



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

ANA PAULA LIMA XAVIER

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM
SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA PARA REÚSO NA
AGRICULTURA**

MOSSORÓ

2021

ANA PAULA LIMA XAVIER

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM
SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA PARA REÚSO NA
AGRICULTURA**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Mossoró, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Rafael Oliveira Batista, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2021

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

X3d Xavier, Ana Paula Lima.
 Dimensionamento e análise de viabilidade
 econômica de um sistema de tratamento de água
 cinza para reúso na agricultura / Ana Paula Lima
 Xavier. - 2021.
 56 f. : il.

 Orientador: Rafael Oliveira Batista.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
 Agrícola e Ambiental, 2021.

 1. Efluente doméstico. 2. Mitigação de
 impáctos. 3. Sustentabilidade. 4. Reúso. I.
 Batista, Rafael Oliveira , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

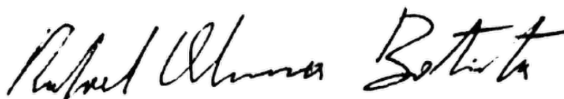
ANA PAULA LIMA XAVIER

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM
SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA PARA REÚSO NA
AGRICULTURA**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Mossoró, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Defendida em: 01/06/2021.

BANCA EXAMINADORA



Rafael Oliveira Batista, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



Danniely de Oliveira Costa, Dra.
Membro Examinador



Hudson Salatiel Marques Vale, Dr.
Membro Examinador

Aos meus pais Francisco Adízio Xavier e Jocelia
Moreira de Lima Xavier, sem eles eu nada seria e
essa conquista é deles também.

AGRADECIMENTOS

Mais um ciclo chega ao fim, os anos de graduação me fizeram crescer, amadurecer e construir o início de uma longa jornada. Nesses anos vivi momentos incríveis, conheci pessoas especiais e aprendi muito em todas as situações. Durante essa jornada Deus me abençoou para viver um sonho que eu ainda não havia planejado, ser mãe, nesse momento imaginei o quão difícil seria continuar os estudos, mas Deus sempre me sustentou, e é a Ele que primeiramente agradeço, obrigada meu Deus por todo seu amor, por me fortalecer e me transformar até aqui, e sempre.

Gratidão as pessoas mais importantes da minha vida, meus pais Adízio e Jocelia, as pessoas que mais acreditaram em mim, minha base, obrigada por todo amor, por terem sonhado meus sonhos comigo e por todo apoio. Assim como meus pais agradeço também aos meus irmãos Rodrigo e Anne Paloma que sempre me apoiaram e me deram carinho e a minha sobrinha Maria Júlia e minha cunhada Rochelly.

Aos meus filhos Luiz Guyllherme e Ana Luíza, que mesmo sem entenderem me inspiraram e me deram forças para seguir em frente.

Ao meu esposo Luiz Ellan, por sempre me apoiar nos momentos difíceis, me ajudar e me incentivar.

As minhas avós Maria e Dilma, exemplos pra mim de força e determinação.

À minha amiga da faculdade Maria Vitória, que foi uma irmã, dividimos apartamento, dividimos momentos e construímos uma amizade para a vida toda, obrigada por todo carinho e por sempre me acolher.

À Bruna Maria, Edna, e minha tia Lucélia por cuidarem dos meus filhos com tanto amor nos momentos em que precisei me ausentar.

Imensa gratidão a todos os professores por todo aprendizado, em especial ao professor e orientador Rafael Oliveira, por todo acompanhamento, por todo conhecimento repassado e apoio no meu desenvolvimento acadêmico e gratidão a UFERSA, por proporcionar a realização de um sonho.

Obrigada a todos!

Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo
para todo o propósito debaixo do céu.

Eclesiastes 3:1

RESUMO

A escassez hídrica é um dos principais problemas enfrentados pelos pequenos agricultores, o aumento da demanda e a diminuição da oferta de água com qualidade fomenta a necessidade de economizar esse recurso. A utilização de águas cinzas na irrigação, após tratamento, vem se tornando uma alternativa ao combate da escassez, uma vez que essa opção diminui a captação de água e, conjuntamente, reduz a geração de águas residuárias e poluição de corpos hídricos. O presente trabalho objetivou dimensionar e analisar a viabilidade econômica de um sistema para tratamento de águas cinzas visando o reúso na agricultura, em uma propriedade agrícola do Perímetro Irrigado Tabuleiro de Russas, em Russas-CE. Para isso, realizou-se o dimensionamento dotado de memorial de cálculo, memorial descritivo, orçamento e plantas da caixa de gordura, caixa de passagem e inspeção, tanque séptico, filtro biológico e tanque de reúso. A viabilidade econômica e o tempo de retorno do investimento foram avaliados utilizando-se os indicadores Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). Os resultados obtidos indicam que o sistema possibilita, para fins agrícolas, 700 L d⁻¹ de água cinza tratada para aplicação restrita (não aplicar em vegetais que tenham contato direto com o solo e o efluente). Com o fornecimento de água cinza tratada para fins de irrigação, tem-se água para atender a demanda hídrica e disponibilizar macro e micronutrientes para suprir a necessidade nutricional das plantas. O sistema apresenta uma taxa interna de retorno de 21%, indicando viabilidade econômica do mesmo, que se paga em, no máximo, cinco anos.

Palavras-chave: Efluente doméstico. Mitigação de impactos. Sustentabilidade. Reúso.

ABSTRACT

Water scarcity is one of the main problems faced by small farmers, the increase in demand and the decrease in the supply of quality water fosters the need to save this resource. The use of gray water in irrigation, after treatment, has become an alternative to combat scarcity, since this option reduces water intake and, together, reduces the generation of wastewater and pollution of water bodies. The present work aimed to dimension and analyze the economic viability of a greywater treatment system for agricultural reuse, in an agricultural property in the Russas Tabuleiro Irrigated Perimeter, in Russas-CE. For this, the design was carried out with a calculation memorial, descriptive memorial, budget and plans for the grease box, passage and inspection box, septic tank, biological filter and reuse tank. The economic viability and the payback time on the investment were evaluated using the Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) indicators. The results obtained indicate that the system allows, for agricultural purposes, 700 L d⁻¹ of treated gray water for restricted application (do not apply to plants that have direct contact with the soil and effluent). With the supply of treated gray water for irrigation purposes, there is water to meet the water demand and make macro and micronutrients available to meet the nutritional needs of plants. The system has an internal rate of return of 20%, indicating its economic viability, which pays for itself in a maximum of five years.

Keywords: Domestic effluent. Mitigation of impacts. Sustainability. Reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Índice de atendimento urbano por rede coletora de esgoto.....	21
Figura 2. Funcionamento geral de tanque séptico.....	26
Figura 3. Imagem da área de um loteamento no Perímetro Irrigado Tabuleiro de Russas, em Russas-CE destinada à implantação do sistema de tratamento de água cinza para aproveitamento agrícola	28
Figura 4. Representação da parede de intercomunicação entre as câmaras do tanque séptico .	36
Figura 5. Representação do canteiro de cultivo de brócolis, retratando espaçamento entre linhas e entre plantas.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas da água cinza.....	17
Tabela 2. Características químicas da água cinza – compostos nitrogenados e fosforados	18
Tabela 3. Características químicas da água cinza – compostos orgânicos	19
Tabela 4. Densidade de microorganismos detectados em águas cinzas	20
Tabela 5. Parâmetros de qualidade para uso da água não potável.....	25
Tabela 6. Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante.....	33
Tabela 7. Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária.....	37
Tabela 8. Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio	33
Tabela 9 . Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil	34
Tabela 10. Contribuição de despejos por tipo de prédio para ocupantes permanentes.	37
Tabela 11. Estimativa de material e mão de obra utilizados na construção do sistema de tratamento de água cinza para reúso na agricultura no Perímetro Irrigado Tabuleiro de Russas.	44
Tabela 12. Cálculo dos valores de VPL, TIR e IL.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
CGP	Caixa de Gordura Pequena
CGS	Caixa de Gordura Simples
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COT	Carbono Orgânico Total
CRL	Cloro Residual Livre
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
IL	Índice de Lucratividade
pH	Potencial Hidrogeniônico
PVC	Policloreto de polivinila
RN	Rio Grande do Norte
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SST	Sólidos Suspensos Totais
TAS	Taxa de Aplicação Superficial
TIR	Taxa Interna de Retorno
UV	Radiação Ultravioleta
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral.....	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1 Definição de água cinza	14
3.1.1 Caracterização físico-química e microbiológica da água cinza.....	15
3.2 Panorama do esgotamento sanitário no Rio Grande do Norte	21
3.3 Impáctos ambientais proporcionados por águas cinzas	22
3.4 Legislação para tratamento e uso agrícola de efluente	23
3.5 Técnicas de tratamento de águas cinzas	25
3.5.1 Uso de tanques sépticos no tratamento de águas cinzas.	25
3.5.2 Uso de filtros orgânicos no tratamento de águas cinzas	27
4 DESENVOLVIMENTO.....	28
4.1 Local de instalação do projeto	28
4.2 Descrição do projeto	29
4.3 Memorial de cálculo do projeto.....	30
4.3.1 Caixa de gordura.....	30
4.3.2 Tanque séptico	32
4.3.3 Filtro biológico	37
4.4 Memorial descritivo do projeto.....	40
5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	44
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
REFERÊNCIAS.....	49
APÊNDICE	53

1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para a existência de vida na Terra, sendo indispensável em inúmeras atividades dos seres humanos, tais como : higiene pessoal, higiene do ambiente, preparo dos alimentos e irrigação. Apesar de ser um recurso renovável tende a se deteriorar em função do seu uso, limitando, assim, a quantidade de água com qualidade disponível.

A necessidade de economizar água vem sendo apontada como alternativa ao combate da escassez que afeta, principalmente, a região semiárida do nordeste brasileiro. Do ponto de vista ambiental a utilização de águas cinzas é uma ótima opção para a diminuição da captação de água e, conseqüentemente, diminuição no lançamento de efluentes sem tratamento em corpos hídricos.

A água cinza é representada pelos resíduos líquidos domésticos, originados nos chuveiros, banheiras, lavatórios, pias de cozinha e lavanderias (SHAMABADE et al., 2015).

O reúso da água ganha cada vez mais espaço como uma opção ambientalmente correta, entretanto, para que possa ser utilizada devem-se levar em conta parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, que servem para indicar a qualidade dessa água.

A agricultura demanda uma quantidade considerável de recursos hídricos, e é uma das principais atividades onde se aplica o reúso da água; as vantagens econômicas dessa prática são obtidas devido ao aumento da produtividade agrícola; as vantagens ambientais são inúmeras, com destaque para o uso sustentável da água, racionamento da água, minimização da poluição de corpos hídricos, diminuição no uso de fertilizantes, matéria orgânica entre outras (BERNARDI, 2003).

Na maioria das residências rurais, a água cinza é despejada diretamente no ambiente e dessa forma desperdiçadas; assim, ao invés de servirem como possível recurso hídrico para irrigação, após tratada, este efluente passa a gerar problemas ambientais e sanitários (FIGUEIREGO et al., 2019).

Nesse contexto, as tecnologias sociais tornam-se fundamentais para mitigar essas problemáticas no semiárido brasileiro. Entre elas, se destaca a Bioágua Familiar, desenvolvida para potencializar a agricultura familiar, por meio da reutilização de água cinza para fins de irrigação de cultivos agrícolas de forma restrita, após tratamento.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Dimensionar e analisar a viabilidade econômica de um sistema para tratamento de águas cinzas visando o reuso na agricultura.

2.2 Objetivos específicos

Dimensionar um sistema unifamiliar, embasado por pesquisa bibliográfica, composto por caixa de gordura, caixa de passagem e inspeção, tanque séptico e filtro biológico para tratamento e uso agrícola de água cinza;

Apresentar o memorial de cálculo, o memorial descritivo e as plantas do projeto do sistema de tratamento e uso agrícola de água cinza; e Estimar o tempo de retorno do investimento através indicadores Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Definição de água cinza

As águas cinzas são definidas como águas residuárias domésticas, originadas nos chuveiros, banheiras, lavatórios, pias de cozinha e lavanderias (SHAMABADI et al., 2015).

Chanakya e Khuntia (2014) relataram que a água cinza é um tipo de água residuária sem a presença de fezes humanas, é de fácil tratamento e representa cerca de 67% do volume total das águas residuárias domésticas.

