIAS PARTICIPATIVAS	54
3.5.1. Entrevistas Semiestruturadas.....	54
3.5.2. Observações	55
3.5.3. Grupos Focais.....	56
4. METODOLOGIA.....	59
4.1. ETAPA 1: DEFINIÇÃO DAS COMUNIDADES.....	61
4.2. ETAPA 2: SUBMISSÃO AO COMITÊ DE ÉTICA.....	62
4.3. ETAPA 3: DIAGNÓSTICO DAS COMUNIDADES	63
4.3.1. Entrevistas Semiestruturadas.....	63
4.3.2. Monitoramento de Qualidade da água	66
4.3.3. Caracterização Ambiental	69

4.4.	ETAPA 4: AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO	70
4.5.	ETAPA 5: DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	72
4.6.	ETAPA 6: CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO PNSR	73
4.7.	ETAPA 7: PROPOSIÇÕES DAS SOLUÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	74
4.7.1.	Soluções tecnológicas de tratamento de água.....	74
4.7.2.	Ações complementares	74
4.8.	ETAPA 8: SELEÇÃO DE SOLUÇÃO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM PARTICIPAÇÃO DA COMUNIDADE.....	75
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	77
5.1.	DIAGNÓSTICO DA ECOVILA TERRA SUBLIME.....	77
5.1.1.	Entrevistas Semiestruturadas e Observações.....	82
5.1.2.	Monitoramento de qualidade da água.....	87
5.1.3.	Caracterização Ambiental	97
5.2.	DIAGNÓSTICO DO ASSENTAMENTO PEQUENO WILIAM.....	103
5.2.1.	Entrevistas Semiestruturadas e Observações.....	107
5.2.2.	Monitoramento da qualidade da água das fontes de abastecimento	111
5.2.3.	Caracterização Ambiental	119
5.3.	AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO	125
5.3.1.	Ecovila Terra Sublime	125
5.3.2.	Assentamento Pequeno William.....	126
5.4.	DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	128
5.5.	CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO PNSR ..	131
5.5.1.	Filtração Lenta convencional	132
5.5.2.	Filtração lenta domiciliar	133
5.5.3.	Filtração em Múltiplas Etapas (FIME)	135
5.5.4.	Tratamento Convencional	137
5.5.5.	Tratamento convencional em batelada.....	139
5.5.6.	Filtração em Margem.....	140
5.5.7.	Separação em Membranas.....	142
5.5.8.	Desinfecção	144
5.5.9.	Dessalinização Solar	150
5.6.	PROPOSIÇÃO DAS SOLUÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	152
5.6.1.	Ecovila Terra Sublime	152
5.6.2.	Assentamento Pequeno William.....	156
5.7.	SELEÇÃO DA SOLUÇÃO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM PARTICIPAÇÃO DAS COMUNIDADES	165
5.7.1.	Ecovila Terra Sublime	165

5.7.2.	Assentamento Pequeno William.....	170
5.7.2.1.	Domicílio 1.....	170
5.7.2.2.	Domicílio 3.....	174
5.7.2.3.	Domicílio 4.....	177
6.	LIMITAÇÕES.....	182
7.	CONCLUSÕES	183
8.	RECOMENDAÇÕES.....	184
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	185
10.	APÊNDICES.....	202
11.	ANEXOS.....	214

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Utilização de soluções alternativas para abastecimento de água (Brasil, 2025b).....	10
Tabela 3.2 - Experiências internacionais de soluções tecnológicas de tratamento de água em áreas rurais	13
Tabela 3.3 - Experiências de soluções tecnológicas de tratamento de água propostas para implantação em áreas rurais no Brasil.	16
Tabela 3.4 - Programas governamentais de abastecimento de água no Brasil	25
Tabela 3.5 - Recomendações para cloração doméstica (OMS, 2005).....	39
Tabela 3.6 - Diagnósticos internacionais de abastecimento de água em comunidades rurais	42
Tabela 3.7 - Diagnósticos de saneamento rural realizados em comunidades rurais brasileiras.....	44
Tabela 4.1 - Monitoramento dos parâmetros de qualidade.	67
Tabela 4.2 - Produtos cartográficos para caracterização ambiental.	69
Tabela 4.3 - Valores dos parâmetros adotados para a aplicação do indicador DALY.....	72
Tabela 5.1 - Opinião dos entrevistados sobre a qualidade da água consumida pela comunidade.	84
Tabela 5.2 - Análises pontuais das águas da nascente e caixa de distribuição da Ecovila.	96
Tabela 5.3 - Descrição das fontes de água, usos da água, capacidade de reservação e destinação das águas residuárias nos domicílios estudados.....	106
Tabela 5.4 - Principais atividades rotineiras dos moradores dos domicílios participantes da pesquisa no Assentamento Pequeno William.....	108
Tabela 5.5 - Comentários sobre qualidade da água dos domicílios coletados nas entrevistas no Assentamento Pequeno William.....	109
Tabela 5.6 - Níveis de ferro total na água do poço P4.	113
Tabela 5.7 - Probabilidades de infecção e carga anual de doença no córrego da Ecovila Terra Sublime.	126
Tabela 5.8 - Probabilidades de infecção e carga anual de doença nos domicílios do Assentamento Pequeno William.	127
Tabela 5.9 - Critérios e classes utilizados para caracterização das tecnologias da matriz tecnológica do PNSR.....	129
Tabela 5.10 - Caracterização da filtração lenta frente aos critérios de seleção de tecnologias.....	132
Tabela 5.11 - Pontos fortes e de atenção da filtração lenta coletiva	133
Tabela 5.12 - Caracterização da filtração lenta domiciliar frente aos critérios de seleção de tecnologias	134
Tabela 5.13 - Pontos fortes e de atenção da filtração lenta domiciliar.....	135
Tabela 5.14 - Caracterização da FiME frente aos critérios de seleção de tecnologias.....	136
Tabela 5.15 - Pontos fortes e de atenção da filtração em múltiplas etapas (FIME).	137

Tabela 5.16 - Caracterização do tratamento convencional frente aos critérios de seleção de tecnologias	138
Tabela 5.17 - Pontos fortes e de atenção do tratamento convencional.....	138
Tabela 5.18 - Caracterização do tratamento convencional em batelada frente aos critérios de seleção de tecnologias.....	139
Tabela 5.19 - Pontos fortes e de atenção do tratamento convencional por batelada.....	140
Tabela 5.20 - Caracterização da filtração em margem frente aos critérios de seleção de tecnologias .	141
Tabela 5.21 - Pontos fortes e de atenção da filtração em margem.....	142
Tabela 5.22 - Caracterização da separação em membranas frente aos critérios de seleção de tecnologias.	143
Tabela 5.23 - Pontos fortes e de atenção das tecnologias de separação por membranas.	144
Tabela 5.24 - Caracterização da desinfecção com cloro frente aos critérios de seleção de tecnologias.	145
Tabela 5.25 - Pontos fortes e de atenção da desinfecção com cloro.	146
Tabela 5.26 - Caracterização da desinfecção solar frente aos critérios de seleção de tecnologias.	147
Tabela 5.27 - Pontos fortes e de atenção da desinfecção solar.	148
Tabela 5.28 - Caracterização da desinfecção UV frente aos critérios de seleção de tecnologias.	149
Tabela 5.29 - Pontos fortes e de atenção da desinfecção UV.....	150
Tabela 5.30 - Caracterização da dessalinização solar frente aos critérios de seleção de tecnologias. .	150
Tabela 5.31 - Pontos fortes e de atenção da dessalinização solar.....	151
Tabela 5.32 - Resumo das soluções de abastecimento de água e ações complementares na Ecovila Terra Sublime	156
Tabela 5.33 - Resumo das soluções de abastecimento de água e ações complementares no Assentamento Pequeno William	164
Tabela 5.34 - Resultados da aplicação da matriz de priorização de critérios de seleção de tecnologia da Ecovila Terra Sublime	166
Tabela 5.35 - Percepções dos moradores coletadas durante a aplicação da metodologia de grupos focais	167
Tabela 5.36 - Ordem de prioridade dos critérios de seleção de tecnologias de tratamento de água estabelecida pelo morador do domicílio 1.....	171
Tabela 5.37 - Percepções do morador do domicílio 1 sobre as soluções de abastecimento propostas	173
Tabela 5.38 - Ordem de prioridade dos critérios de acordo com o morador do domicílio 3.	175
Tabela 5.39 - Percepções dos moradores do domicílio 3 sobre as soluções propostas	176
Tabela 5.40 - Ordem de prioridade dos critérios de acordo com o morador do domicílio 4.....	178
Tabela 5.41 - Percepções do morador do domicílio 4 sobre as soluções propostas.....	179

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Desenho esquemático dos setores censitários segundo o IBGE (IBGE, 2011 apud Brasil, 2019a)	6
Figura 3.2 - Reclassificação dos setores censitários no PNSR (Brasil, 2019a)	6
Figura 3.3 - Formas de abastecimento de água nos municípios rurais brasileiros (IBGE, 1992, 2001, 2011, 2023).....	9
Figura 3.4 - Presença de canalização interna nos domicílios rurais brasileiros (IBGE, 1992, 2001, 2011, 2023).....	9
Figura 3.5 - Índices de atendimento com rede de abastecimento de água (Brasil, 2025)	10
Figura 3.6 - Fontes de abastecimento de água por setor censitário rural (IBGE, 2011 apud Roland, 2019)	12
Figura 3.7 - Qualidade de atendimento com abastecimento de água por setor censitário rural (IBGE, 2011 apud Brasil, 2019a)	12
Figura 3.8 - Sistema instalado no Projeto Sanear Amazônia (FBB, 2015)	20
Figura 3.9 - Sistema Salta-z instalado em Manacapuru (AM) pela Secretaria de infraestrutura do estado do Amazonas.	21
Figura 3.10 - Clorador simplificado instalado na saída do poço (a) e na subida para o reservatório (b).	22
Figura 3.11 - Desinfecção solar SODIS.	23
Figura 3.12 - Desinfecção solar Aqualuz (Magalhães et al. 2022)	24
Figura 3.13 - Matriz tecnológica para soluções coletivas (Funasa, 2019).....	30
Figura 3.14 - Matriz tecnológica para soluções individuais (Funasa, 2019).....	31
Figura 4.1- Fluxograma metodológico da pesquisa.	60
Figura 4.2 - Fluxograma do roteiro utilizado nas entrevistas semiestruturadas.....	65
Figura 4.3 - Legenda gráficos box splot.....	68
Figura 5.1 - Localização da Ecovila Terra Sublime.....	77
Figura 5.2 - (a) DF-250 e (b) porteira de acesso à Ecovila Terra Sublime.....	78
Figura 5.3 - Casa coletiva da Ecovila Terra Sublime.....	78
Figura 5.4 - Exemplos de construções em superadobe na Ecovila Terra Sublime.	79
Figura 5.5 - Exemplos de vias no interior da Ecovila Terra Sublime.	79
Figura 5.6 - (a) Nascente e (b) Córrego utilizados como pontos de captação de água.....	80
Figura 5.7 - Lagoa formada por represamento de curso d'água no interior da Ecovila.	80
Figura 5.8 - Reservatórios de recepção (a), decantação e distribuição (b).....	81
Figura 5.9 - Esquema de parte da "rede hídrica" da Ecovila	81
Figura 5.10 - Localização espacial de parte da "rede hídrica" da Ecovila.....	82

Figura 5.11 - Número de moradores por domicílio (a) e renda média em salários-mínimos (SM) de cada domicílio (b) na Ecovila Terra Sublime.....	83
Figura 5.12 - Atividades rotineiras realizadas pelos integrantes da Ecovila Terra Sublime.	83
Figura 5.13 - Parâmetros relevantes da qualidade da água segundo a percepção dos entrevistados da Ecovila Terra Sublime.....	84
Figura 5.14 - Atividades que demandam água em cada domicílio.	86
Figura 5.15 - Turbidez na Ecovila nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b).....	87
Figura 5.16 - Córrego nos períodos de estiagem em 24/07/2024(a).....	88
Figura 5.17 - Cor aparente da água nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b) na Ecovila.	89
Figura 5.18 - Cor verdadeira da água nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b) na Ecovila.	90
Figura 5.19 - pH da água em todo o período de monitoramento na Ecovila.	90
Figura 5.20 - Condutividade elétrica na água da Ecovila nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b).....	91
Figura 5.21 - Sólidos dissolvidos totais nos períodos de estiagem (a) e chuva (b) na Ecovila.	91
Figura 5.22 - Dureza total da água nos pontos monitorados na Ecovila.	93
Figura 5.23 - Coliformes totais nos períodos de estiagem (a) e chuva (b) na Ecovila.	94
Figura 5.24 - E.coli nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b) na água da Ecovila.	95
Figura 5.25 - Tubulações de alimentação e saída na caixa de decantação.	97
Figura 5.26 - Unidade hidrográfica de localização da Ecovila Terra Sublime.	98
Figura 5.27 - Uso e cobertura na região da Ecovila Terra Sublime.....	99
Figura 5.28 - Pedologia na poligonal da Ecovila Terra Sublime.	100
Figura 5.29 - Hidrogeologia na poligonal da Ecovila Terra Sublime.	101
Figura 5.30 - Declividade na poligonal da Ecovila Terra Sublime.....	102
Figura 5.31 - Localização do Assentamento Pequeno William.	103
Figura 5.32 - Produção agroecológica no Assentamento Pequeno William.....	103
Figura 5.33 - Exemplos de domicílios no Assentamento Pequeno William.	104
Figura 5.34 - Estradas no Assentamento Pequeno William.	104
Figura 5.35 - Poços superficial (a) e profundo (b) no interior do Assentamento Pequeno William. ...	105
Figura 5.36 - Parcelas participantes do estudo no Assentamento Pequeno William.	105
Figura 5.37 - Número de moradores (a) e renda média (b) em cada domicílio no Assentamento Pequeno William.....	108
Figura 5.38 - Características relevantes da água de boa qualidade segundo a percepção dos entrevistados do Assentamento Pequeno William.	110
Figura 5.39 - Turbidez da água nas fontes de abastecimento dos domicílios do Assentamento no período de estiagem (a) e de chuva (b).....	111
Figura 5.40- Cor aparente da água nas fontes de água dos domicílios do Assentamento Pequeno William nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b).....	112

Figura 5.41- Cor verdadeira da água das fontes de abastecimento do Assentamento Pequeno William nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b).....	113
Figura 5.42- Aspecto visual da água coletada no poço P4.	114
Figura 5.43 - pH da água nas fontes de abastecimento do Assentamento Pequeno William em todo o período de monitoramento.....	115
Figura 5.44 - Condutividade elétrica da água nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b) nas fontes de abastecimento monitoradas no Assentamento Pequeno William.	115
Figura 5.45 - Sólidos totais dissolvidos na água das fontes monitoradas no Assentamento nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b).	116
Figura 5.46 - Densidade de coliformes totais nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b) nas fontes de água do Assentamento Pequeno William.	117
Figura 5.47- Densidade de Escherichia coli nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b) na água das fontes do Assentamento Pequeno William.	117
Figura 5.48 - Bacias hidrográficas abrangidas pelo território do Assentamento Pequeno William (DF).	120
Figura 5.49 - Uso e cobertura do solo no Assentamento Pequeno William e na vizinhança.	121
Figura 5.50 - Localização e tipologia dos pontos principais de abastecimento de água e esgotamento sanitário dos domicílios no Assentamento Pequeno William (DF).	122
Figura 5.51 - Declividade do terreno e localização dos poços e dos sistemas de tratamento de esgoto.	123
Figura 5.52 - Pedologia na área abrangida pelo Assentamento Pequeno William (DF) e localização dos poços.	124
Figura 5.53 - Hidrogeologia na área do Assentamento e localização dos poços.	125
Figura 5.54 - Nascente atualmente (a) e exemplo de sistema Caxambu (Brasil, 2019b) (b).....	155
Figura 5.55 - (a) Visão geral do sistema de tratamento de água instalado pelos moradores do domicílio 4 (b) filtros de acrílico e filtro de carvão ativado.	160
Figura 5.56 - Condições estruturais do poço no domicílio 1.	162
Figura 5.57 - Reunião Participativa na Ecovila Terra Sublime.	165
Figura 5.58 - Apresentação para morador no Domicílio 1 do Assentamento Pequeno William.	171
Figura 5.59 - Apresentação aos moradores do Domicílio 3 do Assentamento Pequeno William.	174
Figura 5.60 - Apresentação dos diagnósticos e das soluções de abastecimento propostas para morador do Domicílio 4 do Assentamento Pequeno William.	177

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E NOMENCLATURAS

APA - Área de Proteção Ambiental

ASA - Articulação do Semiárido

ASPROC - Associação de Produtores Rurais de Carauari

BTS - Banco de Tecnologias Sociais

EPA - U.S. Environmental Protection Agency

CESCR - Comissão dos Direitos Econômicos, Sociais e Culturais da ONU

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MDR - Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional

MDS - Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MST - Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra

ONU - Organização das Nações Unidas

OMS - Organização Mundial da Saúde

PDSB - Plano Distrital de Saneamento Básico

PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico

PNSB - Política Nacional de Saneamento Básico

PNSR - Programa Nacional de Saneamento Rural

SESAI - Secretaria Especial de Saúde Indígena

SISDIA - Sistema Distrital de Informações Ambientais

SINISA - Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico

SISAR - Sistema Integrado de Saneamento Rural

SUS - Sistema Único de Saúde

UNICEF - Fundo das Nações Unidas para a Infância

UH - Unidade Hidrográfica

1. INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) estabelece que o direito humano à água garante a todas as pessoas acesso à água suficiente, segura, fisicamente acessível e disponível para usos pessoais e domésticos (ONU, 2002). No entanto, levantamentos da Organização Mundial da Saúde (OMS) e Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) indicam que no ano de 2024 cerca de 2.1 bilhões de pessoas ainda não tinham acesso a serviços de água potável geridos de forma segura (OMS e UNICEF, 2025).

Os dados indicam ainda que cerca de 90% das 106 milhões de pessoas que consumiam água superficial não tratada em 2024 residiam em regiões rurais, nas quais a presença de comunidades com baixa densidade populacional, grandes distâncias dos centros urbanos e marcadas por uma diversidade demográfica, socioeconômica, ambiental e cultural dificulta o acesso à água segura, suficiente e acessível nessas localidades (OMS e UNICEF, 2025).

No Brasil, garantir o abastecimento de água nas zonas rurais é um dos maiores obstáculos para alcançar a meta de universalizar esse serviço no país até 2033 (Brasil, 2020). De acordo com informações do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA), em 2024, somente 22,9% da população rural amostrada tinha acesso à rede de abastecimento de água. Considerando que foram declaradas informações de 91,7% da população rural brasileira no módulo de água, isso representa cerca de 18,7 milhões de pessoas sem acesso a esse tipo de abastecimento (Brasil, 2025).

As fontes de água individuais, denominadas pelo SINISA de soluções alternativas (poços e nascentes) apresentam-se como alternativas de acesso à água em condições de ausência do serviço de abastecimento de água por rede. Em 2024, dos 4.707 municípios participantes do módulo de gestão municipal, 3.225 declararam utilizar soluções alternativas para o abastecimento de suas áreas rurais, o que representou 68,5% da amostra (Brasil, 2025b).

O Distrito Federal representa uma das unidades da Federação com maior índice de atendimento de abastecimento de água por redes de distribuição (97,5%). Apesar disso, as áreas rurais permanecem com índices de atendimento reduzidos (55,1%), quando comparados ao atendimento das áreas urbanas (99%) (Brasil, 2025).

Além disso, o último Plano Distrital de Saneamento Básico (PDSB) publicado no ano de 2017, destacou que a população rural sem acesso à água distribuída por rede de

abastecimento de água pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) era abastecida por fontes individuais com baixo ou nenhum controle de qualidade.

O contexto brasileiro carrega algumas experiências de sucesso na implantação de soluções de abastecimento de água em áreas rurais, possibilitando o acesso à água segura, suficiente e acessível à população dessas áreas. Tais experiências variam desde estudos em nível local, até programas e projetos de abrangência regional e nacional, como o Projeto Sanear Amazônia (Bernardes *et al.* 2018), Programa Água Doce (Brasil, 2012), Programa Cisternas (Brasil, 2018) e o Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR, 2025), os quais levaram e levam acesso à água e saneamento para a população rural em diferentes realidades e localidades no país.

Com o objetivo de definir diretrizes e estratégias para a universalização do saneamento básico nas áreas rurais, a Fundação Nacional de Saúde (Funasa) publicou em 2019 o Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR). Entre as propostas do programa são apresentados eixos estratégicos associados a formulação das melhores soluções estruturais para os quatro segmentos do saneamento nas áreas rurais brasileiras, e medidas estruturantes de gestão, educação e participação social, essenciais para o êxito das soluções instaladas (Funasa, 2019).

O Programa apresenta ainda, as condicionantes ambiental, demográfica, cultural e socioeconômica importantes para a seleção de soluções estruturais de abastecimento de água visando o sucesso de sua implantação e adequação à cada realidade rural (Funasa, 2019).

O levantamento de informações relacionadas a cada uma dessas condicionantes, constituiu-se como um diagnóstico e podem ser encontrados em estudos ao redor do mundo, como os realizados por Wada *et al.* (2021), Pérez-Vásquez *et al.* (2022), Marks *et al.* (2022) e Hoque *et al.* (2024), e na realidade brasileira, como os realizados pelo projeto SanRural em 115 comunidades no estado de Goiás (Scalize *et al.* 2019), por Roland *et al.* (2019) em três comunidades no nordeste brasileiro, Peroni *et al.* (2021) em comunidade no estado de São Paulo e Hinnah (2024) em comunidade no estado do Amazonas.

Além disso, diante da relação entre saneamento e saúde a OMS apresenta a avaliação de riscos associados ao consumo de água, por meio da metodologia de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM), como uma ferramenta de fortalecimento da necessidade de implantação de soluções tecnológicas de tratamento de água. A aplicação dessa metodologia em comunidades rurais pode ser encontrada em estudos internacionais e

nacionais, como os de Uprety *et al.* (2020), Abuzerr *et al.* (2024), Scalize *et al.* (2021) e Silva (2024).

Apesar dessa variedade de diagnósticos e metodologias, ainda há uma lacuna quanto a estudos que integrem o diagnóstico de aspectos apresentados nas condicionantes do PNSR e avaliação de riscos associados ao consumo de água para orientar a seleção participativa de soluções de abastecimento de água nas comunidades rurais diagnosticadas.

Dessa forma, o presente estudo propôs-se a realizar estudos de caso de seleção de tecnologias de abastecimento de água para comunidades rurais, incluindo as condicionantes ambiental, socioeconômica, cultural, demográfica e riscos à saúde, por meio de diagnóstico, Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico, definição de critérios de seleção de soluções tecnológicas de tratamento de água e caracterização das tecnologias de tratamento apresentadas pela matriz tecnológica do PNSR.

Essas etapas subsidiaram a seleção da solução de abastecimento de água compatível com a realidade de cada comunidade e com as percepções dos moradores, buscando confirmar a hipótese de que, além dos critérios técnicos, a incorporação de aspectos ambientais, socioeconômicos, demográficos e culturais e da participação da comunidade são essenciais no processo de escolha de soluções de abastecimento de água adequadas à cada ruralidade.

Espera-se, com este estudo, fornecer subsídios que contribuam com a implantação das soluções tecnológicas apresentadas pelo PNSR, fortalecendo a participação social para a escolha de soluções compatíveis e sustentáveis frente às diversas ruralidades brasileiras, de forma a colaborar com a ampliação do acesso à água nas áreas rurais e com o objetivo da universalização do saneamento básico no país.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Selecionar soluções de abastecimento de água de forma participativa considerando aspectos socioeconômicos, culturais, demográficos, ambientais e de riscos à saúde, em duas comunidades rurais do Distrito Federal.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar diagnóstico participativo de acesso à água em duas comunidades rurais do Distrito Federal, incorporando aspectos socioeconômicos, culturais, demográficos e ambientais;
- Aplicar o método de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) para a estimativa dos riscos à saúde relacionados ao consumo de água das fontes de abastecimento das comunidades;
- Definir critérios técnicos, ambientais, culturais e de sustentabilidade, para caracterizar as soluções tecnológicas de tratamento propostas na matriz tecnológica do Programa Nacional de Saneamento Rural;
- Propor soluções de abastecimento de água viáveis para as comunidades a partir das informações ambientais e demográficas coletadas nos diagnósticos participativos realizados e dos critérios técnicos aplicados às tecnologias;
- Conduzir um processo decisório com participação de membros das comunidades, a fim de selecionar a escolha de soluções de abastecimento de água compatíveis com os aspectos culturais, cotidianos e percepções dos moradores frente aos critérios de sustentabilidade, ambiental e cultural.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O RURAL E O SANEAMENTO NO BRASIL

3.1.1. Dinâmicas do rural no Brasil

Historicamente, a realidade rural brasileira passou por diversas mudanças. A primeira está ligada a questões quantitativas, as quais vão desde suas dimensões geográficas, reduzidas a partir dos processos de urbanização, até o tamanho da população residente nessas áreas, alvo de intensa diminuição pelo processo de êxodo rural, principalmente entre as décadas de 1960 e 1980 (Galizoni, 2021).

Tal dimensão está relacionada a diversas incertezas, frutos de definições de distinção das áreas urbanas e rurais marcadas por uma distância da objetividade e, de certa forma, por traços associados à realidade, já que as definições de rural não são rígidas. Estas incertezas, porém, foram agravadas ao longo da história do país, pelo fato da definição das áreas urbanas e rurais ser realizada a nível político-administrativo municipal, o que sempre levou à supervalorização das áreas urbanas, por conta de interesses tributários (Veiga 2002; Silva e Zancul, 2012).

Segundo o Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) (Brasil, 2019a) essa supervalorização quantitativa das áreas urbanas é refletida nos dados estatísticos oficiais, como os setores censitários do IBGE. No Censo de 2010 76,34% dos setores censitários eram classificados como urbanos, representando 84,43% da população do país, enquanto apenas 23,66% eram rurais, associados a uma proporção populacional de 15,57% (IBGE, 2011).

O mesmo pode ser visualizado no Censo de 2022, no qual foi indicado um aumento da população urbana para 87,4% e redução da população rural para 12,6%, o que, mesmo que as tipologias dos setores censitários não tenham sido divulgadas até a data da publicação do presente trabalho, indica uma preservação ou aumento da quantidade de setores censitários urbanos (IBGE, 2023).

Um estudo realizado no âmbito do PNSR apontou a existência de sedes consideradas urbanas, pelo Censo 2010, com baixos contingentes populacionais, além dos números reduzidos de equipamentos e serviços. Evidenciou-se no referido estudo que em 273 municípios a população urbana não ultrapassava 1.000 habitantes e mais de 2.000 setores censitários urbanos contavam com um número inferior a 20 domicílios (Brasil, 2019a).

Face a estas evidências na elaboração do Programa, foi proposta uma reclassificação dos setores censitários, de forma que foram adicionados aos setores 4, 5, 6 e 7, de tipologia aglomerados rurais, de diversas naturezas, dimensões e organizações, os setores 1b, 2 e 3, representando aglomerados próximos ao meio urbano e aglomerados mais adensados isolados. Com essa reclassificação verificou-se que a população residente em áreas rurais era de 39.914.415 habitantes, representando 21% da população brasileira, 5,4% superior ao número estimado pelo IBGE no Censo de 2010. Um desenho esquemático dos setores censitários definidos pelo IBGE e um esquema desses setores após a reclassificação proposta pelo PNSR podem ser localizados nas Figura 3.1 e Figura 3.2.

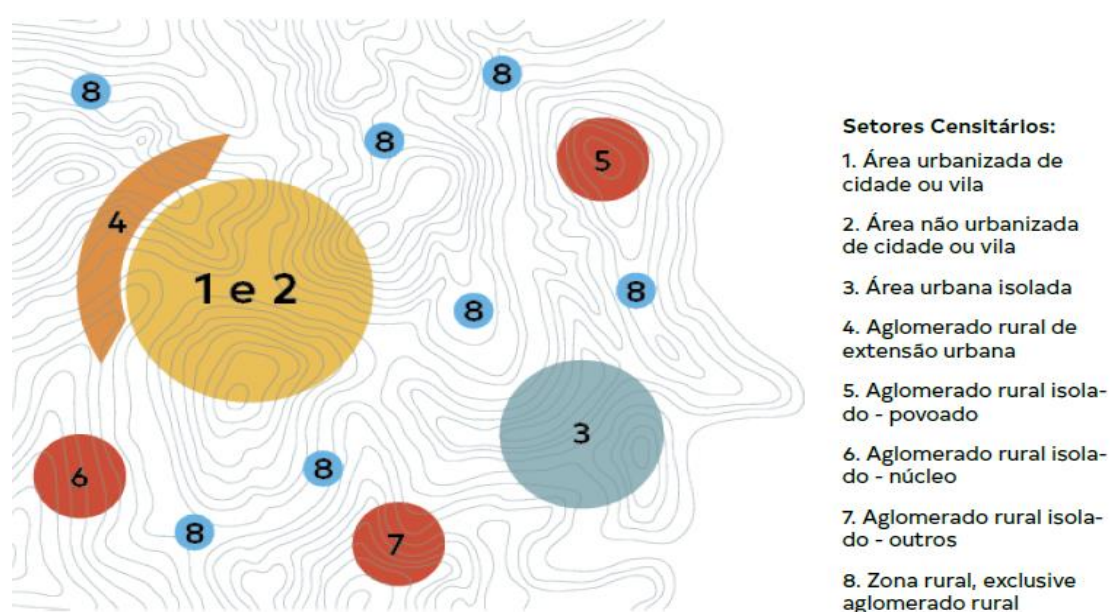


Figura 3.1 - Desenho esquemático dos setores censitários segundo o IBGE (IBGE, 2011 *apud* Brasil, 2019a)

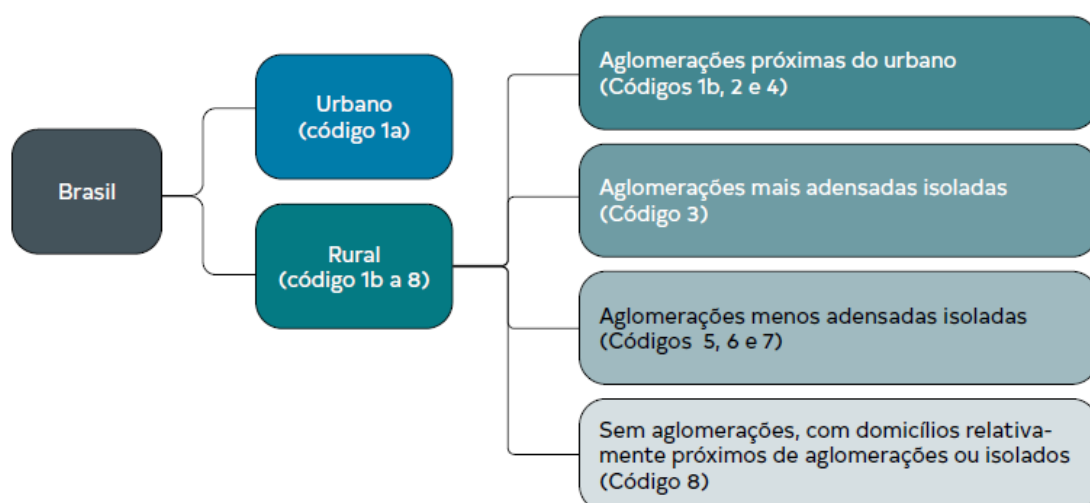


Figura 3.2 - Reclassificação dos setores censitários no PNSR (Brasil, 2019a)

A segunda realidade associada às mudanças históricas nas áreas rurais tem dimensão qualitativa, e está refletida nas atividades realizadas no campo. Com o passar dos anos, o ambiente rural deixou de ser local somente relacionado à produção agrícola e passou a ser recinto para as mais diversas atividades, desde habitat de povos originários até local de turismo ou mesmo residência para a uma parcela da população, anteriormente residente na cidade, desejosa de um maior contato com a natureza e da atuação na preservação natural.

O PNSR propõe o termo ruralidade com uma definição mais amplo que o termo rural, e representa um conjunto de fatores associados ao modo de vida da população que habita no campo, na floresta ou nas águas, levando em consideração a forma como se relacionam entre si e com seu habitat. Sendo, assim, as diferenças culturais, demográficas, socioeconômicas e ambientais das diversas ruralidades são essenciais em qualquer análise relacionada à vida dos seus integrantes, inclusive, das realidades sanitárias e das possíveis soluções nesta área.

3.1.2. Saneamento básico como um direito

A saúde é um dos aspectos essenciais para promoção da vida humana, da mesma forma, os serviços de saneamento básico são essenciais para a promoção da saúde. Doenças causadas pela falta ou precarização do saneamento básico, principalmente as doenças de veiculação hídrica, ainda representam um grave desafio de saúde pública no mundo. Dados da OMS estimam que cerca de 1,4 milhão de mortes poderiam ter sido evitadas no ano de 2019 com acesso adequado a água, saneamento e higiene, sendo a diarreia a principal causa desses óbitos (OMS, 2023).

A Organização das Nações Unidas (ONU), através da Comissão dos Direitos Econômicos, Sociais e Culturais (CESCR) em seu Comentário Geral nº15 aborda o direito humano à água, de forma que habilite a todas as pessoas água suficiente, segura, acessível fisicamente e disponível para uso pessoal e doméstico. O comentário ainda destaca a importância do acesso à água como forma de evitar doenças e desidratação, além de favorecer os usos para consumo, cocção e higiene pessoal (ONU, 2002).

Além disso a ONU possui um plano de ação global com objetivos e metas para promoção do desenvolvimento sustentável até o ano de 2030 adotado por todos os Estados-membros da organização. Um dos objetivos do desenvolvimento sustentável, o de número 6, tem como título “Água potável e saneamento”, e busca assegurar a disponibilidade e acesso de água potável segura e saneamento básico adequado para todos, promovendo o uso sustentável dos recursos hídricos (ONU, 2018).

No Brasil o direito ao saneamento básico não se encontra explícito no texto da Constituição Federal de 1988, porém o termo é citado no artigo 21, inciso XX, no qual dá-se competência à união para instituir diretrizes, dentre outros, para o saneamento básico. O artigo 23, inciso IX, trata da competência comum dos diferentes entes federados na promoção do saneamento básico. Já o artigo 200, inciso IV, atribui ao Sistema Único de Saúde (SUS) a competência de participar das ações relacionadas com o saneamento básico no País (Brasil, 1988; Castro e Cerezini, 2023).

No campo legislativo, em 2007 foi publicada a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), Lei nº 11.445, a qual definiu o abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, e drenagem de águas pluviais como os quatro grandes segmentos do saneamento básico (Brasil, 2007).

A PNSB instituiu, dentro do âmbito de planejamento do saneamento básico, a obrigatoriedade do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), elaborado em 2014, pelo qual, a partir dos dados de déficit de saneamento nos domicílios rurais apontados por meio do diagnóstico feito, determinou-se a formulação de um programa de saneamento rural para o País, o que deu origem ao Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) elaborado pela Funasa em 2019.

No ano de 2020, foi promulgada a Lei nº 14.026, denominada de novo marco legal do saneamento básico, alterando a Lei nº 11.445/07. A nova redação traz em seu texto que, entre os princípios fundamentais orientadores da prestação dos serviços de saneamento básico, estão a universalização do acesso e a efetiva prestação do serviço (Brasil, 2020).

Na ótica da universalização é importante reforçar a necessidade de inclusão de toda a população dentro desta meta, tanto a população residente nas áreas urbanas como nas rurais, tomando-se para as áreas rurais estratégias coerentes com as realidades, soluções e estratégias recomendadas pelo PNSR (Castro e Cerezini, 2023).

3.1.3. Panorama do saneamento básico nas áreas rurais do Brasil

No que se refere ao saneamento básico nas áreas rurais, há uma evolução temporal dos atendimentos nas quatro áreas do saneamento definidas pela Lei nº 14.026/20. O PNSR, apresenta a evolução das formas de atendimento de abastecimento de água e esgotamento sanitário, além de déficits de estruturas importantes para estes sistemas a partir dos dados do IBGE dos anos de 1991, 2000, 2010 e 2022.

Nas Figura 3.3 e Figura 3.4 pode-se visualizar a evolução temporal das formas de abastecimento de água e existência de canalização interna nos domicílios rurais brasileiros.

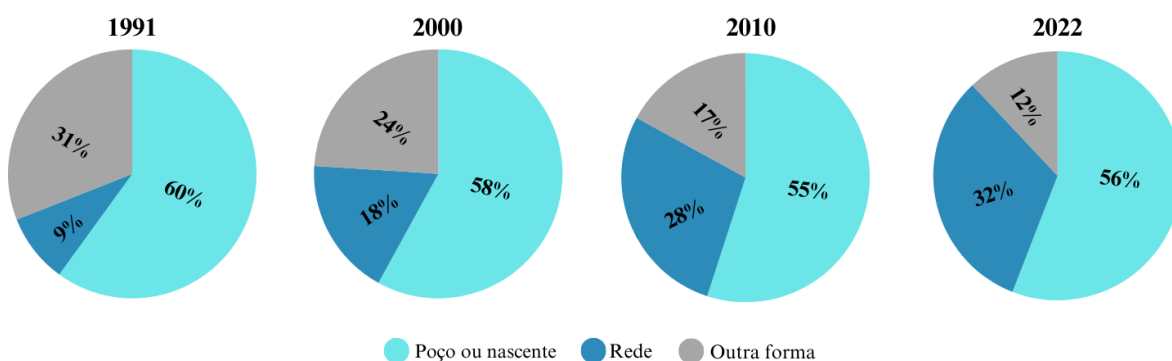


Figura 3.3 - Formas de abastecimento de água nos municípios rurais brasileiros (IBGE, 1992, 2001, 2011, 2023)

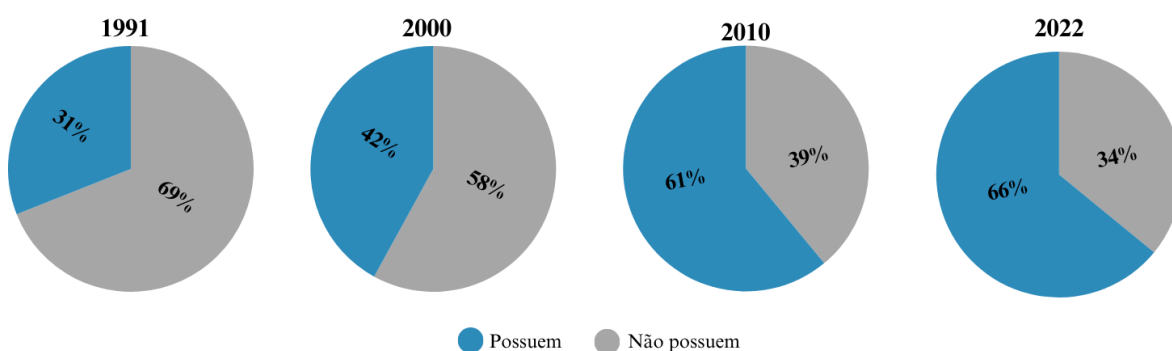


Figura 3.4 - Presença de canalização interna nos domicílios rurais brasileiros (IBGE, 1992, 2001, 2011, 2023).

Mesmo com o aumento das redes de distribuição e do número de domicílios com canalização interna, evidencia-se forte presença de abastecimento por outras fontes água como água subterrânea ou captação superficial local nas áreas rurais e a expressiva ausência de canalização interna nessas regiões, demonstrando a falta de acessibilidade à água de parcela dessa população.

A utilização dessas fontes de água sem tratamento pode representar a ocorrência de doenças de veiculação hídrica, devido a vulnerabilidade dessas a contaminações naturais ou antrópicas, causadas por vezes pelos próprios sistemas de esgotamento sanitário.

Outra visão da situação dos serviços de saneamento nas áreas rurais é apresentada pelo Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA) para o ano de 2024, o qual apresenta índices de atendimento por rede de abastecimento de água e uma contabilização de municípios e população atendidos por soluções alternativas como abastecimento por poços ou nascentes (Brasil, 2025; Brasil, 2025b).

Destaca-se que as informações apresentadas nos relatórios do SINISA estão associadas as amostras de prestadores de serviço participantes da coleta, considerando o caráter autodeclaratório do sistema. O módulo de abastecimento de água contou com uma amostra representativa de 97,3% dos habitantes das áreas urbanas e 91,7% dos habitantes das áreas rurais. Os índices de atendimento com rede de abastecimento de água a partir dessa amostra são apresentados na Figura 3.5.

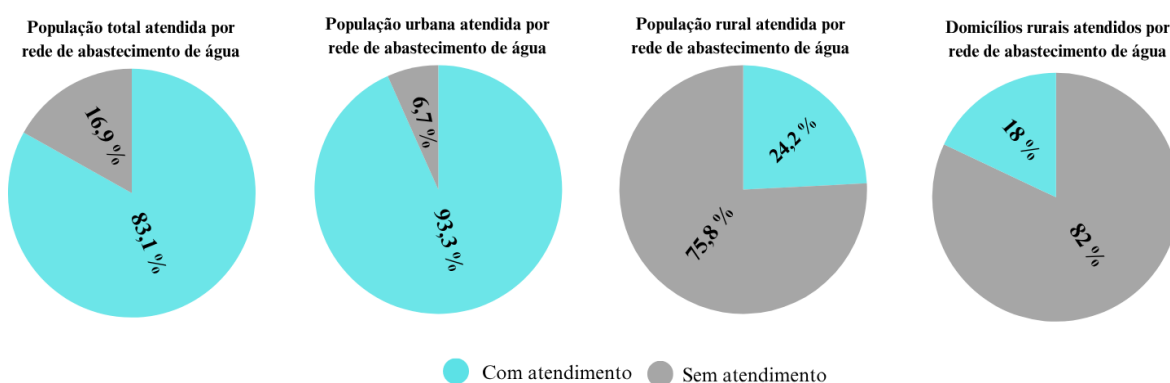


Figura 3.5 - Índices de atendimento com rede de abastecimento de água (Brasil, 2025)

Os índices apresentados indicam um predomínio de redes de abastecimento de água em áreas urbanas, ao passo que a cobertura nas áreas rurais permanece significativamente baixa. Frente a essa realidade, as soluções alternativas são utilizadas em muitos municípios como formas de acesso ao abastecimento de água.

No módulo de gestão municipal foram coletadas informações sobre soluções alternativas de uma amostra de 84,5% dos municípios brasileiros, representando 93% dos habitantes das áreas urbanas e 81,9% das áreas rurais. Foi registrada uma maior utilização de soluções alternativas de água (poços e nascentes) nas áreas rurais brasileiras, em detrimento das urbanas, conforme Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Utilização de soluções alternativas para abastecimento de água (Brasil, 2025b)

Área	Municípios com utilização de soluções alternativas para abastecimento de água	População atendida com soluções alternativas de abastecimento de água
Urbana	699	2.287.955 (1,3%)
Rural	3.225	6.385.918 (29,3%)

Os dados apresentados indicam uma cobertura por rede de abastecimento reduzida nas áreas rurais e a utilização de soluções alternativas como poços e nascentes no abastecimento nessas áreas em mais da metade dos municípios brasileiros, o que pode ter sua justificativa em

questões econômicas e operacionais. A implantação de redes nas áreas rurais acarreta custos mais elevados de implantação e manutenção, o que, combinado à menor arrecadação nessas localidades, gera um quadro desafiante para a instalação de sistemas centralizados.

A realidade demográfica e geográfica das diferentes ruralidades possui grande influência na viabilidade da instalação de diferentes sistemas de abastecimento de água, o que é essencial para a realização de propostas de soluções tecnológicas para cada comunidade.

3.1.4. O abastecimento de água nas diferentes ruralidades

Neste sentido, Roland *et al.* (2019), apresentaram como as diversas ruralidades influenciam nas realidades de acesso à água e, conseqüentemente, nas estratégias e soluções de abastecimento. Os autores apresentam dados quantitativos do serviço de abastecimento de água na perspectiva dos diferentes setores censitários, de acordo com a reclassificação proposta pelo PNSR.

A Figura 3.6 apresenta a distribuição de formas de abastecimento por setor censitário. Ressalta-se que os setores 1b, 2 e 4 são aglomerações próximas do urbano, os setores 3 são aglomerações mais adensadas isoladas, os setores 5, 6 e 7 aglomerações menos adensadas isoladas e os setores 8 representam localidades sem aglomerações, próximos a aglomerações ou isoladas, conforme apresentado na Figura 3.2.

É possível observar que quanto menos adensado e mais distante o setor censitário estiver dos centros urbanos, o percentual de redes de distribuição reduz progressivamente enquanto o percentual da população abastecida por soluções alternativas como poços ou nascentes, cisternas ou outros aumentam. Tal tendência se dá por desafios relacionados a menor viabilidade econômica de instalação de infraestruturas de abastecimento centralizado à medida que o aglomerado seja menor e mais disperso, como confirmado pela Figura 3.6 (Roland *et al.*, 2019).

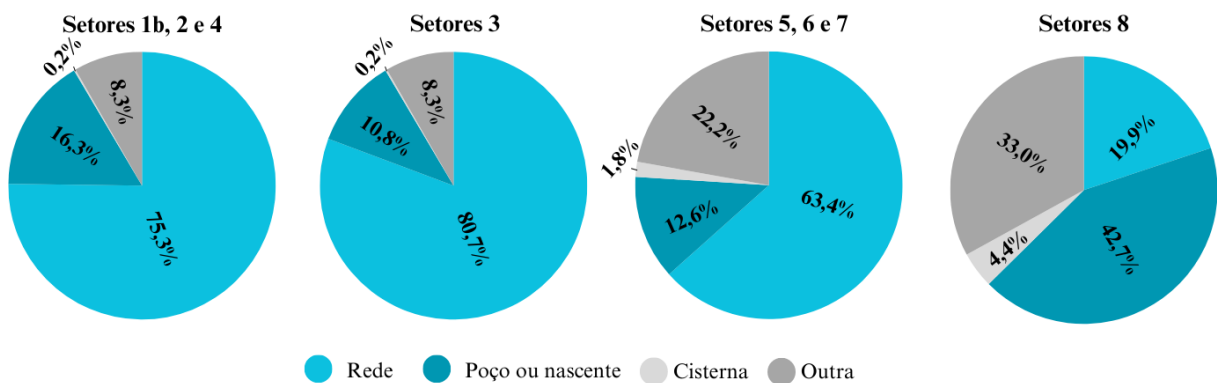


Figura 3.6 - Fontes de abastecimento de água por setor censitário rural (IBGE, 2011 *apud* Roland, 2019)

Além disso, os números podem mascarar realidades mais profundas, já que esses dados traduzem aquilo que pode se definir como infraestrutura disponível. Fatores vinculados ao dia a dia das populações, demandas de água para as diferentes realidades, qualidade da água de acesso, disponibilidade regular de água, localização dos pontos de abastecimento, entre outros aspectos podem não ser evidenciados através das pesquisas censitárias.

Neste sentido, O PNSR apresenta uma análise mais focada nos aspectos qualitativos do abastecimento de água nas áreas rurais, considerando as caracterizações de tipos de atendimento descritas pelo PLANSAB. A classificação distinguiu o atendimento aos diferentes setores censitários como adequado, precário ou sem atendimento.

Conforme pode ser observado na Figura 3.7, quanto menos adensadas e mais isoladas as aglomerações rurais, mais precário ou ausente é o serviço de abastecimento de água.

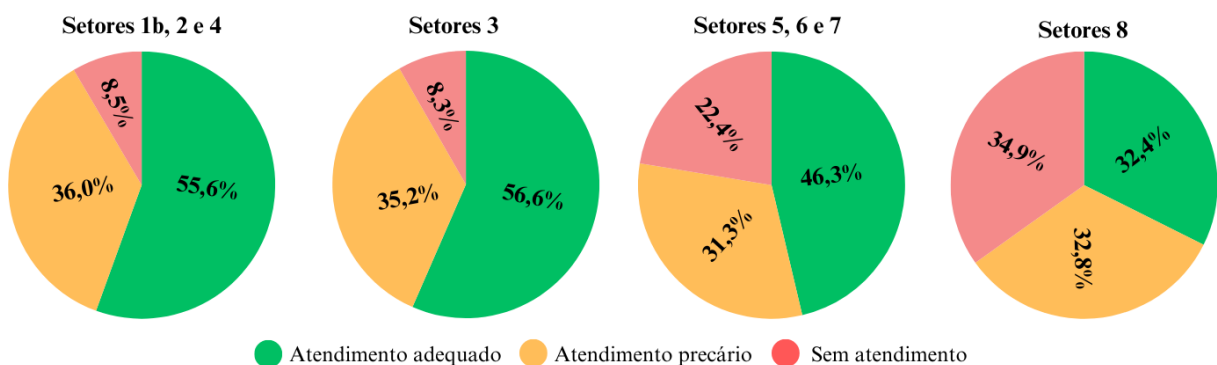


Figura 3.7 - Qualidade de atendimento com abastecimento de água por setor censitário rural (IBGE, 2011 *apud* Brasil, 2019a)

Dessa forma, torna-se clara a necessidade de definição de estratégias e soluções coerentes com a especificidade de cada ruralidade em direção às metas de universalização do

saneamento básico no Brasil. Para isso é essencial a elaboração e instalação de soluções de abastecimento de água para as áreas rurais mais distantes dos centros urbanos e menos adensadas, de forma que tenham acesso ao direito de água acessível, suficiente e segura.

3.2. SOLUÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS

Estudos, projetos e programas nos âmbitos internacional e nacional foram desenvolvidos e aplicados com o objetivo de levar soluções de abastecimento de água para áreas rurais, por meio de abastecimento com soluções alternativas e tratamento de água por sistemas descentralizados. Esses estudos podem ser utilizado como subsídio para o desenvolvimento de soluções promissoras na promoção do abastecimento de água nas diversas ruralidades brasileiras, especialmente naquelas que há maiores desafios para a instalação de soluções centralizadas.

3.2.1. Experiências de soluções tecnológicas de tratamento de água em áreas rurais

Ao longo das últimas três décadas as soluções descentralizadas de saneamento cresceram em número, tecnologia associada e aplicabilidade. Quanto ao abastecimento de água, soluções descentralizadas para tratamento de água em áreas rurais foram desenvolvidas por instituições ao redor do mundo. Alguns desses sistemas, desenvolvidos em diferentes países com o objetivo de possibilitar o acesso à água segura em localidades rurais remotas estão apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Experiências internacionais de soluções tecnológicas de tratamento de água em áreas rurais

Autor / Ano	Vínculo Institucional	Tecnologia	País
Souter <i>et al.</i> (2003)	<i>Procter & Gamble Health Sciences Institute</i>	<i>Pur® Water Purifier</i>	EUA
Arnal <i>et al.</i> (2009)	<i>Universitat Politècnica de València</i>	AQUAPOT	Espanha
CAWST (2012)	<i>Centre for Affordable Water and Sanitation Technology (CAWST)</i>	<i>Biosand filter</i>	Canadá
Hart (2014)	<i>Asociación DESEA Peru</i>	<i>PVC biosand filter</i>	Peru
Luzi <i>et al.</i> (2016)	<i>Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG)</i>	<i>Solar Water Disinfection (SODIS)</i>	Suíça
Cervantes-Rendón <i>et al.</i> (2022)	<i>Centro Regional de Investigacion y Desarrollo en Energia Alternativa</i>	<i>Low-Pressure Reverse Osmosis Desalination System (LPRO-PV)</i>	México

Diante dos estudos apresentados é possível visualizar a pesquisa e desenvolvimento ligados a tecnologias descentralizadas de tratamento de água por diversos atores ao redor do mundo: desde a pesquisa acadêmica conduzida por universidades, (Arnal *et al.*, 2009; Cervantes-Rendón *et al.* 2022), até o desenvolvimento de produtos pelo setor privado (Souter *et al.* 2003) e a disseminação de conhecimento por institutos de pesquisa (Luzi *et al.* 2016) e organizações não governamentais (CAWST, 2012; Hart, 2014).

No que tange à diversidade tecnológica, os estudos apresentam variabilidade que vai de métodos simplificados a sistemas avançados de separação. Soluções de operação domiciliar, como a desinfecção solar (Luzi *et al.* 2016) e a filtração lenta em areia (CAWST, 2012; Hart, 2014), foram desenvolvidas com o objetivo de remoção de patógenos com baixo custo. Em contrapartida, tecnologias baseadas em membranas, como a ultrafiltração (Arnal *et al.* 2009) e a osmose reversa (Cervantes-Rendón *et al.* 2022), possuem maior complexidade, visando a remoção de contaminantes físico-químicos e dessalinização de águas salobras.

Além disso, as diferentes localidades de aplicação evidenciam a aplicabilidade das soluções descentralizadas de tratamento a diferentes condições geográficas e infraestruturais locais. Enquanto Cervantes-Rendón *et al.* 2022, exploraram o alto potencial solar de zonas áridas para alimentar sistemas de membranas, a CAWST (2012) aplicou os biofiltros de areia em mais de 69 países e inspirou a DESEA Peru (Hart, 2014) a adaptar essa tecnologia para versões em PVC, facilitando o transporte em regiões montanhosas de difícil acesso da Cordilheira dos Andes. Enquanto isso, Arnal *et al.* (2009) aplicaram a ultrafiltração por meio do sistema AQUAPOT em escolas de Moçambique.

As soluções tecnológicas descentralizadas de tratamento de água de água podem ainda ser desenvolvidas como tecnologias sociais. Essa classificação é possível quando os sistemas são instalados não somente como estruturas, mas como produtos, técnicas e metodologias reaplicáveis, desenvolvidas a partir da interação com a comunidade em que serão implantadas e que representem efetivas soluções de transformação social (FBB, 2025).

A realidade brasileira se apresenta como um terreno fértil para a concepção e aplicação de tecnologias sociais de saneamento, frente às múltiplas realidades existentes no País. A Fundação Banco do Brasil por meio do Banco de Tecnologias Sociais (BTS), possui um banco de experiências em projetos de tecnologias sociais em diversas áreas. Segundo Correa *et al.* (2019), até 2018 haviam sido catalogadas neste banco, 70 soluções na área de recursos

hídricos, a qual engloba temas como tratamento e purificação da água, saneamento, abastecimento de água, dessalinização, entre outros.

Além disso, institutos, órgãos públicos e universidades, por meio de programas, projetos e pesquisas têm proposto tecnologias para tratamento de água de forma descentralizada em comunidades rurais no Brasil, contribuindo para a experiência brasileira em soluções para o abastecimento de água de forma segura adequadas para essas realidades.

Algumas dessas experiências tecnológicas foram sistematizadas na Tabela 3.3, no qual são apresentadas a tecnologia, sua aplicação ou vinculação institucional com algum projeto/programa/instituição, a descrição do sistema, informações sobre sua eficiência, escalas de possível instalação (domiciliar e/ou coletiva), tipo do estudo em que a tecnologia foi aplicada/avaliada (em campo, piloto, bancada ou teórico), volume de água tratado, regime de operação (RDO), e a referência bibliográfica (autor e ano).

Foi levantado um total de 14 soluções tecnológicas propostas para tratamento de água de água em comunidades rurais. Verifica-se a ampla variedade de sistemas, escalas, custos, volumes tratados, dentre outros aspectos, das soluções descentralizadas propostas.

Observa-se ainda que as soluções desenvolvidas vão desde sistemas simples e de baixo custo, como o Filtro Ecológico Alternativo (FBB, 2013), o Clorador Simplificado por Difusão (Ferreira *et al*, 2016) e o sistema Aqualuz (Magalhães, 2022), até sistemas mais complexos, como as ETA's em escala piloto propostas por Cordeiro (2008) e o sistema Salta-z (Brasil, 2017), por sua maior exigência operacional, o que demonstra a ampla aplicabilidade das soluções descentralizadas à diferentes realidades socioeconômicas.

Ainda na Tabela 3.3 constata-se a ampla variabilidade e adaptabilidade das soluções descentralizadas a diferentes escalas, considerando que 6 das soluções apresentadas correspondem a tecnologias domiciliares e 3 são de aplicação coletiva. Quatro soluções podem ser implantadas tanto em nível domiciliar como coletivo, o que as torna relevantes frente à pluralidade geográfica e demográfica das ruralidades brasileiras e à demanda de soluções tecnológicas para universalizar o saneamento nas áreas rurais do País.

Tabela 3.3 - Experiências de soluções tecnológicas de tratamento de água propostas para implantação em áreas rurais no Brasil.

Nº	Tecnologia	Vínculo Institucional	Descrição do Sistema	Eficiência	Escala	Tipo do estudo	Taxa de produção	RDO	Autor e Ano
1	Filtro lento de areia	Projeto Sanear Amazônia do Instituto Chico Mendes de conservação da biodiversidade	Filtro de areia composto de camada de areia não classificada e geossintético como camada suporte e camada filtrante superficial.	Remoção > 99% de coliformes fecais; 100% de protozoários e ovos de helmintos; 50-90% de tóxicos inorgânicos e orgânicos; 99% de metais (ferro, cobre, zinco); 100% de sedimentos suspensos.	Domiciliar e Coletiva	Campo	4 -10 m/dia	I / C	FBB (2015) Brasil (2018)
2	Biofiltro	Universidade de Brasília (UnB)	Biofiltro em escala domiciliar concebido de forma teórica a partir de consultas à literatura.	NA	Domiciliar	Teórico	9,6 m/dia	I	Oliveira (2023)
3	Filtro lento retrolavável	Funasa	Filtro lento descendente de areia fina com coeficiente de uniformidade <1,6, camada suporte, calhas de coleta, e reservatório de água de lavagem.	Residual de turbidez <1uT, remoção de 78 – 85%. Remoção de 68 – 70% de cor aparente.	Domiciliar e Coletiva	Piloto	6 m/dia	C	Brasil (2019c) Souza (2015)
4	Filtro para remoção de Ferro	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará.	Filtro composto por: brita grossa, brita fina, tela de nylon, areia grossa e areia fina, formando uma camada total de 30 cm, onde ocorre o tratamento da água.	Remoção de 79,8% de turbidez (água bruta com valores baixos), 5,5% de sólidos totais dissolvidos, 16,3% de dureza total e 99% de ferro total.	Domiciliar	Campo	NA	C	Rodrigues (2019)

Legenda: RDO = Regime de Operação; I = Intermitente; C = Contínuo; NA = Não Apresentado.

Tabela 3.3 - Experiências de soluções tecnológicas de tratamento de água propostas para implantação em áreas rurais no Brasil. (Continuação)

Nº	Tecnologia	Vínculo Institucional	Descrição do Sistema	Eficiência	Escala	Tipo do estudo	Taxa de produção	RDO	Autor e Ano
5	Filtro Ecológico Alternativo	Instituto de Desenvolvimento Rural do Amapá - RURAP	Filtro composto por 2 baldes plásticos, 2 velas de filtro de cerâmica e 1 torneira plástica, com cloração manual com hipoclorito de sódio	NA	Domiciliar	Campo	NA	I	FBB (2013)
6	Filtração em Margem	Universidade Federal de Pernambuco (UFP) / Funasa	Poço de produção, com bombeamento, perfurado às margens do corpo hídrico superficial.	Remoção de 99,998% de Coliformes Totais e <i>E. coli</i> , 94,75% de turbidez, 96,85% de ferro, 75% de DBO e 99,65% de nitrato	Coletivo	Piloto	12,5 m³/h	C	Paiva (2010) Brasil (2018b)
7	ETA para água subterrânea	CEFET Campos dos Goytacazes	Sistema constituído por cloração, oxidação, filtração em filtros de areia, de carvão e de zeólita.	Remoção de 99,3% de turbidez, 99,999% de coliformes totais e termotolerantes, 99,3% de ferro total e 83,4% de manganês.	Coletiva	Piloto	1 m³/h	I	Cordeiro (2008)
8	ETA para água superficial		Sistema constituído por cloração, unidade de mistura estática, floculação, decantação, filtração rápida em filtros de areia e de carvão.	Remoção de 99,7% de turbidez e 99,999% de coliformes totais e termotolerantes.			2 m³/h		
9	Salta-z para água superficial	Funasa	Sistema constituído por coagulação, floculação, decantação, cloração, filtração com leito de zeólita e adição de cloro.	NA	Coletiva	Campo	360 m/dia	I	Brasil (2017)
10	Salta-z para água subterrânea		Sistema constituído por cloração, oxidação, decantação, filtração em leito de zeólita e adição de cloro.						

Legenda: RDO = Regime de Operação; I = Intermitente; C = Contínuo; NA = Não Apresentado.

Tabela 3.3 - Experiências de soluções tecnológicas de tratamento de água propostas para implantação em áreas rurais no Brasil. (Continuação)

Nº	Tecnologia	Vínculo Institucional	Descrição do Sistema	Eficiência	Escala	Tipo do estudo	Taxa de produção	RDO	Autor e Ano
11	Clorador simplificado por difusão	Fiocruz Amazônia / Funasa	Recipiente de plástico com preenchimento de hipoclorito de cálcio e areia lavada submergido ao nível d'água no interior do poço.	Remoção de 99,999% de Coliformes Totais e <i>E. coli</i> . Eficiência se manteve constante em prazos que variaram de 2 a 90 dias.	Domiciliar e Coletiva	Campo	NA	C	Ferreira <i>et al.</i> (2016) Brasil (2014b)
12	Caxambu	EPAGRI	Caixa de cimento construída em torno de uma nascente com uma tubulação inferior destinada a captação e uma superior para adição de cloro.	NA	Domiciliar e Coletiva	Teórico	NA	C	Calheiros <i>et al.</i> (2004)
13	Potabilizador Solar	Universidade Federal de Santa Catarina	Cúpula de vidro em forma de pirâmide com uma bandeja em sua base para recepção da água bruta e reservatório para água tratada acoplado a calhas coletoras dessa.	NA	Domiciliar	Piloto	0,003 m/dia	I	Silva (2014)
14	Aqualuz	Universidade Federal do Ceará (UFC)	Caixa de aço inoxidável coberta por uma folha de vidro para expor a água à radiação solar.	Remoção de 98% - 100% de Coliformes Totais e <i>E. coli</i> .	Domiciliar	Campo	NA	I	Magalhães (2022)

Legenda: RDO = Regime de Operação; I = Intermitente; C = Contínuo; NA = Não Apresentado.

Por fim, um aspecto relevante evidenciado pelo levantamento das socio tecnologias é a existência de estudos de campo para a avaliação do tratamento de água. Das 14 experiências analisadas, seis envolveram testes realizados diretamente junto às comunidades rurais. Essa abordagem empírica é fundamental não apenas para validar os resultados técnicos sob condições reais de operação, mas também para analisar a apropriação das soluções pelos usuários, garantindo assim a efetiva transformação da realidade local.

Dentre as experiências tecnológicas apresentadas, vale destacar algumas, por sua importância e nível de desenvolvimento e aplicabilidade nas realidades brasileiras. A primeira solução a se destacar é o Filtro Lento de Areia, desenvolvido no âmbito do Projeto Sanear Amazônia e colocado em operação a partir do ano de 2007 em comunidades rurais localizadas em reservas extrativistas na Amazônia.

O projeto teve como objetivo a implantação de infraestruturas de saneamento por meio de ações integradas entre a sociedade civil, o poder público e os integrantes das comunidades, e ampliou em 100% o acesso ao saneamento nas comunidades beneficiadas (Bernardes *et al*, 2018).

O Projeto iniciou em 2007 a partir de um projeto piloto que teve como instituição proponente a Associação de Produtores Rurais de Carauari (Asproc) e contou com a parceria da Universidade de Brasília (UnB) para apoio técnico. Neste projeto piloto foram implantadas 145 tecnologias sociais de abastecimento de água e esgotamento sanitário em comunidades do Médio Juruá, no Amazonas (Bernardes *et al*, 2018).

A partir da implantação das tecnologias, constituída de um sistema de abastecimento de água comunitário, com tratamento simplificado por filtro de areia, operando como um filtro lento, em conjunto com sistema de esgotamento sanitário, registrou um aumento do Índice de Acesso à Água de 23 para 76 e decréscimo de 22% de prevalência de infecção por parasitoses intestinais e de 65% na taxa de prevalência de diarreia nas comunidades beneficiadas (Bernardes, 2018; Brasil, 2018).

