



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

PATRICIA PEREIRA DA SILVA ALVES

**PROPOSIÇÃO DE SOLUÇÃO DE TECNOLOGIA DESCENTRALIZADA PARA
DESTINAÇÃO FINAL DE ÁGUAS CINZAS NO ASSENTAMENTO SÃO
GONÇALO, CRATEÚS-CE**

CRATEÚS - CE

2025

PATRICIA PEREIRA DA SILVA ALVES

PROPOSIÇÃO DE SOLUÇÃO DE TECNOLOGICA PARA DESTINAÇÃO FINAL DE
ÁGUAS CINZAS NO ASSENTAMENTO SÃO GONÇALO, CRATEÚS-CE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária do Campus Crateús da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitário.

Área de concentração: Saneamento Ambiental
Orientador: Profª. Raimunda Moreira da Franca
Co-orientadora: Taína Martins Magalhães

CRATEÚS - CE

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A481p Alves, Patrícia Pereira da Silva.
Proposição de solução de tecnologia para destinação final de águas cinzas no Assentamento São Gonçalo, Crateús - CE / Patrícia Pereira da Silva Alves. – 2025.
64 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Crateús, 2025.
Orientação: Profa. Dra. Raimunda Moreira da Franca.
Coorientação: Profa. Ma. Taína Martins Magalhães.
1. Saneamento Rural. 2. Semiárido. 3. Reúso de Águas Cinzas. 4. Destinação Final. 5. Tecnologias Sociais. I. Título.

CDD 628

PATRICIA PEREIRA DA SILVA ALVES

PROPOSIÇÃO DE SOLUÇÃO DE TECNOLOGIA DESCENTRALIZADA PARA
DESTINAÇÃO FINAL DE ÁGUAS CINZAS NO ASSENTAMENTO SÃO GONÇALO,
CRATEÚS-CE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária do campus de Crateús da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Aprovada em: 04/07/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Raimunda Moreira da Franca (Orientadora)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dra. Camylla Rachelle Aguiar Araújo (Membro interno)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ms. Tomaz Gregori Kipnis (Membro externo)

Iniciativa Saneamento Inclusivo (SI)

Dedicatória

Dedico este trabalho, com todo o meu amor, carinho e gratidão, aos meus queridos e eternos avós, Ana Pereira Alves e Raimundo Nonato Alves, que foram verdadeiros pais de coração. Foram eles que me transmitiram valores fundamentais, como honestidade, empatia e respeito, além de me ensinarem, desde cedo, que a educação é o caminho mais seguro para transformar vidas. Levo comigo cada ensinamento, cada gesto de amor e cada palavra de incentivo que recebi deles ao longo da vida.

Dedico, também, ao meu amado filho, Marx Valentim Silva Dias, que é a razão maior da minha existência, minha fonte diária de amor, força e inspiração. Seu nascimento me fez ressignificar a vida, me tornando um ser humano mais forte, mais sensível e determinado. Que este trabalho também seja, para ele, a prova de que através da educação, da luta e da persistência, é possível construir um futuro melhor.

Enquanto estiver vivo, sinta-se vivo. Se sentir saudades do que fazia, volte a fazê-lo. Não deixe que enferruje o ferro que existe em você. Faça com que, em vez de pena, tenham respeito por você. Quando não conseguir correr através dos anos, trote. Quando não conseguir trotar, caminhe. Quando não conseguir caminhar, use uma bengala. Mas nunca se detenha”

Madre Teresa de Calcutá

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus por estar sempre ao meu lado, pela força, pela resiliência e por me guiar nos momentos mais desafiadores, permitindo-me superar as dificuldades e, ainda assim, manter-me firme no meu propósito.

Agradecer a mim mesma, por nunca desistir, por acreditar na minha própria capacidade e por manter o compromisso com aquilo em que sempre acreditei: a educação como a forma mais extraordinária de liberdade. Reconheço a força que encontrei em mim para seguir adiante, mesmo diante dos desafios, sempre agarrada ao sonho de transformar realidades por meio do conhecimento.

Aos meus queridos pais, Antônia Viana da Silva e Luizete Pereira Alves, minha eterna gratidão por todo amor, cuidado, ensinamentos e, principalmente, por acreditarem em mim incondicionalmente. Aos meus irmãos, agradeço por todo o apoio, tanto financeiro quanto emocional, que foram fundamentais ao longo dessa caminhada.

Estendo meus agradecimentos a toda a minha família, Daniele Pereira, Gabriela, Francisca Francinete, Antônio, Francisco Genivaldo, Cleudia, Lúcia e, de forma geral, a todos os familiares, por serem meu alicerce, me encherem de amor, força, conforto e coragem, e por estarem sempre presentes, me incentivando a nunca desistir deste sonho.

Aos meus amigos de graduação, que percorreram essa jornada mais leve e significativa, com companheirismo, risos, desafios e aprendizados. Em especial, à Jordana Maria, pelo nosso apoio mútuo e incentivo constante; à Celymara, Joyce, Lucas, Hillary, Mônica, Ludmila, Ian, Arthur Carlos meu parceiro de pesquisa e Paulo César, por caminharem comigo, compartilhando apoio, amizade e cumplicidade.

À minha amiga Arlane e meu amigo Nilton, minha eterna rede de apoio, que estiveram presentes nos momentos em que mais precisei, especialmente nos cuidados com meu filho, Marx Valentim.

À minha orientadora, Profa. Dra. Raimunda Franca, minha profunda gratidão pela paciência, compreensão, dedicação, incentivo e por compartilhar comigo seus conhecimentos

ao longo da construção deste trabalho. À minha coorientadora, Taína Magalhães, sou igualmente grata pelos ensinamentos, pela orientação cuidadosa e pela disponibilidade.

Agradeço a todos os professores que fizeram parte da minha formação acadêmica e profissional, pela dedicação e pelos conhecimentos transmitidos, que levarei para a vida.

À banca examinadora, representada por Camylla Rachelle Aguiar Araújo e Tomaz Gregori Kipni meus agradecimentos pela disponibilidade, pelas valiosas contribuições e sugestões que, sem dúvida, enriquecerão este trabalho.

A todos da Universidade Federal do Ceará, em especial ao Campus de Crateús, gratidão minha por todo o suporte. Agradeço, de modo particular, aos técnicos, funcionários e à assistência estudantil, cujo apoio financeiro foi fundamental para que eu pudesse me dedicar integralmente aos estudos.

À Iniciativa do Saneamento Inclusivo, em nome do Tomaz Gregori Kipnis, agradeço por todo o apoio financeiro e pelos ensinamentos fornecidos, que foram a base desta pesquisa.

Ao Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST), minha profunda gratidão por todo incentivo à educação, pelos ensinamentos políticos, pela construção coletiva de saberes e pela constante reafirmação da importância da luta do povo e da educação como princípio de liberdade.

Ao Assentamento São Gonçalo, na pessoa Maria Eunice de Lira minha gratidão pela receptividade, acolhimento e apoio durante a coleta de dados, fundamentais para a realização deste trabalho.

RESUMO

A precariedade do saneamento básico nas comunidades rurais ainda é uma realidade persistente, caracterizada pela ausência de infraestrutura adequada, especialmente no que diz respeito à destinação final dos efluentes domésticos. A escassez de políticas públicas específicas agrava esta situação, limitando o acesso a serviços essenciais. Este trabalho teve como objetivo propor um modelo alternativo para a destinação final de águas cinzas com possibilidade de reúso, a partir da análise das condições de saneamento básico no Assentamento São Gonçalo, localizado no município de Crateús-CE, uma comunidade rural inserida no semiárido cearense. O estudo concentrou-se no eixo de esgotamento sanitário, identificando os principais desafios enfrentados pelas famílias e propondo soluções sustentáveis para o tratamento e o reaproveitamento dos efluentes domésticos. A metodologia adotada teve como base o Diagnóstico Rural Participativo (DRP), com aplicação de questionários estruturados, para avaliar e propor uma alternativa utilizou-se os critérios técnicos e contextuais por meio de uma abordagem multicritério utilizando uma matriz onde avaliou, custo, operação, manutenção, finalidade de reutilização. Os dados coletados abrangeram formas de tratamento da água e os tipos de soluções de esgotamento utilizadas. Os resultados demonstraram que o esgotamento ocorre principalmente por fossas rudimentares com infiltração, sem tratamento adequado. Observou-se também que 83,33% das famílias descartaram as águas cinzas separadamente da água da privada, o que evidencia o potencial de implantação de sistemas específicos para o tratamento e aproveitamento dessas águas. Diante desse cenário, foram sugeridas tecnologias descentralizadas, de baixo custo e fácil implantação, como o sistema Bioágua, os círculos de bananeiras e sistemas alagados construídos. Essas soluções permitem o destino final e o aproveitamento seguro das águas cinzas para fins agrícolas. Quando aliadas à educação ambiental e ao suporte técnico, tais tecnologias podem contribuir significativamente para a promoção da saúde pública, a segurança hídrica e a sustentabilidade no meio rural.

Palavras-chave: Saneamento Rural; Semiárido; Reúso de Águas Cinzas; Destinação Final; Tecnologias Sociais.

ABSTRACT

The precarious state of basic sanitation in rural communities remains a persistent reality, marked by the lack of adequate infrastructure, especially regarding the final disposal of domestic wastewater. The scarcity of specific public policies further aggravates this situation, limiting access to essential services. This study aimed to propose an alternative model for the final disposal and potential reuse of greywater, based on the analysis of basic sanitation conditions in the São Gonçalo Settlement, located in the municipality of Crateús-CE, a rural community in the semi-arid region of Ceará. The research focused on the sanitation component, identifying the main challenges faced by families and proposing sustainable solutions for the treatment and reuse of domestic effluents. The methodology was based on the Participatory Rural Appraisal (PRA), with the application of structured questionnaires. To evaluate and propose an alternative, technical and contextual criteria were considered through a multicriteria approach using a matrix that assessed cost, operation, maintenance, and reuse purpose. The data collected included information on water treatment methods and types of wastewater solutions used. The results showed that sewage disposal mainly occurs through rudimentary cesspits with soil infiltration and no proper treatment. It was also observed that 83.33% of families disposed of greywater separately from toilet water, highlighting the potential for implementing specific systems for the treatment and reuse of this water. In response to this scenario, decentralized, low-cost, and easily implemented technologies were suggested, such as the Bioágua system, banana tree circles, and constructed wetlands. These solutions enable the safe disposal and reuse of greywater for agricultural purposes. When combined with environmental education and technical support, such technologies can significantly contribute to promoting public health, water security, and sustainability in rural areas.

Keywords: Rural Sanitation; Semi-arid Region; Greywater Reuse; Final Disposal; Social Technologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Dinâmica da circulação da água no perfil do solo e possíveis meios para a contaminação dos recursos hídricos.	20
Figura 02 - Esquema do Círculo de Bananeiras.	26
Figura 03 - Círculo de bananeiras em Campinas-SP. A) logo após a implantação e B) depois de um ano.	26
Figura 04 - Etapas do Sistema Bioágua.....	28
Figura 05 - Esquema de sistema alagado construído (SAC).....	29
Figura 06 - SAC com fluxo vertical e impermeabilização feita por manta de PVC em Holambra/SP.....	30
Figura 07 - SAC unifamiliar de fluxo horizontal subsuperficial construído em alvenaria em Campinas/SP.....	31
Figura 08 - Mapa de localização do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.....	36
Figura 09 - Presença e formas de destinação dos efluentes sépticos gerados nas residências do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.....	43
Figura 10 - Frequência de descarte da água do vaso sanitário é descartada junto com a da pia e do chuveiro nas residências do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.....	44
Figura 11 - Reaproveitamento de águas cinzas, em bananeiras nas residências do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.....	45
Figura 12 - Reaproveitamento de águas cinzas, em coqueiros em residências do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.....	46
Figura 13 - Reaproveitamento de águas cinzas em frutíferas, presentes no quintal produtivo em residências do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.....	46
Figura 14 - Reaproveitamento de água cinzas em espécies arbóreas em residências do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.....	47
Figura 15 - Percentual de reuso de águas cinzas na comunidade do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.....	48
Figura 16 - Interesse em construir um novo sistema de tratamento de esgoto na comunidade do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.....	49
Figura 17 - Destinação da reutilização das águas cinzas na comunidade do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.....	50

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Comparativa de Padrões de Reuso de Águas Cinzas na Agricultura	32
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Doenças relacionadas com a ausência da rede de esgoto.....	22
Quadro 2 - Principais vantagens do uso de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto.	24
Quadro 3 - Quadro de atributos e pesos de critérios de avaliação de critérios de avaliação	40
Quadro 4 Matriz de avaliação qualitativa de melhor alternativa, para destinação de águas cinzas no assentamento São Gonçalo, Crateús-CE	52

LISTA DE SIGLAS E ILUSTRAÇÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	Método de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process)
COEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ECOSOC	Conselho Econômico e Social das Nações Unidas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (Food and Agriculture Organization)
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
FSB	Fossa Séptica Biodigestora
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
NMP	Número Mais Provável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONGs	Organizações Não Governamentais
ONU	Organização das Nações Unidas
PNSR	Programa Nacional de Saneamento Rural
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
pH	Potencial Hidrogeniônico
RDP	Diagnóstico Rural Participativo
SAC	Sistema Alagado Construído
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SST	Sólidos Suspensos Totais
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Contextualização	13
1.2 Justificativa.....	15
1.3 Objetivos.....	16
1.3.1 Objetivo geral	16
1.3.2 Objetivos específicos	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Saneamento rural no Brasil	17
2.2 Desafios do Saneamento Rural na Região Semiárida	18
2.3 Tratamento de esgotos domésticos no meio rural	19
2.4 Sistemas alternativos para tratamento de águas cinzas	21
2.5 Tipos mais comuns de sistemas de tratamento descentralizado de águas cinzas	25
2.5.1 Círculo de Bananeiras.....	25
2.5.2 Sistema Bioágua	27
.....	28
2.5.3 Sistema Alagados construídos (SAC).....	29
2.6 Legislação ambiental aplicada ao reúso	31
2.6.1 Legislação Federal.....	33
2.6.2 Legislação estadual.....	34
2.7 Reuso de águas cinzas para a agricultura	34
3 METODOLOGIA	36
3.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo.....	36
3.2 Diagnóstico Comunitário.....	37
3.3 Alternativas de Modelos de Destinação Final de Água Cinzas.....	38

3.4. Fluxograma da Metodologia.....	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1 Diagnóstico Comunitário.....	42
4.1.1 Esgotamento Sanitário.....	42
4.2 Destinação e Reaproveitamento de Águas Cinzas	44
4.3 Alternativa de Modelo de Destinação Final de Água Cinzas.....	50
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
REFERÊNCIAS.....	56
APÊNDICE 1: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	60
APÊNDICE 2: QUESTIONÁRIO SOBRE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	62

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

No Brasil, persiste-se um grande déficit nos serviços de saneamento básico, mesmo sendo um direito garantido pela Organização das Nações Unidas (ONU). Além disso, o artigo 3º da Lei nº 10.257/2001 estabelece diretrizes a qual estabelece o saneamento como direito essencial para o “pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana”. No entanto, no meio rural, esses serviços ainda representam um desafio socioambiental a ser superado no país e em outras partes do mundo.