A Norma 16.783 elaborada em 2019 pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) definiu água cinza clara como água residuária proveniente de chuveiros, banheiras, lavatórios, tanques e máquinas de lavar roupas, e água cinza escura como água servida proveniente de pia de cozinha e máquina de lavar louça, definiu também água negra como água proveniente de bacia sanitária e mictório (ABNT, 2019).

Feitosa et al. (2011) revelaram que a água cinza possui em sua composição resíduos de alimentos, óleos, gorduras, resíduos corporais, materiais de limpeza e produtos de higiene pessoal; sendo 30% da fração orgânica, e de 9 a 20% de nutrientes, tornando-se assim uma boa fonte para a reutilização da água (FOUNTOULAKIS et al., 2016).

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH em sua Resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005 estabelece modalidades, diretrizes e critérios para prática de reúso direto não potável de água, nesta resolução a água residuária é definida como: “esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratada ou não” (BRASIL, 2006).

Em seu artigo 3º a Resolução nº 54/2005 define as modalidades de reúso direto não potável: I - Reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana; II - Reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas; III - Reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente; IV - Reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais;

e V - Reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos (BRASIL, 2006).

3.1.1 Caracterização físico-química e microbiológica da água cinza

A composição da água cinza varia de acordo com o estilo de vida dos moradores das residências onde o efluente é gerado. Feitosa et al. (2011) afirmaram que alguns fatores, como local onde foi gerado, faixa etária ou classe social, influenciam diretamente na qualidade da água cinza.

As características físicas mais relevantes das águas cinzas são a temperatura, cor, turbidez e o conteúdo de sólidos suspensos totais (SST).

A turbidez mede o grau de interferência à passagem da luz causada por sólidos em suspensão presentes na água. A turbidez e os sólidos suspensos são responsáveis por indicar a presença de partículas e colóides na água, podendo levar ao entupimento do sistema de coleta, tratamento e distribuição de água cinza (MAY, 2008).

Os parâmetros químicos mais importantes são a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a demanda química de oxigênio (DQO) e os compostos nitrogenados e fosforados e o enxofre.

Segundo Eriksson et al. (2002), a maior parte da DQO é derivada dos produtos químicos, como produtos de limpeza e detergentes, e os níveis de DQO são próximos aos encontrados para o esgoto doméstico convencional, enquanto que os valores DBO encontrados são geralmente mais baixos.

Em relação aos compostos nitrogenados, Eriksson et al. (2002) ainda explicam que a concentração de nitrogênio total encontrado é baixa, pois a fonte principal de nitrogênio é a urina, que não está presente na água cinza, porém, ele ainda pode ser encontrado em produtos de limpeza e da cozinha, mas em pouca concentração. Já aos compostos fosfatados, os autores apresentam como sendo derivados dos detergentes utilizados nas residências.

Os compostos de enxofre também são importantes devido à formação de odores desagradáveis, sendo derivados dos sabões, detergentes e da decomposição de matéria orgânica (BAZZARELLA, 2005). A formação do gás sulfídrico (H_2S) é o principal fator responsável pelos odores desagradáveis, o que ocorre naturalmente em ambientes redutores. Entretanto, as condições ideais para a produção de sulfetos não se encontram

presentes logo que as águas cinzas são produzidas, o que resulta em concentrações bastante baixas desse composto. Essas concentrações podem aumentar, significativamente, em virtude das elevadas concentrações de sulfato, oriundo de sabões e detergentes, e da decomposição de matéria orgânica (GONÇALVES, 2006).

Algumas atividades como o banho, a limpeza das mãos após o uso do banheiro ou a lavagem de roupas contaminadas por fezes são as principais fontes de microrganismos patogênicos na água cinza. A proliferação de coliformes totais e *Escherichia coli* (*E. coli*) na água cinza pode implicar na presença de patógenos intestinais, como *Salmonella* e vírus entéricos (ERIKSSON et al., 2002).

Nas Tabelas 1, 2 e 3 são apresentadas características físicas e químicas (compostos nitrogenados e compostos fosforados e compostos orgânicos), respectivamente, dos seguintes experimentos.

Bazzarella (2005) caracterizou qualitativamente as águas cinzas provenientes do chuveiro, tanque de lavar roupa e pia de cozinha, com vazão média de $5,13 \text{ L h}^{-1}$. O experimento foi realizado na Universidade Federal do Espírito Santo em Vitória.

Philippi et al. (2005) caracterizou as águas cinzas provenientes do chuveiro, tanque de lavar roupa e lavatório, com vazão média de 40 L h^{-1} . O experimento foi realizado em Florianópolis, Santa Catarina.

Feitosa et al. (2011) caracterizaram as águas cinzas provenientes do banheiro, tanque de lavar roupa e pia da cozinha, com vazão média de $2,33 \text{ L h}^{-1}$. O experimento foi realizado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Vale salientar que, os dois primeiros experimentos foram realizados em áreas urbanas, enquanto que, o último foi conduzido em área rural. Sendo assim, as diferenças entre os valores obtidos para a mesma característica, podem ser associadas ao ambiente do experimento.

A Tabela 4 apresenta as densidades de micro-organismos detectados por outros pesquisadores em água cinza.

Tabela 1. Características físicas da água cinza

Referência	Fonte de água cinza	Cidade	Local de coleta	Características Físicas			
				Cor (uC)	Turbidez (uT)	ST (mgL ⁻¹)	SST (mgL ⁻¹)
Bazzarella (2005)	Chuveiro	Vitória-ES	Estudo experimental – reservatório(s)	-	109	437	103
	Tanque			-	299	1862	221
	Pia de cozinha			-	250	2160	336
	Composta			-	166	1536	134
Philippi et al. (2005)	Composta	Florianópolis-SC	Estudo experimental – reservatório(s)	379	-	-	323
Feitosa et al. (2011)	Composta	Mossoró-RN	Caixa de mistura	-	819,6	1311,5	-

Fonte: Bazzarella (2005); Philippi et al. (2005); Feitosa et al. (2011).

Tabela 2. Características químicas da água cinza – compostos nitrogenados e fosforados

Referência	Fonte de água cinza	Cidade	Local de coleta	Características (mgL ⁻¹)			
				NTK	NH ₃ -N	NO ₃ -N	Fósforo total
Bazzarella (2005)	Chuveiro	Vitória-ES	Estudo experimental – reservatório(s)	3,4	0,8	0,46	0,2
	Tanque			10,3	3,8	0,71	17,7
	Pia de cozinha			13,7	2,5	0,65	9,1
	Composta			6,6	1,9	0,46	9,0
Feitosa et al. (2011)	Composta	Mossoró-RN	Caixa de mistura	-	57,05	7,74	19,8

Fonte: Bazzarella (2005); Feitosa et al. (2011).

Tabela 3. Características químicas da água cinza – compostos orgânicos

Referência	Fonte de água cinza	Cidade	Local de coleta	Características (mgL ⁻¹)	
				DBO _{5,20}	DQO
Bazzarela (2005)	Chuveiro	Vitória-ES	Estudo experimental – reservatório(s)	165	582
	Tanque			570	1672
	Pia de cozinha			633	1712
	Misturada			571	857
Philippi et al. (2005)	Composta	Florianópolis-SC	Estudo experimental – reservatório(s)	387	451
Feitosa et al. (2011)	Composta	Mossoró-RN	Caixa de Mistura	380,6	706,4

Fonte: Bazzarela (2005); Philippi et al. (2005); Feitosa et al. (2011).

Tabela 4. Densidade de micro-organismos detectados em água cinza

Patógenos	Mandal et al. (2011)^{1,b}	Teodoro et al. (2014)^{2,b}	Katukiza et al. (2014)^{1,a}
Coliforme total	$3,74 \times 10^4$		$8,72 \times 10^7$
Coliforme termotolerante	$3,48 \times 10^4$		
<i>Escherichia coli</i>	$3,72 \times 10^4$		$3,7 \times 10^6$
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		$4,7 \times 10^4$	
<i>Salmonella</i> spp.	$1,4 \times 10^5$		$2,7 \times 10^4$

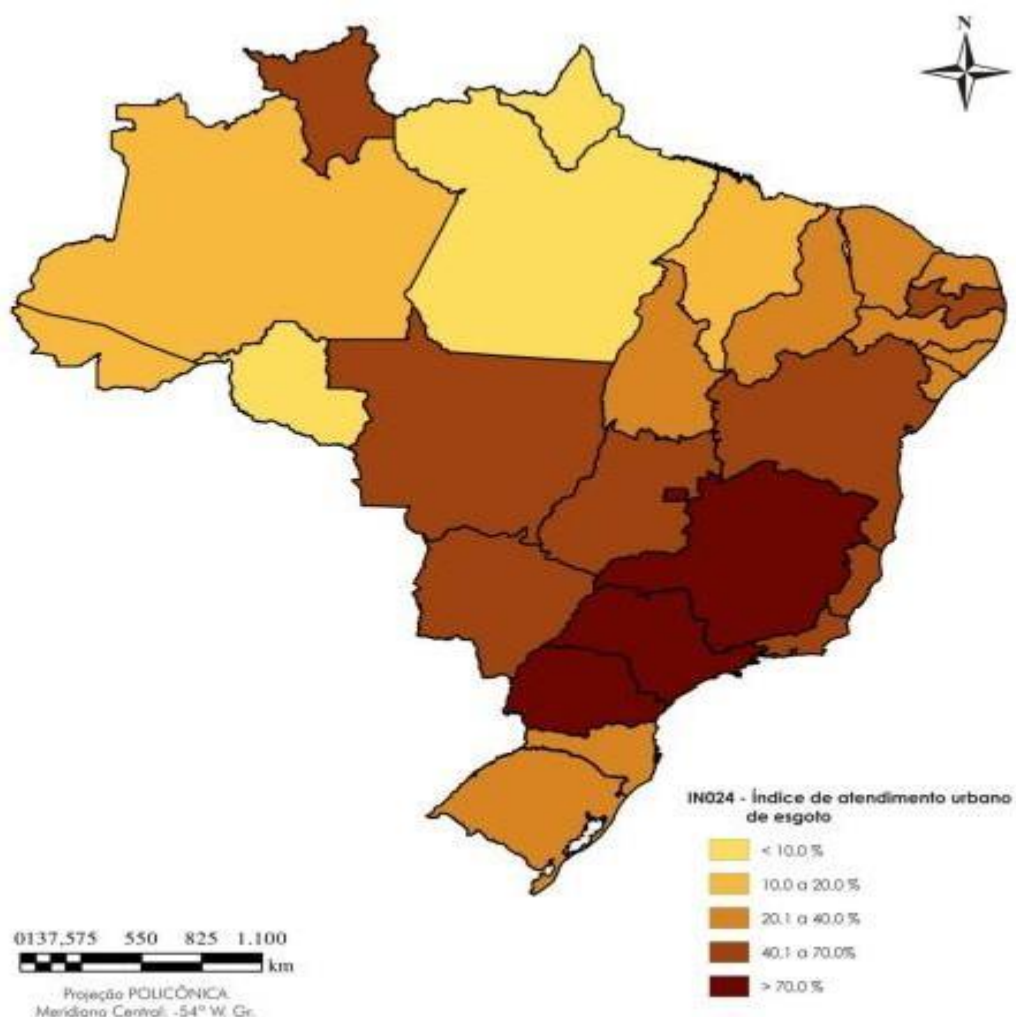
(a) água cinza escura; (b) água cinza clara; (1) CFU 100mL⁻¹; (2) NMP 100mL⁻¹

Fonte: Mandal et al. (2011); Teodoro et al. (2014); Katukiza et al. (2014).

3.2 Panorama do esgotamento sanitário no Rio Grande do Norte

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) a coleta de esgoto registra um atraso considerável no Brasil, cerca de 40,56% dos habitantes não possuem coleta de esgoto, manifestando grandes desigualdades regionais. O Rio Grande do Norte tem 33,72% de esgotos coletados, valor inferior à média nacional, ficando na faixa de 20% a 40% de atendimento urbano de esgoto, o estado ocupa quarto lugar entre os estados do Nordeste (BRASIL, 2019).

Figura 1. Índice de atendimento urbano por rede coletora de esgoto.



Fonte: Brasil (2019).

Segundo os últimos dados divulgados pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), referente a 2019, o Rio Grande do Norte apresenta índices de saneamento básico e tratamento de esgoto inferiores à média nacional. A capital do estado, por exemplo, tem apenas 36,78% do seu esgoto coletado, deste, apenas 51,91% é tratado. A cidade de Mossoró apresenta 43,15% de esgotos coletados, deste montante, 55,20% são tratados (ABES, 2019).