No ano de 2015 o projeto foi premiado pela Fundação Banco do Brasil e, desde então, constitui uma das tecnologias sociais inseridas no Banco de Tecnologias Sociais dessa instituição. Além disso, é umas das tecnologias sociais associadas ao Programa Cisternas, cadastrada como modelo de tecnologia de acesso à água nº7, denominada Sistema Pluvial Multiuso Comunitário (FBB, 2015; Brasil, 2018).

O sistema instalado nas comunidades pode ser observado na Figura 3.8.



Figura 3.8 - Sistema instalado no Projeto Sanear Amazônia (FBB, 2015)

A Salta-z, desenvolvida pela Funasa, é outra sócio tecnologia de destaque que consiste em dois sistemas coletivos de tratamento de água para escolas ou pequenas comunidades rurais, um para águas captadas em fontes superficiais e outro para fontes subterrâneas. Os sistemas operam em ciclo completo, constituídos por coagulação, floculação, decantação e filtração (Brasil, 2017).

O sistema de tratamento de água superficial é constituído pelas etapas de captação no corpo d'água, injeção de sulfato de alumínio como coagulante na tubulação de recalque, floculação e decantação em um reservatório elevado, injeção de cloro no efluente do reservatório, seguida de filtração em leito de zeólita e monitoramento dos níveis de cloro para distribuição (Brasil, 2017).

Já o sistema de tratamento de água subterrânea possui o mesmo layout que o sistema de tratamento de água superficial, porém com processos diferentes. Esta tecnologia é composta por captação em poço, injeção de cloro na tubulação de recalque da água bruta para oxidação, seguida de decantação e drenagem do sedimento no reservatório elevado, filtração em leito de zeólita e monitoramento do cloro para distribuição (Brasil, 2017).

Os sistemas podem ser razoavelmente complexos por terem em suas composições diversos dispositivos como crepina, dreno, dispositivos de entrada, manômetro e dosadores, além de que sua manutenção é realizada por meio da reposição de produtos químicos e frequentes retrolavagens (Brasil, 2017).

Um exemplo de um sistema Salta-z instalado em campo pode ser visualizado na Figura 3.9.



Figura 3.9 - Sistema Salta-z instalado em Manacapuru (AM) pela Secretaria de infraestrutura do estado do Amazonas.

Outra tecnologia desenvolvida pela Funasa é o clorador simplificado, o qual foi desenvolvido como uma adaptação do clorador de pastilha, utilizando uma solução de hipoclorito de cálcio ou de sódio. Segundo Brasil (2014b) em seu Manual de cloração de água em pequenas comunidades, este instrumento tem como objetivo a injeção de cloro para a desinfecção de água de modo seguro, sem que haja a necessidade de instalação elétrica, preocupação constante com o controle da dosagem, nem operação complexa.

Foram desenvolvidos dois modelos, “A” e “B”. O modelo “A” é recomendado para sistemas operados manualmente (ligados por gerador a diesel ou rede elétrica) nos quais o reservatório enche rapidamente, já o modelo “B” foi concebido para sistemas automatizados (energia solar ou elétrica), que operam com baixa vazão e o reservatório demora um pouco mais para encher (Brasil, 2014b).

O tratamento é feito por batelada e o funcionamento do clorador ocorre a partir do seu enchimento com solução de hipoclorito de cálcio (em torno de 1 mg/L), por meio do registro superior. Assim que a bomba é ligada, abre-se totalmente o registro inferior e a solução de cloro é conduzida por arraste para o reservatório de água (Brasil, 2014b).



Figura 3.10 - Clorador simplificado instalado na saída do poço (a) e na subida para o reservatório (b).

Ferreira *et al.* (2016) avaliou o desempenho do clorador simplificado por difusão, uma adaptação proposta pela Fiocruz Amazônia. Este sistema é constituído por um recipiente plástico (garrafa PET) preenchido por areia lavada, com adição de hipoclorito de cálcio em seu interior, de forma que a solução de cloro foi liberada em concentrações supostamente homogêneas. A solução adicionada foi suficiente para a desinfecção de 2 mil litros de água bombeados do poço.

Por fim, dentre as tecnologias da Tabela 3.2, foi apresentado o sistema SODIS (*Solar Water Disinfection*) como uma solução tecnológica de desinfecção da água sem a necessidade da utilização de produtos químicos, representando uma alternativa de baixo custo, bastante acessível a comunidades de menor capacidade econômica.

A solução consiste basicamente em armazenar a água a ser tratada em garrafas de Polietileno tereftalato (PET) transparentes e expô-las por um certo período à radiação solar, buscando potencializar a ação da radiação UV-A, responsável pela inativação de microrganismos patogênicos. Segundo Vieira *et al.* (2018), para que processo seja eficiente é necessária uma radiação de ao menos 500 W/m² durante aproximadamente 6 horas, a depender da concentração inicial de microrganismos.

Para implantar esta solução, recomenda-se a utilização de garrafas com volume máximo de 2L e profundidade de penetração máxima de 10cm, tendo em vista que sua utilização é a mais comum nos estudos realizados, por conta de sua facilidade de obtenção (Vieira *et al.* 2018).



Figura 3.11 - Desinfecção solar SODIS.

A partir de pesquisas foi desenvolvido no território nacional o sistema Aqualuz, para a desinfecção da água armazenada e cisternas na região nordeste do Brasil. O sistema é composto por uma caixa de aço inoxidável coberta por uma lâmina de vidro, de forma a permitir a entrada de radiação solar. Esta estrutura é conectada à cisterna por meio de uma tubulação, a qual pode passar, se necessário, por outras etapas de tratamento, para adequação da qualidade da água à desinfecção (Magalhães *et al.* 2022).

Esse sistema surgiu recentemente como uma alternativa ao método SODIS, o qual, segundo os estudos, pode necessitar de um período entre 3 e 48h para alcançar 100% de remoção dos patógenos presentes na água, a depender da intensidade da radiação solar, concentração de patógenos e turbidez da água. Entretanto, as pesquisas indicam que a água desinfetada por radiação solar deve ser consumida dentro de 24h após a desinfecção para evitar um novo crescimento de bactérias (Magalhães *et al.* 2022).

Estudos realizados por Magalhães *et al.* (2022) para avaliar o sistema Aqualuz indicaram uma eficiência de remoção de 100% de *Escherichia coli*, com concentrações iniciais na água bruta superiores a 100 NMP/100mL, para períodos de exposição entre 2,5 e 4 horas, com intensidade da radiação entre 250 e 410 W/m². A Figura 3.12 apresenta a estrutura do sistema Aqualuz.



Figura 3.12 - Desinfecção solar Aqualuz (Magalhães *et al.* 2022)

3.2.2. Programas desenvolvidos no âmbito nacional

Além das tecnologias concebidas no âmbito das pesquisas realizadas na área acadêmica e dos projetos desenvolvidos por diversas instituições, no Brasil foram criados e aplicados pelo governo federal diferentes programas com o objetivo de ampliar o abastecimento de água nas áreas rurais, seja no âmbito estratégico ou de financiamento e infraestrutura, os quais, pelo maior potencial de investimento, possibilitam a instalação de sistemas mais complexos inclusive alguns que não são enquadrados como tecnologias sociais.

Na Tabela 3.4 são apresentados exemplos de programas governamentais criados com o objetivo de ampliar o abastecimento de água nas áreas rurais brasileiras.

Os programas governamentais elencados na Tabela 3.4 evidenciam a trajetória das políticas públicas voltadas à garantia da segurança hídrica no Brasil, refletindo o esforço estatal para mitigar a vulnerabilidade de populações rurais, principalmente no Semiárido. A coexistência de estratégias baseadas em tecnologias sociais de baixo custo, como no Programa Cisternas e no Água para Todos, com iniciativas de maior complexidade técnica, a exemplo da dessalinização no Programa Água Doce (PAD), demonstra a necessidade de soluções diversificadas para a garantia do acesso à água nas áreas rurais brasileiras.

Tabela 3.4 - Programas governamentais de abastecimento de água no Brasil

Programa	Ano de lançamento	Região de aplicação	Responsabilidade	Objetivo principal	Referência
Programa Cisternas	2003	Semiárido brasileiro	Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome	Promover acesso à água para consumo humano e produção de alimentos por meio da instalação de cisternas e tecnologias sociais.	Brasil (2013) Brasil (2018a)
Programa Água Doce (PAD)	2004	Semiárido brasileiro	Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional	Implantar sistemas de dessalinização em comunidades rurais com captação de água subterrânea salobra.	Brasil (2012)
Programa Água para Todos	2011	Nacional	Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional	Universalizar o acesso à água para populações rurais em extrema pobreza, tanto para consumo quanto para atividades produtivas. Atualmente incorporado como eixo do Novo PAC.	Brasil (2011)
Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR)	2019	Nacional	Funasa (Ministério da Saúde)	Estabelecer diretrizes, metas e estratégias de gestão para universalizar o saneamento básico em áreas rurais.	Brasil (2019a)
Novo PAC	2023	Nacional	Casa Civil e Ministério das Cidades	Investir em infraestrutura hídrica, retomar obras paralisadas e ampliar cisternas e sistemas de abastecimento em áreas rurais.	Brasil (2023)

Ademais, a articulação dessas ações com a propostas de diretrizes pelo Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) e os investimentos estruturantes do Novo PAC reforça a necessidade de uma estruturação sistemática para universalização do acesso, consolidando a água não apenas como recurso, mas como um direito fundamental para a redução das desigualdades regionais e sociais

Dentre esses Programas merecem destaque o Programa Cisternas e o Programa Água Doce por seu nível de consolidação e impacto por meio da instalação de soluções tecnológicas de abastecimento de água em comunidades no Brasil.

O Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e Tecnologias Sociais de Acesso à Água conhecido como Programa Cisternas é uma política pública que beneficiou, desde 2003, cerca de 1,2 milhão de famílias em mais de 1,5 mil municípios em 21 estados do Brasil, com meta de entre 2023 e 2026 implementar 219 mil cisternas e outras tecnologias sociais de abastecimento de água (Brasil, 2025c).

Este Programa buscou inicialmente a implementação de tecnologias sociais de captação e armazenamento de água pluvial ou subterrânea por meio de cisternas para prover água às comunidades ou escolas atingidas pela seca ou falta de água nas áreas rurais do Brasil (Brasil, 2018).

As soluções tecnológicas são, em geral, de baixo custo, e são instaladas a partir de atividades de mobilização social e capacitações para manejo e auxílio na gestão pela própria comunidade beneficiada. As tecnologias sociais buscam prover dois tipos de acesso, o de primeira água (consumo humano) e o de segunda água (dessedentação animal e irrigação) (Brasil, 2018; Gramkow, 2020).

Foram incorporadas ao programa diversas tecnologias sociais de abastecimento de água, aplicadas à cada realidade nos estados brasileiros. Tais tecnologias possuem instruções operacionais e normativas, com detalhamentos sobre seleção de beneficiários, capacitações e processo construtivo (Brasil, 2018).

Já o Programa Água Doce é uma ação de coordenação do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MDR) em parceria com instituições federais, estaduais, municipais e a sociedade civil, que registrou até o ano de 2025 a instalação de 1.131 sistemas de dessalinização em 10 estados brasileiros (Brasil, 2025c).

O problema da escassez hídrica e alto número de fontes de águas salobras ou salinas levou a população, desde a década de 1990, a buscar soluções de dessalinização para consumo de água captada por poços na região Nordeste do Brasil. O Ministério do Meio Ambiente passou a estruturar uma metodologia para articular essas tecnologias com os devidos cuidados técnicos, sociais e ambientais, denominando esta ação como Programa Água Doce (Brasil, 2012).

O sistema instalado é constituído de dessalinizador formado por membranas de osmose reversa, reservatórios de água potável, um chafariz e tanques de contenção do concentrado gerado nas membranas (Brasil, 2012).

A operação do sistema de potabilização da água é realizada por um membro da comunidade, que recebe treinamento, os custos da energia elétrica são assumidos pelo município ou comunidade, de acordo com acordo de gestão. Incentiva-se em cada comunidade a criação de um fundo de reserva para eventuais manutenções do sistema, a partir de um valor mensal pago por cada família (Brasil, 2020b).

Costa (2019), em estudo realizado na cidade de Amparo, mais especificamente com os habitantes do Agrupamento Fundiário Caiçara, identificou que 62% dos entrevistados apontaram a melhoria no acesso à água potável como principal benefício do sistema instalado pelo Programa Água Doce, enquanto 38% apontaram o aumento na produtividade agrícola através da irrigação com a água tratada como o maior benefício.

Embora constituído juridicamente como organização da sociedade civil sem fins lucrativos, o Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR) consolidou-se como um modelo de gestão estruturante para a política de saneamento rural no Nordeste. O sistema opera sob a lógica do associativismo, federando associações comunitárias para promover a autogestão compartilhada dos sistemas de abastecimento, com suporte técnico contínuo da companhia estadual (CAGECE) (Meleg, 2012; Salles e Lima, 2017)

Apesar do foco na gestão de sistemas de abastecimento por rede, devido à sua robustez operacional, o SISAR atua como parceiro estratégico de sustentabilidade para iniciativas federais, como o Programa Água para Todos; ao assumir a gestão técnica e manutenção das infraestruturas implantadas por esse programa, o modelo assegura a longevidade dos sistemas e a continuidade do abastecimento, mitigando o risco de descontinuidade dos serviços (SISAR, 2025).

O SISAR teve sua aplicação iniciada na região de Sobral-CE, expandindo-se consistentemente a partir de 2001 para outras áreas do estado. Atualmente, o modelo encontra-se consolidado e é constituído por oito unidades de negócio (SISARs) distribuídas por bacias hidrográficas, abrangendo a quase totalidade dos municípios cearenses. Os sistemas mantêm o apoio operacional da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) por meio da Gerência de Saneamento Rural (GESAR), que desempenha um papel estratégico de suporte técnico e de regulação da qualidade dos serviços prestados pelas associações comunitárias (SISAR, 2025).

Segundo dados recentes do Instituto SISAR (2025), o modelo de gestão atende a mais de 1,1 milhão de habitantes em cerca de 2.500 localidades rurais, cobrindo aproximadamente 164 municípios. No entanto, desafios persistem. Embora o sistema tenha obtido êxito na autossustentabilidade de comunidades maiores, a viabilidade técnica e econômica em localidades rurais muito dispersas e de pequeno porte ainda demanda o aprimoramento de estratégias e investimentos externos, como os observados recentemente no Programa Águas do Sertão, para garantir a inclusão dessas populações sem comprometer o equilíbrio financeiro do modelo.

Com base nas experiências no campo do saneamento em áreas rurais brasileiras foi publicado no ano de 2019, em parceria realizada entre a Funasa e a Universidade de Minas Gerais, o Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), com o objetivo de estabelecer diretrizes, metas e estratégias de gestão para universalizar o saneamento básico nas diversas ruralidades brasileiras (Brasil, 2019a).

3.2.3. Matriz tecnológica do Programa Nacional de Saneamento Rural

O Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) propõe três eixos estratégicos relacionados à melhor formulação de soluções para o saneamento rural no Brasil: Tecnologia, Gestão dos Serviços e Educação e Participação Social (Brasil, 2019a).

O eixo de tecnologia, segundo o PNSR: “dá suporte às medidas estruturais (obras e intervenções físicas em infraestruturas de saneamento), por meio da identificação das soluções, de natureza coletiva ou individual, para o abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e manejo de água pluviais.” (Brasil, 2019a).

A Lei Federal nº 11.445/07, a qual determinou a necessidade da confecção do Plansab, apresenta aspectos relacionados à dimensão tecnológica do saneamento básico e entre eles a construção de uma matriz tecnológica, atual e apropriada, ligada à adoção de métodos e

técnicas que considerem as especificidades socioambientais, inovações, modernização tecnológica, sustentabilidade e participação das comunidades (Brasil, 2007).

Em consequência disso, o PNSR trouxe em seu conteúdo matrizes tecnológicas para cada eixo do saneamento básico nas áreas rurais. Tais matrizes são constituídas por soluções que buscam a preservação da qualidade das águas, o acesso da população de baixa renda ao saneamento básico, modernização e racionalização da gestão e a redução de custos a fim de melhorar o equilíbrio econômico-financeiro dos serviços (Brasil, 2019a).

As alternativas tecnológicas estão associadas ao tipo de manancial ou fonte de captação e à qualidade da água bruta, e podem ser visualizadas nas Figura 3.13 e Figura 3.14, representativas, respectivamente, das soluções coletivas e individuais.

A matriz tecnológica proposta dividiu-se em alternativas tecnológicas de sistemas coletivos, os quais buscam atender aglomerados, de forma que a produção e o tratamento de água sejam realizados em locais diferentes dos pontos de consumo, e os individuais, os quais são sistemas que incluem produção, tratamento e o consumo de água destinada a um único domicílio. As alternativas tecnológicas estão associadas ao tipo de manancial ou fonte de captação e à qualidade da água bruta, e podem ser visualizadas nas Figura 3.13 e Figura 3.14, representativas, respectivamente, das soluções coletivas e individuais (Brasil, 2019a).

Foram definidas quatro condicionantes para a definição das soluções tecnológicas para cada realidade rural, relacionadas aos aspectos: ambientais, demográficos, culturais e socioeconômicos. A partir dessas condicionantes são elencadas oito diretrizes com estratégias sugeridas para a seleção de tecnologias.

Os sistemas coletivos de abastecimento apresentam alternativas tecnológicas de tratamento aplicáveis a águas de mananciais superficiais ou subterrâneos, com diferenciação para águas doces e salobras, as quais necessitam de um pré-tratamento seguido de separação por membranas de ultrafiltração ou osmose reversa.

Já as soluções individuais abrangem alternativas em que o abastecimento de água pode ser realizado a partir de mananciais superficiais, subterrâneos e água da chuva. As soluções para água doce são similares às apresentadas para os sistemas coletivos, com destaque para a filtração lenta, aplicável ao tratamento de água proveniente dos três tipos de fonte de captação. Já para as águas salobras a dessalinização solar substitui a separação por membranas, provavelmente por questões de complexidade e custos.

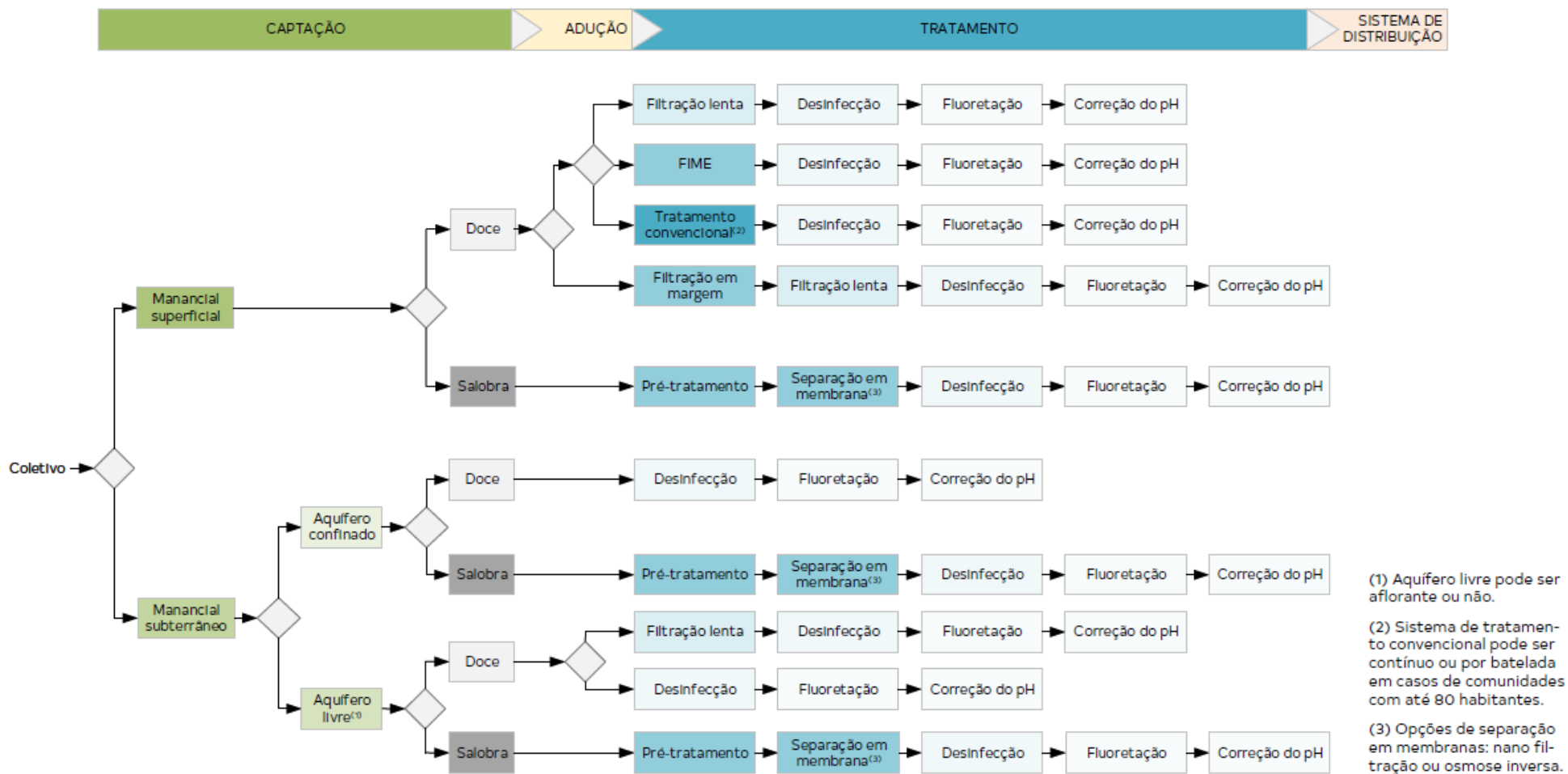
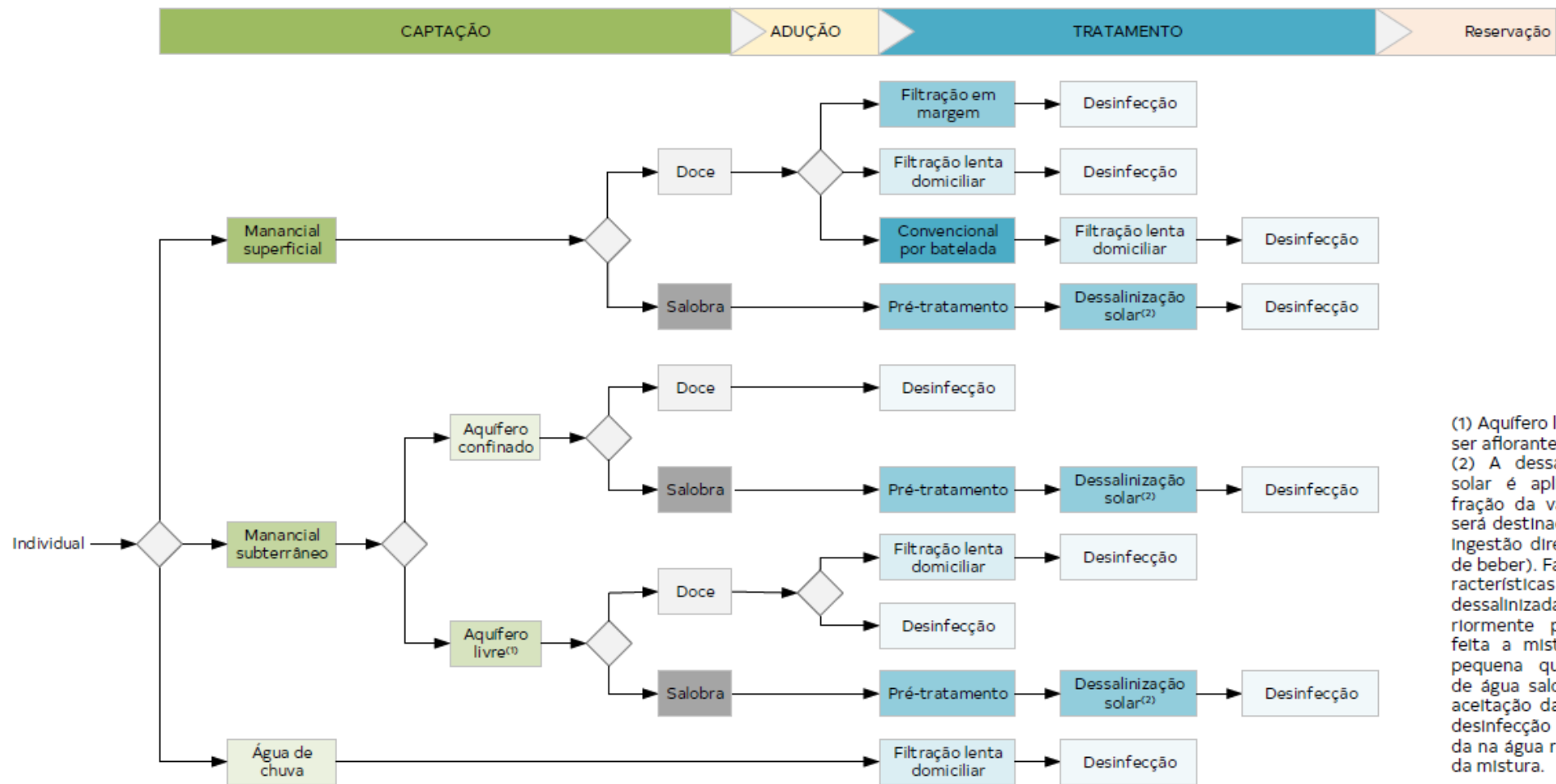


Figura 3.13 - Matriz tecnológica para soluções coletivas (Funasa, 2019).



(1) Aquifero livre pode ser aflorante ou não.
 (2) A dessalinização solar é aplicada na fração da vazão que será destinada para a ingestão direta (água de beber). Face às características da água dessalinizada, posteriormente pode ser feita a mistura com pequena quantidade de água salobra para aceitação da água. A desinfecção é aplicada na água resultante da mistura.

Figura 3.14 - Matriz tecnológica para soluções individuais (Funasa, 2019)

Ressalta-se que todas as tecnologias apresentadas devem ser sucedidas de desinfecção, considerando que a Portaria nº888/21 estabelece em seu artigo 24 que “toda água para consumo humano fornecida coletivamente deverá passar por processo de desinfecção ou adição de desinfetante para manutenção dos residuais mínimos” e que o PNSR recomenda a desinfecção como garantia de segurança microbiológica da água também para os sistemas de abastecimento individuais (Brasil, 2019a; Brasil, 2021).

Além disso o PNSR apresenta a etapa de fluoretação como parte constituinte dos arranjos tecnológicos coletivos, o que se deve a determinação do Ministério da Saúde por meio da Lei nº 6050/74 em seu artigo 1º, o qual dispõe que “os projetos destinados à construção ou a ampliação de sistemas públicos de abastecimento de água, onde haja estação de tratamento, devem incluir previsões e planos relativos à fluoretação da água” (Brasil, 1974).

Diante disso as tecnologias de tratamento que constituem os arranjos tecnológicos coletivos e individuais apresentados nas matrizes tecnológicas estão apresentadas nos tópicos que seguem, a fim de auxiliar no entendimento de seu funcionamento e aplicabilidade a contextos rurais.

3.2.3.1. Filtração Lenta Convencional

A filtração lenta é uma das principais tecnologias de tratamento de água indicadas na matriz tecnológica do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), sendo aplicável tanto a sistemas coletivos quanto individuais. Essa tecnologia é recomendada para o tratamento de água doce proveniente de mananciais superficiais ou de águas subterrâneas de aquíferos livres, especialmente em contextos rurais com limitações técnicas e operacionais (Brasil, 2019a).

O funcionamento da filtração lenta baseia-se na percolação da água através de um meio filtrante de areia fina, disposto sobre uma camada suporte e um sistema de drenagem inferior. De acordo com a NBR 12216/1992, esses filtros destinam-se ao tratamento de águas do tipo B, que podem atingir os padrões de potabilidade sem a necessidade de coagulação, desde que apresentem características adequadas (ABNT, 1992).

A eficiência do processo resulta da atuação conjunta de mecanismos físicos e biológicos. Além da retenção de partículas sólidas pela baixa granulometria do meio filtrante, forma-se na superfície do filtro uma camada biologicamente ativa, conhecida como *schmutzdecke*, responsável pela remoção de microrganismos patogênicos por processos como adsorção, predação e morte natural (Di Bernardo *et al.* 1999).

Entre as principais limitações da tecnologia destaca-se a necessidade de amadurecimento da camada biológica, o que pode causar variações na eficiência do tratamento durante o início da operação ou após procedimentos de manutenção. A limpeza geralmente é realizada por raspagem da camada superficial da areia, podendo ser facilitada pelo uso de mantas geotêxteis, que reduzem a perda de material filtrante (Di Bernardo *et al.* 1999; Bernardes *et al.* 2018).

No âmbito do PNSR, a filtração lenta pode compor sistemas de abastecimento coletivo, na forma de filtração lenta convencional, sendo recomendada como etapa inicial do tratamento, seguida de desinfecção e fluoretação. Em alguns casos, pode ser precedida por filtração em margem como pré-tratamento, ampliando sua aplicabilidade a diferentes condições de mananciais rurais.

3.2.3.2. Filtração lenta domiciliar

A filtração lenta domiciliar é uma adaptação da filtração lenta para localidades nas quais sistemas coletivos não são viáveis, sendo os arranjos unifamiliares as soluções mais adequadas para o abastecimento de água segura aos domicílios. Sendo assim, essa tecnologia é apresentada na matriz tecnológica do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) como uma solução individual de tratamento de água.

Sua utilização é indicada como etapa inicial do tratamento de águas doces provenientes de mananciais superficiais, águas subterrâneas de aquíferos livres e água pluvial, sendo obrigatoriamente seguida de desinfecção. O PNSR também prevê arranjos em que a filtração lenta domiciliar é precedida por tratamento convencional em batelada, quando há necessidade de pré-tratamento da água bruta (Brasil, 2019a).

O princípio de funcionamento é semelhante ao da filtração lenta convencional, baseando-se na percolação da água por um meio filtrante de areia fina. O processo combina mecanismos físicos e biológicos, com a formação, no topo do meio filtrante, de um biofilme biologicamente ativo (*schmutzdecke*), responsável pela remoção de partículas e microrganismos patogênicos (Di Bernardo *et al.*, 1999; Freitas *et al.* 2022).

A tecnologia apresenta elevada eficiência na melhoria das características físicas, químicas e microbiológicas da água, sendo amplamente reconhecida por sua confiabilidade. Contudo, sua aplicação é limitada a águas com baixa turbidez e baixa cor verdadeira, uma vez que valores elevados desses parâmetros reduzem a eficiência do processo e a duração das carreiras de filtração (Di Bernardo *et al.* 1999).

Outra limitação está relacionada com a qualidade microbiológica da água bruta, já que há restrições quanto às concentrações de coliformes totais (1000 NMP/100ml) e *Escherichia coli* (500 NMP/100ml). Para atender a essas exigências, estudos recentes investigam o uso de pré-tratamentos com coagulantes naturais, como *Moringa oleifera*, quitosana e *Opuntia ficus*, visando à adequação da água sem comprometer a atividade biológica do biofilme (Freitas e Sabogal-Paz, 2019; Holmes *et al.* 2023).

É importante destacar que filtros lentos domiciliares podem operar tanto em modo batelada, alimentados de forma manual pelo consumidor, quanto contínuo, alimentados por bombeamento. O projeto do filtro deve ser adaptado ao modo de operação desejado, de forma a garantir a efetividade da atividade biológica (Freitas *et al.* 2022; Soares, 2024).

Como exemplos de aplicação em áreas rurais, destacam-se os filtros construídos e aplicados pelo *Centre for Affordable Water and Sanitation Technology* (CAWST, 2012) e pela Hart (2014). No Brasil essa tecnologia foi utilizada no âmbito do Projeto Sanear Amazônia, no sistema pluvial multiuso, atualmente incorporado às tecnologias do Programa Cisternas (Bernardes *et al.* 2018; Brasil, 2018).

3.2.3.3. Filtração em Múltiplas Etapas (FIME)

A filtração em múltiplas etapas (FIME) é uma tecnologia de tratamento de água recomendada na matriz do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) para sistemas coletivos que utilizam mananciais superficiais de água doce. Essa alternativa é indicada especialmente em situações em que a qualidade da água bruta não é compatível com a aplicação direta da filtração lenta, dispensando o uso de coagulação química e priorizando soluções de menor complexidade operacional (Di Bernardo *et al.*, 1999).

O princípio da FIME baseia-se na combinação sequencial de unidades de filtração, nas quais cada etapa condiciona o efluente para a etapa seguinte. O arranjo clássico é composto por pré-filtração dinâmica, pré-filtração grosseira em pedregulho e filtração lenta, formando um sistema integrado que promove a melhoria progressiva da qualidade da água até níveis compatíveis com a filtração lenta (Di Bernardo *et al.*, 1999).

A pré-filtração dinâmica tem como principal função a amortização de picos de turbidez, atuando como proteção às unidades subsequentes e contribuindo, em menor grau, para a remoção microbiológica (Galvis *et al.* 1997; Di Bernardo *et al.* 1999). Já a pré-filtração em pedregulho apresenta maior eficiência na remoção de turbidez, coliformes e cor verdadeira,

reduzindo significativamente a carga aplicada ao filtro lento (Visscher *et al.* 1996; Di Bernardo *et al.* 1999).

A configuração do sistema pode variar conforme a qualidade da água de alimentação. Em situações de menor comprometimento da água bruta, a FIME pode operar apenas com a pré-filtração dinâmica, enquanto águas com altos valores de turbidez e elevada densidade microbológica demandam a associação das duas etapas de pré-filtração, podendo inclusive ser utilizados múltiplos pré-filtros em série para redução do risco sanitário (Di Bernardo *et al.*, 1999).

No contexto do PNSR, a FIME constitui uma solução robusta para comunidades rurais que dependem de mananciais superficiais mais vulneráveis, sendo normalmente seguida de desinfecção como etapa final. Sua principal limitação está na necessidade de maior área e número de unidades, além de operação e manutenção mais complexas em comparação à filtração lenta isolada, ainda que apresente elevada confiabilidade em contextos de maior variabilidade da água bruta.

3.2.3.4. Tratamento Convencional

O tratamento convencional, ou de ciclo completo, é indicado na matriz tecnológica do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) para o tratamento de águas doces provenientes de mananciais superficiais, sendo classificado como uma tecnologia de aplicação coletiva. Esse tipo de sistema é caracterizado como um conjunto de múltiplas barreiras, no qual cada etapa do processo contribui para a remoção de diferentes contaminantes, aumentando a confiabilidade do tratamento (Di Bernardo *et al.* 2017).

O sistema convencional contínuo é composto, em geral, pelas etapas de coagulação, floculação, decantação ou flotação e filtração rápida, sendo a desinfecção aplicada como etapa final. De acordo com a NBR 12216/1992, esse tratamento é destinado a águas do tipo C, ou seja, águas superficiais provenientes de bacias não protegidas que necessitam de coagulação para o atendimento aos padrões de potabilidade (ABNT, 1992).

Essa tecnologia é adequada ao tratamento de águas com elevados valores de turbidez, cor verdadeira, microrganismos e algas, sendo amplamente utilizada em sistemas públicos de abastecimento (Di Bernardo *et al.* 2017). No contexto rural, o PNSR indica sua aplicação principalmente em pequenos municípios ou grandes aglomerados rurais, devido à maior complexidade construtiva, operacional e de manutenção (Brasil, 2019a).

As estações de tratamento convencionais contínuas podem ser construídas em alvenaria ou na forma de unidades compactas pré-fabricadas, geralmente em aço ou fibra de vidro. Apesar da elevada eficiência e robustez, suas principais limitações estão associadas ao alto custo de implantação, maior demanda energética, necessidade de operadores capacitados e dependência de insumos químicos, o que restringe sua aplicação em comunidades rurais dispersas (Brasil, 2019b).

3.2.3.5. Tratamento convencional em batelada

O tratamento convencional operando em modo batelada é apresentado pelo PNSR como uma alternativa simplificada para o tratamento de águas superficiais em contextos rurais específicos. Essa configuração é indicada tanto como sistema coletivo para comunidades de até 80 habitantes quanto como pré-tratamento para a filtração lenta domiciliar em sistemas individuais.

A operação em batelada está associada ao funcionamento do sistema em modo descontínuo, ou O princípio de funcionamento é semelhante ao do sistema convencional contínuo, envolvendo as etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração, porém realizadas de forma descontínua, em ciclos operacionais. A operação em batelada permite adequar o tempo de produção de água à demanda da comunidade, reduzindo a complexidade operacional e o consumo energético.

No âmbito do PNSR, essa tecnologia é especialmente relevante como pré-tratamento da água bruta quando suas características não são compatíveis com a aplicação direta da filtração lenta domiciliar. Nesses casos, é prevista a utilização de coagulantes naturais, visando à redução de turbidez, cor e carga microbiológica sem comprometer a atividade biológica dos filtros subsequentes (Brasil, 2019a; Freitas et al. 2022).

Um exemplo consolidado dessa abordagem é a Solução Alternativa Coletiva Simplificada de Tratamento de Água (Salta-z), desenvolvida pela Funasa no estado do Pará. O sistema contempla todas as etapas do tratamento convencional, com coagulação por sulfato de alumínio, floculação e decantação em reservatório elevado, desinfecção por cloração e filtração em meio de zeólita (Brasil, 2017).

Entre as limitações do sistema em batelada destacam-se a necessidade de operador local, controle rigoroso dos tempos de processo e manejo adequado dos produtos químicos. Ainda assim, trata-se de uma solução de boa eficiência e adaptabilidade, especialmente para

pequenas comunidades rurais com restrições técnicas e operacionais (Brasil, 2017; Oliveira, 2022).

3.2.3.6. Filtração em Margem

A filtração em margem é uma tecnologia de tratamento de água indicada na matriz tecnológica do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) como alternativa aplicável tanto como pré-tratamento quanto como etapa única de tratamento. No contexto do PNSR, essa tecnologia é recomendada como pré-filtração para condicionamento da água à filtração lenta em sistemas coletivos com captação superficial, bem como como solução individual para captações superficiais domiciliares (Brasil, 2019a).

A filtração em margem é uma tecnologia de tratamento de água indicada na matriz tecnológica do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) como alternativa aplicável tanto como pré-tratamento quanto como etapa única de tratamento. No contexto do PNSR, essa tecnologia é recomendada como pré-filtração para condicionamento da água à filtração lenta em sistemas coletivos com captação superficial, bem como como solução individual para captações superficiais domiciliares (Grischek *et al.*, 2002).

Os principais alvos do tratamento incluem a redução de partículas em suspensão, matéria orgânica, nutrientes e microrganismos patogênicos. Estudos indicam elevada eficiência na remoção de bactérias, vírus e protozoários, como *Cryptosporidium* e *Giardia*, além da atenuação de micropoluentes emergentes, contribuindo para a melhoria significativa da qualidade da água bruta (Schubert, 2002; Grischek e Ray, 2009).

No Brasil, embora ainda apresente aplicação limitada, a filtração em margem tem sido estudada como uma alternativa sustentável e de baixo custo para comunidades rurais que utilizam mananciais superficiais com grande variabilidade sazonal de qualidade. Suas principais limitações estão associadas à dependência das condições hidrogeológicas locais, à necessidade de áreas adequadas para infiltração e à variabilidade da eficiência em função das características do solo e do nível do lençol freático (Di Bernardo *et al.*, 2017).

3.2.3.7. Separação em Membranas

A separação em membranas é um arranjo tecnológico recomendado pelo Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) para o tratamento de águas salobras, com salinidade na faixa de aproximadamente 0,5 a 30‰, sendo aplicável a sistemas coletivos que utilizam fontes superficiais ou subterrâneas, livres ou confinadas. Essa tecnologia é indicada especialmente

para regiões onde a salinidade constitui o principal fator limitante para o abastecimento de água potável (CETESB, 2017; Brasil, 2019a).

O PNSR apresenta como principais alternativas a nanofiltração (NF) e a osmose reversa (OR), ambas baseadas na aplicação de pressão para promover a passagem da água por membranas semipermeáveis. O processo resulta na separação da água de alimentação em dois fluxos: o permeado, correspondente à água tratada, e o concentrado, que reúne os sais e demais compostos rejeitados pelas membranas (GWN, 2021; AWWA, 2007).

O PNSR apresenta como principais alternativas a nanofiltração (NF) e a osmose reversa (OR), ambas baseadas na aplicação de pressão para promover a passagem da água por membranas semipermeáveis. O processo resulta na separação da água de alimentação em dois fluxos: o permeado, correspondente à água tratada, e o concentrado, que reúne os sais e demais compostos rejeitados pelas membranas (AWWA, 2007).

Ambos os processos requerem pré-tratamento da água bruta para controle de *fouling* e *biofouling*, associados à incrustação e à colonização biológica das membranas. As estratégias de pré-tratamento variam conforme a qualidade da água, podendo incluir filtração em cartucho, adição de anti-incrustantes, coagulação/floculação seguida de filtração granular ou, em situações mais críticas, ultrafiltração. (EPA, 2005; AWWA, 2007; Baker, 2023).

Apesar da elevada eficiência, as principais limitações dessas tecnologias estão relacionadas ao alto custo de implantação e operação, ao consumo energético, à necessidade de descarte adequado do concentrado e à dependência de operação especializada, fatores que condicionam sua aplicação em contextos rurais específicos.

3.2.3.8. Desinfecção

A desinfecção é uma etapa fundamental para a garantia da segurança microbiológica da água e está presente em todos os arranjos tecnológicos da matriz do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR). Além de atuar como etapa final em sistemas de tratamento mais complexos, o PNSR também recomenda sua aplicação como etapa única de tratamento em situações em que a água bruta, proveniente de aquíferos livres ou confinados, atende aos padrões de potabilidade para os parâmetros físico-químicos, sendo necessária apenas a inativação de microrganismos patogênicos (Brasil, 2019a; Brasil, 2021).

A utilização da desinfecção como tratamento exclusivo é compatível com o arcabouço normativo brasileiro. A Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece que toda água destinada ao

consumo humano deve atender ao padrão microbiológico, com ausência de *Escherichia coli*, e determina, para sistemas de abastecimento coletivo, a obrigatoriedade da aplicação de processo de desinfecção ou da adição de desinfetante, bem como a manutenção de concentrações mínimas de desinfetante residual ao longo da distribuição (Brasil, 2021).

Nesse contexto, a desinfecção como etapa única é indicada tanto para abastecimentos coletivos quanto individuais, especialmente em contextos rurais onde a água apresenta boa qualidade físico-química, mas há risco sanitário associado à contaminação microbiológica ou à possibilidade de recontaminação durante o armazenamento e a distribuição. Nesses casos, a desinfecção atua como uma barreira sanitária essencial, assegurando a conformidade com os requisitos legais e a proteção da saúde pública (Brasil, 2019a; Brasil, 2019b).

Diferentes métodos podem ser empregados para a desinfecção da água, com mecanismos distintos de inativação microbiológica. Entre as tecnologias mais difundidas em áreas rurais destacam-se a cloração, a desinfecção solar e a desinfecção por radiação ultravioleta (UV), cada uma com características específicas quanto ao funcionamento, aos alvos do tratamento e às condições de aplicação.

A cloração é o método mais amplamente utilizado no Brasil, devido à sua disponibilidade, baixo custo e capacidade de manter residual desinfetante, o que confere proteção contra recontaminações (Brasil, 2019b). Em sistemas coletivos, seu uso é respaldado pela legislação nacional, que exige a manutenção de concentrações mínimas de cloro residual (Brasil, 2021). Em contextos rurais e domiciliares, a aplicação é comumente realizada com hipoclorito de cálcio ou de sódio, sendo o cloro livre a espécie de maior poder desinfetante, ainda que menos estável que o cloro combinado (OMS, 2005; Piveli e Kato, 2006).

As recomendações da Organização Mundial da Saúde para desinfecção domiciliar com cloro estão apresentadas na Tabela 3.5 **Erro! Fonte de referência não encontrada..** O tempo de contato recomendado é de 30 minutos para água em temperatura ambiente, enquanto para águas com temperatura menor que 10 °C, recomenda-se 1 hora de contato.

Tabela 3.5 - Recomendações para cloração doméstica (OMS, 2005).

Composto de cloro	Concentração do composto	Recomendação
Hipoclorito de sódio (água sanitária)	5%	4 gotas por litro de água
Dicloroisocianurato de sódio (Dicloro)	15mg/comprimido	1 comprimido por litro de água
Hipoclorito de cálcio	Solução estanque de 1%	4 gotas por litro de água

Para a desinfecção de mananciais subterrâneos, a cloração pode ser realizada tanto por dispositivos como os da Brasil (2014b) e da Fiocruz Amazônia (Ferreira *et al.*, 2016) quanto por cloradores de pastilhas comerciais. Estes últimos, notáveis pela praticidade, são instalados na tubulação para promover o contato do cloro com a água durante o bombeamento, exigindo apenas o ajuste da dosagem para assegurar as concentrações residuais adequadas no tratamento.

A desinfecção solar constitui uma alternativa simples e de baixo custo, recomendada para tratamento domiciliar em locais onde o acesso a sistemas convencionais é limitado (OMS, 2022). O método baseia-se na exposição da água à radiação solar, principalmente UV-A, promovendo danos celulares aos microrganismos, com efetividade relacionada ao tempo de exposição, da intensidade da radiação e da qualidade da água bruta. O sistema SODIS, que utiliza recipientes transparentes, é o arranjo mais difundido, embora soluções aprimoradas, como o sistema Aqualuz, tenham sido desenvolvidas para reduzir o tempo de exposição e aumentar a eficiência do processo (Luzi *et al.* 2016; Magalhães *et al.* 2022).

A desinfecção por radiação ultravioleta (UV) é um processo físico que utiliza radiação na faixa UV-C para inativação de microrganismos por danos ao DNA e RNA, sem adição de produtos químicos (OMS, 2022). Essa tecnologia apresenta elevada eficácia contra bactérias, vírus e protozoários, inclusive espécies mais resistentes como *Cryptosporidium* e *Giardia*, a depender da dose e tempo de exposição (Hargy e Landry, 2009; Adeyemo *et al.* 2019). Além disso, não gera subprodutos químicos, o que constitui uma de suas principais vantagens em relação à cloração (EPA, 2006).

Entretanto, os métodos de desinfecção como etapa única apresentam limitações importantes. A cloração pode gerar subprodutos indesejáveis e depende do controle adequado de dosagem; a desinfecção solar é fortemente condicionada à intensidade da radiação e à turbidez da água; e a desinfecção UV não mantém residual, exigindo cuidados adicionais para evitar recontaminação. Assim, a escolha do método deve considerar as características da água bruta, o contexto operacional e as condições socioeconômicas da comunidade atendida.

3.2.3.9. Dessalinização Solar

A dessalinização solar, também denominada destilação solar passiva, é uma tecnologia indicada na matriz do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) para o tratamento de águas salobras, com salinidade entre aproximadamente 0,5 e 30‰. No âmbito do PNSR,

essa alternativa é destinada a unidades individuais, aplicáveis a fontes superficiais ou subterrâneas, livres ou confinadas, especialmente em contextos rurais com elevada disponibilidade de radiação solar e limitações de acesso a energia elétrica (CETESB, 2017; Brasil, 2019a).

O funcionamento da dessalinização solar baseia-se no princípio da destilação, utilizando a energia solar como fonte térmica. O processo envolve os fenômenos de evaporação e condensação, promovidos pelo efeito estufa: a radiação solar atravessa uma cobertura transparente, aquece a lâmina de água armazenada em um reservatório raso e provoca sua evaporação; o vapor gerado condensa-se na superfície interna da cobertura e é conduzido a um canal coletor, resultando em água de baixa salinidade (Silva, 2014).

Para a realização desses fenômenos, são necessárias estruturas que, quando atingidas pelos raios de sol, possibilitem a separação dessas frações. O princípio de funcionamento baseia-se no efeito estufa: a radiação solar atravessa uma cobertura transparente, aquece a água armazenada em um recipiente raso, promovendo sua evaporação. O vapor gerado condensa-se na face interna da cobertura e escorre para um canal coletor, resultando em água com baixa salinidade, adequada para consumo humano.

O mecanismo de destilação solar é eficiente na remoção de sais dissolvidos, microrganismos patogênicos e diversos contaminantes químicos, produzindo água de boa qualidade para ingestão. Contudo, sua produtividade é limitada: destiladores solares simples apresentam rendimento médio de 2 a 4 litros por metro quadrado de área coletora por dia, dependendo da radiação solar disponível e do desenho do equipamento (Conserva *et al.* 2023). Além disso, embora a operação não exija mão de obra especializada, os sistemas operam geralmente em modo batelada, demandando intervenções frequentes para alimentação, coleta do destilado, descarte do concentrado e limpeza.

No contexto rural brasileiro, a tecnologia tem sido aplicada e avaliada sobretudo no semiárido nordestino, com experiências registradas em comunidades rurais da Paraíba, por parte da Associação de Profissionais em Agroecologia (APA) do estado, e em estudos acadêmicos recentes, como os de Cardoso *et al.* (2020) e Leite (2024).

Apesar de sua simplicidade operacional, os sistemas requerem projeto técnico adequado, envolvendo cálculos de transferência de calor, o que confere à tecnologia um nível intermediário de complexidade construtiva (Silva, 2014).

3.3. DIAGNÓSTICOS DE SANEAMENTO EM COMUNIDADES RURAIS

O conceito de ruralidade, presente no PNSR, associa características próprias, ambientais, socioeconômicas, demográficas e culturais aos diferentes aglomerados rurais. Tais características são essenciais para a compreensão da disponibilidade e da demanda de água em cada realidade, o que é fundamental para a proposta de soluções de abastecimento de água (Roland *et al*, 2019).

A elaboração de diagnósticos participativos é uma forma eficaz de compreender as realidades ambiental, demográfica, econômica e cultural das comunidades rurais. A aplicação desta metodologia permite adentrar na realidade e nos desafios de acesso ao saneamento básico nesses locais. Dessa forma, os diagnósticos revelam cenários muitas vezes ocultos pelos dados e servem como base para pesquisas que proponham soluções tecnológicas de saneamento adequadas a cada ruralidade (Brasil, 2019a).

Diversos estudos ao redor do mundo utilizam os diagnósticos como ferramentas para a compreensão das condições de abastecimento de água em comunidades rurais. A Tabela 3.6 apresenta algumas pesquisas que aplicaram essa abordagem participativa em diferentes países.

Tabela 3.6 - Diagnósticos internacionais de abastecimento de água em comunidades rurais

Autor / Ano	Metodologia	País
Wada <i>et al.</i> (2021)	Aplicação de questionários, entrevista com informante-chave e observações.	Nigéria
Htet Ko & Sakai (2021)	Aplicação de questionário, monitoramento de qualidade da água	Myanmar
Alvarado <i>et al.</i> (2022)	Aplicação de questionários, grupos focais e monitoramento de qualidade da água	México
Marks <i>et al.</i> (2022)	Entrevistas semiestruturadas, monitoramento de qualidade da água, mapas de localização das fontes e grupos focais.	Uganda
Murei <i>et al.</i> (2022)	Aplicação de questionário e levantamento fotográfico.	África do Sul
Pérez-Vásquez <i>et al.</i> (2022)	Aplicação de questionários virtuais.	Equador
Hoque <i>et al.</i> (2024)	Aplicação de questionário, grupos focais e observação não participativa	Bangladesh

Os estudos apresentados revelam a aplicabilidade de diagnósticos de abastecimento de água em comunidades rurais em diferentes localidades, contextos e com diferentes objetivos. Essa pluralidade reflete-se também na diversidade metodológica adotada, que variou entre questionários, entrevistas, grupos focais, monitoramento da qualidade da água, observações, registros fotográficos e produção de mapas, conforme o escopo de cada aplicação.

Identificou-se, nesses trabalhos, a coleta de informações relacionadas a aspectos como o levantamento das estruturas de abastecimento de água existentes, qualidade da água de acesso das comunidades, aspectos socioeconômicos e culturais dos moradores e características ambientais das localidades.

No Brasil também foram elaborados vários diagnósticos sobre o abastecimento de água em comunidades rurais. Assim como os estudos internacionais apresentados, os estudos nacionais apresentam enfoques variados, abrangendo diferentes dimensões em suas análises. Alguns estudos concentram-se na identificação das estruturas de saneamento existentes; outros priorizam os aspectos socioeconômicos e culturais das comunidades. Há ainda pesquisas que se dedicam à avaliação da qualidade das estruturas e/ou serviços de saneamento, bem como aquelas que enfatizam os impactos e condições ambientais relacionados às comunidades.

Diante disso, alguns diagnósticos obtidos em comunidades rurais brasileiras são apresentados na Tabela 3.7, a fim de apresentar a diversidade de propostas metodológicas e abordagens realizadas nestes, as diversas localizações e tamanho de amostras dos estudos, além da possibilidade de execução de diagnósticos resumidos a exposição da realidade ou ainda relacionados a propostas de solução para os problemas encontrados.

Como o levantamento bibliográfico teve como foco as experiências brasileiras, foram consultadas preferencialmente as bases de dados em português, como Periódico CAPES, Google Acadêmico e Scielo.

Na Tabela 3.7 estão contidas informações como autor e ano de publicação, localidade objeto do diagnóstico, no estudo, ferramentas metodológicas utilizadas no estudo, tamanho da amostra e um levantamento dos aspectos avaliados em cada diagnóstico.

Tabela 3.7 - Diagnósticos de saneamento rural realizados em comunidades rurais brasileiras.

Nº	Autor e Ano	Localidade objeto do diagnóstico	Metodologia	Amostra	Abordagem do diagnóstico				
					ES	QS	ASC	CA	PS
1	Silva <i>et al.</i> (2019)	Comunidade Nova Esperança (BA)	Entrevistas semiestruturadas e observação direta	150 domicílios	Sim	Não	Sim	Não	Não
		Comunidade Queimadas (CE)		190 domicílios	Sim	Não	Sim	Não	Não
2	Roland <i>et al.</i> (2019)	Comunidade Quilombola Barra de Oitis (PB)	Entrevistas semiestruturadas individuais e coletivas e observação direta	160 domicílios	Sim	Não	Sim	Não	Não
		Assentamento Serra Negra (PE)		64 domicílios	Sim	Não	Sim	Não	Não
		Comunidade Queimadas (CE)		190 domicílios	Sim	Não	Sim	Não	Não
3	Aleixo <i>et al.</i> (2016)	Comunidade de Cristais (CE)	Aplicação de questionários e observação direta	193 domicílios	Sim	Não	Sim	Não	Não
4	Simonato <i>et al.</i> (2018)	Assentamento Estrela da Ilha (Ilha Solteira/SP)	Entrevistas semiestruturadas e anotações em diário de bordo	35 famílias	Sim	Não	Sim	Não	Não
5	Peroni <i>et al.</i> (2021)	Assentamento União da Vitória (Suzanópolis/SP)	Aplicação de questionários e determinação de ausência/presença de coliformes fecais	50 famílias	Sim	Sim	Sim	Não	Não

Legenda: Estruturas de Saneamento Existentes (ES); Qualidade dos serviços de Saneamento (QS); Aspectos Socioeconômicos e Culturais (ASC); Caracterização Ambiental (CA); Proposta de Soluções (PS).

Tabela 3.7 - Diagnósticos de saneamento rural realizados em comunidades rurais brasileiras. (Continuação)

Nº	Autor e Ano	Localidade objeto do diagnóstico	Metodologia	Amostra	Abordagem do diagnóstico				
					ES	QS	ASC	CA	PS
6	Fialho <i>et al.</i> (2017)	Assentamento Estrela da Ilha (Ilha Solteira/SP)	Análises de qualidade da água em laboratório	18 domicílios	Não	Sim	Não	Não	Não
7	Silva <i>et al.</i> (2020)	Comunidade Quilombola de Remanso (BA)	Aplicação de questionários e observação direta	20 domicílios	Sim	Não	Sim	Não	Não
8	Silva (2023)	Comunidade Cachoeira das Almas (Florestal/MG)	Aplicação de questionários e observação direta	78 domicílios	Sim	Não	Sim	Não	Sim
9	Coelho <i>et al.</i> (2016)	Comunidade Cinturão Verde (São Luís/MA)	Análises de qualidade da água em laboratório.	4 poços	Sim	Sim	Não	Não	Não
10	Bernardes <i>et al.</i> (2018)	Comunidades extrativistas do Médio Juruá (AM)	Entrevistas semiestruturadas e Índice de Acesso à Água (IAA).	140 domicílios	Sim	Sim	Sim	Não	Sim

Legenda: Estruturas de Saneamento Existentes (ES); Qualidade dos serviços de Saneamento (QS); Aspectos Socioeconômicos e Culturais (ASC); Caracterização Ambiental (CA); Proposta de Soluções (PS).

Tabela 3.7 - Diagnósticos de saneamento rural realizados em comunidades rurais brasileiras. (Continuação)

Nº	Autor e Ano	Localidade objeto do diagnóstico	Metodologia	Amostra	Abordagem do diagnóstico				
					ES	QS	ASC	CA	PS
11	Hinnah (2024)	Comunidade Quilombola Sagrado Coração de Jesus do Lago de Serpa (AM)	Entrevistas semiestruturadas, observação direta e análises de qualidade da água.	40 domicílios	Sim	Sim	Sim	Não	Não
12	Oliveira <i>et al.</i> (2023)	8 comunidades no Cariri Cearense	Entrevistas semiestruturadas e aplicação de matriz de indicadores	1 indivíduo por comunidade	Sim	Não	Sim	Não	Não
13	Silva <i>et al.</i> (2017)	Assentamento rural São João II (Pombal/PB)	Visitas de campo, foto documentação e aplicação de questionários	10 domicílios	Sim	Não	Sim	Não	Sim
14	Gontijo <i>et al.</i> (2020)	Comunidade Amadeu Lacerda (Divinópolis/MG)	Diário de campo, observações diretas e pesquisas documentais.	-	Sim	Não	Sim	Não	Não
15	Neto <i>et al.</i> (2018)	Comunidade Riachinho (Barreiras/BA)	Aplicação de questionários.	20 domicílios	Sim	Não	Sim	Não	Não

Legenda: Estruturas de Saneamento Existentes (ES); Qualidade dos serviços de Saneamento (QS); Aspectos Socioeconômicos e Culturais (ASC); Caracterização Ambiental (CA); Proposta de Soluções (PS).

Analisando as ferramentas aplicadas nos diagnósticos apresentados, é possível verificar a aplicação recorrente de entrevistas semiestruturadas, presentes em 6 estudos, e questionários, em 5 estudos. Além dessas, os estudos apresentam uma diversidade de ferramentas como análises de qualidade, aplicação de índices, observações e foto documentação.

Apenas 1 dos diagnósticos não incluiu a investigação das estruturas de saneamento existentes nas comunidades estudadas, e somente 2 não coletaram informações sobre as características socioculturais das comunidades estudadas. Por outro lado, apenas 5 diagnósticos incluíram análises de qualidade dos serviços de saneamento, como análises de qualidade da água. Já a caracterização ambiental da área da comunidade não foi incluída em nenhum dos 15 diagnósticos levantados.

Além disso apenas 3 diagnósticos propuseram ações ou soluções em abastecimento de água face às necessidades diagnosticadas (Silva *et al.* 2017; Bernardes *et al.* 2018; Silva, 2023) sendo que nenhuma dessa abordou todos os aspectos citados dentro dos diagnósticos que balizaram essas propostas.

No contexto do Semiárido da Paraíba, Silva *et al.* (2017) realizaram um levantamento censitário no Assentamento São João II para fundamentar propostas de adequação ambiental. O trabalho diagnosticou a precariedade no acesso à água potável e propôs medidas de tratamento domiciliar para as fontes já existentes, como cisternas de placas e açudes. A escolha das soluções, porém, foi realizada apenas pelos pesquisadores, em análise de viabilidade técnica, econômica com base na literatura, sem etapas de participação social, que se limitou à aplicação de questionários no diagnóstico.

Em estudo realizado no território rural de Cachoeira das Almas (MG), Silva (2023) buscou elaborar propostas de soluções de saneamento baseadas em um diagnóstico qualitativo da percepção dos moradores e das estruturas de saneamento existentes. Como soluções a autora propôs, baseada em normas técnicas e revisão bibliográfica, a readequação dos sistemas coletivos com tratamento por desinfecção e correção de pH, e, para áreas isoladas, a instalação de filtros lentos domiciliares. Embora a pesquisa tenha envolvido a comunidade na fase de levantamento de dados e identificação de demandas, a participação social foi apenas recomendada como uma estratégia futura para a fase de implementação das ações propostas.

Já Bernardes *et al.* (2018) apresentaram a experiência do Projeto Sanear Amazônia em Reservas Extrativistas, focada na implementação de tecnologias sociais de acesso à água,

como sistemas de captação de água de chuva (cisternas) e tratamento por filtro lento. Diferente dos outros estudos, a participação social foi o eixo estruturante do projeto, caracterizada pelo protagonismo das organizações comunitárias (como a ASPROC) e dos movimentos sociais desde a concepção da política pública até a gestão e execução das obras. A seleção e instalação das tecnologias foram realizadas com participação social em um fortalecendo a organização comunitária e garantindo a apropriação das soluções pelos usuários.

Diante dos estudos apresentados é possível evidenciar que, apesar da vasta aplicação de diagnósticos de abastecimento de água em comunidades rurais brasileiras, com a inclusão de diferentes aspectos, ainda há uma lacuna na realização de estudos que contemplem a investigação das estruturas de saneamento existentes, avaliação da qualidade da água, aspectos socioeconômicos e culturais, e caracterização ambiental como subsídio para a proposta de soluções de abastecimento de água.

Além disso, são ainda escassos os processos de seleção de soluções tecnológicas de abastecimento de água que contemplem o envolvimento comunitário, sendo a participação social em sua maior parte abordada somente nas etapas de levantamento de informações. Essa lacuna reforça a importância do desenvolvimento e aplicação de metodologias de seleção participativa, visto que a apropriação tecnológica pela comunidade na fase de escolha é um fator determinante para a sustentabilidade e efetividade dos sistemas de saneamento rural.

No âmbito dos diagnósticos em comunidades rurais brasileiras, o Projeto “Saneamento e Saúde Ambiental em Comunidades Rurais e Tradicionais de Goiás (SanRural)” da Universidade Federal de Goiás (UFG) em parceria com a Funasa, merece destaque. Foram elaborados diagnósticos de saneamento em 115 comunidades rurais, classificadas como assentamentos, comunidades quilombolas ou ribeirinhas na região Centro-Oeste com o objetivo de diagnosticar de forma técnica e colaborativa as condições de saneamento e saúde ambiental em comunidades rurais e tradicionais do estado do Goiás (Scalize, 2019).

Para a obtenção dos diagnósticos foi aplicada a metodologia de diagnóstico técnico participativo (DTP), que abrangeu diferentes aspectos geográficos, ambientais, históricos, culturais, socioeconômicos, de saúde e saneamento, possibilitando uma avaliação integral da realidade em que se insere cada comunidade, propiciando um material robusto para a proposta de ações locais e governamentais para melhora da qualidade de vida dos seus

membros. Os instrumentos utilizados para as coletas de informações foram *checklists*, entrevistas semiestruturadas, formulários e mapeamento socioambiental (Scalizer, 2019).

Dentre os diversos aspectos contemplados nesses diagnósticos, destaca-se a integração entre as condições de saneamento e saúde da comunidade por meio de indicadores de saneamento e indicadores de saúde. Segundo Scalizer (2019), a seleção dos indicadores de saúde no estudo considerou a sua importância para a determinação da carga total de doenças e as possíveis relações com as condições de saneamento existentes nas comunidades estudadas.

A realização da quantificação de doenças surge então como uma ferramenta para a compreensão dos riscos associados ao consumo de água das soluções alternativas presentes em comunidades rurais, de forma a fortalecer a necessidade de implantação de soluções tecnológicas que garantam um acesso à água segura nessas localidades. Uma das ferramentas amplamente utilizadas e recomendadas pela OMS para a determinação da carga de doenças relacionadas ao acesso a saneamento é a Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM), a qual foi desenvolvida para estimar riscos de infecções e doenças a partir de relações de dose-resposta aplicadas ao consumo de água.