Tonetti *et al.* (2018), afirmam que mesmo com acesso à água, os demais serviços de saneamento básico tornam-se escassos em comunidades isoladas e rurais, devido a fatores como: baixa densidade populacional, dispersão entre imóveis e difícil acesso, de forma que torna inviável técnica e economicamente implantar sistemas coletivos. Segundo o PNSR de 2019, nas áreas rurais do Brasil: 24 milhões (59,5%) não têm acesso adequado à água, 22 milhões (79,42%) não têm esgotamento sanitário adequado e 30 milhões (76,6%) não contam com coleta adequada de lixo (Brasil 2019).

Nas comunidades rurais, a destinação final dos efluentes domésticos configura-se como um dos principais entraves à universalização do saneamento básico. Ademais, a falta de políticas públicas voltadas para o tratamento de esgoto rural faz com que as famílias repitam as práticas de manejo inadequado dessas águas residuárias não tratadas contaminando o solo e colocando em risco a sua saúde.

As águas cinzas, oriundas de pias, chuveiros e tanques, são frequentemente descartadas a céu aberto, em geral nos quintais das residências. Jesus e Barreto (2013) afirmam que a disposição indiscriminada de águas cinzas diretamente no solo, sem qualquer tipo de tratamento, pode causar contaminação do lençol freático, atrair vetores, representando riscos à saúde pública e ao meio ambiente elevando os riscos de contaminação do solo e das águas superficiais.

Nesse contexto, diante da precariedade do tratamento e destinação adequada de efluentes domésticos em comunidades rurais, as tecnologias descentralizadas se apresentam com alternativa visto que são sistemas capazes de coletar, tratar e implementar a disposição final ou o reúso em locais próximos a sua geração, como também são sistemas menos robustos

e de fácil manutenção quando comparada a sistemas convencionais. Como destaca Von Sperling (2005), a escolha de soluções para o tratamento de esgotos em áreas rurais deve considerar, além da eficiência técnica, aspectos econômicos, sociais e culturais das comunidades envolvidas.

Medidas como essa coadunam-se com a política de gestão para áreas carentes de recursos hídricos estabelecida pelo Conselho Econômico e Social das Nações Unidas - Ecosoc (1985). O órgão determina que, “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior” (Fiori *et al.*, 2006; Chrispim e Nolasco, 2017).

Aliada a isso, destaca-se a viabilidade da adoção de técnicas de reutilização de água, considerando-se que sua aplicabilidade está cada vez mais presente no cotidiano da população, sobretudo em cenários de elevada demanda de água em decorrência de longos períodos de seca e de escassez hídrica.

Embora as técnicas de reutilização focalizam a água cinza, designada como a água residuária produzida em chuveiros, banheiros, lavatórios, lava-louças, pias de cozinha e máquinas de lavar roupas (Cavaleiro, 2014), a qual é responsável por 70 a 75% da produção total dos efluentes domésticos (Li, 2009) e pode ser utilizada para usos menos nobres, como a irrigação (Mendonça, 2019).

No Brasil, ainda não existem normas específicas para o aproveitamento de águas de qualidade inferior, embora a prática de uso de esgotos domésticos na agricultura seja ancestral e amplamente empregada em diversos continentes. Esses efluentes são ricos em nutrientes, representando um recurso importante para a fertilização do solo.

Nas últimas décadas, o uso de esgoto na irrigação de culturas na agricultura aumentou significativamente em vários países. Esse reúso traz benefícios como a preservação da água potável, a redução do uso de fertilizantes e a mitigação dos impactos ambientais, ao diminuir a contaminação de corpos d'água e preservar os recursos hídricos (Bernardi, 2003).

Porém, a reutilização de águas cinzas ainda é um tema complexo, devido aos riscos relacionados ao uso inadequado desses efluentes e às características das culturas irrigadas. A qualidade sanitária dos esgotos tratados é fundamental para evitar doenças de veiculação hídrica, conforme planejado na literatura especializada (Feachem *et al.*, 1983; Shuval *et al.*, 1986; Strauss e Blumenthal, 1989; Bastos *et al.*, 2003). Assim, garantir padrões sanitários adequados é essencial para um reúso seguro na agricultura.

No semiárido de Crateús, a situação é agravada pela escassez de água, vulnerabilidade à seca e necessidade de uso sustentável dos recursos. Medidas para lidar com esses desafios incluem programas que incentivem a implementação de técnicas capazes de tratar efluentes domésticos nas comunidades rurais as quais se adequam a sua realidade e cultura. Tais ações visam superar desafios e promover o desenvolvimento sustentável do saneamento no semiárido, melhorando a qualidade de vida e saúde das comunidades rurais.

1.2 Justificativa

A gestão sustentável da água é um desafio crítico em regiões semiáridas como o Nordeste brasileiro, onde a escassez hídrica afeta a qualidade de vida e o desenvolvimento socioeconômico das comunidades rurais. O assentamento São Gonçalo, em Crateús-CE, enfrenta essa realidade e necessita de soluções inovadoras para o manejo de recursos hídricos. A reutilização de águas cinzas, provenientes de chuveiros, pias e lavatórios, emerge como uma estratégia eficiente para maximizar o uso da água em áreas com escassez. A proposta visa reduzir a demanda por água potável, além de oferecer uma destinação final adequada para as águas residuárias domésticas, melhorando as condições de vida dos moradores e beneficiando o meio ambiente ao minimizar a descarga de efluentes e promover a sustentabilidade.

Essa iniciativa está alinhada com o Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020), que reforça a importância de ampliar o acesso ao saneamento de forma sustentável, incentivando práticas de reúso e gestão eficiente dos recursos hídricos. Essa legislação garante a universalização do saneamento no país, promovendo ações que favoreçam a conservação e o uso racional da água, o que reforça a relevância e a viabilidade do projeto.

A pesquisa também está de acordo com a Lei Federal nº 11.445/2007, que incentiva práticas sustentáveis e o reúso de água, assim como as leis estaduais do Ceará, a Lei Estadual nº 12.228/1993 e a Resolução COEMA nº 02/2017, que promovem a conservação dos recursos hídricos. Além de contribuir para a solução de problemas locais, este trabalho gera dados específicos sobre a viabilidade de sistemas de reúso de águas cinzas em assentamentos rurais, podendo servir como modelo replicável para outras regiões e fortalecendo a capacitação comunitária em gestão sustentável dos recursos hídricos.

Portanto, a proposta é justificada pela necessidade de melhorar a gestão de recursos hídricos em regiões semiáridas, promover a sustentabilidade ambiental, atender às exigências legais e contribuir para o desenvolvimento socioeconômico em comunidades rurais.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

- Analisar e apresentar um modelo alternativo de destinação final para as águas cinzas, adequado à realidade da comunidade do Assentamento São Gonçalo, em Crateús-CE.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar um diagnóstico das condições de esgotamento sanitário na comunidade rural do assentamento;
- Identificar as práticas de disposição das águas residuárias domésticas de na comunidade;
- Verificar a aceitabilidade de modelos de reuso de águas cinzas.
- Propor uma tecnologia descentralizada para tratamento e destinação final dos esgotos domésticos da comunidade adequada à realidade do assentamento São Gonçalo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Saneamento rural no Brasil

O saneamento rural refere-se ao conjunto de medidas e ações destinadas a promover a melhoria das condições de saúde e qualidade de vida da população que vive em áreas rurais, por meio do acesso a serviços básicos de saneamento, como abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto, destinação adequada de resíduos sólidos, e promoção de práticas de higiene e saneamento ambiental.

Conforme Brasil (2019), o PNSR objetiva promover o desenvolvimento de ações de saneamento básico em áreas rurais com vistas à universalização do acesso, por meio de estratégias que garantam a equidade, a integralidade, a intersetorialidade, a sustentabilidade dos serviços implantados e a participação e o controle social.

No Brasil, o déficit do setor de saneamento básico é elevado, principalmente no que se refere aos serviços de esgotamento e tratamento de esgotos, com carência mais evidente nas áreas periféricas dos centros urbanos e nas zonas rurais, onde está concentrada a população mais pobre (Galvão Junior, 2009).

No PNSR, o saneamento no Brasil e as demandas de áreas mais urbanizadas e economicamente viáveis sempre receberam maior atenção do poder público, enquanto o acesso aos serviços mais básicos de saneamento em áreas não urbanas foi relegado a um nível de prioridade de segunda ordem.

O Painel Saneamento Brasil do SNIS (2022), aponta que 48,5% da população sofre com a privação de acesso à rede geral de água para consumo, e 50,5% da população que reside na zona rural também enfrenta restrições no acesso a reservatórios de água. Além disso, constata-se que 47,2% da população não possui acesso a banheiros adequados, e 49,6% da população rural não dispõe de coleta de esgoto por meio de rede geral.

Conforme o IBGE, referentes ao ano de 2023, apontam que 51% da população rural do Brasil fazem a queima dos resíduos sólidos na sua propriedade. Dentre os motivos para a maior dificuldade em prover a população rural dos diferentes serviços de saneamento básico, alguns são elencados no PNSR (Brasil, 2019). Alguns são específicos para a população rural, como dispersão geográfica; isolamento político e geográfico das localidades e seu distanciamento das sedes municipais; e localização em área de difícil acesso, seja por via terrestre ou fluvial.

Outros não são exclusivos das áreas rurais, como limitação financeira ou de pessoal, por parte dos municípios, o que dificulta a execução dos serviços voltados para o saneamento; ausência de estratégias que incentivem a participação social e o empoderamento dessas populações; e inexistência ou insuficiência de políticas públicas de saneamento rural nas esferas municipais, estaduais ou federal (Tonetti *et al.*, 2018).

2.2 Desafios do Saneamento Rural na Região Semiárida

Para o Instituto Nacional do Semiárido (INSA), o semiárido brasileiro se estende pelos nove estados da região Nordeste e também pelo norte de Minas Gerais, ocupando 12% do território nacional. Esta área abriga cerca de 28 milhões de habitantes, distribuídos entre zonas urbanas (62%) e rurais (38%), tornando-se assim um dos semiáridos mais densamente povoados do mundo. As características intrínsecas desta região, tais como a irregularidade das chuvas e secas severas, geram desafios significativos, sendo o acesso ao saneamento um dos principais obstáculos a serem enfrentados (INSA, 2024).

Conforme mencionado anteriormente, nesta região semiárida, são enfrentados desafios relacionados à implementação de sistemas capazes de atender às necessidades sanitárias da população. A presença de comunidades rurais nessa região intensifica os obstáculos já existentes. Neste contexto, para (Buainain; Garcia, 2013), o fortalecimento das infraestruturas de saneamento, somado a políticas complementares de saúde, educação, habitação e assistência social, pode ser uma alternativa para o semiárido brasileiro.

A gestão dos recursos hídricos disponíveis para a região necessita de maior articulação com as demais políticas sociais que se inter-relacionam com a problemática da escassez e do saneamento, deve-se considerar a baixa qualidade das águas dos poços e reservatórios e investir no monitoramento da água para consumo (Sobral, 2011).

Quando as infraestruturas básicas não alcançam essas populações, estas se veem obrigadas a buscar meios que possam garantir, ao menos, o mínimo necessário para sua subsistência. Um exemplo disso é o abastecimento de água na zona rural, que, em sua maioria, ocorre de maneira irregular, através da utilização de águas superficiais provenientes de fontes suscetíveis à contaminação, sem qualquer tipo de tratamento (Amaral *et al.*, 2003; Brasil, 2011).

Para superar os desafios do saneamento rural na região semiárida, é fundamental adotar uma abordagem integrada que promova a sustentabilidade ambiental, social e

econômica. Segundo (Leite e Alves, 2019), o envolvimento ativo das comunidades rurais no planejamento e na implementação das ações de saneamento é essencial para garantir sua efetividade e sustentabilidade. Isso requer uma abordagem holística que integre aspectos técnicos, culturais e sociais e ambientais. As propostas de investimento e expansão do saneamento básico devem ser analisadas e planejadas considerando as diversas questões ambientais, geográficas, regionais e socioeconômicas do território brasileiro.

2.3 Tratamento de esgotos domésticos no meio rural

O esgoto doméstico gerado em comunidades isoladas e em zonas rurais possui particularidades que tornam a construção e manutenção de infraestrutura de esgoto mais cara e complexa. A localização dessas comunidades, a falta de recursos financeiros e técnicos para implementar sistemas de tratamento de esgoto adequados, e a topografia irregular, dificultam a instalação de sistemas convencionais para tratar o esgoto, assim como a implementação de políticas públicas. O que acarreta em preocupações quanto à infraestrutura necessária para o tratamento adequado do esgoto nessas áreas (Tonetti *et al.*, 2018).

Aliado a falta de conhecimento sobre a importância do tratamento adequado de esgoto e sobre as tecnologias disponíveis, além de resistência cultural em algumas comunidades, onde práticas tradicionais podem dificultar a aceitação de novos métodos de tratamento de esgoto.

Conforme o Painel Saneamento Brasil cerca de 44,5% dos brasileiros não têm acesso à coleta de esgoto. Outro estudo, desenvolvido pelo Instituto Trata Brasil em 2022, intitulado “A vida sem saneamento: para quem falta e onde mora essa população”, analisou e considerou cada situação de privação individualmente. Esse estudo identificou que a falta de acesso à rede de coleta de esgoto afetou 69,7 milhões de pessoas em 2022. A incidência foi de 32,5% da população brasileira, e quase 60% desses brasileiros residiam nas regiões Nordeste e Norte. O mesmo estudo identificou que, em áreas rurais, 49,6% da população sofre com a privação de coleta de esgoto. Quando se considera a população total de cada área, essa privação representa 31,5%.

