



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

GERALDO INACIO DA SILVA FILHO

TRATAMENTO DE ESGOTO UTILIZANDO A ECOTECNOLOGIA *WETLANDS*
CONSTRUÍDOS PARA SISTEMAS COLETIVOS DE PEQUENO PORTE

CRATEÚS-CE
2022

GERALDO INACIO DA SILVA FILHO

TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO UTILIZANDO A ECOTECNOLOGIA
WETLANDS CONSTRUÍDOS PARA SISTEMAS COLETIVOS DE PEQUENO PORTE

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

Orientadora: Prof. Dr. Raimunda Moreira da Franca.

CRATEÚS-CE

2022

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)

-
- F498t Filho, Geraldo Inacio da Silva.
Tratamento de esgoto utilizando a ecotecnologia *Wetlands* Construídos para sistemas coletivos de pequeno porte / Geraldo Inacio da Silva Filho. – 2022.
87 f. : il.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Crateús, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Raimunda Moreira da Franca.
1. Tratamento descentralizado de esgoto, *Wetlands* Construídos, Saneamento rural. I. Título.

CDD 628

GERALDO INACIO DA SILVA FILHO

TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO UTILIZANDO A ECOTECNOLOGIA
WETLANDS CONSTRUÍDOS PARA SISTEMAS COLETIVOS DE PEQUENO PORTE

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

Aprovada em: 19/12/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr. Raimunda Moreira da Franca (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dr. Larissa Granjeiro Lucena (Membro)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dr. Anielle dos Santos Brito (membro externo)
(Doutorado Pós Deha/UFC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar presente em minha vida.

Agradeço a minha família: minha mãe, Francisca Ferreira; meu pai, Geraldo Inácio; meus irmãos, Gilmara Ferreira e Gilmar Ferreira e minha avó Maria das Graças, por todo carinho e apoio. Em especial a minha falecida avó Antônia Inácio.

Aos meus colegas, amigos e futuros colegas de profissão, que possuem meu apreso e admiração.

A minha orientadora, professora Doutora Raimunda Moreira da Franca pelo suporte, paciência, e exemplo como pessoa, profissional e de comprometimento com o desenvolvimento do saneamento básico.

Assim como, todos os meus professores de graduação que foram grandes exemplos para minha vida, que lembrarei com carinho e admiração.

Ao Sistema Integrado de Saneamento Rural - SISAR pela excelente experiência de estágio e ajuda no fornecimento de dados para o desenvolvimento deste referido trabalho. Em especial ao meu orientador profissional Antônio Marcos Diogo pelos conselhos e experiências compartilhadas.

E por último, a Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis (PRAE) pelo acompanhamento e auxílio em minha permanência no curso.

RESUMO

No cenário nacional, apesar dos avanços no setor saneamento, ainda é evidente o déficit acesso a serviços públicos adequados de coleta e tratamento de esgoto sobretudo em comunidades rurais, em decorrências de suas particularidades que impossibilita a adoção de soluções convencionais e centralizadas de saneamento. Neste contexto, o referido trabalho apresenta a concepção e análise de duas alternativas de sistemas de tratamento de efluentes domésticos, com base na ecotecnologia *wetlands* Construídos, de forma a avaliar a eficiência, custos e adequação dos sistemas à localidade alvo desse estudo. O projeto foi planejado para o tratamento do esgoto doméstico gerado pela comunidade de Ingá localizada na zona rural do município de Crateús. As alternativas consideradas para o projeto foram o sistema francês adaptado a climas tropicais, constituído por unidades *Wetlands* Construídos de Fluxo Vertical (WCFV), e o sistema híbrido, que consiste na associação do 1º estágio do sistema francês e unidades *Wetlands* Construídos de Fluxo Horizontal (WCH) como pós-tratamento. As etapas executadas no trabalho apresentaram o dimensionamento dos módulos, o reservatório para o sistema de bombeamento, caracterização dos sistemas, bem como o detalhamento dos módulos destacando os aspectos construtivos, eficiência de tratamento, estimativa preliminar de custo e análise comparativa entre os dois sistemas. Tomando como a base a literatura, os módulos apresentaram as seguintes dimensões: (i) WCFV 1º estágio 294 m² de área superficial; (ii) WCFV 2º estágio 220 m² de área superficial; (ii) WCH 220 m² de área superficial. Em relação à eficiência ambas as alternativas apresentaram estimativas satisfatórias para remoção de parâmetros orgânicos, resultando um desempenho global superior a 85% na remoção de DBO, DQO e SS, no entanto, a remoção de nutrientes foram estimados abaixo de 50%. O custo preliminar dos sistemas diferencia-se em quase 16%, sendo o sistema híbrido um pouco mais atrativo economicamente, apresentando um custo prévio de R\$ 274,26/hab, enquanto o sistema francês adaptado corresponde a R\$ 321,46/hab. A matriz final de decisão apresentou-se mais favorável para o sistema francês, visto a alta eficiência no tratamento de parâmetros orgânicos e superioridade no tratamento de nutrientes em comparação a segunda alternativa. Tal como sua maior confiabilidade científica, em decorrência de um maior volume de estudos e experiências satisfatórias em escala real utilizando essa configuração de sistema. Cabe ressaltar, que a segunda alternativa se apresentou promissora para futuros estudos apresentando ótima eficiência e vantajosa economicamente.

Palavras-chave: Tratamento descentralizado de esgoto. *Wetlands* Construídos. Saneamento rural.