3.4. AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO

Como apresentado no tópico 3.1.4, a população residente nas áreas rurais é mais exposta ao consumo de água sem tratamento ou com tratamento precário, o que as torna mais vulneráveis à contaminação por patógenos e ao desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica.

Nos estudos sobre abastecimento de água para consumo, a Avaliação de Risco Microbiológico apresenta-se como uma metodologia valiosa que permite relacionar potenciais riscos à saúde humana com a qualidade microbiológica da água consumida.

O risco à saúde resultante de contaminação por patógenos faz parte do campo de estudos da epidemiologia, a qual, segundo a OMS, é a ciência que busca medir os fatores determinantes e a distribuição de eventos relacionados à saúde. Estes estudos, porém, apesar de poderem fornecer estimativas bem próximas ao contexto real, podem ser altamente dispendiosos e demorados (OMS, 2016b).

Neste sentido, surge a Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM), um modelo matemático multidisciplinar que aplica os princípios da avaliação de riscos à estimativa das consequências diárias, mensais ou anuais de uma exposição planejada ou real a microrganismos infecciosos (Haas *et al.* 1999, Silva, 2024).

A OMS apresenta a aplicação da AQRM como possível para avaliar os riscos de infecção associados à exposição a diversos grupos de patógenos, como bactérias, vírus, protozoários ou helmintos em diferentes localidades e fontes de água (OMS, 2022).

Considerando que nem toda infecção resulta em uma doença, com surgimento de sintomas e impacto na saúde da população, Murray e Lopez (1996) desenvolveram uma métrica para avaliação da carga de doenças associada à contaminação por patógenos, denominada DALY (*Disability-adjusted life year*), que estima o potencial de anos de vida perdidos ajustados por incapacidade resultante de uma contaminação por certa dose de patógenos.

Segundo a OMS um DALY está associado à perda de um ano de vida saudável e é definido como a soma de anos perdidos por morte prematura somados com anos perdidos por incapacidade em casos de doença.

Hass *et al.* (1999) propôs o modelo matemático utilizado para o cálculo do DALY. Essa métrica tem como base a estimativa da quantidade de patógenos ingeridos por indivíduo em um único evento de exposição, através do parâmetro dose (d), estimado pela Equação 3.1.

$$d = \frac{N}{Tr} \cdot 10^{-R} \cdot V \dots \dots \dots (3.1)$$

Onde:

d – Dose média de patógenos ingeridos a cada evento de exposição (NMP/dia)

N – Concentração dos patógenos identificada na água (NMP/L)

Tr – Taxa de recuperação do método de quantificação do patógeno (%)

R – Taxa de remoção do patógeno no tratamento de água (%)

V – Consumo per capita de água por dia (L/dia)

A seguir avalia-se a dose-resposta, para a qual pode-se utilizar os modelos exponencial ou beta-Poisson. Segundo Haas *et al.* (1999) o modelo exponencial pressupõe a constância da probabilidade de sobrevivência do agente patogênico no hospedeiro. Essa constância, para alguns patógenos pode não ser verdadeira, portanto, nesses casos sugere-se o uso de uma função de distribuição de probabilidades, e o modelo beta-Poisson passa a ser mais adequado

para avaliar a dose-resposta. As equações 3.2 e 3.3 apresentam os modelos exponencial e beta-Poisson, respectivamente.

$$P_{inf}(d) = 1 - e^{(-d.r)} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$P_{inf}(d) = 1 - \left\{ 1 + \left[\left(\frac{d}{N_{50}} \right) \cdot (2^{\frac{1}{\alpha}} - 1) \right] \right\}^{-\alpha} \dots\dots\dots (3.3)$$

Onde:

- $P_{inf}(d)$ – Probabilidade de infecção diária para uma única exposição
- d – Dose média de patógenos ingeridos a cada evento de exposição (NMP/dia)
- r – parâmetro característico da interação dose-resposta
- N_{50} – Dose infecciosa média (NMP)
- α – Parâmetro característico da interação agente-hospedeiro

A partir da probabilidade de infecção diária calcula-se a probabilidade de infecção anual, empregando a Equação 3.4.

$$P_{inf}(a) = 1 - [1 - P_{inf}(d)]^n \dots\dots\dots (3.4)$$

Onde:

- $P_{inf}(a)$ – Probabilidade de infecção anual
- $P_{inf}(d)$ – Probabilidade de infecção diária para uma única exposição
- n – número de exposições no ano

A EPA determina um padrão máximo tolerável de infecções por ano por patógenos na água potável, na ordem de 10^{-4} Inf/ano, ou seja, 1 caso de infecção a cada 10.000 pessoas por ano (EPA, 2014).

A estimativa da probabilidade anual de infecção é usada para estimar a probabilidade anual de desenvolvimento de doença, obtida a partir do produto da probabilidade anual de doença e a e a probabilidade de uma pessoa infectada desenvolver uma doença. Este produto é apresentado na Equação 3.5.

$$P_{ill}(a) = P_{inf}(a) \cdot P_{ill/inf} \dots\dots\dots (3.5)$$

Onde:

- $P_{ill}(a)$ – Probabilidade anual de doença pela ingestão de doses de patógeno
- $P_{inf}(a)$ - Probabilidade de infecção anual
- $P_{ill/inf}$ – Probabilidade de desenvolvimento de doença por infecção

Por fim, o indicador DALY é calculado como o produto de Pill(a) e o número de anos perdidos por morte prematura ou vividos com incapacidade por doença, conforme a Equação 3.6.

$$DALY = Pill(a) \cdot DALY_d \dots \dots \dots (3.6)$$

Onde:

DALY – Anos de vida ajustados por incapacidade

Pill(a) - Probabilidade anual de doença pela ingestão de doses de patógeno

DALY_d– Referência de anos de vida perdidos por morte prematura ou vividos com incapacidade por doença

A OMS apresenta um valor de DALY máximo aceitável para infecções ocasionadas por diferentes patógenos. Para a *Escherichia coli*, espécie indicadora de contaminação fecal, que nesta pesquisa foi quantificada nas análises microbiológicas de amostras de água, o valor do DALY considerado foi de 10^{-4} , o que equivale a 0,0001 anos de vida saudável perdidos por incapacidade, ou seja, aproximadamente 52 minutos por ano (OMS, 2022).

A avaliação da carga de doenças tem uma importante aplicação em casos de consumo de água não tratada por habitantes de comunidades rurais, os quais podem não expressar sintomas de forma instantânea após o consumo de água contaminada com patógenos, porém têm associado a essa infecção o risco de desenvolvimento de doenças futuras em médio ou longo prazo.

Na literatura são encontrados estudos em diversas localidades e com avaliação de diversos patógenos-alvo. Balderrama-Carmona *et al.* (2014) aplicaram a ARQM para estimar o risco de infecção por oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia* pelo consumo de água do poço da comunidade indígena Potam no México. Os resultados apontaram um risco anual de aproximadamente 100% para ambas as espécies de protozoários, acima do recomendado pela EPA, indicativo de alto risco à saúde da população.

Uprety *et al.* (2020) realizaram estudo em comunidades rurais de 37 distritos do Nepal. A AQRM utilizou *E.coli* O157:H7 como patógeno de referência, estimado a partir das concentrações de *E. coli* medidas em 2.822 amostras de água coletadas em fontes, reservatórios, torneiras comunitárias e água armazenada nos domicílios. Os resultados indicaram que praticamente todos os distritos avaliados apresentaram cargas de doença

superiores ao nível de referência da OMS de 10^{-4} DALY, com valores mais elevados alcançando até $3,24 \times 10^{-2}$ DALY.

De forma semelhante, Abuzerr *et al.* (2024) aplicaram a AQRM para estimar o risco de infecção e a carga de doença associadas à presença de *E.coli* O157:H7 na água destinada ao consumo humano na Faixa de Gaza, Palestina, considerando diferentes pontos do sistema de abastecimento, desde poços e plantas de dessalinização até a água consumida nos domicílios. Os resultados indicaram carga de doença mediana de aproximadamente $3,21 \times 10^{-1}$ DALY, valores muito superiores aos limites de referência de 10^{-4} DALY.

No Brasil, estudos como os de Scalize *et al.* (2021) e Silva (2024), aplicaram o método AQRM, com enfoque na avaliação do risco microbiológico em comunidades rurais do estado de Goiás, evidenciando a utilidade desse método como ferramenta de apoio à gestão da água em comunidades rurais brasileiras.

Scalize *et al.* (2021) aplicaram a AQRM em uma comunidade quilombola rural denominada Extrema, avaliando a água consumida de um poço tubular profundo e de cisternas de captação de água de chuva. O estudo considerou como microrganismos de referência a *E.coli* e o adenovírus humano (HAdV), além de analisar a presença de enterovírus, indicadores bacterianos e parâmetros físico-químicos.

Os resultados mostraram que a água do poço, embora microbiologicamente segura, apresentava elevada dureza, levando à sua rejeição para consumo, enquanto a água das cisternas apresentou contaminação microbiológica significativa, com detecção de HAdV em 100% das amostras e de *E. coli* em parte delas. A AQRM indicou probabilidade anual de infecção de 100% para HAdV nas piores condições avaliadas, evidenciando risco sanitário elevado associado ao consumo da água armazenada e a influência das práticas de coleta e manuseio na qualidade microbiológica.

Silva (2024) aplicou a AQRM em 23 comunidades rurais brasileiras, a partir da análise de água de mananciais superficiais e subterrâneos. A avaliação considerou como microrganismos-alvo os protozoários *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp., e a bactéria *E.coli* O157:H7 estimando tanto a probabilidade de infecção quanto a carga de doença expressa em DALY. Os resultados indicaram que todas as cargas estimadas de doenças diarreicas associadas à *Giardia* spp. e à *E. coli* O157:H7 excederam o limite tolerável de 10^{-4} DALY por pessoa por ano, evidenciando risco sanitário associado especialmente ao consumo de água sem tratamento proveniente de mananciais superficiais.

Diante dos estudos levantados, é possível concluir que a AQRM se constitui uma ferramenta de potencial utilização no diagnóstico das condições sanitárias de uma comunidade ou domicílio rural, de forma a identificar áreas de maior risco à saúde pelo consumo de água. A utilização desse método em conjunto com outras informações, como características socioeconômicas, culturais e ambientais da comunidade podem proporcionar análises essenciais para a identificação das necessidades e efetuar propostas de soluções no campo do abastecimento de água.

Frente a isso, as metodologias participativas constituem-se ferramentas que auxiliam na coleta de informações e percepções dos integrantes das comunidades, em vista da compreensão das diversas ruralidades e proposta de soluções com sucesso em sua implantação.

3.5. METODOLOGIAS PARTICIPATIVAS

O Programa Nacional de Saneamento Rural define a participação social como um dos eixos para o sucesso de processos e soluções em saneamento rural. O fortalecimento da dimensão participativa tem como objetivo a consideração das especificidades locais na compreensão e nas propostas de soluções para as diferentes ruralidades.

A participação social contribui ainda para a efetividade da gestão das soluções em saneamento rural e o aumento das probabilidades de apropriação de tecnologias pelas comunidades. Diante disso, é importante considerar que processos participativos são essenciais desde os primeiros contatos com a comunidade, inclusive na etapa de compreensão de seus diversos aspectos por meio de diagnósticos, o que também contribui para a educação de seus membros (Brasil, 2019a).

Neste sentido, são apresentadas três metodologias participativas utilizadas no presente trabalho na coleta de informações e como auxílio na tomada de decisões.

3.5.1. Entrevistas Semiestruturadas

Segundo Haguette (1997), a entrevista é definida como um “processo de interação social entre duas pessoas na qual uma delas, o entrevistador, tem por objetivo a obtenção de informações por parte do outro, o entrevistado”. Boni e Quaresma (2005) apresentam as formas de entrevistas mais utilizadas como: entrevista estruturada, semiestruturada, aberta, grupos focais, história de vida e entrevista projetiva.

As entrevistas semiestruturadas constituem uma técnica amplamente utilizada em pesquisas qualitativas, especialmente em contextos que exigem a compreensão das percepções, práticas e necessidades de grupos sociais específicos. Esta ferramenta é marcada por combinar perguntas abertas e fechadas, possibilitando, além das perguntas já formuladas, espaços para relatos livres dos entrevistados e registros livres do pesquisador, possibilitando a obtenção de informações não previstas originalmente na elaboração do roteiro (Boni e Quaresma, 2005).

Boni e Quaresma (2005) descrevem ainda que o pesquisador deve seguir um conjunto de questões previamente definidas, mas deve conduzir a entrevista em um contexto semelhante a uma conversa informal. Segundo os autores, as principais vantagens, desse tipo de entrevista, são a melhor amostra da população de interesse frente a questionários enviados para preenchimento do participante, aplicabilidade à participantes com dificuldade na leitura ou escrita, elasticidade da duração, permitindo aprofundamento em questões de interesse e maior proximidade entre entrevistador e entrevistado devido ao seu caráter espontâneo.

No campo dos diagnósticos em saneamento as entrevistas semiestruturadas permitem a captação não só de informações técnicas e objetivos, mas percepções sociais, culturais, aspectos cotidianos, experiências e saberes locais. Esta metodologia foi aplicada em diversos diagnósticos apresentados no tópico 3.3, como os realizados por Bernardes *et al.* (2018), Simonato *et al.* (2018), Roland *et al.* (2019), Silva *et al.* (2019) e Hinnah (2024), realizados em várias ruralidades com o objetivo de compreender os diferentes aspectos relacionados ao saneamento nessas localidades.

3.5.2. Observações

Segundo Marconi e Lakatos (2002), a observação é uma técnica de coleta de dados para conseguir informações que utiliza os sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade.

Esta ferramenta constitui uma etapa essencial na obtenção de diagnósticos de saneamento, tendo em vista que permite compreender a realidade local além dos dados secundários e das informações coletadas por meio de entrevistas. Por meio das observações é possível identificar as estruturas existentes e a condição em que se encontram, aspectos socioeconômicos, culturais e ambientais, além de práticas cotidianas das populações (Marconi e Lakatos, 2002)

Segundo Ander-Egg (1978) as observações podem ser classificadas segundo quatro fatores: Observação assistemática ou sistemática, quanto aos meios utilizados; Observação participante ou não participante, quanto à participação do observador; Observação individual ou em equipe, quanto ao número de observadores; e Observação na vida real ou em laboratório.

A observação assistemática é definida como um tipo de observação não estruturada, ou seja, espontânea e empregada normalmente em estudos exploratórios, sem roteiro e controle previamente elaborados. Já a observação sistemática, também denominada de estruturada, utiliza instrumentos para a coleta de dados em condições controladas com objetivos preestabelecidos (Ander-Egg, 1978; Marconi e Lakatos, 2002).

A observação participante é realizada com a participação real do pesquisador na comunidade, incorporando-se à rotina dos moradores, a qual pode ser natural, quando o observador já é membro da comunidade, ou artificial, quando o pesquisador se integra a comunidade. Já a observação não participante também é denominada observação passiva, na qual o observador tem contato com a comunidade, mas não a integra, age como espectador dos elementos e atividades da comunidade (Ander-Egg, 1978; Marconi e Lakatos, 2002).

A observação individual, como o próprio nome indica é realizada por apenas um pesquisador. Por outro lado, a observação em equipe é realizada por um grupo de pesquisadores, que podem observar os mesmos aspectos ou aspectos diferentes (Ander-Egg, 1978; Marconi e Lakatos, 2002).

Por fim, a observação na vida real descreve as observações realizadas em campo, no ambiente real, e a observação em laboratório é a realizada em ambientes controlados, denominados laboratórios. (Ander-Egg, 1978; Marconi e Lakatos, 2002).

3.5.3. Grupos Focais

Os grupos focais são definidos por Morgan (1998) como uma técnica de pesquisa qualitativa, que coleta informações por meio de interações grupais. O principal objetivo desta técnica é reunir informações sobre um determinado tema, a partir das discussões realizadas por um grupo de participantes selecionados (Trad, 2009).

Os grupos geralmente devem contar com um moderador, que normalmente possui substancial conhecimento sobre o tema em discussão. Esse ator tem como papel introduzir

e manter a discussão acessa, observar os participantes encorajando a participação de todos, acrescentar novos tópicos à discussão, de forma a aprofundar nos temas tratados, os guiando para aspectos considerados relevantes para o grupo ou para o pesquisador, assim como observar as comunicações não-verbais, de forma a controlar as dinâmicas e duração do debate (Trad, 2009; Boni e Quaresma, 2005).

Os grupos focais devem ser formados por um número limitado de participantes, o que varia na literatura entre 6 e 15. Trad (2009) recomenda que os grupos sejam formados por uma média de 10 participantes, de forma a favorecer a participação de todos os integrantes. De toda forma é importante que o pesquisador avalie o tamanho e composição dos grupos a com base no tema de interesse e tempo disponível.

Os grupos focais podem ser utilizados com diferentes objetivos em pesquisas de saneamento rural. Um exemplo de aplicação da técnica está ligado à compreensão dos aspectos sanitários, socioeconômicos, culturais e cotidianos por meio de grupos focais formados por moradores ou agentes de interesse, em uma espécie de entrevista semiestruturada em grupo. Atengdem *et al.* (2024) utilizaram grupos focais formados por membros dos Comitês de Água e Saneamento com objetivo de compreender aspectos de apropriação e participação social resultantes das intervenções sanitárias no distrito de Bongo, Ghana.

Por outro lado, os grupos focais também podem ser utilizados para a tomada de decisões em saneamento, de forma a registrar as percepções dos participantes em busca de um processo de decisão coletiva. Castilho e Ribas (2023) aplicaram a técnica de grupos focais com o objetivo de desenvolver indicadores de saneamento básico para o município de Florianópolis. Foram formados 6 grupos com 3 a 5 participantes, os quais foram servidores da Superintendência de Saneamento Básico e Superintendência de Gestão de Resíduos da Prefeitura Municipal de Florianópolis.

A metodologia de grupos focais apresenta ampla versatilidade, podendo ser empregada tanto na coleta de informações objetivas quanto na identificação de percepções, experiências e expectativas dos participantes. Esses fatores a tornam adequada para aplicação em diagnósticos participativos, permitindo compreender de forma mais aprofundada as realidades locais. Além disso, pode ser utilizado para a seleção de tecnologias de abastecimento de água em comunidades rurais, na medida em que possibilita integrar o conhecimento técnico às percepções e saberes comunitários favorecendo os processos coletivos de tomada de decisão.

Face ao contexto de dívida sanitária do Estado Brasileiro para com a população rural, a carência de ações que engajem e empoderem essas populações assim como a escassez de políticas públicas voltadas para a ampliação dos serviços de saneamento em comunidades rurais, é necessário e urgente o desenvolvimento de políticas e iniciativas públicas que visem a implantação de soluções tecnológicas de saneamento.

No que tange ao abastecimento de água, é essencial o desenvolvimento de metodologias que orientem a escolha de soluções tecnológicas que se adequem aos diferentes contextos encontrados no meio rural como forma de ampliação da cobertura dos serviços de abastecimento e de acesso à água de qualidade, “sem deixar ninguém para trás” (UNESCO, 2019)

Os resultados obtidos com a implantação dos Programas e Sistemas de Saneamento destinados às comunidades rurais brasileiras, as recomendações e diretrizes do Programa Nacional de Saneamento Rural, assim como os resultados das pesquisas realizadas junto às comunidades rurais brasileiras oferecem evidências que apontam para a necessidade de incluir no processo de seleção de soluções tecnológicas de abastecimento de água critérios não somente técnicos, mas também àqueles relacionados com as diversas ruralidades que caracterizam essas comunidades.

Dessa forma, o desenvolvimento de diagnósticos participativos que reflitam as condições sanitárias, socioeconômicas, culturais e ambientais de cada comunidade constituem uma ferramenta indispensável para a escolha de soluções tecnológicas compatíveis com a ruralidade de cada comunidade e o sucesso na implantação e manutenção das soluções tecnológicas no campo do saneamento.

Por último, para garantir o sucesso na implantação das soluções tecnológicas nas comunidades rurais é essencial a participação ativa dos membros da comunidade ao longo do processo de escolha, de implantação e de funcionamento das soluções tecnológicas. Essa participação pode ocorrer em diferentes momentos ou etapas do processo e deve incluir ferramentas que contribuam para a apropriação da tecnologia pela comunidade como a educação ambiental. Essa ferramenta pode ser eficaz tanto no entendimento do contexto ambiental em que a comunidade se insere como na apropriação das soluções tecnológicas implantadas.

4. METODOLOGIA

A metodologia aplicada nesta pesquisa foi dividida em 8 etapas. A Etapa 1 constituiu-se da definição das comunidades participantes do estudo, por meio de busca de possíveis comunidades, diálogo com representantes e avaliação de interesse e aplicabilidade. Seguidamente foi realizada a submissão do projeto para comitê de ética em pesquisa, no que foi considerada a Etapa 2.

A Etapa 3 constituiu-se da aplicação de diagnóstico de acesso a água, considerando aspectos socioeconômicos e ambientais das comunidades estudadas por meio de entrevista semiestruturada, monitoramento de qualidade da água e caracterização ambiental.

Na Etapa 5 foi realizada a definição de critérios para a caracterização de soluções tecnológicas de tratamento de água aplicáveis a realidade rural e na Etapa 6 caracterizou-se as tecnologias de tratamento de água da matriz tecnológica do Programa Nacional de Saneamento Rural a partir dos critérios definidos.

Na Etapa 7, realizou-se a proposta de soluções de abastecimento de água para as comunidades estudadas a partir das soluções tecnológicas caracterizadas e das informações coletadas nos diagnósticos. As propostas abarcaram soluções tecnológicas de tratamento, ações necessárias para seu sucesso e melhora das condições de saneamento e aspectos de gestão e participação social.

Por fim, na Etapa 8, selecionou-se a solução de abastecimento de água de forma conjunta com as comunidades, por meio de apresentação das propostas e coleta de percepções dos moradores aplicando a metodologia participativa de grupos focais.

As etapas metodológicas encontram-se resumidas no fluxograma apresentado na Figura 4.1. Nos seguintes tópicos cada etapa é detalhada para sua melhor compreensão.

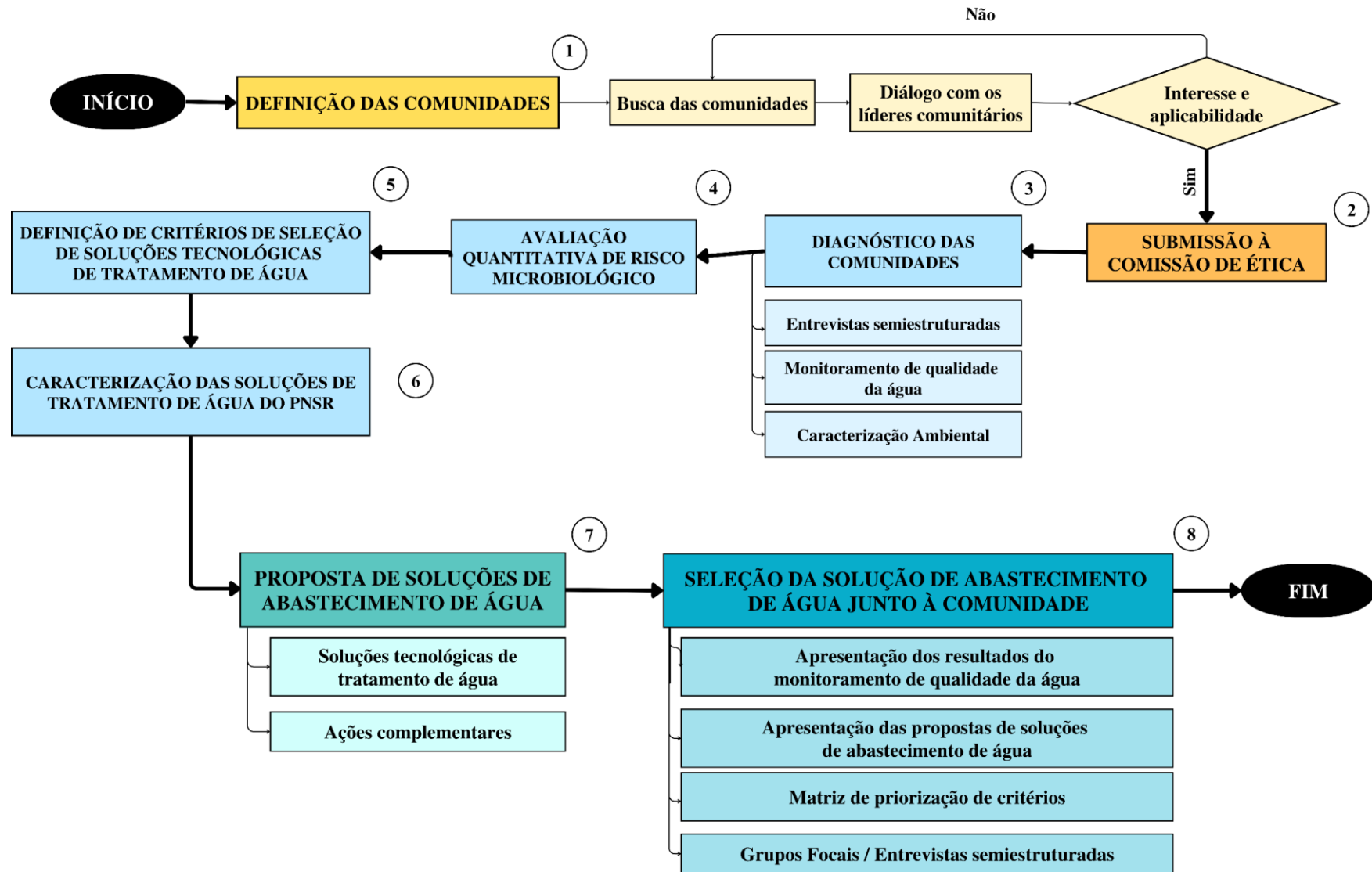


Figura 4.1- Fluxograma metodológico da pesquisa.

4.1. ETAPA 1: DEFINIÇÃO DAS COMUNIDADES

A primeira etapa realizada neste estudo foi a definição de comunidades rurais para a dos estudos de caso de seleção de soluções de abastecimento de água em comunidades rurais. As comunidades escolhidas foram a Ecovila Terra Sublime, indicada por um especialista, localizada na região administrativa da Fercal-DF, e o Assentamento Pequeno William, escolhido por um histórico de realizações de pesquisas da Universidade de Brasília (UnB), localizado na região administrativa de Planaltina-DF.

A adequação dessas duas comunidades aos objetivos deste estudo esteve relacionada a alguns aspectos comuns e diferenciais entre elas. Os aspectos comuns se resumiram à classificação como áreas rurais exclusive aglomerados (Setor 8), segundo os setores censitários do IBGE, ou seja, moradias mais dispersas, sem configurar grandes aglomerados rurais como povoados ou vilas, e a distâncias acessíveis partindo do Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) da UnB, para a realização de saídas de campo quinzenais (42 km para a Ecovila e 39 km para o Assentamento).

Os aspectos diferenciais constituíram-se em: diferentes ruralidades, diferentes fontes de abastecimento de água, diferentes condições socioeconômicas e diferentes localizações, buscando diversidade nas condições ambientais. Estes critérios foram considerados com o objetivo de buscar estudos de caso em realidades distintas, colaborando com sua aplicabilidade à diversidade de ruralidades brasileiras.

A Ecovila é formada por 21 lotes, dos quais 10 encontram-se atualmente ocupados por famílias distintas. Os proprietários de cada lote residem em moradias de construção e manutenção própria. Na ótica do enquadramento nos setores censitários rurais, a Ecovila Terra Sublime se enquadra como Área rural – exclusive aglomerados, provavelmente devido à quantidade reduzida de domicílios, contando atualmente com apenas 10 moradias ocupadas, não alcançando o patamar de aglomerado.

Quanto ao enquadramento nos setores censitários, o Assentamento Pequeno William enquadra-se, também, nos setores considerados como Área Rural – exclusive aglomerados, de forma semelhante a Ecovila Terra Sublime. A comunidade foi instalada no ano de 2010 e atualmente é formada por 22 famílias que tem como principal atividade a produção agroecológica, principalmente de hortaliças e frutos nativos do cerrado.

Após a escolha das comunidades, foram realizadas visitas em campo para conhecimento do local e diálogo com as lideranças comunitárias. Nessas visitas, foram apresentados os objetivos gerais da pesquisa de forma conjunta à escuta dos relatos em relação ao acesso à água por parte dos líderes comunitários. Adicionalmente, buscou-se o diálogo livre, colaborando para a proximidade entre o pesquisador e os moradores e desenvolvendo uma relação de confiança entre as partes.

A partir das visitas iniciais, foram verificados o interesse das comunidades na realização do estudo e a aplicabilidade frente às diretrizes determinadas para a escolha. Durante essas mesmas visitas, foram também definidas as amostras de moradores com interesse na participação do estudo. Com as comunidades e amostras definidas, partiu-se para a submissão do projeto ao comitê de ética em pesquisa.

4.2. ETAPA 2: SUBMISSÃO AO COMITÊ DE ÉTICA

A submissão deste estudo ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) teve como objetivos a proteção dos direitos e do bem-estar dos participantes, a garantia de confidencialidade e privacidade, a conformidade com a legislação e normas sobre pesquisas com seres humanos, como a Lei nº 14.874/2024 e as resoluções CNS nº 466/2012 e nº 510/2016. Adicionalmente, buscou-se credibilidade e qualidade para a pesquisa realizada e para os trabalhos publicados a partir dela.

O projeto, detalhando a metodologia aplicada, o questionário utilizado para as entrevistas semiestruturadas, o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) a ser assinado pelos moradores participantes durante as entrevistas, o cronograma da pesquisa e a carta de aceite assinada pelos líderes comunitários, foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais (CEP CHS) da Universidade de Brasília.

A aprovação do estudo se deu por meio do Parecer nº 6.676.524 do Instituto de Ciências Humanas e Sociais da Universidade de Brasília (ANEXO I). Após essa liberação, foi iniciado o estudo. A fim de registrar o consentimento dos participantes da pesquisa, foram assinados Termos de Compromisso Livre e Esclarecido (TCLE) (APÊNDICE I) antes da aplicação das entrevistas semiestruturadas.

Ressalta-se que, a fim de manter o sigilo da identidade dos moradores envolvidos na pesquisa, os domicílios foram identificados neste documento por meio de códigos referentes à primeira letra da comunidade em questão, seguida de um número.

4.3. ETAPA 3: DIAGNÓSTICO DAS COMUNIDADES

A etapa de diagnóstico teve como objetivo a compreensão das características e dinâmicas socioeconômicas, culturais e ambientais das comunidades rurais, a fim de subsidiar a seleção de tecnologias na perspectiva técnica, identificar como essas características podem influenciar na relação das comunidades com a água e com as soluções de abastecimento aplicáveis a cada comunidade, visando sua sustentabilidade.

O diagnóstico constou de 3 etapas, reunindo ferramentas encontradas nos diagnósticos levantados no tópico 3.3. Entrevistas semiestruturadas para a obtenção de informações socioeconômicas, culturais e de acesso à água em quantidade e acessibilidade, monitoramento de qualidade da água para avaliação da qualidade das águas das fontes de abastecimento, avaliação quantitativa de risco microbiológico para análise de risco de infecção dos moradores e caracterização ambiental por geoprocessamento para a compreensão das características ambientais da área de localização da comunidade.

4.3.1. Entrevistas Semiestruturadas

As entrevistas ocorreram seguindo a metodologia semiestruturada, combinando questões planejadas e tópicos abertos no roteiro elaborado. Ressalta-se que os aspectos abordados no roteiro da entrevista foram baseados nos estudos levantados na revisão bibliográfica, experiências do próprio autor e troca de experiências com especialistas.

Esta etapa teve como objetivo a aquisição de dados e informações de forma direta com os moradores sobre a organização da comunidade e dos domicílios, rotina dos moradores, visão sobre a água destinada ao consumo do domicílio, em termos qualitativos, quantitativos e de acessibilidade, além das demandas de uso da água no dia a dia e outros aspectos como acesso a outros serviços de saneamento e fornecimento de energia elétrica.

O roteiro (APÊNDICE II) guiou os temas abordados na entrevista e foi aplicado de forma que as perguntas foram realizadas pelo pesquisador de forma oral e de maneira intensiva, com as respostas registradas pelo próprio entrevistador. Esta dinâmica teve como objetivo padronizar as formas de registro das informações e evitar a incompreensão de alguma pergunta por parte dos entrevistados.

Os temas abordados na entrevista foram divididos em 4 seções: Dados gerais; Acesso à água; Demanda de água e Outras informações. Cada uma das seções apresentou perguntas ligadas a temas e subtemas, quando necessário.

A seção de Dados gerais incluiu informações como nome do entrevistado, sua relação com a comunidade (morador fixo ou flutuante), tempo de moradia na comunidade, número/idade dos moradores, tipo de atividade dos moradores (domiciliares, tipo de trabalho interno ou externo), renda média do domicílio, rotina geral dos moradores. Essas informações foram importantes para a seleção das soluções tecnológicas pela relação com os aspectos de volume produzido, custos, frequência de manutenção e complexidade de operação e manutenção.

A seção de Acesso à água inicialmente contemplou informações sobre a fonte de acesso à água do domicílio e informações sobre o acesso à água como: qualidade, quantidade e acessibilidade, de forma que permitam ter um panorama mais completo do acesso à água dos domicílios, considerando o direito universal de acesso à água segura, suficiente e acessível (ONU, 2002).

No item de Qualidade da água buscou-se registrar a visão pessoal do entrevistado sobre qualidade da água, opinião sobre a qualidade da água consumida, relatos sobre ocorrências de doenças diarreicas de veiculação hídrica, e questões sobre tratamento de água destinada ao consumo, como existência de algum tratamento em algum nível no domicílio ou na comunidade e disposição à recepção de uma solução de tratamento.

Quanto à Quantidade de água foram coletadas informações sobre existência e volume de reservatório de água para consumo, frequência de limpeza dos reservatórios, existência de bombeamento, problemas relacionados à quantidade de água e suas causas, além de efeitos da sazonalidade na quantidade de água, principalmente no período de estiagem.

Por fim, no item de Acessibilidade à água, abordou-se a necessidade de coleta de água para algum uso, local da coleta e volume coletado, existência de canalização interna no domicílio, número de pontos de acesso e nível de adequação desses pontos.

Seguidamente foram levantados os principais usos de água no domicílio e as fontes de água utilizadas para cada uso na seção de Demanda de Água. Ao final, foram registradas informações sobre a destinação das águas residuárias no domicílio, incluindo águas negras e cinzas, a destinação dos resíduos sólidos, e informações sobre o acesso à energia elétrica e qualidade desse serviço, na seção denominada de Outras informações.

O fluxograma da Figura 4.2 apresenta um resumo sequencial do roteiro da entrevista semiestruturada com suas seções, temas e subtemas.

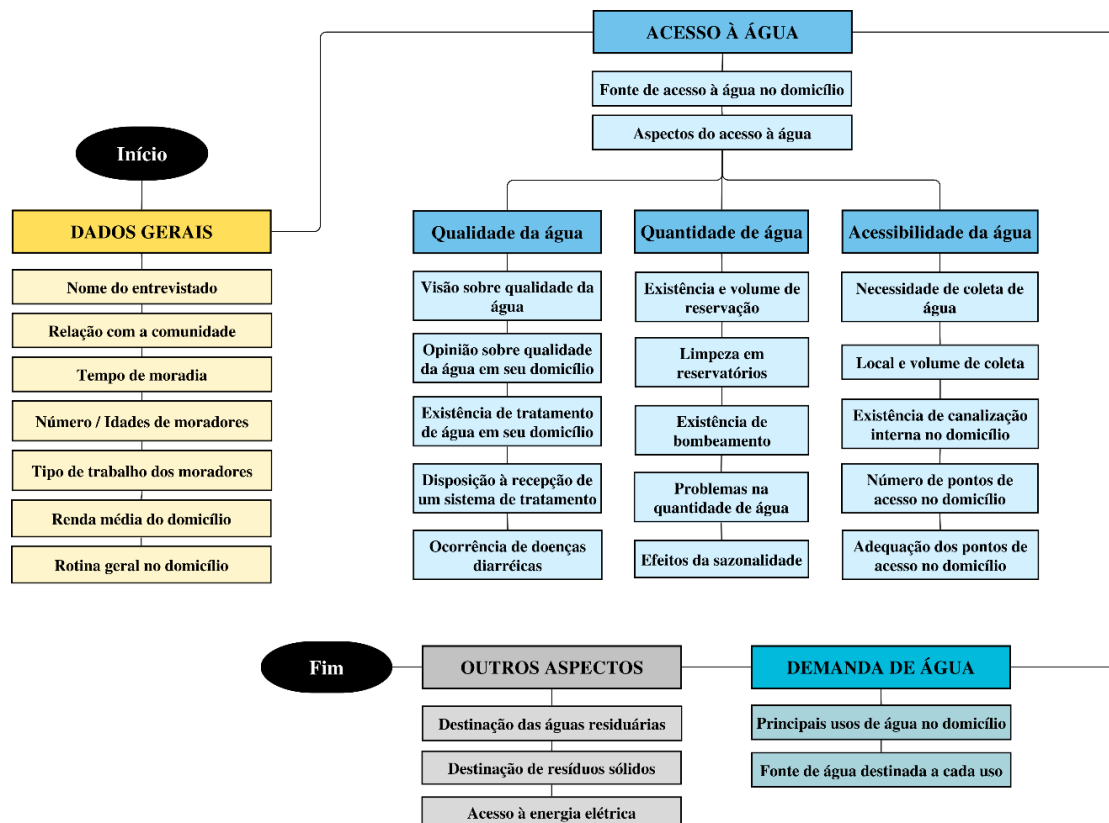


Figura 4.2 - Fluxograma do roteiro utilizado nas entrevistas semiestruturadas.

Durante às saídas de campo foram realizadas observações assistemáticas, não participantes, individuais e na vida real, segundo a classificação apresentada por Ander-Egg (1978) e Marconi e Lakatos, (2017). As observações foram realizadas com o objetivo de compreender e coletar informações sobre o cotidiano das comunidades analisadas e sua relação com o acesso e a demanda por água, além de outros aspectos como rotina dos integrantes da comunidade, infraestruturas de abastecimento de água existentes nos domicílios e outros sistemas de saneamento de forma complementar à entrevista semiestruturada.

As amostras definidas para cada estudo de caso foram de 8 domicílios na Ecovila Terra Sublime e de 6 domicílios no Assentamento Pequeno William. Devido ao tamanho reduzido das populações, a margem de erro das amostras foi estimada com 95% de confiança e aplicação do Fator de Correção para População Finita. Na Ecovila foi garantida 80% de cobertura e margem de erro estimada em 16,3%. Já no Assentamento, a amostra representou uma cobertura de 27%, resultando em uma margem de erro de 34,9%. Diante disso, as inferências estatísticas para o Assentamento foram restritas, por conta disso a análise foi realizada para cada domicílio de forma individual.

4.3.2. Monitoramento de Qualidade da água

A etapa de monitoramento de qualidade da água teve como finalidade a avaliação qualitativa da água proveniente das fontes utilizadas para consumo nas comunidades estudadas, com vista a verificar a conformidade com o padrão de potabilidade definido pela Portaria nº888/2021. Além disso, os resultados dessa etapa também subsidiaram a escolha das soluções tecnológicas de tratamento de água empregando os critérios técnicos estabelecidos e proposição de ações estruturais e não estruturais complementares às soluções propostas.

O monitoramento envolveu a análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos de amostras de água coletadas nas fontes de abastecimento dos domicílios envolvidos nesta pesquisa. Em todas as amostras foram analisados os parâmetros de turbidez, cor aparente, cor verdadeira, pH, condutividade elétrica, salinidade, sólidos totais dissolvidos, coliformes totais e *Escherichia coli*.

Dentre esses parâmetros, a turbidez, cor aparente, sólidos totais dissolvidos e *E. coli*, fazem parte do padrão de potabilidade de acordo com a Portaria nº888/21, enquanto os parâmetros de cor verdadeira, pH, condutividade elétrica, salinidade e coliformes totais foram escolhidos para o monitoramento por auxiliarem na caracterização das fontes de água e avaliação de possíveis contaminações nessas. Além disso, a caracterização da água bruta pelos parâmetros de turbidez, cor verdadeira, sólidos totais dissolvidos, coliformes totais e *E.coli* foi utilizada como critério de seleção de soluções tecnológicas de tratamento para as comunidades estudadas.

O monitoramento abrangeu o período de abril a novembro de 2024 em frequência quinzenal, com o intuito de avaliar a sazonalidade, influência das épocas chuvosa e de estiagem, na qualidade da água. As medições de alguns parâmetros foram realizadas *in loco* e foi coletada água para análise em laboratório dos demais, conforme apresentado na Tabela 4.1.

Na Ecovila Terra Sublime o monitoramento contou com 16 campanhas e foi realizado na água do ponto de captação do Córrego dos Cogumelos e na Lagoa existente na comunidade. No Assentamento Pequeno William o monitoramento foi realizado por meio de 15 campanhas de análises e coleta de água nas fontes de abastecimento de água de cada domicílio estudado. Os pontos de coleta em cada um dos 6 domicílios foram identificados por códigos de forma que os pontos P1, P2, P3, P5 e P6 referem-se aos poços superficiais utilizados como fontes de abastecimento nos domicílios 1, 2, 3, 5 e 6, respectivamente. O ponto P4 corresponde ao poço profundo do domicílio 4.

Deve ser mencionado que no domicílio 2 foram realizadas somente 11 coletas devido a problemas familiares que levaram à desocupação temporária dos moradores no final de setembro de 2024. Por essa razão, o domicílio 2 apresenta um número de dados escasso no período chuvoso, considerando que não foi realizado monitoramento da fonte de água nas primeiras chuvas nesse domicílio.

A coleta de água foi realizada em garrafas plásticas para análise de parâmetros físico-químicos e frascos de vidro esterilizados para análises de parâmetros microbiológicos conforme as recomendações do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA e CETESB, 2024).

Após a coleta as amostras foram mantidas sob resfriamento em caixas térmicas de isopor, com transporte realizado em prazo inferior a uma hora. Uma vez no laboratório, as amostras foram analisadas dentro do prazo de 24h. As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) da Universidade de Brasília (UnB). Os parâmetros, métodos de detecção e instrumentos estão contidos na Tabela 4.1 e seguiram as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2023).

Tabela 4.1 - Monitoramento dos parâmetros de qualidade.

Parâmetro	Método de detecção	Instrumento	Frequência	Local da medição
Turbidez	Nefelométrico	Turbidímetro 2100Q HACH	Quinzenal	Em campo
Cor aparente	Colorimétrico	Colorímetro DR 900 HACH	Quinzenal	LSA (UnB)
Cor verdadeira	Colorimétrico	Colorímetro DR 900 HACH	Quinzenal	LSA (UnB)
pH	Potenciométrico	Potenciômetro Orion 3 Star	Quinzenal	LSA (UnB)
Condutividade Elétrica	Eletrométrico	Condutivímetro Sension5 HACH	Quinzenal	Em campo
Coliformes totais	Substrato cromogênico	Colilert Quanti-Tray (IDEXX)	Quinzenal	LSA (UnB)
<i>Escherichia coli</i>	Substrato cromogênico	Colilert Quanti-Tray (IDEXX)	Quinzenal	LSA (UnB)

Além disso foram estimados, utilizando o condutivímetro Sension5 HACH, os valores de sólidos totais dissolvidos e salinidade a partir de fatores de conversão aplicados ao valor de

condutividade corrigida pela temperatura para o valor referência de 25°C. Essa estimativa pode trazer consigo limitações relacionadas principalmente a concentração de sólidos totais dissolvidos, que pode ser subestimada pela consideração apenas dos sólidos dissolvidos iônicos, relacionados à condutividade, não considerando os sólidos dissolvidos não iônicos.

Foram realizadas também análises pontuais de ferro total pelo método colorimétrico da fenantrolina (APHA, 2023), na água coletada no domicílio 4 do Assentamento Pequeno William, devido ao seu aspecto visual, indicativo de possíveis altos valores desse elemento, e relatos dos moradores, e uma análise pontual de dureza total por titulação com EDTA (APHA, 2023) na Ecovila Terra Sublime.

Os resultados das análises dos parâmetros de qualidade da água nos pontos monitorados nos períodos de chuva e estiagem foram representados em gráficos de *box splot*, conforme legenda ilustrada na Figura 4.3.

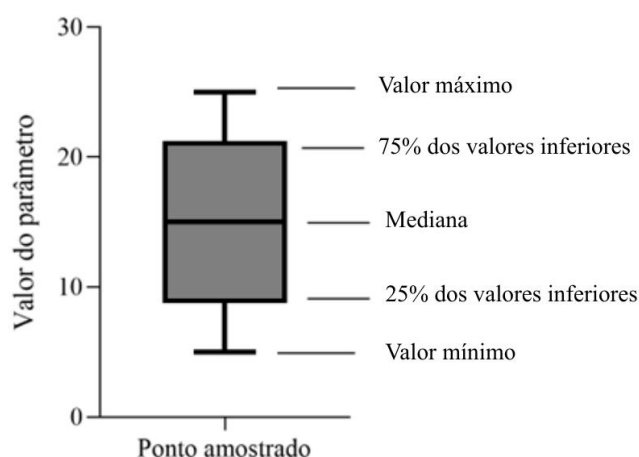


Figura 4.3 - Legenda gráficos *box splot*.

Ressalta-se que o teste estatístico de normalidade Shapiro-Wilk (ANEXO III) foi aplicado para verificar a normalidade dos dados experimentais. Este teste indicou que para os parâmetros turbidez, cor aparente, cor verdadeira, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, coliformes totais e *E.coli*, os dados não procedem de uma população normal. Dessa forma, optou-se por utilizar a mediana como medida de tendência central dos dados para fins de comparação dos resultados de qualidade da água entre as épocas de chuva e de estiagem e entre diferentes pontos de monitoramento.

Imagens das campanhas e das análises realizadas em campo estão apresentadas no APÊNDICE III.

4.3.3. Caracterização Ambiental

A caracterização ambiental foi realizada a partir da coleta de informações físicas das áreas das bacias hidrográficas onde as comunidades estão inseridas. Esse processo foi executado por meio de ferramentas de geoprocessamento, utilizando o software QGIS versão 3.34.

O Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) aponta, em sua condicionante ambiental ligada ao eixo de tecnologias, que as características do bioma influenciam a interação da população com o ambiente e a utilização de seus recursos naturais (Brasil, 2019a). Destacam-se, nesse contexto, os aspectos relacionados à quantidade, qualidade e disponibilidade de recursos hídricos, relevo, lençol freático, tipos de solo, vegetação e clima.

Para tanto, informações foram coletadas a partir de dados geográficos disponíveis em bases nacionais e distritais, incluindo GEOPORTAL-DF, SISDIA e IBGE. Com base nos aspectos avaliados, os produtos cartográficos apresentados na Tabela 4.2 foram confeccionados.

Tabela 4.2 - Produtos cartográficos para caracterização ambiental.

Produto cartográfico	Objetivo
Mapa de Bacia Hidrográfica	Delimitar a ou as bacias hidrográficas de localização da área de estudo.
Mapa de Uso e ocupação	Caracterizar as atividades realizadas e o tipo de vegetação na área de estudo.
Mapa de Pedologia	Caracterizar os tipos de solo presentes na área de estudo.
Mapa de Clinografia	Caracterizar a declividade do terreno na área de estudo.
Mapa de Hidrogeologia	Caracterizar os domínios hidrogeológicos da área de estudo.
Mapa dos Sistemas de saneamento	Apresentar a localização dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário já existentes na área de estudo.

Inicialmente identificou-se a bacia de localização da poligonal da comunidade, utilizando o *shapefile* de Unidades Hidrográficas do Distrito Federal e a camada de rios e córregos, de autoria da CRH, encontrados no banco de dados Geoportal-DF.

Seguidamente analisou-se o uso e cobertura no interior da comunidade e seus terrenos vizinhos, por meio de *shapefile* de uso e cobertura de 2019, de autoria da SEDUC, extraído do Geoportal-DF. Para melhor detalhamento no interior da poligonal, levando em conta que

esta camada foi produzida por classificação automática, os polígonos da camada foram editados e ajustados para melhor ajuste com as áreas de cada uso, para esta edição tomou-se como base a imagem de satélite do Google de 2024 para identificação das áreas e respectivos usos e cobertura.

Já para os mapas de pedologia e hidrogeologia do território foram utilizados *shapefiles* extraídos do banco de dados SISDIA, administrado pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal, e são de autoria da UnB.

Por fim, foi realizada uma análise da declividade do solo no interior da poligonal. Para tal foi aplicada a ferramenta *slope* no software QGIS 3.34 a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE), com 10 metros de resolução espacial, gerado por meio das curvas de nível de 5m de espaçamento, produzidas no ano de 2009 pelo IBGE. Esta camada *shapefile* foi extraída do banco de dados Geoportal-DF.

As declividades em porcentagem foram divididas nas classes definidas pela Embrapa, resumidas em declividades planas, suave onduladas, onduladas, forte onduladas, escarpadas e montanhosas.

4.4. ETAPA 4: AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO

De posse dos dados de densidade de *Escherichia coli* das amostras de água coletadas nas fontes de abastecimento, foi aplicada a metodologia de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM). O indicador *Disability-Adjusted Life Years* (DALY) foi empregado para estimar o risco de infecção e a probabilidade de desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica pelo consumo de água contaminada com esse microrganismo proveniente das fontes de abastecimento de água das comunidades.

Para a avaliação foi considerada a cepa patogênica *Escherichia coli* O157:H7 como um microrganismo de referência, devido à baixa infecciosa dessa espécie patogênica enterohemorrágica, transmissível pela água e causadora de doenças como colite hemorrágica e síndrome hemolítico-urêmica.

Devido à escassez de dados epidemiológicos sobre a presença de *E.coli* O157:H7 na água da região do Distrito Federal, adotou-se a estimativa apresentada por Haas *et al.* (1999), na qual a concentração dessa cepa na água equivale a 8% da concentração de *E.coli*. Embora essa proporção possa variar ambiental e temporalmente, este valor serve como um indicador preventivo para estimar cenários de alto risco na ausência de estudos locais.

Embora os resultados de concentração de *E.coli* tenham sido apresentados para estação chuvosa e seca, devido ao número limitado de amostras por estação para cada fonte, a dose média diária ingerida de *E.coli* O157:H7 por dia foi calculada a partir da média geométrica dos 16 valores de densidade de *E. coli*, considerando a inadequação dos valores a uma distribuição normal, conforme avaliado pelo teste de Shapiro-Wilk com um intervalo de confiança de $p > 0,05$.

O modelo Beta-Poisson foi utilizado para calcular a probabilidade de infecção a partir de uma única exposição. Este modelo pressupõe que os agentes patogénicos ingeridos seguem uma distribuição de Poisson e leva em consideração a variabilidade nas interações entre o agente patogénico e o hospedeiro, permitindo que a probabilidade de um organismo sobreviver para causar infecção varie entre os indivíduos. Essa escolha se deveu a demonstração de Haas *et al.* (2000) do ajuste estatisticamente superior da distribuição Beta-Poisson aos dados experimentais de dose-resposta da *E. coli* O157:H7 em comparação com o modelo exponencial mais simples em doses baixas.

Os parâmetros e coeficientes assumidos para a aplicação da AQRM e da carga de doenças DALY foram adotados tomando como referência os estudos conduzidos por Powell *et al.* (2000), Havelaar e Melse (2003), Teunis *et al.* (2008), OMS (2022) e Soller *et al.* (2010), conforme apresentado na Tabela 4.3.

Com base nas doses de *E. coli* consumidas por pessoa, foram determinadas as probabilidades de infecção diária e anual, bem como a carga anual de doenças pelo indicador *Disability-Adjusted Life Years* (DALY). Posteriormente, o DALY obtido foi comparado com a carga tolerável de doença (DALY pppa).

Tabela 4.3 - Valores dos parâmetros adotados para a aplicação do indicador DALY.

Parâmetro	Valor utilizado	Referência
V (L/dia)	2	OMS (2022)
Tr (%)	99	IDEXX® (2020)
R (%) (Sem tratamento)	0	NA
N50	$1,9 \cdot 10^5$	Powell <i>et al.</i> (2000)
α	0,373	Teunis <i>et al.</i> (2008)
n (dias)	365	NA
Carga tolerável de doença (DALY pppa)	10^{-4}	OMS (2022)
DALY/caso de doença	$5,4 \cdot 10^{-2}$ (a)	Havelaar e Melse (2003)
Pill/inf	0,28	Soller <i>et al.</i> (2010)

Legenda: (a): Soma dos anos de vida perdidos por incapacidade (YLD) e por morte (YLL) causados por diarreia, Síndrome Hemolítico-Urêmica e Doença Renal em estágio final.

4.5. ETAPA 5: DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Com base nas soluções tecnológicas de tratamento de água apresentadas no tópico 3.2.1 e nos arranjos tecnológicos propostos na matriz tecnológica do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), buscou-se, neste tópico, definir critérios para a caracterização dessas tecnologias que auxiliem a seleção das soluções de abastecimento de água viáveis considerando a realidade socioeconômica, cultural, ambiental e as condições de acesso à água das comunidades rurais estudadas.

Os critérios foram definidos a partir da bibliografia especializada nas tecnologias de tratamento de água para consumo humano, incluindo documentos como *International Scheme to Evaluate Household Water Treatment Technologies* (OMS, 2019) e *Compendium of Water Supply Technologies in Emergencies* (GWN, 2021) e trabalhos como o de Coury (2020). As vivências do próprio autor durante a interação com as comunidades e a troca de experiências com especialistas da área também contribuíram para essa definição.

Inicialmente, foram delineados grupos de critérios de forma abranger aspectos relevantes para a caracterização das soluções tecnológicas como subsídio para a seleção dessas

tecnologias visando a aplicação em áreas rurais. Os grupos de critérios foram categorizados como: Técnico, Sustentabilidade, Ambiental e Cultural.

Os critérios técnicos foram: Qualidade da água bruta, Eficiência da tecnologia e Volume diário de água produzida. Para a sustentabilidade, os critérios definidos foram: Complexidade construtiva e operacional, Frequência de manutenção e intervenção, Confiabilidade e Requerimento energético. Já o critério ambiental incluiu o Impacto Ambiental. Por fim, a Aceitabilidade da solução foi o critério cultural considerado.

Crítérios econômicos relacionados aos custos de implantação, operação e manutenção são relevantes para a caracterização das tecnologias, para fins de seleção de soluções tecnológicas em comunidades rurais. Contudo, a dificuldade em obter essas informações na literatura, devido à variabilidade dos materiais e insumos empregados em cada tecnologia em função da qualidade da água bruta e da localidade de implantação, somada à escassez de estudos que apresentem dados econômicos consolidados, levou a optar por não incluir esses critérios na caracterização das soluções tecnológicas aplicáveis ao contexto rural.

Para os critérios de Sustentabilidade, Ambiental e Cultural, foram estabelecidos níveis (baixo, médio e alto) para categorização de cada tecnologia. Isso permitiu organizar as informações de forma objetiva, a fim de facilitar a comparação entre as tecnologias.

4.6. ETAPA 6: CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO PNSR

As soluções tecnológicas de tratamento caracterizadas foram definidas com base nas tecnologias que integram os arranjos tecnológicos da matriz tecnológica do PNSR. A caracterização de cada tecnologia foi fundamentada na bibliografia nacional e internacional, em conjunto com as soluções tecnológicas apresentadas no tópico 3.2.1.

As tecnologias avaliadas foram: Filtração lenta coletiva, Filtração em Múltiplas Etapas (FiME), Tratamento convencional; Filtração em Margem; Separação em membrana; Desinfecção; Filtração lenta domiciliar; Tratamento convencional por batelada; Dessalinização solar. A partir da sistematização das informações levantadas foram produzidas tabelas que sintetizam as principais características de cada solução tecnológica. Essas tabelas tiveram como finalidade auxiliar o tomador de decisão na seleção das tecnologias de tratamento de água viáveis para as diversas ruralidades encontradas no meio rural.

Além das tabelas, foram também incorporados pontos fortes e pontos de atenção a cada tecnologia, de forma a evidenciar o entendimento de potencialidades e limites de cada uma, auxiliando no processo de seleção.

4.7. ETAPA 7: PROPOSIÇÕES DAS SOLUÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

De posse dos resultados dos diagnósticos e da caracterização das soluções tecnológicas de tratamento de água aplicáveis em comunidades rurais, foram realizadas proposições de soluções de abastecimento para cada comunidade estudada.

As propostas incluíram as soluções tecnológicas de tratamento viáveis para cada realidade estudada e ações complementares visando o sucesso da tecnologia e a melhoria das condições de saneamento.

Nos tópicos a seguir estão detalhados cada um dos componentes das soluções propostas em cada comunidade.

4.7.1. Soluções tecnológicas de tratamento de água

A proposta de soluções tecnológicas de tratamento de água teve como objetivo avaliar as tecnologias de tratamento viáveis para a realidade de diagnosticada em cada comunidade aplicando os critérios definidos no tópico 4.5.

A matriz tecnológica do PNSR foi utilizada como base para a seleção das soluções tecnológicas viáveis para cada comunidade de acordo com o tipo de fonte de abastecimento e a escala das soluções propostas. A viabilidade das soluções foi avaliada segundo o critério técnico de qualidade da água bruta.

As soluções consideradas viáveis segundo os critérios técnicos foram selecionadas para apresentação aos moradores das comunidades, buscando a seleção da solução tecnológica final com participação da comunidade.

4.7.2. Ações complementares

As ações complementares propostas tiveram como objetivos garantir o sucesso das tecnologias preliminarmente selecionadas, colaborando com a ideia de sustentabilidade das soluções e promoção da melhoria das condições gerais de saneamento no domicílio/comunidade.

Foram propostas ações estruturais, como alterações de localização e/ou tipologia de unidades de tratamento de efluentes sanitários, alterações das captações de água, instalação de novas captações, entre outras. Também foram propostas ações não estruturais, relacionadas a boas práticas, como inspeções e limpeza de reservatórios de água e unidades de tratamento de esgoto, entre outras ações específicas para cada caso.

4.8. ETAPA 8: SELEÇÃO DE SOLUÇÃO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM PARTICIPAÇÃO DA COMUNIDADE

Concluída a obtenção das propostas de soluções de abastecimento de água, procedeu-se à seleção da solução de abastecimento em conjunto com os moradores das duas comunidades rurais. Esta etapa foi executada por meio de apresentações realizadas em reuniões participativas ou apresentações individuais com representantes dos domicílios. O objetivo principal dessa etapa foi fortalecer o processo participativo, coletando as percepções dos moradores e integrando suas visões para a escolha da solução mais adequada à realidade cultural de cada comunidade.

As propostas foram expostas oralmente com o apoio de recursos visuais. Foram apresentados resumos dos diagnósticos realizados, critérios de caracterização das tecnologias e detalhamento das soluções de abastecimento, incluindo o princípio de funcionamento de cada tecnologia, caracterização da tecnologia frente aos critérios e os pontos positivos e de atenção/limitações. Foram apresentadas ainda a proposta de ações complementares.

Após exposição dos critérios de caracterização das soluções tecnológicas de tratamento de água, foi aplicada uma matriz de priorização de critérios (APÊNDICE IV), com o objetivo de coleta dos graus de prioridade conferidos por cada morador de acordo com critérios dos grupos de Ambiental, Cultural e de Sustentabilidade.

Os critérios foram classificados com números de 1 a 10 por cada morador de acordo a partir da percepção pessoal do nível de prioridade do critério para a seleção de uma solução de tratamento de água para o seu domicílio e/ou sua comunidade. Além da nota conferida, foram também descritos os níveis dos critérios (baixo, médio ou alto) considerados como ideias pelos integrantes das comunidades.

Esta etapa foi realizada individualmente por cada morador ou junto com o pesquisador a depender do grau de escolaridade do morador. Para aqueles que a realizaram individualmente foi disponibilizado glossário com as definições dos critérios e seus possíveis níveis, além disso, os pesquisadores ficaram disponíveis para eventuais esclarecimentos.

Ao final da apresentação das soluções de tratamento de água propostas para o domicílio/comunidade, foi aplicada a metodologia de Grupo Focal para coleta de percepções dos moradores.

Um facilitador do grupo realizou as perguntas apresentadas no APÊNDICE V, com o objetivo de guiar a manifestação das percepções dos participantes. As falas foram gravadas e anotadas pelo facilitador do grupo. No caso de apresentações individuais foram formuladas as mesmas perguntas, em estrutura próxima a uma entrevista semiestruturada.

As percepções e considerações foram integradas para definição da solução de abastecimento de água para cada comunidade rural estudada, levando em conta seus aspectos técnicos, socioeconômicos, culturais, ambientais e demográficos, buscando a sustentabilidade da solução.

A estrutura das reuniões participativas foi a seguinte: Introdução e contextualização (10 minutos); Apresentação dos resultados de monitoramento de qualidade da água (30 minutos); Apresentação dos critérios de caracterização das tecnologias definidos (15 minutos); Matriz de priorização de critérios (15 minutos); Apresentação das propostas de solução de tratamento de água e ações complementares (30 minutos); Grupos focais ou entrevistas semiestruturadas (40 minutos).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. DIAGNÓSTICO DA ECOVILA TERRA SUBLIME

A Ecovila Terra Sublime é uma comunidade rural localizada em propriedade particular na região administrativa da Fercal-DF, dentro da região da APA da Cafuringa. A comunidade surgiu a partir de uma parceria do proprietário da área de 100 hectares com a empresa Amainar, objetivando a preservação das nascentes e do cerrado na região, além de contribuir com a recuperação da natureza local por meio de um assentamento humano rural e sustentável. A localização da comunidade no Distrito Federal é apresentada na Figura 5.1.

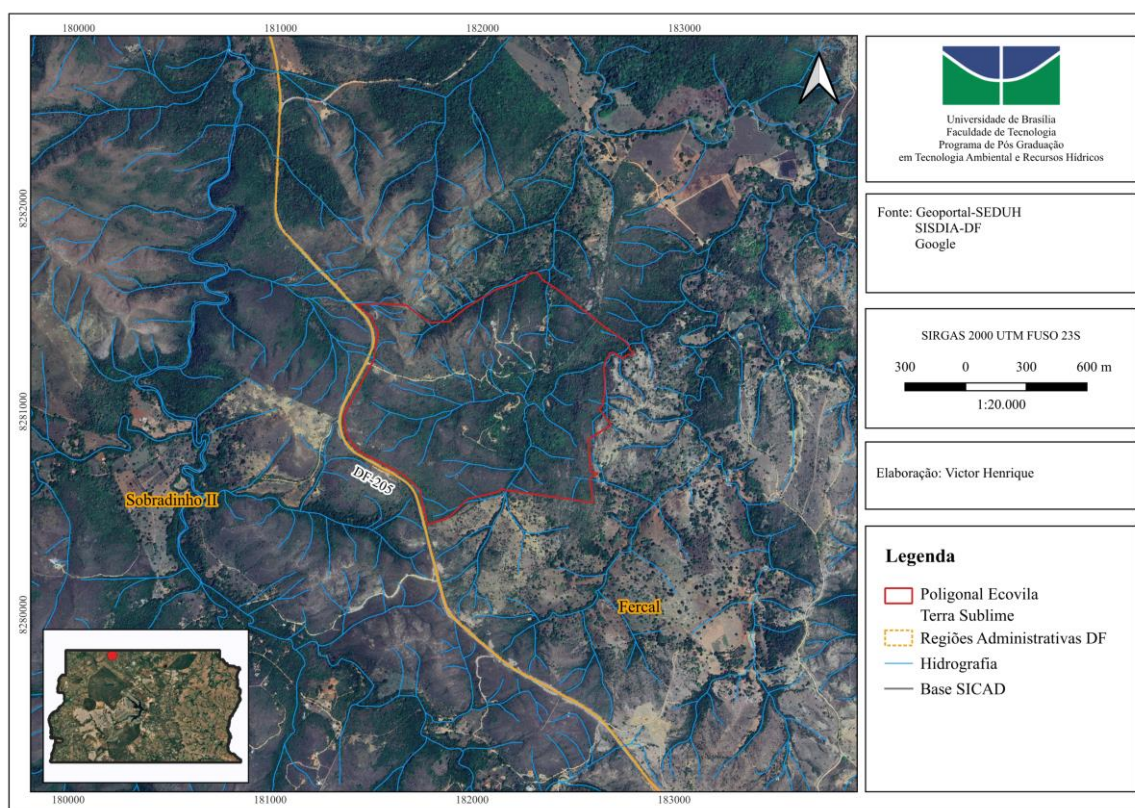


Figura 5.1 - Localização da Ecovila Terra Sublime.