Devido ao Programa Sanear do Estado do Rio Grande do Norte, desenvolvido a partir de 2013 pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) e com apoio do Governo Estadual é notório o avanço proposto em alguns municípios, como Natal e Mossoró, os principais centros urbanos do estado, e um conjunto de municípios da sua área de influência: na região próxima a Mossoró, os municípios de Apodi, Areia Branca e Assú e Mossoró; e na região metropolitana de Natal, os municípios de Natal, as localidades de Pium, Cotovelo e Pirangi pertencentes ao município de Parnamirim, Macaíba e São José de Mipibu. Na faixa mais litoral incluem-se ainda Pipa, do município de Tibau do Sul, o próprio município de Tibau do Sul, Goianinha e Canguaretama. Fora destes eixos fazem, ainda, parte do programa os municípios de Caicó, Jardim de Piranhas, João Câmara, Nova Cruz, Parelhas, Pau dos Ferros e São Paulo do Potengi. Porém, o investimento realizado deixa de fora a maioria dos municípios, aos quais não apresentam muitas informações a respeito (FIGUEIREDO; FERREIRA, 2017).

Dos 1.135 municípios do semiárido brasileiro, cerca de 10 milhões (71%) não são beneficiados com a coleta de águas residuárias domésticas e sanitárias, destinando os dejetos gerados de forma incorreta (MEDEIROS et al., 2014).

3.3 Impactos ambientais proporcionados por águas cinzas

Segundo Guimarães et al. (2007), inúmeras doenças são provocadas pela falta de saneamento básico, como exemplo, a cólera, a difteria, o tifo, a hepatite e muitas outras.

A cólera é causada após a ingestão de água contaminada, provocando desidratação, perda de sais minerais e queda na pressão sanguínea, podendo levar o indivíduo à morte. É uma doença considerada de fácil dissipação, é transmitida para a água por qualquer animal contaminado, inclusive o homem (MOURA et al., 2018).

Estudos realizados por Ottoson e Stenström (2003), evidenciaram que a água cinza possui elevados valores de turbidez, matéria orgânica, sulfatos, bem como moderada

contaminação por material fecal, o que pode vir a causar impactos ambientais negativos. Outros estudos realizados por Jordão e Pessoa (2011) evidenciaram, também, a presença de compostos orgânicos biodegradáveis na composição da água cinza.

O conteúdo de matéria orgânica e inorgânica presentes nesse tipo de efluente é bastante significativo, mesmo não possuindo os efluentes gerados dos vasos sanitários (FEITOSA et al., 2011). Além disso, em alguns casos, as concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e da Demanda Química de Oxigênio (DQO) podem até superar as concentrações características das águas residuárias domésticas concentradas (JORDÃO e PESSOA, 2011).

A eutrofização é uma das principais modificações provocadas pelo homem, visto que, a maior parte do esgoto bruto é depositada diretamente nos corpos hídricos sem nenhum tratamento prévio. Conforme Braga et al. (2005), a eutrofização é considerada como o crescimento excessivo de plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas.

Outra problemática causada é a contaminação por microrganismos patogênicos. A presença desses seres é decorrente da poluição de corpos hídricos por esgotos não tratados, o fator de maior destaque como causador destas contaminações, é a escassez dos hábitos de higiene pessoal e ambiental, que atrelado ao déficit de saneamento básico, facilita a transmissão dos microrganismos de forma indireta ou direta (SOUTO et al., 2015).

3.4 Legislação para tratamento e uso agrícola de efluentes

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou no ano de 2019 a Norma 16783, ao qual fornece técnicas consideradas viáveis para proceder ao tratamento complementar e disposição final de efluentes domésticos; estabelece procedimentos e requisitos para caracterização, dimensionamento, uso, operação e manutenção de sistemas de fontes alternativas de água não potável em edificações com uso residencial, comercial, institucional, de serviços e de lazer (ABNT, 2019).

Os principais usos previstos pela norma para as águas provenientes de fontes alternativas não potáveis são: descarga de bacias sanitárias e mictórios; lavagem de pisos, logradouros, pátios, garagens; lavagem de veículos; irrigação para fins paisagísticos; uso ornamental (fontes, chafarizes e lagos); sistemas de resfriamento a água e arrefecimento de telhados. Quanto a outros usos não previstos, as normas preconizam que parâmetros de qualidade específicos devem ser avaliados para cada situação pelo profissional responsável pelo projeto do sistema (ABNT, 2019).

Os seguintes requisitos devem ser seguidos para que a água não potável seja classificada como apta aos usos previstos nesta Norma.

- O valor do pH deve ser superior a 6,0 e inferior a 9,0 para todas as amostras;
- Pode ser realizado ensaio para detectar a ausência ou presença de bactérias *E. coli*. Caso seja detectada presença, realizar análise de contagem, se a amostra possuir valor menor que 200 NMP 100mL⁻¹ (número mais provável por 100 mL), o requisito está atendido;
- O valor máximo de turbidez deve ser 5 UT (unidades de turbidez) para todas as amostras;
- O valor máximo de DBO_{5,20} deve ser de 20 mgO₂ L⁻¹ para todas as amostras;
- A concentração de cloro residual não pode ser inferior a 0,5 mg L⁻¹ e não pode ser superior a 5,0 mg L⁻¹. Recomenda-se que a concentração de cloro residual livre esteja entre 0,5 mg L⁻¹ e 2,0 mg L⁻¹;
- SDT/conductividade elétrica: o valor máximo de sólidos dissolvidos totais (SDT) deve ser de 2.000 mg L⁻¹. Dada que é conhecida a correlação diretamente proporcional entre SDT e condutividade elétrica, o monitoramento da concentração de sólidos dissolvidos pode ser realizado indiretamente pela análise de condutividade a partir da relação entre condutividade/SDT de 1,6 e limite de condutividade de 3.200 µS cm⁻¹;
- A concentração máxima de carbono orgânico total (COT) deve ser 4 mg L⁻¹. Esse limite é aplicável somente para os casos de água não potável oriunda de rebaixamento de lençol freático, uma vez que pode apresentar indícios de contaminação do solo por compostos orgânicos;
- Considerar outros parâmetros de qualidade em função dos materiais e equipamentos de acordo com a orientação do fabricante.

Tabela 5. Parâmetros de qualidade para uso da água não potável

Parâmetros	Limite
pH	6,0 a 9,0
<i>E. coli</i>	≤ 200 NMP 100mL ⁻¹
Turbidez	≤ 5 UT
DBO 5,20	≤ 20 mgO ₂ L ⁻¹
Cloro residual livre (CRL)	Mínimo 0,5mg L ⁻¹ – Máximo de 5,0 mg L ⁻¹ Recomendável 0,5mg L ⁻¹ – Máximo de 2,0 mg L ⁻¹
Sólidos dissolvidos totais (SDT) ou	≤ 2.000 mg L ⁻¹ ou
Condutividade elétrica ^(a)	≤ 3.200 μ S cm ⁻¹
Carbono orgânico total (COT) ^(b)	< 4 mg L ⁻¹

^(a) Os valores de condutividade apresentam correlação com os sólidos dissolvidos totais. Uma outra opção é realizar a análise dos sólidos dissolvidos totais. ^(b) Somente para água de rebaixamento de lençol freático.

3.5 Técnicas de tratamento de água cinza

Para o tratamento de águas residuárias domésticas é necessário levar em consideração os parâmetros normatizados: volume a ser tratado, finalidade, nível de processamento, qualidades originais e pretendidas e local de lançamento ou de utilização (NUVOLARI; COSTA, 2010).

3.5.1 Uso de tanques sépticos no tratamento de água cinza

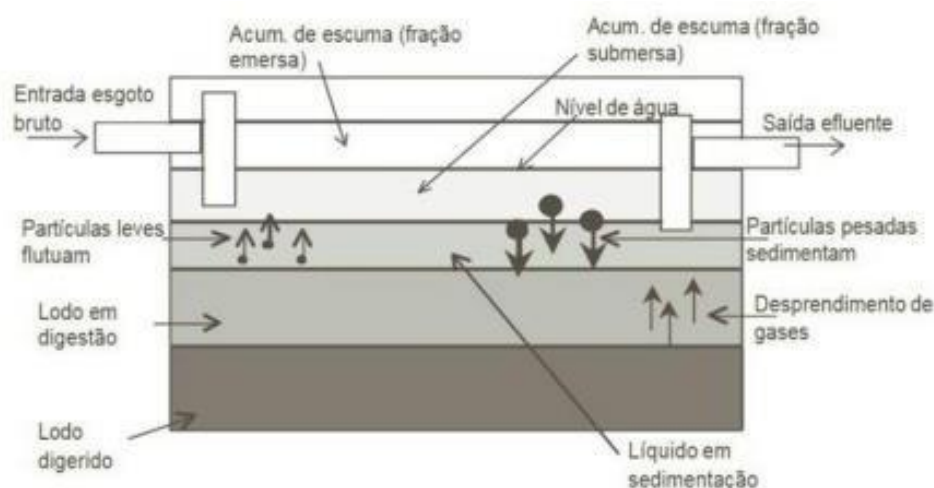
A sua construção e operação tem sido orientada pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 7.229/93; no entanto, as suas condições operacionais são usualmente deficientes, devido à falta de análise dos projetos, do acompanhamento da execução e da operação dos mesmos (ABNT, 1993).

Os tanques sépticos (Figura 1) são câmaras fechadas destinadas ao tratamento primário de esgoto doméstico principalmente onde ainda não existe rede coletora de esgoto. Sua principal função é a remoção dos sólidos suspensos contidos no esgoto. O material bruto é sedimentado e passa por um processo de digestão anaeróbia no interior do tanque (ABNT, 1993).

As câmaras múltiplas em série são recomendadas para tanques de volumes pequeno à médio, servindo até 30 pessoas; para tanques cilíndricos são recomendadas três câmaras em série, e para tanques prismáticos retangulares são recomendadas duas câmaras em série (ABNT, 1993).

O lodo é o material que se acumula na zona do tanque séptico, por sedimentação de partículas sólidas suspensas no esgoto; esse material ao ser removido dos tanques sépticos em nenhuma hipótese podem ser lançados em corpos de água ou galerias de águas pluviais (ABNT, 1993).

Figura 2. Funcionamento geral de tanque séptico.



Fonte: NBR 7229/93 (ABNT, 1993).

De acordo com Colares e Sandri (2013), dentre as técnicas para tratamento de esgotos, o sistema de tanques sépticos é o mais usado em todos os países devido à sua simplicidade de construção e operação, atrelado ao baixo custo de implementação. Chernicharo (2007) afirma que a utilização do tanque séptico é recomendada nas seguintes situações: para áreas desprovidas de rede pública coletora de esgoto; como alternativa de tratamento de esgotos em áreas providas de rede coletora local; para retenção prévia de sólidos sedimentáveis; quando a utilização da rede coletora com diâmetro e/ou declividade reduzida para o transporte de efluentes livres de sólidos sedimentáveis.

3.5.2 Uso de filtros orgânicos no tratamento de água cinza

Para aproveitamento agrícola ou para minimizar os custos do tratamento convencional de águas residuárias ricas em material orgânico em suspensão, tem sido recomendada a utilização de filtros orgânicos, já que, no primeiro caso, possibilita que a aplicação seja feita de forma localizada (microaspersão e gotejamento), de baixo risco sanitário e ambiental, e no segundo possibilita significativa redução nos custos do tratamento secundário e a retenção e aproveitamento de grande parte dos nutrientes contidos nas águas residuárias (MATOS et al. 2006).

Os materiais filtrantes de menor granulometria proporcionarão a produção de um efluente mais depurado, no entanto, ocorrerá maior perda de carga nas camadas superiores da coluna filtrante, o que acaba levando períodos menores de operação do filtro. Já materiais filtrantes de maior granulometria vão permitir maior penetração de partículas ao longo do perfil do meio filtrante, maior volume de vazios (porosidade) para remoção e armazenamento de partículas suspensas, maiores períodos de operação do filtro e mais fácil limpeza por reversão do fluxo, entretanto devem proporcionar menor eficiência na remoção de sólidos suspensos totais (MATOS et al. 2006).

Avaliando a influência da granulometria do material na eficiência de remoção de poluentes e na taxa de filtração obtida, Lo Monaco (2001) recomendou o uso de granulometrias entre 2 e 3 mm, por serem as que proporcionaram mais eficiente filtração sem aumentar em demasia a perda de carga no sistema. Lo MONACO et al. (2004) afirmaram que a faixa granulométrica correspondente ao maior diâmetro do material foi mais eficiente na remoção da $\text{DBO}_{5,20}$ e DQO de água residuária da suinocultura, obtendo-se 40 e 80%, respectivamente.