ABSTRACT

In the national scenario, despite the advances in the sanitation sector, the deficit of access to adequate public services of sewage collection and treatment is still evident, especially in rural communities, due to their particularities that preclude the adoption of conventional and centralized sanitation solutions. In this context, this work presents the design and analysis of two alternatives of domestic wastewater treatment systems, based on the constructed wetlands ecotechnology, in order to evaluate the efficiency, costs and adequacy of the systems to the target locality of this study. The project was planned for the treatment of domestic sewage generated by the community of Ingá located in the rural area of the municipality of Crateús. The alternatives considered for the project were the French system adapted to tropical climates, consisting of Vertical Flow Constructed wetlands (WCFV) units, and the hybrid system, which consists of the association of the 1st stage of the French system and Horizontal Flow Constructed wetlands (WCH) units as post-treatment. The steps performed in the work presented the sizing of the modules, the reservoir for the pumping system, characterization of the systems, as well as the detailing of the modules highlighting the constructive aspects, treatment efficiency, preliminary cost estimation and comparative analysis between the two systems. Based on literature, the modules presented the following dimensions: (i) WCFV 1st stage 294 m² of surface area; (ii) WCFV 2nd stage 220 m² of surface area; (ii) WCH 220 m² of surface area. Regarding efficiency both alternatives presented satisfactory estimates for organic parameter removal, resulting in an overall performance higher than 85% in BOD, COD and SS removal, however, nutrient removal were estimated below 50%. The preliminary cost of the systems differed in almost 16%, being the hybrid system a little more economically attractive, presenting a preliminary cost of R\$ 274,26/hab, while the adapted French system corresponds to R\$ 321,46/hab. The final decision matrix was more favorable for the French system, given its high efficiency in the treatment of organic parameters and superiority in the treatment of nutrients compared to the second alternative. As well as its greater scientific reliability, due to a greater volume of studies and satisfactory full-scale experiences using this system configuration. It is worth mentioning that the second alternative was promising for future studies, presenting great efficiency and economically advantageous.

Keywords: Decentralized wastewater treatment. Constructed wetlands. Rural sanitation.

“Uma mente que se abre a uma
nova ideia jamais voltará ao seu
tamanho original”.

Albert Einstein

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem representativa de um sistema híbrido de Wetlands Construídos composto por um Wetland construídos vertical descendente seguido de um Wetlands Construídos subsuperficial horizontal.....	24
Figura 2 – Esquema representativo do perfil longitudinal do Wetland Construídos de escoamento vertical (sistema francês – 1º e 2º estágios)	25
Figura 3 – Delineamento da pesquisa.....	30
Figura 4 – Mapa de localização da área do estudo.....	31
Figura 5 - Mapa de solos dos sertões de Crateús.....	34
Figura 6 - Mapa dos relevos sertões de Crateús.....	35
Figura 7 - Precipitações Normal Acumulada (mm) Município de Crateús-CE.....	36
Figura 8 - Evapotranspiração Potencial Mensal (mm) Município de Crateús-CE.....	36
Figura 9 – Unidade de tratamento preliminar.	47
Figura 10 – Representação conceitual WCFV.	55
Figura 11 – Representação conceitual WCH.	56
Figura 12 – Altura das camadas constituintes do leito filtrante WCFV.....	56
Figura 13 – Composição das camadas leito filtrante WCFV 1º Estágio.	57
Figura 14 – Composição das camadas leito filtrante WCFV 2º Estágio.....	58
Figura 15 – Altura das camadas constituintes do leito filtrante WCH.	59

Figura 16 – Composição das camadas leito filtrante WCH.....60

Figura 17 – Macrófitas selecionadas para o projeto.....62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Legislação aplicada ao saneamento básico, com foco no esgotamento sanitário.....	21
Quadro 2 - Trabalhos que abordam projetos executivos utilizando <i>Wetlands</i> Construídos	22
Quadro 3 - Elementos de projeto para diferentes modalidades de <i>Wetlands</i> construídos.....	27
Quadro 4 – Aspectos relativos ao regime hidráulico.....	28
Quadro 5 – Vazões de projeto.....	37
Quadro 6 – Alternativas consideradas.....	42
Quadro 7 - Critérios escolhidos para adequação do projeto.....	44
Quadro 8 – Critérios e respectivas pontuações atribuídas aos critérios adotados.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critérios e parâmetros de dimensionamento para cada modalidade <i>Wetlands</i> Construídos	27
Tabela 2 – Estimativa populacional para comunidade de Ingá – CE.....	46
Tabela 3 – Vazões de projeto calculada para dimensionamento do sistema.....	46
Tabela 4 – Vazões singulares de projeto.....	47
Tabela 5 – Largura da garganta.....	48
Tabela 6 – Altura máximas e mínimas.....	48
Tabela 7 – Parâmetros de projeto.....	50
Tabela 8 – Dimensões das unidades <i>Wetlands</i> Construídos dos sistemas de tratamento considerados.....	51
Tabela 9 – Dimensões de cada unidade.....	51
Tabela 10 – Estimativas de eficiências de remoção para o Sistema Francês adaptado.....	63
Tabela 11 – Estimativa de eficiência de remoção Sistema Híbrido, WCFV seguido de WCH.....	64
Tabela 12 – Resumo do orçamento preliminar, Sistema francês adaptado.....	65
Tabela 13 – Resumo do orçamento preliminar, Sistema híbrido.....	65
Tabela 14 – Matriz de decisão final.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MDE	Modelo Digital de Elevação
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
PESR	Política Estadual de Saneamento Rural
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNRS	Programa Nacional de Saneamento Rural
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
USEPA	United States Environmental Protection Agency
WC	<i>Wetlands</i> Construídos
WCH	<i>Wetlands</i> Construídos Superficial de Fluxo Horizontal
WCVD	<i>Wetlands</i> Construídos de Fluxo Vertical Descendente
WCFV	<i>Wetlands</i> Construídos de Fluxo Vertical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Objetivos.....	18
1.1.1	Geral.....	18
1.1.2	Específicos.....	18
1.2	JUSTIFICATIVA.....	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1	Cenário atual do Saneamento no Brasil	20
2.2	Aspectos legais referentes ao saneamento básico	20
2.3	Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas.....	21
2.4	Projetos executivos utilizando o sistema <i>Wetlands</i> Construídos	22
2.5	Modalidades de <i>Wetlands</i> construídos.....	23
2.5.1	Sistema híbrido: associação de <i>Wetlands</i> Construídos vertical e horizontal	23
2.5.2	Modelo francês adaptado a regiões subtropicais.....	24
2.6	Elementos atuantes no tratamento de esgotos utilizando <i>Wetlands</i> Construídos	26
2.6.1	Meio filtrante.....	26
2.6.2	Macrófitas Aquáticas e microrganismos.....	26
2.7	CrITÉrios e parâmetros de projeto.....	27
2.8	Aspectos construtivos.....	28
2.8.1	Estrutura e impermeabilização.....	28
2.9	Controle operacional.....	28
2.9.1	Regime hidráulico.....	28
2.9.2	Manejo das macrófitas.....	29
2.9.3	Monitoramento do desempenho.....	29
3	METODOLOGIA.....	30
3.1	Classificação da pesquisa.....	30
3.2	Localização da área de estudo.....	30
3.3	Diagnóstico da área de interesse.....	31