O acesso à comunidade se dá no Km 3 da DF-205, estrada não asfaltada, na margem sentido Planaltina-GO, por meio de uma porteira, como apresentado na Figura 5.2.

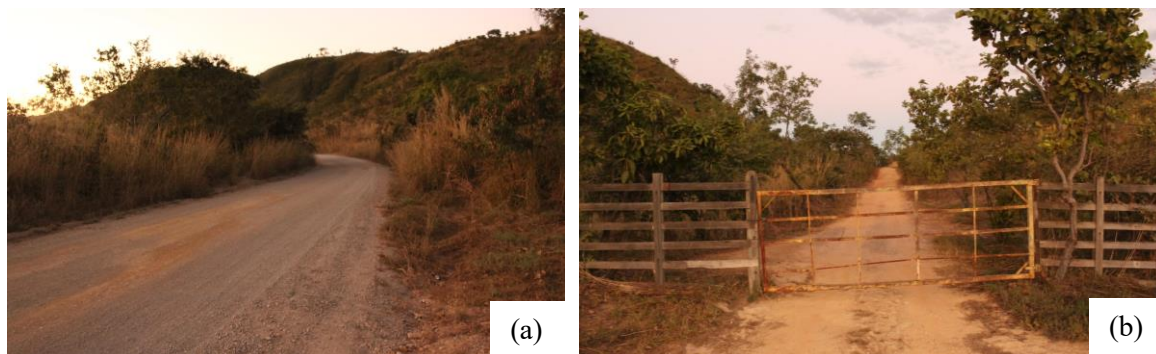


Figura 5.2 - (a) DF-250 e (b) porteira de acesso à Ecovila Terra Sublime.

A Ecovila é formada por 21 lotes, dos quais 10 encontram-se atualmente ocupados por famílias distintas. Os proprietários de cada lote residem em moradias de construção e manutenção própria. Na ótica do enquadramento nos setores censitários rurais, a Ecovila Terra Sublime se enquadra como Área rural – exclusive aglomerados, provavelmente devido à quantidade reduzida de domicílios, contando atualmente com apenas 10 moradias ocupadas, não alcançando o patamar de aglomerado.

Além dos 10 lotes ocupados, a comunidade possui um centro comunitário denominado pelos moradores de Casa Coletiva (Figura 5.3), de utilização e circulação comum de todos os moradores.



Figura 5.3 - Casa coletiva da Ecovila Terra Sublime.

Os domicílios, em sua maioria foram construídos com técnicas de bioconstrução e possuem arquitetura variada. Os materiais usados na construção são variados e incluem adobe, super adobe, pau-a-pique e alvenaria. A Figura 5.4 apresenta dois exemplos da arquitetura dos domicílios da Ecovila.



Figura 5.4 - Exemplos de construções em superadobe na Ecovila Terra Sublime.

No interior da comunidade as vias têm basicamente a função de conectar os lotes, prezando-se pela preservação do cerrado em sua volta. Tais vias são marcadas por forte sinuosidade, pois foram abertas seguindo a declividade do local, sem uso de terraplanagem. A Figura 5.5 apresenta exemplos de vias no interior da área da poligonal da comunidade.



Figura 5.5 - Exemplos de vias no interior da Ecovila Terra Sublime.

O sistema de abastecimento de água atual é constituído por rede de distribuição própria da comunidade, com consumo direto de água proveniente da combinação das captações. Inicialmente a comunidade captava água apenas de uma nascente, denominada “Oriunda”, com escoamento por gravidade, porém com o estabelecimento das famílias de forma definitiva na ecovila em 2020, sua vazão tornou-se insuficiente para o abastecimento de todos os domicílios.

Devido a isso, a segunda captação foi instalada, por bombeamento em um ponto ao longo de um curso d’água denominado de “Córrego dos Cogumelos”, próximo a casa coletiva da comunidade. Este córrego tem sua origem em outra nascente, denominada de “Damião”. De acordo com os moradores, este ponto foi escolhido por possibilitar a captação de água constante ao longo do ano e atualmente representa a maior contribuição da água distribuída para a comunidade.

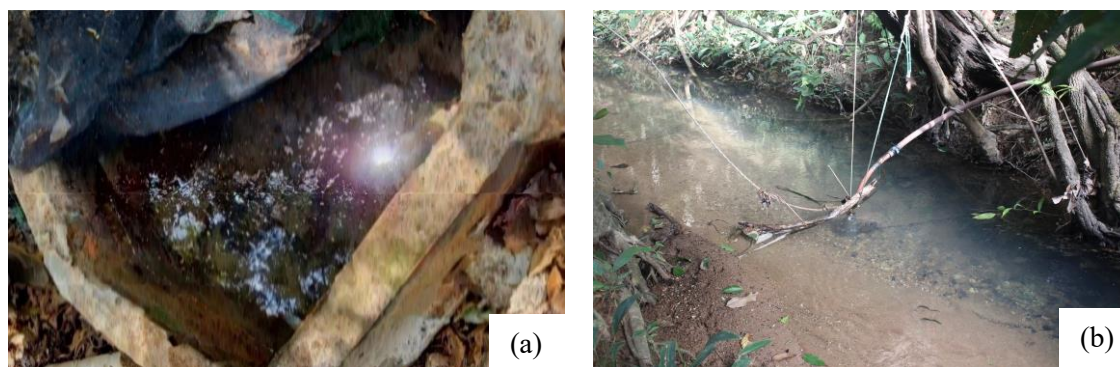


Figura 5.6 - (a) Nascente e (b) Córrego utilizados como pontos de captação de água.

Originalmente havia uma confluência entre o curso d'água decorrente da nascente Oriunda e o Córrego dos Cogumelos, que recebia contribuição da água das duas nascentes. Porém, foi instalado pelo antigo proprietário, uma barragem no curso d'água originado na nascente Oriunda, formando uma represa com o objetivo de armazenar água para a época de estiagem, tendo em vista que à época no terreno se desenvolviam atividades agropecuárias. A água represada forma uma espécie de lagoa que pode ser visualizada pela Figura 5.7.



Figura 5.7 - Lagoa formada por represamento de curso d'água no interior da Ecovila.

Uma característica importante desta lagoa é que, segundo relatos dos moradores, na época chuvosa o seu nível de água se eleva, podendo escoar por meio de extravasor para o Córrego dos Cogumelos, local em que está o principal ponto de captação da comunidade.

As águas captadas no Córrego dos Cogumelos e na nascente Oriunda são encaminhadas a um reservatório de 20.000 litros onde elas se misturam e é bombeada para um sistema elevado composto por dois reservatórios de 20.000 litros cada um. Segundo a liderança da comunidade, um dos reservatórios funciona como decantador, separando o material em suspensão presente na água enquanto o outro reservatório, denominado caixa de distribuição armazena a água decantada que é distribuída por gravidade, através de rede instalada, para os 21 lotes, os quais podem, cada um, possuir reservatório próprio de até 2.000 litros. A caixa de recepção, o decantador e a caixa de distribuição estão apresentados na Figura 5.8.



Figura 5.8 - Reservatórios de recepção (a), decantação e distribuição (b).

É possível ainda efetuar manobra no sistema, de forma tal que a casa coletiva pode receber água diretamente da nascente. Essa forma de abastecimento era utilizada pelos antigos proprietários do terreno. O sistema de abastecimento de água, denominado de “rede hídrica” pelos moradores, pode ser visualizado a partir do esquema apresentado na Figura 5.9, com localização espacial dos elementos na Figura 5.10, confeccionada a partir do georreferenciamento de partes do sistema. Além disso, um esquema feito a mão pela própria comunidade está apresentado no ANEXO II deste documento.

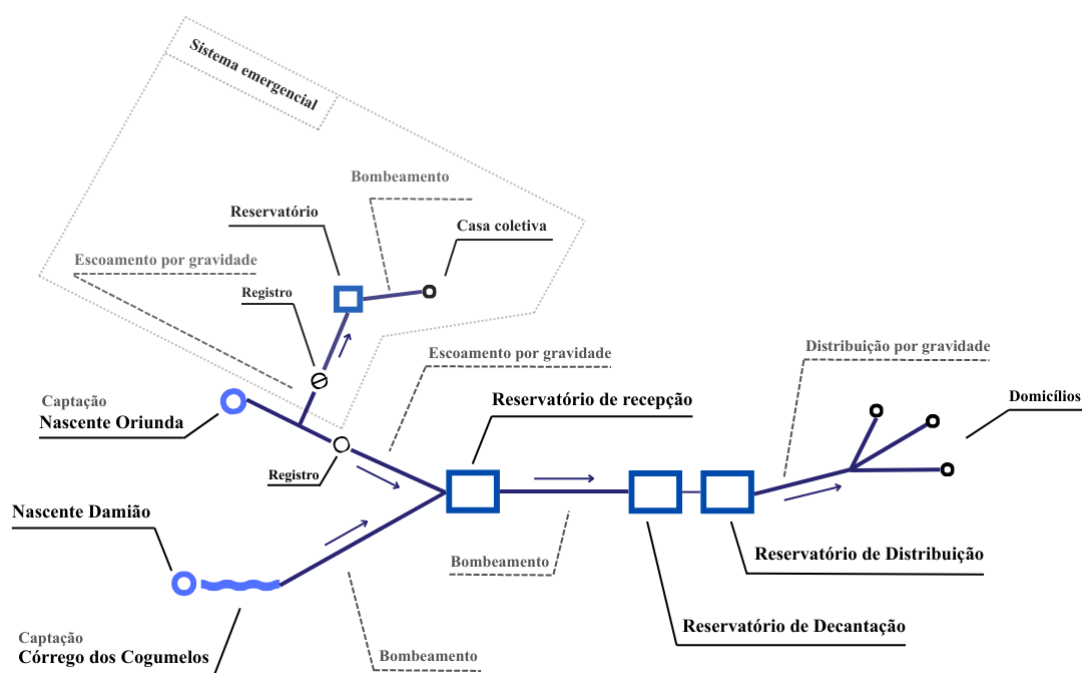


Figura 5.9 - Esquema de parte da "rede hídrica" da Ecovila

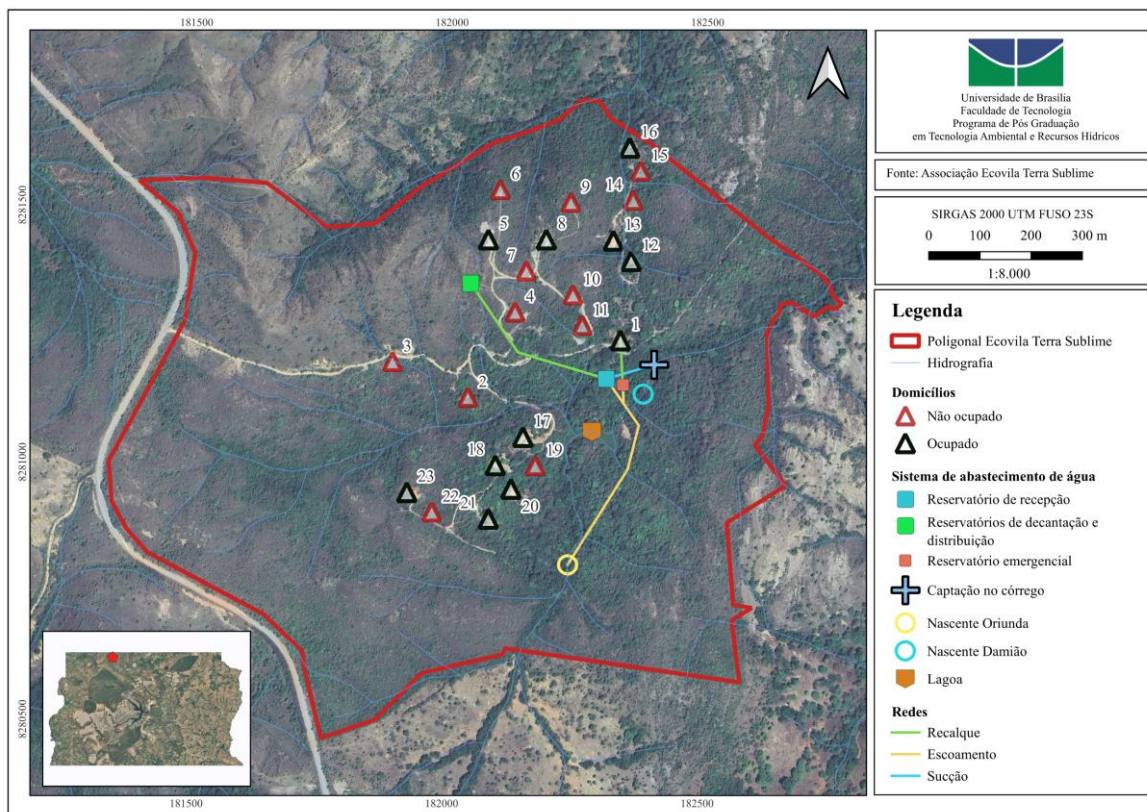


Figura 5.10 - Localização espacial de parte da ‘rede hídrica’ da Ecovila

Ressalta-se que toda a operação e manutenções do sistema são realizadas pelos próprios moradores, dos quais foram coletadas algumas percepções sobre o funcionamento da rede nas entrevistas semiestruturadas.

5.1.1. Entrevistas Semiestruturadas e Observações

As entrevistas semiestruturadas foram aplicadas a 8 membros da comunidade representando 8 dos 10 domicílios ocupados atualmente. Todos os entrevistados são moradores fixos, com média de 4 anos de residência na Ecovila. Dois dos entrevistados relataram passar tempo fora da comunidade por viagens constantes ou visitas prolongadas a familiares. O número de moradores em cada domicílio e a média de renda domiciliar em salários-mínimos estão apresentadas na Figura 5.11.

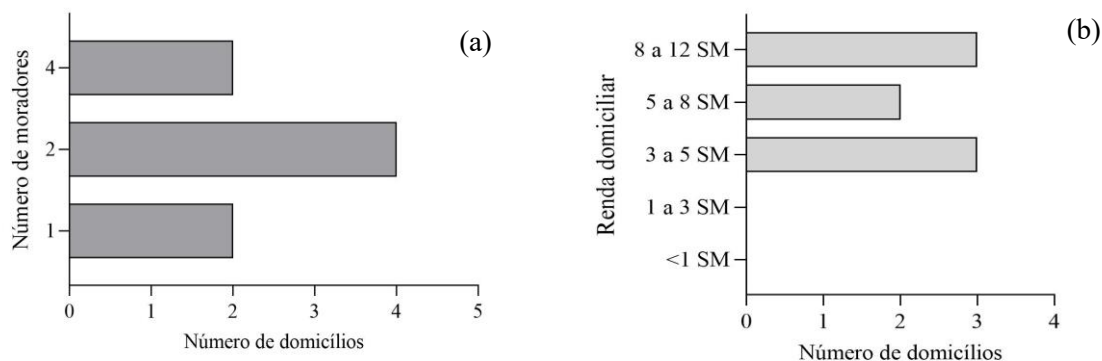


Figura 5.11 - Número de moradores por domicílio (a) e renda média em salários-mínimos (SM) de cada domicílio (b) na Ecovila Terra Sublime.

Quanto ao regime de trabalho, nenhum dos moradores possui renda decorrente de atividades na comunidade. Devido a isso, aqueles que trabalham na comunidade o fazem em regime de trabalho remoto, o que é uma prática comum da maioria dos membros da Ecovila. Apenas 2 dos 8 entrevistados desenvolvem atividade laboral em Brasília em regimes de trabalho de 20h e 40h semanais.

A rotina dos moradores inclui as atividades apresentadas na Figura 5.12, as quais estão definidas como atividades domésticas, de manutenção, irrigação, trabalho remoto e externo à comunidade, estudo e lazer/descanso.

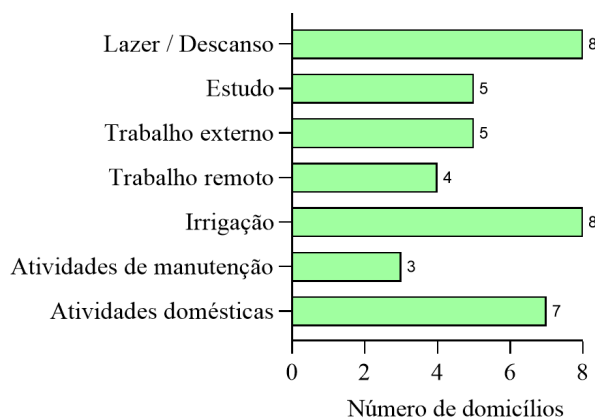


Figura 5.12 - Atividades rotineiras realizadas pelos integrantes da Ecovila Terra Sublime.

Todos os domicílios possuem acesso à água por meio do sistema de distribuição coletivo da comunidade, e dois dos domicílios possuem sistemas de captação pluvial com capacidades de 25.000L e 60.000L. A água captada nos dois domicílios tem como destino a irrigação.

Dos 8 entrevistados apenas 1 relatou preocupação com a qualidade da água consumida, principalmente no aspecto microbiológico, o que o faz comprar água mineral para consumo em seu domicílio. O restante dos entrevistados considera que a água consumida pela

comunidade é de boa qualidade. Algumas das justificativas dadas pelos moradores são apresentadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Opinião dos entrevistados sobre a qualidade da água consumida pela comunidade.

Nº	Justificativa
1	Confio nesta água pois a utilizo desde que cheguei na comunidade para todas as minhas atividades e nunca senti nenhum problema.
2	Gosto da água pois não possui flúor e nunca senti nada em relação à saúde com a sua ingestão.
3	A água é boa, porém a dureza poderia ser menor e por vezes vem muito turva.
4	Para mim o principal ponto é que a água é a mais natural possível, vem de uma fonte natural.
5	Eu sei qual é a fonte desta água, ela não tem cloro nem flúor. Me preocupo mais com a limpeza da caixa do que com a fonte.
6	Acho uma água boa por ser natural, mas poderia ser melhor se fosse a da nascente.

Nas entrevistas também foram colhidas as percepções dos moradores sobre as características que a água destinada ao consumo deve apresentar para ser considerada de boa qualidade. Essas percepções foram baseadas em um elenco de características apresentado aos participantes com o intuito de indicarem aquelas que consideraram relevantes na água de boa qualidade. O resultado está apresentado na Figura 5.13.

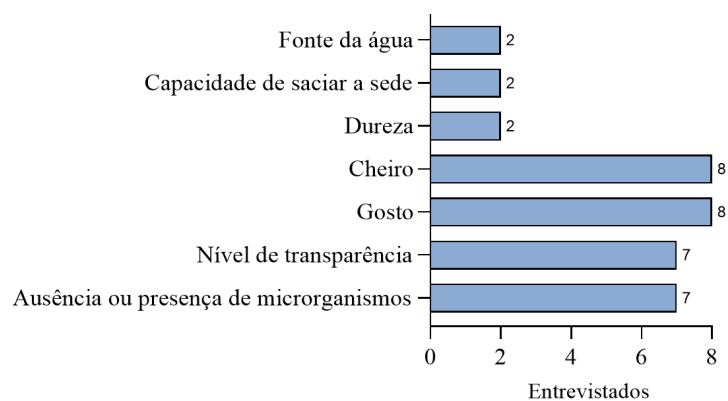


Figura 5.13 - Parâmetros relevantes da qualidade da água segundo a percepção dos entrevistados da Ecovila Terra Sublime.

Foi questionado aos entrevistados sobre a existência de tratamento da água destinada ao consumo. Todos indicaram a decantação da água captada no córrego e na nascente prévio à distribuição para os domicílios. Dois dos domicílios contam apenas com esse tratamento geral, enquanto 3 dos domicílios relataram possuir filtro cerâmico de barro, 3 domicílios possuem filtro de disco e 1 domicílio utiliza purificador de água com vela de carvão ativado.

Quanto à ocorrência de casos de diarreia com provável associação ao consumo de água, apenas um entrevistado relatou ocorrência de episódios diarreicos nas crianças, porém sem ter certeza de que a causa tenha sido o consumo de água. Além disso, um entrevistado relatou uma possível contaminação recente por verme, porém sem verificação por meio de exames parasitológicos, enquanto outro relatou desconfortos intestinais que podem estar relacionados ao consumo de água.

Foi questionado aos participantes sobre o seu interesse na instalação de um sistema de tratamento de água. Todos os entrevistados responderam afirmativamente sendo favoráveis à implantação de sistema individual ou coletivo, de acordo com o que fosse melhor para a comunidade.

A quantidade de água é considerada uma preocupação e um desafio para 7 dos 8 entrevistados. A vulnerabilidade do sistema atual a falhas e a disponibilidade de água para todos os usos em um cenário de crescimento da comunidade foram as principais preocupações dos entrevistados.

As entrevistas revelaram que todos os domicílios possuem reservatórios individuais, 7 deles com 2.000L de capacidade e 1 com 5.000L. Apenas 1 entrevistado relatou realizar limpeza anual no reservatório individual. No que se refere ao sistema de abastecimento coletivo os participantes relataram que é efetuada limpeza anual dos reservatórios do sistema de distribuição geral.

Todos os entrevistados relataram falhas do sistema de bombeamento da água captada nas fontes de abastecimento como um problema crítico, já que na época chuvosa ocorrem frequentemente queimas da bomba submersa localizada na captação existente no córrego, devido a turbulências que a retiram da água, resultando na interrupção do abastecimento de água na comunidade. Além disso, houve relatos de desconfiguração das bombas quando ocorre interrupção de energia elétrica.

Outros relatos dos moradores incluíram os problemas no abastecimento de água pelo rompimento de tubulações principalmente, na época de seca. Os entrevistados relataram ainda desafios na manutenção da rede de distribuição, principalmente relacionados à dificuldade na identificação dos pontos de vazamento.

Os efeitos da sazonalidade foram percebidos na redução da vazão do córrego, mas é algo que segundo os moradores não afeta o sistema de distribuição com o número atual de

domicílios abastecidos. Alguns relatos apontaram que anteriormente a instalação da captação existente no córrego, quando a comunidade contava apenas com a captação da nascente, havia problemas de quantidade de água para abastecimento de toda a comunidade por redução da vazão nesta fonte na época de estiagem.

O último aspecto objeto da entrevista foi a acessibilidade, no qual, inicialmente se questionou sobre a necessidade de coleta ou compra de água nos domicílios em alguma circunstância. Os entrevistados relataram precisar coletar água da casa coletiva com recipientes em situações de falhas do sistema de distribuição, e um deles relatou que já precisou comprar água mineral para consumo em sua residência.

Todos os entrevistados têm canalização interna no domicílio, com número de pontos de acesso superior a 6, configurando um nível de acesso ótimo segundo a Organização Mundial da Saúde, descrito por acesso por múltiplos pontos (OMS e UNICEF, 2005). Além disso todos os entrevistados consideram que os pontos de acesso estão instalados nos locais mais adequados para o uso.

Outro aspecto abordado nas entrevistas foi a demanda por água nos domicílios. As principais atividades consumidoras de água nos domicílios estão expostas na Figura 5.14.

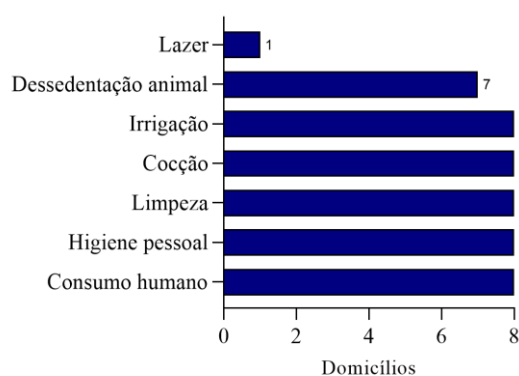


Figura 5.14 - Atividades que demandam água em cada domicílio.

No que se refere às outras áreas do saneamento como esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos além do fornecimento de energia elétrica, foi relatado pelos moradores a existência de uma diretriz na comunidade que estabelece que todos os domicílios precisam instalar um tanque de evapotranspiração para destinação das águas negras e um círculo de bananeiras para destinação das águas cinzas. Constatou-se a existência desses sistemas em 7 dos domicílios, enquanto em um deles o morador relatou destinar os efluentes para uma

fossa rudimentar, pouco utilizada pela existência de banheiro seco na residência, segundo o morador, já as águas cinzas são somente despejadas no terreno para irrigação das plantas.

Os sistemas foram instalados no período inicial de residência de cada um dos moradores em seus respectivos domicílios e foram todos construídos pelos próprios moradores em conjunto com trabalhadores de comunidades próximas. Apenas dois entrevistados relataram já haver realizado alguma manutenção no sistema, ambos 1 vez, durante o início de sua operação.

Quanto à destinação dos resíduos sólidos, todos os domicílios realizam compostagem dos resíduos orgânicos e se responsabilizam individualmente pelos resíduos secos, os transportando para destinação adequada nas áreas urbanas próximas.

Por fim, a comunidade recebe o serviço de energia elétrica da concessionária local, porém todos os entrevistados relataram haver muitas falhas no serviço ofertado, principalmente no período chuvoso, o que prejudica a captação e o bombeamento de água. O episódio de intermitência mais duradouro, registrado desde o início da comunidade, foi de 3 dias.

As informações coletadas na entrevista subsidiaram a seleção das soluções de abastecimento de água viáveis para melhorar as condições de acesso à água dos moradores da Ecovila em consonância com suas características demográficas, socioeconômicas e culturais.

5.1.2. Monitoramento de qualidade da água

A turbidez é um parâmetro físico considerado padrão organoléptico de potabilidade pela Portaria nº888/21, o que significa que se relaciona à aceitação estética pelo consumidor, tendo como limite o valor de 5 uT. Os resultados da análise de turbidez nos pontos escolhidos para o monitoramento da água, estão apresentados na Figura 5.15.

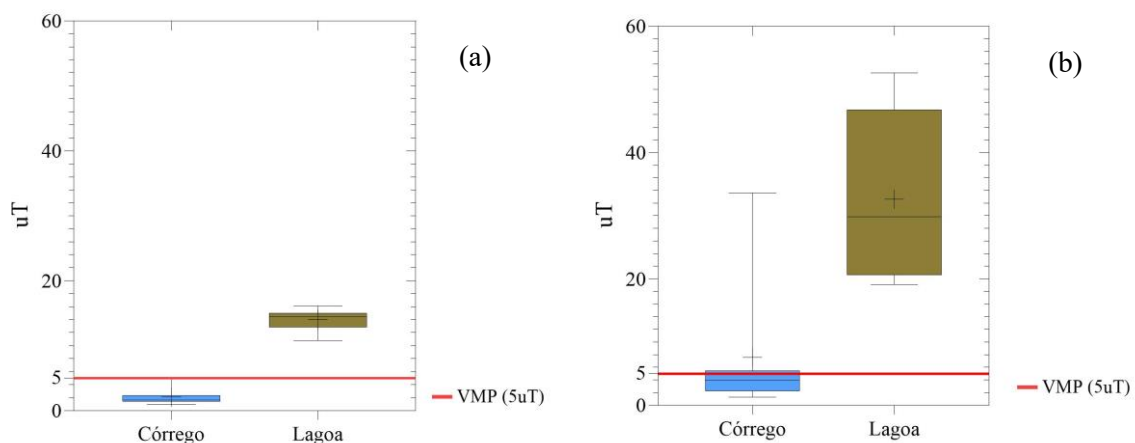


Figura 5.15 - Turbidez na Ecovila nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b).

Na época de estiagem 95% dos valores de turbidez da água do córrego se mantiveram abaixo do Valor Máximo Permitido (VMP) para potabilidade, estabelecido na Portaria nº 888/21, o que sugere um curso d'água bem preservado. A água da lagoa, por outro lado, apresentou valores acima do VMP em todas as amostras analisadas, o que indica maior concentração de sólidos suspensos na água represada.

Ainda é possível verificar a elevação da turbidez nos dois pontos monitorados no período chuvoso em relação ao período de estiagem. Tal elevação é, provavelmente, decorrente do carreamento de partículas do solo para o córrego e para a lagoa, pelo escoamento superficial. Deve ser reforçado que, no período de chuva, pode ocorrer extravasamento da água da lagoa para o córrego localizado à jusante. Essa contribuição causa a elevação da turbidez do córrego, o que é refletido na água distribuída para os moradores.

Em decorrência disso, os resultados apontaram para aproximadamente 30% dos valores de turbidez da água do córrego e todos os valores da água da lagoa superiores ao VMP na época de chuva, indicando inadequação com a potabilidade neste período do ano. Também foi possível observar a ocorrência de picos de turbidez no período chuvoso, evidenciado pela maior distância entre o quartil de 75% e o valor máximo em relação à mediana para ambos os corpos hídricos.

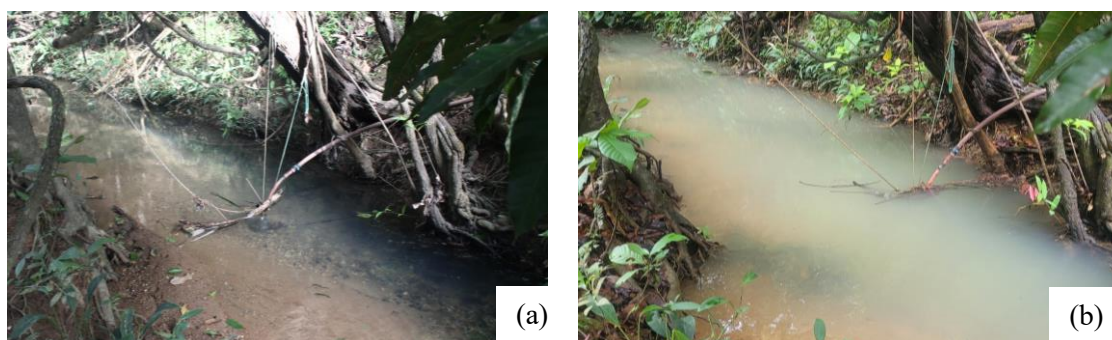


Figura 5.16 - Córrego nos períodos de estiagem em 24/07/2024(a) e de chuva em 12/11/2024 (b).

O segundo parâmetro analisado foi a cor aparente, cujos valores estão apresentados na Figura 5.17. A cor da água é promovida pelos sólidos dissolvidos resultantes da degradação da matéria orgânica natural e é representada, principalmente, pelas substâncias húmicas. A cor aparente da água, segundo Piveli e Kato (2006), é a coloração visualizada pelo ser humano, sendo resultado do efeito conjunto da absorção de radiação eletromagnética pelos sólidos dissolvidos e da absorção, dispersão e reflexão pelos sólidos suspensos, que são os

causadores da turbidez. Além disso, a cor aparente faz parte do padrão de potabilidade organoléptico na Portaria nº 888/21, com Valor Máximo Permitido (VMP) de 15 uC.

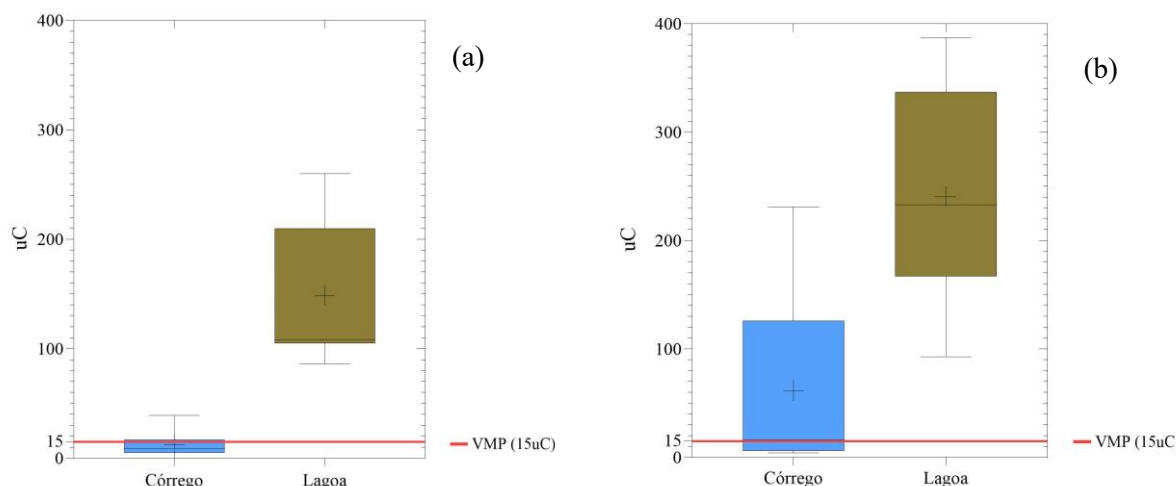


Figura 5.17 - Cor aparente da água nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b) na Ecovila.

Como esperado, foi observada uma tendência no comportamento da cor aparente similar àquela encontrada na turbidez, com aumento no período chuvoso. Na época de estiagem, a água do córrego apresentou valores entre 0 e 39 uC, com 22% dos resultados acima do Valor Máximo Permitido (VMP), indicando não conformidade com a legislação. Já na água da lagoa, assim como ocorreu com a turbidez, todas as amostras analisadas apresentaram valores acima do máximo permissível, alcançando valores de até 39uC.

Já na época chuvosa, o aumento da cor aparente levou a mais de 50% dos valores medidos acima do padrão de potabilidade para esse parâmetro na água do córrego. Na água do córrego, por sua vez, a cor aparente alcançou valores de até 260uC. O aumento do valor deste parâmetro está diretamente ligado à elevação dos níveis de turbidez na época de chuva, causado pelo carreamento de sólidos por escoamento superficial e pelo extravasamento da água da lagoa para o córrego.

Além da turbidez, a cor verdadeira também tem influência nos níveis de cor aparente. A Figura 5.18 apresenta os níveis de cor verdadeira encontrada nas amostras analisadas.

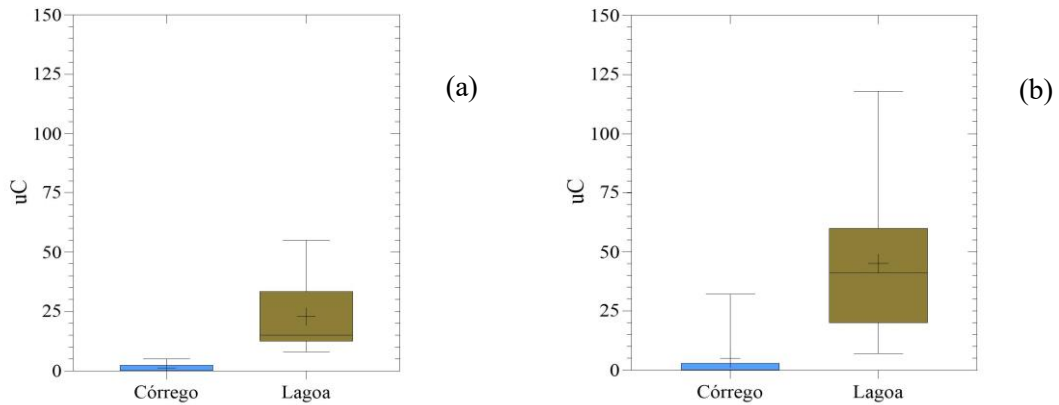


Figura 5.18 - Cor verdadeira da água nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b) na Ecovila.

Assim como ocorreu com a turbidez, a cor verdadeira apresentou valores menores na água dos dois ambientes na época de estiagem e um aumento na época de chuva, principalmente na água da lagoa. Este fato provavelmente se deve ao aumento de substâncias húmicas carregadas pelo escoamento superficial para o interior deste ambiente lântico. A água do córrego, por sua vez, apresentou a mesma mediana, igual a zero, para os dois períodos. No entanto, ela registrou valor máximo na época de chuva, encontrado no mesmo dia do valor máximo de turbidez, o que foi causado, possivelmente, pelo extravasamento da água da lagoa para o córrego.

Quanto ao pH, os valores indicaram uma constância deste parâmetro próxima à neutralidade nas épocas de estiagem e de chuva, entre 7 e 8 em sua maioria. A Figura 5.19 apresenta os valores de pH da água nos dois ambientes analisados.

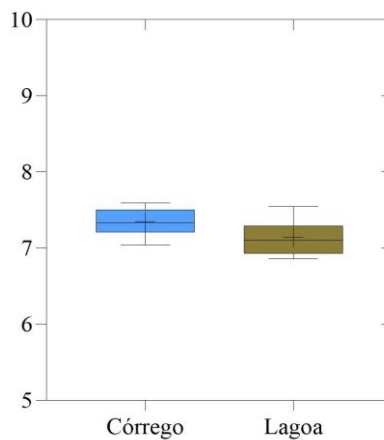


Figura 5.19 - pH da água em todo o período de monitoramento na Ecovila.

Outros dois parâmetros estão relacionados à presença de sólidos dissolvidos na água: a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos. A condutividade elétrica, que está relacionada à quantidade de íons presentes na água, isto é, eletrólitos. A água do córrego apresentou maior concentração de eletrólitos em relação à água da lagoa. Adicionalmente, foi possível verificar a redução da condutividade elétrica nos dois ambientes na época de chuva, sendo essa redução mais acentuada na água da lagoa, como apresentado na Figura 5.20.

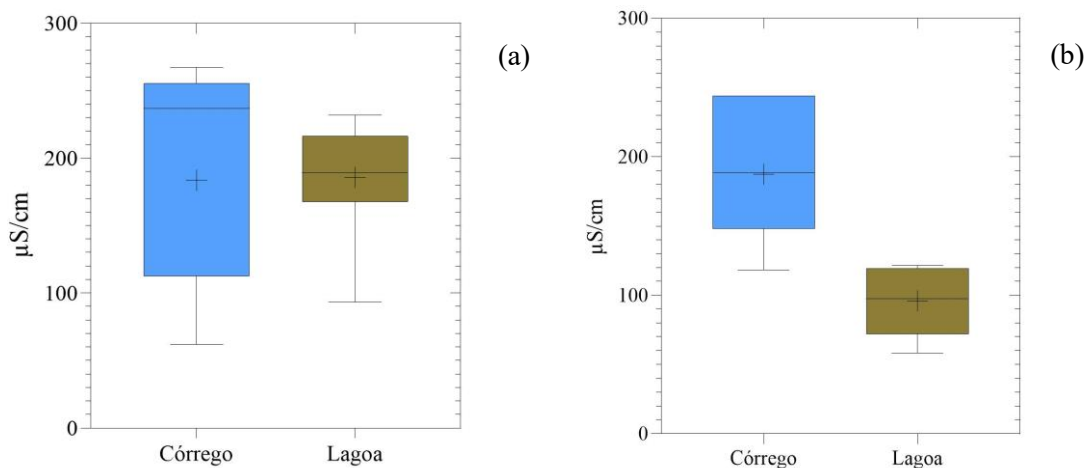


Figura 5.20 - Condutividade elétrica na água da Ecovila nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b).

A Figura 5.21 apresenta os valores de sólidos totais sólidos totais dissolvidos (STD), estimados pelo condutímetro por fator de conversão, nos períodos de estiagem e chuva. Com valores maiores na água do córrego e redução das concentrações no período chuvoso, tanto na estiagem como nas chuvas os níveis de STD atenderam ao padrão de potabilidade de 500mg/L estabelecido pela Portaria nº888/21.

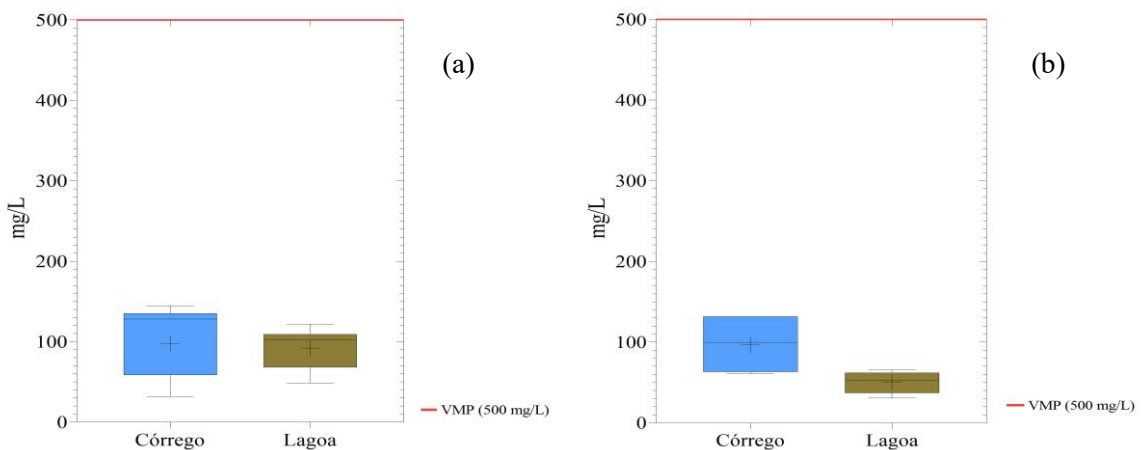


Figura 5.21 - Sólidos dissolvidos totais nos períodos de estiagem (a) e chuva (b) na Ecovila.

Os maiores valores tanto de condutividade elétrica quanto de STD encontrados na água do córrego em detrimento da água da lagoa podem estar relacionados à maior contribuição das águas subterrâneas ao fluxo do córrego. Essas águas subterrâneas tendem a apresentar maior teor de espécies iônicas devido à interação prolongada com os minerais presentes no solo e na matriz rochosa local (Hem, 1985).

Já a redução dos valores desses parâmetros na época de chuva podem estar associados ao aumento dos volumes de água nos corpos hídricos, causado pela precipitação, escoamento superficial e subsuperficial, o que causa a maior diluição dos sólidos presentes e resulta em menores valores de condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos (Hem, 1985).

Por fim, foi medida a salinidade da água dos corpos hídricos, outro parâmetro correlacionado à condutividade elétrica da água. Este parâmetro se relaciona à presença de sais inorgânicos na água e é utilizado para classificá-la em doce, salobra ou salina. As águas provenientes do córrego, da lagoa e da nascente apresentaram salinidade de 0,1 ‰ (partes por mil), proporcional à 0,1 g/L.

Este valor encontrado, segundo a classificação estipulada pela CETESB, está na faixa de valor típicos de água doce. Ainda que este valor indique presença de sais na água, o que pode ter relação com as características hidrogeológicas da região da Fercal, marcada pela presença de rochas calcárias, ricas em carbonato de cálcio, onde se localiza a comunidade.

A partir da presença de sais identificada nas medições de salinidade da água, e dos relatos de incrustações nas tubulações e chuveiros por parte dos integrantes da comunidade participantes da entrevista semiestruturada (tópico 5.1.1), decidiu-se determinar a dureza da água proveniente das fontes de abastecimento da Ecovila.

As análises de dureza foram realizadas de forma pontual durante o período chuvoso nas águas do córrego, nascente e lagoa. Foram observados teores de dureza total na faixa correspondente à água moderadamente dura, próximos da concentração representativa de água dura, confirmando esta característica na água da comunidade. A Figura 5.22 apresenta os valores encontrados assim como os limites das faixas de dureza segundo Piveli e Kato (2006).

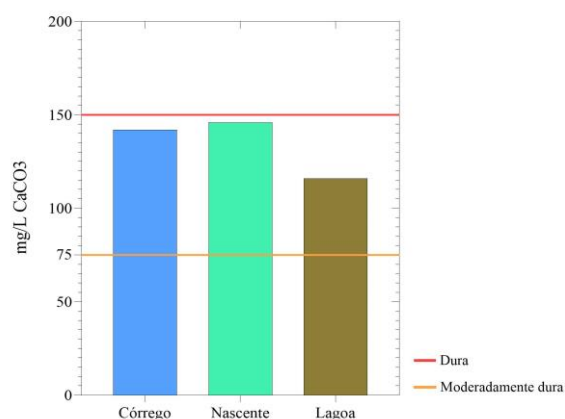


Figura 5.22 - Dureza total da água nos pontos monitorados na Ecovila.

Apesar dos níveis elevados de dureza encontrados, os valores estão abaixo do VMP estabelecido pela Portaria nº888/21 para a dureza como padrão organoléptico, de 300 mg/L de dureza total.

No tocante aos parâmetros microbiológicos, as densidades de coliformes totais encontradas nos períodos de seca e chuva encontram-se na Figura 5.23. Ressalta-se que para melhor visualização, os valores foram apresentados em escala logarítmica na base 10.

Foi registrada a ocorrência de coliformes totais na água do córrego, que é utilizada diretamente para consumo, e na água da lagoa, em todas as amostras analisadas. No período de estiagem, cerca de 66% dos valores de densidade de coliformes totais na água do córrego estiveram na ordem de 10^2 , enquanto na água da lagoa em todas as amostras analisadas todos os valores apresentaram a mesma ordem.

Na época chuvosa, verificou-se uma elevação nas concentrações de coliformes nos dois ambientes, com mediana na ordem de 10^3 . Houve picos que representaram cerca de 28% na água do córrego e 14% na água da lagoa na ordem de 10^4 . Esta elevação provavelmente decorre do carreamento de partículas de solo, com a presença desses microrganismos, para os corpos d'água pelo escoamento superficial.

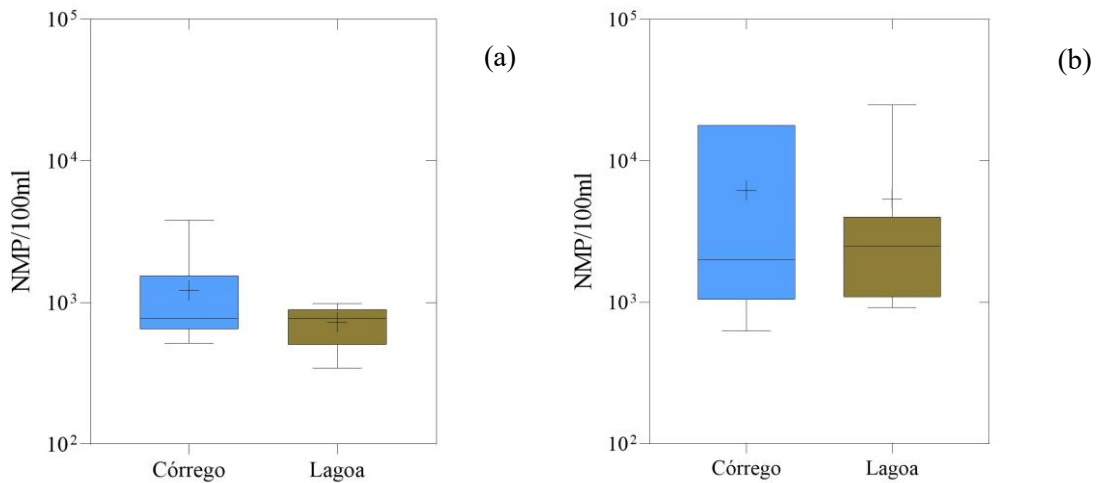


Figura 5.23 - Coliformes totais nos períodos de estiagem (a) e chuva (b) na Ecovila.

Em relação a *Escherichia coli*, todas as amostras analisadas dos dois corpos superficiais indicaram a presença deste microrganismo indicador, o que está em desacordo com o padrão de ausência em 100ml estabelecido pela Portaria nº888/21 para água destinada ao consumo humano. A ocorrência dessa *E.coli* na água representa um risco de contaminação microbiológica e de desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica pelo consumo da água distribuída na comunidade e, conseqüentemente, confirma a necessidade de tratamento dessa água para garantir a segurança da população da Ecovila.

No período seco a mediana dos valores encontrados na água do córrego estiveram em torno de 5 NMP/100ml, com 66% dos valores entre 1 e 10 NMP/100ml e densidade máxima de 90,6 NMP/100ml, enquanto isso, a densidade de *E.coli* na lagoa teve mediana próxima a 10 NMP/100ml, com valor máximo de 27,2 NMP/100ml. No período chuvoso a densidade de *E.coli* elevou-se em ambos os corpos hídricos, com medianas dos valores na água do córrego e na lagoa que atingiram a ordem de 10^3 NMP/100ml e picos na ordem de 10^4 NMP/100ml.

(b)

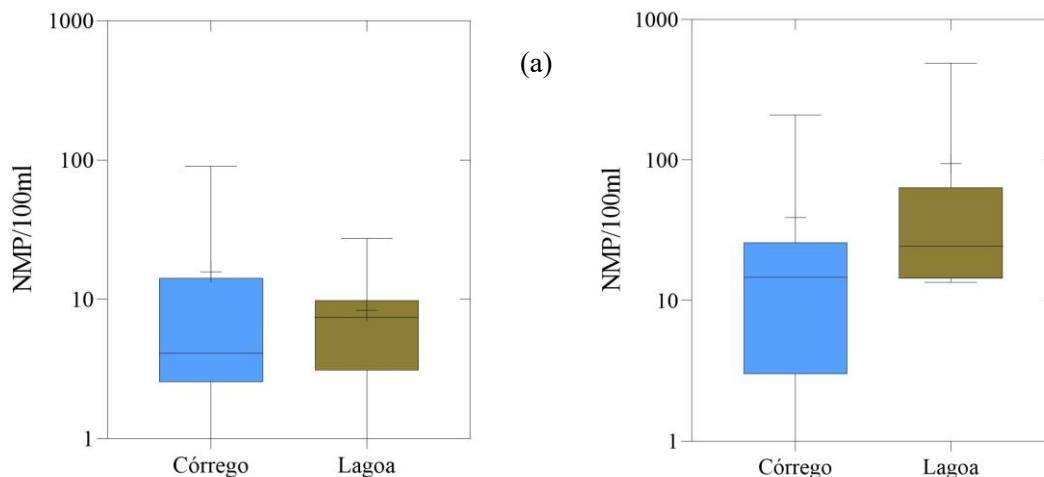


Figura 5.24 - *E. coli* nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b) na água da Ecovila.

A presença de *E. coli* nas águas analisadas pode ter como causa as interações da fauna com os corpos hídricos superficiais, fenômeno comum, principalmente em áreas mais preservadas. Já o aumento das concentrações de *E. coli* na época de chuva, de forma similar ao observado para os coliformes totais, pode ser explicado pelo carreamento de solo e fezes de animais pelo escoamento superficial para ambos os corpos d'água nesse período.

Além do monitoramento da água do córrego e da lagoa, foram realizadas análises pontuais nas águas da nascente, na caixa de distribuição da comunidade e em uma torneira da casa coletiva. Ressalta-se que esses pontos não foram incluídos em todo o monitoramento devido a dois fatores: primeiro, o difícil acesso à nascente; e segundo, a falta de clareza, por parte dos moradores no início do monitoramento, sobre o funcionamento do sistema. Dessa forma, o entendimento da contribuição da água da nascente à água distribuída no sistema só ocorreu em um período próximo ao final do monitoramento.

Os resultados das análises realizadas nos três pontos adicionais são apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Análises pontuais das águas da nascente e caixa de distribuição da Ecovila.

	Nascente*		Caixa de Distribuição**		Casa coletiva***
Turbidez (uT)	2,74	5,12	10,8	20,5	10,2
Cor aparente (uC)	4	6	76	113	24
Cor verdadeira (uC)	0	0	2	12	7
pH	7,03	7,51	7,5	7,41	7,60
Condutividade elétrica (µS/cm)	113,6	138,2	131,2	155,4	329
STD (mg/L)	59,5	74,5	124,9	81,4	174
Salinidade (‰)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	146	-	-	110	110
Coliformes Totais (NMP/100ml)	2500	1203,2	1986,3	1750	66,3
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100ml)	0	2	23,9	13,4	4,1

*Análises realizadas nos meses de setembro e novembro de 2024.

**Análises realizadas nos meses de novembro de 2024 e fevereiro de 2025.

***Análises realizadas no mês de fevereiro de 2025.

Na primeira análise a água da nascente apresentou turbidez e cor aparente baixas, além de ausência de cor verdadeira e *Escherichia coli*. No entanto, na segunda análise, foi maior, sendo registrada a presença de *E. coli*, fato que pode se dever ao carreamento de partículas para a cacimba, construída em torno da nascente, pelo escoamento superficial causado pelas chuvas.

As análises realizadas nas águas da caixa de distribuição e no ponto de acesso da casa coletiva demonstram que a mistura das águas da nascente e do córrego influencia na qualidade da água distribuída para o consumo da comunidade, principalmente a água do córrego, que representa o maior volume na mistura.

Adicionalmente, apesar de não terem sido realizados estudos de verificação do funcionamento da caixa utilizada para decantação, os valores de turbidez e cor aparente encontrados sugerem uma ineficiência desse sistema. Isso pode ocorrer porque a tubulação de alimentação desse reservatório está posicionada ao mesmo nível à tubulação de saída da

água decantada, reduzindo as chances de renovação da água e eficiência de sedimentação de sólidos, aumentando as chances de curto-circuito no sistema. A Figura 5.25 apresenta as tubulações de alimentação e de saída a água decantada posicionadas na parte superior da caixa.



Figura 5.25 - Tubulações de alimentação e saída na caixa de decantação.

Os valores de turbidez e cor aparente acima do VMP, juntamente com a presença de coliformes totais e *E. coli* (tanto na água das fontes de abastecimento quanto no sistema de distribuição), apontam para a necessidade de tratamento da água da Ecovila Terra Sublime para garantir o consumo de água potável e seguro à saúde. Adicionalmente, a dureza presente na água, embora atenda a legislação, é uma característica que causa incômodo aos moradores da Ecovila.

5.1.3. Caracterização Ambiental

De forma conjunta ao monitoramento da qualidade da água utilizada para consumo e das entrevistas semiestruturadas aplicadas aos membros da Ecovila Terra Sublime, foi realizada a caracterização ambiental da área ocupada pela Ecovila por meio de ferramentas de geoprocessamento.

A Ecovila está localizada na unidade hidrográfica do Rio da Palma, na Bacia Hidrográfica do Rio Maranhão, Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia. Essa unidade hidrográfica possui área de 69,2 km² e compreende o Rio da Palma, Ribeirão Cafuringa, Ribeirão das Salinas e Ribeirão do Ouro como seus principais cursos d'água.

Os cursos d'água no interior da poligonal da comunidade são afluentes do Ribeirão das Salinas, fazendo parte da bacia que tem esse corpo hídrico como seu curso principal. A Figura 5.26 apresenta a localização da poligonal frente as unidades hidrográficas do Distrito Federal.

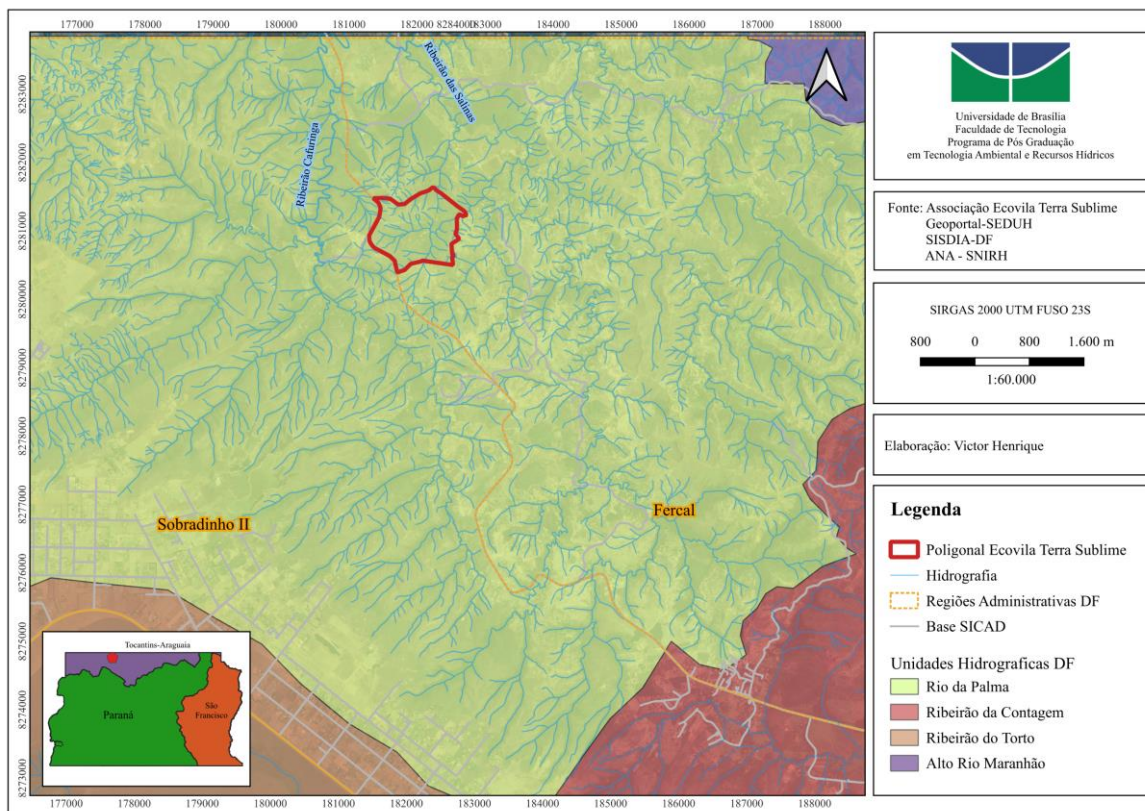


Figura 5.26 - Unidade hidrográfica de localização da Ecovila Terra Sublime.

Na Figura 5.27 verifica-se o alto grau de preservação da vegetação natural de cerrado, fruto de um processo de regeneração desde a instituição da Ecovila no local. Predominam as fitofisionomias de formação florestal e formação savânica, nas quais estão inseridos os trechos de solo exposto das vias de ligação entre os domicílios e as áreas construídas, compreendendo parcelas mínimas da poligonal.

No entorno da propriedade existe muitas áreas de vegetação nativa, com formação campestre, savânica e florestal. Ainda existem algumas áreas de atividade agricultura, porém a uma certa distância da área ocupada pela Ecovila, demonstrando alto grau de preservação da região de localização da comunidade.

A preservação da vegetação nativa possui alta importância na manutenção da capacidade hídrica das fontes de abastecimento, como a nascente e o córrego existentes na Ecovila. As formações vegetais contribuem para a recarga dos aquíferos, por aumentarem a infiltração e retenção da água no solo, o que garante vazões mais estáveis ao longo do ano. Além disso, a cobertura vegetal reduz os impactos do escoamento superficial, prevenindo o assoreamento e a degradação das margens do córrego.

Outro aspecto importante é que a preservação promove a presença de uma fauna silvestre, o que pode contribuir para a introdução de microrganismos de origem fecal, como *Escherichia coli*, nas águas superficiais. Animais nativos que frequentam as margens do córrego e áreas próximas às nascentes podem defecar nesses locais, o que pode contaminar as águas superficiais, principalmente em períodos de chuva, quando o escoamento superficial amplifica o carreamento de material orgânico para os corpos hídricos.

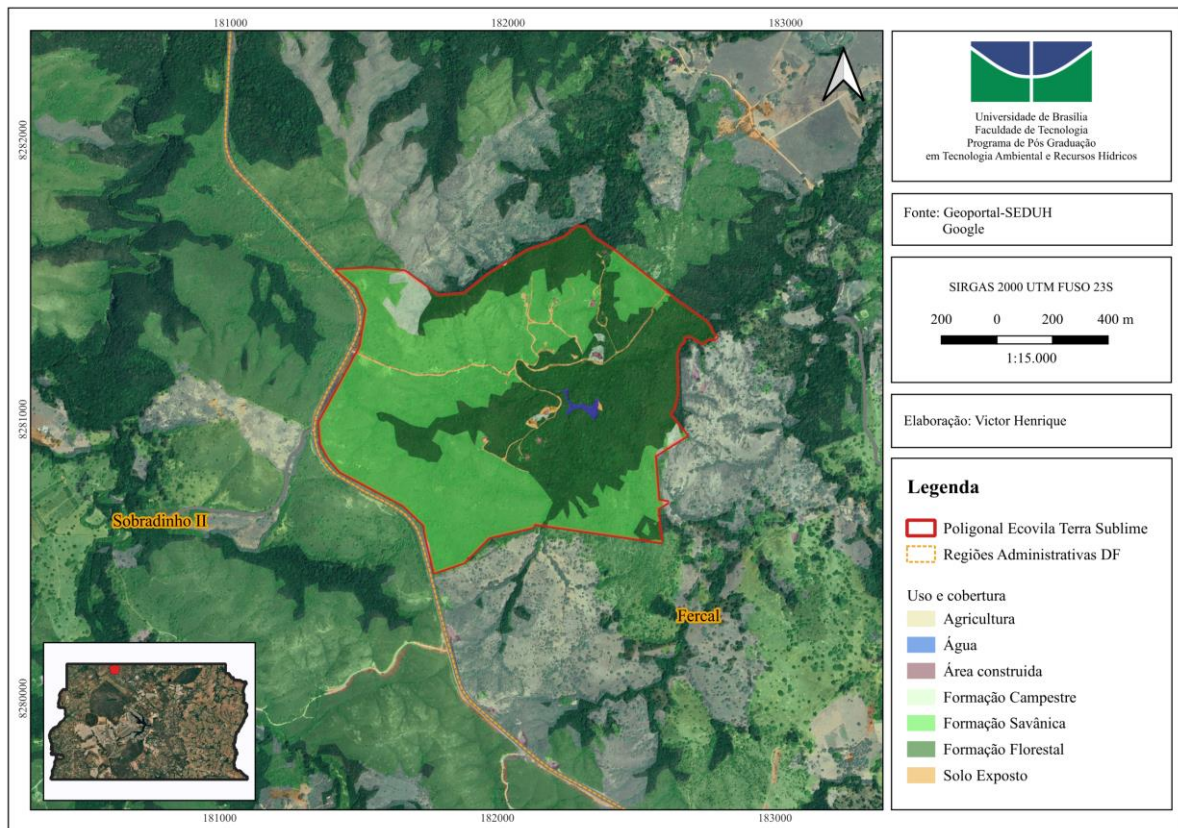


Figura 5.27 - Uso e cobertura na região da Ecovila Terra Sublime.

A Figura 5.28 apresenta a pedologia no interior da poligonal. Destaca-se que somente a nascente encontra-se na região de Nitossolo Vermelho, enquanto as outras fontes hídricas e estruturas do sistema localizam-se em Cambissolo Háplico.

O Cambissolo Háplico é considerado um solo jovem e pouco desenvolvido, de baixa fertilidade natural, sendo classificado como distrófico por sua baixa saturação por bases e baixa atividade de argila (Embrapa, 2018).

A região da Fercal se caracteriza por relevos ondulados e forte ondulados, com boa drenagem e alta pedregosidade, os tornando suscetíveis à erosão. Por conta disso o uso agrícola nesse solo é limitado, tendo como coberturas indicadas as pastagens naturais e atividades de

conservação natural, com preservação do cerrado. Para agricultura este solo exige correções de acidez e adubação adequada (GDF, 2018).

Uma área menor da poligonal da Ecovila tem pedologia constituída por Nitossolo Vermelho formado a partir de rochas ricas em ferro e magnésio, o que confere a este solo coloração avermelhada intensa. Além disso, esse tipo de solo possui alta profundidade, boa aeração e drenagem, alta capacidade de retenção de água e elevada fertilidade natural (Embrapa, 2018). Na região da Fercal este solo está associado a locais de relevo suave ondulado, destinados ao uso agropecuário e preservação ambiental (GDF, 2018).