O esgoto doméstico ou esgoto, em especial, o gerado no meio rural, se disposto diretamente no meio ambiente sem o devido tratamento, será fonte de diversas enfermidades e malefícios ao ambiente natural. A saúde humana e a animal estão à mercê desse resíduo, já que

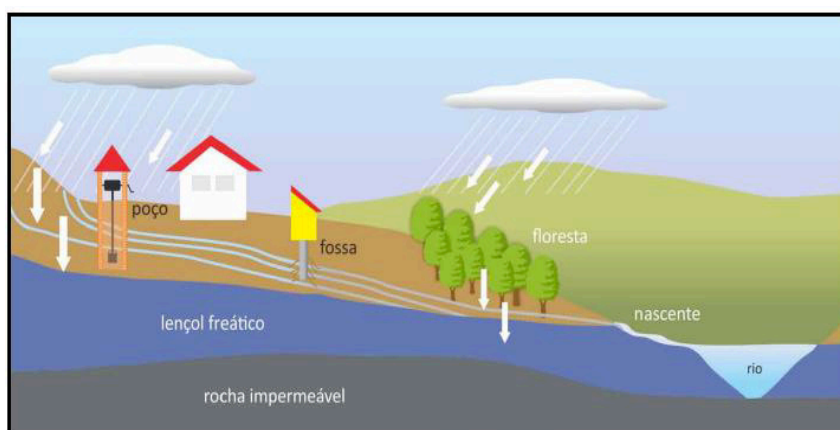
na grande maioria dos imóveis rurais a única forma de “tratamento”, ou melhor, de acondicionamento utilizada é por meio das fossas rudimentares, Figura 1, que são buracos feitos no solo para deposição de tais resíduos (Calgaro; Filho, 2020).

Esses tipos de destinação contribuem para a deterioração ambiental, principalmente dos lençóis freáticos e do solo, além de comprometerem a qualidade de vida das pessoas, sendo fontes de diversas enfermidades que podem se proliferar por meio da contaminação dos alimentos e da própria água (Tonetti *et al*, 2011; Calgaro, 2016).

No entanto, esse tipo de sistema é considerado internacionalmente (WHO/UNICEF, 2017) e mesmo nacionalmente (Funasa, 2015) como uma forma de tratamento e disposição final adequada, já que resolve satisfatoriamente aspectos de saúde pública (Funasa, 2015) e garante uma separação higiênica entre pessoas e suas excretas (WHO/ UNICEF, 2017). Recentemente o PNSR (2018) também elencou a fossa absorvente como uma das tecnologias adequadas para o tratamento de esgotos domésticos de populações rurais, desde que o lençol freático seja profundo.

Segundo Sperling et al. (1995), o esgoto doméstico contém aproximadamente 99,9% de água e apenas 0,1% de sólidos, e constitui a fração que inclui orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos e os microrganismos. Suas características são em função dos usos ao qual a água foi submetida, podendo variar com o clima, situação social, econômica e os hábitos da população.

Figura 01 – Dinâmica da circulação da água no perfil do solo e possíveis meios para a contaminação dos recursos hídricos.



Fonte: M. T. Design Criativo.

A falta de regulamentação específica para áreas rurais e a ausência de políticas públicas eficazes agravam a situação. Para enfrentar esses desafios, é fundamental desenvolver soluções adaptadas às condições locais e promover a educação e conscientização das comunidades sobre a importância do tratamento adequado do esgoto.

2.4 Sistemas alternativos para tratamento de águas cinzas

A escassez de água é um problema mundial crescente que compromete as gerações futuras, especialmente em relação ao tratamento de esgoto. Esse cenário pode ser transformado com a adoção de alternativas que otimizem o consumo de água e minimizem a geração de efluentes. A água era considerada pela humanidade como um recurso inesgotável e, como consequência desse pensamento, era feito uma má gestão do seu uso (Suassuna, 2004).

Diante das dificuldades impostas pela localização geográfica, pela distância dos centros urbanos e pela dispersão das comunidades e residências na zona rural, surgem limitações significativas para a implantação de redes de tratamento comuns, ou seja, redes de esgotamento sanitário (Tonetti *et al.*, 2018). Os sistemas descentralizados se apresentam como uma solução eficiente para o tratamento do esgoto doméstico e, além do tratamento, mostram-se eficazes na preservação e reaproveitamento dos recursos hídricos.

Para a população rural brasileira, soluções sustentáveis de saneamento poderiam contribuir na melhoria das condições de saúde, aumentando a oferta de serviços públicos adequados (Costa, 2014). As alternativas mais adequadas para o tratamento de esgoto no meio rural são as descentralizadas, visto que pelo isolamento dessas áreas é inviável um sistema de coleta direcionando para estações no meio urbano (Tonetti *et al.*, 2018).

A utilização de esgotos sanitários oferece, portanto, oportunidades de natureza econômica, ambiental e social. Em situações de acentuada escassez de recursos hídricos, pode até se constituir uma necessidade (Florêncio, Bastos, Aisse, 2006). Assim, cresce a consciência da importância do uso racional da água e da necessidade de controle de perdas e desperdícios, tornando o reúso da água fundamental (Suassuna, 2004).

A prática de alternativas ambientalmente eficientes e eficazes no quesito de tratabilidade do efluente em questão pode evitar possíveis problemas relacionados à saúde humana. No Quadro 01, evidenciam-se doenças relacionadas à falta da rede de esgoto, apresentam as principais medidas de controle para a problemática referida.

Quadro 1 - Doenças relacionadas com a ausência da rede de esgoto.

Classificação	Infecção	Via dominante de transmissão	Principais medidas de controle
Doenças feco-orais não-bacterianas	Enterobíase, amebíase, giardíase, balantidíase	Pessoal e doméstica	Abastecimento doméstico de água; Educação sanitária; Melhoria habitacional
Doenças feco-orais bacterianas	Salmonelose, cólera, disenteria bacilar, diarreia por <i>E. coli</i>	Pessoal, doméstica, por água e alimentos	Abastecimento doméstico de água; Educação sanitária; Melhoria habitacional Instalação de fossas; Tratamento das excretas antes do lançamento ou reúso da água
Helmintos do solo	Ascaridíase, tricuriase, ancilostomíase	Jardim, campos e culturas agrícolas	Instalação de fossas; Tratamento das excretas antes da aplicação no solo
Teníases	Teníases	Jardim, campos e pastagens	Instalação de fossas Tratamento das excretas antes da aplicação no solo
Helmintos hídricos	Esquistossomose e outras doenças causadas por helmintos	Água	Instalação de fossas - Tratamento das excretas antes do lançamento na água
Doenças transmitidas por insetos	Filariose e outras infecções transmitidas por moscas e baratas	Vários locais contaminados por fezes	Identificação e eliminação de criadouros de insetos vetores Controle do reservatório animal

(Fonte: adaptado de Cairncross et al. citados por Heller, 1997).

As etapas do tratamento de esgoto descentralizado, pode variar de acordo com o modelo a ser utilizado podendo haver combinação de dois ou mais modelos diferentes complementando-se para que haja maior eficiência no tratamento (Gonçalves e Pinto, 2000 apud Cohim *et al.*, 2009). De um modo geral têm-se a seguinte visão das fases de um tratamento de esgoto utilizando sistema descentralizado:

- Coleta de Esgoto: Em uma escala menor e localizada, a coleta de esgoto pode incluir sistemas de encanamento séptico, lagoas de estabilização, e unidades de tratamento inovadoras.
- Pré-Tratamento: Algumas unidades descentralizadas podem realizar um pré-tratamento semelhante ao centralizado, removendo sólidos maiores, como detritos e areia, das águas residuais.
- Tratamento Local: As águas residuais passam por processos específicos, como tratamentos biológicos, filtração e oxidação, para remover impurezas, nutrientes, poluentes e microrganismos.
- Desinfecção: Essa fase é opcional e pode incluir a desinfecção para eliminar patógenos, garantindo que a água tratada seja segura para o meio ambiente ou futura reutilização.
- Reuso Local: Uma vantagem do tratamento descentralizado é a possibilidade de reutilizar localmente a água tratada para irrigação, recarga de aquíferos ou uso não potável em residências.

As vantagens do sistema descentralizado de tratamento de águas residuárias são: requer menos investimento do que em grandes redes de coleta de esgoto, o que pode ser econômico, especialmente em áreas rurais ou de baixa densidade populacional; torna o sistema menos vulnerável a falhas em comparação com sistemas centralizados, pois uma interrupção em uma unidade afeta apenas uma área local; a água tratada localmente pode ser reutilizada em benefício da comunidade local, reduzindo a demanda por recursos hídricos; e reduz o impacto ambiental associado ao transporte de esgoto por longas distâncias (Shehabi *et al.*, 2012).

No Quadro 02, são listadas as vantagens do sistema descentralizado de coleta e tratamento de esgoto nas áreas ambiental, social, econômica e operacional, destacando seus benefícios para o meio ambiente, a economia e a sociedade.

Quadro 2 - Principais vantagens do uso de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto.

ÁREA	VANTAGENS
Social	<p>Contribuem para a melhoria da saúde da população local</p> <p>Podem gerar trabalho e renda - Permitem a produção de alimentos, contribuindo com a segurança alimentar</p> <p>Valorizam saberes locais e a cultura</p> <p>Normalmente são aceitos pelas populações e entidades fiscalizadoras</p> <p>Podem ser usados com apoio e participação da comunidade</p>
Econômico	<p>Os sistemas mais simples têm baixo custo de instalação</p> <p>O reúso de água reduz o consumo de água potável</p> <p>O uso de efluente tratado para irrigação pode gerar renda</p> <p>Redução de gastos com abastecimento</p> <p>Evitam multas, bloqueios orçamentários e perda de crédito na agricultura</p>
Ambiental	<p>Sistemas unifamiliares podem ser compactos</p> <p>O efluente pode se tornar um recurso e não um resíduo</p> <p>Podem minimizar a sobrecarga nos corpos hídricos</p> <p>Podem preservar ecossistemas e evitar poluição</p> <p>Promovem o reúso da água e de nutrientes localmente</p>
Operacional	<p>Dispensam a construção de rede coletora local e estações elevatórias</p> <p>Têm boa flexibilidade de operação</p> <p>Podem ser ampliados ao longo do tempo</p> <p>Têm baixa taxa de manutenção</p> <p>Em boa parte dos casos, não precisam de pré-tratamento</p> <p>Não exigem redes coletoras, pois são viabilizados separadamente</p> <p>São pouco influenciados por desastres naturais</p>

Fonte: adaptado de Tonetti *et al.*, 2018.

2.5 Tipos mais comuns de sistemas de tratamento descentralizado de águas cinzas

Existem vários tipos de sistemas de tratamento descentralizado, que variam em termos de tecnologia e capacidade. Esses sistemas descentralizados são projetados para tratar água, esgoto ou resíduos em locais específicos, como casas individuais, pequenas comunidades ou instalações industriais. Alguns tipos mais comuns incluem: Círculo de bananeiras, sistemas alagados construídos, Sistema Bioágua, vala de infiltração entre outras.

Apesar de algumas dessas alternativas de tratamento ainda não serem contempladas pelas normas técnicas vigentes, têm sido usadas com frequência em comunidades isoladas, além de soluções para o tratamento de esgoto possuírem respaldo técnico, por serem objeto de pesquisas desenvolvidas em centros de pesquisas, universidades, prefeituras e ONGs.

2.5.1 Círculo de Bananeiras

Uma unidade de tratamento para águas cinzas ou como complemento ao tratamento de esgoto doméstico consiste em uma vala circular preenchida com galhos e palhas, é um sistema que também pode ser utilizado para tratar o esgoto já tratado, que sair da BET (ou mesmo de tanques sépticos) e também as águas cinzas. As águas cinzas são o esgoto produzido pelo uso do chuveiro, pias, lavanderia e cozinha (Figueiredo *et al.*, 2018).

O esgoto é direcionado por um tubo que desemboca em um Joelho oculto no monte de palha seca, impedindo o contato do esgoto com a superfície. Ao redor da vala, é recomendável plantar bananeiras, mamoeiros, taiobas e outras plantas que prosperam em solo úmido e rico em nutrientes (Figueiredo *et al.*, 2018).

Para uma residência com 4 a 5 pessoas, é aconselhável ter entre um e três círculos de bananeiras para tratar todas as águas cinzas produzidas (Tonetti *et al.*, 2018). Essas informações são ilustradas no esquema do círculo de bananeiras visível na Figura 2. Essa técnica surgiu da observação dos impactos dos ventos intensos sobre as plantações de coco. Em áreas desmatadas, as palmeiras caídas formavam círculos onde novas palmeiras cresciam e produziam mais eficientemente do que isoladas.

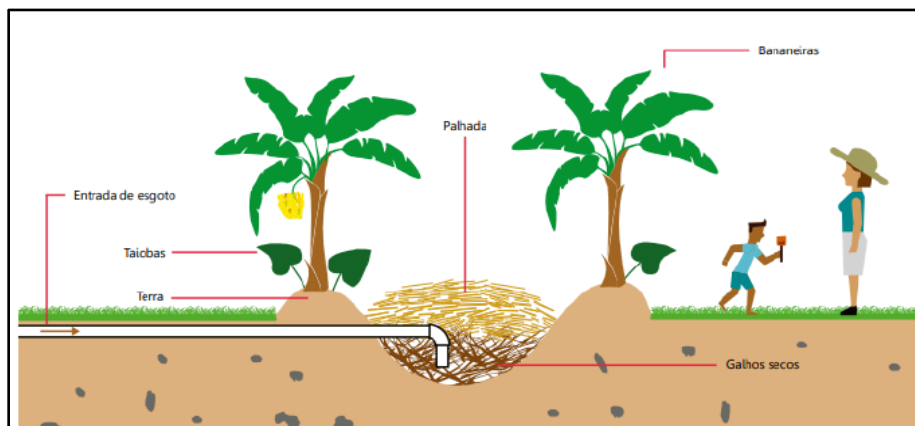
No centro desses círculos, acumulavam-se folhas, ramos e frutos, retendo umidade e concentrando nutrientes, o que beneficia o desenvolvimento das palmeiras. A partir dessa observação, foram feitas experiências com outras culturas, como a banana (Vieira, 2006 *apud* Paes, 2014).

A construção do círculo de bananeiras começa com a escavação do solo, que pode ser feita manualmente ou com máquinas. A cava não deve ser impermeabilizada ou compactada; seu fundo é preenchido com pequenos galhos e, na parte superior, com palhadas, como capim seco e folhas de bananeira. Esse método cria um ambiente arejado e espaçoso para receber o esgoto a ser tratado (Figueiredo *et al.*, 2018).

A água e os nutrientes do esgoto são absorvidos pelas bananeiras, enquanto os resíduos orgânicos, como restos de alimentos e sabão, são decompostos pelos microrganismos presentes no solo da vala (Funasa, 2018). As mudas de bananeira são plantadas a cada 60 cm no centro do canteiro, intercaladas com mamoeiros. Os espaços restantes podem ser preenchidos com outras espécies vegetais (Paes, 2014).

Apesar do tratamento prévio do esgoto, podem ocorrer odores desagradáveis. Por isso, é crucial considerar a localização da instalação em relação à residência, recomendando-se que esteja afastada do lençol freático e de nascentes. Além disso, é aconselhável evitar a implementação em áreas de solo arenoso. Se o solo for arenoso, pode-se adicionar uma camada de argila nas paredes e no fundo da cava para dificultar a infiltração da água (Funasa, 2015)

Figura 02 - Esquema do Círculo de Bananeiras.



Fonte: Tonetti *et. al.*, 2018.