3.3.1	Perfil sociodemográfico.....	31
3.3.2	Características do solo e relevo.....	32
3.3.3	Características climatológicas.....	35
3.4	Levantamento dos parâmetros de projeto.....	37
3.5	Dimensionamento das unidades preliminares de tratamento.....	38
3.6	Caracterização das alternativas propostas.....	42
3.6.1	Critérios para o dimensionamento das alternativas propostas.....	42
3.6.2	Sequência simplificada de cálculos de dimensionamento das unidades <i>Wetlands</i> Construídos	42
3.7	Orçamento preliminar dos sistemas.....	43
3.8	Comparação e seleção das alternativas.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1	Estimativa populacional	46
4.2	Vazões de projeto	46
4.3	Dimensionamento da estação preliminar de tratamento.....	47
4.4	Dimensionamento dos módulos <i>Wetlands</i> Construídos	51
4.5	Seleção da unidade de armazenamento	53
4.6	Determinação de Bombas para a distribuição do efluente	53
4.7	Configuração dos sistemas propostos.....	54
4.7.1	Sistema francês adaptado a climas tropicais.....	54
4.7.2	Sistema Híbrido (WCFV 1° estágio modelo francês seguido de WCH).....	55
4.8	Caracterização dos módulos <i>Wetlands</i> construídos.....	56
4.8.1	<i>Wetlands</i> Construídos de escoamento vertical.....	56
4.8.2	<i>Wetlands</i> Construídos de escoamento horizontal.....	59
4.9	Aspectos construtivos.....	60
4.9.1	Estrutura.....	60
4.9.2	Impeabilização.....	61
4.9.3	Macrófitas.....	61
4.10	Eficiência esperada.....	62
4.11	Estimativa preliminar de custos.....	64
4.12	Avaliação crítica.....	66

5	CONCLUSÃO.....	68
	REFERÊNCIAS.....	69
	APÊNDICE A – Memorial de cálculo dimensionamento dos módulos <i>Wetlands</i> construídos.....	73
	APÊNDICE B – Sistema hidráulico, modelo 3D e tratamento preliminar sistema francês adaptado.....	78
	APÊNDICE C – Sistema hidráulico, modelo 3D e tratamento preliminar sistema híbrido	79
	APÊNDICE D – Sistema hidráulico, módulo WCFV 1° estágio.....	80
	APÊNDICE E – Sistema hidráulico, módulo WCFV 2° estágio.....	81
	APÊNDICE F – Sistema hidráulico, módulo WCH.....	82
	APÊNDICE G – Orçamento preliminar Sistema francês adaptado.....	83
	APÊNDICE H – Orçamento preliminar Sistema híbrido.....	85

1 INTRODUÇÃO

No atual contexto do saneamento no Brasil, apenas 55% da população possui acesso ao tratamento de esgotos sanitários considerado adequado, com 18% do esgoto coletado e não tratado; e 27% não tem acesso a serviços coleta e nem tratamento (ANA, 2017). Ainda é precário o atendimento aos serviços de coleta e tratamento de esgotos domésticos. A situação se agrava ainda mais em zonas rurais, cujas localidades não são beneficiadas com sistemas de esgotamento e unidades de tratamento. De acordo com dados do IBGE (2017), 75% dos domicílios não possuem acesso a um sistema de tratamento ou destinação adequada do esgoto que, geralmente, é despejado em fossas rudimentares, em valas ou, diretamente, no solo e em corpos hídricos. Sendo importante destacar que 22% da população do estado do Ceará reside na zona rural.

A inexistência de soluções centralizadas de esgotamento sanitário, nessas comunidades, é decorrente dos custos elevados de implantação, operação e manutenção referentes a rede de coletora e estação de tratamento. Sobretudo devido às particularidades apresentadas por essas localidades, como incidência do relevo, dispersão dos domicílios e a reduzida densidade populacional, assim como, as taxas referentes aos serviços, que são insuficientes para cobrir os custos requeridos por esse modelo de tratamento.

Assim, merecem destaque as alternativas de tratamento de esgotos descentralizadas visto a adequação às demandas individuais de pequenos sistemas coletivos, como pequenas comunidades e vilas. Nota-se, a existência de inúmeras soluções tecnológicas para o tratamento descentralizado de efluentes sanitários, destacando as alternativas convencionalmente já adotadas como os tanque sépticos e filtros anaeróbios. No entanto, outras alternativas tão eficientes veem sendo pesquisadas intensamente, podendo citar como exemplo o caso das *Wetlands* Construídos.