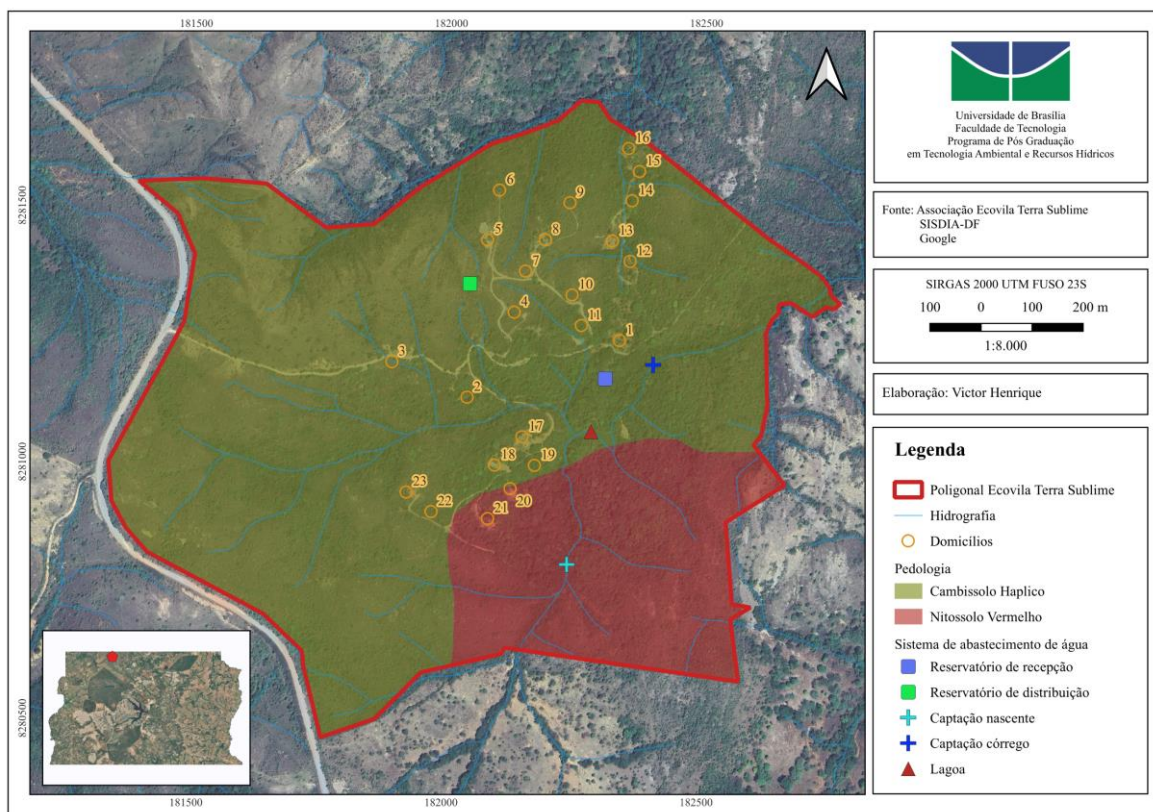


Figura 5.28 - Pedologia na poligonal da Ecovila Terra Sublime.

Outro aspecto relevante de caracterização do terreno é a Hidrogeologia, a qual caracteriza a zona saturada do solo, com enfoque nos aquíferos, ou seja, formações rochosas capazes de armazenar e transmitir água, auxiliando no entendimento das características e dinâmicas da água subterrânea local (Feitosa *et al.*, 2008).

A caracterização hidrogeológica se divide nos domínios poroso e fraturado, os quais definem a movimentação da água subterrânea através dos poros dos grãos em profundidades menores e de fraturas das rochas em profundidades maiores, respectivamente (Feitosa *et al.*, 2008). Na área da Ecovila estão presentes os dois domínios, como pode ser visualizado na Figura 5.29.

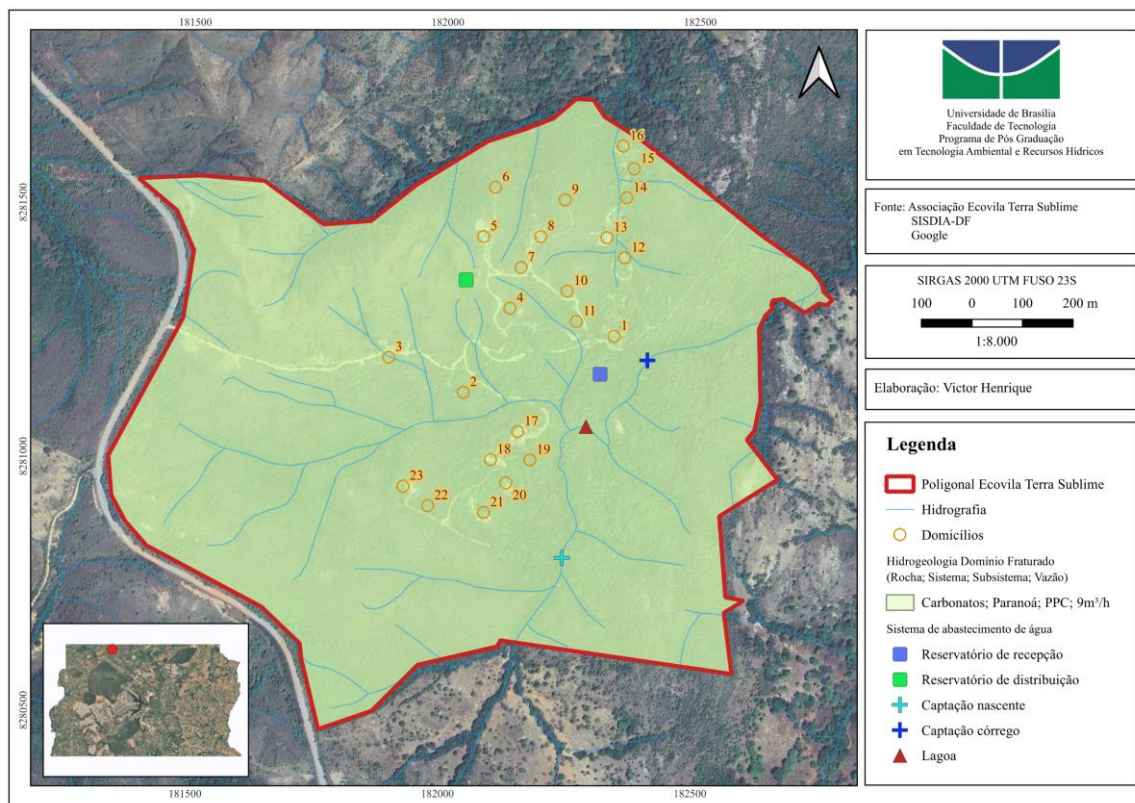


Figura 5.29 - Hidrogeologia na poligonal da Ecovila Terra Sublime.

O domínio poroso é classificado como P4, o qual caracteriza aquíferos porosos rasos, com baixa espessura saturada e condutividade hidráulica reduzida, limitando a utilização das águas subterrâneas na região, sendo preferível o uso de corpos d'água superficiais, como ocorre na Ecovila Terra Sublime (Castanheira, 2018).

Já no domínio fraturado, o local da poligonal da Ecovila é marcado pela presença de Carbonatos como perfil rochoso, dentre os quais está o Calcário, rico em sais de cálcio, relacionado com o grau de dureza da água do córrego e da lagoa. De forma similar ao encontrado neste trabalho, Gonçalves *et al.* (2018), obteve elevado teor de dureza na água subterrânea do município de Serra Ramalho (BA), localizado em uma região caracterizada pela presença de rochas carbonáticas.

Quanto ao sistema e subsistema do domínio fraturado, toda a área da poligonal é marcada pelo sistema Paranoá, subsistema Psamo-Pelito Carbonatado (PPC), que possui fraturas e falhas que facilitam a circulação da água e possui configuração de rochas psamo-pelíticas intercaladas com rochas carbonáticas, contribuindo para a dureza da água pela dissolução da calcita. A vazão média de poços nesse subsistema é de aproximadamente 9m³/h (GDF, 2020; Feitosa *et al.*, 2008).

Na Figura 5.30 observa-se que 52% do terreno está ocupado por declividade forte ondulada, seguida de 26% escarpada, e 17% ondulada.

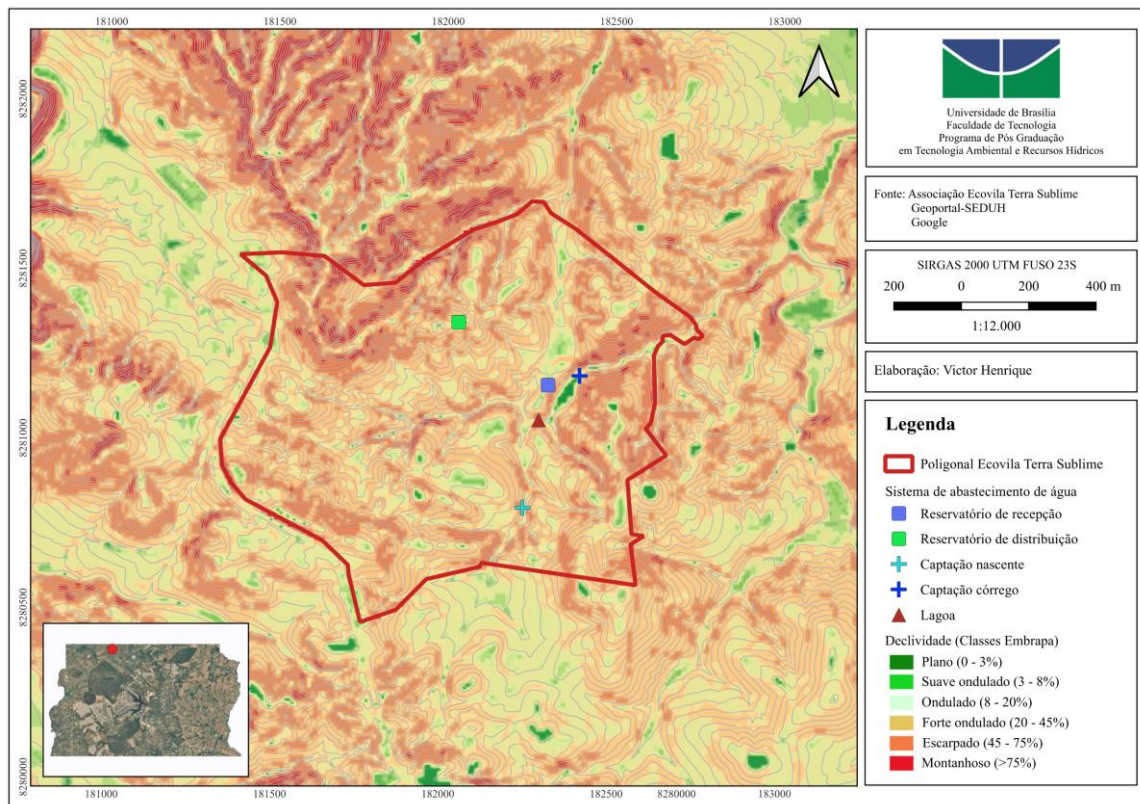


Figura 5.30 - Declividade na poligonal da Ecovila Terra Sublime.

A presença de áreas com declividade forte ondulada potencializa o carregamento de partículas pelo escoamento superficial, que tende a ser mais intenso que em áreas mais planas. Ademais, terrenos muito íngremes promovem um maior gasto energético ligado ao bombeamento de água para o reservatório de distribuição, além de aumentar a complexidade do sistema de distribuição, aumentando os riscos de vazamentos e tornando as manutenções mais complexas.

5.2. DIAGNÓSTICO DO ASSENTAMENTO PEQUENO WILIAM

O Assentamento Pequeno William é uma comunidade rural que pertence ao Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST). A comunidade está localizada na região administrativa de Planaltina-DF, na unidade hidrográfica Alto Rio São Bartolomeu, na bacia do Rio São Bartolomeu. A Figura 5.31 apresenta a localização da comunidade.

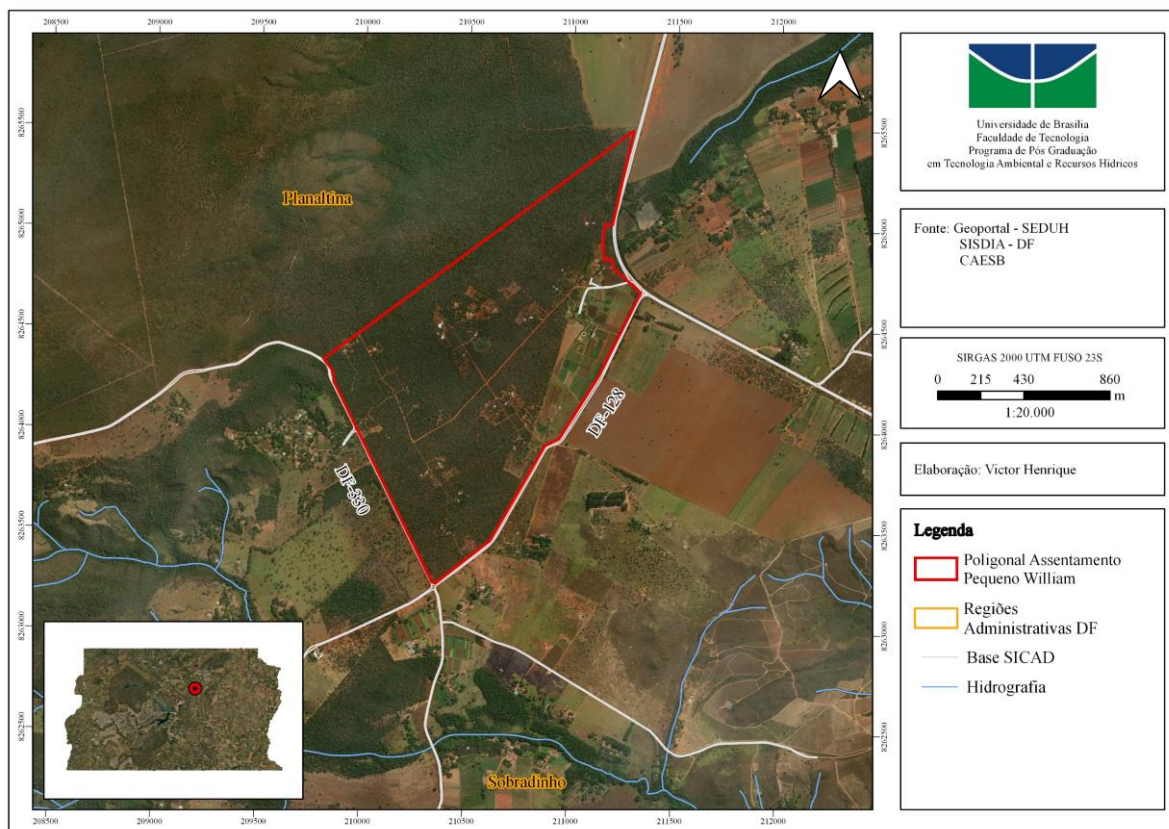


Figura 5.31 - Localização do Assentamento Pequeno William.

A produção por meio de agroflorestas, praticada pelos membros da comunidade, busca conciliar o plantio como fonte de sustento assim como preservar o cerrado. A Figura 5.32 apresenta exemplos de produção agroecológica desenvolvida na comunidade.



Figura 5.32 - Produção agroecológica no Assentamento Pequeno William.

As parcelas no assentamento são cercadas e vizinhas uma à outra, com construções que variam de acordo com a opção de cada morador, sendo encontradas casas de alvenaria, madeira e até construções ecológicas como taipa de mão. Exemplos de construções em domicílios da comunidade estão apresentadas na Figura 5.33.



Figura 5.33 - Exemplos de domicílios no Assentamento Pequeno William.

A comunidade possui uma via principal que conecta com outras vias perpendiculares a esta, as quais dão acesso as parcelas. Os arruamentos existentes na comunidade são vicinais razoavelmente planas, nas quais é realizada ocasionalmente a terraplanagem por meio de máquinas motoniveladoras. A Figura 5.34 apresenta exemplos de estradas no interior da comunidade.



Figura 5.34 - Estradas no Assentamento Pequeno William.

O abastecimento de água no assentamento ocorre por meio de sistemas individuais, em sua maioria por poços superficiais, também conhecidos como poço simples ou caipira, escavados manualmente para captação de água subterrânea a baixa profundidades. Algumas parcelas possuem poços profundos, perfurados por meio de perfuratriz. A Figura 5.35 apresenta exemplos de poços encontrados na comunidade.

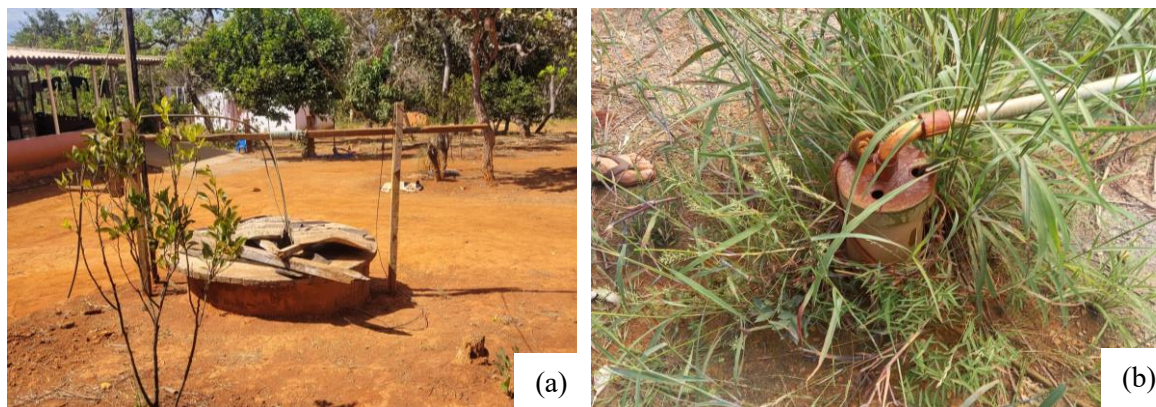


Figura 5.35 - Poços superficial (a) e profundo (b) no interior do Assentamento Pequeno William.

A reservação de água é responsabilidade de cada proprietário, já que a captação é individual, sendo assim, a distribuição e capacidade de armazenamento dos reservatórios varia de acordo com a demanda e a capacidade financeira de cada família.

O estudo abrangeu a participação de 6 domicílios da comunidade, representados pelos moradores que expressaram desejo na participação da pesquisa. A localização das parcelas e suas respectivas fontes de abastecimento estão esboçados na Figura 5.36.

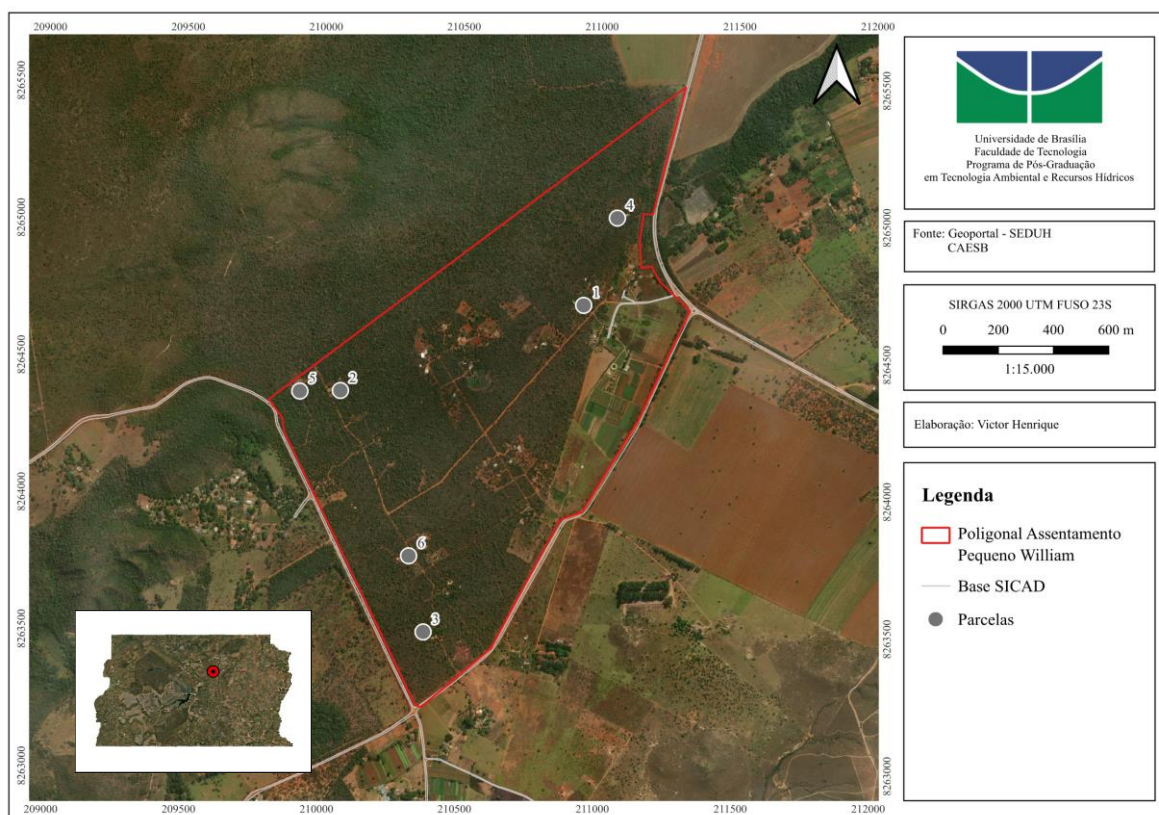


Figura 5.36 - Parcelas participantes do estudo no Assentamento Pequeno William.

As fontes de água utilizadas nos domicílios foram descritas por cada um dos moradores entrevistado e são resumidas na Tabela 5.3 junto com a destinação das águas residuárias por cada domicílio.

A maior parte dos domicílios dispõe de uma fossa séptica biodigestora econômica para tratamento das águas residuárias. Esses sistemas foram instalados na comunidade em 2014 no âmbito de um projeto apoiado pela Fundação Banco do Brasil. Apenas no domicílio número 5 foi encontrada uma fossa rudimentar, escavada pelo próprio morador após mudar de parcela e deixar a estrutura instalada pelo projeto na parcela ocupada anteriormente. No domicílio 6 o esgoto é tratado em uma fossa séptica que, segundo o morador, foi construída por ele próprio, provavelmente sem seguir requisitos técnicos. Todos os domicílios possuem reservatórios de água, com capacidades totais de reservação apresentadas na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Descrição das fontes de água, usos da água, capacidade de reservação e destinação das águas residuárias nos domicílios estudados.

Domicílio	Fonte de água	Descrição	Usos	Capacidade de reservação	Destinação das águas residuárias
1	Poço superficial	Poço superficial com 25 metros de profundidade.	Consumo humano, higiene pessoal e psicultura.	5.000 L	Fossa séptica biodigestora econômica.
	Captação superficial	Captação superficial por bombeamento em nascente a cerca de 1,3km.	Limpeza, irrigação e psicultura.		
2	Poço superficial	Poço superficial com 27 metros de profundidade	Consumo humano, higiene pessoal, cocção, limpeza, irrigação e lazer.	5.500 L	Fossa séptica biodigestora econômica
	Coleta de água	Durante o período de estiagem coleta água do domicílio P5.	Consumo humano, higiene pessoal, cocção, limpeza, irrigação e lazer.		
	Captação pluvial	Captação pluvial simples, pouco usada.	Irrigação.	1.000 L	
3	Poço superficial	Poço superficial com 17 metros de profundidade.	Consumo humano, higiene pessoal, cocção, limpeza, irrigação.	6.000 L	Fossa séptica biodigestora econômica.

Tabela 5.3 - Descrição das fontes de água, usos da água, capacidade de reservação e destinação das águas residuárias nos domicílios estudados (Continuação).

Domicílio	Fonte de água	Descrição	Usos	Capacidade de reservação	Destinação das águas residuárias
4	Poço profundo	Poço profundo com 205 metros de profundidade. Tubulação de ferro.	Higiene pessoal, limpeza, irrigação, dessedentação animal.	1.000 L	Fossa séptica biodigestora econômica.
	Captação pluvial	Captação pluvial simples. Abastece reservatório de 18.000L.	Irrigação.	18.000 L	
	Coleta de água	Um dos parentes traz água de sua residência para consumo no domicílio.	Consumo humano e cocção.	20 L/dia	
5	Poço superficial	Poço superficial com 25 metros de profundidade.	Consumo humano, higiene pessoal, cocção, limpeza, irrigação, psicultura e lazer.	1.000 L	Fossa rudimentar.
6	Poço superficial	Poço superficial com 18 metros de profundidade.	Consumo humano, higiene pessoal, cocção, limpeza, irrigação, dessedentação animal e psicultura.	6.000 L	Fossa séptica.

5.2.1. Entrevistas Semiestruturadas e Observações

Nas entrevistas semiestruturadas participou pelo menos 1 morador, representando cada domicílio. Todos os entrevistados residem no Assentamento por períodos que variam entre 11 e 15 anos. Quanto à atividade laboral, a grande maioria dos entrevistados relatou desenvolver suas atividades somente no Assentamento, com agricultura orgânica e artesanato. Somente o morador do domicílio 2 relatou realizar atividade laboral externa ao Assentamento. O número de moradores por domicílio e renda média domiciliar em salários-mínimos podem ser visualizadas na Figura 5.37.

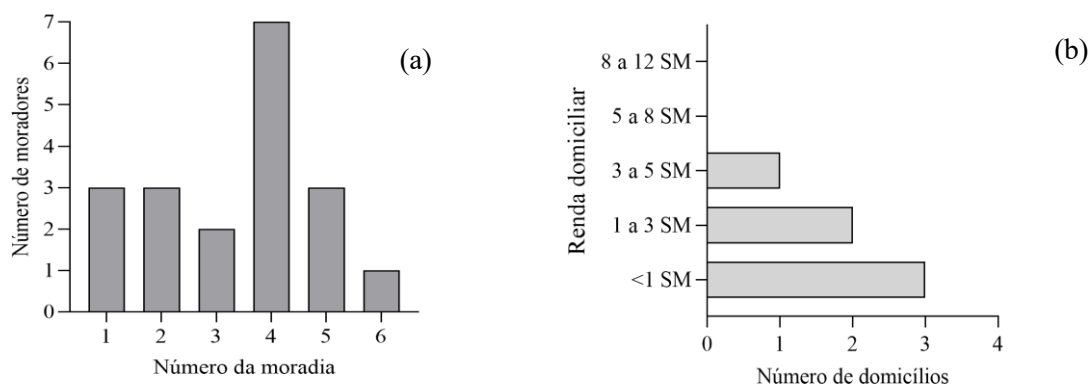


Figura 5.37 - Número de moradores (a) e renda média (b) em cada domicílio no Assentamento Pequeno William.

A rotina dos moradores do Assentamento Pequeno William por domicílio está relacionada às atividades resumidas na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Principais atividades rotineiras dos moradores dos domicílios participantes da pesquisa no Assentamento Pequeno William.

Domicílio	Atividades
1	Manejo e irrigação da plantação, manutenções variadas, trabalho na roça, preparo de alimentos e descanso.
2	Manejo e irrigação da plantação, trabalho na cidade, preparo de alimentos, trabalhos manuais e descanso.
3	Criação de animais, irrigação e manejo da plantação, manutenções variadas, trabalho na roça, preparo de alimentos, pesquisas no computador e estudo.
4	Criação de animais, irrigação e manejo da plantação, trabalhos manuais com artesanato, trabalho na cidade e descanso.
5	Manejo e irrigação da plantação, manutenções variadas, trabalho na roça, preparo de alimentos e descanso, visita à familiares na cidade.
6	Criação de animais, irrigação e manejo da plantação, manutenções variadas, trabalho na roça, preparo de alimentos.

O registro das atividades rotineiras teve como objetivo avaliar a presença dos moradores no domicílio e sua disponibilidade de tempo para atividades de operação e manutenção de possíveis soluções de abastecimento de água domiciliares. As respostas dos moradores evidenciaram que a maior parte possui sua rotina vivida inteiramente no interior da comunidade, predominantemente ocupada por atividades do campo.

Quanto à destinação dos resíduos sólidos, todos os entrevistados relataram ter como prática acumular os resíduos e descartá-los em uma caçamba na entrada da comunidade para coleta

pelo Serviço de Limpeza Urbana (SLU) do DF uma vez por semana, além de realizarem eventualmente a queima de folhas e podas.

Nos domicílios 1, 2 e 3 os entrevistados relataram sofrer com problemas de quantidade de água durante a estiagem, sendo necessária uma redução no volume de água utilizado para irrigação nos domicílios 1 e 3, o que acaba comprometendo os plantios. No domicílio 2 falta água para todos os usos por aproximadamente 4 meses ao ano. Durante esse período o domicílio 2 utiliza água do domicílio 5, localizado próximo a este.

No tocante à acessibilidade à água, foram identificadas precariedades somente no domicílio 4. o entrevistado relatou que no domicílio existe apenas 1 ponto de acesso à água, sendo necessário coletar a água em baldes e destiná-la praticamente para todos os usos, inclusive descarga do vaso sanitário e banho. Além disso, os moradores trazem diariamente 2 galões de 10 litros de água da casa de um parente para poder atender às necessidades de consumo e preparação dos alimentos.

Somente no domicílio 4 a água utilizada atualmente não foi considerada pelo entrevistado como tendo qualidade para consumo. O entrevistado relatou que não considera a água de qualidade devido ao seu baixo nível de transparência, cheiro e sabor de ferrugem, além de manchar as roupas e formar uma camada de gordura na superfície do reservatório quando armazenada.

Algumas justificativas dos moradores sobre a qualidade da água que consomem e as características que consideram relevantes para que a água tenha qualidade encontram-se na Tabela 5.5 e na Figura 5.38, respectivamente.

Tabela 5.5 - Comentários sobre qualidade da água dos domicílios coletados nas entrevistas no Assentamento Pequeno William.

Nº	Justificativa
1	Considero a água de qualidade porque não tem bactérias, é cristalina.
2	A água é transparente, gosto normal, sem cheiro, lembra água mineral.
3	A água tem boa transparência, sem gosto, sem cheiro.
4	Essa água é muito boa, bem cristalina e nunca falta.

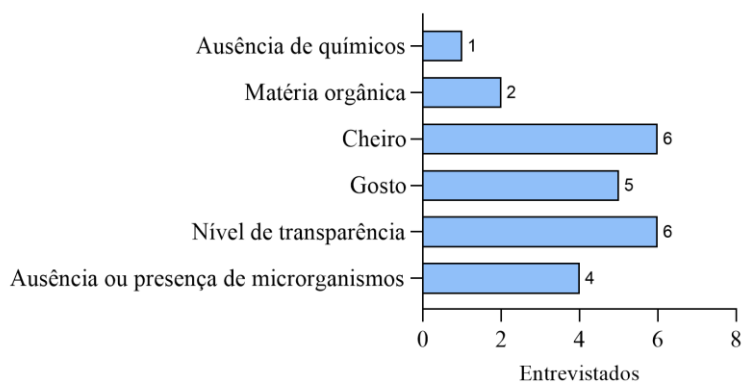


Figura 5.38 - Características relevantes da água de boa qualidade segundo a percepção dos entrevistados do Assentamento Pequeno William.

Na Tabela 5.5 e na Figura 5.38 é possível verificar que a maior preocupação dos moradores entrevistados, em relação à qualidade da água, é com os parâmetros denominados organolépticos, principalmente ligados à estética da água, relacionada a seu nível de transparência, em conjunto com seu gosto e cheiro.

Apenas os domicílios 2 e 3 relataram já ter realizado algum tipo de limpeza nos reservatórios de água, enquanto o domicílio 3 possui um sistema de tratamento da água por filtração empregando um filtro de disco. Além disso, o domicílio 3 foi o único a relatar já ter realizado algum tipo de manutenção ou limpeza na fossa séptica biodigestora. Por fim, todos os entrevistados afirmaram que estariam abertos a instalar em seus domicílios um sistema de tratamento de água para consumo se necessário.

Quanto ao acesso à energia elétrica, a comunidade é atendida pela empresa concessionária local, porém, assim como na Ecovila Terra Sublime, os entrevistados relataram frequentes episódios de falhas no serviço, com duração da interrupção por até 5 dias.

As entrevistas permitiram compreender a realidade socioeconômica, cultural, demográfica e de acesso à água dos domicílios estudados. Foi possível registrar a baixa renda da maior parte dos domicílios, bem como a rotina dos moradores, principalmente relacionada a atividades do campo e permanência no próprio domicílio. Além disso, o acesso à água se mostrou marcado por problemas na disponibilidade durante a época de estiagem e considerável satisfação da maior parte dos moradores quanto à qualidade e acessibilidade da sua água de consumo, com exceção do domicílio P4.

As informações reunidas por meio das entrevistas no Assentamento Pequeno William e das observações realizadas nas saídas de campo foi essencial para, em conjunto com os dados

do monitoramento da qualidade da água e os produtos da caracterização ambiental auxiliarem no processo participativo de seleção das soluções de abastecimento de água para os domicílios estudados.

5.2.2. Monitoramento da qualidade da água das fontes de abastecimento

Os valores de turbidez da água nos pontos monitorados são apresentados na Figura 5.39. NO tocante ao poço P4, este apresentou valores em ordens consideravelmente superiores aos dos outros pontos, por isso os gráficos foram confeccionados em escala logarítmica, de forma a possibilitar a melhor visualização dos valores inferiores a 10 uT.

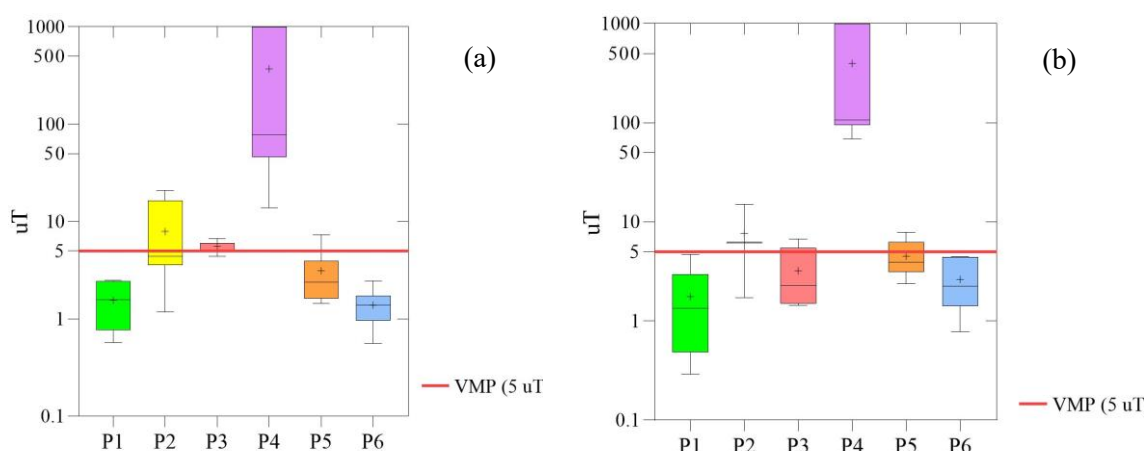


Figura 5.39 - Turbidez da água nas fontes de abastecimento dos domicílios do Assentamento no período de estiagem (a) e de chuva (b).

Os valores de turbidez indicaram que apenas as águas dos poços dos domicílios 1 e 6 apresentaram 95% dos valores abaixo do VMP de 5 uT estipulado pela Portaria n°888/21, tanto no período de estiagem quanto no chuvoso. Foi verificado também que apenas a água do poço P4 apresentou todos os valores de turbidez superiores ao valor do VMP nas duas épocas do ano.

No período chuvoso registrou-se uma elevação dos valores de turbidez em praticamente todos os pontos monitorados, o que pode estar relacionado à infiltração de água nos poços superficiais procedente do escoamento superficial ou subsuperficial. Nessa situação, pode ocorrer o carreamento de partículas de solo para o interior dos poços, o que pode ser agravado pela ausência de revestimento adequado em seu interior.

Outro parâmetro analisado foi a cor aparente, cujos valores seguiram uma tendência próxima à observada na turbidez, o que se justifica pela influência que a turbidez tem nesta característica da água. Os gráficos referentes aos valores deste parâmetro nos períodos de

seca e chuva estão ilustrados na Figura 5.40. Assim como os gráficos de turbidez, os gráficos de cor aparente também foram confeccionados em escala logarítmica para melhor visualização dos resultados

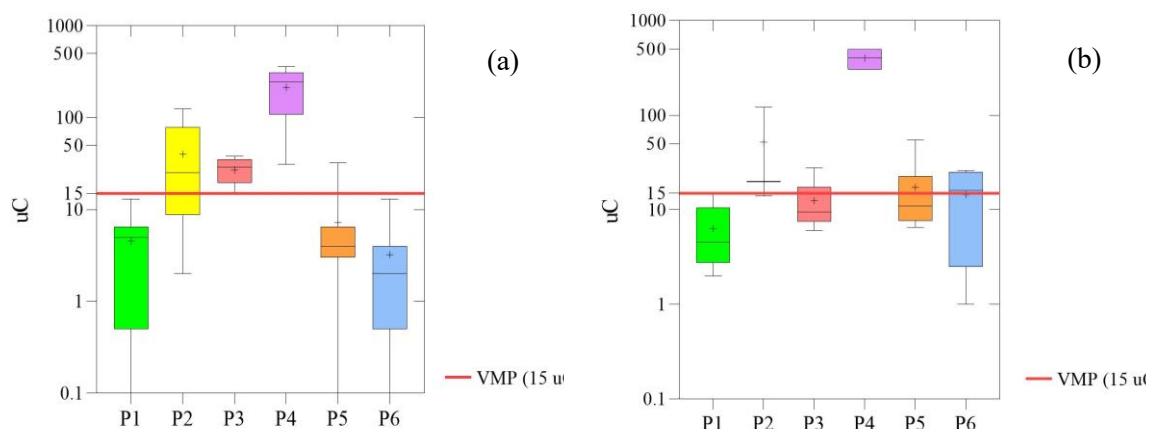


Figura 5.40- Cor aparente da água nas fontes de água dos domicílios do Assentamento Pequeno William nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b).

No período de estiagem, assim como para o parâmetro de turbidez, apenas a água dos poços P1 e P6 apresentaram 95% dos valores atenderem ao padrão de potabilidade da legislação. No período chuvoso foi verificado um aumento da cor aparente da água de quase todas as fontes, com exceção da água do poço P3, que apresentou menor valor deste parâmetro no período de chuva. Destaca-se que apenas a água do poço P1 esteve em conformidade com o padrão de potabilidade durante todo o ano.

No período de seca, a água dos poços P1, P3 e P5, apresentou níveis pontuais de cor verdadeira, com valores de 6, 17 e 1 uC, respectivamente, conforme apresentado na Figura 5.41. Apenas a água dos domicílios 2 e 4 exibiram cor verdadeira, em ao menos 25% das análises desse parâmetro, com valores máximos de 35 e 25 uC, respectivamente.

Por outro lado, no período chuvoso houve um aumento da mediana dos valores de cor verdadeira na água de todos os poços monitorados. Esses resultados demonstram que a presença de cor verdadeira na água pode ter relação com o carregamento de matéria orgânica natural para o interior dos poços superficiais pelos escoamentos superficiais e subsuperficiais, o que é amplificado pela vulnerabilidade de estruturas como revestimento da borda do poço e da tampa de proteção (Daniel *et al.* 2001).

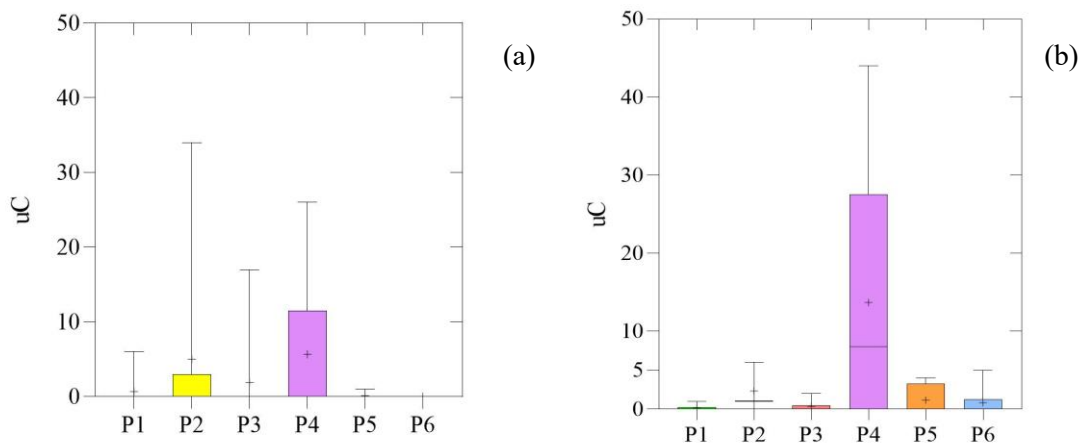


Figura 5.41- Cor verdadeira da água das fontes de abastecimento do Assentamento Pequeno William nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b).

No poço P4 (poço profundo), tanto no período de estiagem quanto de chuva os valores de turbidez, cor aparente e cor verdadeira da água foram consideravelmente maiores que nas demais fontes monitoradas. O menor valor observado de turbidez foi de 38 uT na seca e por 5 vezes (2 no período chuvoso e 3 no seco), foi registrado o valor desse parâmetro superior ao limite de detecção do turbidímetro, de 1000 uT. Observou-se uma tendência similar no comportamento da cor aparente, com valores acima do limite de detecção do instrumento, de 500 uC. Já a elevação da cor verdadeira, possivelmente foi causada pela presença de partículas coloidais, que não foram retidas pelo filtro de 0,45 μm durante a preparação das amostras para determinação desse parâmetro físico.

O comportamento atípico das características da água em conjunto com os relatos dos moradores motivou a realização de análises de ferro total em amostras coletadas no poço P4. O ferro total integra o padrão organoléptico de potabilidade da Portaria nº888/21, com valor máximo permitido de 0,3 mg/L na água destinada ao consumo humano. Na Tabela 5.6 são mostrados os resultados das análises pontuais de ferro total na água do poço P4.

Tabela 5.6 - Níveis de ferro total na água do poço P4.

Data da análise	Resultado (mg/L)
08/08/24	4,40
22/08/24	6,14
30/11/24	5,75

Constata-se que nas amostras de água analisadas o teor de ferro total foi consideravelmente superior ao valor máximo permitido na água potável.

Segundo relatos dos moradores deste domicílio o poço tem profundidade superior a 200 metros, com tubulação de ferro fundido, o que segundo estudos como o de Menezes (1992), Picanço *et al.* (2002) e Hu *et al.* (2017), pode liberar ferro resultando em altas concentrações desse metal na água devido a corrosão do material metálico por ferro-bactérias. Outra causa provável dos elevados teores de ferro na água apontada por esses autores está relacionada com as características geológicas da região.

O ferro liberado na água pelo processo de corrosão da tubulação ou pelo intemperismo de materiais rochosos provavelmente encontra-se na forma do íon ferroso (Fe^{2+}) solúvel, liberado pela oxidação anódica do ferro metálico (Fe^0), sob condições de baixa disponibilidade de oxigênio no interior do poço. Em contato com o oxigênio, o ferro ferroso (Fe^{2+}) é oxidado a forma de íon férrico (Fe^{3+}), que precipita nas formas de óxidos ou hidróxidos de ferro, os quais, por sua vez, conferem turbidez à água e uma cor marrom-avermelhada (Hem, 1985; Hu *et al.*, 2017). Na Figura 5.42 é ilustrado o aspecto visual da água do poço P4.



Figura 5.42- Aspecto visual da água coletada no poço P4.

Segundo Hem (1985), o teor de Fe^{2+} solúvel em água tende a aumentar em águas moderadamente ácidas. Como pode ser observado na Figura 5.43, a água oriunda de todas as fontes de abastecimento monitoradas na comunidade apresentou valores de pH baixos, variando na faixa entre 3 e 6. Hu *et al.* (2017) apresenta que baixos níveis de pH na água favorecem o desenvolvimento das ferro-bactérias, o que reforça a possibilidade da presença de ferro na água ser causada pela corrosão da tubulação metálica por essas bactérias.

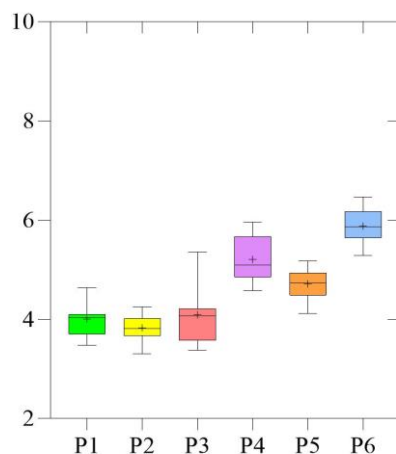


Figura 5.43 - pH da água nas fontes de abastecimento do Assentamento Pequeno William em todo o período de monitoramento.

Assim como o pH, a condutividade elétrica é uma medida usual de qualidade das águas subterrâneas, porém não tem limite estabelecido na Portaria nº888/21, a qual estabelece os sólidos totais dissolvidos (STD) como padrão organoléptico, na faixa de 500 mg/L. A condutividade elétrica também pode ser um parâmetro indicador de poluição de corpos hídricos superficiais ou subterrâneos por sólidos inorgânicos dissolvidos, o que pode ser decorrente de contaminação por esgotos (Von Sperling, 1996). Os níveis de condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos estão expostos nas Figura 5.44 e Figura 5.45.

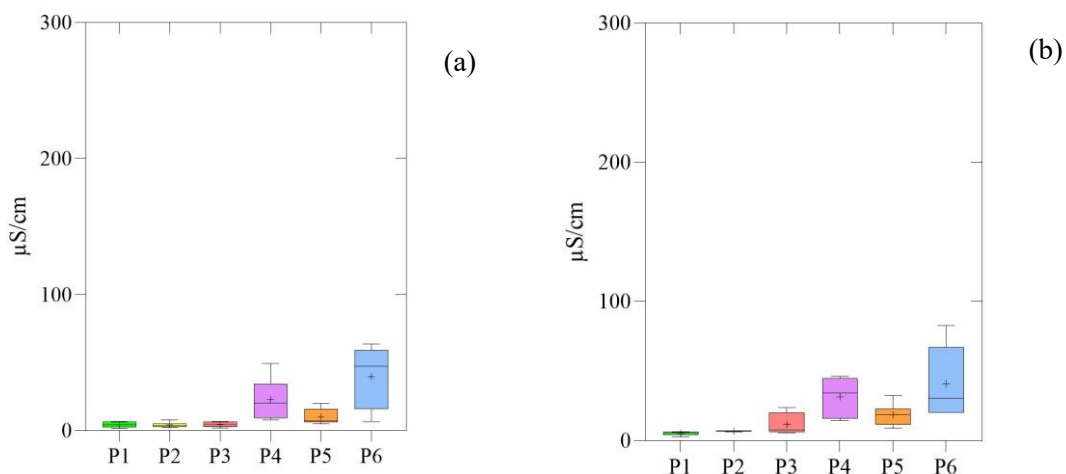


Figura 5.44 - Condutividade elétrica da água nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b) nas fontes de abastecimento monitoradas no Assentamento Pequeno William.

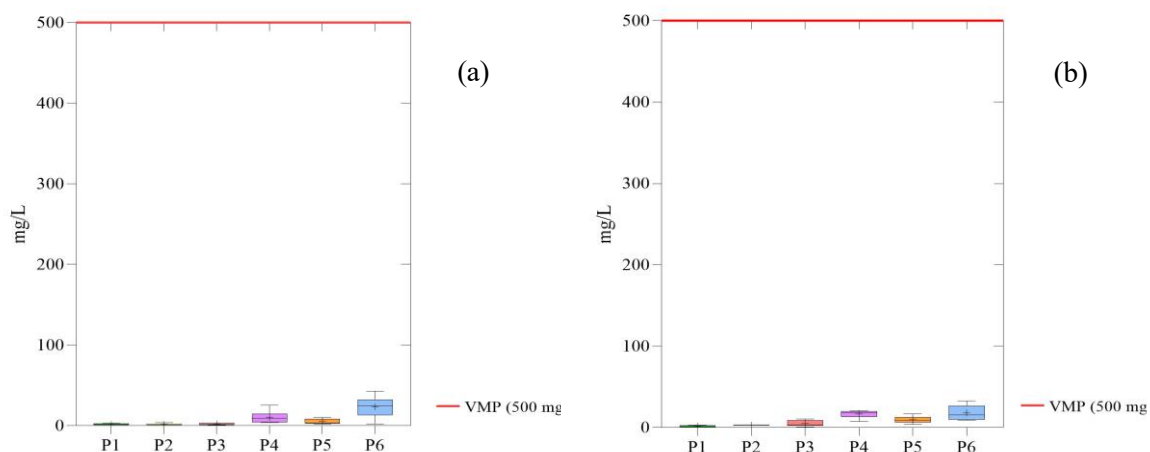


Figura 5.45 - Sólidos totais dissolvidos na água das fontes monitoradas no Assentamento nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b).

A faixa de valores de condutividade elétrica foram similares nos períodos de estiagem e chuva, com valores abaixo de $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ para os poços P1, P2, P3, P4 e P5, o que indica a ausência de contaminação das fontes de água por esgoto.

Em estudos como o de Gonçalves *et al.* (2018), foram detectados níveis de condutividade elétrica e STD consideravelmente elevados em comparação aos níveis encontrados nas fontes de água do Assentamento Pequeno William, associados ao elevado teor de sais dissolvidos na água da região, que foi classificada como a água salobra. No presente estudo, os valores de condutividade elétrica da água nas fontes monitoradas permitem classificar a água como doce, o que foi corroborado pela ausência de salinidade em todas as amostras analisadas.

Na água de alguns poços, os valores de STD, se elevaram levemente no período chuvoso, provavelmente como consequência do aumento do escoamento superficial e subsuperficial carreando espécies de eletrólitos presentes no solo e na vegetação. Contudo, os teores de STD se mantiveram abaixo do limite de $500\text{mg}/\text{L}$, estabelecido na Portaria nº888/21 para água destinada a consumo humano.

Por fim, as análises microbiológicas apontaram para a presença de coliformes totais na água de todos os poços, com valores entre 10^2 e 10^3 nos poços P2, P3, P5, P6, e até 10^5 no poço P1, os que são os poços superficiais, e na faixa de 10 na época de estiagem e 10^2 na época de chuva no poço profundo. Quanto à *E.coli*, os resultados apontaram para a presença em quase todas as fontes na estiagem, com exceção do poço P3, e, no período chuvoso, apenas no poço profundo P4 não foi detectada presença de *E.coli*. As Figura 5.46 e Figura 5.47

ilustram os resultados de densidade de coliformes totais e *Escherichia coli* na água das fontes monitoradas, respectivamente.

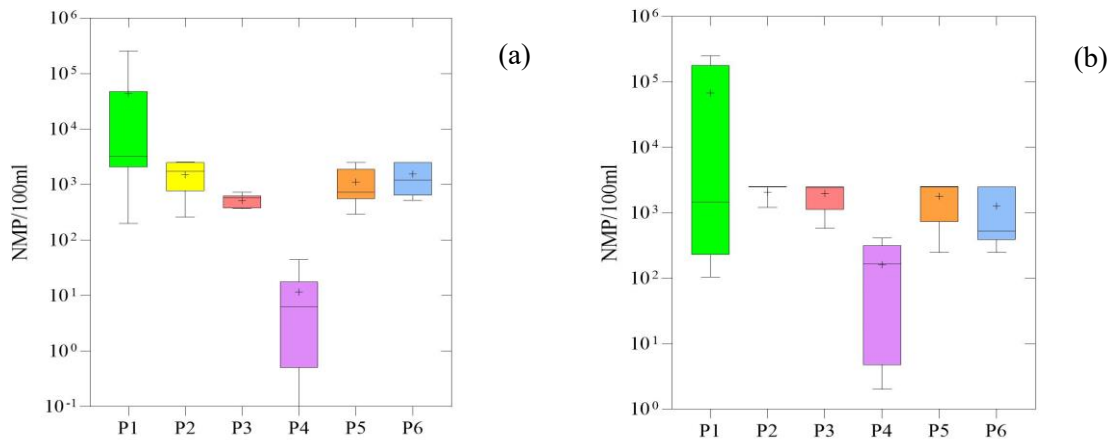


Figura 5.46 - Densidade de coliformes totais nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b) nas fontes de água do Assentamento Pequeno William.

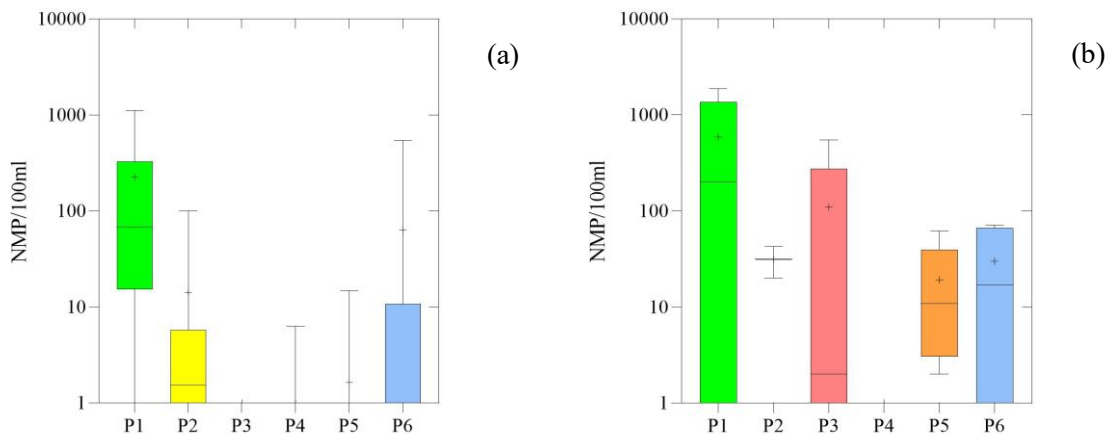


Figura 5.47- Densidade de *Escherichia coli* nos períodos de estiagem (a) e de chuva (b) na água das fontes do Assentamento Pequeno William.

A presença de coliformes totais em todos os poços provavelmente se deve a presença desses microrganismos no solo, o qual, em captações subterrâneas, tem contato com a água captada, isso pode ser amplificado pela precariedade ou ausência de estruturas de proteção. Esse fato pode ser comprovado pela ocorrência, mesmo que em densidades menores, de coliformes totais, inclusive no poço profundo P4.

Segundo Daniel *et al.* (2001), os aquíferos não confinados são mais susceptíveis a contaminações, quando comparados aos confinados. Dessa forma, a captação por poços superficiais, favorece a contaminação fecal e potenciais vias de transmissão de doenças de veiculação hídrica. Essa constatação é confirmada pelos resultados apresentados no estudo de Vignoli Filho (1988), que observou contaminação fecal em 81,3% dos poços rasos e 18 a 39,1% dos poços profundos monitorados. No presente estudo, as análises indicaram a

presença de *E. coli* nos poços superficiais, o que se deve, geralmente, à menor proteção desses poços.

Ainda foi verificado que em todos os domicílios, as fossas, embora construídas respeitando a distância estabelecida pela NBR 13.969/1997 da ABNT, de 15 metros dos poços de captação, são potenciais agentes de contaminação das fontes de água, principalmente das superficiais. Dessa forma, é provável que a detecção de *E. coli* nas fontes de abastecimento seja a contaminação por efluentes do sistema de esgotamento sanitário.

Na época de chuva, quando o escoamento superficial e subsuperficial aumentam tende a aumentar a contaminação das fontes de abastecimento pela elevação da densidade de *E. coli*, o que pode ser constatado a partir da elevação dos valores de densidade, nos poços P2, P3, P5 e P6. Esses resultados mostram que, na estiagem, existe um risco de contrair doenças de veiculação hídrica pelo consumo da água contaminada e esse risco se eleva na época de chuvas.

Vale dar destaque ao comportamento da densidade de *E. coli* no poço P1, o qual apresentou mediana da densidade de *E. coli* próxima nos períodos de estiagem e seca, porém com maior variabilidade dos valores no período chuvoso, e menor mediana de densidade de coliformes totais no período chuvoso. Esse comportamento se deu pelas menores concentrações de coliformes totais e ausência de *E. coli* nas primeiras coletas realizadas, ainda no período de chuva. Porém, a partir do início da estiagem foram registradas altas concentrações destes microrganismos na água desse poço, indicando alto grau de contaminação por fezes, com densidade máxima de $2,5 \cdot 10^5$ NMP/100ml para coliformes totais e próximo a $1,8 \cdot 10^3$ NMP/100ml para *E. coli*.

É importante destacar que no poço profundo P4, foram detectados coliformes totais em densidade inferior a 10^2 NMP/100ml durante todo o período de monitoramento, já quanto à *E. coli*, foi detectada presença em uma das amostras analisadas na época de estiagem e ausência durante o período chuvoso. Esse comportamento confirma que as águas captadas por poços tubulares profundos tendem a ser de melhor qualidade microbiológica em comparação com a água de poços superficiais.

A partir das análises realizadas foi possível verificar a não conformidade da água dos poços P2, P3 e P5 com o padrão de potabilidade em relação aos parâmetros de turbidez, cor aparente e *E. coli*, além da não conformidade pela presença de *E. coli* nos poços P1 e P6. Ademais, foi detectado ferro total acima dos valores estabelecidos pela Portaria nº888/21 na

água poço P4. Esses níveis altos de ferro influenciaram nos elevados valores de turbidez e cor aparente superiores ao padrão de potabilidade.

Os resultados do monitoramento da qualidade da água das fontes de abastecimento nos domicílios do assentamento indicaram a necessidade de tratamento com diferentes alvos de remoção da água destinada ao consumo de cada domicílio estudado, com vista a adequação de sua qualidade ao padrão de potabilidade brasileiro e garantia do acesso seguro à saúde.

5.2.3. Caracterização Ambiental

A caracterização ambiental do Assentamento Pequeno William auxiliou no entendimento dos resultados obtidos no monitoramento da qualidade da água e nas entrevistas semiestruturadas.

Inicialmente foi identificada a bacia de localização da poligonal da comunidade, utilizando o *shapefile* de Unidades Hidrográficas do Distrito Federal e a camada de rios e córregos, de autoria da CRH, encontrados no banco de dados Geoportal-DF.

O Assentamento Pequeno William possui sua poligonal em duas bacias hidrográficas, a do Alto Rio São Bartolomeu e a do Médio Rio São Bartolomeu. Essas unidades hidrográficas possuem, respectivamente, áreas de 211,79 e 192,03 km², compreendendo os cursos d'água Rio Pípiripau, Ribeirão Mestre D'Armas, Ribeirão Sobradinho e Ribeirão Papuda como alguns dos principais.

A Figura 5.48 apresenta a localização da poligonal do Assentamento Pequeno William nas unidades hidrográficas. 88% da área ocupada pela comunidade está na bacia do córrego Pindaíba e 12% na bacia do Córrego Verde.

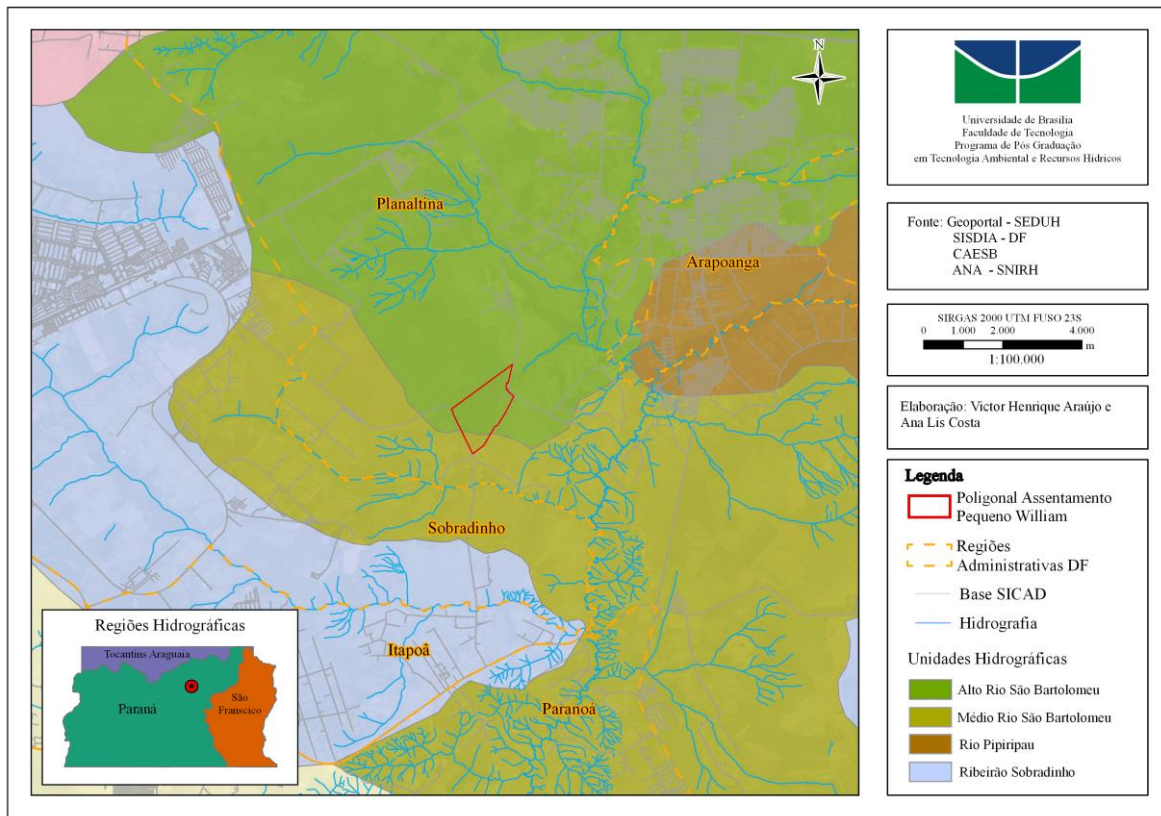


Figura 5.48 - Bacias hidrográficas abrangidas pelo território do Assentamento Pequeno William (DF).

A Figura 5.49 ilustra o uso e cobertura no interior e nas vizinhanças da comunidade. As áreas vizinhas ao noroeste são cobertas por cerrado preservado em sua forma savânica assim como extensas áreas de agricultura ao nordeste, inclusive em áreas no interior da poligonal. Mais ao sul as áreas são cobertas em sua maior parte de cerrado campestre. O interior do assentamento está recoberto por cerrado em forma savânica, com pequenas áreas campestres e construções, o que é coerente com a produção agroecológica desenvolvida pela comunidade, além de uma região de agricultura extensiva tradicional.

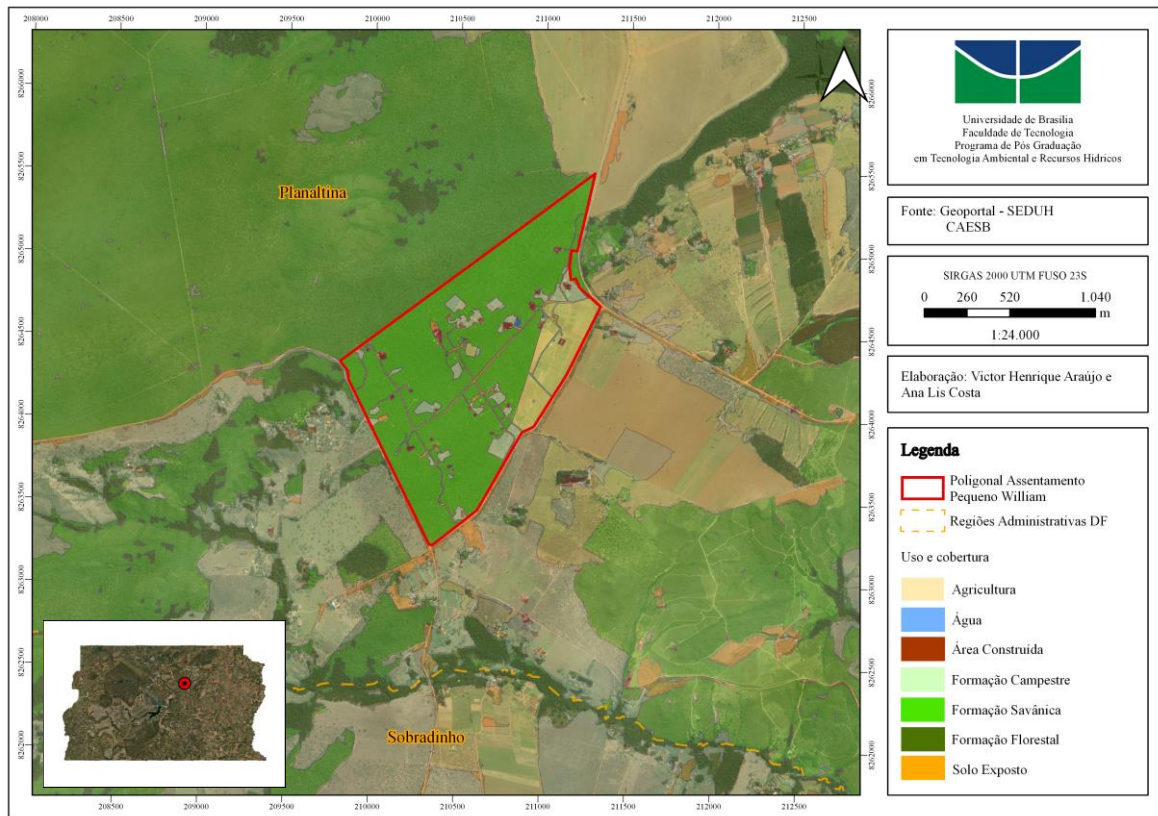


Figura 5.49 - Uso e cobertura do solo no Assentamento Pequeno William e na vizinhança.