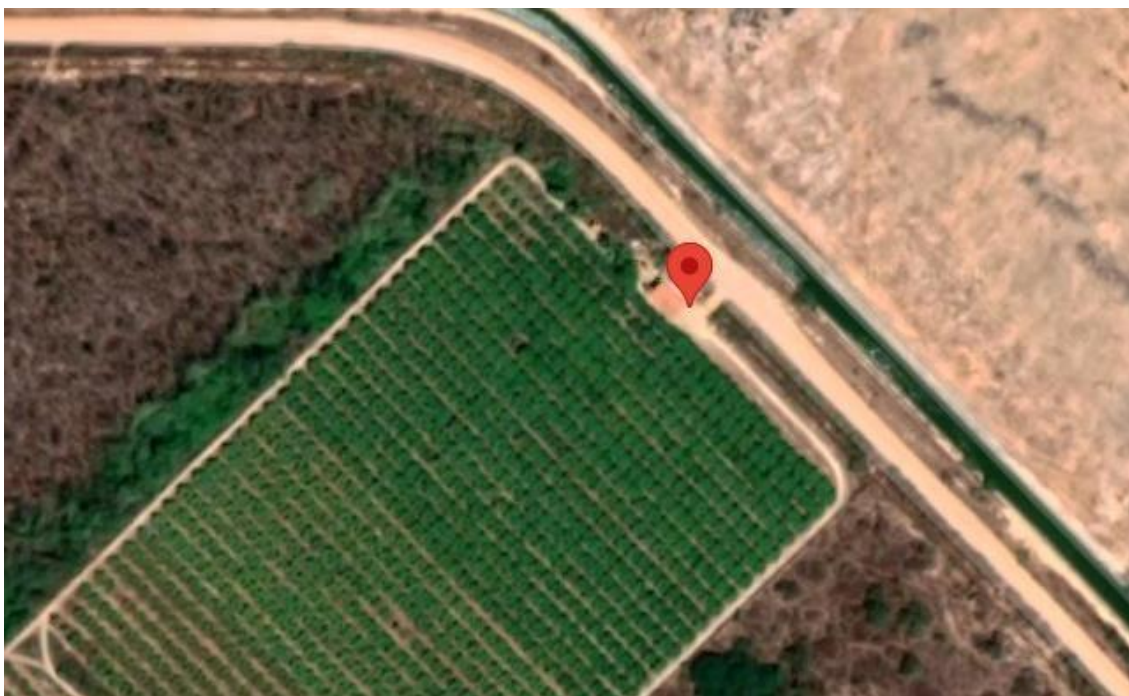
4 DESENVOLVIMENTO

4.1 LOCAL DE INSTALAÇÃO DO PROJETO

È previsto que o presente projeto seja implantado em uma residência rural com sete habitantes no loteamento localizado dentro do Perímetro Irrigado Tabuleiro de Russas, próximo a margem esquerda do Rio Jaguaribe, entre a cidade de Russas e a confluência do rio Banabuiú, região nordeste do Estado do Ceará sob as coordenadas geográficas 5°03'00,7" de latitude sul e 38°08'02,1" de longitude oeste. Segundo Medeiros et al. (2005), a temperatura média mínima do mês mais frio na região do município de Russas CE é de 22° C.

O acesso ao perímetro se dá pela BR-116, que margeia o limite leste da área e segue, paralela ao Rio Jaguaribe, alcançando a cidade de Russas e Limoeiro do Norte. Na Figura 3 está apresentada a localização da área onde será implantado o sistema de tratamento de água cinza.

Figura 3. Imagem da área de um loteamento no Perímetro Irrigado Tabuleiro de Russas, em Russas-CE, destinada à implantação do sistema de tratamento de água cinza para aproveitamento agrícola.



Fonte: Google Earth (2021).

4.2 DESCRIÇÃO DO PROJETO

Propõe-se, neste estudo, um sistema de tratamento e uso agrícola de água cinza de baixo custo, fácil operação e que não emprega o uso de produtos químicos, tendo os seguintes dispositivos: caixa de gordura, tanque séptico, vermifiltro, tanque de reúso e sistema de irrigação localizada.

Para isso, a residência rural do Perímetro Irrigado Tabuleiro de Russas apresenta separação das tubulações de água cinza do chuveiro, lavatório, máquina de lavar roupa, tanque, pias e bebedouro, excluindo-se desse sistema as águas provenientes do vaso sanitário.

Essa água residuária é conduzida por tubulação até uma caixa de gordura, destinada a coletar e reter resíduos gordurosos, evitando o entupimento de tubulações e, ainda, que grande parte desses atinjam o filtro biológico, o que demandaria limpeza periódica.

Entre a caixa de gordura e o tanque séptico utiliza-se uma caixa de passagem e inspeção nas dimensões de 0,50 m de lado por 0,50 m de profundidade, que reúne as tubulações do chuveiro, lavatório, máquina de lavar roupa, tanque, pias e bebedouro, ressaltando que a gordura já foi removida na caixa de gordura.

Em seguida a água cinza passa por um tanque séptico com duas câmaras dimensionado para remoção dos sólidos suspensos totais que possam causar a obstrução dos emissores do sistema de irrigação localizada, esse tratamento em nível primário é onde ocorre a sedimentação dos sólidos sedimentáveis e a digestão anaeróbia do lodo que permanece acumulado no fundo durante alguns meses, tempo suficiente para sua estabilização; na superfície ficam retidos os sólidos não sedimentados como óleos, graxas, gorduras e outros materiais que formam a espuma, também decomposta anaerobiamente (BRASIL, 2019).

Após passar pelo tanque séptico o efluente será conduzido ao garfo de distribuição, que consiste em uma rede hidráulica de distribuição de água cinza para processamento no filtro biológico. A distribuição da água é importante para garantir a filtragem adequada, essa forma de distribuição de efluente garante que as minhocas se espalhem em toda superfície do vermifiltro.

O vermifiltro é a unidade de processamento da água cinza onde ocorre a filtragem e a degradação do material orgânico. Este é composto por camadas preenchidas com os seguintes materiais: 0,40 m de brita número 0 e brita número 1, 0,40 m de serragem e 0,20 m de serragem mais minhoca vermelha da Califórnia (*Eisenia fetida*), população inicial de minhocas de 5.000 a 10.000 minhocas por m², conforme proposto por Soto e Tohá (1998).

Com o intuito de proteger o filtro e propiciar o perfeito funcionamento do sistema de filtragem é necessário a inserção de uma cobertura para evitar a incidência de sol direta e proteção contra intempéries na coluna de minhocas, devendo estar voltada para o sentido Norte onde a incidência solar é mais intensa, evita-se ainda a predação das minhocas por pássaros.

O tanque de reúso é a unidade onde a água cinza tratada permanece armazenada até ser bombeada para a caixa elevada e, posteriormente chegar ao sistema de irrigação. É importante ressaltar que não se trata de um poço ou cisterna, é apenas um tanque de armazenamento temporário.

O sistema de tratamento e uso agrícola de água cinza é interligado por tubulações em PVC tendo diâmetro nominal de 75 mm para amenizar possíveis problemas de obstrução com materiais gordurosos e sedimentos.

O sistema de irrigação localizada é composto por motobomba centrífuga, sistema de filtração, manômetro para medição da pressão, linha principal e de derivação em PVC tendo diâmetro nominal de 32 mm e linhas laterais com emissores autocompensantes para mitigar problema de obstrução.

4.3 MEMORIAL DE CÁLCULO DO PROJETO

4.3.1 Caixa de gordura

A caixa de gordura utilizada neste trabalho segue as diretrizes previstas na NBR 8160/1999 (ABNT, 1999) que estabelece as exigências e recomendações relativas ao projeto, execução, ensaio e manutenção dos sistemas prediais de esgoto sanitário.

Esta norma apresenta as dimensões mínimas exigidas para uma caixa de gordura; onde recomenda-se para a coleta de apenas uma cozinha, a Caixa de Gordura Pequena (CGP) ou Caixa de Gordura Simples (CGS). Para este projeto foi escolhida a CGS, prismática com base retangular, tendo às dimensões mínimas a seguir: 1) Parte submersa do septo: 0,20 m; 2) Capacidade de retenção: 31 L; e 3) Diâmetro nominal da tubulação de saída de 75 mm.

Volume de retenção:

O cálculo do volume de retenção leva em consideração dimensões como profundidade útil (cm), diâmetro (cm), comprimento (cm) e largura (cm), dependendo se a seção é circular ou prismática com base retangular. De um modo geral, a equação é a seguinte:

$$V = \frac{Ab \cdot Hu}{1000} \quad 1$$

Em que:

V - Volume de retenção da caixa de gordura, em L;

Ab - Área da base da caixa de gordura, que depende do formato da seção considerada, em cm²;

Hu - Profundidade útil, correspondente à distância entre o fundo da caixa e a geratriz inferior do tubo de saída, em cm; e

1/1000 - Conversão de unidade cm³ para Litro.

Área da base

Caixas em formato prismática retangular têm área da base calculada pela Equação 2:

$$Ab = L \cdot C \quad 2$$

Em que:

L - largura, em cm; e

C - comprimento, em cm.

A caixa de gordura para este projeto é do tipo CGS, retangular, com as seguintes dimensões: 1) Largura: 0,30 m; 2) Comprimento: 0,44 m; 3) Parte submersa do septo: 0,37 m; 4) Profundidade útil: 0,37 m; 5) Diâmetro nominal da tubulação de saída de 75 mm.

Cálculo da área da base usando a Equação 2:

$$Ab = L \cdot C \therefore Ab = 30 \cdot 44 \therefore Ab = 1.320 \text{ cm}^2$$

Cálculo do volume de retenção empregando-se a Equação 1:

$$V = \frac{Ab \cdot Hu}{1000} \therefore V = \frac{1320 \cdot 37}{1000} \therefore V = 48,84 \text{ L}$$

Por fim, a caixa de gordura tipo CGS apresenta área da base de 1.320 cm² e volume de retenção de 48,84 L.

4.3.2 Tanque séptico

A NBR 7229 de 1993 (ABNT, 1993), fixa as condições exigíveis para projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos, incluindo tratamento e disposição de efluentes e lodo sedimentado.

Distância mínima

Os tanques sépticos devem obedecer às seguintes distâncias horizontais mínimas, segundo ABNT (1993): 1) 1,50 m de construções, limites de terreno, sumidouros, valas de infiltração e ramal predial de água; 2) 3,0 m de árvores e de qualquer ponto de rede pública de abastecimento de água; 3) 15,0 m de poços freáticos e de corpos de água de qualquer natureza; as distâncias mínimas são computadas a partir da face externa mais próxima aos elementos considerados.

Volume útil total do tanque séptico

O volume útil total do tanque séptico é obtido pela Equação 3:

$$V = 1000 + N. (C. T + k. Lf) \quad 3$$

Em que:

V - Volume útil, em L;

N - Número de pessoas ou unidades de contribuição, habitantes;

C - Contribuição de despejos, em L habitante⁻¹ d⁻¹ (consulte a Tabela 6);

T - Período de retenção, em dias (consulte a Tabela 7);

k - Taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco (consulte a Tabela 8); e

Lf - Contribuição de lodo fresco, em L habitante⁻¹ d⁻¹ (consulte a Tabela 6).

Tabela 6. Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante.

Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos (C)	Contribuição de lodo fresco (Lf)
Ocupantes permanentes			
- Residência	L habitante ⁻¹ d ⁻¹	160	1
Padrão alto	L habitante ⁻¹ d ⁻¹	130	1
Padrão médio	L habitante ⁻¹ d ⁻¹	100	1
Padrão baixo	L habitante ⁻¹ d ⁻¹	100	1
- Hotel (exceto lavanderia e cozinha)	L habitante ⁻¹ d ⁻¹	80	1

Fonte: NBT 7229 (ABNT, 1993).

Tabela 7. Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária.

Contribuição diária (L)	Tempo de detenção	
	Dias	Horas
Até 1500	1,00	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	46
De 7501 a 9000	0,58	14

Fonte: NBT 7229 (ABNT, 1993).

Tabela 8. Taxa de acumulação total de lodo (k), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio.

Intervalo entre limpezas (anos)	Valores de k por faixa de temperatura ambiente (t), em °C		
	t ≤ 10	10 ≤ t ≤ 20	t > 20
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fonte: NBT 7229 (ABNT, 1993).