Os sistemas *Wetlands* Construídos, adequa-se ao tratamento de uma ampla variedade de efluentes, destacando-se esgoto doméstico, industrial e agrícola. Consiste em ecossistemas artificiais análogos aos sistemas naturais, dispondo de processos que envolvem a interação entre as macrófitas aquáticas com o solo e com as comunidades microbiana presentes no meio filtrante. Ressalta-se que entre as tecnologias difundidas recentemente, as *Wetlands* Construídos apresentam eficiência comprovada (SEZERINO *et. al*, 2018).

Neste contexto, o presente trabalho tem como propósito realizar o desenvolvimento do projeto executivo de duas alternativas de sistemas de tratamento de efluentes domésticos, utilizando-se da ecotecnologia *Wetlands* Construídos. Sendo realizada, ainda nesta pesquisa, a

análise comparativa entre os sistemas projetados, de forma a avaliar a eficiência, custos e adequação, dos sistemas projetados, à localidade alvo desse estudo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Desenvolver um projeto executivo, referente a concepção de unidades de tratamento de esgotos domésticos, para sistemas coletivos de pequeno porte empregando a ecotecnologia *Wetlands* Construídos, tomando como modelo a comunidade rural de Ingá.

1.1.2 Específicos

- a) Caracterizar a área de interesse, assim como realizar o levantamento dos critérios e parâmetros de projeto, inerentes à concepção do sistema;
- b) Caracterizar duas alternativas para o tratamento de esgoto sanitário, utilizando a ecotecnologia *Wetlands* Construídos, visto as características da área de interesse;
- c) Elaborar o memorial de cálculo e detalhamento de cada proposta, assim como estimar a eficiência esperada e construir o orçamento do projeto;
- d) Realizar uma análise técnica dos sistemas propostos, de forma a determinar qual solução melhor adequa-se à zona rural do município de Crateús.

1.2 Justificativa

Os sistemas de *Wetlands* Construídos são adequados às condições climáticas do Brasil, e em especial do semiárido nordestino, e têm mostrado bons resultados na diminuição da carga orgânica dos efluentes, reduzindo o impacto ambiental causado nos corpos de água e solos.

A debilidade dos serviços de saneamento, por consequência desencadeia em impactos que promovem a deterioração de corpos hídricos e a redução da disponibilidade hídrica. Mediante a esse cenário, a zona rural do município de Crateús encontra-se dentro dessa realidade, apresentando condições precárias de saneamento referente ao esgotamento sanitário.

O distrito de Santo Antônio situado em Crateús, a população em geral, segundo dados do Plano Municipal de Saneamento realizado em 2014, destacou o alto índice de

domicílios sem banheiro (46,84%). Entre os domicílios que possuíam algum tipo de instalação de esgotamento sanitário, a alternativa majoritária era a fossa rudimentar (37,96%), seguido por fossa séptica (10,11%). A comunidade de Ingá, localidade alvo deste estudo, segundo dados presentes no mesmo plano, destaca-se a inexistência com banheiro e/ou fossa, sendo evidenciado diversos locais no qual o esgoto é disposto a céu aberto.

Dessa forma, a partir de uma breve revisão literária e de questões visivelmente existentes notou-se a urgência de trabalhar o tema em localidades rurais, tomando a comunidade de Ingá como modelo e alvo do estudo, indo além das soluções convencionalmente propostas na literatura, evidenciando a ecotecnologia *Wetlands* Construídos como alternativa favorável para contornar a problemática do saneamento rural, referente ao esgotamento sanitário. O presente trabalho é uma proposta para contribuir e ampliar o debate à adoção de sistemas *Wetlands* Construídos como alternativa descentralizada de tratamento de efluentes domésticos, para sistema coletivos de pequeno porte, mediante a apresentação de projeto executivo, que contempla o dimensionamento, detalhamento de cada proposta, destacando os aspectos técnicos e construtivos de cada sistema, eficiência esperada, assim como, análise preliminar de custo, associados aos sistemas considerados no estudo. De igual forma, analisar a viabilidade de cada sistema *Wetlands* Construídos propostos mediante as particularidades da localidade.

A comunidade em estudo apresenta significativo adensamento populacional, dessa forma manifestando-se favorável a implementação de um sistema coletivo de tratamento, se comparado a uma solução unifamiliar. Em decorrência da proximidade entre as residências, a adoção de uma alternativa como *Wetlands* Construídos de forma individual apresenta-se desfavorável, visto a área requerida por domicílio.

Espera-se que através dessa prática auxiliar na disseminação da ecotecnologia *Wetlands* Construídos, como potencial alternativa a escassez de serviços de saneamento em comunidades isoladas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cenário atual do saneamento do Brasil

O saneamento no Brasil, segundo dados coletados pela Agência Nacional das Águas (2017) e pelo Ministério das Cidades (2017), mostra que apenas 39% dos efluentes líquidos gerados pela população são coletados e tratados adequadamente, sendo esse número muito aquém dos 60% requeridos pela legislação específica do setor (PLANSAB, 2007).

Mediante esse cenário, nota-se uma evidente falta de cumprimento da legislação, visto que 70% dos 5.570 municípios não apresentam soluções adequadas de saneamento (ANA, 2017), havendo significativa ineficiência ao que se refere a infraestrutura e instalações operacionais, destacando-se de forma especial em comunidades rurais. A cada dez pessoas não beneficiadas com adequado saneamento, sete pertence a áreas rurais (TONETTI et al., 2018). A disparidade de acesso, entre zonas urbanas e rurais, está diretamente vinculada a escassez de investimentos para implementação de estruturas adequadas de saneamento, em localidades rurais (TRATABRASIL, 2017).