Na Figura 5.50 são ilustrados os poços distribuídos espacialmente e os sistemas de esgotamento sanitário em cada domicílio participante da pesquisa. A análise da distância entre os sistemas de fossas e os poços foi realizada considerando o disposto na NBR 7229, norma técnica sobre o projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos, na qual é estabelecida a distância mínima de 15 metros entre sistemas de esgotamento sanitário e poços freáticos com vista a evitar a contaminação das fontes de abastecimento. Foi constatado que em todos os domicílios este critério foi atendido, porém no domicílio 3, apesar de ser atendido esse critério a distância entre o poço e a fossa está no limite estabelecido pela norma técnica, com margem de segurança praticamente inexistente.

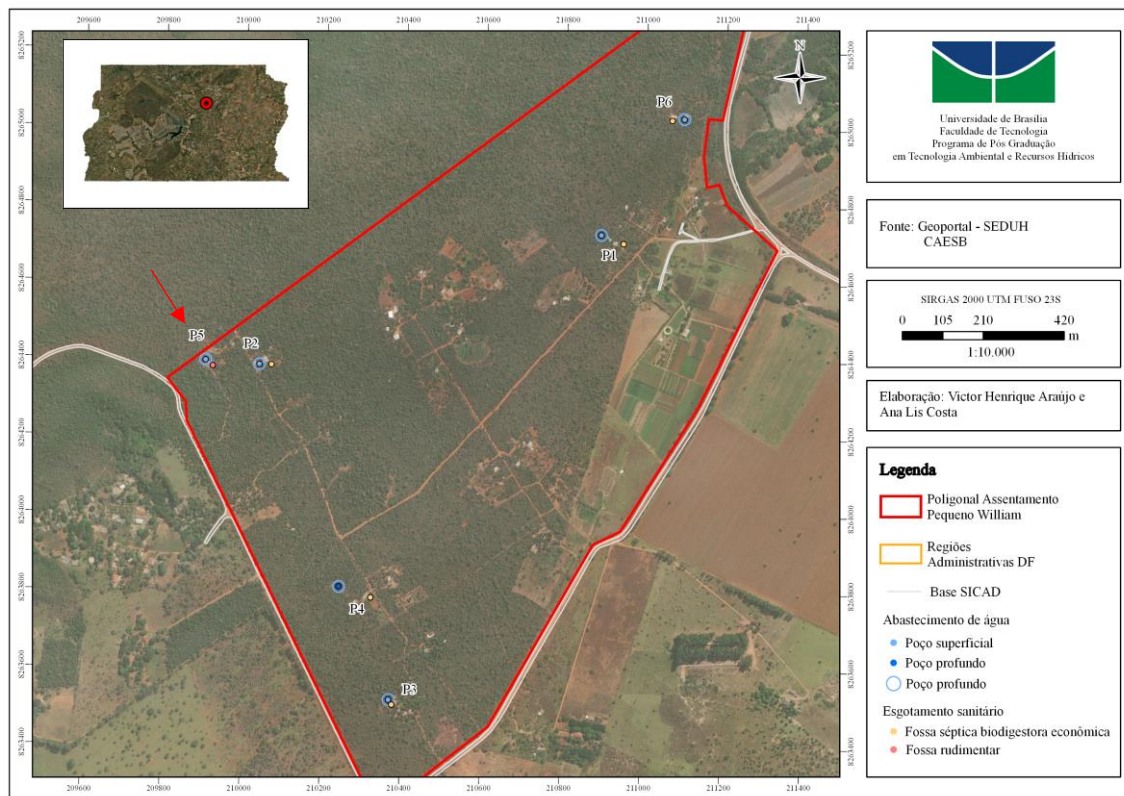


Figura 5.50 - Localização e tipologia dos pontos principais de abastecimento de água e esgotamento sanitário dos domicílios no Assentamento Pequeno William (DF).

A outra análise realizada foi a avaliação do posicionamento dos sistemas de fossas sépticas frente à declividade do terreno. Foi identificado que a fossa rudimentar do domicílio 5 (indicado pela seta vermelha na Figura 5.50) encontra-se no ponto mais elevado do assentamento, o que pode estar contribuindo para a contaminação da água do poço por *E. coli* nesse domicílio e em domicílios vizinhos localizados em cotas inferiores, como o poço P2, o qual apresentou presença desses microrganismos indicadores com 95% dos valores na faixa de 71,4 NMP/100ml.

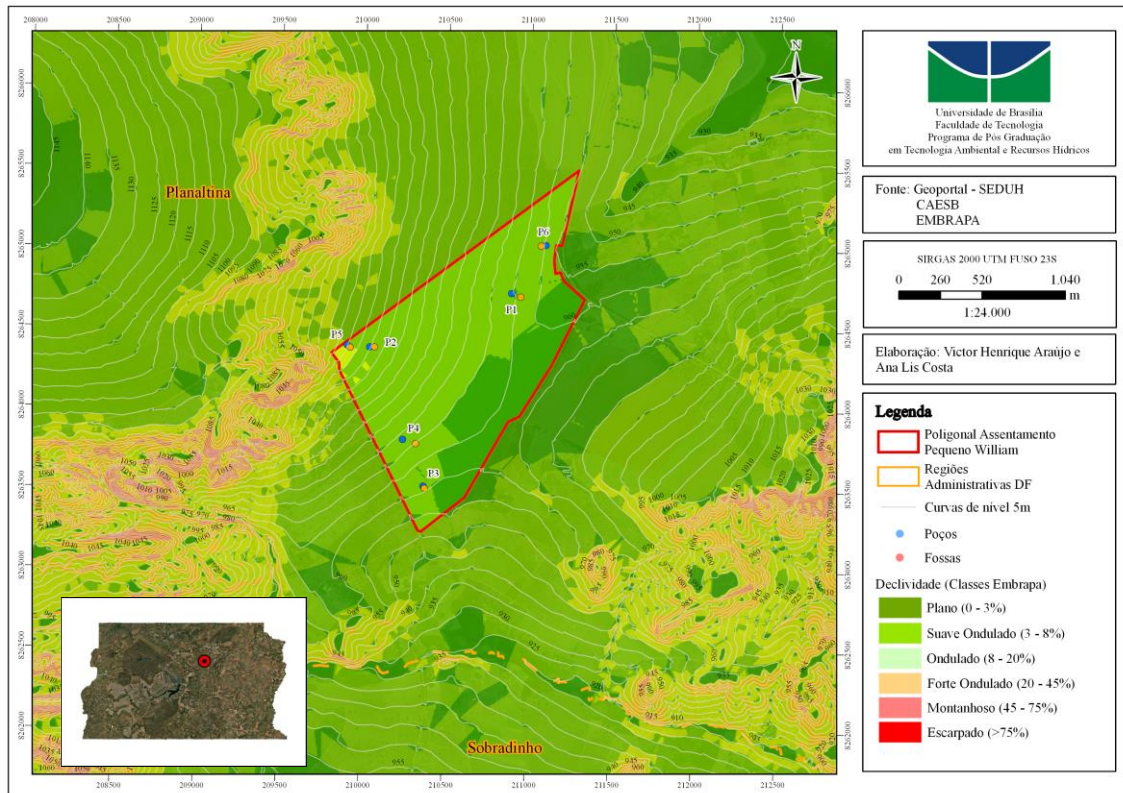


Figura 5.51 - Declividade do terreno e localização dos poços e dos sistemas de tratamento de esgoto.

Os aquíferos do Distrito Federal são classificados em três domínios: intergranular, fraturado e fissuro-cárstico. Os domínios são subdivididos em sistemas, que por sua vez são divididos em subsistemas (Campos *et al.* 2018). As Figura 5.52 e Figura 5.53 apresentam os mapas de pedologia e hidrogeologia, referentes às classificações desses domínios na área de estudo.

O domínio intergranular, representado pelos solos e pelo manto de alteração das rochas, é a faixa cujo aproveitamento é feito por meio de poços rasos, os quais possibilitam volumes captados no máximo de 800 L/h, sendo que a profundidade do nível freático é controlada pela cota do terreno. O interior do terreno da comunidade é caracterizado por Latossolos de diferentes composições, com o Latossolo Vermelho recobrindo a maior parte da área. Este tipo de solo corresponde a sistemas do domínio intergranular que, habitualmente, apresentam espessuras maiores que 20 metros e condutividades hidráulicas da ordem de 10^{-6} metros/segundo (Campos *et al.* 2018).

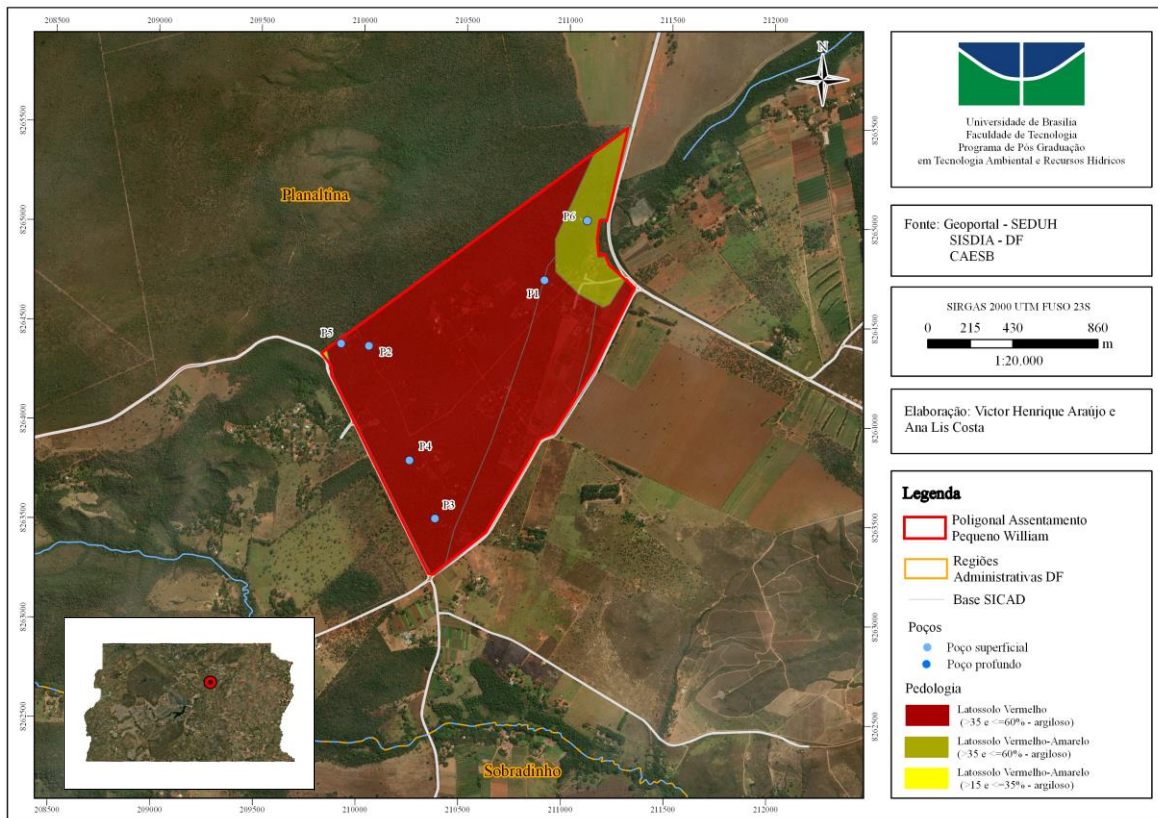


Figura 5.52 - Pedologia na área abrangida pelo Assentamento Pequeno William (DF) e localização dos poços.

Já o domínio fraturado, está composto pelos aquíferos, os quais são rochas nas quais a água ocupa discontinuidades planares, ou seja, fraturas e falhas, e tem seu aproveitamento feito por meio de poços tubulares profundos, os quais normalmente estão limitados a 250 metros. O Assentamento Pequeno William situa-se numa região de transição entre os sistemas Paranoá e Canastra, como apresentado na Figura 5.53. Na porção oeste ocorre o subsistema Metarritmito argiloso, do Paranoá, e na porção leste ocorre o subsistema Filito micáceo, do Canastra. A vazão esperada para poços tubulares profundos no Metarritmito argiloso é de $6,5 \text{ m}^3/\text{h}$ e para poços no Filito micáceo é de $7,5 \text{ m}^3/\text{h}$, no qual está localizado o único poço tubular estudado, P4 (Campos *et al.* 2018).

O subsistema Filito micáceo é composto predominantemente por rochas metassedimentares, como filitos e micaxistos, ricos em minerais como muscovita, biotita e quartzo. Essas rochas são caracterizadas principalmente por altas concentrações de minerais aluminosilicáticos, não ferrosos, o que demonstra a pequena possibilidade de presença de ferro na água do poço P4 pela composição hidrogeológica e confirma a possibilidade de corrosão da tubulação de ferro fundido por ferro-bactérias (Hem, 1985; Campos *et al.* 2018).

Essa descrição toda merece uma conclusão sobre a proteção da vegetação nativa e sobre a disponibilidade hídrica no Assentamento. Lembrando que esta comunidade tem como uma de suas fontes de renda a agroecologia.

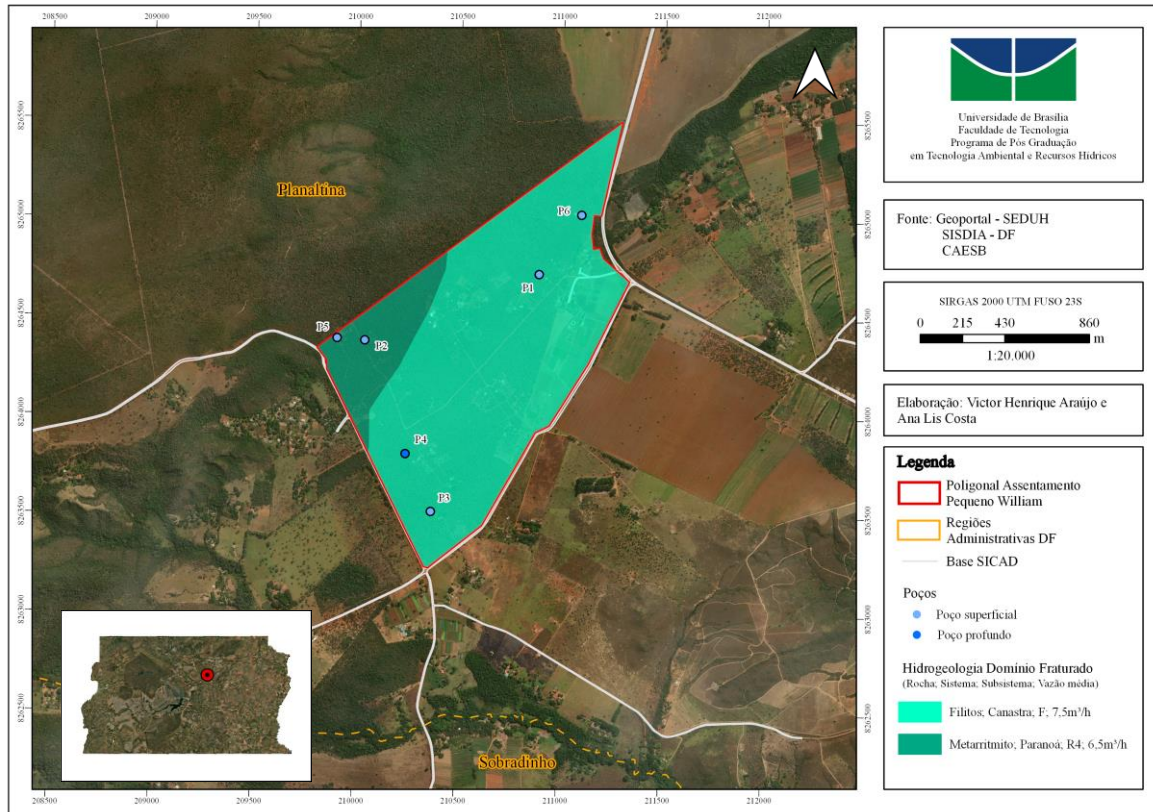


Figura 5.53 - Hidrogeologia na área do Assentamento e localização dos poços.

5.3. AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO

5.3.1. Ecovila Terra Sublime

Para a aplicação da AQRM na Ecovila foram consideradas as concentrações de *E.coli* encontradas na água do córrego, devido a sua maior contribuição na água de consumo da comunidade e monitoramento ao longo de todo o tempo da pesquisa.

Os valores da média geométrica das concentrações de *E.coli* monitoradas, dose de *E.coli* O157:H7 consumida por dia, probabilidade de infecção diária e anual, assim como para probabilidade anual de doença e indicador de anos de vida ajustados por incapacidade ou morte (DALY) para o consumo de água do córrego, encontram-se apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Probabilidades de infecção e carga anual de doença no córrego da Ecovila Terra Sublime.

MG(NMP/L)	d (NMP/dia)	Pinf (d)(%)	Pinf (a) (%)	Pill (%)	DALY
87,00	14,00	0,014	5,28	1,48	$8,0 \cdot 10^{-4}$

Legenda: MG – Média geométrica das concentrações de *E.coli*; d – dose de *E.coli* O157:H7; Pinf (d) – Probabilidade de infecção diária; Pinf (a) – Probabilidade de infecção anual; Pill – Probabilidade de doença; DALY – Anos de vida ajustados por incapacidade ou morte.

A partir dos parâmetros calculados foi possível verificar que a probabilidade de infecção diária obtida esteve acima do valor estabelecido pela EPA de 0,01% (EPA, 2014). Já o indicador DALY foi superior ao estipulado pela OMS de 10^{-4} DALY, apontando para um alto risco de infecção microbiológica por *E. coli* e de desenvolvimento de doenças pelos moradores causados pela ingestão da água do córrego sem tratamento (OMS, 2022).

Os resultados se assemelham aos encontrados por Silva (2024), que também encontrou valores de probabilidade de infecção diária e DALY superiores aos recomendados como seguro pela EPA e OMS, quando avaliou a presença de *E.coli* em mananciais superficiais de comunidades rurais localizadas no Cerrado brasileiro do estado de Goiás, áreas com características ambientais próximas as da Ecovila.

Esses valores de risco indicam uma probabilidade acima do considerado como seguro de desenvolvimento de doenças pelo consumo direto da água do córrego, o que reforça a necessidade de instalação de soluções tecnológicas de tratamento com eficiência na inativação microbiológica, a fim de garantir o acesso à água segura pelos moradores.

5.3.2. Assentamento Pequeno William

A aplicação da ARQM foi realizada a partir das concentrações de *E.coli* nas águas dos poços dos domicílios estudados no Assentamento Pequeno William. Os valores da média geométrica das concentrações de *E.coli* monitoradas, dose de *E.coli* O157:H7 consumida por dia, probabilidade de infecção diária e anual, probabilidade anual de doença e indicador de anos de vida ajustados por incapacidade ou morte (DALY), em todos os domicílios estudados são apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Probabilidades de infecção e carga anual de doença nos domicílios do Assentamento Pequeno William.

D	MG (NMP/L)	d (NMP/dia)	Pinf (d) (%)	Pinf (a) (%)	Pill (%)	DALY
1	420,9	67,34	0,07	22,96	6,43	$3,4 \cdot 10^{-3}$
2	36,5	5,85	0,006	2,24	0,63	$3,3 \cdot 10^{-4}$
3	10,9	1,74	0,001	0,67	0,18	$1,0 \cdot 10^{-4}$
4	6,0	0,95	0,001	0,37	0,10	$5,6 \cdot 10^{-5}$
5	13,1	2,10	0,002	0,80	0,23	$1,2 \cdot 10^{-4}$
6	30,5	4,87	0,005	1,87	0,52	$2,0 \cdot 10^{-4}$

Legenda: D – Domicílio; MG – Média geométrica das concentrações de *E.coli*; d – dose de *E.coli* O157:H7; Pinf (d) – Probabilidade de infecção diária; Pinf (a) – Probabilidade de infecção anual; Pill – Probabilidade de doença; DALY – Anos de vida ajustados por incapacidade ou morte.

A avaliação indicou maior risco microbiológico na água do poço P1, considerando nível de probabilidade de infecção anual acima de 0,01%, recomendado pela EPA para consumo de água e DALY mais de 30 vezes acima do valor de 10^{-4} DALY pppa, como recomendado pela OMS.

Isso decorre em uma maior exposição dos moradores do domicílio 1 a riscos à saúde pela ingestão de água do poço sem tratamento, fato que é agravado pela idade avançada de um dos moradores do domicílio e gera a necessidade de intervenções tecnológicas de tratamento de forma mais urgente para a garantia de acesso à água segura,

Nos domicílios 2, 5 e 6 o indicador DALY assumiu valores próximos, porém superiores ao recomendado pela OMS, o que demonstra a existência de risco a saúde pelo consumo de água sem tratamento nesses domicílios e a necessidade de instalação de soluções de inativação microbiológica nesses domicílios.

Quanto à água dos poços P3 e P4, a AQRM indicou um valor de DALY igual ao recomendado pela OMS para o domicílio 3 e valor inferior no domicílio P4. Este resultado encontrado no domicílio 3 indica que apesar da proximidade da fossa séptica biodigestora em relação ao poço P3, a realização de limpeza nesse sistema e as estruturas de proteção do poço auxiliam na proteção da água em relação às contaminações microbiológicas na maior parte do ano.

Já os valores dentro dos limites recomendados de probabilidade de infecção e carga de doenças na água do poço P4 condizem com a tendência de maior proteção de captações em aquíferos confinados de contaminações fecais em detrimento a captações superficiais em aquíferos freáticos ou não confinados, apresentada por Daniel *et al.* (2001).

Os resultados encontrados pela aplicação da AQRM no Assentamento Pequeno William reforçaram a necessidade de soluções de tratamento de água com enfoque na inativação de patógenos na água destinada ao consumo, com maior urgência no domicílio 1, seguido dos domicílios 2, 5 e 6, e por fim dos domicílios 3 e 4, em direção à segurança microbiológica da água de consumo, buscando atender ao padrão de potabilidade estabelecido na Portaria nº 888/21, e da saúde dos consumidores.

5.4. DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

A definição dos critérios de caracterização das tecnologias de tratamento de água da matriz tecnológica do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) partiu da necessidade de estruturar uma avaliação integrada dos aspectos técnicos, operacionais, ambientais e socioculturais como auxílio para a seleção dessas tecnologias para cada ruralidade. Considera-se que em contextos rurais, a seleção de uma tecnologia não pode ser determinada exclusivamente por seu desempenho técnico, mas sim por sua compatibilidade com as condições locais e características das comunidades atendidas. Assim, os critérios propostos neste trabalho buscam traduzir esses diferentes aspectos em elementos objetivos, comparáveis e aplicáveis ao processo de tomada de decisão participativa.

Nesse sentido a Tabela 5.9 apresenta os critérios definidos para a caracterização das tecnologias, organizados nos grupos de critérios técnicos, de sustentabilidade, ambiental e cultural. A Tabela inclui a definição de cada critério, bem como os níveis de classificação correspondentes.

Tabela 5.9 - Critérios e classes utilizados para caracterização das tecnologias da matriz tecnológica do PNSR.

	Critério	Definição	Níveis	
Técnico	Qualidade da Água Bruta	Valores máximos dos parâmetros de qualidade da água bruta compatíveis com a tecnologia de tratamento.		-
	Eficiência da tecnologia	Valores médios ou faixas de valores de eficiências de remoção da tecnologia de tratamento.		-
	Taxa de produção	Valor médio ou faixa de valores da taxa de água produzida (tratada) por dia pela tecnologia.		-
	Objetivo	Principal objetivo da tecnologia, relacionado aos principais alvos de remoção do tratamento.		-
Sustentabilidade	Complexidade construtiva	Nível de complexidade de implantação, operação e manutenção da tecnologia, definido a partir do grau de capacitação da mão de obra, disponibilidade de materiais e insumos necessários.	Baixa	Não exige mão de obra capacitada, fácil entendimento, materiais e insumos localmente acessíveis.
	Complexidade operacional		Média	Exigência de mão de obra capacitada ou materiais e insumos importados.
	Complexidade de manutenção		Alta	Exigência de mão de obra altamente capacitada, materiais e insumos importados.
	Frequência de intervenção	Frequência associada à necessidade de intervenções manuais na operação da tecnologia.	Baixa	$FI \leq \text{Mensal}$
			Média	$\text{Mensal} < FI \leq \text{Diária}$
			Alta	$\text{Diária} < FI$
	Frequência de manutenção	Frequência associada à necessidade de manutenção da tecnologia ou da aquisição de insumos para sua operação.	Baixa	$FM \leq \text{Anual}$
			Média	$\text{Anual} < FM \leq \text{Mensal}$
			Alta	$\text{Mensal} < FM$

Tabela 5.9 - Critérios e classes utilizados para caracterização das tecnologias da matriz tecnológica do PNSR (Continuação)

	Critério	Definição	Níveis	
Sustentabilidade	Confiabilidade	Confiabilidade da tecnologia, ligada a seu nível de difusão em comunidades rurais, a partir de experiências em campo e fatores como sua eficiência, e dependência de fatores externos para seu sucesso.	Baixa	Tecnologia proposta de forma teórica, com poucos estudos em laboratório ou campo.
			Média	Tecnologia com estudos em laboratório, mas não comprovada em campo e/ou eficiência variável e dependente de fatores externos.
			Alta	Tecnologia muito utilizada em campo, com unidades instaladas, eficiência comprovada e pouca dependência de fatores externos.
	Requerimento energético	Nível de consumo de energia elétrica para o funcionamento da tecnologia.	Baixo	Operação e manutenção realizadas sem necessidade de energia elétrica.
			Médio	Operação realizada sem necessidade de energia elétrica de forma contínua, porém com necessidades pontuais de utilização de energia para operação ou manutenção.
			Alto	Operação somente com consumo contínuo de energia elétrica.
Ambiental	Impacto Ambiental	Potenciais impactos ambientais causados pela construção, operação e manutenção da tecnologia, considerando os insumos utilizados e resíduos gerados.	Baixo	Sem utilização de produtos químicos ou insumos perigosos e sem geração de resíduos com potencial de contaminação da água, solo ou ar.
			Médio	Utilização de produtos químicos ou insumos perigosos ou geração de resíduos com potencial de contaminação da água, solo ou ar.
			Alto	Utilização de produtos químicos ou insumos perigosos e geração de resíduos com potencial de contaminação da água, solo ou ar.
Cultural	Aceitabilidade	Nível de aceitação geral da tecnologia por populações rurais medido a partir de registros de rejeição da tecnologia por razões socioculturais.	Baixa	Muitos registros de oposição ou rejeição à tecnologia em comunidades rurais.
			Média	Registro de ressalvas à utilização da tecnologia por razões socioculturais em comunidades rurais específicas.
			Alta	Sem registros de oposições à utilização da tecnologia em comunidades rurais.

Inicialmente foi definido um grupo de critérios técnicos, considerados como a base para o entendimento das tecnologias de tratamento de água. A consideração da qualidade da água bruta tem como objetivo estabelecer limites das características físico-químicas e biológicas para a aplicação eficiente de cada tecnologia, evitando escolhas incompatíveis com as características da água da fonte de abastecimento. A eficiência da tecnologia e seu objetivo permitem avaliar a capacidade de remoção dos principais contaminantes de interesse, alinhando o tratamento às exigências de potabilidade. Já a taxa de produção possibilita verificar a adequação da tecnologia à demanda de água para consumo de cada comunidade ou domicílio, aspecto essencial para a garantia de água, além de segura, também suficiente.

Os critérios agrupados sob a dimensão da sustentabilidade foram definidos com o intuito de avaliar a viabilidade operacional e as chances de êxito das tecnologias ao longo do tempo. As complexidades construtiva, operacional e de manutenção, frequência de intervenção e a frequência de manutenção buscam refletir as exigências de capacitação da mão de obra local e a dependência de insumos e serviços externos de cada tecnologia, fatores por vezes críticos em algumas ruralidades, principalmente as mais isoladas. A confiabilidade da tecnologia foi incluída como critério por considerar experiências prévias de implantação, desempenho em campo e vulnerabilidade a falhas, enquanto o requerimento energético permite identificar a adequação das tecnologias a contextos com acesso limitado ou inexistente à energia elétrica.

Por fim, o critério ambiental de impacto ambiental considera não apenas os benefícios do tratamento da água, mas também os potenciais efeitos negativos associados à construção, ao uso de insumos e à geração de resíduos da tecnologia. Já o critério cultural de aceitabilidade reconhece que o sucesso de uma tecnologia depende do reconhecimento, da confiança e da apropriação pela comunidade usuária. Dessa forma, a inclusão desses critérios contribui para a escolha de tecnologias que sejam tecnicamente adequadas, ambientalmente responsáveis e socialmente aceitas, fortalecendo processos decisórios mais participativos e adequados à diversidade das ruralidades brasileiras.

5.5. CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO PNSR

A partir dos critérios definidos e das descrições de cada tecnologia apresentadas no tópico 3.2.3, as tecnologias apresentadas nas matrizes tecnológicas do PNSR foram caracterizadas

com o objetivo de auxiliar na seleção da solução de abastecimento de água para cada comunidade. Foram também elencados pontos fortes e de atenção de cada tecnologia.

5.5.1. Filtração Lenta convencional

A caracterização da filtração convencional frente aos critérios definidos está apresentada na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Caracterização da filtração lenta frente aos critérios de seleção de tecnologias

Filtração Lenta Convencional				
	Turbidez	Cor verdadeira	Coliformes totais	<i>Escherichia coli</i>
Água Bruta (a)*	≤ 10 uT	≤ 5 uC	≤ 500 NMP/100ml	≤ 250 NMP/100ml
Eficiência de remoção	90% (a)	40-50% (b)	99%(a)	99%(a)
Taxa de filtração	≤ 9,6 m ³ /m ² .dia (a)			
Objetivo	Remoção de patógenos			
Complexidade construtiva	Média			
Complexidade operacional	Baixa			
Complexidade de manutenção	Média			
Frequência de intervenção	Baixa			
Frequência de manutenção	Média			
Confiabilidade	Alta			
Requerimento energético	Médio			
Impacto ambiental	Baixo			
Aceitabilidade	Alta			

Legenda de referências: (a) Di Bernardo *et al.* (1999) (b) Di Bernardo *et al.* (2017)

*São aceitos picos de 25uT, 10uC, 1.000 NMP/100ml (Col. Totais), 500 NMP/100ml (*E.coli*) e 500 UPA/ml.

Os filtros lentos podem ser considerados unidades de alta confiabilidade por seu histórico de aplicação em países europeus como unidade principal em estações de tratamento de água, além disso, também possuem aceitabilidade social, devido à simplicidade de seu funcionamento. A operação e manutenção podem ser consideradas descomplicadas, classificadas como de média complexidade, devido a importância da seleção e preparo de seu meio filtrante, funcionamento hidráulico e necessidade de maiores esforços para

manutenção de uma unidade coletiva devido a sua elevada área superficial quando comparada com uma unidade domiciliar.

A alta sustentabilidade dessas unidades pode ser considerada um ponto positivo, já que os materiais utilizados para sua construção podem ser encontrados na própria região da comunidade e adaptados de acordo com os recursos locais. Além disso, esse fator combinado com a ausência de utilização de produtos químicos confere a essa tecnologia um baixo impacto ambiental.

Por fim a consideração de médio requerimento energético se deve ao fato de que já que apesar de sua operação em modo contínuo, é recomendado que sua alimentação seja realizada por gravidade devido a sua taxa de filtração reduzida e para preservação da atividade biológica. Neste sentido a água normalmente é bombeada para um reservatório superior, do qual a água será alimentada no filtro por gravidade. A Tabela 5.11 apresenta um resumo dos pontos fortes e pontos de atenção desta tecnologia.

Tabela 5.11 - Pontos fortes e de atenção da filtração lenta coletiva

Pontos fortes	Pontos de atenção
Não necessita da utilização de químicos.	Necessidade de projeto personalizado para cada realidade.
Pode ser construído com recursos locais.	Utilização restrita em águas com valores de cor aparente até 10uC e turbidez até 25uT.
Boa eficiência na remoção de patógenos.	Necessidade de recuperação da camada microbiológica após limpeza.
Requerimento energético reduzido pela alimentação por gravidade.	Baixas taxas de filtração quando comparados a filtros rápidos.
Baixos custos, especialmente de operação.	Maiores áreas superficiais para a produção dos mesmos volumes dos filtros rápidos.

5.5.2. Filtração lenta domiciliar

Os critérios, aplicados a filtração lenta domiciliar, estão apresentados no Tabela 5.12. Ressalta-se que para essa caracterização foi considerado o modo de operação em batelada, normalmente utilizado nas unidades mais simples, instaladas no interior das residências como ponto de consumo.

As unidades de filtração lenta domiciliar podem ser consideradas tecnologias de alta confiabilidade por apresentar experiências de aplicação em campo, como as unidades instaladas pelo CAWST (2012) em diversos países e Hart (2014), no Peru, ambas com aplicações bem-sucedidas.

Tabela 5.12 - Caracterização da filtração lenta domiciliar frente aos critérios de seleção de tecnologias

Filtração Lenta Domiciliar				
	Turbidez	Cor verdadeira	Coliformes totais	<i>Escherichia coli</i>
Água Bruta	≤ 10 uT (a)	≤ 5 uC (b)	≤ 500 NMP/100ml (b)	≤ 250 NMP/100ml (b)
Eficiência de remoção	85% (c)	40-50% (d)	98,5% (c)	98,5% (c)
Taxa de filtração	≤ 9,6 m ³ /m ² . dia (b)			
Objetivo	Remoção de patógenos por processos físicos e biológicos			
Complexidade construtiva	Média			
Complexidade operacional	Baixa			
Complexidade de manutenção	Baixa			
Frequência de intervenção	Alta			
Frequência de manutenção	Média			
Confiabilidade	Alta			
Impacto ambiental	Baixo			
Requerimento energético	Baixo			
Aceitabilidade	Alta			

Legenda de referências: (a) Sabogal-Paz *et al.* (2020) (b) Di Bernardo *et al.* (1999) (c) CAWST (2012) (d) Di Bernardo *et al.* (2017)

Quanto aos critérios de sustentabilidade, a tecnologia de filtração lenta domiciliar pode ser considerada de média complexidade construtiva, pois apesar da possibilidade de utilização de materiais disponíveis localmente e de baixo custo, a importância da seleção e preparo de seu meio filtrante e estudos para melhor funcionamento hidráulico, geram a necessidade de certa especialização da mão de obra.

Apesar disso, a complexidade de operação e manutenção pode ser considerada baixa, já que não necessitam de mão de obra especializada, além de não serem utilizados produtos químicos nessas etapas. Já a frequência de intervenções na operação é alta, devido a sua operação em batelada, com necessidade de enchimento das unidades de forma manual, por vezes mais de uma vez por dia.

O funcionamento em batelada confere a tecnologia um baixo requerimento energético. A disponibilidade local dos materiais e a ausência de produtos químicos resulta em um baixo impacto ambiental. Além disso, a combinação da baixa complexidade, baixo requerimento energético e baixo impacto ambiental tornam essa tecnologia de alta sustentabilidade.

O Tabela 5.13 apresenta os pontos fortes e os que merecem atenção quando se analisa a aplicação desta tecnologia no meio rural.

Tabela 5.13 - Pontos fortes e de atenção da filtração lenta domiciliar.

Pontos fortes	Pontos de atenção
Remoção de turbidez e patógenos.	Tempo necessário para aclimação da camada biológica
Fácil operação, sem necessidade de químicos ou energia elétrica para operação	Produção de baixo volume de água devido a baixa taxa de filtração.
Pode ser construído com materiais locais.	Precisa ser utilizado com regularidade e mesma fonte de água bruta para manutenção da camada biológica

5.5.3. Filtração em Múltiplas Etapas (FIME)

Na Tabela 5.14 é apresentada a caracterização da tecnologia de Filtração em Múltiplas Etapas frente aos critérios. Ressalta-se que para o critério de qualidade da água bruta foram apresentados os valores dos parâmetros relacionados aos dois arranjos recomendados por Di Bernardo *et al.* (1999), pré-filtro dinâmico seguido de filtração lenta (PFD+FL) e pré-filtro dinâmico, pré-filtro de pedregulho ascendente e filtro lento (PFD+PFPA+FL).

A FIME também é uma tecnologia considerada de alta confiabilidade, com aplicações em Estações de Tratamento de Água na Colômbia e estudos realizados pelo *Instituto de Investigación y Desarrollo em Água Potable, Saneamento Básico y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA) da Universidad del Valle*, e com diversos estudos em escala piloto no Brasil, ligados a universidades como a Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP), Universidade Federal de Goiás (UFG) e

Universidade Federal de Sergipe (UFS) (Veras, 1999; Vieira *et al.*, 2005; Almeida *et al.*, 2022)

Tabela 5.14 - Caracterização da FiME frente aos critérios de seleção de tecnologias

Filtração em Múltiplas Etapas (FIME)				
Água Bruta	Turbidez	Cor verdadeira	Coliformes totais	<i>Escherichia coli</i>
PFD + FL (a)*	≤ 25 uT	≤ 10 uC	≤ 5.000 NMP/100ml	≤ 1.000 NMP/100ml
PFD + PFPA+FL (a)**	≤ 100 uT	≤ 10 uC	≤ 10.000 NMP/100ml	≤ 5.000 NMP/100ml
Eficiência de remoção	99% (a)	40-50% (b)	99,9% (a)	99,9%(a)
Taxa de filtração	≤ 36 m ³ /m ² .dia (a)***			
Objetivo	Remoção de material em suspensão e patógenos			
Complexidade construtiva	Média			
Complexidade operacional	Média			
Complexidade de manutenção	Média			
Frequência de intervenção	Baixa			
Frequência de manutenção	Alta			
Confiabilidade	Alta			
Requerimento energético	Alto			
Impacto ambiental	Baixo			
Aceitabilidade	Alta			

Legenda de referências: (a) Di Bernardo *et al.* (1999) (b) Di Bernardo *et al.* (2017)

*São aceitos picos de 50uT, 25uC, 10.000 NMP/100ml (Col. Totais), 5.000 NMP/100ml (*E.coli*) e 1.500 UPA/ml

** São aceitos picos de 200uT, 25uC, 20.000 NMP/100ml (Col. Totais), 10.000 NMP/100ml (*E.coli*) e 5.000 UPA/ml

***A taxa de 36m³/dia está relacionada a pré-filtração, já a filtração lenta está limitada a taxa de 9,6 m³/m².dia.

Nos critérios de complexidade de construção e operação, aceitabilidade, sustentabilidade e impacto ambiental a FIME é similar à filtração lenta, já que os pré-filtros dinâmico e pedregulho são de simples construção, operação e não utilizam produtos químicos em sua operação (Di Bernardo *et al.*, 1999).

A manutenção das unidades de pré-filtração está ligada à limpeza semanal da câmara de entrada, revolvimento do meio filtrante e descargas de fundo sequenciais, além da retirada do meio filtrante para lavagem mais rigorosa em momentos que a perda de carga dos filtros

não for reduzida pelas limpezas semanais. Já a manutenção do filtro lento pode ser realizada basicamente por raspagem no filtro lento (Di Bernardo *et al.* 1999).

Quanto ao requerimento energético, de maneira análoga à filtração lenta, os pré-filtros também operam em modo contínuo, com alimentação da água bruta por gravidade, a partir de um reservatório superior de alimentação, o que reduz os custos de operação. Sua sustentabilidade é alta e o impacto ambiental baixo, por não prescindir de químicos, não gerar resíduos e pela possibilidade de construção com recursos locais.

Tabela 5.15 - Pontos fortes e de atenção da filtração em múltiplas etapas (FIME).

Pontos fortes	Pontos de atenção
Não necessita de produtos químicos.	Necessidade de projeto personalizado para cada realidade.
O sistema pode ser construído com recursos locais.	Aplicação limitada para tratamento de águas com de cor verdadeira superiores à 25uC.
Possibilita o tratamento por filtração lenta de águas com níveis de coliformes e turbidez elevados.	Baixas taxas de filtração quando comparados a filtros rápidos., o que decorre na necessidade de maiores áreas superficiais para a produção dos mesmos volumes.

5.5.4. Tratamento Convencional

No Tabela 5.16 está apresentada a caracterização do tratamento convencional diante dos critérios definidos.

A confiabilidade desta solução tecnológica pode ser considerada alta pela sua ampla utilização em estações de tratamento de água urbanas no Brasil, além de sua eficiência no tratamento de água bruta em diferentes condições de qualidade, até mesmo com maiores níveis de contaminação de sólidos e patógenos. Apesar disso o sistema foi considerado de média aceitabilidade pela possibilidade de resistência de moradores das áreas rurais a adição de produtos químicos à água.

A alta complexidade das etapas de construção, operação e manutenção se devem a necessidade da realização testes de tratabilidade para definição dos parâmetros de projeto para tratamento eficiência da água bruta de alimentação do sistema, ajustes durante a operação e manutenção das unidades. Este fato exige mão de obra capacitada, além de requerer insumos de difícil acesso localmente em áreas rurais, como por exemplo os coagulantes químicos.

Tabela 5.16 - Caracterização do tratamento convencional frente aos critérios de seleção de tecnologias

Tratamento Convencional				
	Turbidez	Cor verdadeira	Coliformes totais	<i>Escherichia coli</i>
Água Bruta (a)	≤ 1.500 uT	≤ 150 uC	3000 NMP/100ml*	600 NMP/100ml*
Eficiência de remoção (a)	95 - 99%	90%	99,9%	99,9%
Taxa de filtração	120 - 600 m ³ /m ² .dia (a)			
Objetivo	Remoção de partículas sólidas suspensas, dissolvidas e patógenos.			
Complexidade construtiva	Alta			
Complexidade operacional	Alta			
Complexidade de manutenção	Alta			
Frequência de intervenção	Baixa			
Frequência de manutenção	Alta			
Confiabilidade	Alta			
Requerimento energético	Alto			
Impacto ambiental	Alto			
Aceitabilidade	Média			

Legenda de referências: (a) Di Bernardo *et al.* (2017)

*Média Geométrica Mensal

A utilização de produtos químicos, geração de lodo na decantação e água de lavagem dos filtros confere à solução um alto impacto ambiental. Este alto impacto combinado com a alta complexidade da solução, alto requerimento energético e dificuldade de acesso a materiais e insumos localmente. A Tabela 5.17 apresenta pontos fortes e pontos de atenção para o sistema de ciclo completo.

Tabela 5.17 - Pontos fortes e de atenção do tratamento convencional.

Pontos fortes	Pontos de atenção
Alta eficiência na remoção de sólidos suspensos, dissolvidos e microrganismos.	Custos elevados em comparação a outras soluções.
Possibilidade de adequação do tratamento de acordo com qualidade da água bruta.	Necessidade de mão de obra especializada para construção, operação e manutenção.
Eficiência na remoção de cor verdadeira.	Utilização de produtos químicos e geração de resíduos de difícil destinação.
Alta confiabilidade por aplicação bem difundida nas áreas urbanas.	Alto requerimento energético.

5.5.5. Tratamento convencional em batelada

A caracterização do tratamento convencional em batelada frente aos critérios foi realizada considerando o sistema Salta-z (Brasil, 2017) como referência. Os valores e níveis dos critérios estão apresentados na Tabela 5.18.

Tabela 5.18 - Caracterização do tratamento convencional em batelada frente aos critérios de seleção de tecnologias.

Tratamento Convencional em Batelada				
	Turbidez	Cor verdadeira	Coliformes totais	<i>Escherichia coli</i>
Água Bruta	≤ 500 uT (a)	≤ 40 uC (b)	≤ 5000 NMP/100ml (c/d)	≤ 100 NMP/100ml (c/d)
Eficiência de remoção	87 - 98% (c/d)	70% (b)	99,9% (c/d)	99,9% (c/d)
Taxa de filtração	≤ 360m ³ /m ² . dia (b)			
Objetivo	Remoção de partículas sólidas suspensas, dissolvidas e patógenos.			
Complexidade construtiva	Alta			
Complexidade operacional	Alta			
Complexidade de manutenção	Alta			
Frequência de intervenção	Alta			
Frequência de manutenção	Média			
Confiabilidade	Alta			
Requerimento energético	Médio			
Impacto ambiental	Alto			
Aceitabilidade	Média			

Legenda de referências: (a) Brasil (2017) (b) Santos (2022) (c) Oliveira (2022) (d) Arêde (2023)

Dentre os critérios estabelecidos, a utilização do sistema de tratamento convencional em batelada se diferencia da operação contínua nos critérios de frequências de intervenção e manutenção e requerimento energético.

A alta frequência de intervenção se deve a necessidade de operação do sistema para passagem entre as etapas de tratamento. Quanto a frequência de manutenção, o uso do sistema em intermitência, em até 12h por dia, aumenta a carreira de filtração, reduz o volume de lodo gerado e dessa forma espaça mais a necessidade de lavagem dos filtros, raspagem

de lodo e outras intervenções de manutenção no sistema, que passa a ser menos exigido em comparação ao modo contínuo, possibilitando inclusive manutenções em seu horário de não operação.

Já o requerimento energético pode ser considerado médio pela necessidade de energia elétrica para o bombeamento estar limitada ao período de operação do sistema, o que tem como consequência uma economia de gastos com energia, reforçada pela operação em batelada, com utilizações pontuais de energia elétrica durante a operação do sistema. Tais fatores possibilitam o suprimento de energia do sistema com fontes alternativas, como energia solar, o que evita prejuízos em casos de intermitência do fornecimento de energia pelas operadoras.

No Tabela 5.19 estão apresentados os pontos fortes e de atenção para o sistema de tratamento convencional em batelada em comparação ao de funcionamento contínuo.

Tabela 5.19 - Pontos fortes e de atenção do tratamento convencional por batelada.

Pontos fortes	Pontos de atenção
Menor requerimento energético.	Limitação à sistemas individuais e comunidades menores, de até 80 habitantes.
Menor frequência de manutenção e menor geração de resíduos.	Maior frequência de intervenção na operação.

5.5.6. Filtração em Margem

A classificação segundo os critérios definidos para a tecnologia de Filtração em Margem está apresentada na Tabela 5.20.

É importante destacar que são importantes estudos de viabilidade para previamente à instalação dessa tecnologia de tratamento. A análise de aspectos como características hidrogeológicas do aquífero e da margem, disponibilidade e regularidade do manancial superficial, distância e geometria da zona de captação e qualidade da água superficial e subterrânea é essencial para a avaliação da viabilidade desses sistemas em um determinado corpo hídrico superficial (Grischek e Ray, 2009; Brasil, 2018b).

Tabela 5.20 - Caracterização da filtração em margem frente aos critérios de seleção de tecnologias

Filtração em Margem				
	Turbidez	Cor verdadeira	Coliformes totais	<i>Escherichia coli</i>
Água Bruta	≤ 50 uT (a)	≤ 30 uC (a)	≤ 10.000 NMP/100ml (b)	≤ 1.000 NMP/100ml (b)
Eficiência de remoção	70-95% (a)	60-90% (a)	99% (b)	99% (b)
Taxa de filtração	Variável			
Objetivo	Melhorar a qualidade microbiológica, física e química da água superficial captada.			
Complexidade construtiva	Alta			
Complexidade operacional	Baixa			
Complexidade de manutenção	Média			
Frequência de intervenção	Baixa			
Frequência de manutenção	Baixa			
Confiabilidade	Alta			
Requerimento energético	Alto			
Impacto ambiental	Médio			
Aceitabilidade	Alta			

Legenda de referências: (a) Ray *et al.* (2002) (b) Grischek e Ray (2009)

A filtração em margem pode ser considerada uma tecnologia de alta confiabilidade por sua aplicação em países europeus conforme Grischek e Ray (2009). Estudos variados (Wang *et al.* 2016; Gutiérrez *et al.*, 2017; Guedes, 2018) demonstram sua eficiência na remoção de contaminantes como turbidez, patógenos, nutrientes, metais pesados e micropoluentes. A melhoria microbiológica resulta de mecanismos similares à filtração lenta: a formação de um biofilme (ou *schmutzdecke*) no fundo do corpo superficial, que é responsável pela remoção de patógenos (Gutiérrez *et al.*, 2017).

Apesar da ausência de produtos químicos para a realização do tratamento por filtração em margem, riscos de alterações no regime hidráulico de mananciais superficiais, colmatação da zona de infiltração, interferência em ecossistemas aquáticos e contaminação subterrânea conferem um médio impacto ambiental à tecnologia (Ray *et al.* 2002). Como a captação nesses sistemas geralmente ocorre por meio de poços instalados às margens de corpos d'água

superficiais, é necessário bombeamento da água, resultando em considerável requerimento energético, principalmente se este for realizado de forma contínua.

A filtração em margem pode ser considerada uma alternativa de tratamento de alta aceitabilidade, devido à fácil compreensão de seu funcionamento. A operação deste sistema pode ser considerada simples e a manutenção possui complexidade associada a episódios de colmatação da zona de infiltração, nos quais pode ser necessária a realização de dragagem ou remoção mecânica de sedimentos no leito do manancial superficial (GWN, 2021).

Dessa forma a sustentabilidade desse arranjo pode ser considerada média, pela combinação entre a construção com materiais locais, baixa complexidade de operação, alto requerimento energético e risco de ocorrência de impactos ambientais. Alguns pontos fortes e de atenção da filtração em margem estão apresentados na Tabela 5.21.

Tabela 5.21 - Pontos fortes e de atenção da filtração em margem.

Pontos fortes	Pontos de atenção
Reduz a turbidez da água com eficiência e sem necessidade de coagulação.	Risco de colmatação da zona de infiltração, o que pode reduzir a vazão a longo prazo.
Aumenta a qualidade microbiológica, física e química da água captada em relação a fonte superficial.	Necessidade de estudos prévios para avaliação da viabilidade de instalação em cada corpo hídrico.
Captações por poços após a filtração em margem podem ser mais baratas do que captações em aquíferos profundos.	Pode requerer grandes escavações para algumas captações, como galerias de infiltração.

5.5.7. Separação em Membranas

O Tabela 5.22 apresenta os valores e níveis dos critérios aplicados aos sistemas de separação em membranas. Ressalta-se que os valores dos parâmetros estão relacionados à água pré-tratada, apresentando os níveis necessários para a operação eficiente dos sistemas de nanofiltração e osmose reversa.

A operação e manutenção desses sistemas se caracterizam por uma alta exigência técnica e de conhecimento de seu funcionamento e automação, por isso sua viabilidade só é possível em cenários em que se conte com a assistência de pessoal especializado, o que geralmente é possível no meio rural em cenários em que esses sistemas são implantados por programas governamentais, como no caso do Programa Água Doce, aplicado em regiões semiáridas brasileiras em que há ocorrência de águas subterrâneas salobras (Brasil, 2015).

Tabela 5.22 - Caracterização da separação em membranas frente aos critérios de seleção de tecnologias.

Separação em Membranas						
		Turbidez	Cor verdadeira	STD	Dureza*	Coliformes**
Água Bruta	NF	0,5 uT (a)	5 uC (b)	2.000 mg/L (a)	400 mg/L CaCO ₃ (a)	Ausência (b)
	OR	0,5 uT (a)	5 uC (b)	45.000 mg/L (a)	500 mg/L CaCO ₃ (a)	Ausência (b)
Eficiência de remoção	NF	95-100 % (a)	85-98% (a)	50-90% (c)	90-98% (a)	NA
	OR	99-100% (a)	95-100% (a)	95-99% (c)	98-100% (a)	NA
Taxa de filtração		1000 – 2000 L/h (b)				
Objetivo		Remoção de contaminantes orgânicos e inorgânicos dissolvidos.				
Complexidade construtiva		Alta				
Complexidade operacional		Alta				
Complexidade de manutenção		Alta				
Frequência de intervenção		Baixa				
Frequência de manutenção		Alta				
Confiabilidade		Alta				
Requerimento energético		Alto				
Impacto ambiental		Alto				
Aceitabilidade		Alta				

Legenda de referências: (a) AWWA (2007) (b) EPA (2005) (c) Baker (2012)

*Com adição de anti-incrustante, controle de pH entre 5,5 e 6,5 e Índice de Saturação de Langelier (LSI) ≤ 0

**Coliformes totais e *Escherichia coli*.

NA= Não se aplica

A manutenção das membranas está intimamente relacionada à limpeza, a qual deve ser realizada por processos de retrolavagem, aplicados com o objetivo de desobstrução dos poros, e processos de lavagem química, aplicados em frequências menor, para remoção de tortas e biofilmes nos estágios em que a retrolavagem não resulta na recuperação do fluxo de permeado inicial da membrana (Di Bernardo *et al*, 2017).

A vida útil das membranas é de cerca de 5 anos, devido à obstrução dos poros. A utilização de agentes químicos tanto no pré-tratamento quanto na limpeza e produção do concentrado,

resíduo com alta concentração de sais, confere um alto impacto ambiental a essas tecnologias. Além disso os sistemas são marcados por alto requerimento ambiental, pela necessidade de aplicação de pressão para o tratamento.

A alta complexidade, alto impacto ambiental e alto requerimento energético requerem ao sistema uma baixa sustentabilidade na aplicação em comunidades rurais. A Tabela 5.23 apresenta dos pontos fortes e de atenção dos sistemas de separação de membranas.

Tabela 5.23 - Pontos fortes e de atenção das tecnologias de separação por membranas.

Pontos fortes	Pontos de atenção
Alta aplicabilidade em processos de dessalinização e remoção de dureza.	Necessita de pré-tratamento para reduzir as incrustações nas membranas.
Alta eficiência na remoção de bactérias, vírus e protozoários.	Alto requerimento energético devido a aplicação de pressão para tratamento.
Unidades pré-fabricadas, compactas e de fácil transporte.	Alto impacto ambiental devido a produção de concentrado e utilização de produtos químicos.
Tecnologias de alta confiabilidade, com eficiências comprovadas.	Necessita de operadores capacitados, produtos químicos, materiais e equipamentos importados.

5.5.8. Desinfecção

Quanto a desinfecção, foram caracterizadas as tecnologias de cloração, desinfecção solar e desinfecção UV. Inicialmente, na Tabela 5.24 estão apresentados os critérios aplicados à desinfecção por cloro. É importante ressaltar que os valores estão relacionados à aplicação dessa tecnologia como única etapa de tratamento, para os casos apresentados pelo PNSR, o que se diferencia de sua aplicação após outras tecnologias.

A eficiência da cloração depende de uma baixa turbidez da água, já que os sólidos em suspensão podem carregar microrganismos, impedindo a sua inativação pelo cloro. Adicionalmente, a manutenção de baixos níveis de cor na água garante baixos níveis de matéria orgânica natural, o que é importante para evitar a formação de subprodutos da desinfecção, como trihalometanos e ácidos haloacéticos, potencialmente prejudiciais à saúde (Pivelli e Kato, 2006).

Tabela 5.24 - Caracterização da desinfecção com cloro frente aos critérios de seleção de tecnologias.

Cloração					
	Turbidez	Cor aparente	STD	Coliformes totais	<i>E. coli</i>
Água Bruta	≤ 5 uT (a)	≤ 15 uC (a)	≤ 500 mg/L (a)	NA(a)*	NA(a)*
Eficiência de remoção	NA	NA	NA	99,9% (b)	99,99% (b)
Taxa de produção	NA				
Objetivo	Inativação de patógenos e proteção residual				
Complexidade construtiva	Baixa				
Complexidade operacional	Baixa				
Complexidade de manutenção	Baixa				
Frequência de intervenção	Baixa				
Frequência de manutenção	Média				
Confiabilidade	Média				
Requerimento energético	Baixo				
Impacto ambiental	Médio				
Aceitabilidade	Média				

Legenda de referências: (a) Brasil (2021) (b) EPA (1999)

*A Portaria nº888/21 não estipula valor máximo para concentração microbiológica visando a desinfecção. O controle é realizado pela concentração de residual.

NA = Não se aplica

A Portaria nº 888/21 não apresenta valores máximos de microrganismos para a realização de desinfecção por cloro. No entanto, a legislação apresenta em seus anexos 6, 7 e 8 o tempo de contato mínimo a partir de valores de concentração da espécie de cloro residual, temperatura e pH da água (Brasil, 2021).

Apesar de não apresentar valores máximos para a água bruta a ser desinfetada por cloração, estudos apresentam uma limitação do cloro na inativação de protozoários como *Giardia* e *Cryptosporidium*, o que aumenta os riscos à saúde em caso de desinfecção com cloro em águas com densidade de *E. coli* acima de 10³ NMP/100ml, nas quais há maior risco de presença desses protozoários (OMS, 2022). Devido a essa limitação, a cloração possui média confiabilidade.

Os sistemas de cloração podem ser considerados simples, com baixo requerimento energético e baixa frequência de intervenção em unidades como cloradores simplificados e de pastilhas. A frequência de manutenção, porém, está ligada à necessidade de reposição do cloro, o que a torna média.

Devido ao caráter relativamente tóxico do cloro em altas concentrações, o impacto ambiental da cloração pode ser considerado médio, levando em consideração que a liberação do cloro no ambiente por falhas no transporte ou armazenamento pode causar danos ao meio ambiente e à saúde (GWN, 2021).

Por fim, é importante destacar o fato de que a sua aceitabilidade pode variar de acordo com as características socioculturais e as experiências prévias da comunidade, uma vez que pode haver rejeição ao uso devido ao sabor da água clorada, resultando em uma limitação para sua aplicação em algumas localidades rurais (GWN, 2021).

Diante do apresentado, a desinfecção por cloração pode ser considerada uma tecnologia de média sustentabilidade, devido ao seu médio impacto ambiental, pelos riscos associados à utilização do produto químico, bem como à resistência de algumas comunidades rurais à sua adição na água de consumo.

A Tabela 5.25 apresenta os pontos fortes e de atenção da desinfecção com cloro.

Tabela 5.25 - Pontos fortes e de atenção da desinfecção com cloro.

Pontos fortes	Pontos de atenção
Possibilita desinfecção com manutenção de residual na água tratada.	Pode requerer estrutura de armazenamento.
Baixo custo de operação	Pode ter aceitação limitada pelo impacto no sabor.
Alta disponibilidade	Eficiência dependente de fatores como temperatura, pH, condições sanitárias e turbulência.
Método confiável em casos de baixa turbidez	Baixa efetividade em alta turbidez e contra certos microrganismos (ex. <i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i>).
Disponível em diversas formas	Risco de formação de subprodutos de desinfecção na presença de matéria orgânica.

A caracterização da desinfecção solar frente aos critérios definidos está apresentada na Tabela 5.26.

Tabela 5.26 - Caracterização da desinfecção solar frente aos critérios de seleção de tecnologias.

Desinfecção Solar					
	Turbidez	Cor aparente	STD	Coliformes totais	<i>E. coli</i>
Água Bruta	≤ 5 uT (a)	≤ 15 uC (a)	≤ 500 mg/L (a)	NA (a)*	≤ 10 ³ NMP/100ml (b)**
Eficiência de remoção	NA	NA	NA	99,9% (c)	99,99% (c)○
Taxa de produção	NA				
Objetivo	Inativação de patógenos				
Complexidade construtiva	Baixa				
Complexidade operacional	Baixa				
Complexidade de manutenção	Baixa				
Frequência de intervenção	Alta				
Frequência de manutenção	Baixa				
Confiabilidade	Média				
Requerimento energético	Baixo				
Impacto ambiental	Baixo				
Aceitabilidade	Alta				

Legenda de referências: (a) Brasil (2021) (b) McGuigan *et al.* (2012) (c) Luzi *et al.* (2016)

*A Portaria nº888/21 não estipula valor máximo para concentração microbiológica visando a desinfecção.

**Recomendação da literatura. Valores superiores exigem um tempo muito alto de exposição ou necessidade de pré-tratamento.

A desinfecção solar possui eficiência comprovada na inativação de bactérias e vírus. Entretanto, apresenta níveis de inativação de protozoários limitados, devido à maior resistência dos oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia* à radiação UV-A natural, bem como aos níveis de aquecimento normalmente atingidos durante esse processo (Ubomba-Jaswa *et al.*, 2009; McGuigan *et al.*, 2012).

No geral, os sistemas de desinfecção solar podem ser considerados de baixa complexidade, tanto de construção/instalação quanto de operação e manutenção, já que não exigem mão de obra especializada e podem se utilizar de materiais disponíveis localmente. Esses sistemas se caracterizam também pela baixa frequência de manutenção necessária para eventuais reparos em estruturas construídas, a exemplo do sistema Aqualuz.

A ausência da necessidade de utilização de produtos químicos e a não geração de resíduos conferem à desinfecção solar um baixo impacto ambiental. Além disso, como o processo de desinfecção é realizado unicamente pela radiação solar, não há requerimento energético.

Por fim, a desinfecção solar pode ser considerada uma solução de alta aceitabilidade no meio rural, principalmente por sua simplicidade e baixos custos. Contudo, apresenta confiabilidade média, uma vez que a eficiência de inativação de patógenos depende fortemente das condições climatológicas, gerando incertezas quanto à água tratada, principalmente em águas com alta contaminação microbiológica. Outro ponto é que este é um método de desinfecção que não produz concentração residual.

Destaca-se que a baixa complexidade e frequência de manutenção, aliados ao baixo requerimento energético e ao baixo impacto ambiental, tornam a desinfecção solar uma técnica de elevada sustentabilidade. A Tabela 5.27 destaca alguns pontos fortes e pontos de atenção da tecnologia de desinfecção solar.

Tabela 5.27 - Pontos fortes e de atenção da desinfecção solar.

Pontos fortes	Pontos de atenção
Não utiliza produtos químicos nem forma subprodutos da desinfecção	Não deixa residual na água tratada.
Não modifica o sabor ou odor da água.	Baixa eficiência em águas com alta turbidez
Baixos custos e operação simples	A eficiência do sistema dependente das condições climatológicas.

Já a caracterização da desinfecção solar frente aos critérios definidos está apresentada na Tabela 5.28. Ressalta-se que devido à ausência de concentração residual na água, a Portaria nº 888/21, em seu artigo 33, dispõe que, após a desinfecção UV, deverá ser adicionado cloro ou dióxido de cloro. Isso deve ser feito de forma a manter o residual mínimo no sistema de distribuição e no ponto de consumo, conforme disposições do artigo 32 (Brasil, 2021).

Os sistemas de desinfecção UV podem ser considerados de baixa complexidade de operação, além de apresentarem baixas necessidades de intervenção no sistema, cujo funcionamento está relacionado somente à ligação das lâmpadas ultravioletas. A manutenção, por outro lado, possui complexidade e frequências ligadas à limpeza e substituição dessas lâmpadas por novas unidades.

Tabela 5.28 - Caracterização da desinfecção UV frente aos critérios de seleção de tecnologias.