Ainda de acordo com a NBR 7229 de 1993 (ABNT, 1993), o tanque séptico deve apresentar medidas internas mínimas, tais como: 1) Profundidade útil que varia entre os valores mínimos e máximos apresentados na Tabela 4, de acordo com o volume útil obtido calculado pela Equação 3; 2) diâmetro interno mínimo de 1,10 m para tanque séptico cilíndricos; 3) Largura interna mínima de 0,80 m para tanque séptico prismático retangular; e 4) Relação comprimento/largura para tanques prismáticos retangulares de no mínimo 2:1 e no máximo 4:1.

Tabela 9. Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil.

Volume útil-V (m ³)	Profundidade útil (m)	
	Mínima	Máxima
$V \leq 6,0$	1,20	2,20
$6,0 < V \leq 10,0$	1,50	2,50
$> 10,0$	1,80	2,80

Fonte: NBT 7229 (ABNT, 1993).

De forma específica a NBR 7229 de 1993 (ABNT, 1993) estabelece, também, para o número de câmaras: 1) Tanques cilíndricos dotados de três câmaras em série; e 2) Tanques prismáticos retangulares possuindo duas câmaras em série; além disso, apresenta também proporção entre as câmaras: 1) Tanques cilíndricos de 2:1 em volume, da entrada para a saída; e 2) Tanques prismáticos retangulares de 2:1 em volume, da entrada para a saída.

Para a intercomunicação entre as câmaras, a NBR 7229 de 1993 ainda (ABNT, 1993) recomenda que as câmaras devam comunicar-se mediante aberturas com área equivalente a 5% da seção vertical útil do tanque no plano de separação entre elas; as seguintes relações de medida devem ser observadas para as aberturas: 1) Distância vertical mínima da extremidade superior da abertura ao nível do líquido de 0,30 m (e); e 2) Distância vertical mínima da extremidade inferior da abertura à soleira (g) do tanque de metade da altura útil para tanques dimensionados para limpeza a intervalos de até três anos, e dois terços da altura útil para tanques dimensionados para limpeza a intervalos superiores à três anos; deve-se ressaltar que a menor dimensão de cada abertura deve ser igual ou superior a 3 cm (d e f).

No dimensionamento do tanque séptico para a residência rural em Russas-CE consideram-se sete ocupantes permanentes, residência de baixo padrão, intervalo de limpeza do tanque séptico de dois anos, temperatura média mínima do ar no mês mais frio de 22°C, tanque prismático retangular, largura mínima de 0,90 m e três aberturas na divisória entre câmaras conforme estabelecido na NBR 7229 de 1993 (ABNT, 1993).

No cálculo do volume útil total do tanque séptico empregou-se a Equação 3 e consultaram-se as Tabelas 1, 2 e 3 para a obtenção dos parâmetros C, Lf, T e k.

$$V = 1000 + N. (C. T + k. Lf) \therefore V = 1000 + 7. (100 .1 + 97.1) \therefore V = 2379 \text{ L} \therefore V = 2,379 \text{ m}^3$$

Considerando que o tanque séptico é prismático retangular como duas câmaras e que o seu volume útil é de 2,379 m³, pela Tabela 4 obtém-se a faixa de profundidade útil (h) de 1,20 a 2,20 m.

Para obter o comprimento do tanque séptico (L) adotou-se largura interna (W) de 0,90 m ($\geq 0,80$ m) e profundidade útil (h) de 1,20 m ($1,20 \text{ m} \leq h \leq 2,20 \text{ m}$), empregando-se a Equação 4.

$$V = L. W. h \therefore L = \frac{V}{W. h} \therefore L = \frac{2,379}{0,90 . 1,20} \therefore L = 2,20 \text{ m} \quad 4$$

Em que:

V - Volume útil do tanque séptico, m³;

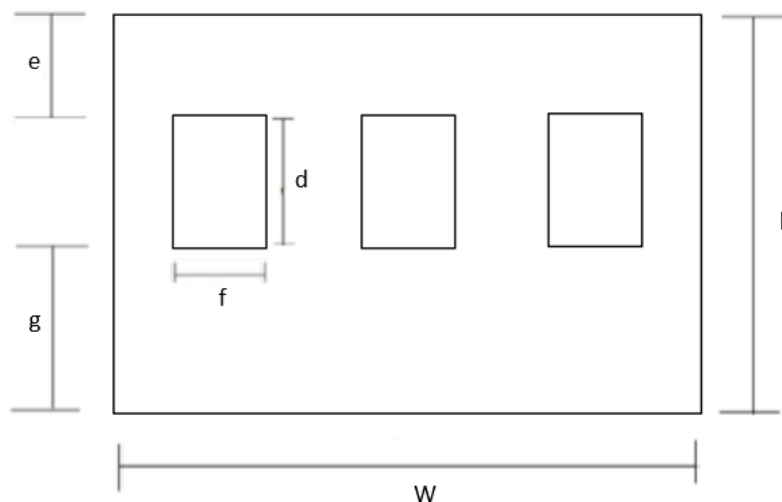
W - Largura interna do tanque séptico, m; e

L - Comprimento interno do tanque séptico, m.

Tendo-se valores de comprimento interno (L) de 2,20 m e de largura interna do tanque séptico (W) de 0,90 m tem-se uma relação comprimento/largura (L: W) de 2,44 dentro da faixa de 2:1 a 4:1 proposta pela NBR 7229 de 1993 (ABNT, 1993).

A intercomunicação entre câmaras ocorre por três aberturas na divisória (Figura 4), onde as dimensões de cada uma serão obtidas por meio da Equação 5.

Figura 4. Representação da parede de intercomunicação entre as câmaras do tanque séptico.



Nota: e - Distância vertical mínima da extremidade da abertura ao nível do líquido; d - Altura da abertura; f - Largura da abertura; e g - Distância vertical mínima da extremidade inferior da abertura à soleira do tanque; h - Profundidade útil do tanque; e W - Largura interna do tanque.

Intercomunicação entre câmaras

$$n \cdot d \cdot f = 0,05 \cdot h \cdot W \therefore d \cdot f = \frac{0,05 \cdot h \cdot W}{n} \therefore \quad 5$$

$$d \cdot f = \frac{0,05 \cdot 1,20 \cdot 0,90}{7} \therefore L = 0,0077 \text{ m}^2$$

Em que:

n - Número de habitantes que geram esgoto;

d- Altura da abertura, m;

f - Largura da abertura, m;

h - Profundidade útil, m; e

W - Largura interna, m.

Considerando valor da largura (f) de 0,04 m ($\geq 0,03$ m) tem-se o seguinte valor da altura da abertura (d):

$$d \cdot f = 0,0077 \text{ m}^2 \therefore d = \frac{0,077}{f} \therefore d = \frac{0,077}{0,04} \therefore d = 0,154 \text{ m } (\geq 0,03 \text{ m})$$

Por fim, a divisória possui três aberturas cada uma com dimensões d e f de 0,154 e 0,04 m, respectivamente. Considera-se, também, distância vertical mínima da extremidade da abertura ao nível do líquido (e) de 0,30 m e distância vertical mínima da extremidade inferior da abertura à soleira do tanque (g) de 0,746 m.

4.3.3 Filtro biológico

No tratamento complementar do efluente do tanque séptico, com o intuito de remover sólidos suspensos totais que possam obstruir os emissores do sistema de irrigação por gotejamento, recomenda-se o uso do filtro biológico ou do vermifiltro. No seu dimensionamento utilizou-se o critério da taxa de aplicação superficial (TAS) descrito na Equação 6. A literatura nacional e internacional (SOTO e TOHÁ, 1998; BATISTA et al., 2011; BATISTA et al., 2013; MADRID et al., 2019) apresenta uma faixa de TAS para águas residuárias em vermifiltros que varia de 0,50 a 1,50 m³ m⁻² d⁻¹.

Critério de taxa de aplicação superficial

$$As = \frac{N \cdot C}{TAS} \quad 6$$

Em que:

As - Área superficial do vermifiltro, m²;

N - Número de contribuintes;

C - Contribuição de despejos, em m³ habitantes⁻¹d⁻¹ (Tabela 5);

TAS - Taxa de aplicação superficial, m³ m⁻² d⁻¹.

Tabela 10. Contribuição de despejos (C) por tipo de prédio para ocupantes permanentes.

Prédio	Unidade	Contribuição de esgoto
- Residência	L habitante ⁻¹ d ⁻¹	160
Padrão alto	L habitante ⁻¹ d ⁻¹	130
Padrão médio	L habitante ⁻¹ d ⁻¹	100
Padrão baixo	L habitante ⁻¹ d ⁻¹	100
- Hotel (exceto lavanderia e cozinha)	L habitante ⁻¹ d ⁻¹	80
- Alojamento provisório	L habitante ⁻¹ d ⁻¹	160

Fonte: NBR 13969 (ABNT, 1997).

No dimensionamento do vermifiltro, instalado à jusante do tanque séptico, utilizou-se TAS de 0,5 m³ m⁻² d⁻¹, sugerida por Soto e Tohá (1998) e Batista et al. (2011) para águas residuárias domésticas, bem como a Equação 6.

$$A_s = \frac{N \cdot C}{TAS} \therefore A_s = \frac{7 \cdot 0,10}{0,5} \therefore A_s = 1,40 \text{ m}^2$$

Considerando o vermifiltro com área de seção circular tem-se o seguinte diâmetro (d) para o mesmo:

$$A_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \therefore d = \sqrt{\frac{4 \cdot A_s}{\pi}} \therefore d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,4}{3,14}} \therefore d = 1,33 \text{ m}$$

Já a profundidade útil do vermifiltro (h) foi obtida empregando-se a Equação 7.

$$h = hC1 + hC2 + hC3 \therefore \quad \quad \quad 7$$

$$h = 0,20 + 0,40 + 0,40 \therefore h = 1,00 \text{ m}$$

Em que:

hC1 - Profundidade da camada 1, m;

hC2 - Profundidade da camada 2, m; e

hC3 - Profundidade da camada 3, m.

A profundidade total do vermifiltro (H) foi obtida por meio da Equação 8.

$$H = h + h_v \therefore \quad \quad \quad 8$$

$$H = 1,00 + 0,40 \therefore H = 1,40 \text{ m}$$

Em que:

H - Profundidade total do vermifiltro, m; e

h_v - Altura do vão livre para evitar entrada de água de escoamento superficial dentro do vermifiltro superficial, m.

Para determinar o volume de cada material de preenchimento do vermifiltro utilizou-se a Equação 9.

$$V_c = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot hc \quad 9$$

Em que:

V_c - Volume ocupado pelos meios filtrantes, m³;

d - Diâmetro interno do vermifiltro, m; e

hc - Profundidade útil do vermifiltro, m.

Os volumes de serragem e britas foram obtidos por meio do uso da Equação 9.

Volume de serragem

$$V_{\text{serragem}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot (h_1 + h_2) \therefore V_{\text{serragem}} = \frac{3,14 \cdot 1,33^2}{4} \cdot (0,20 + 0,40) \therefore$$

$$V_{\text{serragem}} = 0,83 \text{ m}^3$$

Volume de britas n. 0 e n. 1

$$V_{\text{britas}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot (h_3) \therefore V_{\text{britas}} = \frac{3,14 \cdot 1,33^2}{4} \cdot (0,40)$$

$$V_{\text{britas}} = 0,55 \text{ m}^3$$

Sendo 0,275 m³ de brita n° 0 e 0,275 m³ de brita n° 1.

População inicial de minhocas para o vermifiltro

Considerando a que a área superficial do vermifiltro é de 1,40 m², bem como a recomendação de Soto e Tohá (1998) de utilizar uma população inicial de 5000 minhocas m⁻² tem-se:

$$Nm = \frac{As \cdot Pi}{A} \therefore \quad 10$$

$$Nm = \frac{1,4 \cdot 5000}{1} \therefore Nm = 7000 \text{ minhocas}$$

Em que:

Nm - Número de minhocas para iniciar o tratamento de esgoto;

As - Área superficial do vermifiltro, m²;

Pi - População unitária de minhocas, 5.000 a 10.000 minhocas;

A - Área unitária, 1 m².

4.4 MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO

As plantas que orientam a construção de todo o sistema de tratamento e uso agrícola de água cinza e respectivos detalhes construtivos constam no APÊNDICE.