Conforme Programa Nacional de Saneamento Rural – PNRS, em zonas rurais, tem-se a predominância de fossas rudimentares, estando essa presente em mais três quartos do atendimento domiciliar na região Centro-Oeste, metade das residências na região Norte e Nordeste, e em cerca de 60% na região Sul (BRASIL, 2019).

A Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (2014), aponta-se que somente 5,45% dos domicílios encontram-se ligados a uma rede de coleta de esgoto, 4,47% dispõe de fossa séptica ligada a rede, e 28,78% utilizam tal tecnologia sem ligação a rede coletora, enquanto, 61,27% dispõe de fossas rudimentares, cujo os resíduos líquidos são dispostos diretamente no solo.

2.2 Aspectos legais referentes ao saneamento básico

No Brasil, a Lei n.º 11.445/2007, lei do Saneamento Básico, explicitou as atividades que compõem a função pública, ao estabelecer, em seu artigo 3º, inciso I, que o saneamento básico constitui um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais nas áreas de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas. Porém, houve uma evolução lenta de decretos e portarias. O Quadro

1 reúne os principais aspectos legais referentes ao saneamento básico, que serão descritos ao longo deste referencial.

Quadro 1 – Legislação aplicada ao saneamento básico, com foco no esgotamento sanitário.

LEIS/DECRETO/PLANO	DESCRIÇÃO
Lei Federal 11.445/2007	Política Nacional do Saneamento Básico
Decreto nº 7.217, de 2010	Regulamenta a Lei no 11.445/2007
PLANSAB (2013)	Programa Nacional de Saneamento Básico
Lei Complementar Nº 162 de 20/06/2016	Política Estadual de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário no Estado do Ceará
Portaria MS nº 3.174/2019	Programa Nacional de Saneamento Rural
Lei 14.026, de 15 de julho de 2020	Marco Legal do Saneamento Básico

Fonte: Autor, 2022.

O Decreto nº 7.217/2010, promove a regulamentação da Lei do Saneamento, expresso no artigo 24º (BRASIL, 2010). O processo de planejamento do saneamento básico abrange, entre outros, o Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB. Com o intuito de tornar factível as estratégias elaboradas, o PLANSAB propõe efetuar a avaliação e a criação de programas governamentais específicos, entre ele o Saneamento Rural (PINHO *et al.*, 2021).

Em 2019, o Ministério da Saúde desenvolveu o Programa Nacional de Saneamento Rural (PNRS), aprovado mediante a Portaria MS nº 3.174. Entre suas principais premissas, destaca-se a regionalização dos serviços, assim como, a maior participação de instituições privadas no setor, mediante a um regime de concorrência pública (PINHO *et al.*, 2021).

Entre as mudanças trazidas pelo novo marco legal, algumas são referentes as localidades rurais, nas quais não eram evidenciadas anteriormente na lei do saneamento básico. Nos Planos Municipais de Saneamento, os diagnósticos realizados não tinham a obrigatoriedade de abranger as áreas rurais, havendo assim, na maior parte dos casos, a promoção da invisibilidade dessas localidades, fato que foi modificado pela nova lei conforme expresso no Art. 13 III (BRASIL, 2020).

Em âmbito estadual, destaca-se a Lei complementar Nº 162 de 20 de junho de 2016, que institui a Política Estadual de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário no Estado do Ceará. Destaca-se a importância dada ao saneamento rural, mediante a instauração da Política Estadual de Saneamento Rural (PESR), em função de suas particularidades (CEARA, 2016).

2.3 Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas

Sistemas descentralizados de tratamento de efluentes, por definição, são aqueles que realizam a coleta, tratamento, assim como a disposição final ou reuso do esgoto em local próximo a sua geração, diferenciando-se, dos sistemas convencionais de tratamento centralizados (TONETTI *et al.*, 2018).

Os sistemas de gerenciamento descentralizados, podem ser classificados como soluções cuja coleta e tratamento, tal como disposição/reutilização, são executadas próximas a fonte de geração (SURIYACHAN *et al.*, 2012). Ressalta-se, que a abordagem descentralizada engloba dois sistemas, os locais e os cluster (LIBRALATO *et al.*, 2012).

De acordo com a literatura, os sistemas locais são caracterizados por realizar o tratamento do esgoto gerado em residências individuais, podendo ser aplicados mediante a separação ou não do efluente (MASSOUD *et al.*, 2009). Já os sistemas clusters ou comunitários, realizam o tratamento de efluentes residenciais, assim como comerciais, referente a um grupo de edificações em localidades que se encontra próximas ao ponto de geração, sendo excluídos os efluentes industriais (USEPA, 2005). A definição da quantidade de habitantes que um sistema comunitário pode atender, não vem a ser claramente evidenciado na literatura. Entretanto, estipula-se que tais estações de pequena escala podem atender populações de até 5.000 habitantes (REYMOND *et al.*, 2018).

2.4 Projetos executivos utilizando o sistema *Wetlands* construídos

O tratamento descentralizado surge como proposta para locais desprovidos de rede e tratamento de esgoto, tornando-se assim uma alternativa para promoção da universalização do saneamento. Neste contexto, a ecotecnologia *Wetlands* Construídos apresenta-se como alternativa viável que se adapta a este cenário. No Quadro 2, estão citados alguns trabalhos referentes a projetos executivos de sistemas de tratamento utilizando-se dessa ecotecnologia.

Quadro 2 - Trabalhos que abordam projetos executivos utilizando *Wetlands* Construídos.