Para o autor Guimarães (2019), as vantagens do tratamento e reutilização local de águas cinzas incluem a recarga do lençol freático, redução do consumo de água tratada para irrigação, preservação de nutrientes no local, estímulo ao crescimento de plantas e árvores,

Figura 03 - Círculo de bananeiras em Campinas-SP. A) logo após a implantação e B) depois de um ano.

diminuição do volume de esgoto e, conseqüentemente, redução do uso de energia e produtos químicos.

A Figura 03. Modelo de aplicação real do círculo de bananeira em Campinas-SP.

A) logo após a implantação e B) depois de um ano.



Fonte: Foto de Isabel Figueiredo (2018)

2.5.2 Sistema Bioágua

O Sistema de Bioágua Familiar é uma tecnologia desenvolvida pelo Projeto Dom Hélder Câmara, ideal para a convivência com o semiárido e para a reutilização eficiente de águas cinzas na agricultura familiar (Gouveia, 2018).

A configuração completa do sistema envolve várias etapas, a Figura 04, que mostra todas etapas do Sistema Bioágua e componentes para garantir a filtragem e o reaproveitamento adequado das águas cinzas, provenientes de banho, pias, tanques e máquinas de lavar.

Figura 04 - Etapas do Sistema Bioágua



Fonte: **Etapas do Sistema Bioágua (2019)**. Disponível em: <https://www.noclimadacaatinga.org.br>

Para Gouveia (2018), todas as águas cinzas são coletadas em uma rede comum, separadas da água do vaso sanitário, que deve ser direcionada para outro sistema de tratamento de águas negras. Essas águas são então enviadas para uma caixa de decantação, onde ocorre a sedimentação de sólidos suspensos. A caixa de decantação ou caixa de gordura, pode ter um ou mais compartimentos para aumentar a eficiência desse processo.

Após a decantação, a água é direcionada para um filtro biológico, considerado o coração do Sistema de Bioágua. Este filtro consiste em camadas de materiais filtrantes como brita, areia e carvão ativado, e pode incorporar plantas que auxiliam na remoção de nutrientes e na degradação de compostos orgânicos. Além de filtrar, o sistema também permite a fertirrigação, agregando nutrientes do húmus que contribuem para a fertilização do solo irrigado (Gouveia, 2018, *Op. Cit.*).

O filtro é composto por um garfo de distribuição de água sobre camadas filtrantes preenchidas de baixo para cima: 20 cm de seixo ou pedra de mão, 10 cm de brita, 10 cm de areia lavada, 50 cm de serragem grossa e 10 cm de húmus com 1 kg de minhoca Vermelha da Califórnia (*Eisenia foetida*). Essas camadas trabalham em conjunto para garantir a filtragem eficiente das águas servidas. A água filtrada é então armazenada em um reservatório protegido contra contaminação e evaporação, pronta para ser utilizada na irrigação por gotejamento na agricultura familiar (Gouveia, 2018, *Op. Cit.*).

A utilização dessa água é tratada para irrigação por gotejamento na agricultura familiar. O sistema de gotejamento é altamente eficiente, entregando os nutrientes diretamente às raízes das plantas, o que otimiza o uso da água (Gouveia, 2018, *op. cit.*).

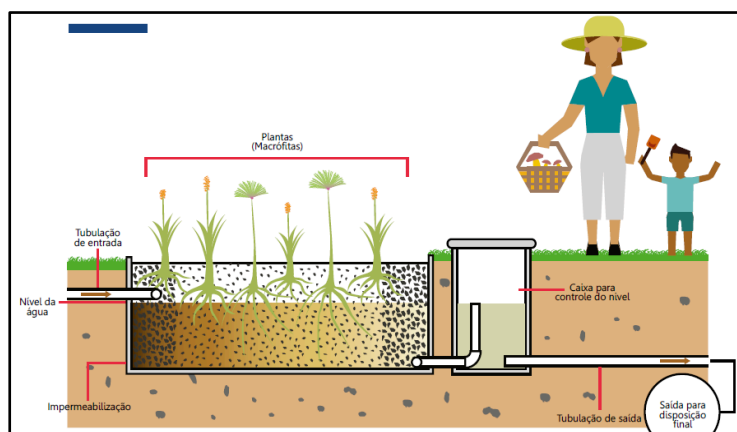
O sistema de Bioágua Familiar requer monitoramento regular para assegurar o funcionamento adequado. A caixa de decantação e o filtro biológico devem ser limpos periodicamente para evitar obstruções e garantir a eficiência. Componentes adicionais, como caixas de inspeção, válvulas de controle de fluxo e sistemas de desinfecção, podem ser incluídos conforme as necessidades específicas da instalação (Gouveia, 2018, op. cit).

Essa configuração do Sistema de Bioágua Familiar promove a sustentabilidade ao fornecer uma fonte de irrigação confiável para a agricultura familiar, contribuindo para a recarga do lençol freático e a preservação dos nutrientes no solo (Gouveia, 2018, op. cit)..

2.5.3 Sistema Alagados construídos (SAC)

Unidade de tratamento para águas cinzas ou para esgoto doméstico previamente tratado. Os sistemas alagados construídos (SAC), Figura 05, também conhecidos como zonas de raízes ou wetlands (nomenclatura internacional), são compostos por valas com paredes e fundo impermeabilizados, permitindo seu alagamento com o esgoto a ser tratado. São pouco profundas (< 1,0 m) e possuem plantas aquáticas ou macrófitas que atuam na remoção de poluentes, além de proporcionar a fixação de microrganismos que degradam a matéria orgânica. Os SAC normalmente possuem material particulado em seu interior (exemplo: areia, brita, seixo rolado) como meio suporte para o crescimento das plantas e microrganismos (Figueiredo *et al.*, 2018).

Figura 05 - Esquema de sistema alagado construído (SAC)



Fonte: Tonetti *et. al.*, 2018.

Conforme mesmo autor, o tratamento de águas cinzas podem ser direcionado diretamente para o SAC, depois de passar por uma caixa de gordura e uma caixa de retenção de

sólidos grosseiros. Fios de cabelo, fiapos de roupa, gordura e outros tipos de sólidos podem ocasionar o entupimento dentro do SAC, (Figueiredo *et al.*, 2018).

As espécies de plantas aquáticas escolhidas devem ser de rápido crescimento e propagação. No Brasil, as mais utilizadas são a taboa (*Thypha*), papiro (*Cyperus*), biri (*Canna*) e gramíneas como o capim Tifton (*Cynodon*). Outras plantas podem ser usadas, desde que tenham bom crescimento em ambientes alagados. A vegetação do SAC deve ser podada periodicamente e recomenda-se no mínimo duas vezes por ano (Figueiredo *et al.*, 2018, *Op Cit*).

O material podado pode ser utilizado em pilhas de compostagem. É recomendável que a tubulação de saída do SAC possua um sistema para controle do nível da água a fim de manter o nível sempre abaixo da superfície do meio de suporte e evitar a formação de poças que podem ser o criadouro de larvas. O destino do esgoto após tratamento pelo SAC deverá ser avaliado de acordo com a sua qualidade, sempre observando os limites estipulados pela legislação ambiental e as formas corretas de disposição final, de acordo com as características ambientais locais (Figueiredo *et al.*, 2018, *Op Cit*).

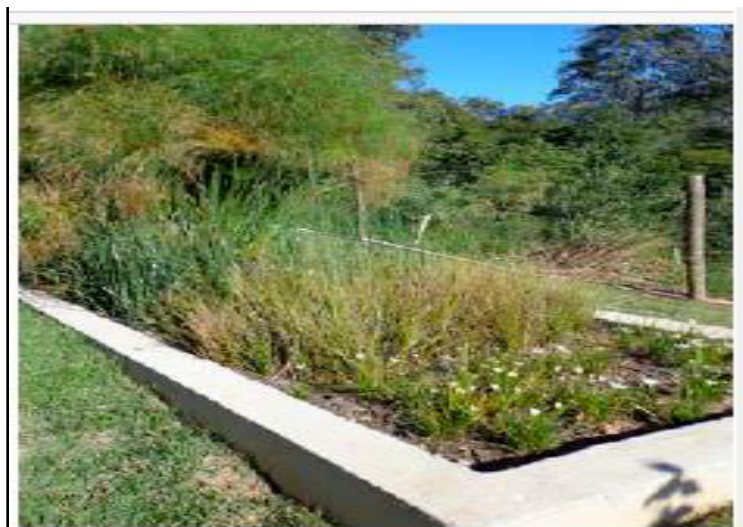
Conforme o mesmo autor, o SAC possui formato retangular, podendo ser escavado no próprio solo, manualmente ou com a ajuda de máquinas. Suas paredes e fundo devem ser impermeabilizados em alvenaria, Figura 06, ou mantas sintéticas, Figura 07.

Figura 06 - SAC com fluxo vertical e impermeabilização feita por manta de PVC em Holambra/SP.



Fonte: Foto de Isabel Figueiredo, *et al* (2018)

Figura 07 - SAC unifamiliar de fluxo horizontal subsuperficial construído em alvenaria em Campinas/SP



Fonte: Foto de Isabel Figueiredo, *et al* (2018)

2.6 Legislação ambiental aplicada ao reúso

A necessidade da implantação de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas deve ser avaliada também do ponto de vista dos instrumentos legais de proteção ao meio ambiente, incluindo o licenciamento ambiental, levando em conta não só as normas de proteção ao meio ambiente no âmbito federal. (Figueiredo *et al.*, 2018). No entanto, as diretrizes para o uso seguro de esgotos, produzidas como parte dessa função, são baseadas em pesquisas científicas e estudos epidemiológicos (Hespanhol, 2002).

A ausência de uma legislação específica que regule o aproveitamento de águas cinzas na agricultura dificulta a adoção de tecnologias descentralizadas, sobretudo por não oferecer respaldo legal claro nem parâmetros técnicos bem definidos. As águas residuárias tratadas e destinadas ao reúso agrícola devem ser avaliadas sob os aspectos de sodicidade, salinidade, excesso de nutrientes e, sobretudo, sob os aspectos sanitários: bactérias, cistos de protozoários, ovos de helmintos e vírus que criam graves problemas de saúde pública, uma vez que acarreta enfermidades (Metcalf e Eddy, 2003).

Particularmente, o esgoto doméstico quando utilizado sem tratamento adequado pode contaminar o ambiente, os trabalhadores das áreas cultivadas e os consumidores das culturas irrigadas (Shuval *et al*, 1997).

Para o aproveitamento do efluente doméstico no reaproveitamento agrícola, é fundamental observar os parâmetros estabelecidos pelas normas e diretrizes vigentes. Nesse sentido, destaca-se a norma brasileira ABNT NBR 15527:2007, que regulamenta o aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas, com foco em usos não potáveis, como limpeza de áreas externas e outros fins que não envolvam o consumo humano direto.

Além disso, a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2006) apresenta diretrizes específicas para o uso de esgoto sanitário tratado na agricultura, garantindo a segurança sanitária da produção para o consumo humano e animal. Estas diretrizes abrangem a avaliação da qualidade do efluente, o critério de tratamento adequado e a definição de limites aceitáveis para contaminantes, em conformidade com o tipo de cultura e método de segurança utilizado.

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre diferentes diretrizes para o aproveitamento de águas cinzas na agricultura, incluindo as recomendações do Brasil, da OMS e de outras normas internacionais. A comparação abrange os usos permitidos, os limites de qualidade aceitáveis, os tipos de culturas indicadas e os métodos de segurança mais adequados para cada contexto.

Tabela 1 - Comparativa de Padrões de Reuso de Águas Cinzas na Agricultura

Parâmetro	ABNT NBR 15527:2007 (Brasil)	OMS (2006) – Cultivo Agrícola	FAO / Diretrizes Internacionais
Uso permitido	Fins não potáveis (lavagem, irrigação de jardins, etc.)	Irrigação de cultivos alimentares e não alimentares	Agricultura, florestas, pastagens
pH	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	6,5 – 8,5
DBO (mg/L)	≤ 10 mg/L	≤ 30 mg/L	≤ 20–50 mg/L
Sólidos Suspensos Totais (SST)	≤ 20 mg/L	≤ 30 mg/L	≤ 20–30 mg/L
Coliformes fecais	≤ 1.000 NMP/100 mL para uso agrícola controlado	≤ 1.000 NMP/100 mL (cultivos não consumidos crus)	≤ 1.000 a 10.000 NMP/100 mL (dependendo do uso)

Nitrogênio total	Não especificado	Controle necessário para evitar eutrofização	Moderado: < 30–50 mg/L
Helmintos (ovos/L)	Não especificado	≤ 1 ovo/L	≤ 1 ovo/L
Cloro residual	0,5 – 2,0 mg/L (se utilizado)	Recomendado em sistemas com desinfecção química	Variável conforme tecnologia
Tipo de irrigação recomendado	Gotejamento (preferencial), evitar aspersão em folhosas	Gotejamento, subsuperficial	Gotejamento ou sulco, dependendo do cultivo
Culturas recomendadas	Árvores, plantas ornamentais, gramados	Culturas não cruas ou com tempo de carência	Culturas não alimentares ou com restrições

Fonte: Elaboração própria com base em ABNT 15527 (2007), OMS (2006) e FAO (2003)

2.6.1 Legislação Federal

Resolução nº 54 de 28/11/2005 / CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos “Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água. Além disso a Lei nº 11.445/2007 estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, definindo responsabilidades dos entes federativos e regulamentando o uso e reúso de águas. Esta lei é fundamental para orientar a implementação de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto (Brasil, 2007).

O Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) oferece soluções específicas para saneamento rural, promovendo tecnologias adequadas para o tratamento descentralizado de esgoto. 27 Este programa é essencial para atender às necessidades das comunidades rurais e isoladas (Funasa, 2019).

Resolução Nº 121, de 16 de dezembro de 2010 estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005. Considerando que o reúso de água se constitui em prática de racionalização e de conservação de recursos hídricos, conforme princípios estabelecidos na Agenda 21; considerando que a prática de reúso de água reduz a descarga de

determinados poluentes em corpos receptores, conservando os recursos hídricos para o abastecimento público e outros usos mais exigentes quanto à qualidade (BRASIL,2005).

A Assembleia Geral das Nações Unidas, em julho de 2010, por meio da Resolução N° 64/292 (ONU, 2010), declarou o acesso à água limpa e segura e ao saneamento de direitos humanos essenciais para gozar plenamente a vida e os outros direitos humanos. Em abril de 2011, o Conselho dos Direitos Humanos da ONU reiterou tal consideração, declarando que o acesso é um direito à vida e à dignidade humana (ONU, 2011).

2.6.2 Legislação estadual

No estado do Ceará: a lei Estadual n° 16.033 de 20 de junho de 2016, dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do estado do Ceará. O Decreto Estadual n° 32.043/2016 institui o Plano Estadual de Saneamento Básico do Ceará, estabelecendo diretrizes para o saneamento descentralizado, a gestão de águas residuais e o reúso. Este decreto é crucial para a implementação de políticas públicas de saneamento no estado (Ceará, 2016).