Desinfecção UV					
	Turbidez	Cor aparente	STD	Coliformes totais	<i>E. coli</i>
Água Bruta	≤ 5 uT (a)	≤ 15 uC (a)	≤ 500 mg/L (a)	NA*	≤ 2.10 ³ NMP/100ml (b)**
Eficiência de remoção	NA	NA	NA	99,9% (b)	99,99% (b)
Taxa de produção	NA				
Objetivo	Inativação de patógenos				
Complexidade construtiva	Alta				
Complexidade operacional	Baixa				
Complexidade de manutenção	Média				
Frequência de intervenção	Baixa				
Frequência de manutenção	Média				
Confiabilidade	Alta				
Requerimento energético	Alto				
Impacto ambiental	Médio				
Aceitabilidade	Alta				

Legenda de referências: (a) Brasil (2021) (b) EPA (2006)

*A Portaria nº888/21 não estipula valor máximo para concentração microbológica visando a desinfecção.

** Recomendação da literatura. Valores superiores podem exigir maior tempo de contato ou múltiplas passagens para garantir a dose de radiação efetiva por célula.

Os sistemas de desinfecção UV podem ser considerados de baixa complexidade de operação, além de apresentarem baixas necessidades de intervenção no sistema, cujo funcionamento está relacionado somente à ligação das lâmpadas ultravioletas. A manutenção, por outro lado, possui complexidade e frequências ligadas à limpeza e substituição dessas lâmpadas por novas unidades.

A confiabilidade da tecnologia pode ser considerada alta devido à sua eficiência comprovada na inativação de microrganismos, inclusive os mais resistentes, como protozoários. Em contrapartida, os sistemas de UV possuem alto requerimento energético e médio impacto ambiental, devido ao necessário descarte das lâmpadas na sua substituição. Em virtude desses fatores, a tecnologia apresenta uma média sustentabilidade.

A Tabela 5.29 apresenta alguns pontos fortes e de atenção da tecnologia de desinfecção UV.

Tabela 5.29 - Pontos fortes e de atenção da desinfecção UV.

Pontos fortes	Pontos de atenção
Não utiliza químicos nem forma subprodutos.	Não forma residual mínimo.
Não modifica o sabor ou odor da água.	Baixa eficiência em águas com alta turbidez.
Eficiência na inativação de microrganismos mais resistentes (ex. <i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i>).	Alto requerimento energético.

5.5.9. Dessalinização Solar

A Tabela 5.30 apresenta a classificação da dessalinização solar frente aos critérios definidos.

Tabela 5.30 - Caracterização da dessalinização solar frente aos critérios de seleção de tecnologias.

Dessalinização Solar				
	Turbidez	STD	Dureza	Coliformes
Água Bruta	NA	≤ 3.000 mg/L (b)	≤ 500 mg/L CaCO ₃ (b)	NA
Eficiência de remoção	NA	95 - 99% (b)	98-100% (b)	NA
Taxa de produção	≤ 0,004 m/dia (c)			
Objetivo	Remoção de sais por processo de destilação.			
Complexidade construtiva	Média			
Complexidade operacional	Baixa			
Complexidade de manutenção	Baixa			
Frequência de intervenção	Alta			
Frequência de manutenção	Média			
Confiabilidade	Média			
Requerimento energético	Baixo			
Impacto ambiental	Média			
Aceitabilidade	Alta			

Legenda de referências: (b) Kalogirou (2005)

NA= Não apresentado

Os sistemas de dessalinização solar podem ser considerados de média complexidade de construção, pois necessitam de projeto elaborado por pessoa capacitada. Isso ocorre porque são necessários cálculos de transferência de calor para a definição das medidas, materiais e outros parâmetros, a fim de alcançar boa eficiência para o processo (Silva, 2014). Em contrapartida, esses sistemas são de baixa complexidade de operação e manutenção, por não exigirem insumos não disponíveis localmente nem mão de obra especializada para tais atividades.

Sua confiabilidade, no entanto, é média devido à sua dependência de fatores climatológicos, o que gera incertezas quanto à sua eficiência em dias de menor insolação. Além disso, a produção de resíduo concentrado de sais confere à tecnologia médio impacto ambiental, principalmente pelo desafio na destinação ambientalmente correta desse material em áreas rurais.

Como o funcionamento se dá a partir da irradiação solar, o sistema não possui requerimento energético. Essa característica, em conjunto com sua simplicidade e médio impacto ambiental, confere à tecnologia uma média sustentabilidade. Apesar disso, os dessalinizadores podem ser considerados sistemas de alta aceitabilidade, quando utilizados somente como solução para tratamento de água para consumo, em função de sua baixa taxa de produção, simplicidade operacional e ausência de consumo de energia.

O Tabela 5.31 traz em si os pontos fortes e de atenção da tecnologia de dessalinização solar.

Tabela 5.31 - Pontos fortes e de atenção da dessalinização solar.

Pontos fortes	Pontos de atenção
Remoção de sais com custos baixos em comparação a separação por membranas	Sistema dependente das condições climatológicas
Não possui requerimento energético.	Produção de resíduo concentrado de sais.
Simplicidade operacional.	Baixa taxa de produção diária.
	Ausência de sais minerais na água destilada.

5.6. PROPOSIÇÃO DAS SOLUÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

5.6.1. Ecovila Terra Sublime

A proposição de soluções de abastecimento de água na Ecovila Terra Sublime foi realizada a partir dos resultados do diagnóstico ambiental, socioeconômico, demográfico e cultural da comunidade e da caracterização das tecnologias da matriz tecnológica do PNSR. Ressalta-se que as propostas se basearam primordialmente na captação do córrego, uma vez que é a fonte principal que garante o abastecimento de água contínuo e suficiente na comunidade ao longo do ano.

Tomando como base a disposição do artigo 24 da Portaria nº888/21, que dispõe que toda água de manancial superficial deve passar por processo de filtração, e a matriz tecnológica de soluções coletivas proposta no PNSR (2019), os possíveis arranjos tecnológicos para o tratamento da água do córrego foram baseados nas tecnologias de Filtração lenta, Filtração em múltiplas etapas, Tratamento Convencional e Filtração lenta precedida de Filtração em margem.

Como constatado no item 5.1.2 (monitoramento da qualidade da água na Ecovila), a água do córrego apresentou inconformidade com a potabilidade nos parâmetros turbidez, cor aparente e *E.coli* (Brasil, 2021). Além disso, ao longo do ano ocorreram picos de turbidez (33,6 uT), cor verdadeira (32 uC) e coliformes totais (17890 NMP/100/ml). Estes picos, observados principalmente na época de chuvas, superaram o limite recomendado para o tratamento por filtração lenta.

Nesse sentido, a incorporação de uma etapa de pré-tratamento é essencial para a adequação da qualidade da água para a utilização dessa tecnologia. A Filtração em múltiplas etapas surge como uma alternativa, visto que suas unidades de pré-filtração, conforme apresentado no tópico 5.5.3, têm como objetivo promover uma progressiva remoção de sólidos e microrganismos, possibilitando a adequação da água ao nível de qualidade necessário para o tratamento eficiente por filtração lenta.

As unidades de pré-tratamento são tipicamente compostas por um pré-filtro dinâmico seguido por um pré-filtro de pedregulho. Porém, segundo Di Bernardo *et al.* (1999) um arranjo contendo apenas um pré-filtro dinâmico como unidade pré-tratamento é eficiente no tratamento de água de até 25 uT de turbidez, com picos de 50 uT, e densidade de *E.coli*, 10^3 NMP, com picos de $5 \cdot 10^3$ NMP/100ml, que se correspondem com a qualidade da água do

córrego. Dessa forma, o primeiro arranjo tecnológico proposto foi o constituído por pré-filtração dinâmica seguida de filtração lenta.

Além de ser compatível com a qualidade da água bruta, a filtração em múltiplas etapas se caracteriza por ser uma tecnologia de alta confiabilidade, baixo impacto ambiental, requerimento energético médio ou moderado, alta aceitabilidade e sustentabilidade, que são critérios positivos para a implantação da tecnologia na Ecovila. Deve ser ressaltado que, apesar de a FiME ter complexidade de operação e manutenção média, considera-se que os integrantes da comunidade estão capacitados para desempenhar ambas as etapas.

Devido à baixa taxa de filtração dos filtros lentos, a limitação de produção diária de água foi considerada um ponto de atenção para a aplicação da FiME, já que, considerando o volume de 110 litros/hab.dia recomendado pela OMS como volume *per capita* mínimo para o atendimento das necessidades básicas de consumo, cocção e higiene, a Ecovila possui atualmente uma demanda de 2.640 litros/dia.

Considerando, porém, uma taxa de filtração conservadora de 4 m³/dia, com produção de 8 horas/dia, é possível a produção desse volume em um filtro com 2 m² de área em planta. Esta área em uma unidade circular, como uma caixa d'água, equivale a um diâmetro de aproximadamente 1,6 metros, menor que o diâmetro típico de uma caixa d'água de 5.000 litros.

Além das unidades de pré-tratamento da FiME, a adequação da água bruta para a filtração lenta pode ser viabilizada pela filtração em margem. A eficiência desse sistema é intrinsecamente dependente das propriedades hidrodinâmicas do meio poroso; portanto, sua aplicação requer a caracterização do Cambissolo Háplico local por meio de ensaios de permeabilidade e análise granulométrica, para determinar a capacidade de infiltração e o tempo de residência da água nas margens do córrego da comunidade.

O tratamento convencional também foi considerado entre as alternativas tecnológicas compatíveis com a qualidade da água do manancial de abastecimento, além de possuir eficiência comprovada na remoção de particulados e microrganismos. O PNSR apresenta que em comunidades com 80 habitantes ou menos pode ser empregado o tratamento convencional em batelada como sistema coletivo de abastecimento de água (Brasil, 2019a).

Por se tratar de tecnologia a ser implantada em uma comunidade rural, foi proposto o sistema Salta-z, desenvolvido e aplicado pela Funasa em realidades rurais brasileiras. O sistema,

operado em modo batelada, é constituído pelas etapas coagulação com sulfato de alumínio, floculação e decantação em reservatório elevado, desinfecção com cloro e filtração em leito de zeólita, conforme apresentado no tópico 5.5.5.

A utilização de produtos químicos, na coagulação com sulfato de alumínio e na desinfecção com cloro, foi considerada um fator crítico, por não serem de ampla aceitação da comunidade, conforme registrado nas entrevistas semiestruturadas. Além disso, esta tecnologia envolve altos custos de manutenção, alto impacto ambiental, médio requerimento energético, alta frequência de intervenção e manutenção e baixa sustentabilidade.

Diante da resistência à produtos químicos apresentada pelos moradores da comunidade nas entrevistas semiestruturadas, inicialmente foram escolhidos a desinfecção solar e desinfecção UV como métodos alternativos à cloração para a etapa de desinfecção. Ressalta-se que o sistema Salta-z é originalmente constituído com uma etapa de cloração, o que condiciona à sua substituição por esses métodos alternativos à realização de estudos de tratabilidade para avaliação da eficiência de sua incorporação ao sistema, o que representa um aspecto de maior complexidade para a instalação dessa solução.

Tanto a desinfecção solar como a desinfecção UV, como exposto no tópico 5.5.8, apresentam como vantagem a eficiência na inativação de microrganismos, inclusive os mais resistentes como cistos e oocistos de protozoários. Ademais esses métodos se caracterizam pelo baixo impacto ambiental e boa aceitabilidade.

Contudo, ambos os métodos têm como desvantagens a necessidade de maior tempo para a inativação dos microrganismos e a ausência de concentração residual na rede de distribuição. Adicionalmente, a desinfecção solar possui menor confiabilidade, visto que sua eficácia depende das condições climatológicas. A desinfecção UV, por sua vez, apresenta a desvantagem do maior requerimento energético e da maior complexidade de implantação e manutenção da tecnologia.

Como ações complementares à instalação implantação da tecnologia de tratamento foram propostas algumas melhorias no sistema de abastecimento com vista a preservar a qualidade da água bruta, o que repercutirá no melhor desempenho e na sustentabilidade das tecnologias de tratamento propostas.

A primeira ação é a melhoria da estrutura de proteção da nascente na qual é captada uma parcela da água consumida na comunidade. Atualmente a nascente é protegida lateralmente

por uma estrutura cimentada. Essa estrutura não impede o carreamento de folhas e outros materiais e impurezas para a nascente. Nesse sentido, propõe-se a construção de uma estrutura de Caxambu, que promoveria melhor proteção da água e auxiliaria na preservação da nascente. A Figura 5.54 apresenta a nascente atualmente e a estrutura do Caxambu proposta para sua preservação.

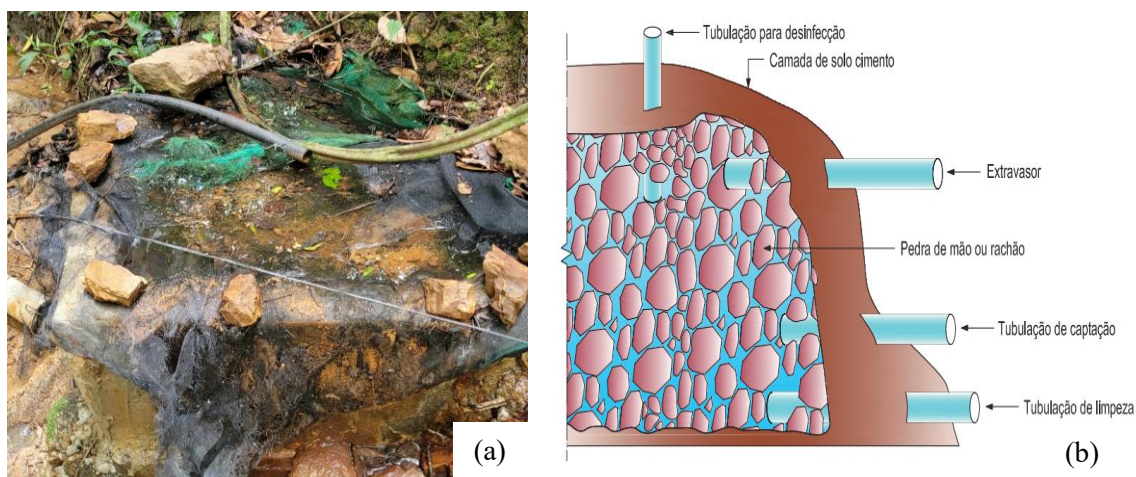


Figura 5.54 - Nascente atualmente (a) e exemplo de sistema Caxambu (Brasil, 2019b) (b).

Outra ação complementar proposta é a ponderação pelos membros da comunidade dos pontos positivos e negativos da represa e, de forma a avaliar a manutenção ou desativação da barragem que forma a lagoa. Considera-se a desativação um processo complexo que exigiria a realização de estudos da área de inundação e de seus impactos, a fim de evitar impactos ao córrego. Essa intervenção, porém, teria como objetivo a recuperação do curso d'água natural e eliminaria os episódios de contaminação da água do córrego pelo extravasamento da água da represa na época de chuvas, uma vez que a água desse corpo hídrico favorece a concentração de sólidos, matéria orgânica e microrganismos, o que foi comprovado pelo monitoramento de qualidade da água desse corpo hídrico.

A terceira ação complementar sugerida é a realização de ajustes na caixa d'água 20.000 litros utilizada para decantação da água captada nas fontes de abastecimento nascente e córrego antes de sua distribuição para os domicílios. Conforme apresentado no tópico 5.1, apesar da ausência de realização de estudo de verificação do funcionamento desse reservatório, o atual posicionamento das tubulações de entrada e saída de água aumentam as chances de curto-circuito e zonas mortas reduzindo a eficiência de sedimentação de sólidos no sistema.

A sugestão de ajustes nessa unidade consiste na modificação da posição da tubulação de entrada da água captada para um ponto inferior no reservatório, definido a partir de critérios

para o projeto de decantadores, de forma que o escoamento da água passe a ocorrer em sentido ascensional. Compreende-se que essa medida poderia aumentar a eficiência na sedimentação das partículas suspensas, possibilitando uma clarificação mais efetiva da água que escoar para a caixa de distribuição.

Por fim, a última ação complementar proposta é realização de limpezas anuais nos reservatórios de recepção e de distribuição, além de descarga de fundo semanal do reservatório utilizado como decantador, com o objetivo de preservar a qualidade da água distribuída aos domicílios e evitar contaminação na unidade de decantação devido ao acúmulo de lodo.

A Tabela 5.32 apresenta um resumo das soluções de abastecimento de água e ações complementares propostas para a Ecovila Terra Sublime.

Tabela 5.32 - Resumo das soluções de abastecimento de água e ações complementares na Ecovila Terra Sublime

Proposta	Tecnologia de tratamento	Descrição	Desinfecção	Ações complementares
1	Filtração em Múltiplas Etapas	Pré-filtro Dinâmico + Filtro Lento	Desinfecção solar ou desinfecção UV	Construção da estrutura Caxambu; avaliação sobre a manutenção da represa; ajustes na caixa utilizada para decantação.
2	Tratamento Convencional em Batelada	Sistema Salta-z	Cloração com possibilidade de Desinfecção solar ou desinfecção UV (mediante estudos de tratabilidade)	

5.6.2. Assentamento Pequeno William

De posse do diagnóstico de acesso à água, das características ambientais, socioeconômicas, demográficas e culturais dos domicílios do Assentamento Pequeno William, em conjunto com a caracterização das soluções tecnológicas de tratamento de água com base nos critérios definidos neste trabalho, foi feita uma pré-seleção das soluções de abastecimento de água adequadas às características de cada domicílio participante da pesquisa.

Foram priorizadas propostas de abastecimento de água em escala domiciliar, considerando o desafio histórico de instalação e uma fonte de abastecimento coletiva na comunidade,

relatado pelos moradores nas entrevistas semiestruturadas, nas quais foi registrado que a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) iniciou a instalação de um sistema de abastecimento coletivo, por meio de um poço profundo perfurado, processo, porém, que não teve continuidade, e fez com que cada domicílio adotasse sua própria fonte de abastecimento.

Diante disso, optou-se pela pré-seleção de soluções tecnológicas domiciliares com uso das fontes de água atualmente utilizadas pelos moradores para consumo, as quais foram objeto do monitoramento da qualidade da água no diagnóstico realizado.

Inicialmente foram considerados os poços superficiais utilizados nos domicílios 1, 2, 3, 5 e 6 como objetos de seleção das soluções de abastecimento de água para esses domicílios. A matriz tecnológica do PNSR propõe, para água captada de aquíferos livres e fontes individuais, as tecnologias de Desinfecção e Filtração lenta domiciliar seguida de desinfecção.

A desinfecção como etapa única, conforme apresentado no tópico 5.5.8, é aplicada em casos de inconformidade com a potabilidade somente dos parâmetros microbiológicos, ou como garantia de segurança microbiológica para o consumo de águas conformes aos padrões de potabilidade.

Frente aos resultados do monitoramento da qualidade da água realizado, apenas a água do poço P1 apresentou qualidade para a aplicação da desinfecção como solução de tratamento. Isso é possível já que os parâmetros de turbidez, cor aparente e sólidos totais dissolvidos apresentaram-se abaixo do VMP durante todo o período de monitoramento, com presença de *E.coli*, em inconformidade com o estipulado pela Portaria nº888/21.

Considerou-se como possíveis métodos de desinfecção, as tecnologias apresentadas no tópico 5.5.8, constituídos por cloração, desinfecção solar e desinfecção UV, a fim de colher do próprio morador, a partir dos pontos positivos e de atenção de cada método, o expresso como de sua preferência.

Além da desinfecção, a filtração lenta domiciliar também foi considerada como possível solução de tratamento da água do poço para o domicílio 1. Essa escolha justifica-se pelo fato de que, apesar dos valores de coliformes totais e *E. coli* observados na água bruta, estudos como o de Maciel (2018) demonstraram uma remoção de 2 log em densidades na ordem de 10^3 utilizando filtros lentos em diferentes modos de operação.

Para os demais domicílios abastecidos com poços superficiais, a proposição de soluções incluiu apenas a filtração lenta domiciliar, já que nos poços P2, P3 e P5 foram identificadas amostras em inconformidade com o VMP de turbidez e cor aparente da Portaria nº888/21, enquanto no poço P6 apresentou inconformidade apenas em relação à cor aparente durante o período de chuva.

Frente a limitação de volume diário de água produzido por essa tecnologia, uma vez que opera com taxas de filtração baixas de até 9,6 m/dia, considerou-se a possibilidade de implantação de filtros lentos de maior área em planta, operados em modo contínuo e instalados na área externa domicílio. Essas unidades possibilitariam a geração de maior volume de água tratada por dia, o que poderia ser suficiente inclusive para outros usos, além do consumo, higiene pessoal e cocção, como a irrigação.

A água do poço P2 apresentou picos de turbidez acima do valor de 10 uT, nível recomendado para a água a ser tratada por filtração lenta pois garante maior eficiência da tecnologia e maiores carreiras de filtração, apesar disso os valores estiveram abaixo do valor de 50 uT, disposto pela CAWST como máximo de turbidez para a água bruta a ser tratada por essa tecnologia.

Como alternativa de pré-tratamento ou condicionamento da água bruta para adequação de sua turbidez ao valor de 10uT foi considerada a possibilidade da realização de uma etapa de coagulação com coagulantes naturais, seguida de floculação e decantação precedendo a filtração lenta, o que aumentaria a eficiência do filtro lento e reduziria sua frequência de manutenção.

É importante destacar que a adição dessas etapas aumentaria a complexidade do sistema, devido a fatores como: a necessidade de estudos de tratabilidade para avaliação da eficiência da coagulação; operação do sistema em batelada, o que aumentaria a frequência de intervenções na operação; e a geração de resíduos na decantação, decorrendo no aumento da frequência de manutenção. Diante disso, é necessário, em conjunto com os moradores, ponderar essas questões, a fim de avaliar, a partir dos critérios de caracterização das tecnologias, a solução com maior potencial de sustentabilidade para esse domicílio.

Outra importante limitação da filtração lenta é sua baixa eficiência na remoção de cor verdadeira da água. Foram encontrados valores superiores ao recomendado de 5uC em amostras pontuais da água dos poços P1, P2 e P3, todas, porém em menos de 10% das amostras coletadas durante o monitoramento. Como apresentado no tópico 5.2.2, a presença

dos sólidos dissolvidos ou coloidais causadores de cor verdadeira pode estar ligado ao seu carreamento para o interior do poço, o que pode ser reduzido pela melhoria nas estruturas de proteção dos poços.

Quanto ao poço tubular do domicílio 4, as análises de qualidade da água apontaram para altos níveis de turbidez e cor verdadeira, acima dos valores máximos permitidos para esses parâmetros na Portaria nº888/21, além disso, foram detectados teores de ferro total acima de 0,3 mg/L, valor máximo permitido para a água destinada a consumo humano. As alternativas indicadas pela matriz tecnológica do PNSR para o tratamento de água de aquífero confinado são desinfecção e filtração lenta domiciliar seguida de desinfecção, porém essas alternativas tecnológicas não removem ferro total.

Portando, foi proposta uma solução alternativa às apresentadas pela matriz tecnológica do PNSR. Registra-se que a partir do monitoramento de qualidade de água no domicílio 4, em conjunto com a entrevista semiestruturada realizada e as interações ocorridas entre os moradores e os pesquisadores, os moradores do domicílio desenvolveram e instalaram um sistema de tratamento da água para remover o ferro.

A solução instalada é constituída de adição de cal hidratada à água captada do poço que em uma caixa d'água de 500 litros, seguido de decantação com o tempo de detenção de 2 dias. A água clarificada é filtrada através de um sistema constituído por um filtro de acrílico, um filtro de carvão ativado e outro filtro de acrílico. A água filtrada é bombeada para o reservatório de água tratada e utilizada em diferentes atividades domésticas incluindo o consumo.

A Figura 5.55 apresenta o sistema de tratamento de água instalado pelos moradores do domicílio 4.



Figura 5.55 - (a) Visão geral do sistema de tratamento de água instalado pelos moradores do domicílio 4 (b) filtros de acrílico e filtro de carvão ativado.

A proposta de solução de abastecimento para esse domicílio foi desenvolvida considerando adaptações no referido sistema para otimização da tecnologia de forma a tornar a operação mais simples e barata assim como aumentar a sustentabilidade da solução já instalada levando em consideração os critérios de seleção definidos de tecnologias definidos previamente. É importante mencionar que, a partir de análises da água tratada pelo sistema instalado, identificou-se a redução dos níveis de turbidez, cor aparente, ferro total e *E.coli* a níveis que atendem o padrão de potabilidade de estabelecido na Portaria nº888/21.

O sistema instalado alcança a remoção do ferro total a partir do aumento do pH pela adição de cal hidratada, seguida de decantação e filtração. Inicialmente a adição de cal hidratada promove a precipitação da espécie de ferro dissolvida (Fe^{2+}) denominada de íon ferroso, como carbonatos em pH superiores a 8,5 e hidróxidos em pH a partir de 11 (Moruzzi e Reali, 2012).

Esta etapa, porém, é realizada pelos moradores sem critérios, com adição arbitrária de cal hidratada, com o contato direto com a substância, sem utilização de proteção. Segundo as Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) da Cal hidratada, existem riscos associados à sua ingestão em grandes quantidades, como irritação e queimaduras da boca, garganta, esôfago e estômago, podendo gerar, em casos mais graves, danos ao trato digestivo. A inalação pode provocar irritações das vias respiratórias em diversos graus, e contato com a pele os olhos, causa irritação, vermelhidão e inchaço.

Além dos riscos à saúde, o uso de cal hidratada como agente oxidante, no sistema instalado pelos moradores, promove a oxidação e decantação das espécies de ferro com um tempo de contato de dois dias, o que traz dificuldades no acesso à água tratada para os usos no

domicílio. Isso indica que para o aumento da velocidade de precipitação é necessária a adição de maior quantidade de cal.

Moruzzi e Reali (2012) citam que o processo de aeração-filtração é um dos métodos mais utilizados para a remoção ferro por oxidação e geralmente é o processo recomendado para remover ferro em concentrações altas de ferro, a partir de 5 mg/L, nos quais seriam necessárias grandes quantidades de produtos químicos. Os autores recomendam ainda que seja utilizada sedimentação em concentrações acima de 10 mg/L.

Para eliminar o uso de produto químico e otimizar a precipitação do ferro foi proposta aos moradores como alternativa à cal hidratada a aplicação de aeração da água por meio de 6 bombas de ar que garante uma relação estequiométrica de 4 mols de Fe^{2+} para 1 mol de O_2 , que de acordo com Moruzzi e Reali (2012) garantem uma efetiva oxidação do Ferro ferroso (Fe^{2+}) em hidróxido férrico insolúvel ($Fe(OH)_3$).

A velocidade do processo, segundo Moruzzi e Reali (2012), depende do pH, temperatura e concentração de oxigênio. A liberação de oxigênio em excesso tem como objetivo aumentar a velocidade da reação de oxidação, o que, caso não seja plenamente alcançado, pode ser complementado pela elevação de pH com adição de uma quantidade de cal hidratada, seguindo orientações de segurança da FISPQ, como a utilização de luvas e máscara para manuseio.

A aeração apresenta ainda, como vantagem adicional, a promoção de um certo nível de mistura e agitação da água que melhora a distribuição do agente oxidante favorecendo a agregação das partículas coloidais de hidróxido de ferro, resultando uma decantação mais eficiente da água.

Após a aeração foi sugerida a manutenção das etapas de decantação e filtração da água clarificada através dos filtros já instalados no sistema, com objetivo de promover a remoção das partículas de hidróxido de ferro e alcançar residuais de ferro total na água tratada menor que 0,3 mg/L como estabelecido na Portaria nº888/21. Pretende-se com essas adaptações, promover em um processo de tratamento mais rápido e com menor impacto ambiental e riscos à saúde.

Quanto ao resíduo gerado na decantação propôs-se a remoção por descarga de fundo em um recipiente plástico, exposição ao sol para secagem e posterior disposição no solo. Foi

recomendada a disposição em diferentes áreas, distantes do poço e de forma dispersa, para evitar acumulação e possíveis impactos ao solo e à flora.

Por fim, assim como para os demais domicílios, foi proposto um dos três métodos de desinfecção apresentados no tópico 5.5.8, a fim de ter sua escolha realizada pelo morador, de acordo com sua percepção dos pontos fortes e limitações de cada método.

Visando garantir a adequação da qualidade da água bruta às soluções tecnológicas de tratamento a serem implantadas nos domicílios, e a garantia da qualidade da água pós-tratamento, foram propostas ações complementares específicas para alguns domicílios e ações comuns a todos os domicílios.

Para o domicílio 1 foi proposta a melhoria da proteção estrutural do poço, dado o risco de contaminação da água como consequência da precariedade das estruturas existentes, conforme ilustrado na Figura 5.56. Recomendou-se a verificação da integridade do revestimento interno, do selo sanitário e do beiral, além da substituição da tampa por uma que assegure a vedação superior do poço.



Figura 5.56 - Condições estruturais do poço no domicílio 1.

No domicílio 2, a profundidade de 27 metros do poço superficial não tem sido suficiente para garantir volume de água diante do rebaixamento do nível d'água na época de seca, impedindo inclusive a captação de água por alguns meses. Frente a essa realidade recomendou-se o aumento da profundidade do poço como tentativa de aumento da disponibilidade de água ao longo do ano. Ademais, recomendou-se aumentar a distância entre a bomba e o fundo do poço, de forma a reduzir a presença de partículas sólidas na água captada, diminuindo os picos de turbidez e cor aparente da água a ser tratada por filtração lenta.

A ação complementar específica proposta para o domicílio 3 contemplou o reposicionamento da fossa séptica biodigestora para uma maior distância do poço P3. Por meio dos mapas confeccionados na etapa de caracterização ambiental, apresentados no tópico 5.2.3, foi identificado que a fossa está localizada no raio de 15 metros de distância do poço do domicílio. Essa distância é a mínima estipulada pela ABNT NBR 17076/24, referente a normas para projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte.

Para o domicílio 4 foi proposta a instalação das 6 bombas de ar de aquário com difusores para oxidação de ferro por aeração no sistema já existente, além da realização de descargas de fundo do reservatório de decantação e limpeza dos filtros. Sugeriu-se também a implementação de canalização interna no domicílio, que atualmente conta com apenas um ponto de acesso para todos os usos, com o objetivo de aumentar a acessibilidade à água pelos moradores.

A principal ação complementar recomendada ao domicílio 5 foi a instalação de um sistema de tratamento das águas residuárias, tendo em vista que neste domicílio os esgotos são dispostos em fossa rudimentar. Foi sugerida a instalação de fossa séptica biodigestora, que é a tecnologia implantada em vários domicílios do assentamento, considerando que foi relatado pelos moradores a existência de uma unidade dessa fossa instalada em uma parcela desocupada do assentamento, a qual pode ser realocada. Adicionalmente, foi sugerida a instalação dessa fossa biodigestora em distância superior à 15 metros, respeitando o disposto na ABNT NBR 17076/2024.

Já para o domicílio 6, a principal intervenção proposta foi a construção ou instalação de uma nova fossa séptica, de acordo com as normas técnicas e em diferente localização, considerando que a fossa atual se encontra próxima ao poço superficial e em cota superior, o que favorece a contaminação da água captada pelo contato da água com o efluente da fossa.

Como ação complementar comum, a fim de reduzir os riscos de contaminação da água captada nos poços pelo efluente da fossa séptica, que pode contaminar o lençol freático em casos de posicionamento incorreto ou vazamentos, foi sugerida a realização anual de inspeção do nível de lodo na fossa e das condições operacionais do sistema, assim como limpeza do sistema por uma empresa especializada, que deve ser realizada a cada 5 anos.

Por fim, recomendou-se também a limpeza semestral do reservatório de água dos domicílios. Esta prática tem como objetivo a prevenção contra recontaminações da água tratada mediante a solução tecnológica a ser implantada, eliminando acúmulo de sólidos e inibindo

o desenvolvimento de bactérias que podem comprometer a qualidade da água para o consumo.

A Tabela 5.33 contém um resumo das soluções de abastecimento de água e ações complementares para os domicílios do Assentamento Pequeno William.

Tabela 5.33 - Resumo das soluções de abastecimento de água e ações complementares no Assentamento Pequeno William

D	Tecnologias de tratamento	Desinfecção	Ações complementares	
1	Desinfecção ou Filtração lenta domiciliar		Melhoria da estrutura de proteção do poço superficial (revestimento interno, selo sanitário, beiral, tampa de vedação).	
2	Filtração lenta domiciliar		Aprofundamento do poço e elevação da bomba submersa.	
3	Filtração lenta domiciliar	Cloração, desinfecção solar ou desinfecção UV	Reposicionamento da fossa séptica biodigestora para distância superior a 15 metros.	Inspeção anual do nível de lodo na fossa e limpeza por empresa especializada a cada 5 anos. Limpeza semestral do reservatório de água tratada.
4	Oxidação + Sedimentação + Filtração		Instalação de 6 bombas de ar e difusores para aeração. Instalação de canalização interna no domicílio.	
5	Filtração lenta domiciliar		Substituição da fossa rudimentar por fossa séptica biodigestora, ao menos, 15 metros de distância do poço.	
6	Desinfecção ou Filtração lenta domiciliar		Construção ou instalação de nova fossa séptica de acordo com as normas da ABNT NBR 17076:2024.	

5.7. SELEÇÃO DA SOLUÇÃO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM PARTICIPAÇÃO DAS COMUNIDADES

5.7.1. Ecovila Terra Sublime

A seleção da solução de abastecimento de água para a Ecovila Terra Sublime foi feita em uma reunião realizada com integrantes da comunidade no dia 26/07/2025 com 3 horas de duração. Participaram da reunião 5 integrantes da comunidade, incluindo líderes comunitários e uma convidada externa. O local da reunião foi a casa coletiva da comunidade.



Figura 5.57 - Reunião Participativa na Ecovila Terra Sublime.

Os participantes se mostraram muito interessados no entendimento dos parâmetros de qualidade da água, principalmente a dureza e da densidade de *Escherichia coli*, enriquecendo a apresentação com questionamentos e reflexões que propiciaram uma compreensão mais profunda dos resultados de qualidade física, química e microbiológica da água que a comunidade consome.

A comunidade também mostrou interesse pelos critérios que caracterizam as tecnologias de tratamento e que são adotados na escolha da solução mais viável para a comunidade, manifestando, inclusive, interesse no acesso a descrição dos critérios definidos neste trabalho para caracterização das tecnologias, a fim de utilizá-los na seleção de soluções estruturais em outros contextos na comunidade.

O resultado da aplicação da matriz de priorização de critérios na comunidade está apresentado na Tabela 5.34. Os níveis de prioridade atribuídos pelos participantes foram sistematizados de forma a apresentar a ordem de prioridade na percepção da comunidade.

Tabela 5.34 - Resultados da aplicação da matriz de priorização de critérios de seleção de tecnologia da Ecovila Terra Sublime

Prioridade	Critério	Nível
1	Sustentabilidade	Alta
2	Confiabilidade	Alta/Média
3	Custos de operação	Baixos
4	Custos de manutenção	Baixos
5	Complexidade de manutenção	Baixa/Média
6	Impacto ambiental	Baixo
7	Complexidade de operação	Baixa/Média
8	Frequência de manutenção	Baixa/Média
9	Frequência de intervenção	Baixa
10	Requerimento energético	Baixo/Médio

É possível notar que a sustentabilidade no tempo e a confiabilidade da solução a ser implantada na comunidade foram os critérios com maior nível de prioridade, o que indica que para a comunidade é essencial a implantação de soluções com maiores chances de adaptação à realidade do contexto em que está inserida e a eficiência de tratamento. A preferência pelos custos reduzidos também tem um alto nível de prioridade para a comunidade, o que pode se dever às dificuldades de divisão das despesas de manutenção do sistema de abastecimento de água no contexto comunitário.

Por outro lado, a frequência de intervenção e manutenção da solução de abastecimento não é considerada de alta prioridade por maior parte da comunidade. Esse fato, porém, reflete um desafio apresentado por alguns moradores, os quais relataram que as atividades manuais de operação e manutenção do sistema já existente é normalmente realizado sempre realizado por um pequeno grupo, devido à falta de engajamento comunitário para essas atividades.

O requerimento energético da tecnologia não foi considerado pela comunidade como um critério de grande preocupação, o que pode estar ligado a menor tarifa paga na zona rural do Distrito Federal, quando comparada a tarifa paga nas áreas urbanas, fato que foi relatado por um dos moradores durante a reunião.

Durante a apresentação das soluções tecnológicas de FIME, Tratamento Convencional (Salta-z) e métodos de desinfecção, os participantes realizaram diversos questionamentos com o objetivo de compreender a aplicabilidade de cada uma das possíveis soluções ao sistema de distribuição de já existente na comunidade.

A aplicação da metodologia de Grupo Focal foi realizada com um único grupo, e o resumo das percepções coletadas durante a metodologia está apresentado na Tabela 5.35.

Tabela 5.35 - Percepções dos moradores coletadas durante a aplicação da metodologia de Grupos Focais

Aspectos	Percepções
Filtração em Múltiplas Etapas (FIME)	
Gerais	A comunidade demonstrou interesse na tecnologia devido à sua eficiência na remoção de microrganismos e a possibilidade de utilização da filtração lenta em escala coletiva ou domiciliar.
Pontos positivos	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilidade de aproveitamento da caixa de decantação já existente na comunidade com ajustes operacionais para a adequação da qualidade da água bruta à filtração; • Eficiência na remoção de microrganismos sem utilização de químicos; • Baixa frequência de intervenção e manutenção; • Possibilidade de utilização da filtração lenta com pré-tratamento em escala domiciliar.
Ressalvas	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de amadurecimento das unidades que integram o sistema FiME; • Risco de entrada de animais no sistema caso seja aberto ao ambiente; • Baixo volume de água produzido diariamente devido às baixas taxas de filtração do filtro lento que não atendem à demanda de consumo da comunidade.
Tratamento Convencional	
Gerais	A comunidade não demonstrou interesse pela tecnologia devido à utilização de produtos químicos e a geração de resíduos que impactam o meio ambiente.
Pontos positivos	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilidade de redução da dureza da água pelo filtro de zeólita; • Flexibilidade operacional;
Ressalvas	<ul style="list-style-type: none"> • Resistência da comunidade à adição de produtos químicos na água (sulfato de alumínio e cloro); • Possibilidade de rejeição da água submetida à desinfecção devido ao gosto conferido pelo cloro; • Maiores custos operacionais pela necessidade de reposição de produtos químicos; • Geração de resíduos (lodo da decantação e lavagem do filtro) que impactam o ambiente; • Alta frequência de intervenções na operação do sistema por ser operado em batelada.

Tabela 5.36 - Percepções dos moradores coletadas na metodologia de Grupos Focais (Continuação)

Aspectos	Percepções		
	Desinfecção		
	Cloração	Desinfecção solar	Desinfecção UV
Gerais	A comunidade demonstrou interesse pela desinfecção solar, por não usar de produtos químicos e ter baixo ou nenhum requerimento energético.		
Pontos positivos	NA	<ul style="list-style-type: none"> • Desinfecção sem uso de químicos; • Baixo requerimento energético. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desinfecção sem uso de químicos;
Ressalvas	<ul style="list-style-type: none"> • Resistência da comunidade ao uso de produtos químicos na água; • Resistência ao consumo de água tratada com cloro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiência da desinfecção dependente das condições climáticas; • Preocupações com limitação no volume de água a ser tratado por este método. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificuldades de instalação de ponto de energia no local de instalação do sistema; • Desafios com a manutenção do sistema; • Instabilidade do fornecimento de energia elétrica na comunidade.

Legenda: NA = Não apresentado pelos participantes.

De forma geral, os participantes demonstraram preferência pela tecnologia de Filtração em Múltiplas Etapas (FIME), devido a que os mecanismos envolvidos no tratamento da água são naturais. Outros fatores que contribuíram para a preferência por esta tecnologia foram a baixa complexidade operacional e de manutenção, assim como os custos reduzidos em comparação ao tratamento convencional e alta eficiência de remoção de microrganismos sem necessidade de usar produtos químicos.

Os moradores reforçaram o desejo de que a caixa em que é realizada a decantação permaneça no futuro sistema de abastecimento, principalmente por servir como reserva de água para momentos de intermitência do bombeamento por falta de energia elétrica, além de constituir uma etapa de pré-tratamento da água afluente ao sistema de filtração lenta. De forma conjunta com os moradores foi proposta uma alteração na entrada da água nessa caixa, de forma a evitar curto-circuito no sistema, e, dessa forma, melhorar a eficiência da decantação.

Além disso, a comunidade se interessou pela possibilidade de instalação de sistemas de filtração lenta domiciliares, de forma que cada domicílio disponha de sistema de tratamento próprio. Foi percebido que essa possibilidade foi considerada pelo grupo devido a que poucos membros da comunidade se dedicam à manutenção do sistema de abastecimento coletivo atual e se sentem sobrecarregados com a execução dessa atividade.

Nesse contexto, foi apresentada aos moradores a alternativa de filtros lentos domiciliares com área superficial que garanta a produção de volume de água que supra a demanda para todos os usos do domicílio.

Quanto à desinfecção, a comunidade demonstrou interesse pelo método de desinfecção solar, por sua baixa complexidade e baixo impacto ambiental. A cloração não teve adesão tendo em vista a resistência da comunidade à adição de produtos químicos na água, e ao gosto conferido pelo cloro. Já a desinfecção UV encontrou como barreiras a dificuldade de instalação de ponto de energia no local em que será implantado o sistema de tratamento coletivo e a necessidade de limpeza e manutenção do sistema de desinfecção, o qual seria prejudicado pelas intermitências no serviço de energia elétrica.

Em relação às ações complementares propostas, os participantes se mostraram abertos a levar as pautas apresentadas às reuniões realizadas frequentemente em que participam todos os membros da comunidade. Ressalta-se a ação voltada para melhorias na unidade de decantação do sistema de abastecimento foi a de maior preocupação por parte dos participantes da reunião.

O processo participativo proporcionou melhor entendimento da comunidade sobre a qualidade da água proveniente da fonte de abastecimento disponível, além de proporcionar uma reflexão sobre possíveis estratégias de solução dos problemas atuais que a comunidade enfrenta no abastecimento de água. Durante o encontro os membros da comunidade participaram de forma ativa manifestando dúvidas e percepções sobre as soluções de abastecimento propostas.

Como resultado do processo participativo a comunidade selecionou a solução de abastecimento não só técnica e economicamente viável, mas também culturalmente adequada. A solução escolhida está de acordo com os princípios e valores prezados pelos moradores, que são principalmente centrados na preservação do meio ambiente e na sustentabilidade da tecnologia ao longo do tempo.

5.7.2. Assentamento Pequeno William

No Assentamento Pequeno William, a apresentação dos resultados foi realizada individualmente para os moradores dos domicílios 1, 3 e 4.

Nos domicílios 2 e 5, a apresentação não pôde ser realizada em razão da ausência temporária dos moradores, que se encontravam fora da comunidade durante o período dedicado a essa atividade por problemas pessoais. Já no domicílio 6, optou-se por não aplicar a metodologia participativa para escolha da solução de abastecimento, pois durante a fase da aplicação da entrevista semiestruturada o único morador do domicílio mostrou dificuldades de compreensão dos objetivos da pesquisa. Além disso se dispersava frequentemente abordando assuntos não relacionados ao tema objeto do estudo.

Ressalta-se que as propostas serão posteriormente reapresentadas aos moradores em formato simplificado, de modo a assegurar o retorno dos resultados obtidos.

5.7.2.1. Domicílio 1

O encontro para apresentação dos resultados do diagnóstico e escolha da solução de abastecimento do domicílio 1 foi realizado com o morador no dia 18/07/2025, com duração de aproximadamente de 1 hora. O próprio domicílio foi o local de realização da apresentação, na área externa do domicílio escolhida pelo próprio morador, conforme apresentado pela Figura 5.58.



Figura 5.58 - Apresentação para morador no Domicílio 1 do Assentamento Pequeno William.

Na apresentação dos resultados do monitoramento da qualidade da água do domicílio se deu destaque à densidade de *Escherichia coli* e ao risco microbiológico associado ao consumo da água do poço P1 sem tratamento, considerando que os demais parâmetros monitorados atenderam a potabilidade. O morador demonstrou preocupação ao compreender o risco que os integrantes do domicílio atualmente consomem água com qualidade microbiológica não apresenta conformidade com a legislação nacional sobre potabilidade da água.

A apresentação dos critérios de caracterização das tecnologias de tratamento foi realizada empregando recursos visuais para auxílio na compreensão por parte do morador, considerando o seu baixo nível de escolaridade. Apesar dos desafios de compreensão dos termos técnicos a priorização dos critérios foi possível com o auxílio do pesquisador. A Tabela 5.36 apresenta a ordem de prioridade dos critérios de seleção de tecnologias definida pelo morador do domicílio 1.

Tabela 5.36 - Ordem de prioridade dos critérios de seleção de tecnologias de tratamento de água estabelecida pelo morador do domicílio 1

Prioridade	Critério	Nível
1	Complexidade de operação	Baixa
2	Complexidade de manutenção	Baixa
3	Requerimento energético	Baixo
4	Custos de operação	Baixos
5	Custos de manutenção	Baixos
6	Confiabilidade	Alta
7	Sustentabilidade	Alta
8	Impacto ambiental	Baixo
9	Frequência de manutenção	Baixa/Média
10	Frequência de intervenção	Baixa/Média

Os níveis de prioridade elencados pelo morador evidenciam a maior importância dada à simplicidade do sistema, que é coerente com o baixo nível de escolaridade do morador. Além disso, os níveis de priorização do requerimento energético e dos custos indicam a preocupação do morador com o aspecto financeiro, tendo em vista a baixa renda do domicílio.

Um aspecto que deve ser destacado é a baixa prioridade dada a frequência de manutenção e intervenção, o que reflete a disposição do morador para realizar intervenções no sistema de tratamento, desde que este possua eficiência e simplicidade operacional e de manutenção. Dessa forma, na opinião do morador uma frequência de intervenção/manutenção média ou alta é necessária para melhor controle do funcionamento e da eficiência do sistema.

As propostas de solução tecnológica de tratamento de água, também foram apresentadas por meio de imagens e ícones a fim de facilitar a compreensão dos mecanismos, pontos positivos e pontos de atenção das tecnologias, além da caracterização com base nos critérios de seleção definidos.

Destaca-se que, apesar da qualidade da água bruta do poço do domicílio permitir o tratamento por desinfecção, o morador mostrou -se aberto a instalação da filtração lenta domiciliar devido a sua eficiência na inativação de microrganismos mais resistentes como protozoários.

O morador apresentou preocupação inclusive com a qualidade microbiológica da água utilizada para irrigação de sua produção agroecológica. Diante disso foi proposta a instalação de uma unidade de maior área superficial, o que possibilita a produção de maior volume de água para todos os usos. Para inativar microrganismos remanescentes na água filtrada e conferir maior segurança microbiológica a água, o morador optou pela desinfecção com cloro empregando um clorador simplificado, como o desenvolvido pela Brasil (2019c), instalado a montante do reservatório de água tratada.

A Tabela 5.37 apresenta um resumo das percepções do morador sobre as soluções tecnológicas apresentadas.

Tabela 5.37 - Percepções do morador do domicílio 1 sobre as soluções de abastecimento propostas

Aspectos	Percepções		
Simples Cloração			
Gerais	O morador se mostrou aberto ao uso da desinfecção por cloração com clorador simplificado na saída do poço ou pós filtração lenta.		
	Cloração	Desinfecção Solar	Desinfecção UV
Pontos positivos	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicidade operacional • Possibilidade de desinfecção da água para todos os usos. 	NA	NA
Ressalvas	<ul style="list-style-type: none"> • Ineficiência na inativação de protozoários e vírus 	<ul style="list-style-type: none"> • Dependência das condições climáticas 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto requerimento energético • Altos custos de manutenção
Filtração lenta domiciliar			
Gerais	O morador demonstrou interesse pela instalação da tecnologia para tratamento da água para múltiplos usos no domicílio.		
Pontos positivos	<ul style="list-style-type: none"> • Alta eficiência de remoção de microrganismos, inclusive de microrganismos resistentes como protozoários; • Possibilidade de instalação de unidade com maior área superficial para tratamento da água para consumo, cocção, higiene pessoal e irrigação. 		
Ressalvas	<ul style="list-style-type: none"> • Limitação do volume de água produzido por uma unidade domiciliar de menor área superficial. 		

Legenda: NA = Não apresentado pelos participantes.

Apesar dos desafios de compreensão do morador, a apresentação dos diagnósticos e a proposta de soluções, foi bem-sucedida, sendo possível perceber o aumento do interesse do morador, à medida que as etapas da pesquisa foram avançando, pela instalação de um sistema confiável de tratamento de água, eficiente na remoção de microrganismos para conformidade da água consumida com a legislação de potabilidade de água.

Por último, o morador se mostrou aberto a executar as ações complementares propostas para a melhoria do abastecimento de água, compreendendo a importância da melhor proteção do poço para garantia de uma melhor qualidade da água bruta captada.

5.7.2.2. Domicílio 3

Assim como no domicílio 1, o encontro para apresentação dos resultados do diagnóstico e das propostas para os dois moradores do domicílio 3 foi realizado no dia 18/07/2025, com cerca de 1 hora e 30 minutos, na área externa da residência, local escolhido pelos próprios moradores. A Figura 5.59 apresenta imagens da reunião realizada.



Figura 5.59 - Apresentação aos moradores do Domicílio 3 do Assentamento Pequeno William.

Na apresentação dos resultados do diagnóstico de qualidade, foi dado ênfase aos parâmetros turbidez, cor aparente e *Escherichia coli*, os quais se apresentaram não conformidade com os padrões de potabilidade da Portaria nº888/21. Os moradores manifestaram dúvidas sobre a qualidade da água do domicílio, as quais sanadas pelos pesquisadores.

A participação dos moradores também foi notável na metodologia de priorização de critérios, a qual foi realizada com auxílio dos pesquisadores. A ordem de prioridades definida pelos moradores encontra-se na Tabela 5.38.

Tabela 5.38 - Ordem de prioridade dos critérios de acordo com o morador do domicílio 3.

Prioridade	Critério	Nível
1	Sustentabilidade	Alta
2	Impacto ambiental	Baixo
3	Confiabilidade	Alta
4	Complexidade de operação	Baixa
5	Complexidade de manutenção	Baixa/Média
6	Frequência de intervenção	Baixa
7	Frequência de manutenção	Baixa
8	Requerimento energético	Baixo
9	Custos de operação	Baixos
10	Custos de manutenção	Baixos

Para os moradores do domicílio a alta sustentabilidade ao longo do tempo da solução considerada como critério de maior relevância, seguido do baixo impacto ambiental, o que é coerente com a resistência de ambos os moradores à aplicação de produtos químicos no tratamento da água. A confiabilidade da solução também se apresentou como um ponto de alta importância para os moradores.

Por outro lado, o requerimento energético e os custos foram os que receberam menor nível de prioridade neste domicílio, apesar de sua baixa renda, o que reflete a maior relevância dada pelos moradores à eficiência da solução do que aos custos relacionados a essa.

A explicação das propostas de abastecimento de água foi realizada dando destaque à filtração lenta domiciliar como solução de tratamento de água, seguida das alternativas de desinfecção. Conjuntamente com os mecanismos das tecnologias foi apresentada a caracterização dessas tecnologias com base nos critérios de seleção e os seus respectivos pontos positivos e de atenção.

As percepções dos moradores sobre as tecnologias de tratamento, obtidas por meio das questões semiestruturadas, encontram-se na Tabela 5.39.

Os moradores demonstraram um bom entendimento e abertura às propostas tecnológicas apresentadas, tanto de uma unidade de filtração em escala domiciliar com menor área de filtração, quanto de uma com maior área superficial instalada na área externa do domicílio, esta última alternativa sendo a de preferência dos moradores, possibilitando o tratamento de maior volume de água para todos os usos e garantindo o volume suficiente para consumo em situações em que recebem grupos de visitantes, o que é comum nesse domicílio.

Tabela 5.39 - Percepções dos moradores do domicílio 3 sobre as soluções propostas

Aspectos	Percepções		
Filtração lenta domiciliar			
Gerais	Os moradores mostraram-se abertos à instalação de uma unidade de filtração lenta domiciliar, seja de menor ou maior área de filtração.		
Pontos positivos	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiência na remoção de microrganismos, inclusive os mais resistentes, sem a utilização de produtos químicos. • Possibilidade de instalação de unidade de maior área de filtração para produção de água em volume para todos os usos do domicílio. 		
Ressalvas	<ul style="list-style-type: none"> • Limitação de volume produzido em uma unidade de menor área superficial. 		
Desinfecção			
Gerais	Os moradores manifestaram preferência pela desinfecção solar, devido a sua simplicidade e não necessitar produtos químicos.		
	Cloração	Desinfecção solar	Desinfecção UV
Pontos positivos	NA	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicidade e baixos custos; • Inativação de microrganismos sem o uso produtos químicos. 	NA
Ressalvas	<ul style="list-style-type: none"> • Resistência à adição de produtos químicos na água; • confere de sabor à água. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiência dependente das condições climáticas. • Funcionamento do sistema em batelada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos custos de manutenção; • Alto requerimento energético.

Legenda: NA = Não apresentado pelos participantes.

A desinfecção solar foi o método de melhor adesão por parte dos moradores, tendo em vista sua resistência ao consumo de água com adição de produtos químicos, e conseqüentemente à cloração. Por outro lado, houve ressalvas quanto a adoção da desinfecção UV pelo seu maior custo e requerimento energético.

Apesar das limitações relacionadas à dependência de fatores climáticos para obtenção de inativação efetiva de microrganismos por parte da desinfecção solar, não se considera essa vulnerabilidade da tecnologia como um fator que comprometa a conformidade da água tratada com o estabelecido na Portaria nº 888/21. Isto se deve ao fato de que essa etapa será precedida de um filtro lento, o qual possui eficiência na inativação microbiológica.

Por fim, as ações complementares também tiveram adesão dos moradores, os quais relataram o planejamento já existente para a mudança do ponto de lançamento dos efluentes da fossa séptica biodigestor para local mais distante do poço P3, a fim de reduzir os riscos de contaminação da água dessa fonte.

5.7.2.3. Domicílio 4

A reunião com um dos moradores do domicílio 4 foi realizada no dia 07/08/2025, com duração aproximada de 1h30 em um local na área externa do domicílio, escolhido pelo morador. Fotos do momento da apresentação estão exibidas na Figura 5.60.



Figura 5.60 - Apresentação dos diagnósticos e das soluções de abastecimento propostas para morador do Domicílio 4 do Assentamento Pequeno William.

Na apresentação dos resultados do monitoramento da qualidade da água da fonte de abastecimento do domicílio foi dado destaque à turbidez, cor verdadeira e ao ferro total, com maior ênfase para o último parâmetro, por sua influência considerável na qualidade da água captada no poço.

O morador teve excelente entendimento dos resultados e dos critérios de seleção das tecnologias de tratamento de água. A priorização desses critérios definidas pelo morador está apresentada na Tabela 5.40.

Tabela 5.40 - Ordem de prioridade dos critérios de acordo com o morador do domicílio 4

Prioridade	Critério	Nível
1	Sustentabilidade	Alta
2	Confiabilidade	Alta
3	Frequência de intervenção	Baixa
4	Impacto ambiental	Baixo
5	Custos de operação	Baixos
6	Custos de manutenção	Baixos
7	Complexidade de operação	Baixa/Média
8	Complexidade de manutenção	Baixa/Média
9	Frequência de manutenção	Baixa/Média
10	Requerimento energético	Baixo/Médio

O resultado da priorização dos critérios realizada pelo morador reflete a importância dada à sustentabilidade e à confiabilidade da solução tecnológica, devido à demanda por água de qualidade no domicílio e os atuais desafios relacionados com o elevado teor de ferro da água do poço.

Os menores níveis de prioridades foram dados à complexidade de operação e manutenção, já que o morador se mostrou disposto a se capacitar para melhor entendimento de uma solução confiável e sustentável. No mesmo sentido, o representante do domicílio 4 mostrou-se disposto a efetuar as manutenções do sistema de tratamento com maior frequência. Por fim, elencou o requerimento energético como o de menor grau de prioridade devido à menor tarifa de energia que o domicílio paga por estar localizado na zona rural.

Além disso, o morador relatou o desejo de adaptação do sistema atual para um modo de operação contínuo, a fim de reduzir a frequência de intervenção, já que futuramente planeja-se o abastecimento de 4 residências dentro do domicílio pelo sistema, o que, em caso de operação intermitente, elevará a frequência de intervenção.

O resumo das percepções sobre as adaptações ao sistema existente propostas para o representante do domicílio encontra-se na Tabela 5.41.

Tabela 5.41 - Percepções do morador do domicílio 4 sobre as soluções propostas

Aspectos	Percepções		
Aeração			
Gerais	O morador se mostrou aberto à substituição do uso de cal hidratada por aeração para a efetuar a oxidação do Ferro (II) presente na água da fonte de abastecimento.		
Pontos positivos	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidação sem necessidade de manipulação de produtos químicos, com menores riscos à saúde; • Possibilidade de otimização do processo de oxidação do ferro, diminuindo o tempo de decantação da água. • Baixo custo de instalação de um sistema com bombas de ar e dispersores. • Aumento da carreira de filtração dos filtros de acrilon e carvão ativado pela substituição da cal hidratada pela aeração. 		
Ressalvas	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de testes para definição da vazão de ar a ser incorporado no reservatório de água bruta e do tempo de aeração necessário. • Aumento do consumo energético do sistema para realização da aeração. 		
Desinfecção			
Gerais	O morador demonstrou preferência pela cloração pela baixa complexidade, concentração residual e operação contínua.		
	Cloração	Desinfecção solar	Desinfecção UV
Pontos positivos	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa complexidade do clorador simplificado; • Confere concentração residual na água; • Possibilita operação contínua; • Baixa frequência de intervenção. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixos custos de operação e manutenção; 	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilita operação contínua. • Baixa frequência de intervenção.
Ressalvas	NA	<ul style="list-style-type: none"> • Operação em batelada; • Dependência das condições climáticas; • Não deixa residual de desinfectante na água 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos custos de manutenção; • Intermitências do serviço de energia elétrica; • Não deixa residual de desinfectante na água.

Legenda: NA = Não apresentado pelos participantes.

O morador mostrou-se aberto à instalação de um sistema de aeração em substituição à oxidação com cal hidratada para efetuar a remoção de ferro total. Apesar da necessidade de realização de testes para ajustes da vazão de ar alimentada ao sistema e do tempo de aeração e de decantação do precipitado de hidróxido de ferro, o morador considerou positiva a possibilidade de otimização do processo de tratamento pois evita-se manipulação de cal hidratada, compreendendo seus riscos à saúde.

O morador também manifestou a necessidade de operação contínua do sistema de tratamento, que atualmente opera em batelada, considerando que em médio prazo será necessário abastecer 4 domicílios no lote que atualmente estão em construção, o que demandará maior volume de água tratada de forma que a operação descontínua do sistema de tratamento será insuficiente para produzir o volume de água, fato que reforça a necessidade de substituir o uso de cal hidratada pela aeração para oxidação do ferro.

Por fim o morador demonstrou interesse pela cloração como método de desinfecção, pois no domicílio costumam consumir água clorada. Ainda a simplicidade operacional e de manutenção do clorador simplificado foram aspectos que contribuíram para a preferência pela cloração pois pode ser instalado na tubulação entre os filtros e o reservatório de água tratada, garantindo o tempo de contato necessário para inativação de microrganismos. Da mesma forma, a o residual de cloro na água tratada foi considerada um ponto importante para o morador.

A apresentação no domicílio foi marcada pelo interesse e envolvimento do morador nas questões sobre o abastecimento de água no domicílio, que manifestou a relevância que as etapas do presente estudo como os diagnósticos e a proposta de soluções de abastecimento de água foram cruciais para o entendimento do problema de qualidade da água presente no poço profundo do domicílio, o que decorreu, inclusive, na instalação do sistema de tratamento por iniciativa própria dos moradores.

De forma geral a realização das reuniões com aplicação das metodologias participativas da matriz de priorização e entrevista semiestruturada permitiu o envolvimento e coleta de percepções dos moradores de forma satisfatória, permitindo a seleção das soluções de abastecimento de água para cada domicílio do Assentamento Pequeno William a partir de, além dos critérios técnicos, aspectos socioeconômicos e culturais.

Foi possível identificar, a partir das reuniões realizadas, como as particularidades socioeconômicas, culturais, demográficas e cotidianas de cada domicílio influenciam na

percepção dos moradores sobre a adequação de cada tecnologia à sua realidade, o que é essencial para a instalação de soluções de abastecimento de água sustentáveis.

Diante disso, considera-se que a realização dessa etapa nos domicílios 2, 5 e 6 é essencial para o processo de seleção de soluções de abastecimento de água sustentáveis nesses domicílios. Pois mesmo que compartilhem fontes de abastecimento de água e aspectos ambientais semelhantes com os domicílios 1 e 3, possuem particularidades socioeconômicas, culturais, demográficas e cotidianas, o que é essencial para uma escolha de soluções visando a sustentabilidade.

6. LIMITAÇÕES

A realização e o desenvolvimento deste estudo estiveram sujeitos às seguintes limitações:

- As entrevistas semiestruturadas não contemplaram o nível de escolaridade dos entrevistados;
- O monitoramento da qualidade da água contemplou apenas os parâmetros de turbidez, cor aparente, cor verdadeira, pH, condutividade, coliformes totais e *Escherichia coli*, com coletas quinzenais, em razão de limitações logísticas, estruturais e de materiais;
- A Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) considerou apenas o patógeno *Escherichia coli* O157:H7, devido a limitações estruturais e de materiais, o que impediu a inclusão de patógenos mais resistentes, como protozoários;
- A densidade de *Escherichia coli* O157:H7 foi estimada como 8% da densidade de *Escherichia coli*, em função da inexistência de estudos epidemiológicos dessa cepa na região de estudo;
- Os critérios de caracterização das tecnologias não contemplaram aspectos econômicos, como custos de implantação, operação e manutenção, devido à escassez de estudos que apresentem esse tipo de levantamento;
- Foi realizada apenas uma reunião participativa em cada comunidade para apresentação dos resultados dos diagnósticos, proposição de soluções tecnológicas e aplicação de metodologias participativas, em razão da disponibilidade limitada dos moradores e do tempo de pesquisa;
- O estudo foi realizado em 6 dos 22 domicílios do Assentamento Pequeno William, sendo que, em apenas 3 deles, foi possível executar todas as etapas metodológicas, devido ao baixo engajamento inicial dos moradores, bem como a limitações de disponibilidade e compreensão por parte de alguns participantes;
- O monitoramento de qualidade da água da Ecovila contou com poucas análises da água da nascente Oriunda por limitações logísticas e difícil acesso desse manancial;
- As propostas de soluções não contemplaram estratégias de gestão e participação social, em função das limitações de tempo do estudo.

7. CONCLUSÕES

A partir dos estudos de caso de seleção de soluções de abastecimento de água nas comunidades Ecovila Terra Sublime e Assentamento Pequeno William, conclui-se que:

- As comunidades apresentam realidades socioeconômicas, culturais e fontes de acesso à água distintas (mananciais superficiais na Ecovila e mananciais subterrâneos no Assentamento), mas compartilham o desafio da inadequação da qualidade da água frente aos padrões da Portaria nº 888/21. A caracterização ambiental por geoprocessamento indicou a presença de animais silvestres devido ao cerrado preservado e o escoamento dos efluentes das fossas rudimentares e biodigestoras como possíveis fontes de contaminação das fontes de água na Ecovila e Assentamento, respectivamente.
- O consumo de água sem tratamento adequado em ambas as comunidades representa um risco real à saúde pública, o que foi confirmado pelos indicadores de probabilidade de infecção diária (Pinf) e Anos de Vida Perdidos por Incapacidade ou Morte (DALY) superiores aos limites recomendados pela USEPA e OMS na maioria dos cenários avaliados.
- A definição de critérios técnicos, ambientais, culturais e de sustentabilidade demonstrou ser uma ferramenta eficaz, permitindo a caracterização técnica das tecnologias apresentadas na matriz do Programa Nacional de Saneamento Rural.
- O cruzamento dos dados do diagnóstico com os critérios técnicos permitiu propor soluções para cada ruralidade. Foram propostas as tecnologias de Filtração em Múltiplas Etapas e sistema Salta-Z acompanhadas de desinfecção para a Ecovila, e Desinfecção, Filtração lenta e arranjo de Aeração, decantação e filtração como soluções individuais para os domicílios do Assentamento. Além disso foram propostas ações complementares como proteção de nascentes, adequação de fossas sépticas e limpezas de reservatórios de forma a aumentar as chances de sucesso das tecnologias.
- A aplicação de ferramentas participativas como matriz de priorização, grupos focais e entrevistas semiestruturadas em reuniões com as comunidades possibilitou a coleta de percepções dos moradores quanto às tecnologias propostas. Na Ecovila, houve preferência pela Filtração em Múltiplas Etapas e desinfecção solar, devido a

preferência por soluções de baixa complexidade, baixo custo e sem produtos químicos. No Assentamento, as soluções variaram de acordo com cada domicílio, com definição por tecnologias como Filtração Lenta domiciliar, Aeração, decantação e filtração, e desinfecção por cloração e solar. A priorização dos critérios se mostrou bastante plural, indicando as diferentes percepções de uma solução de abastecimento de água ideal para cada morador.