Título do trabalho	Autor(a)	Breve descrição
Projeto executivo de um sistema de <i>Wetlands</i> Construídos para tratamento de esgoto doméstico	Aguiar (2020)	Projeto executivo de um sistema de <i>Wetlands</i> Construídos composto por uma primeira etapa de <i>Wetland</i> em modelo francês adaptado ao clima subtropical, seguido por uma etapa de pós-tratamento com um <i>Wetland</i> horizontal e um vertical.

Saneamento básico rural – alternativas de tratamento de esgoto para o assentamento dom Pedro Casaldáliga, Cajamar.	Cioletti et al (2018)	Apresenta alternativas de sistemas de tratamento de esgoto descentralizados, bem como a análise de viabilidade financeira para a implantação dos sistemas por meio de um estudo de caso do Assentamento Rural Dom Pedro Casaldáliga
--	-----------------------	---

Fonte: Autor, 2022.

2.5 Modalidades de *Wetlands* Construídos

Os *Wetlands* Construídos (WC) consistem em sistemas desenvolvidos com a finalidade de replicar e aprimorar processos naturais, de transformação da matéria orgânica, assim como a reciclagem de nutrientes, acontecem em sistemas alagados. Os microrganismos atuam como principal agente na redução e oxidação de compostos biodegradáveis presentes no efluente. Já a vegetação atua como extratora de grande parte dos macros e micronutrientes, sendo utilizadas espécies emergentes ou heliófilas para otimizar a eficiência do sistema, como *Phragmites australis*, *Typha latifolia* e a *Scirpus lacustres*, por meio de mecanismos de absorção e assimilação de nutrientes/poluentes. Geralmente, adota-se esse sistema para o tratamento de efluentes de diversas origens, como efluentes industriais, agrícolas e domésticos (SEZERINO *et al.*, 2018). A existência de diferentes modalidades de *Wetlands* Construídos, são classificados de acordo com o sentido de escoamento do esgoto no interior de cada unidade de tratamento (SEZERINO *et al.*, 2015).

2.5.1 Sistema híbrido: *Wetlands* Construídos vertical descendente seguido por *Wetlands* Construídos horizontal

Sistemas híbridos podem ser definidos como arranjos constituídos por diferentes modelos de *Wetlands* Construídos em sequência (SEZERINO *et al.*, 2018). Dessa forma, a combinação destes sistemas propõe explorar as vantagens individuais de cada um deles, a fim de otimizar o processo de remoção de poluentes, mediante a combinação de diferentes características dos modelos associados (MIETTO *et al.*, 2015).

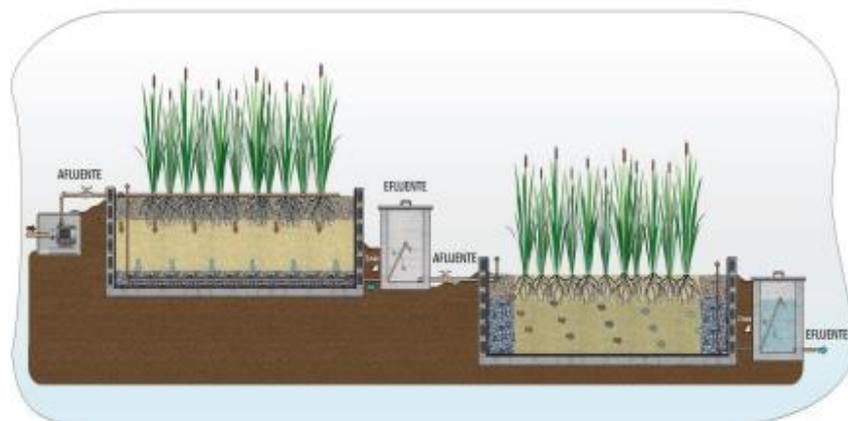
A adoção do arranjo híbrido constituído por *Wetlands* Construídos de fluxo vertical descendente - WCVD, seguida por um *Wetlands* Construídos subsuperficial de fluxo horizontal

- WCH, tem o intuito de englobar processos de tratamento complementares, a fim de se obter uma maior remoção de poluentes do efluente (SEZERINO *et al.*, 2018). Visto que, os WCVD apresentam restrições em relação a eficiência de remoção de poluentes específicos e compostos nitrogenados, enquanto os WCH apresentam condições favoráveis para a remoção desses compostos (SEZERINO *et al.*, 2018).

Nos módulos WCDV, o esgoto é aplicado uniformemente na camada superficial percolando por meio do maciço filtrante não saturado, ou seja, sem esgoto acumulado no interior da unidade. Sendo o efluente coletado no fundo do filtro através de um conjunto de tubulações. A aplicação em um leito não saturado de forma intermitentes, ou seja, com períodos de repouso entre as aplicações, promove o arraste de oxigênio para o interior do WCVD. Ocasionalmente condições favoráveis para processos oxidativos, como a nitrificação, além da oxidação matéria orgânica (SEZERINO *et al.*, 2018).

Já as unidades WCH apresenta condições favoráveis para desnitrificação. Decorrente ao funcionamento hidráulico apresentado por essa modalidade, onde o efluente flui lentamente da zona de entrada até a zona de saída, passando através do maciço filtrante. Cabe ressaltar a presença de um controlador de nível presente na zona de saída que permite a saturação do meio filtrante. A saturação do meio ocasiona na criação de zonas anaeróbico e anóxico próximas ao fundo favorecendo a desnitrificação. Além da presença de condições aeróbicas próximas a superfície favorecendo a nitrificação e oxigenação da matéria orgânica (SEZERINO *et al.*, 2018). A combinação sequencial desses dois modelos se encontra representada na Figura 1.

Figura 1 – Imagem representativa de um sistema híbrido de *Wetlands* Construídos composto por um *Wetlands* Construídos vertical descendente seguido de um *Wetlands* Construídos subsuperficial horizontal.