2.7 Reuso de águas cinzas para a agricultura

As técnicas de reutilização da água cinza, ou água residuária produzida em chuveiros, banheiros, lavatórios, lava-louças, pias de cozinha e máquinas de lavar roupas (Cavaleiro, 2014), a qual é responsável por 70 a 75% da produção total dos efluentes domésticos (Li, 2009) e pode ser utilizada para usos menos nobres, como a irrigação (Mendonça, 2019).

O reúso das águas possibilita que a oferta de água potável seja destinada para fins essenciais, como o consumo humano. Isso gera economia da água de boa qualidade e utilização da água de reúso para outros fins, como atividades agrícolas (Moura *et al.*, 2020).

A agricultura utiliza maior quantidade de água e pode tolerar águas de qualidade mais baixa do que a indústria e o uso doméstico, preservando águas de melhor qualidade para usos mais nobres, como o abastecimento humano (Andrade Neto, 2011).

Medidas como essa coadunam-se com a política de gestão para áreas carentes de recursos hídricos estabelecida pelo Conselho Econômico e Social das Nações Unidas - ECOSOC (1985). O órgão determina que, “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior” (Fiori; Fernandes; Pizzo, 2006; Chrispim; Nolasco, 2017).

O reúso se apresenta de maneira tímida no País, sendo inserido como uma das estratégias do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), que traz como diretriz promover a racionalização e o reúso da água, incluindo a pluvial e de esgotos tratados, considerando as especificidades socioambientais e considerando a inovação e a modernização de processos tecnológicos e a utilização de práticas operacionais sustentáveis (Brasil, 2014).

Para tanto, os sistemas de tratamento descentralizados com finalidade de reúso tornam-se uma alternativa vantajosa para atender, especialmente, às comunidades isoladas, pois apresentam diversas possibilidades construtivas e operacionais para atendimento unifamiliar ou de pequenas comunidades (Gomes, 2015).

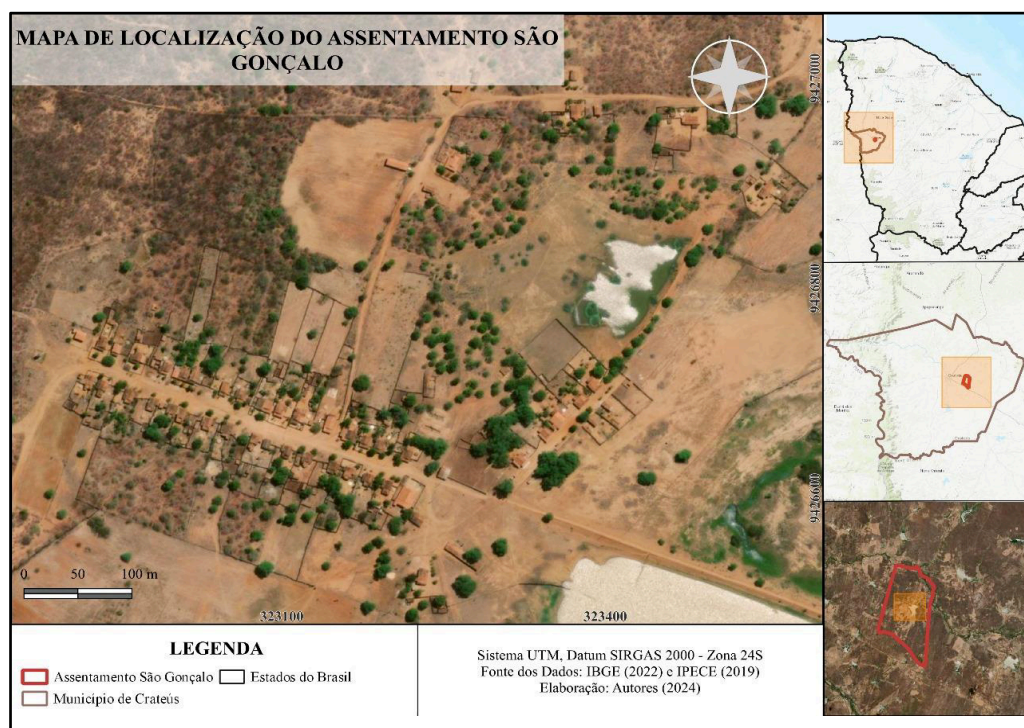
3 METODOLOGIA

3.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado no assentamento São Gonçalo, zona rural do município de Crateús-CE, Figura 08. A comunidade localiza-se a 7,9 Km da zona urbana, às margens da BR 226, possui cerca de 52 famílias assentadas, desde o ano de 1998.

O assentamento São Gonçalo concentra 52 famílias, com cerca de cinco casas desocupadas ou abandonadas e uma em construção. As entrevistas foram aplicadas para 36 famílias, representando 69,23% das famílias do assentamento, visto que havia algumas residências fechadas nos dias da aplicação do questionário. O diagnóstico revelou diferentes situações em relação ao estado das residências e à condução das entrevistas.

Figura 08 - Mapa de localização do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE



Fonte: Torres e Alves, 2024.

Para a elaboração deste trabalho, foram considerados os aspectos climáticos, fisiográficos e hidrográficos da região em estudo, com base em dados do IPECE (2017). A região apresenta uma classificação climática predominantemente de Tropical Quente Semiárido Brando e Tropical Quente Semiárido, com uma pluviosidade média anual de aproximadamente 731,2

mm, concentrada nos meses de janeiro a abril. As temperaturas médias variam entre 26°C e 28°C ao longo do ano.

No que diz respeito aos aspectos fisiográficos, do município de Crateús, à qual o assentamento São Gonçalo, está inserido, está situado na Bacia do Rio Parnaíba, cuja rede hidrográfica é composta por rios de pequeno porte, como o Rio Poti, Riacho dos Cavalos e Riacho Tourão. A vegetação predominante é a Caatinga Arbustiva Aberta, além de formações como Carrasco, Floresta Caducifólia Espinhosa e Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial.

O relevo da área caracteriza-se por depressões sertanejas, maciços residuais e o planalto da Ibiapaba. Quanto ao solo, as tipologias presentes incluem Areias Quartzosas Distróficas, Bruno não Cálcico, Latossolos Vermelho-Amarelos, Planossolos Solódicos e solos Podzólicos Vermelho-Amarelos. Essas informações foram utilizadas para fundamentar a análise e compreensão das condições ambientais e de recursos naturais da região.

3.2 Diagnóstico Comunitário

Para o levantamento realizou-se uma análise das condições de esgotamento sanitário, com ênfase na destinação das águas cinzas na comunidade, foram feitas visitas de campo. Nessas visitas, foram feitos registros fotográficos, com o objetivo de verificar in loco como ocorre o descarte das águas residuais geradas nas residências do assentamento.

Paralelamente, elaborou-se um diagnóstico participativo para compreender as práticas adotadas pelos moradores em relação ao manejo das águas cinzas. A metodologia adotada baseia-se nos princípios do Diagnóstico Rural Participativo (Chambers, 1997) e da escuta ativa (Freire, 1987), valorizando os saberes locais e o protagonismo da comunidade.

A aplicação foi realizada por meio da ferramenta KoboToolbox (Harvard Humanitarian Initiative, 2018), utilizando um questionário composto por perguntas estruturadas e semiestruturadas. Entre os temas envolvidos, destacam-se: as formas atuais de descarte das águas cinzas; a existência ou não de separação entre águas cinzas e águas da privada; e o interesse da população em tecnologias de tratamento ou reaproveitamento das águas cinzas.

A pesquisa foi realizada diretamente com os moradores, abrangendo todas as 52 famílias da comunidade. O diagnóstico foi aplicado entre julho e setembro de 2024, com a apresentação e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, Apêndice 1, por todos os entrevistados (as).

3.3 Alternativas de Modelos de Destinação Final de Água Cinzas

Para a escolha da alternativa mais adequada para a destinação final das águas cinzas foi realizada com base em um processo estruturado em quatro etapas principais: (1) identificação das práticas locais; (2) levantamento de alternativas, onde nessa etapa foi feito uma análise em biografias e estudos de casos que tiveram êxito; (3) Definição de critérios de avaliação e (4) Análise comparativa das alternativas. O processo está representado nas seguintes etapas:

Etapa 1- Identificação das Práticas Locais

O diagnóstico aplicado na comunidade, tinha como foco identificar como é feito a disposição final do efluente doméstico gerado na residência, ou seja, águas cinzas e águas da privada.

Etapa 2 - Levantamento de Alternativas

O levantamento das tecnologias para o tratamento e reaproveitamento de águas cinzas nesta pesquisa foi fundamentada exclusivamente na revisão da literatura técnica e em experiências consolidadas anteriormente documentadas, considerando contextos semelhantes ao da área de estudo. Para Silva e Araújo (2019), as tecnologias incluem aquelas que consideram o contexto socioeconômico, cultural e ambiental local, priorizando soluções de baixo custo, de fácil operação e manutenção, e socialmente acessíveis.

Com base nesses critérios, foram identificadas e corroboradas as seguintes alternativas tecnológicas: Círculo de bananeiras; Sistemas alagados construídos (SAC); Sistema Bioágua;

Desta forma definiu-se uma dessas tecnologias que visa-se como uma solução viável para a comunidade e que se possam ser replicadas pelas famílias da comunidade, de fácil manutenção, baixo custo, facilidade de manejo, que se tenha espaço para sua implantação, recomendado para reaproveitamento agrícola, e que esteja alinhado com a cultura de reaproveitamento já praticada no assentamento, e que o sistema de disposição do esgoto doméstico seja feito separado, no caso águas cinzas separado da água da privada.

Etapa 3 - Definição de Critérios de Avaliação

Para avaliar as alternativas, utilizou-se uma abordagem multicritério que considerou critérios técnicos e contextuais. Essa abordagem foi inspirada no Método de Análise Hierárquica (AHP), proposto por Saaty (1980), o qual permite a comparação de diferentes opções com base em múltiplos fatores relevantes.

O método foi adaptado à realidade local, sendo cada alternativa avaliada de acordo com critérios previamente estabelecidos. Para facilitar a identificação da solução mais adequada às necessidades da comunidade, foi utilizada uma matriz qualitativa de pontuação, na qual os critérios foram categorizados em três níveis: baixo, médio e alto. Cada nível recebeu um peso específico, atribuído por pontos conforme o critério avaliado, possibilitando uma análise comparativa mais objetiva entre as opções.

Na matriz de avaliação qualitativa utilizada para a escolha da alternativa mais adequada de destinação das águas cinzas, foram definidos critérios específicos, aos quais se atribuíram pesos diferenciados conforme a relevância de cada aspecto para a realidade local, cada critério avalia uma característica específica do sistema ou solução, e essa característica impacta a viabilidade, aceitação ou sustentabilidade de maneiras diferentes. Portanto, eles exigem critérios de avaliação distintos para refletir suas particularidades. A seguir, são apresentados os critérios e os respectivos pesos para os níveis de avaliação no quadro 3.

- **Custo de implantação:** quanto menor o custo, maior o peso atribuído, considerando a limitação de recursos financeiros das famílias.
- **Facilidade de operação e manutenção:** avaliou-se o nível de conhecimento técnico necessário e a simplicidade de manejo.
- **Adequação ao uso agrícola:** considerou-se o potencial de preservação de nutrientes e a segurança sanitária. Considerou-se também em que tipo de espécie a família previamente desejaria utilizar o reaproveitamento do efluente tratado.
- **Espaço necessário para instalação:** levou-se em conta a área mínima útil exigida para implantação. Considerou-se também se a família teria espaço disponível.
- **Compatibilidade com os recursos e práticas locais:** analisou-se o uso de materiais disponíveis na comunidade e a integração com os saberes locais e práticas já previamente existentes.
- **Separação das águas cinzas da água da privada:** avaliou-se a frequência com que as águas cinzas já são descartadas separadamente do esgoto sanitário.

Quadro 3 - Quadro de atributos e pesos de critérios de avaliação de critérios de avaliação

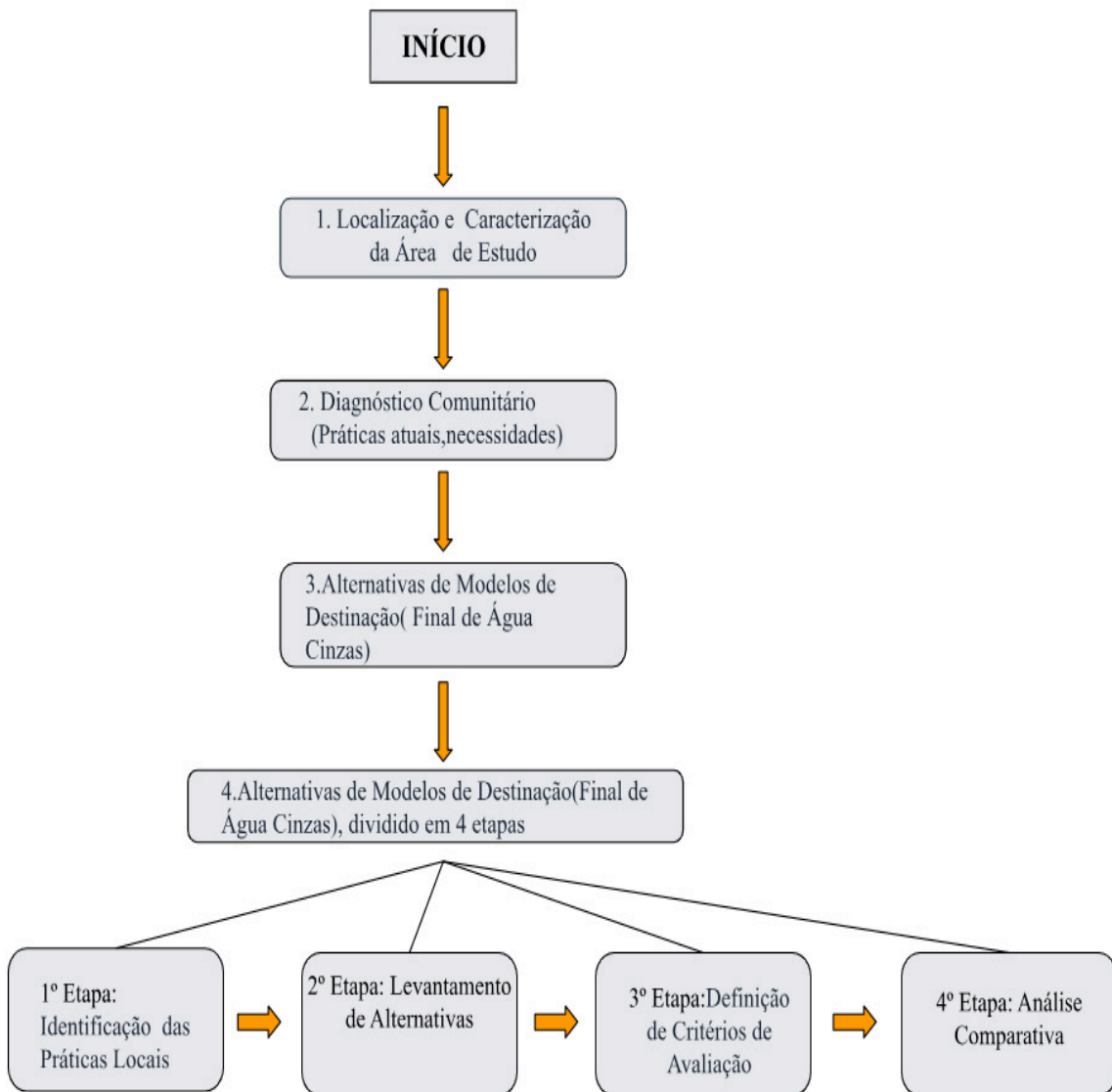
Atributo	Peso
Custo de implantação	Baixo (2), Media (1,5), Alta (1)
Facilidade de operação e manutenção	Baixo (2), Media (1,5), Alta (1)
Adequação ao uso agrícola	Baixo (1), Media (1,5), Alta (2)
Espaço necessário para instalação	Baixo (1), Media (1,5), Alta (2)
Compatibilidade com recursos e práticas locais	Baixo (1), Media (1,5), Alta (2)
Separação das águas cinzas	Baixo (1), Media (1,5), Alta (2)

Fonte: Autoria própria (2025)

Etapa 4 - Análise Comparativa

Foi elaborada uma matriz de avaliação qualitativa, na qual cada alternativa de destinação final das águas cinzas foi pontuada conforme os critérios definidos na etapa 3. Sendo assim essa abordagem permite uma análise multicritério, considerando tanto os aspectos técnicos quanto os contextuais mais relevantes à realidade da comunidade.