O sistema inicia por uma caixa de gordura simples, com dimensões de 44 cm de comprimento, 30 cm de largura e 30 cm profundidade, em alvenaria rebocada, com tampa de concreto armado, sendo esta instalada na área externa da casa, mas nas proximidades da pia da cozinha. Para isso, recomenda-se fazer uma abertura no solo com 80 cm de comprimento, 60 de largura e 80 cm de profundidade, fazer o fundo da caixa em concreto simples, traço 1:3:3 (cimento, areia, brita) com 8 cm de altura, levantar as paredes com tijolos deitados até 10 cm de altura, assentar a placa que é a parede do sifão distante cerca de 29 cm da parede onde é a canalização de entrada, o revestimento interno da caixa é de massa forte traço 1:3 (argamassa de cimento e areia), a placa deve ter 30 cm x 37 cm com 2 cm de espessura. Subir as paredes da caixa até 37 cm de altura, a partir do fundo, assentar o tubo em PVC de 75 mm, saindo da caixa de gordura, subir as paredes mais 5 cm, assentando a 42 cm do fundo o tubo de entrada de 75 mm. Subir as paredes mais 5 cm e chumbar uma tampa de concreto sobre a parte menor da caixa, continuar subindo as paredes do lado maior até o nível do terreno. Aterrizar as laterais da caixa, encaixar no lado maior uma tampa móvel para permitir a limpeza da caixa.

A caixa de passagem e inspeção irá receber as águas cinzas proveniente da pia da cozinha, após passar pela caixa de gordura, e as demais águas cinzas da residência, a mesma terá dimensões de 0,50 m de lado e 0,50 m de profundidade. Fazer uma abertura no solo com 1,0 m de lado e 0,60 de profundidade, fazer o fundo da caixa em concreto simples, traço 1:3:3 (cimento, areia, brita) com 8 cm de altura, levantar as paredes com tijolos deitados, o revestimento interno da caixa é de massa forte traço 1:3 (argamassa de cimento e areia), assentar as canalizações de entrada e saída da caixa, tubo de PVC de 75 mm, assentar uma tampa móvel para permitir a limpeza e inspeção da caixa.

Para o tanque séptico deve ser feita uma abertura no solo com as dimensões de 3,0 m x 1,6 m com profundidade de 1,6 m, após essa abertura nivelar a base e compactar manualmente, realizar a concretagem do fundo com traço 1:3:3 (cimento, areia lavada e brita), instalar os dutos de entrada e saída, diâmetro de 100 mm, levantar as paredes com blocos cerâmicos deitados e argamassa traço 1:3:2 (cimento, areia e cal). Fazer a parede divisória com as aberturas adequadas, realizar o revestimento interno do tanque, com argamassa de cimento e areia traço 1:3 e espessura de 1,5 cm.

Para a construção do vermifiltro deve-se fazer uma abertura no solo com 2,0 m de profundidade e 1,8 m de diâmetro, após a escavação compactar o solo do fundo antes de iniciar a construção. A base do tanque deve ser executada em concreto armado no traço 1:3:2 (cimento, areia e brita), com 5 cm de espessura, armada com barras de aço de 6,3 mm espaçadas a 15 cm, fazer a instalação da tubulação de drenagem de 100 mm. Para elevação das paredes do filtro utilizar tijolo cerâmico, realizar o chapisco, empregando argamassa de cimento e areia média sem peneirar no traço de 1:3, com espessura de 3 mm, posteriormente o reboco, empregando argamassa de cimento e areia fina, no traço de 1:5, com espessura de 5 mm. Após a construção realizar o preenchimento do filtro biológico, a primeira camada de 20 cm de brita n. 0, a segunda camada 20 cm de brita n. 1, terceira camada 40 cm de serragem e quarta camada 20 cm de serragem com a população inicial de 7.000 minhocas. Na parte superior do filtro realizar a instalação do garfo de distribuição de água cinza no vermifiltro, utilizar tubos de 32 mm sendo estes perfurados na face voltada para o interior do tanque com broca de 5 mm e distância entre eles de 10 cm. Cobrir a parte superior do vermifiltro com uma sombrite (80% de sombreamento) para evitar predação das minhocas por aves. Para evitar a incidência de sol direta e proteção contra intempéries executar uma cobertura voltada para o sentido Norte, onde a incidência solar é mais intensa. A cobertura será construída usando pilares de barrotes (6 x 7 cm) de 2,0 m concretados 0,50 m abaixo de nível do filtro, e barrotes de 2,50 m concretados 0,70 m abaixo do nível do filtro, essa diferença de 0,30 m entre os pilares permite a inclinação necessária para o telhado. Para a cobertura usar barrotes de 6 x 7 apoiados nos pilares, caibros de 3 x 5 medindo 2,50m e 8 ripas de 1,5 x 5 e telha colonial.

Para a construção do tanque de reúso fazer uma abertura no solo com 2,0 m de profundidade e 2,0 m de diâmetro, utilizar 4 anéis de concreto pré-moldado com 1,5 m de diâmetro, fazer a instalação dos anéis, vedar com cimento e instalar a canalização de entrada. O tanque de reúso irá armazenar a água que passou pelo tratamento e será usada na irrigação, dessa forma o tanque deve ser fechado com uma pampa para evitar entrada de luz, insetos e

animais. É necessário fazer um orifício na tampa para inserção do mangote da tubulação de sucção da eletrobomba.

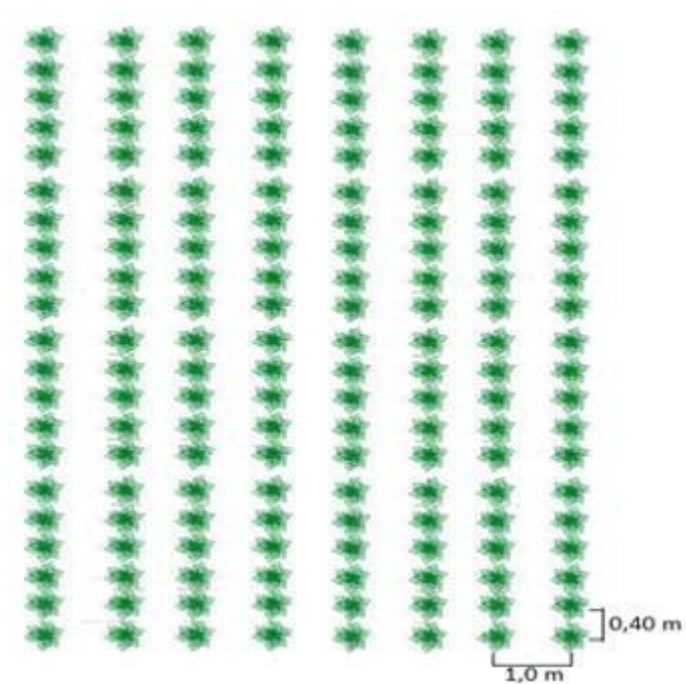
Deve-se ressaltar que as argamassas de revestimento devem ser acrescidas de impermeabilizante para evitar vazamentos e garantir a estanqueidade da caixa de gordura, caixa de passagem, tanque séptico, filtro biológico e tanque de reúso.

O sistema utiliza uma motobomba centrífuga periférica de 0,5 CV, que deve ser instalada junto ao tanque de reúso, em local livre de intempéries (casa de bomba). A tubulação hidráulica de sucção de água e bombeamento é composta de haste de sucção de 25 mm de diâmetro que utiliza válvula de pé instalada com comprimento 10 cm acima do fundo do tanque. A água será bombeada para uma caixa d'água elevada com capacidade de 310 litros, que irá ficar sob uma manilha de 50 cm de diâmetro e altura de 110 cm, onde uma laje de 80 cm de diâmetro serve de base para caixa. O reservatório irá armazenar a água bombeada que abastecerá o sistema por gravidade. Entre a tubulação de saída e a caixa d'água elevada, é adaptado um filtro de disco que auxilia na limpeza da água. A tubulação de saída da bomba é de tubo PVC de 32 mm, e a tubulação de saída da caixa possui um registro que permite o controle da água que segue para o sistema de gotejamento.

O sistema de irrigação localizada irá irrigar um canteiro de cultivo de brócolis, com lâmina de irrigação de 10 mm, o canteiro tem área de 70 m² (8,0 m x 8,75 m), com espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,40 m entre plantas, dessa forma o canteiro terá 8 linhas com 21 plantas cada, totalizando 168 plantas,

A linha principal, executada em tubo PVC de 32 mm é instalada com 8,0 m de comprimento total. Constituída de 1 peça de tubo de 6,0 m de comprimento (medida comercial) unido por cola e luva de PVC a 1/3 peça de tubo de PVC de 6,0 m (2,0 m), totalizando 8,0 m de comprimento. Saindo da linha principal, são executados 8 furos, a furação deve seguir o espaçamento adequado, utilizando furadeira com broca inferior a 16 mm de forma a garantir maior segurança das chulas bilabiaais, dispositivos de onde partem as linhas de irrigação. A partir da chula bilabial, instala-se bico de conexão e mangueira em polietileno de 16 mm PN40, com 50 cm de comprimento, providas de registros de polietileno de 16 mm. Aos registros são conectadas e ajustadas as fitas de gotejo, por meio de braçadeiras plásticas. As fitas de polietileno de 16 mm, com 8,75 m de comprimento, possuem gotejadores com espaçamento de 40 em 40 cm às quais são instaladas conexões de final de linha para fechamento.

Figura 5. Representação do canteiro de cultivo de brócolis, retratando espaçamento entre linhase entre plantas



Fonte: Autoria Própria (2021).

5. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Na Tabela 11 está apresentado a estimativa dos preços dos materiais e mão de obra utilizados no sistema de tratamento de água cinza para reúso na agricultura no Perímetro Irrigado Tabuleiro de Russas. Verifica-se, nesse quadro, que o projeto completo foi orçado em R\$ 11.279,89, sendo 41,89, 14,70, e 43,40% do recurso para o material de consumo (material de construção e hidráulico), materiais do sistema de irrigação e serviço de terceiros, respectivamente.

Tabela 11. Estimativa de material e mão de obra utilizados na construção do sistema de tratamento de água cinza para reúso na agricultura no Perímetro Irrigado Tabuleiro de Russas.

Especificação	Unidade	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
<i>Material de construção</i>				
Aditivo Impermeabilizante (sika2)	un.	20	26,20	524,00
Anel de concreto (1,5 m)	un.	4	180,60	180,60
Areia fina	m ³	1	50,00	50,00
Areia média	m ³	2	40,00	40,00
Barra de aço de 6,3 mm	m	50	3,55	177,50
Barrote (5 cm x 7 cm)	m	12	18,60	223,20
Brita n. 0	m ³	0,275	152,00	41,80
Brita n. 1	m ³	0,5	151,20	756,00
Caibro (5 cm x 5 cm)	m	20	8,30	166,00
Cal	kg	20	0,95	19,00
Cimento Portland CPI-32	50 kg	40	29,00	1.160,00
Manilha de concreto	un.	1	150,00	150,00
Telha colonial	un.	250	0,65	162,50
Tijolo Cerâmico 8 furos 9 x 19 x 19 cm	un.	800	0,65	520,00
Prego	kg	1	8,55	8,55
Ripa (1,5 cm x 5 cm)	m	20	4,10	82,00
Subtotal				4.219,35
<i>Material hidráulico</i>				
Cap 32 mm esgoto	un.	6	2,90	17,40
Cap 75 mm esgoto	un.	2	10,75	21,50
Curva de PVC 32 mm	un.	9	11,99	107,91
Joelho 32 mm – esgoto	un.	4	4,99	19,96
Joelho 75 mm – esgoto	un.	2	9,90	19,80
Lixa de ferro n. 220	un.	1	4,59	4,59
Luva 75 mm PVC	un.	1	8,99	8,99
Redução PVC esgoto excêntrica de 100mm x 75mm	un.	2	16,78	33,56

Registro soldável de 32 mm	un.	2	37,80	75,60
Tê soldável	un.	3	1,52	4,56
Tubo de 75 mm – esgoto	vara	1	82,23	82,23
Tubo de 100 mm - esgoto	vara	1	109,90	109,90
Subtotal				506,00
<i>Material do sistema de irrigação</i>				
Adaptadores DRL PVC 1" x 32 mm	un.	3	5,19	15,57
Adesivo cola PVC 175 g	un.	1	17,99	17,99
Caixa d'água 310 L	un.	1	229,90	229,90
Chave magnética ½ CV	un.	1	199,40	199,40
Chulas de 16 mm	un.	8	0,74	5,92
Flange 1 – ¼ soldável	un.	1	38,16	38,16
Filtro de disco 1"	un.	1	55,00	55,00
Fio condutor para eletrobomba centrífuga de 1/2 CV (2,5 mm ²)	m	50	7,77	388,50
Fita de altafusão (19 mm x 10 m)	un.	1	28,40	28,40
Fita veda rosca (18mm x 50m)	un.	1	17,50	17,50
Joelho de 32 mm	un.	6	4,99	29,94
Joelho de 1-1/4 soldável 90°	un.	1	4,39	4,39
Junção de 32 mm PVC	un.	4	7,39	29,56
Luvax RL (1/32) 1" x 3/4" soldável	un.	3	1,54	4,62
Mangueira ¾ para passagem de fiação	m	20	1,29	25,80
Mangueira de polietileno com gotejador de 16 mm	m	70	0,90	63,00
Motobomba STD Periférica 1,2 CV/ 60 Hz	un.	1	233,90	233,90
Peça fim de linha 16 mm	un.	8	3,90	31,20
Plug fêmea	un.	1	9,27	9,27
Plug macho	un.	1	11,79	11,79
Redução de 1-1/4 soldável	un.	1	8,99	8,99
Registros PVC soldável de 32 mm - 1"	un.	3	37,80	113,40
Tê 32 mm PVC	un.	6	4,60	27,60
Tubo de PVC 32 mm irrigação	m			
União 1" PVC soldável	un.	2	22,90	45,80
Válvula de pé metal de 1" ou 32mm	un.	1	23,34	23,34
Subtotal				1.658,94
Serviço de terceiros				

Aluguel de betoneira 580l elétrica	h	80	6,25	500,00
Limpeza do terreno (máquina)	h	4	180,00	720,00
Pedreiro	h	120	18,75	2.250,00
Serviço de escavação	h	8	37,50	300,00
Servente	h	120	9,38	1.125,60
Subtotal				4.895,60
Total geral				11.279,89

Fonte: Dados obtidos através de pesquisa (2021).