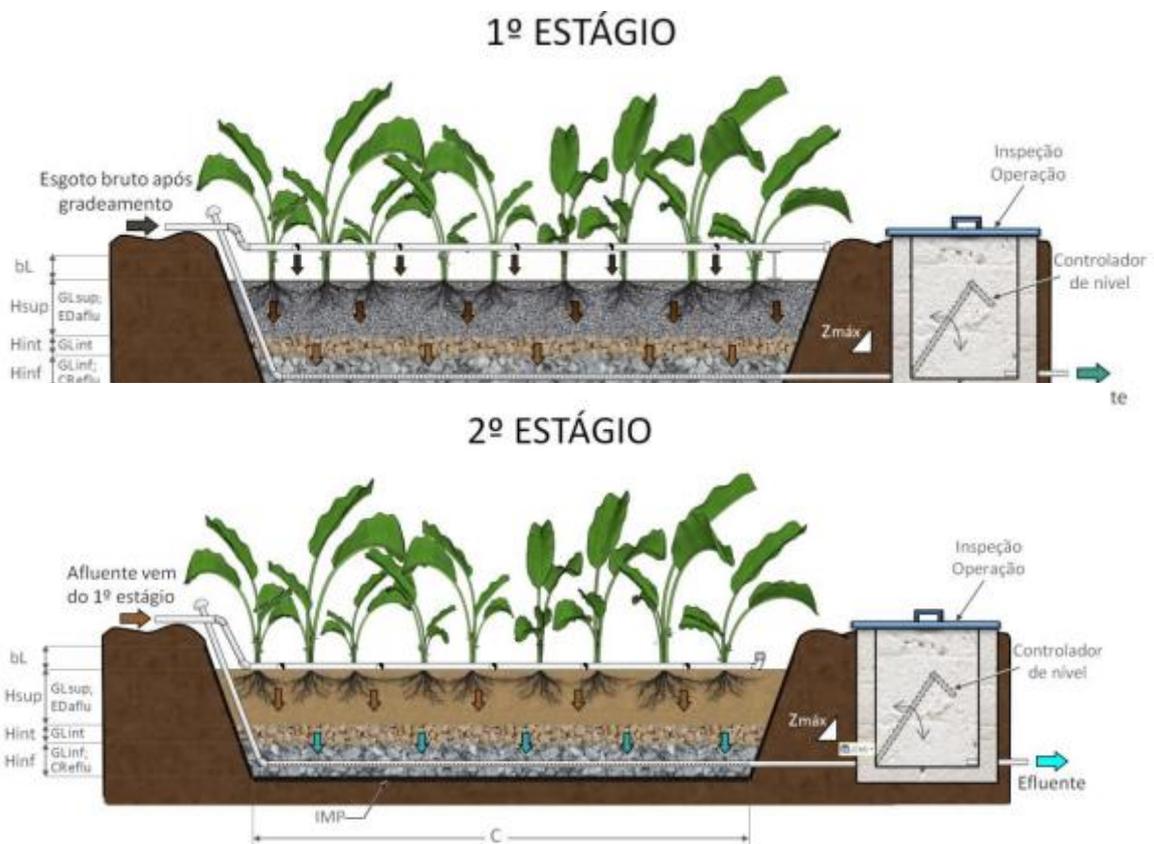
Fonte: Sezerino *et al.* (2018).

2.5.2 Modelo francês adaptado a regiões subtropicais

Os *Wetlands* Construídos do modelo francês convencional, são constituídos por uma série de dois estágios, sendo que o primeiro tende a receber o efluente bruto e no segundo estágio se tem o recebimento do efluente tratado na etapa anterior. Dessa forma, dispensa a necessidade de tratamento primário ou secundário, assim como exigido pelos outros sistemas horizontais e verticais (VON SPERLING; SEZERINO, 2018). A função principal do primeiro estágio, consiste em promover a remoção da matéria orgânica e sólidos suspensos, além da remoção parcial de nitrogênio amoniacal. Em relação ao segundo estágio, tem-se a ocorrência da remoção da matéria orgânica remanescente, tal como a oxidação total da amônia (VON SPERLING; SEZERINO, 2018).

A ampla aplicação desse modelo comum em diversos países europeus, assim como, em regiões tropicais. A principal aplicação costuma ser para comunidades de pequeno porte, convencionalmente entre 100 a 1000 hab, embora existam sistemas com diferentes dimensões (VON SPERLING; SEZERINO, 2018). A Figura 2 apresenta o perfil longitudinal de módulos de *Wetlands* Construídos de 1º e 2º estágio, de acordo com a concepção francesa.

Figura 2. Esquema representativo do perfil longitudinal do *Wetland* Construídos de escoamento vertical (sistema francês – 1º e 2º estágios).



2.6 Elementos atuantes no tratamento de esgotos utilizando *Wetlands* Construídos

2.6.1 Meio filtrante

Para fins de projeto, recomenda-se que o material filtrante possua características que conciliem uma boa permeabilidade hidráulica, bem como manifestar potencial reativo de adsorção. Ressalta-se, que para escolha do meio suporte deve-se atentar para os aspectos relacionados à participação na remoção de nutrientes/poluentes e influenciadores no tempo de vida útil do leito, como porosidade, resistência e coeficiente de uniforme (KADLEC et al., 2009; MATOS et al., 2018).

Em relação ao lodo acumulado recomenda-se que a retirada da camada de depósito orgânico seja realizada após intervalos longos de operação, entre 10 a 15 anos, quando seu excessivo crescimento poderá intensificar a colmatação e afetar a remoção de poluentes (MOLLE et al., 2005). Além da remoção do lodo no sistema é necessário realizar a avaliação das camadas do leito filtrante, para que seja realizada a manutenção ou troca das camadas.