3.4. Fluxograma da Metodologia



Fonte: Autoria Própria (2025)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Diagnóstico Comunitário

4.1.1 Esgotamento Sanitário

Constatou-se que o assentamento não possui rede de esgotamento sanitário e sistemas coletivos de tratamentos para os esgotos domésticos. Apesar desse desafio, os dados revelaram que as 32 famílias entrevistadas adotam alternativas, como o uso de fossas sépticas rudimentares, o que, embora limitado, representa um esforço para lidar com a ausência de infraestrutura básica de saneamento.

Dentre as famílias entrevistadas, 88,11% utilizam fossas rudimentares, ou seja, com infiltração no solo, 2,78% possuem fossas impermeabilizadas e 11,11% não dispõem de nenhum tipo de fossa séptica. Essa realidade reflete a ausência ou inadequação do esgotamento sanitário, condição que compromete a qualidade ambiental e representa um dos principais fatores de risco para a saúde pública, especialmente em comunidades vulneráveis (Funasa, 2014, p. 23).

Dessa forma, ao serem questionados sobre como é feita a destinação da água privada, 88,88% dos entrevistados responderam que utilizam fossas rudimentares. Dentre os entrevistados, 5,56% afirmaram não possuir privada em suas residências e, quando questionados sobre onde realizam suas necessidades fisiológicas, relataram fazê-las diretamente no solo.

Essa realidade evidencia uma condição extrema de precariedade sanitária, corroborando com Heller (2020), que afirma que a ausência de sanitários nas residências configura uma grave violação dos direitos humanos ao saneamento e à saúde, perpetuando desigualdades históricas e expondo parcelas da população a práticas indignas, como a defecação diretamente no solo. De acordo com o levantamento da Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílio - Pnad, cerca de 490 mil pessoas no Ceará vivem sem banheiro ou aparelho sanitário em casa (PNAD, 2014).

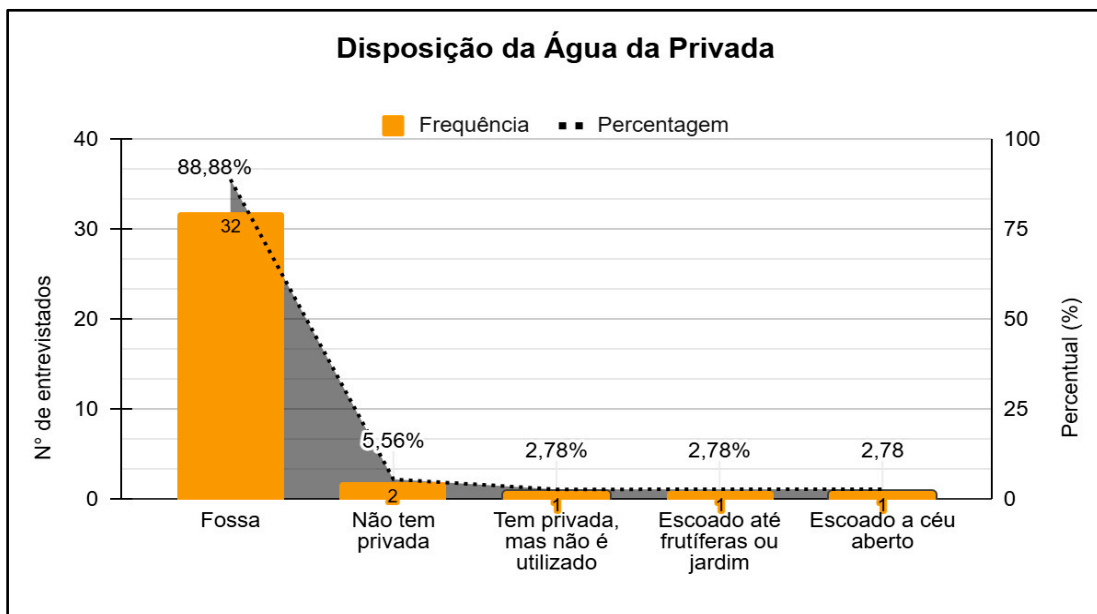
Apenas 2,78% possuem privada, mas não utilizam para evacuação, utilizam apenas para micção, e 2,78% afirmaram que o efluente é direcionado para fruteiras ou jardins, essa família também só utiliza a privada para micção; e outros 2,78% informaram que o escoamento é feito a céu aberto, desta forma a privada é utilizada apenas para micção.

Quando questionados sobre como é feita a deposição das fezes, os mesmos entrevistados afirmaram que a realiza-se diretamente no solo, a céu aberto. Esses dados são especialmente alarmantes, Figura 09, considerando os riscos à saúde pública e ao meio ambiente

relacionados ao destino contaminado das fezes diretamente no solo, como também é provável a contaminação do solo.

A disposição restrita de excretas representa um grave risco à saúde pública, pois pode contaminar o solo e os recursos hídricos, além de favorecer a propagação de doenças. Segundo Cairncross e Feachem (1993), a disposição sanitária específica das fezes humanas é uma das principais causas de doenças diarreicas em comunidades pobres, sendo essencial para a interrupção do ciclo de transmissão de patógenos o manejo adequado do esgoto.

Figura 09 - Presença e formas de destinação dos efluentes sépticos gerados nas residências do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE



Fonte: Autoria própria (2025)

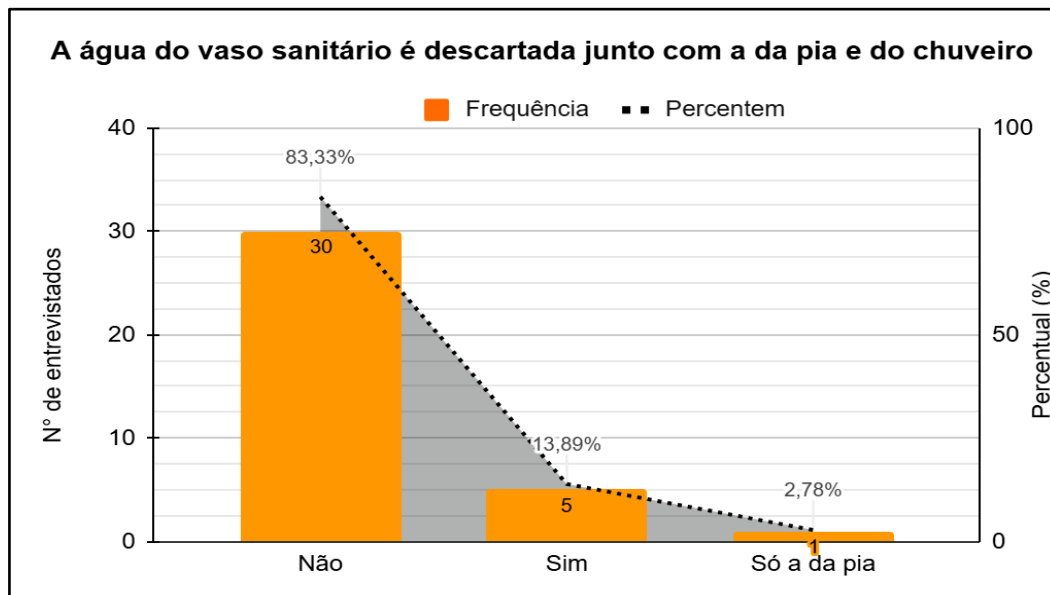
Para compreender o funcionamento da separação entre as águas cinzas (provenientes do banheiro, com pia e chuveiro) e as águas negras (provenientes da privada), o diagnóstico questionou se a água da pia e do chuveiro era descartada separadamente da água do vaso sanitário. A maioria dos entrevistados (83,33%) respondeu que a água do vaso sanitário não é descartada junto com águas de pias e do chuveiro, essa separação expressiva é positiva para a implementação de tecnologias de reaproveitamento das águas cinzas, que contêm resíduos de alimentos e produtos de limpeza, tornando-se mais fáceis de tratar e reutilizar devido à sua carga relativamente baixa de matéria orgânica e agentes patogênicos.

Por outro lado, 13,89% afirmaram que todo o volume é descartado conjuntamente, e

2,78% informaram que apenas a água da pia é direcionada à fossa rudimentar, Figura 10. Entretanto, os relatos sobre o descarte de águas cinzas na fossa rudimentar, além do efluente da privada, indicam que esse acúmulo contribui para a sobrecarga do sistema, resultando em vazamentos após determinado tempo de uso.

Esse tipo de situação é comum em áreas rurais com infraestrutura sanitária precária, onde o uso de fossas rudimentares sem separação adequada entre tipos de efluentes compromete a eficiência do sistema. Segundo Von Sperling (2005), a sobrecarga hidráulica em unidades de tratamento rudimentares, como as fossas sépticas ou rudimentares, compromete seu funcionamento, podendo ocasionar extravasamentos e contaminações ambientais.

Figura 10 – Frequência de descarte da água do vaso sanitário é descartada junto com a da pia e do chuveiro nas residências do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.



Fonte: Autoria própria (2025)

4.2 Destinação e Reaproveitamento de Águas Cinzas

Dentre as 36 famílias entrevistadas, todas responderam que a água proveniente da pia da cozinha e do tanque é descartada diretamente no quintal, a céu aberto. Algumas famílias, no entanto, informaram que direcionam essa água para o cultivo de plantas, como frutíferas, ervas medicinais, espécies ornamentais ou florestais, Figura 11.

Nas Figura 11, 12, 13 e 14 é possível observar o exemplo das práticas utilizadas em algumas residências avaliadas, onde toda a água cinza gerada na pia da cozinha e do tanque é

destinada ao cultivo de frutíferas, como coqueiros, bananeiras, espécies arbóreas. Realidades como essa, praticadas por muitas famílias do assentamento, são concretas e refletem as situações enfrentadas no meio rural.

De forma rústica, essas famílias buscam destinar o efluente das águas cinzas a uma alternativa que, no seu entendimento, causa menos impacto ao meio ambiente. Além disso, relatam que essa prática representa uma forma de reaproveitamento da água, evitando o desperdício e destinando-a a usos que trazem benefícios diretos, como o cultivo de frutíferas para subsistência e a redução do consumo de água potável.

Essa prática, ainda que empírica, revela uma compreensão elementar dos princípios de sustentabilidade e pode ser interpretada como uma forma de educação ambiental, na medida em que valoriza o uso racional dos recursos e a redução dos impactos ao meio ambiente. Tal comportamento está diretamente relacionado com a reflexão apresentada por Pereira e Libânio (2021), ao destacar que, em comunidades rurais, é comum o uso informal das águas cinzas para diferentes usos, mesmo sem tratamento prévio.

Embora tal prática envolva riscos sanitários e ambientais, os autores apontam que ela pode representar um ponto de partida para o desenvolvimento de soluções mais estruturadas e seguras, como os sistemas de fossa verde ou bacias de evapotranspiração.

Figura 11 - Reaproveitamento de águas cinzas, em bananeiras nas residências do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.



Fonte: Autoria própria

Figura 12 - Reaproveitamento de águas cinzas, em coqueiros em residências do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.



Fonte: Autoria própria

Figura 13 - Reaproveitamento de águas cinzas em frutíferas, presentes no quintal produtivo em residências do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.



Fonte: Autoria própria

Figura 14 – Reaproveitamento de água cinzas em espécies arbóreas em residências do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.



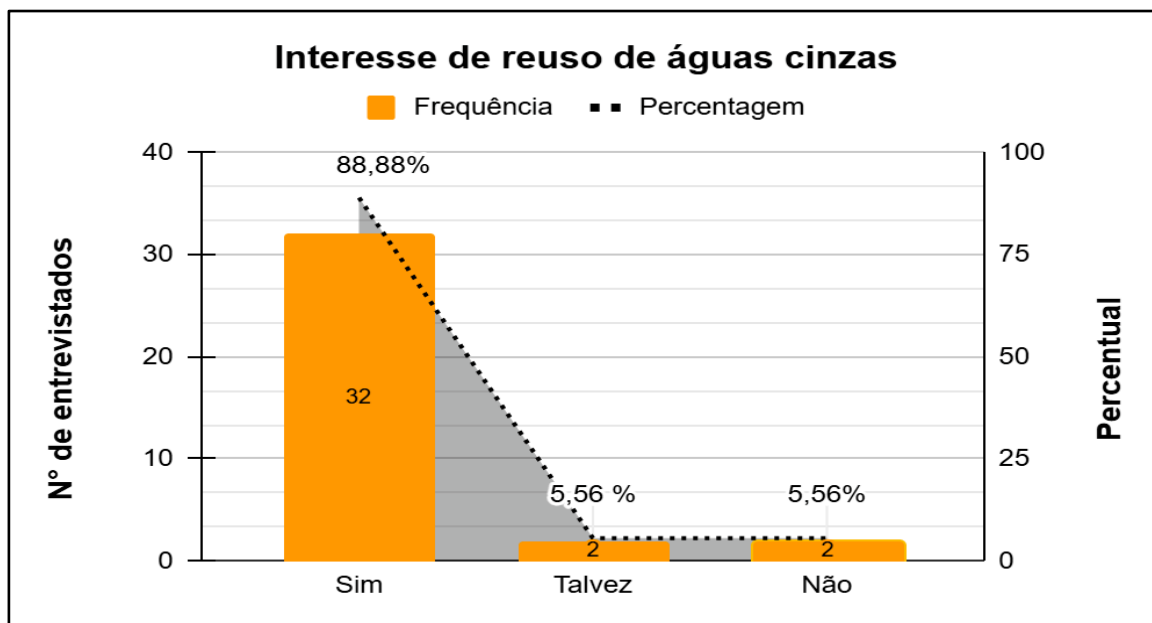
Fonte: Autoria própria

Conforme as famílias entrevistadas, aproximadamente 88,88% demonstraram interesse na prática do aproveitamento de águas cinzas, principalmente com finalidade agrícola. Outros 5,56% responderam que talvez tenham interesse, enquanto 5,56% afirmaram que não têm interesse, Figura 15. Esse resultado é positivo para a implantação de técnicas de tratamento de águas cinzas, considerando a possibilidade de reutilização dessas águas no contexto local.