A partir do orçamento foi realizado o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), da Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Índice de Lucratividade (IL), tomou-se como base a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) igual a 15%, também foi considerado o valor do m³ de água de R\$ 10,81, dessa forma a economia anual é de R\$ 2.761,96, visto que o consumo na residência é de 0,7 m³ ao dia.

Tabela 12. Cálculo dos valores de VPL, TIR e IL.

ANO	VALORES	VPentradas	R\$ 13.861,64
0	-R\$ 11.279,89	VPL	R\$ 2.581,75
1	R\$ 2.761,96	TIR	21%
2	R\$ 2.761,96	IL	1,23
3	R\$ 2.761,96		
4	R\$ 2.761,96	TIR > TMA	ACEITO
5	R\$ 2.761,96	VPL > 0	ACEITO
6	R\$ 2.761,96	IL > 1	ACEITO
7	R\$ 2.761,96		
8	R\$ 2.761,96		
9	R\$ 2.761,96		
10	R\$ 2.761,96		
TM	15,00%		
A			

Fonte: Autoria Própria (2021).

Cálculo da economia anual

1 m³ – 10,81 reais

0,7 m³ – x

x = 7,567 reais

1 dia – 7,567 reais

365 dias – x

x = 2.761,96 reais

Os valores de TIR, VPL e IL são aceitos, confirmando a viabilidade econômica do sistema de tratamento de água cinza para reúso na agricultura.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é de 21%, portanto o projeto é rentável em relação à TMA de 15% a.a. Deste modo, percebe-se que o projeto apresenta uma remuneração sobre o capital investido.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível dimensionar um projeto de um sistema de tratamento de água cinza para reúso na agricultura, em uma propriedade rural do Perímetro Irrigado Tabuleiro de Russas-CE, composto por caixa de gordura, caixa de passagem e inspeção, tanque séptico e filtro biológico.

O fornecimento de águas cinzas tratadas para fins de irrigação, aliado à análise de necessidade hídrica das culturas, possibilitará ao pequeno produtor uma melhor convivência com o semiárido.

Este sistema possibilitará, para fins agrícolas, 700 L d⁻¹ de água cinza tratada para aplicação restrita (não aplicar em vegetais que tenham contato direto com o solo e o efluente).

Considerando a economia anual de água de R\$ 2.761,96, após calcular os indicadores de viabilidade econômica, constatou-se que o projeto apresenta uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 21%.

O projeto apresenta viabilidade econômica e, após cinco anos de uso, o sistema passará a obter lucros.

REFERÊNCIAS

- ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Raking ABES da universalização do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2019. 105p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13.969. **Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 60p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7229. **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 15p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16783. **Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 25p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8160. **Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução**. Rio de Janeiro: ABNT, 1999. 74p.
- BATISTA, R. O. et al. Potencial da remoção de poluentes bioquímicos em biofiltros operando com esgoto doméstico. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 152-164, 2011.
- BATISTA, R. O. et al. Remoção de sólidos suspensos e totais em biofiltros operando com esgoto doméstico primário para reuso na agricultura. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.1, p. 007-015, 2013.
- BAZZARELLA, B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações**. 2005. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória Espírito Santo, 2005. Disponível em: < http://repositorio.ufes.br/bitstream/10/6149/1/Bazzarella_BB_2005.pdf >. Acesso em 28 de dez. 2020.
- BERNARDI, C. C. **Reúso de água para irrigação**. 2003. 63p. Monografia (Especialização em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada) - Fundação Getúlio Vargas, Brasília, 2003. Disponível em: < <http://docplayer.com.br/660947-Reuso-de-agua-para-irrigacao-cristina-costa-bernardi.html> > Acesso em 28 de dez. 2020.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I; CONEJO, J. G. L.; DE BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. Introdução à Engenharia Ambiental. 2ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, p.318, 2005.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília: DOU, publicada em 9 de março de 2006.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018**. Brasília: SNS/MDR, 2019. 180 p.
- CHANAKYA, H. N. KHUNTIA, H. K. Treatment of gray water using anaerobic biofilms created on synthetic and natural fibers. **Process Safety and Environmental Protection**, Oxford, v 92, n. 2, p. 186-192, 2014.

CHERNICHARO, C.A.L. de. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. v.5, 379 p.

COLARES, C. J. G.; SANDRI, D. Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte. **Revista Ambiente e Água**. v.8, n.1, p.172-185, 2013.

ERIKSSON, E et al. A characteristics of grey wastewater. **Urban Water**, Amsterdam, v. 4, n.1, p. 58-104, 2002.

FEITOSA, A. P.; LOPES, H. S. S.; BATISTA, R. O.; COSTA, M. S.; MOURA, F. N. Avaliação do desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de água cinza em áreas rurais do semiárido brasileiro. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 3, p. 196-206, 2011.

FIGUEIREDO, F. F.; FERREIRA, J. G. O Saneamento básico no Nordeste e no Rio Grande do Norte: avanços e constrangimentos. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL, 17., São Paulo, 2017. **Anais...** São Paulo: ANPUR, 2017. Disponível em <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/23431/1/Saneamento%20basico%20no%20NE%20e%20RN.pdf>>. Acesso em 28 dez. 2020.

FIGUEIREDO, I. Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas. 2019. 315f. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp. Campinas, São Paulo, 2019. <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/334429>

FOUNTOULAKIS, M. S.; MARKAKIS, N.; PETOUSHI, I.; MANIOS, T. Single house on-site grey water treatment using a submerged membrane bioreactor for toilet flushing. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 551-552, p. 706-711, 2016.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). Uso racional da água em edificações. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 352p. Disponível em < http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/...de.../Uso_agua_-_final.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2021.

GOOGLE. Google Earth website. Disponível em <http://earth.google.com/>. Acesso em: 14 abr. 2021.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. DE; SILVA, L. D. B. **Saneamento básico**. Seropédica: IT/DE/UFRRJ., 2007. 9 p. (Apostila).

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 1050 p.

KATUKIZA, A. Y. et al. Grey water characterisation and pollutant loads in an urban slum. **International Journal of Environmental Science and Technology**, Teerã, v. 12, n. 2, p. 423–436, 2014.

Lo MONACO, P. A. **Influência da granulometria do material orgânico filtrante na eficiência de tratamento de águas residuárias**. 2001. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

Lo MONACO, P. A. et al. Influência da granulometria da serragem de madeira como material filtrante no tratamento de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p.116-119, 2004.

MADRID, F. J. P. L.; SCHNEIDER, J.; MARQUES, M. M. S.; PARIZOTTO, M. C.; FIGUEIREDO, I. C. S.; TONETTI, A. L. Revista DAE, n. 220, v. 67, p. 128-140, 2019.

MANDAL P. K. et al. Methods for rapid detection of foodborne pathogens: an overview. **American Journal of Food Technology**, New York, v. 6, n. 2, p. 87-102, 2011.

MATOS, A.T.; MAGALHÃES, M.A.; FUKUNAGA, D. C. Remoção de sólidos em suspensão na água residuária da despolpa de frutos do cafeeiro em filtros constituídos por pergaminho de grãos de café submetido a compressões. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p.610-616, 2006.

MAY, S. **Caracterização, tratamento e reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 2008. 222p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde17082009082126/publico/SIMONE_MAYOK.pdf> Acesso em: 06 mai. 2021.

MEDEIROS, S. S. et al. **Esgotamento sanitário: panorama para o semiárido brasileiro**. Campina Grande: INSA, 2014. 63p.

MEDEIROS, S. S. et al. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas as do ar mínimas, médias, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil e máximas na Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.2, p.247-255, 2005.

MOURA, J. G. L.; GEMELLI, T.; MULLER, J. *Vibrio cholerae*: doença, manifestações clínicas e microbiologia. **Revista de Epidemiologia e Controle de Infecção**, Santa Cruz do Sul, v. 8, n. 4, p. , 2018.

NUVOLARI, Ariovaldo; COSTA, Regina Helena Pacca. Tratamento de efluentes. In: TELLES, Dirceu D'Alkmin; COSTA, Regina Helena Pacca (coord). *Reúso da água: conceitos, teoria e práticas*. São Paulo: Blucher, 2010. Cap. 6.

OTTOSON, J. STENSTROM, T. A. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. **Water Research**, Amsterdam, v. 37, n. 3, p. 645-655, 2003.

PHILIPPI, L. S. et al. Reúso de águas cinzas (greywater) e água de chuva em uma unidade residencial. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., Florianópolis, 2005. **Anais...**Florianópolis: ABES, 2005.

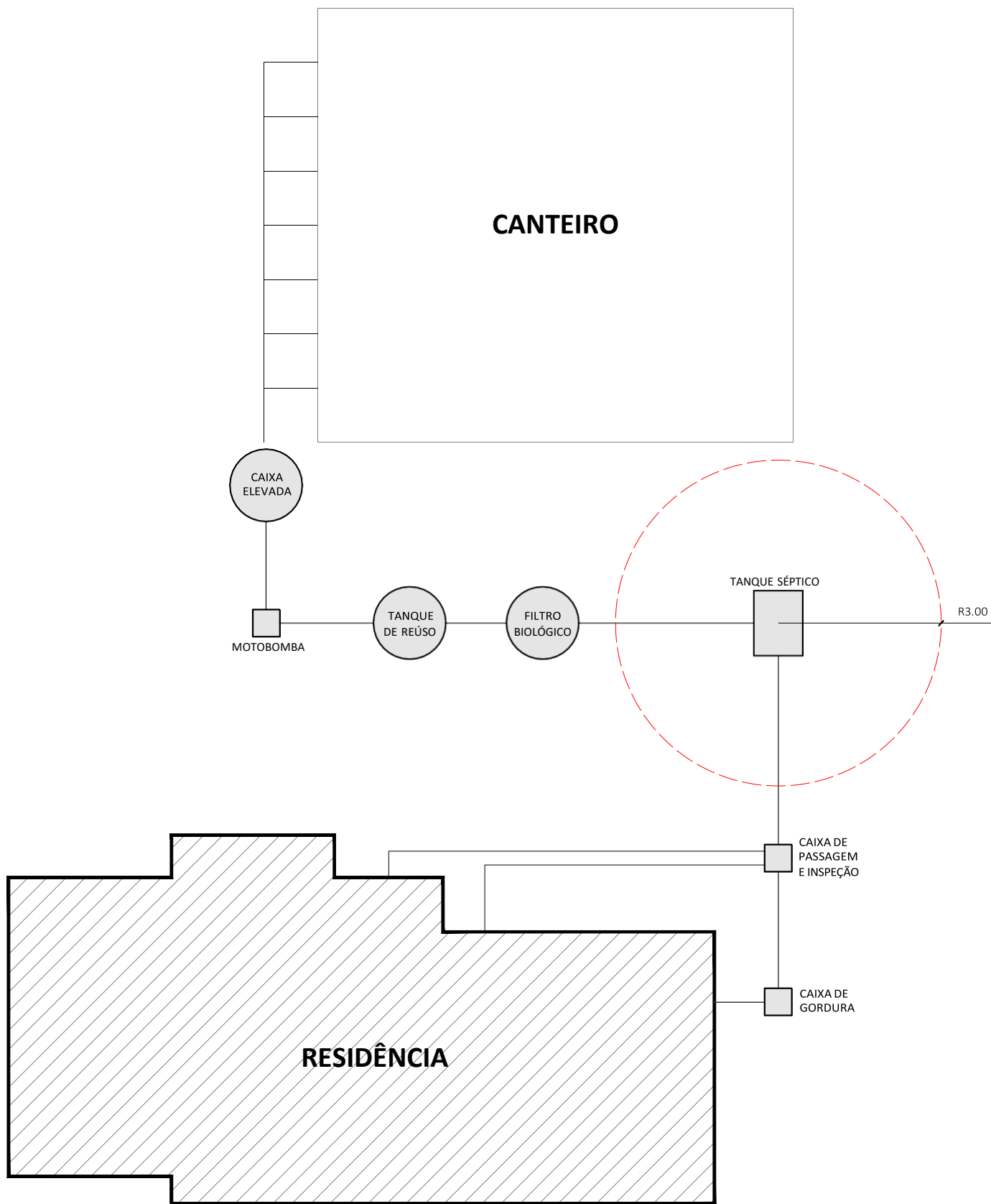
SHAMABADI, N., BAKHTIARI, H., KOCHAKIAN, N., & FARAHANI, M. The investigation and designing of an onsite grey water treatment systems at Hazrat-e-Masoumeh University, Qom, IRAN. *Energy Procedia*, 74, p. 1337-1346, 2015.