8. RECOMENDAÇÕES

Considera-se que este estudo possa contribuir com a seleção de soluções tecnológicas de abastecimento de água adequadas aos aspectos socioeconômicos, culturais, demográficos, ambientais e cotidianos de cada comunidade rural, favorecendo a sustentabilidade das soluções e a garantia do direito de acesso à água. Dessa forma, tendo em vista o caráter incipiente deste trabalho, recomenda-se:

- Inclusão de critérios econômicos na caracterização das soluções tecnológicas de tratamento de água da matriz tecnológica do PNSR a partir de uma análise de custos das tecnologias;
- Desenvolvimento de estratégias de gestão multiescalar para as soluções de abastecimento de água selecionadas nesse estudo, a fim de favorecer a sustentabilidade das soluções conforme apresentado pelo PNSR;
- Desenvolvimento de atividades de educação não formal para fortalecimento da participação social na gestão das soluções de abastecimento de água selecionadas neste estudo, conforme apresentado pelo PNSR;
- Instalação das soluções de abastecimento de água selecionadas nas comunidades rurais com vista a avaliar sua eficiência no tratamento da água das fontes de abastecimento de cada comunidade;
- Avaliar a apropriação das soluções de abastecimento de água instaladas pelas comunidades beneficiadas.
- Realização de estudos semelhantes em comunidades rurais de outros estados brasileiros, com diversidade socioeconômica, cultural, demográfica e ambiental;
- Propor metodologia de seleção de soluções de abastecimento de água para auxílio em política pública de seleção e instalação de soluções descentralizadas de abastecimento de água em comunidades rurais brasileiras a fim de colaborar com a universalização do saneamento básico e acesso à água no país;

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeyemo, F. E., Singh, G., Reddy, P., Bux, F., & Stenström, T. A. (2019). “Efficiency of chlorine and UV in the inactivation of *Cryptosporidium* and *Giardia* in wastewater.” In: *PLoS One*, 14(5).
- Aleixo, B., Rezende, S., Pena, J.L., Zapata, G. e Heller, L. (2016). “Direito Humano em Perspectiva: Desigualdades no Acesso à Água em uma Comunidade Rural do Nordeste Brasileiro”. In: *Ambiente & Sociedade*, 19(1), 63-84.
- Almeida, T. S., Lima, A. J., Souza, L. A. & Michelan, D. C. G. S. (2022). “Filtração em Múltiplas Etapas (FiME) modificada por materiais não convencionais.” In: – *Limnologia & tratamentos – Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, 9(3), 170-190.
- Alvarado-Rosales, R., Saavedra-Díaz, L.M. e Figueroa-Rodríguez, K.A. (2022). Barriers and bridges on water management in rural Mexico: From water-scarcity to accountability. In: *Water*, 14(21), 3433.
- Ander-Egg, E. (1978). *Introducción a las técnicas de investigación social: para trabajadores sociales*. 7. ed. Buenos Aires: Humanitas.
- Arêde, R.S.C. (2020). *Proposição de integração de sistemas fotovoltaicos com solução alternativa de tratamento de água Salta-z em área rural*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amapá, 113p.
- Arnal, J.M., García-Fayos, B., Verdú, G. e Lora, J. (2010). Ultrafiltration as a suitable technology for drinking water production in developing countries: a case study in Mozambique. In: *Desalination and Water Treatment*, 24, 248-251.
- Atengdem, J.P., Aloruk, A., Awuni, S., Apasiba, L., Awine, B., Atambire, A.R. e Alabani, F. (2024). “Evaluating community adoption and participation in water and sanitation interventions in the Bongo District, Ghana”. In: *Journal of Public Health and Epidemiology*, 16(1), 1-13.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA e Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. (2024). *Guia nacional de coleta e preservação de amostras*

de água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas. Brasília: ANA; São Paulo: CETESB. 312p.

American Public Health Association - APHA (2023). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22a Edição, AWWA, EUA. 1516p.

American Water Works Association – AWWA. (2007). *Reverse Osmosis and Nanofiltration (Manual M46)*. 2nd ed. American Water Works Association, Denver. 226p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1992). NBR 12216: *Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público*. ABNT, Rio de Janeiro.18p.

Balderrama-Carmona, A.P., Grijalva-Mendivil, Z., Rochín, A.N.G. e López, H.M. (2014). “Quantitative microbial risk assessment (QMRA) in water: current perspectives and challenges.” In: *International Journal of Environmental Health Research*, 24(5), 459-472.

Baker, R. (2023) *Membrane Technology and Applications 4rd ed*. John Wiley & Sons, Chichester. 560p.

Bernardes, R.S., Costa, A.A.D. da e Bernardes, C. (2018). “Projeto Sanear Amazônia: tecnologias sociais e protagonismo das comunidades mudam qualidade de vida nas reservas extrativistas.” In: *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 48.

Boni, V. e Quaresma, S.J. (2005). Aprendendo a entrevistar: como fazer entrevistas em ciências sociais. In: *Em Tese: Revista Eletrônica dos Pós-Graduandos em Sociologia Política da UFSC*, 2(1), 68–80.

Brasil (1974). *Lei nº 6.050, de 14 de maio de 1974: Dispõe sobre a fluoretação da água em sistemas de abastecimento quando existir estação de tratamento*. Brasília.

Brasil (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília.

Brasil (2007). *Lei 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*. Brasília.

Brasil (2011)

Brasil (2012). *Programa Água Doce: Documento Base*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.

- Brasil (2014a). *Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB*. Brasília: Ministério das Cidades.
- Brasil (2014b). *Manual de cloração de água em pequenas comunidades utilizando o clorador simplificado desenvolvido pela Funasa*. Fundação Nacional de Saúde - Funasa, Brasília. 40p.
- Brasil (2017). *Manual da solução alternativa coletiva simplificada de tratamento de água para consumo humano em pequenas comunidades utilizando filtro e dosador desenvolvidos pela Funasa/Superintendência Estadual do Pará*. Fundação Nacional de Saúde - Funasa, Brasília. 54p.
- Brasil (2018a). *Manual Operacional: Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e Outras Tecnologias Sociais de Acesso à Água, Programa Cisternas*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome.
- Brasil (2018b). *Manual de operação e manutenção de sistemas de tratamento de água por filtração em margem*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; Fundação Nacional de Saúde – Funasa. 57 p.
- Brasil (2019a). *Programa Nacional de Saneamento Rural*. Fundação Nacional de Saúde - Funasa, Brasília. 260 p.
- Brasil (2019b). *Manual de Saneamento. 5ª edição*. Fundação Nacional de Saúde - Funasa, Brasília. 547p.
- Brasil (2019c). *Caderno técnico – Projeto e operação de filtros lentos retrolaváveis para o tratamento de água para abastecimento*. Fundação Nacional de Saúde - Funasa, Brasília. 66p.
- Brasil (2020a). *Lei n.º 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico*. Brasília.
- Brasil (2020b). Ministério do Desenvolvimento Regional. Programa Água Doce. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, [s.d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/programa-agua-doce/programa-agua-doce-1>

- Brasil. (2021). *Portaria GM/MS n.º 888 de 4 de maio de 2021: altera o anexo xx da portaria de consolidação GM/MS n.º 5, de 28 de setembro de 2017*. Brasília: Ministério da Saúde.
- Brasil (2024a). *Programa Água Doce: Documento Base*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome
- Brasil (2024b). *Instrução Normativa SESAN n.º 49/2024. Sistema Pluvial Multiuso*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome.
- Brasil. (2025a). *Relatório Brasil – Abastecimento de Água*. In: Portal | Brasil – Resultados Brasil, Brasília: Ministério das Cidades.
- Brasil. (2025b). *Relatório Brasil – Gestão Municipal*. In: Portal | Brasil – Resultados Brasil, Brasília: Ministério das Cidades.
- Brasil. (2025c). *Resultados e Avaliações, Programa Cisternas*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome.
- Calheiros, R. de O., Tabai, F.C.V., Bosquilia, S.V. e Calamari, M. (2004). *Preservação e Recuperação das Nascentes (de água e de vida)*, Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios PCJ - CTRN, Piracicaba, Brasil.
- Campos, J. E. G.; Freitas-Silva, F. H.; Moura, C. O. (2018). *Avaliação de aquíferos favoráveis para complementação do abastecimento de água no Distrito Federal e locação de poços tubulares profundos: regiões atendidas e não atendidas pelo sistema integrado Descoberto – Santa Maria / Torto*. Brasília, Relatório final integrado de consultoria técnica, p. 103.
- Cardoso, M. K. B., de Brito, Y. J. V., Silva, K. S., Silva, C. B., de Lima, C. A. P., & de Medeiros, K. M. (2020). “Dessalinizador solar do tipo cascata aplicado em poços artesianos no interior da Paraíba.” In: *Águas Subterrâneas*, 34(2), 135-142.
- Castanheira, D; Campos, J. E. G. (2018). “Enquadramento dos Corpos Hídricos Subterrâneos do Distrito Federal: parâmetros hidrogeoquímicos e ambientais.” In: *Revista Águas Subterrâneas*.
- Castro, C.N. e Cerezini, M.T. (2023). “Saneamento rural no Brasil: a universalização é possível?” In: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, *Texto para Discussão*, nº 2875.

- Centre for Affordable Water and Sanitation Technology – CAWST (2012). *BioSand Filter: Construction Manual*. CAWST, Calgary, Canadá. 68 p.
- Cervantes-Rendón, E., López, L.R., Bernal-Jácome, A., Durán-Álvarez, J.C. e Jiménez-Cisneros, B. (2022). Rural application of a low-pressure reverse osmosis desalination system for fluoride and arsenic removal from groundwater. In: *Water*, 14(19), 3060.
- Coelho, S.C., Duarte, A.N., Amaral, L.S., Santos, P.M. dos, Salles, M.J., Santos, J.A.A. dos e Sotero-Martins, A. (2017). “Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil.” In: *Revista Ambiente e Água*, 12(1), 156-167.
- Conserva, V. R., Sarmiento, K. K. F., da Silva, K. S., Silva, K. C., Silva, C. B., de Araújo Meneses, R. C., de Lima, C. A. P. (2023). Uma revisão sobre desempenho de dessalinizadores solar no Brasil. In: *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, 15(9), 9644-9663.
- Cordeiro, W.S. (2008). *Alternativas de tratamento de água para comunidades rurais*. Dissertação de Mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos dos Goytacazes/RJ, 94p.
- Correa, A.P. de M., Pinto, H.M., Freitas, C.C.G. e Freitas, F.P.M. (2020). “Banco de tecnologias sociais: um panorama.” In: *Revista Tecnologia e Sociedade*, 16(40), 1-15.
- Costa, A.B. (2013). “Tecnologia social e políticas públicas.” In: Fundação Banco do Brasil, Brasília, pp. 223-245.
- Costa, M.H.C. (2019). *Programa Água Doce no Estado da Paraíba: o caso da cidade de Amparo*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande. 78p.
- Coury, G.C. (2020). *Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto em assentamentos precários urbanos: proposta de um modelo multicritério de apoio à decisão*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 111p.
- Daniel, L. A. (2001). *Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável*. São Carlos: ABES, Projeto PROSAB. 149p.
- Hart. S. (2014). *DESEA Peru PVC Biosand Water Filter Construction and Installation Manual*. Asociación DESEA Perú. Lamay, Cusco, Perú.

- Di Bernardo, L; Brandão, C. C. S; Heller, L. (1999) Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas. São Carlos: ABES, Projeto PROSAB. 121p.
- Di Bernardo, L, Dantas, A. Di B., Voltan, P. E. N. (2017). *Métodos e técnicas de tratamento de água*. São Carlos: RiMa. 1296p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. (2018) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5ª ed. Embrapa Solos, Brasília. 355p.
- Environmental Protection Agency - EPA. (1999). *Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual*. EPA, Washington, DC.348p.
- Environmental Protection Agency - EPA. (2005). *Membrane Filtration Guidance Manual*. EPA, Washington, DC. 332p.
- Environmental Protection Agency - EPA. (2006). *Ultraviolet Disinfection Guidance Manual for the final term 2 enhanced surface water treatment rule*. EPA, Washington, DC. 436p.
- Environmental Protection Agency - EPA (2014). *Microbiological Risk Assessment (MRA) Tools, Methods, and Approaches for Water Media*. U.S. Washington, D.C: Environmental Protection Agency. 184 p.
- Feitosa, A.C.F; Filho, J.M; Feitosa, E. C; Demetrio, J. G. A. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações 3ª ed*. CPRM, Rio de Janeiro. 835p.
- Ferreira, D. C., Luz, S. L. B., & Buss, D. F. (2016). “Avaliação de cloradores simplificados por difusão para descontaminação de água de poços em assentamento rural na Amazônia, Brasil.” In: *Ciência & Saúde Coletiva*, 21, 767-776.
- Ferreira, L; Ribeiro, P; Andrade, I; Guides, R; Santos, L; Cruz, L; Santos, M; Rezende, S. (2015). “Saneamento rural no planejamento municipal: lições a partir do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR)” . In: *Revista DAE*, (2019), 36-51, 67(220).
- Fialho, J.M., Leite, M.A., Pião, A.C.S., Dornfeld, C.B. e Prado, H.F.A. (2017). Avaliação microbiológica da água consumida por uma população rural de Ilha Solteira – São Paulo. In: *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 11(3), 273-286.

- Freitas, B. L. S; Sabogal-Paz. L. P. (2019). “Pretreatment using *Opuntia cochenillifera* followed by household slow sand filters: technological alternatives for supplying isolated communities.” *In: Environmental Technology*.
- Freitas, M.B., Silva, J.C. e Galvão, R.K.H. (2022). “A critical overview of household slow sand filters for water treatment.” *In: Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences*, 31(4), 383–397.
- Fundação Banco do Brasil – FBB (2013). “Filtro Ecológico Alternativo.” *In: Programa Transforma – Tecnologia Social*. Disponível em: <https://transforma.fbb.org.br/tecnologia-social/filtro-ecologico-alternativo/>
- Fundação Banco do Brasil – FBB (2015). “Sistema de Acesso à Água Pluvial para Consumo das Comunidades Extrativistas”. *In: Programa Transforma – Tecnologia Social*. Disponível em: <https://transforma.fbb.org.br/tecnologia-social/sistema-de-acesso-a-agua-pluvial-para-consumo-das-comunidades-extrativistas/>
- Fundação Banco do Brasil – FBB (2025). Programa Transforma – Rede de Tecnologias Sociais. Disponível em: <https://transforma.fbb.org.br/>
- Fundação Nacional de Saúde - Funasa. (2014). *Manual de cloração de água em pequenas comunidades utilizando o clorador simplificado desenvolvido pela Funasa*. Funasa, Brasília. 40p.
- Fundação Nacional de Saúde - Funasa. (2017). *Manual da solução alternativa coletiva simplificada de tratamento de água para consumo humano em pequenas comunidades utilizando filtro e dosador desenvolvidos pela Funasa/Superintendência Estadual do Pará*. Funasa, Brasília. 54p.
- Fundação Nacional de Saúde - Funasa (2018). *Manual de operação e manutenção de sistemas de tratamento de água por filtração em margem*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 57 p.
- Fundação Nacional de Saúde - Funasa (2019). *Programa Nacional de Saneamento Rural*. Funasa, Brasília. 260 p.
- Fundação Nacional de Saúde - Funasa (2019)b. *Manual de Saneamento. 5ª edição*. Funasa, Brasília. 547p.

- Fundação Nacional de Saúde - Funasa (2019)c. *Caderno técnico – Projeto e operação de filtros lentos retrolaváveis para o tratamento de água para abastecimento*. Funasa, Brasília. 66p.
- Galizoni, F.M. (2021). “Rural e ruralidades: reflexões para o Programa Nacional de Saneamento Rural.” In: Brasil. Fundação Nacional de Saúde. *Programa Nacional de Saneamento Rural – PNSR: aspectos conceituais da ruralidade no Brasil e interfaces com o saneamento básico*. Funasa, Brasília, 127 p. (Série Subsídios ao Programa Nacional de Saneamento Rural, v. 1).
- Galvis C., G. Latorre, J. & Visscher, J. T. (1997) “Filtración en Múltiples Etapas – Tecnología Alternativa para el Tratamiento de Agua”. In: *International Water and Sanitation Centre* e CINARA.
- Gitter, A., Mena, K.D., Wagner, K.L., Boellstorff, D.E., Borel, K.E., Gregory, L.F. e Karthikeyan, R. (2020). “Human Health Risks Associated with Recreational Waters: Preliminary Approach of Integrating Quantitative Microbial Risk Assessment with Microbial Source Tracking”. In: *Water*, 12(2), 327.
- Gonçalves, M. V. P., Cruz, M. J. M., Alencar, C. M. M., Santos, R. A., & Ramos, A. B. D. S. (2018). “Geoquímica e qualidade da água subterrânea no município de Serra do Ramalho, Bahia (BR).” In: *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 23(01), 159-172.
- Gontijo, L.A., Gontijo, R.C., Vilar, J. e Machado, B.M. (2020). “Saneamento rural: uma abordagem da comunidade de Amadeu Lacerda, Divinópolis, Minas Gerais.” In: *Revista Multidisciplinar Interfaces do Saber*, 5(11), 32-50.
- Governo do Distrito Federal - GDF (2017). *Plano Distrital de Saneamento Básico*. ADASA, CAESB, NOVACAP, SLU, SEMA, SINESP, SERENCO, Brasília. 484p.
- Governo do Distrito Federal - GDF (2018). *Estudo urbano ambiental da Fercal*. Companhia de Planejamento do Distrito Federal – CODEPLAN, Brasília. 31p.
- Governo do Distrito Federal - GDF (2020). *Atlas do Distrito Federal. Caracterização Ambiental*. Companhia de Planejamento do Distrito Federal – CODEPLAN. Brasília.
- Gramkow, C. (2020). “Investimentos transformadores para um estilo de desenvolvimento sustentável: estudos de casos de grande impulso (Big Push) para a sustentabilidade no Brasil”. In: Cepal, Ipea, *Un global compact*.

- Grischek, T., Ray, C. (2009). “Bank filtration as managed surface-groundwater interaction.” In: *International Journal of Water*, 5(2), 125-139.
- Guedes, T. L. (2018). *Avaliação do desempenho de um sistema de filtração em margem de rio com bombeamento fotovoltaico*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. 207.
- Gutiérrez, J. P., Van Halem, D., & Rietveld, L. (2017). “Riverbank filtration for the treatment of highly turbid Colombian rivers.” In: *Drinking Water Engineering and Science*, 10(1), 13-26.
- German Wash Network - GWN (2021). *Compendium of Water Supply Technologies in Emergencies, 1st edition*. German Wash Network (GWN). 228p.
- Haas, C.N. (2014). *Quantitative microbial risk assessment*. In: Betts, W.B. (ed.) *Methods in Microbiology*, Elsevier B.V., [s.l.]. 441 p.
- HACH (2021). *Manual do Usuário: Turbidímetro Portátil 2100Q e 2100Qis*. 6^a ed. Loveland, CO: Hach Company.
- HACH (2021). *Manual do Colorímetro Portátil DR900*. 4^a ed. Loveland, CO: Hach Company.
- Haguette, T.M.F. (2017). “Metodologias qualitativas na sociologia” In: *Vozes*, Petrópolis, RJ. 169p.
- Hargy, T. M., Clancy, J. L., & Landry, L. P. (2009). “Control of Cryptosporidium and Giardia in surface water by disinfection.” In: *Giardia and Cryptosporidium: from molecules to disease* (pp. 158-178). Wallingford, UK.
- Havelaar, A. H., & Melse, J. M. (2003). *Quantifying public health risk in the WHO guidelines for drinking-water quality: a burden of disease approach*. WHO, Netherlands Ministry of Housing, Planning and Environment. 49p.
- Hem, J. D. *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. 3rd ed. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254, 1985. 384p.
- Hinnah, J. da S. (2024). *Saneamento rural em um município no interior do Amazonas: Proposta de Sistema de Apoio ao Saneamento Rural (SASAR)*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Amazonas. 229p.

- Hoque, M.F., Khan, M.H.R. e Akter, F. (2024). Rural Resilience: A Comprehensive Study on Water Supply and Sanitation in Southwestern Bangladesh. In: *Engineering Proceedings*, 68(1), 33.
- Holmes, E. B; Oza, H. H; Bailey, E. S; Sobsey, M. D. (2023) “Evaluation of Chitosans as Coagulants—Flocculants to Improve Sand Filtration for Drinking Water Treatment” In: *International Journal of Molecular Sciences*.
- Howard, G., Pedley, S., & Tibatemwa, S. (2006). “Quantitative microbial risk assessment to estimate health risks attributable to water supply: can the technique be applied in developing countries with limited data?” In: *Journal of Water and Health*, 4(1), 49-65.
- Htet Ko, R., Chongserschai, S. e Sithisarankul, P. (2021). Water sanitation, hygiene and the prevalence of diarrhea in the rural areas of the delta region, Myanmar. In: *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 11(3), 444–453.
- Hu, J.; Dong, H.; Xu, Q.; Ling, W.; Qu, J.; Qiang, Z. “Impacts of Water Quality on the Corrosion of Cast Iron Pipes for Water Distribution Systems.” In: *Water Research*, v. 114, p. 1–10, 2017.
- IBGE (2011). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo Demográfico 2010. Brasília: IBGE.
- IBGE (2023). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo Demográfico 2022. Brasília: IBGE.
- Kalogirou, S. A. (2005). “Seawater desalination using renewable energy sources.” In: *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 31, p. 242–281, 2005.
- Kruti, J. e Shilpa, D. (2012). “Solar water disinfection under real conditions with or without solar collector”. In: *Journal of Environmental Research and Development*, 7(2A), 1085-1098.
- Leita, W. U. (2024). *Energia solar térmica para fins de dessalinização: pesquisa e desenvolvimento de destiladores solares aplicáveis ao semiárido brasileiro*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasília. 179p.
- Luzi, S., Tobler, M., Suter, F. e Meierhofer, R. (2016). *SODIS manual: Guidance on solar water disinfection*, Eawag/Sandec, Dübendorf, Switzerland, 56p.

- Maciel (2018). *Filtração lenta domiciliar como alternativa de tratamento de água em comunidades isoladas: eficiências com e sem controle de nível de água e aceleração de amadurecimento*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Brasil. 273p.
- Magalhães Atta, J.H.F., Bezerra, L.N., Santos, A.L.B., Silveira, C.S., Nunes, A.B. de A. e Lima Neto, I.E. (2022). “Aqualuz: a new solar disinfection device for treatment of cistern water.” In: *AQUA - Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 71(6), 682-694.
- Marconi, M. D. A., Lakatos, E. M. (2002). *Técnicas de pesquisa* (Vol. 2, pp. 35-36). São Paulo: Atlas. 278p.
- Marks, S.J., Clair-Caliot, G., Taing, L., Kumpel, E., Bameka, M., Eales, K., Hoffman, S. e Muellegger, E. (2022). Water supply and sanitation services in small towns in rural-urban transition zones: The case of Busia Town, Uganda. In: *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 12(1), 108–120.
- McGuigan, K.G., Joyce, T.M., Conroy, R.M., Gillespie, J.B. e Elmore-Meegan, M. (1998). “Solar disinfection of drinking water contained in transparent plastic bottles: characterizing the bacterial inactivation process”. In: *Journal of Applied Microbiology*, 84(6), 1138-1148.
- McGuigan, K.G., Conroy, R.M., Mosler, H.J., du Preez, M., Ubomba-Jaswa, E. e Fernandez-Ibanez, P. (2012). “Solar water disinfection (SODIS): A review from bench-top to roof-top”. In: *Journal of Hazardous Materials*, 235, 29-46.
- Meleg, A (2012). *SISAR: A sustainable management model for small rural decentralized water and wastewater systems in developing countries*. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 2(4), 291-300.
- Menezes, M. A. S. (1992). *Ferro-bactérias em água subterrânea: estudo de casos no Ceará*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. 93p.
- Moreira, F.D. et al. (2024). Stakeholder engagement for inclusive water governance in a rural community in Brazil. In: *Frontiers in Water*, 6.

- Moruzzi, R. B., & Reali, M. A. P. (2012). “Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial: uma abordagem geral.” In: *Revista de Engenharia e Tecnologia*.
- Morgan, D. L. (1998). “Planning Focus group as qualitative research”. In: *Sage Publications*, London.
- Murei, A.K. e Mudau, L.S. (2022). Barriers to Water and Sanitation Safety Plans in Rural Areas of South Africa: A Case Study in the Vhembe District. In: *Water*, 14(23), 3833.
- Murray, C.J.L. e Lopez, A.D. (1996). *The global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality e disability from diseases, injuries, e risk factors in 1990 e projected to 2020: summary*. World Health Organization [s.l.].
- Neto, J.R. da R., Costa, C.S., Santos, J.M. dos, Sampaio, J. de F., Rocha, D.S. da e Souza, A. de F. (2018). “Fatores relacionados à saúde pública e ao saneamento básico em comunidade rural de Barreiras, Bahia, Brasil.” In: *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 23(1), 185-195.
- Oliveira, L.V. (2022). *Avaliação de desempenho da solução alternativa coletiva simplificada de tratamento de água para consumo humano em pequenas comunidades (Salta-z)*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, 143p.
- Oliveira, C.F. (2023). *Concepção de biofiltro para tratamento de água para consumo humano em áreas rurais brasileiras*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 109p.
- Oliveira, L.M. de, Ferreira, L.P., Oliveira, L.S.A. de e Dutra, D. dos S. (2023). “Diagnóstico do Sistema de Abastecimento de Água de Comunidades Rurais na Região do Cariri Cearense.” In: *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, 6(1), 1-13.
- OMS e UNICEF (2005). *Water for life: making it happen*. Genebra: *World Health Organization*.
- OMS (2005). *Preventing Travellers’s Diarrhoea: How to make Drinking Water Safe*. Genebra: *World Health Organization*.
- OMS (2016). *International Scheme to Evaluate Household Water Treatment Technologies: Results of Round I*. Genebra: *World Health Organization*. 104 p.

- OMS. (2016)b. *QMRA: Application for Water Safety Management*. Genebra: World Health Organization. 204 p.
- OMS (2019). *International Scheme to Evaluate Household Water Treatment Technologies: Results of Round II*. Genebra: World Health Organization. 65 p.
- OMS (2022). *Guidelines for drinking-water quality, 4th edition*. Genebra: World Health Organization. 614p.
- OMS (2023). *Burden of disease attributable to unsafe drinking-water, sanitation and hygiene: 2019 update*. Geneva: World Health Organization, 94p.
- OMS e UNICEF (2025). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2024*. Geneva: World Health Organization; United Nations Children's Fund. 188p.
- ONU (2002). *General Comment No. 15: The Right to Water*. In: *Global Health Rights*. Disponível em: <https://www.globalhealthrights.org/instrument/cescr-general-comment-no-15-the-right-to-water/>
- ONU (2018). *Sustainable Development Goal 6: Synthesis Report on Water and Sanitation*. Nova York: United Nations.
- Pádua, V. L. (2009). *Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano*. Belo Horizonte: ABES, Projeto PROSAB. 394p.
- Paiva, A.L.R. de, Cabral, J.J.S.P., Demétrio, J.G.A. e Sobral, M. do C.M. (2010). Filtração em margem para indução de recarga e melhoria da qualidade de água – estudo de caso: Rio Beberibe. In: *Águas Subterrâneas*, 24(1), 103-114.
- Pérez-Vásquez, L., Vilorio, A., Marrugo-Negrete, J. e González-Márquez, L.C. (2022). Influence of inappropriate basic sanitation and lack of access to drinking water on the health of the communities of the municipality of Los Córdoba (Colombia). In: *Water*, 14(16), 2550.
- Peroni J., Carvalho L., Lannes L. (2021) “Aspectos de qualidade da água e saneamento básico em um assentamento rural no interior de São Paulo: diagnóstico e perspectivas para a melhoria da qualidade sócio-ambiental”. In: *Research, Society and Development*.

- Picanço, F. L., Lopes, E. S., de Souza, E. L. (2002). “Fatores responsáveis pela ocorrência de ferro em águas subterrâneas da região metropolitana de Belém/PA.” In: *Águas Subterrâneas*.
- Piveli, R. P., & Kato, M. T. (2006). *Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos*. São Paulo: ABES. 285p.
- Powell, M., Ebel, E., Schlosser, W., Walderhaug, M. e Kause, J. (2000). “Dose–response envelope for Escherichia coli O157:H7”. In: *Quantitative Microbiology*, 2(2), 141-163.
- Ray, C., Melin, G., & Linsky, R. B. (2003). *Riverbank filtration: improving source-water quality* (Vol. 43). In: *Springer Science & Business Media*. 395p.
- Rodrigues, L. S. S., Araújo, G. M. (2019). Sistema Simplificado de remoção de ferro em água subterrânea. In: Anais do 30º congresso ABES
- Roland, N., Tribst, C.D.C.L., Senna, D.A., Santos, M.R.R. e Rezende, S. (2019). “A ruralidade como condicionante da adoção de soluções de saneamento básico.” In: *Revista DAE*, 67(220), 15-35.
- Sabogal-Paz, L. P., Campos, L. C., Bogush, A., & Canales, M. (2020). “Household slow sand filters in intermittent and continuous flows to treat water containing low mineral ion concentrations and Bisphenol A.” In: *Science of the Total Environment*, 702, 135078.
- Salles P., Lima S. (2017) Caracterização do atendimento por redes de abastecimento de água em áreas rurais do Ceará: evidências do impacto da implantação do Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR). In: *Revista DAE*. São Paulo.
- Santos, A. R. A.; Cruz. L. A.; Gontijo, H. M. (2019) “Estudo dos sistemas de água e esgoto na comunidade rural de Capela Branca em Bela Vista de Minas/MG”. In: *Research, Society and Development*, vol. 8, núm. 2, pp. 01-29.
- Santos, W. B. dos S. (2022). *Estudos sobre Sistemas de Destilação Solar Direta para Potabilização de Água*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. 101p.

- Scalize, P.S., Ferreira, J.B., Santana, R.A. da S., Nascimento, S. da S., Santana, K. de J. e Silva, J.B. da. (2019). *Diagnóstico Técnico Participativo da Comunidade Cedro*. Cegraf, UFG, Goiânia. 225p.
- Silva, E.R. e Zancul, J. (2012). “Análise da dinâmica demográfica rural brasileira como estratégia na formulação da política federal de saneamento rural.” In: XVII Encontro Nacional de Estudos Populacionais.
- Silva, M.C.C. da. (2014). *Estudos sobre Sistemas de Destilação Solar Direta para Potabilização de Água*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. 343p.
- Silva, S.D. da, Lima, B.L., Silva, A. de S. e Medeiros, V.P. (2017). “Diagnóstico e proposições para adequações de saneamento em assentamento rural no Semiárido da Paraíba.” In: Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos (Baru), 3(3), 19-33.
- Silva, J.S., Magalhães, F.S. e Costa, M.H.C. (2019). “Evidenciando Experiências Positivas em Saneamento Básico: Visões do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR).” In: Engenharia Sanitária e Ambiental, 24(5), 977-987.
- Silva, A. de S., Lima, B.L., Spinola, C. de A. e outros. (2020). Saneamento Básico e Doenças de Veiculação Hídrica: Um Estudo da Comunidade Quilombola de Remanso, Lençóis (BA). In: Revista Baru - Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos, 6(1), 7987-7988.
- Silva, F.M.V. da. (2023). *Análise situacional e proposição de ações em saneamento no território rural de Cachoeira das Almas*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural de Viçosa. 163p.
- Silva, S.D. da. (2024). Diagnóstico da contaminação ambiental por patógenos de veiculação hídrica na água consumida por comunidades rurais latino-americanas e os impactos à saúde. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Goiás. 127 p.
- Simonato, L.B., Lima, J.J.F., e Telles, D.D. (2019). “Saneamento rural e percepção ambiental em um assentamento rural – São Paulo – Brasil”. In: Engenharia Sanitária e Ambiental, 24(4), 777-786.
- Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR). Institucional. [s.d]. Disponível em: <https://sisar.org.br/institucional/>. Acesso em: 18 dez. 2025.

- Soares, E. J. S. *Concepção de um sistema de tratamento de água em escala unifamiliar para regiões isoladas: viabilidade do sistema e segurança microbiológica da água produzida*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Brasil. 130p.
- Soller, J. A., Schoen, M. E., Bartrand, T., Ravenscroft, J. E., & Ashbolt, N. J. (2010). “Estimated human health risks from exposure to recreational waters impacted by human and non-human sources of faecal contamination.” In: *Water research*, 44(16), 4674-4691.
- Souter, P.F., Cruickshank, G.D., Tankerville, M.Z., Keswick, B.H., Lowe, B.D., Schofield, M.J.C., Jackson, S., Gosling, A., Popham, M.J., Kemp, A.D., Cunningham, M.R. e Cullen, R.D. (2003). Evaluation of a new water treatment for point-of-use household applications to remove microorganisms and arsenic from drinking water. In: *Journal of Water and Health*, 1(2), 73-84.
- Souza, F.H.D. (2015). *Tratamento de água para abastecimento por meio de filtros lentos de fluxo ascendente com limpeza por retrolavagem e descarga de fundo*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.
- Teunis, P.F.M., Van der Heijden, O.G., Van der Burg, T. e Guis, M. (2008). Hierarchical dose response of *E. coli* O157H7 from human challenge data. In: *Risk Analysis*, 28(6), 1549-1556.
- Trad, L.A.B. (2009). Grupos focais: conceitos, procedimentos e reflexões baseadas em experiências com o uso da técnica em pesquisas de saúde. In: *Cadernos de Saúde Pública*, 25(8), 1839–1846.
- Ubomba-Jaswa, E., Navntoft, C., Inmaculada, M., Fernandez-Ibáñez, P., & McGuigan, K. G. (2009). “Solar disinfection of drinking water (SODIS): an investigation of the effect of UV-A dose on inactivation efficiency.” In: *Photochemical & Photobiological Sciences*, 8(5), 587-595.
- UNESCO (2019). *Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019: Sem deixar ninguém para trás*. UNESCO, Pêrúgia. 12p.

- Veras, L.R.V. (1999). *Tratamento de Água Superficial por Meio de Diferentes Alternativas da Tecnologia de Filtração em Múltiplas Etapas*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Brasil. 269p.
- Viana, F. C; Lopes, J. D. S; Lima, F. Z. (2009) *Manual de Tratamento de água no meio rural*. Viçosa: CPT. 100p.
- Veiga, J.E. da (2002). “Cidades imaginárias: o Brasil é menos urbano do que se calcula.” In: GEOUSP – Espaço e Tempo, 13(200), 179-187, São Paulo.
- Vieira, M.E.A.G.; de Siqueira, E.Q.; Brandão, C.C.S.; Campos, L.C. (2005). “Avaliação da Filtração em Múltiplas Etapas para Remoção de Turbidez de Águas Superficiais.” In: Congresso De Pesquisa, Ensino E Extensão Da UFG, Goiânia.
- Vieira, B.M., Golin, N., Valentini, M.H.K., Corrêa, M.G., Viana, F.V. e Nadaleti, W.C. (2018). “Avaliação da eficiência do método SODIS na desinfecção da água para consumo humano em Pelotas/RS”. In: Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, 9(7), 158-170.
- Vignoli Filho, O. (1988) *apud* Borges, E. S. (2000). *Avaliação da eficiência da remoção bacteriológica em unidades domiciliares de tratamento de água*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. 132p.
- Visscher, J.T., Galvis, G. e Latorre, J. (1996). “Filtración en multiples etapas-FiME: bondades e limitaciones.” In: Anais da Conferencia Internacional Mejoramiento de la Calidad del Agua, Colômbia.
- Von Sperling, M. (1996). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos* (Vol. 1). Editora UFMG, Belo Horizonte. 452p.
- Wada, O.Z., Omosun, G.O., Moges, N.A. e Oljira, L. (2021). Evaluation of household water, sanitation, and hygiene (WASH) status and its association with diarrheal disease in rural areas of Ethiopia. In: Environmental Health and Preventive Medicine, 26(1), 68.
- Wang, L., Ye, X., & Du, X. (2016). “Suitability evaluation of riverbank filtration along the Second Songhua River, China.” In: *Water*, 8(5), 176.

10.APÊNDICES

APÊNDICE I - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado a participar da pesquisa “Seleção de soluções de abastecimento de água em comunidades rurais brasileiras: estudos de caso no Distrito Federal”, de responsabilidade de Victor Henrique de Souza Araujo, estudante de mestrado da Universidade de Brasília. O objetivo desta pesquisa é realizar um diagnóstico ambiental, socioeconômico, cultural e demográfico em duas comunidades rurais do Distrito Federal de forma a basear a aplicação de uma metodologia de seleção de soluções de abastecimento de água para consumo humano para a população destas localidades. Assim, gostaria de consultá-lo/a sobre seu interesse e disponibilidade de cooperar com a pesquisa.

Você receberá todos os esclarecimentos necessários antes, durante e após a finalização da pesquisa, e lhe asseguro que o seu nome não será divulgado, sendo mantido o mais rigoroso sigilo mediante a omissão total de informações que permitam identificá-lo/a. Os dados provenientes de sua participação na pesquisa, tais como questionários, entrevistas, anotações e fotografias, ficarão sob a guarda do/da pesquisador/a responsável pela pesquisa.

A coleta de dados será realizada por meio de entrevistas semiestruturadas, observações a partir de período de vivência do pesquisador na comunidade e reuniões participativas com os moradores residentes na comunidade. É para estes procedimentos que você está sendo convidado a participar. Sua participação na pesquisa pode implicar em riscos tais como: invasão da privacidade dos moradores participantes da pesquisa, devido a aplicação de entrevistas e realização de observações do cotidiano da comunidade por parte dos pesquisadores, além da geração de preocupação no ambiente comunitário a partir dos resultados de análise de qualidade da água. Estes riscos serão minimizados com as seguintes estratégias: prezo pela liberdade de resposta de todas as perguntas na entrevista realizada, reunião comunitária para explanação e ajuste do processo de vivência e observações realizadas pelos pesquisadores e reunião final para apresentação dos resultados, esclarecimento de dúvidas e proposta de soluções para eventuais problemas evidenciados pela aplicação da pesquisa.

Espera-se com esta pesquisa auxiliar no processo de construção de metodologia de diagnóstico das relações ambientais e socioculturais em comunidades rurais com o intuito a

balizar a seleção de tecnologias de tratamento de água para consumo humano de forma eficaz em vista da universalização do acesso a este recurso em qualidade, quantidade e acessibilidade.

Sua participação é voluntária e livre de qualquer remuneração ou benefício. Você é livre para recusar-se a participar, retirar seu consentimento ou interromper sua participação a qualquer momento. A recusa em participar não irá acarretar qualquer penalidade ou perda de benefícios.

Se você tiver qualquer dúvida em relação à pesquisa, você pode me contatar através do telefone 61 99979-8169 ou pelo e-mail victorhsa9@gmail.com.

A equipe de pesquisa garante que os resultados do estudo serão devolvidos aos participantes por meio de apresentação dos resultados e cenários de tecnologias de potencial instalação na comunidade, podendo ser publicados posteriormente na comunidade científica.

Este projeto foi revisado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais (CEP/CHS) da Universidade de Brasília. As informações com relação à assinatura do TCLE ou aos direitos do participante da pesquisa podem ser obtidas por meio do e-mail do CEP/CHS: cep_chs@unb.br ou pelo telefone: (61) 3107 1592.

Este documento foi elaborado em duas vias, uma ficará com o/a pesquisador/a responsável pela pesquisa e a outra com você.

Assinatura do/da participante

Assinatura do/da pesquisador/a

Brasília, ____ de _____ de _____

APÊNDICE II - QUESTIONÁRIO PARA ENTREVISTA DE MORADORES

O objetivo deste questionário é recolher informações e percepções dos moradores das comunidades alvo da pesquisa “Seleção de soluções de abastecimento de água em comunidades rurais brasileiras: estudos de caso no Distrito Federal” associada à dissertação mestrado do aluno Victor Henrique de Souza Araujo, quanto aos aspectos ambientais e socioculturais tocantes ao cotidiano da comunidade, e que representem informações úteis no processo de seleção de tecnologias de captação e tratamento de água nestas.

A aplicação deste questionário será realizada pela equipe responsável pelo projeto em questão, em forma de entrevista, a partir das perguntas a seguir. As respostas dos moradores serão registradas pela própria equipe para padronização do preenchimento.

Os entrevistados são livres para responder apenas às perguntas que sentirem-se à vontade para tal.

Comunidade:

Código da moradia:

DADOS GERAIS

1. Nome:
2. Tipo de relação com a comunidade:
 - () Morador fixo
 - () Morador flutuante
 - () Visita
3. Tempo de moradia/contato com a comunidade:
4. Número de moradores em sua residência:
5. Idades dos moradores:
6. Há moradores flutuantes?
7. Tipo de trabalho dos moradores:
 - () Trabalho interno na comunidade
 - () Trabalho externo à comunidade

8. Qual a renda média do domicílio?

- < 1 salário-mínimo
- 1 a 3 salários-mínimos
- 3 a 5 salários-mínimos
- 5 a 8 salários-mínimos
- 8 a 12 salários-mínimos

9. Como é sua rotina no geral? (Resumo)

10. Quais as principais atividades?

- _____ Tempo médio dedicado: _____
- _____ Tempo médio dedicado: _____
- _____ Tempo médio dedicado: _____
- _____ Tempo médio dedicado: _____

ACESSO À ÁGUA

1) Hoje, qual é a fonte de acesso à água do seu domicílio?

- Rede de distribuição
- Poço artesiano
- Poço tubular
- Captação de água pluvial
- Captação superficial
- Coleta de água Local:
- Outro:

2) Você encontra algum desafio para o acesso à água hoje? Se sim, qual?

- Qualidade
- Quantidade
- Acessibilidade

Quanto à qualidade da água responda:

3) Na sua opinião, uma água de qualidade está relacionada à: (Assinale quantas alternativas desejar)

- Ausência ou presença de microrganismos
- Nível de transparência
- Gosto
- Cheiro
- Outro:

- 4) Você considera a água que você usa em sua casa de boa qualidade?
- Sim
- Não
- 5) Relate o porquê da resposta anterior:
- 6) Existe algum sistema de tratamento da sua água de consumo hoje?
- Sim
- Não
- 7) Se sim, relate:
- 8) Estaria disposto(a) a receber um sistema de tratamento?
- Sim
- Não
- 9) Relate:
- 10) Já houve algum caso de diarreia na sua residência que acredita ter sido ligada a água?
- Sim
- Não

Quanto à quantidade de água responda:

- 11) Há reservação na sua residência (Assinale somente uma alternativa)
- Sim
- Não
- 12) Se sim, qual o volume?
- 13) É ou já foi realizada algum tipo de limpeza?
- Sim
- Não
- 14) Em qual periodicidade?
- 15) Há sistema de bombeamento?
- Sim
- Não
- 16) Já houve algum problema com este sistema?
- Sim
- Não
- 17) Se sim, relate:
- 18) Há algum problema hoje em relação à quantidade de água?
- Sim

Não

19) Se sim, relate:

20) Em épocas diferentes do ano, a quantidade de água que você tem acesso em seu domicílio sofre alterações?

Sim

Não

21) Se sim, relate:

Quanto à acessibilidade da água responda:

22) Existe a necessidade da coleta de água para uso no seu domicílio?

Sim

Não

23) Se sim, relate:

24) Existe canalização interna no seu domicílio?

Sim

Não

25) Se sim, quantos pontos de acesso existem?

26) Os pontos de acesso estão nos locais mais adequados para o uso?

Sim

Não

27) Se não, relate:

DEMANDA DE ÁGUA

1) Quais os principais usos de água hoje em seu domicílio?

Consumo humano

Higiene pessoal

Limpeza

Irrigação

Dessedentação animal

Lazer

2) Qual a fonte de água destinada a cada uso?

Consumo humano:

Higiene pessoal:

Limpeza:

Irrigação:

Dessedentação Animal:

Lazer:

OUTROS ASPECTOS

- 1) Como é feita a destinação das águas residuárias de sua residência?
- 2) O ponto de destinação fica a qual distância do ponto de captação de água para consumo?
- 3) Quando foi instalado?
- 4) Quem instalou?
- 5) É feito algum tipo de manutenção no sistema de destinação de águas residuárias?
 Sim
 Não
- 6) Em qual periodicidade?
- 7) Como é a destinação de resíduos sólidos em sua residência?
- 8) Há acesso à energia elétrica na sua residência?
 Sim
 Não
- 9) Há problemas com o fornecimento de energia elétrica?
 Sim
 Não
- 10) Qual foi o maior período de intermitência no serviço?
- 11) Algum relato a mais?

APÊNDICE III – FOTOS EM CAMPO



Figura 1 - Análises em campo com turbidímetro na Ecovila Terra Sublime (a) e Assentamento Pequeno William (b).

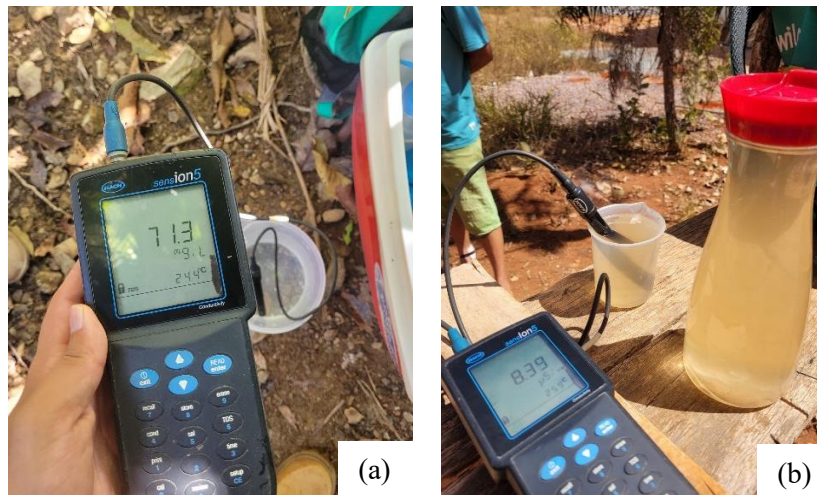


Figura 2 - Análises em campo com condutivímetro na Ecovila Terra Sublime (a) e Assentamento Pequeno William (b).

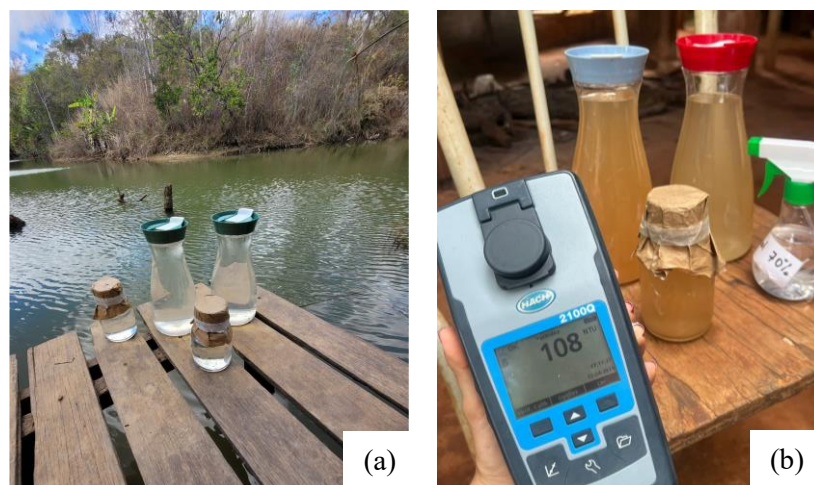


Figura 3 – Amostras coletadas em campo na Ecovila Terra Sublime (a) e Assentamento Pequeno William (b).



Figura 4 – Fotos em campo na Ecovila Terra Sublime.



Figura 6 – Fotos em campo na Ecovila Terra Sublime.



Figura 7 – Fotos em campo na Ecovila Terra Sublime.

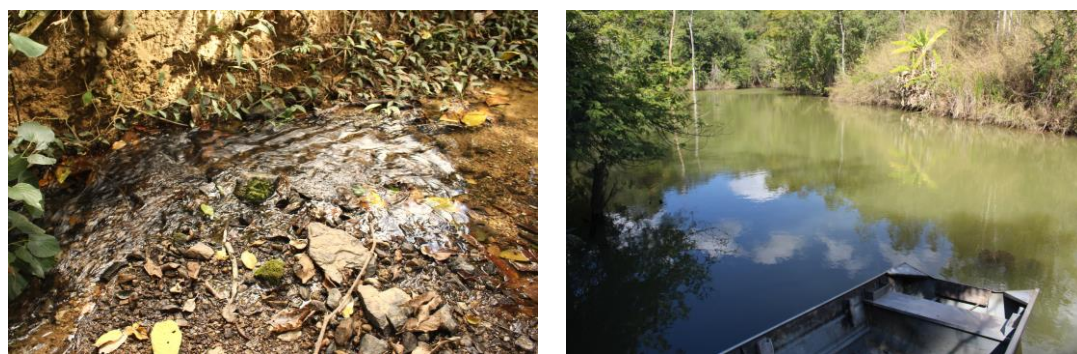


Figura 8 – Fotos em campo na Ecovila Terra Sublime.



Figura 9 – Fotos em campo no Assentamento Pequeno William.



Figura 10 – Fotos em campo no Assentamento Pequeno William.



Figura 11 – Fotos em campo no Assentamento Pequeno William.



Figura 12 – Fotos em campo no Assentamento Pequeno William.

APÊNDICE IV – MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO DE CRITÉRIOS

Critério	Priorização	Nível ideal (Baixo / Médio / Alto)
Custos de operação		
Custos de manutenção		
Complexidade de operação		
Complexidade de manutenção		
Frequência de intervenção		
Frequência de manutenção		
Confiabilidade		
Sustentabilidade		
Impacto Ambiental		
Requerimento Energético		

**APÊNDICE V – QUESTÕES PARA COLETA DE PERCEPÇÕES SOBRE
PROPOSTAS DE SOLUÇÃO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

1. O que acharam da solução tecnológica A?

1.1. Na sua opinião quais são seus pontos positivos?

1.2. E os pontos negativos?

1.3. Preocupações ou dificuldades?

2. O que acharam da solução tecnológica B?

2.1. Na sua opinião quais são seus pontos positivos?

2.2. E os pontos negativos?

2.3. Preocupações ou dificuldades?

3. Qual solução parece mais adequada para a comunidade/domicílio?

11. ANEXOS

ANEXO I – PARECER DO CEP

INSTITUTO DE CIÊNCIAS
HUMANAS E SOCIAIS DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA -
UNB



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Desenvolvimento de diagnóstico para aplicação de metodologia de apoio à decisão em vista da seleção de tecnologias de tratamento de água em comunidades rurais do Distrito Federal

Pesquisador: VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 76903923.5.0000.5540

Instituição Proponente: UnB - Faculdade de Tecnologia

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.676.524

Apresentação do Projeto:

O projeto de pesquisa intitulado "Desenvolvimento de diagnóstico para aplicação de metodologia de suporte à decisão em vista da seleção de tecnologias de tratamento de água em comunidades rurais do Distrito Federal", está ligado à dissertação de mestrado do aluno Victor Henrique de Souza Araújo no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH) da Universidade de Brasília (UNB). O objetivo do projeto é o desenvolvimento de uma metodologia para definição de melhores sistemas de captação e tratamento de água para consumo humano em comunidades rurais, a partir de diagnóstico com dados primários, de campo, e secundários, de caráteres ambiental e sociocultural, e posterior aplicação de método de apoio à decisão multicritério.

Objetivo da Pesquisa:

Conforme o objetivo da pesquisa que consta na informação básica do projeto, a pesquisa busca o "desenvolvimento de diagnóstico que englobe as dimensões ambiental e sociocultural de duas comunidades rurais do Distrito Federal, a fim de auxiliar na aplicação de um método de análise multicritério para seleção de tecnologias de tratamento de água para tais comunidades". Como objetivos específicos: a) Desenvolver e aplicar diagnóstico ambiental, demográfico e sociocultural em duas comunidades rurais do Distrito Federal a fim de coletar dados de acesso e demanda de

Endereço: CAMPUS UNIVERSITÁRIO DARCY RIBEIRO - FACULDADE DE DIREITO - SALA BT-01/2 - Horário de
Bairro: ASA NORTE **CEP:** 70.910-900
UF: DF **Município:** BRASILIA
Telefone: (61)3107-1592 **E-mail:** cep_chs@unb.br

Continuação do Parecer: 6.676.524

água potável; b) Definir as melhores alternativas tecnológicas de tratamento de água para abastecimento humano para as comunidades analisadas no Distrito Federal a partir de método multicritério de apoio à decisão; c) Propor estratégias de gestão e participação social que favoreçam a instalação e operação das alternativas selecionadas pela aplicação multicritério em cada comunidade rural.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Tanto nas informações básicas do projeto, quanto na carta de revisão ética estão descritos os riscos e benefícios da pesquisa. Sobre os riscos, formas de minimizar-los e benefícios, ressalta-se que:

O primeiro risco e segundo riscos estão associados a invasão da privacidade tanto em relação a entrevista como a vivência dos pesquisadores no campo da pesquisa. A minimização do risco é associada a exposição de forma clara sobre os objetivos da pesquisa e a liberdade do entrevistado de recusar a responder as questões. O terceiro risco é associado a exposição de possíveis contaminações microbiológicas da água que a pesquisa poderá evidenciar, para isso os pesquisadores propõem fazer uma reunião para elucidar os resultados da pesquisa, incluindo sistemas de captação, tratamento da área para consumo humano e gestão desses, esclarecendo dúvidas da comunidade.

Sobre os benefícios indicam na carta de revisão ética, que "A aplicação desta pesquisa traz como benefícios o desenvolvimento de uma metodologia de diagnóstico de comunidades rurais para balizar o processo decisivo de tecnologias de abastecimento de água mais adequadas para as diferentes ruralidades, compatíveis com suas realidades socioculturais, ambientais, econômicas e com o cotidiano destas comunidades, a fim de promover acesso adequado e garantir o direito universal à água em quantidade, qualidade e acessibilidade, coerente com o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável 6: Água potável e saneamento da Organização das Nações Unidas (ONU)".

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O projeto de pesquisa está adequado às exigências das Resoluções CNS 466/2012, 510/2016 e complementares.

Endereço: CAMPUS UNIVERSITÁRIO DARCY RIBEIRO - FACULDADE DE DIREITO - SALA BT-01/2 - Horário de
Bairro: ASA NORTE CEP: 70.910-900
UF: DF Município: BRASÍLIA
Telefone: (61)3107-1592 E-mail: cep_chs@unb.br

**INSTITUTO DE CIÊNCIAS
HUMANAS E SOCIAIS DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA -
UNB**



Continuação do Parecer: 6.676.524

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Apresenta carta de revisão ética, Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, Carta de Aceite Institucional, Carta de revisão ética, entre outros. O projeto de pesquisa está adequado às exigências das Resoluções CNS 466/2012, 510/2016 e complementares.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O projeto de pesquisa está adequado às exigências das Resoluções CNS 466/2012, 510/2016 e complementares.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2234131.pdf	13/01/2024 13:26:18		Aceito
Cronograma	CEP_CHS_Cronograma.pdf	13/01/2024 12:22:19	VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO	Aceito
Outros	CEP_CHS_Ficha_de_Observacao.pdf	10/01/2024 00:35:19	VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO	Aceito
Outros	CEP_CHS_Questionario.pdf	10/01/2024 00:33:46	VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO	Aceito
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2234131.pdf	13/11/2023 15:57:51		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Pre_projeto_de_pesquisa.pdf	13/11/2023 15:56:14	VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto_Plataforma_Brasil_assinado_1_assinado_pelo_Diretor_da_FT.pdf	13/11/2023 15:49:05	VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO	Aceito
Outros	CEP_CHS_Termo_de_aceite_institucional_Associacao_Ecovila_Terra_Sublime_assinado.pdf	31/10/2023 23:08:26	VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO	Aceito
Outros	CEP_CHS_Termo_de_aceite_institucional ASPRAFES assinado.pdf	31/10/2023 23:07:20	VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO	Aceito
Outros	CEP_CHS_Fichas_de_Observacao.pdf	31/10/2023 23:06:26	VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO	Aceito
Outros	CEP_CHS_Questionario.pdf	31/10/2023 23:06:03	VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO	Aceito
Outros	Lattes_Ricardo_Tezini_Minoti.pdf	31/10/2023	VICTOR HENRIQUE	Aceito

Endereço: CAMPUS UNIVERSITÁRIO DARCY RIBEIRO - FACULDADE DE DIREITO - SALA BT-01/2 - Horário de
Bairro: ASA NORTE CEP: 70.910-900
UF: DF Município: BRASÍLIA
Telefone: (61)3107-1592 E-mail: cep_chs@unb.br

INSTITUTO DE CIÊNCIAS
HUMANAS E SOCIAIS DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA -
UNB



Continuação do Parecer: 6.676.524

Outros	Lattes_Ricardo_Tezini_Minoti.pdf	23:04:46	DE SOUZA ARAUJO	Aceito
Outros	Lattes_Yovanka_Perez_Ginoris.pdf	31/10/2023 23:04:25	VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO	Aceito
Outros	CEP_CHS_Carta_de_revisao_etica.pdf	31/10/2023 23:03:50	VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO	Aceito
Outros	Lattes_Victor_Henrique.pdf	31/10/2023 23:00:55	VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO	Aceito
Solicitação Assinada pelo Pesquisador Responsável	CEP_CHS_Carta_de_encaminhamento.pdf	31/10/2023 23:00:07	VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	CEP_CHS_TCLE.pdf	31/10/2023 22:59:54	VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO	Aceito
Cronograma	CEP_CHS_Cronograma.pdf	31/10/2023 22:59:21	VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO	Aceito
Cronograma	CEP_CHS_Cronograma.pdf	31/10/2023 22:59:21	VICTOR HENRIQUE DE SOUZA ARAUJO	Recusado

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

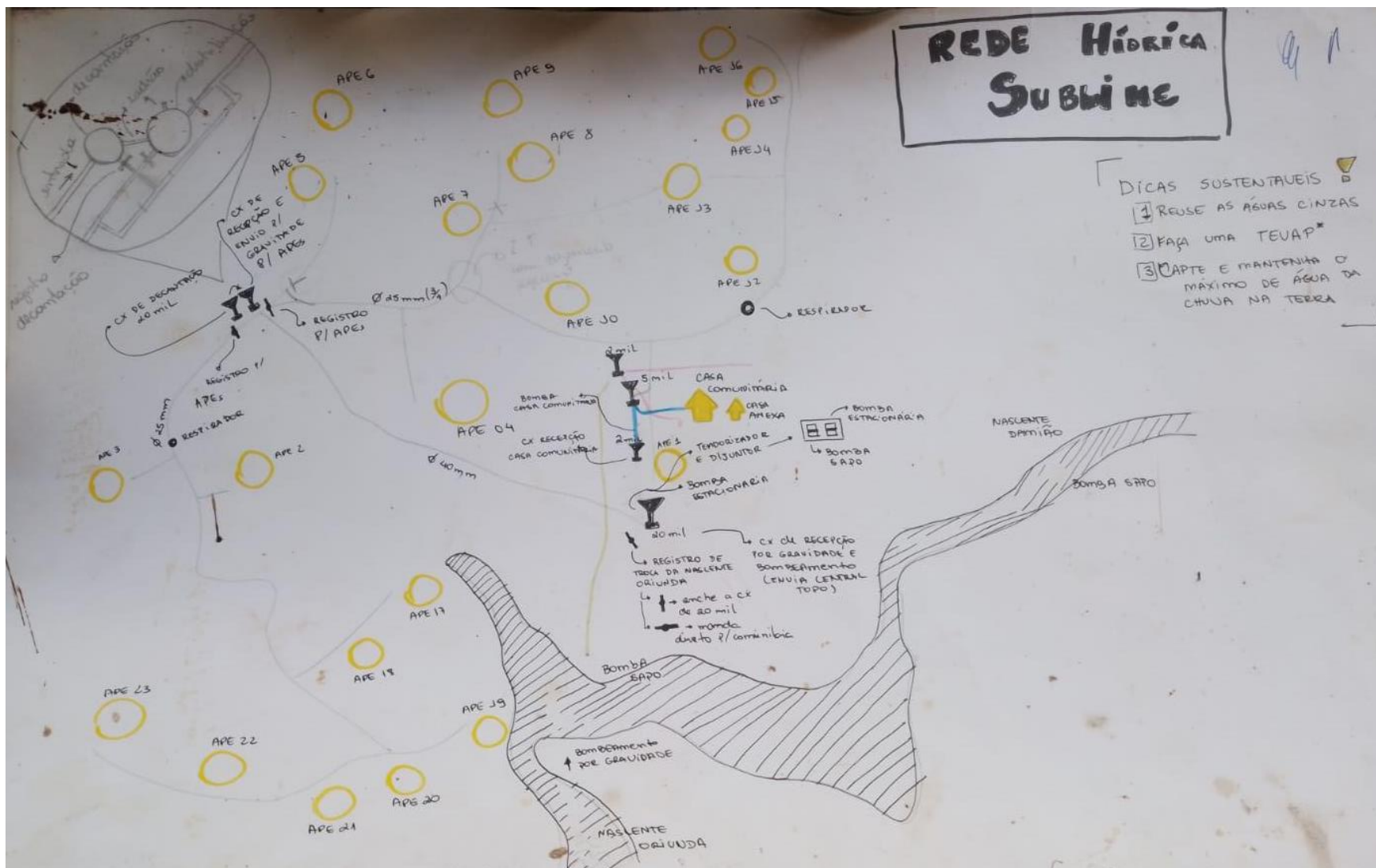
Não

BRASILIA, 29 de Fevereiro de 2024

Assinado por:
ANDRE VON BORRIES LOPES
(Coordenador(a))

Endereço: CAMPUS UNIVERSITÁRIO DARCY RIBEIRO - FACULDADE DE DIREITO - SALA BT-01/2 - Horário de
Bairro: ASA NORTE CEP: 70.910-900
UF: DF Município: BRASILIA
Telefone: (61)3107-1592 E-mail: cep_chs@unb.br

ANEXO II – ESQUEMA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DA ECOVILA TERRA SUBLIME



ANEXO III – Resultado Teste Shapiro-Wilk

Ecovila Terra Sublime:

Normality and Lognormality Tests Tabular results		A	B
		Córrego	Lagoa
1	Test for normal distribution		
2	Shapiro-Wilk test		
3	W	0.6024	0.4809
4	P value	<0.0001	<0.0001
5	Passed normality test (alpha=0.05)	No	No
6	P value summary	****	****
7			
8	Number of values	16	16

Assentamento Pequeno William:

Normality and Lognormality Tests		A	B	C	D	E	F
		P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	Test for normal distribution						
2	Shapiro-Wilk test						
3	W	0.6803	0.6058	0.2950	0.2841	0.5183	0.3883
4	P value	0.0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
5	Passed normality test (alpha=0.05)	No	No	No	No	No	No
6	P value summary	***	****	****	****	****	****
7							
8	Number of values	15	11	15	15	15	15