Em relação à disponibilidade de espaço nos quintais para a construção de um novo sistema de tratamento de esgoto, cerca de 55,56% dos entrevistados afirmaram que possuem espaço disponível, e 44,44% responderam que talvez o tenham.

O aproveitamento de águas cinzas na agricultura configura-se como uma alternativa eficaz para enfrentar a escassez hídrica, sendo também uma estratégia relevante para a redução da pobreza e da desigualdade social no Semiárido (Sousa *et al.*, 2006). Na comunidade, observa-se um interesse significativo pelo uso da água, especialmente para a supervisão de cultivos.

Figura 15 - Percentual de reuso de águas cinzas na comunidade do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.



Fonte: Autoria própria (2025)

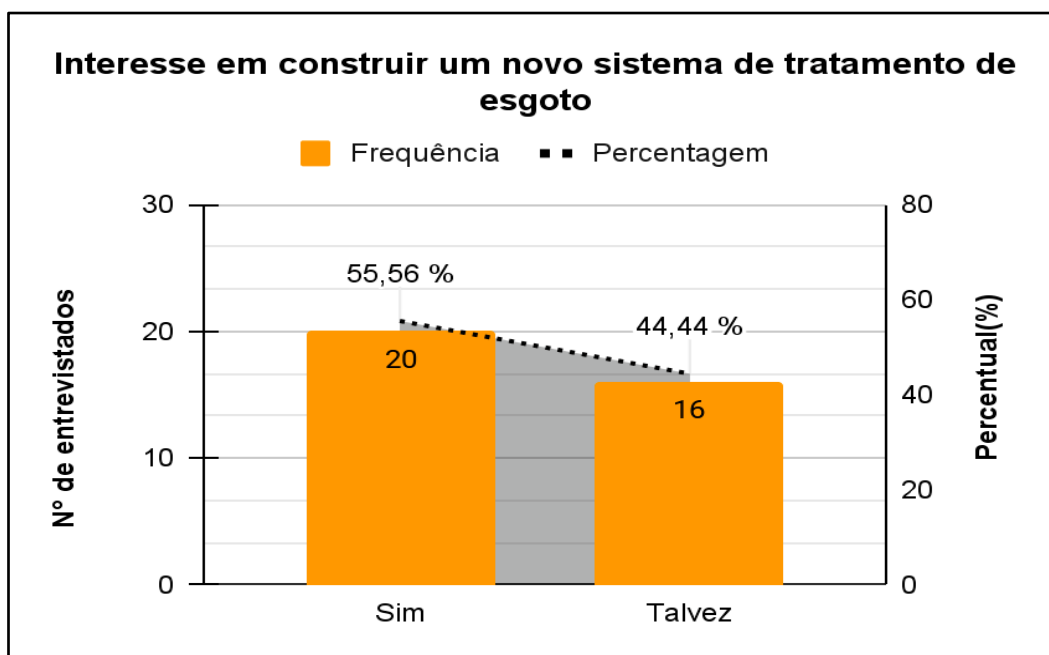
Considerando o interesse da comunidade no reaproveitamento de águas cinzas e no tratamento de efluentes domésticos, foi questionado aos entrevistados se estariam interessados em construir um novo sistema de tratamento de esgoto. Conforme Figura 16, 55,56% responderam que sim, enquanto 44,44% afirmaram que talvez.

Essa resposta, quando considerada apenas como uma possibilidade (talvez), pode estar relacionada à cultura local, na qual muitas famílias já utilizam formas próprias de disposição das águas cinzas, entendidas por elas como práticas eficientes de reaproveitamento desse recurso hídrico em suas quintas produtivas.

Além disso, a falta de conhecimento sobre técnicas de tratamento mais abordadas e ambientalmente seguras pode limitar o interesse na adoção de novos sistemas. Outro fator relevante é a resistência ao novo, característica comum em comunidades rurais, onde práticas tradicionais de manejo da água já fazem parte da rotina cotidiana.

Segundo Jacobi e Giatti (2007), em muitas comunidades rurais, a introdução de tecnologias ambientais enfrentou resistências associadas a fatores culturais, ao desconhecimento técnico e à desconfiança em relação a inovações que alteram práticas tradicionais.

Figura 16 - Interesse em construir um novo sistema de tratamento de esgoto na comunidade do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.

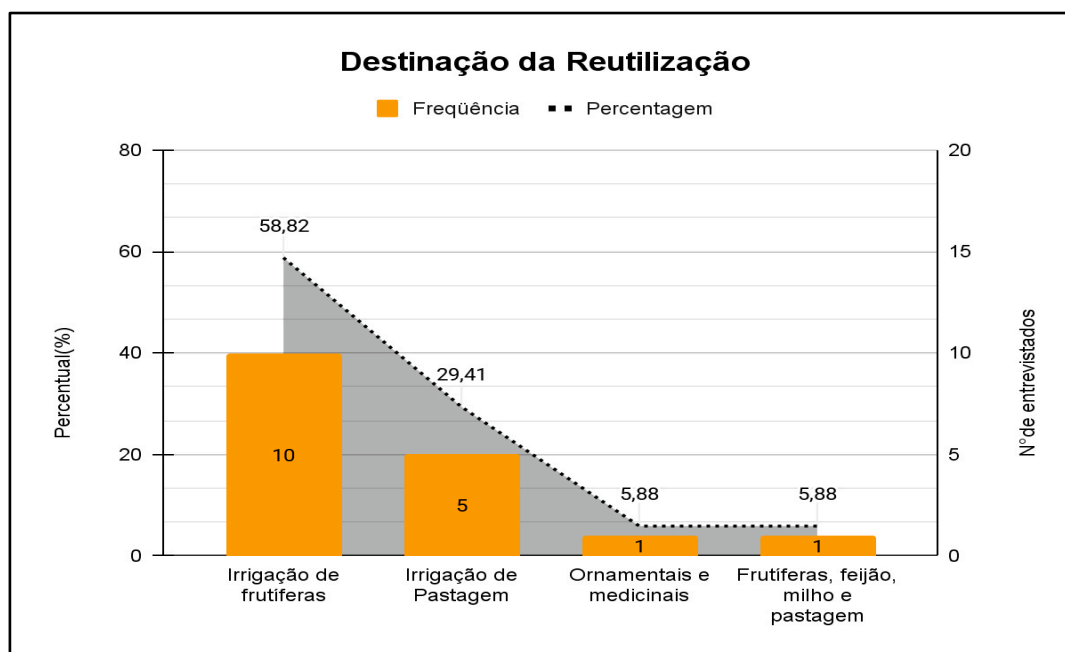


Fonte: Autoria própria (2025)

Considerando a realidade local da comunidade, onde já se observa a prática do reaproveitamento de esgoto doméstico, foi questionado aos entrevistados, caso fosse implantado um sistema de tratamento que possibilitasse o reaproveitamento do efluente tratado, qual seria a especificamente desse reuso. Como resultado, observou-se que as principais destinações apontadas foram: irrigação de frutíferas (58,82%), irrigação de pastagem (29,41%), uso em plantas ornamentais e medicinais (5,88%), e uso diversificado em frutíferas, milho, feijão e pastagem (5,88%), Figura 17.

Esses resultados reforçam a proteção de práticas agrícolas sustentáveis no aproveitamento de águas residuais, especialmente em contextos de escassez hídrica. Segundo Von Sperling (2005), o aproveitamento do efluente tratado na agricultura representa uma alternativa segura e eficiente para economizar água potável, além de promover a valorização de recursos locais e a melhoria das condições de vida das populações rurais.

Figura 17 - Destinação da reutilização das águas cinzas na comunidade do assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.



Fonte: Autoria própria (2025)

4.3 Alternativa de Modelo de Destinação Final de Água Cinzas

Com base nos resultados obtidos por meio do diagnóstico realizado no assentamento São Gonçalo, a alternativa mais adequada para a destinação final das águas cinzas foi a adoção do ciclo de bananeiras. Essa escolha se justifica por fatores técnicos, econômicos, ambientais e culturais observados durante o estudo de campo, sendo uma opção que apresenta maior compatibilidade com as condições locais.

Destacam-se o baixo custo de implantação, a facilidade de manutenção e as altas possibilidades de aproveitamento agrícola, especialmente voltados para o cultivo de frutíferas.

Quando questionadas sobre a finalidade do reaproveitamento das águas cinzas, 58,82% das famílias afirmaram que fariam uso nas frutíferas, o que evidencia uma predisposição para o uso em sistemas agroecológicos. Durante as visitas domiciliares, identificou-se a presença expressiva de espécies como bananeiras, coqueiros, mamoeiros, goiabeiras e mangueiras, todas compatíveis com a aplicação de efluente doméstico tratado.

Essas culturas são consideradas adequadas à coleta de águas com carga orgânica moderada, por sua capacidade de absorção e reciclagem de nutrientes no solo (Von Sperling,

2014). O círculo de bananeiras é uma tecnologia social de baixo custo, fácil implantação e alta compatibilidade com áreas rurais, especialmente aquelas que já cultivam essas espécies.

Além disso, 55,56% das famílias interessadas em implantar um modelo de tratamento para águas cinzas, o que revela uma boa acessibilidade social da proposta. Todas as residências do assentamento possuem áreas cercadas com espaço suficiente para a instalação do sistema, o que reforça suas previsões espaciais. Outro dado relevante é que 83,33% das famílias realizam a separação das águas cinzas (provenientes de pias e tanques) da água da privada, prática fundamental para garantir a segurança sanitária do reuso.

Observou-se, também, que muitas famílias já realizam o reaproveitamento direto das águas cinzas, conduzindo-as de forma empírica até áreas com frutíferas. Essa prática, verificada in loco, apresenta semelhanças com o funcionamento do sistema conhecido como "ciclo de bananeiras", evidenciando uma compatibilidade tanto cultural quanto técnica com a tecnologia proposta neste trabalho.

O Quadro 4 apresenta o resultado da matriz de avaliação qualitativa utilizada para identificar a alternativa mais adequada para a destinação das águas cinzas no assentamento São Gonçalo, em Crateús-CE.

Quadro 4 Matriz de avaliação qualitativa de melhor alternativa, para destinação de águas cinzas no assentamento São Gonçalo, Crateús-CE

Alternativa	Custo	Manutenção	Reuso Agrícola			Espaço	Águas cinzas separadas da água da privada	Compatibilidade	Nota Final
			Ornamental e medicinais	Frutíferas	Pastagem ou milho e feijão				
Círculo de bananeiras	Baixo (02)	Médio (1,5)	Baixa (01)	Alta (02)	Baixa (01)	Alta (02)	Alta (02)	Alta (02)	13,5 Pontos
Sistemas alagados construídos (SAC)	Médio (1,5)	Baixo (01)	Baixa (01)	Baixa (01)	Baixa (01)	Média (1,5)	Média (1,5)	Médio (1,5)	10 Pontos
Sistema Bioágua	Alto (01)	Alto (01)	Alta (02)	Alta (02)	Média (1,5)	Alta (01)	Alta (02)	Baixa (01)	11,5 Pontos

Fonte: Autoria própria (2025)

Segundo Silva et al. (2017), diferentes sistemas de manejo de águas residuais e recursos hídricos apresentam vantagens específicas dependendo do contexto local e das necessidades da comunidade. O Sistema Alagado Construído (SAC) destaca-se pela sua capacidade de tratar águas residuais por meio de processos naturais de evaporação e infiltração, sendo uma solução eficiente para áreas rurais com disponibilidade de espaço.

O sistema BioÁgua, por sua vez, utiliza processos biológicos avançados para o tratamento de águas cinzas, promovendo maior eficiência na remoção de contaminantes e possibilitando a reutilização da água tratada em atividades agrícolas ou domésticas (Oliveira et al., 2019). Já o círculo de bananeiras representa uma alternativa agrícola sustentável que integra o manejo dos resíduos orgânicos e a recuperação do solo, promovendo a compatibilidade com as práticas tradicionais da comunidade.

Considerando todos esses elementos e opções econômicas, acessíveis sociais, condições técnicas e práticas já existentes na comunidade, o **círculo de bananeiras** se apresenta como a alternativa com maior compatibilidade com a realidade do assentamento São Gonçalo.

Além disso, a matriz avaliativa utilizada no processo também apontou o círculo de bananeiras como a tecnologia com maior nota, quando comparada às outras duas opções analisadas, o que contribuiu significativamente para a decisão final.

Como destaca Silva et al. (2020), tecnologias sociais descentralizadas, adaptadas ao contexto sociocultural das populações rurais, tendem a alcançar maior eficácia e sustentabilidade.

Para garantir maior eficiência do tratamento do sistema proposto, é recomendável a instalação de uma caixa de gordura para o pré-tratamento do esgoto da cozinha. Apesar de a caixa de gordura reter restos de comida e grande parte da gordura, as águas cinzas saem dela com cheiro desagradável e por isso é preciso avaliar sua instalação em locais próximos à casa (Figueredo et al., 2018).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho possibilitou compreender a importância da adoção de tecnologias descentralizadas para o tratamento de esgoto em comunidades rurais, especialmente em regiões semiáridas como o assentamento São Gonçalo, em Crateús-CE. A partir do diagnóstico participativo realizado, evidenciou-se que grande parte das famílias ainda enfrenta a precariedade do saneamento básico, com práticas inadequadas de disposição dos efluentes, o que reforça a urgência de soluções sustentáveis e adaptadas às realidades locais.

Diante desse cenário, foram analisadas três alternativas tecnológicas para a destinação final das águas cinzas: o ciclo de bananeiras, o sistema alagado construído (SAC) e o sistema Bioágua. Por meio de uma matriz de avaliação qualitativa, baseada em critérios técnicos e contextuais com pesos diferenciados, como custo, facilidade de operação, espaço necessário e compatibilidade com práticas locais, foi possível apontar a alternativa mais adequada à realidade da comunidade.