SOUTO, J. P. et al. Poluição fecal da água: microrganismos indicadores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 4., 2015, Porto Alegre. **Anais...**Porto Alegre: IBEAS, 2015.

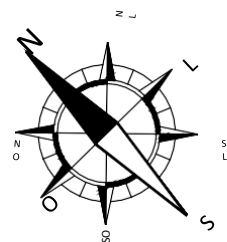
SOTO, M. A.; TOHÁ, J. Ecological Wastewater Treatment. In: INTERNACIONALCONGRESS: ADVANCED WASTEWATER TREATMENT, RECYCLING ANDREUSE, 2., Milan, 1998. **Proceedings...** Milan: AWT98, 1998. p. 1091-1094.

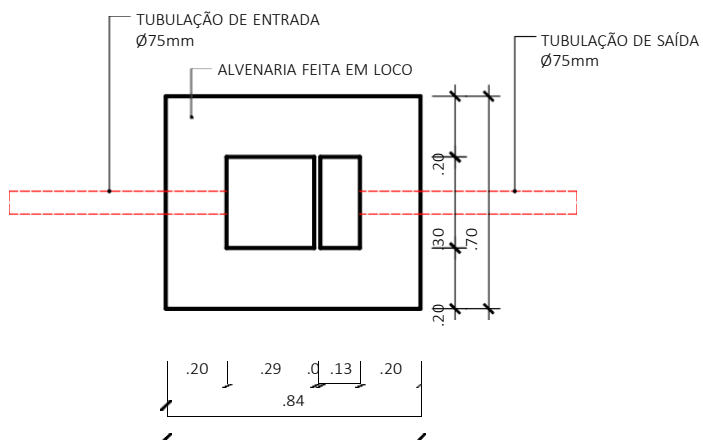
TEODORO, A. et al. Disinfection of greywater pre-treated by constructed wetlands using photo-Fenton: Influence of pH on the decay of *Pseudomonas aeruginosa*. Journal of Environmental Chemical Engineering, London, v.2, n.2, p.958-962, 2014.

APÊNDICE

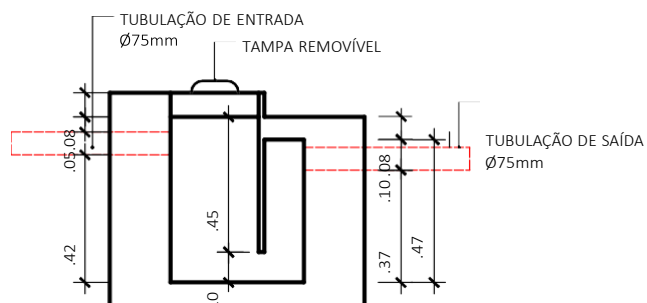


1 **PLANTA DE SITUAÇÃO**
ESCALA: 1/100





PLANTA BAIXA

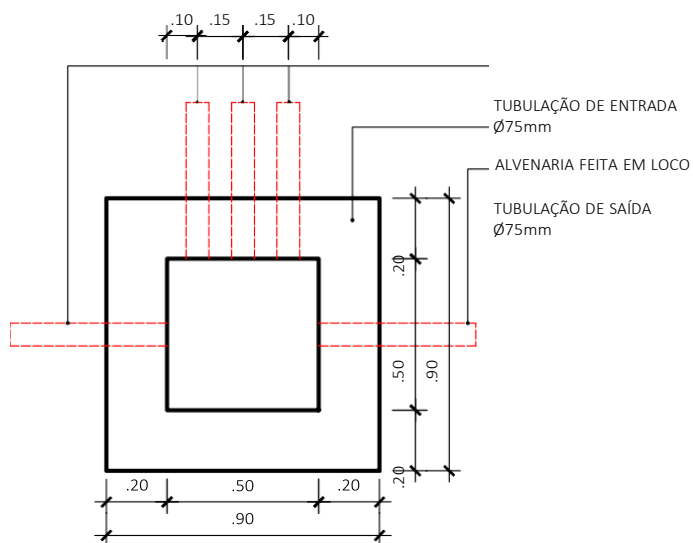


CORTE

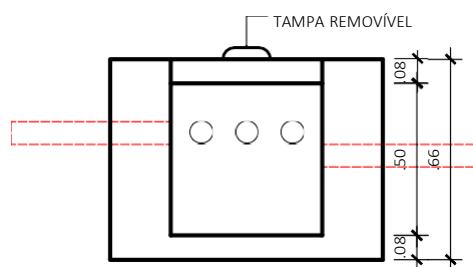
2

DET. CAIXA DE GORDURA

ESCALA: 1/25



PLANTA BAIXA



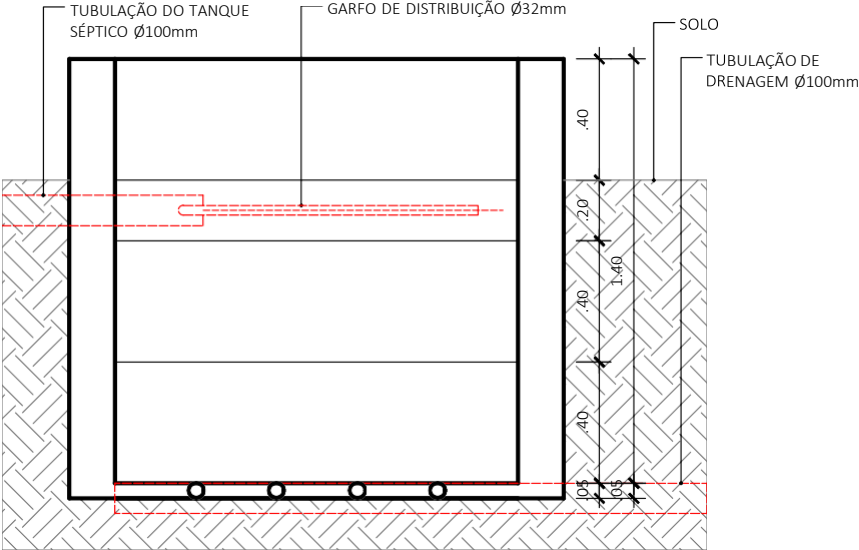
CORTE

3

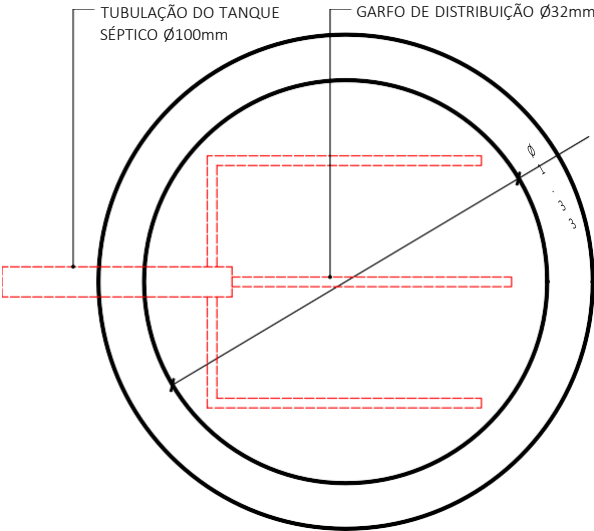
DET. CAIXA DE PASSAGEM E INSPEÇÃO

ESCALA: 1/25

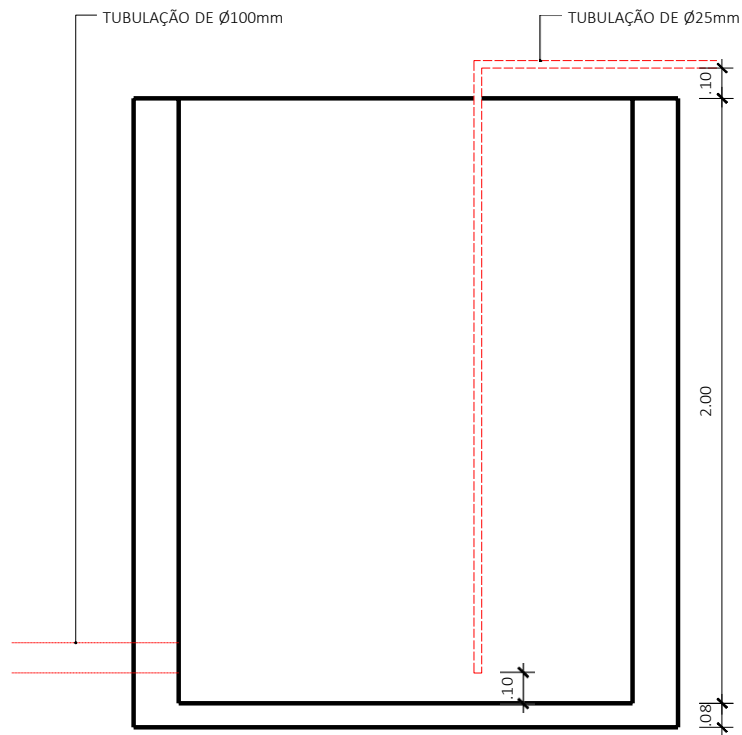




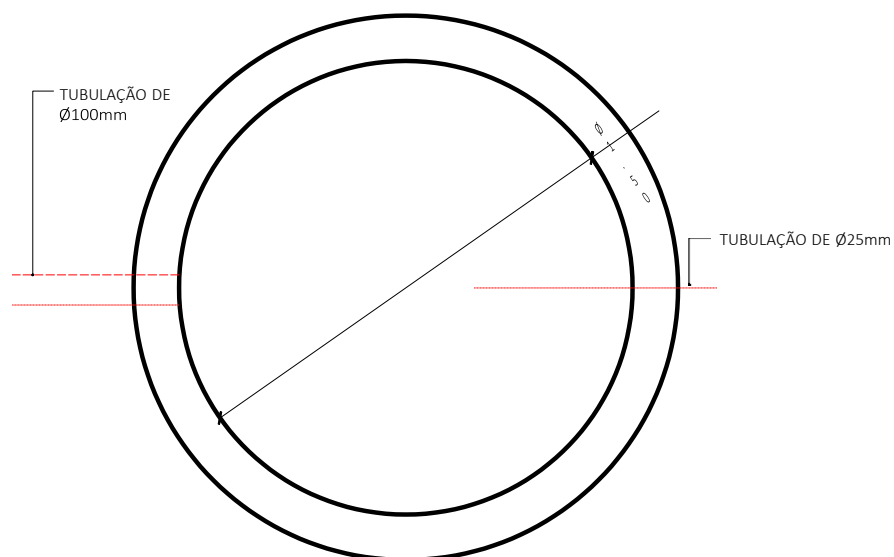
CORTE



PLANTA BAIXA



CORTE



PLANTA BAIXA



TANQUE DE REÚSO

ESCALA: 1/25