Como resultado, a tecnologia selecionada como a mais viável foi aquela que melhor se alinhou aos recursos disponíveis, aos saberes locais e à prática já observada de reaproveitamento das águas cinzas, demonstrando maior potencial de aceitação e replicabilidade. A escolha reforça o papel do planejamento participativo e da análise multicritério na definição de soluções eficazes para o saneamento rural. Além disso, o uso do círculo de bananeiras demonstra potencial de replicabilidade em outras comunidades rurais com características semelhantes, contribuindo para a disseminação de práticas sustentáveis e socialmente inclusivas.

Além disso, a pesquisa destacou o potencial do reúso das águas cinzas como estratégia para a promoção da segurança hídrica, a redução de impactos ambientais e a melhoria da qualidade de vida no campo. No entanto, a adoção segura dessas tecnologias exige o cumprimento de normas sanitárias e técnicas, bem como ações de educação ambiental que fortaleçam o engajamento comunitário.

O impacto dessa tecnologia na saúde pública é promissor, uma vez que promove o tratamento adequado dos resíduos orgânicos, reduzindo riscos de contaminação e doenças relacionadas ao saneamento precário. Quanto à segurança hídrica, a implementação do sistema pode contribuir para a conservação dos recursos hídricos ao possibilitar o reaproveitamento da água tratada em atividades agrícolas ou domésticas.

No entanto, o estudo apresenta limitações, como a necessidade de avaliações mais aprofundadas sobre a eficiência do sistema ao longo do tempo e possíveis adaptações específicas às diferentes realidades locais. Para pesquisas futuras, recomenda-se investigar o desempenho do círculo de bananeiras em larga escala, bem como explorar estratégias para otimizar sua implementação e manutenção, pesquisas voltadas para a caracterização das águas cinzas. Os estudos que avaliem os impactos sociais e ambientais a longo prazo podem fornecer subsídios importantes para ampliar a adoção dessa tecnologia em outros contextos rurais.

Conclui-se, portanto, que o fortalecimento de políticas públicas voltadas ao saneamento rural, o incentivo à difusão de tecnologias sociais de baixo custo e o respeito aos saberes comunitários e culturais são caminhos fundamentais para garantir o acesso ao saneamento de forma digna, segura e sustentável. Espera-se que este trabalho sirva como subsídio técnico e reflexivo para novas intervenções e pesquisas voltadas à promoção da saúde, da equidade e da sustentabilidade em comunidades rurais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e provisão final de efluentes líquidos. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes básicas para o saneamento. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 5 jan. 2007.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *O semiárido brasileiro*. Brasília: MCTI. Disponível em: <https://www.insa.gov.br/>. Acesso em: 11 jul. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde; Fundação Serviços de Saúde Pública. *Manual de saneamento*. 5. ed. Brasília: FSSP, 2019. p. 547.

BRASIL. Resolução nº 121, de dezembro de 2010. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não recomendado de água na modalidade agrícola e florestal. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, dez. 2010.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Plano Nacional de Saneamento Básico, PLANSAB Versão Revisada. 226 p, 2019.

CAIRNCROSS, Sandy; FEACHEM, Richard G. Engenharia de saúde ambiental nos trópicos: um texto introdutório. 2. ed. Chichester: John Wiley & Filhos, 1993.

CASTRO, César; CEREZINI, Monise. Saneamento rural no Brasil: a universalização é possível? Rio de Janeiro: Ipea, maio 2023. 68 p.

CASTRO, NC; CEREZINI, MT Saneamento rural no Brasil: desafios para a ampliação do acesso. Boletim Regional, Urbano e Ambiental. Brasília: Ipea, dez. 2022. pág. 32.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (Brasil); AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. A questão da água no Nordeste. Brasília, DF: CGEE, 2012. 435 p.

CEARÁ. Lei Estadual nº 16.033, de 20 de junho de 2016. Dispõe sobre uma política de reúso de água não potável no âmbito do estado do Ceará. Diário Oficial [do] Ceará, 20 jun. 2016.

CEARÁ. Resolução COEMA nº 02, de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Diário Oficial [do] Ceará, fev. 2017.

CÂMARAS, Roberto. De quem é a realidade que importa? Colocando o primeiro. Londres: Publicações de Tecnologia Intermediária, 1997.

COSTA, TL et al. Tratamento de água cinza para uso agrícola no semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil. [sl]: outubro 2022. Disponível em: <...>. Acesso em: 11 jul. 2024.

FIORI, S.; FERNANDES, VMC; PIZZO, H. Avaliação qualitativa e quantitativa do aproveitamento de águas cinzas em edificações. *Ambiente Construído*, v. 1, jan./mar. 2006. pág. 19-30.

FARIA, Andréa; NETO, Paulo. Ferramentas de diálogo: qualificando o uso das técnicas de DRP – diagnóstico rural participativo. Brasília: MMA; IEB, 2006.

FIGUEIREDO, ICS et al. Tratamento de esgoto na zona rural: fossa verde e círculo de bananeiras. Campinas: Biblioteca Unicamp, 2018. p. 32.

FREIRE, APM Sistemas descentralizados para tratamento de esgoto em área rural: estudo de casos. Niterói, RJ: Universidade Federal Fluminense, 2022. p. 49.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia do oprimido*. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

FUNASA. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. *Manual de Saneamento*. Brasília, DF, 4ed, 2015.

GOUVEIA, AR Manual de uso e manutenção – sistema de Bioágua – Projeto Jucati Sustentável. Recife: Bioágua Agroecologia e Nutrição, set. 2018. pág. 31.

HELLER, Léo. *O saneamento no Brasil e os direitos humanos: desafios estruturais e caminhos para a universalização*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2020.

JACOBI, PR; GIATTI, LL Educação, ambiente e sustentabilidade: desafios à construção de uma cidadania ecológica. *Educação e Pesquisa*, São Paulo, v. 2, 2007. p. 189-209.

JESUS, Érika Castro de; BARRETO, Darliane de Oliveira. Aproveitamento de águas cinzas para fins não potáveis: uma revisão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 3, jul./set. 2013. pág. 127-138. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbrh/a/5VrXnFbYxP4jqw8dc9TW7Wd>. Acesso em: 8 jun. 2025.

LESSA, D. Especial Saneamento 4 – Doenças provocadas pela falta de saneamento. [Brasília]: Câmara dos Deputados, 15 jul. 2006. Disponível em: <...>. Acesso em: 11 jul. 2024.

LEITE, FFP; ALVES, LSF Saneamento básico no semiárido brasileiro: desafios para a gestão e oferta dos serviços. Belém: Enanpur, maio 2023. p. 15.

LI, F. Tratamento de águas cinzas domésticas para reuso não potável. 2009. Tese (PhD) – Universidade de Tecnologia de Hamburgo, Hamburgo.

METCALF & EDDY, Inc. *Engenharia de águas residuais: tratamento, descarte, reutilização*. 4ª ed. Nova York: McGraw-Hill, 2003.

MENDONÇA, KPL Tratamento de águas cinzas provenientes de lavanderias são reuso. 2019. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

MENDONÇA, ZCL et al. Aspectos sanitários e de uso da água em pequenas comunidades rurais do semiárido pernambucano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Pernambuco, 2012. p. 12.

NÓBREGA, Ana Valéria. Educação ambiental dialógica no assentamento São Gonçalo – Crateús-CE: a terra como mãe, a ternura no caminhar e novas atitudes no viver. 2017. Tese (Mestrado em Educação) – UFC, Fortaleza, 2017.

PEREIRA, MA; LIBÂNIO, M. Saneamento ambiental: uma abordagem integrada. Belo Horizonte: UFMG, 2021.

RODRIGUES, EF Saneamento rural: estudo sobre a implantação de um sistema descentralizado de coleta e tratamento de esgoto doméstico na zona rural do Ceará. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC, Fortaleza, 2023.

SANTOS, AM Tratamento descentralizado de esgotos domésticos em sistemas anaeróbios com posterior disposição de efluentes não solo. 2013. 86 f. [SI]. Acesso em: 5 nov. 2023.

SAATY, Thomas L. O processo de classificação analítica: planejamento, definição de prioridades, alocação de recursos. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1980.

SCHERER, MJ; FAGUNDES, RM Sistemas alternativos para o tratamento local de efluentes sanitários. Ciências Naturais e Tecnológicas, S. Maria, v. 1, 2009. pág. 53-65.

SHUVAL, H. et al. Desenvolvimento de uma abordagem de avaliação de risco para avaliar padrões de reuso de águas residuais na agricultura. Water Science and Technology, Oxford, v. 35, n. 11-12, 1997. p. 15-20.

SNIS. Ministério do Desenvolvimento Regional, Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Painel de Informações sobre Saneamento: esgotamento sanitário – 2021. Brasília: SNS/MDR, 2023.

TILLEY, E.; ULRICH, L.; LÜTHI, C.; REYMOND, PH; ZURBRÜGG, C. Compêndio de sistemas e tecnologias de saneamento. 2. Rev. Ed. Dübendorf: Eawag, 2014.

TONETTI, AL et al. Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções. São Paulo: Biblioteca Unicamp, 2018. 153 p.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4.ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2014.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3.ed. Belo Horizonte: DEMA/UFMG, 2005.

SILVA, EM Saneamento rural no semiárido paraibano: estudo de caso no assentamento São João II. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – UFCG, Paraíba, 2012. p. 67.

SILVA, WTL Saneamento básico rural. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

SILVA, J.; ALMEIDA, P.; COSTA, R. Avaliação de tecnologias alternativas para o tratamento de águas residuais em assentamentos rurais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 21, n. 5, p. 345-352, 2017.

SILVA, T.; FERREIRA, A.; MARTINS, D. Tecnologias sociais descentralizadas na gestão de recursos hídricos rurais: uma abordagem sociocultural. *Revista Gestão & Tecnologia*, v. 20, n. 1, p. 45-60, 2020.

OLIVEIRA, M. et al. Sistemas biológicos para tratamento de águas residuais: uma revisão. *Revista Águas Subterrâneas*, v. 43, n. 2, p. 123-132, 2019.

PEREIRA, L.; SOUZA, R. Tecnologias sociais e sustentabilidade em comunidades rurais: uma análise crítica. *Revista de Desenvolvimento Local*, v. 15, n. 4, p. 89-102, 2020.

WHO/UNICEF. 2017. World Health Organization (WHO) and the United Nations Children's Fund (UNICEF). Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines. 110p.

APÊNDICE 1: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Convidamos o (a) Sr (a) para participar da pesquisa (**Segregação e destinação de efluentes domésticos na fonte de geração e seu potencial para reúso em uma comunidade rural do semiárido cearense**), sob a responsabilidade dos/as pesquisadores/as, **Patricia Pereira da Silva Alves e Raimunda Moreira da Franca** a qual pretende realizar um diagnóstico da condição do esgotamento sanitário no assentamento São Gonçalo, e propor diferentes alternativas de modelos de destinação final e reúso dos esgotos domésticos na comunidade. Sua participação é voluntária e se dará por meio de uma entrevista com perguntas estruturadas e semiestruturada de forma clara e objetiva. A realização da pesquisa não envolve riscos decorrentes de sua participação na pesquisa.

Se o/a Sr (a) aceitar participar, as respostas obtidas por esta pesquisa poderão contribuir para compilar um diagnóstico com plano de melhorias para o saneamento local na referida comunidade.

Se depois de consentir a sua participação o/a Sr. (a) desistir de continuar participando, tem o direito e a liberdade de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, seja antes ou depois da coleta dos dados, independente do motivo e sem nenhum prejuízo a sua pessoa. O/a Sr (a) não terá nenhuma despesa e também não receberá nenhuma remuneração referente a esta pesquisa.

Os resultados da pesquisa serão analisados e publicados, mas a sua identidade não será divulgada, uma vez que será guardada em sigilo. Para qualquer outra informação, o (a) Sr (a) poderá entrar em contato com o/a pesquisador/a no seguinte endereço: Rua Luis Ferreira do Nascimento, nº 1022 CEP:63705310, Bairro cidade 2000 (endereço profissional), pelo telefone (88) 9.9857-3112(telefone pessoal), ou poderá entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade.

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal do Ceará. Av. Mister Hull, 2965 - Pici, Fortaleza - CE, Brasil. Campus do Pici, Bloco 848 Caixa Postal 12.140 CEP 60440-900 – Fortaleza, Ceará, Brasil FAX: 85 3366-9941 Email da Pró-reitoria: prposufc@ufc.br

CONSENTIMENTO PÓS-INFORMAÇÃO

Eu, _____, fui informado sobre o que o/a pesquisador/a quer fazer e porque precisa da minha colaboração, e entendi a explicação. Por isso, eu concordo em participar da pesquisa, sabendo que não vou ganhar nada e que posso sair quando quiser. Este documento é emitido em duas vias originais, as quais serão assinadas por mim e pelo/a pesquisador/a, ficando uma via com cada um de nós.

Assinatura ou impressão datiloscópica do/da participante da pesquisa

Assinatura do Pesquisador responsável

Data: ____/____/____

APÊNDICE 2: QUESTIONÁRIO SOBRE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

1. Você tem conhecimento se a comunidade possui coleta e tratamento de esgoto comunitário?

- A. Sim
- B. Não

2. A água que sai da pia da cozinha e do tanque vai para o mesmo lugar que o esgoto do banheiro?

- A. Sim
- B. Não
- C. Não sei

3. E a água que sai da privada vai junto com a água do chuveiro e da pia?

- A. Sim
- B. Não
- C. Não sei

3.1 Como é feito a disposição da água da pia e do chuveiro?

- A. Escoado pelo quintal
- B. Escoado até frutíferas ou jardim
- C. Enviado para fossa (junto da água do privada)
- D. Escoado a céu aberto

4. A residência tem caixa de gordura para o que sai da cozinha?

- A. Sim
- B. Não
- C. Não sei

5. Você tem fossa na sua casa? Ela é impermeabilizada ou permite a infiltração da água na terra?

- A. Sim, impermeabilizada
- B. Sim, permite infiltração da água na terra
- C. Não

5.1 O que faz quando a fossa enche?

- A. Aterro e construo outra fossa nova
- B. Chamo o limpa-fossa para esvaziar
- C. Esvaziou manualmente (balde/ pá/ sifão, outro)
- D. Não sei responder

6. Teria disponibilidade e espaço no seu quintal para construir um novo sistema de tratamento de esgoto no seu terreno? (como uma fossa, bioágua, fossa verde)?

- A. Sim
- B. Não
- C. Talvez

7. Você teria interesse em reuso (águas da pia, chuveiro)?

- A. Sim
- B. Não
- C. Talvez

7.1 Caso sim, quais usos?