2.6.2 Macrófitas Aquáticas e microrganismos

A vegetação utilizada nos sistemas de *Wetlands* Construídos, atua como extratora de parte significativa dos macros e micronutrientes, tais como poluentes disponíveis na transferência do oxigênio atmosférico até a zona radicular. Além disso, tende a favorecer o desenvolvimento de filmes biologicamente ativos, no qual permite a degradação de compostos orgânicos presentes em solução, assim como, suspensos na água (KADLEC et al., 2009; MATOS et al., 2017). Geralmente, utilizam-se espécies emergentes ou heliófilas, visto que são plantas que enraizarão no substrato e irão expor suas partes áreas possibilitando a fotossíntese. Em decorrência dos processos utilizados, as *Wetlands* Construídos podem ser classificadas como: *Wetlands* com plantas emergentes (WPE), *Wetlands* com plantas flutuantes (WPF) e *Wetlands* com solos filtrantes, que podem ser de fluxo ascendente ou descendente (Sistema DHS) (CALIJURI; CUNHA, 2013).

Os microrganismos, consistem no principal agente no tratamento dos compostos orgânicos presentes nos esgotos. Torna-se notório, a diversidade e abundância de microrganismos, presentes nos sistemas *Wetlands* Construídos, destacando-se o grupo das bactérias e das arqueas (SEZERINO et al., 2018).

2.7 Critérios e parâmetros de projeto

Em decorrência das diferentes modalidades de *Wetlands* Construídos existentes, os critérios de dimensionamento tendem a modificar-se de acordo com o modelo a ser projetado (SEZERINO *et al.*, 2018). Para Sezerino e Von Sperling (2018), os critérios e parâmetros de projeto, abrangem os seguintes elementos, Quadro 3.

Quadro 3 - Elementos de projeto para diferentes modalidades de *Wetlands* Construídos.

Elementos	Descrição
Cálculos de processo	Taxas de aplicação que permitam a determinação da área superficial requerida; critérios para especificação do número de unidades em paralelo a serem adotadas e das principais dimensões das unidades (comprimento, largura, profundidade);
Detalhes hidráulicos	Tubulações de entrada, distribuição, coleta e saída;
Meio filtrante	Espessura, granulometria;
Detalhes construtivos	Taludes, borda livre, declividade de fundo, impermeabilização dos taludes e do fundo;
Plantas	Listagem de plantas comumente utilizadas;
Estratégia operacional	Alimentação contínua ou em bateladas (pulsos); eventual alternância entre leitos em paralelo;
Pré-tratamento	Quando requerido
Eficiências de remoção esperadas	Faixas típicas esperadas para esgotos domésticos (não são efetuados cálculos usando modelos matemáticos).

Fonte: Autor, 2022

Os parâmetros e informações necessárias para o dimensionamento para diferentes modelos de *Wetlands* Construídos encontram-se expressos na Tabela 1.

Tabela 1 – Critérios e parâmetros de dimensionamento para cada modalidade *Wetlands* Construídos.

Critérios	Modalidades		
	<i>Wetlands</i> Construídos de Fluxo Vertical - Sistema Francês (1º Estágio)	<i>Wetlands</i> Construídos de Fluxo Vertical - Sistema Francês (2º Estágio)	<i>Wetlands</i> Construídos de Fluxo Horizontal
Carga de aplicação orgânica	150 gDBO/m ² .d	20 gDBO/m ² .d	15 gDBO/m ² .d
Taxa de aplicação hidráulica máxima	0,4 m/d	0,4 m/d	0,40 m/d

Taxa de aplicação orgânica máxima na seção transversal	Não se aplica	Não se aplica	250 gDBO/m ² .d.
Área requerida máxima	400 m ²	400 m ²	Não se aplica

Fonte: Von Sperling et al (2018).

2.8 Aspectos construtivos

2.8.1 Estrutura e Impermeabilização

A estrutura dos *Wetlands* Construídos poderá ser de alvenaria estrutural ou estruturas pré-moldadas de fibra de vidro, podendo vir a ser escavada ou erguidas sobre o solo. Vale ressaltar, que em alguns casos não se recomenda a escavação, como em localidades com nível do lenço freático encontra-se próximo a superfície (SEZERINO *et al.*, 2018). Mediante a esse cenário, indica-se a construção da estrutura erguida sobre o solo.

A impermeabilização promove o isolamento da estrutura, ou seja, a estanqueidade do sistema e não permitir vazamentos, usualmente adotadas em conformidade com o modelo *Wetlands* Construídos selecionado. Em sistemas que adotam estruturas escavas, cujo o solo consiste na estrutura em si, opta-se pela utilização de mantas geotêxtis, juntamente com a impermeabilizante. As estruturas acima do nível do terreno, a escolha do tipo impermeabilização estará intrinsecamente relacionada ao tipo de material utilizado (SEZERINO *et al.*, 2018).

2.9 Controle operacional

2.9.1 Regime hidráulico

De acordo com Sezerino *et al.* (2018), o regime hidráulico pode ser definido em três aspectos (quadro 4) que regem a maneira na qual o efluente vem a ser aplicado no sistema.

Quadro 4 – Aspectos relativos ao regime hidráulico.

Aspecto	Descrição
Intermitência de aplicação	Forma de entrada do efluente: pulsos ou contínua
Alternância de módulos	Operação do sistema: contínua ou alternada entre períodos de operação

Volume do efluente aplicadoDefine a taxa de aplicação hidráulica

Fonte: Adaptado parcialmente de Sezerino *et al.* (2018).**2.9.2 Manejo das macrófitas**

Fundamental no desempenho na remoção de nutriente/poluentes no sistema. Basicamente, resumir-se a dois fatores, a poda regular e o controle de pragas. A primeira, consiste na remoção de parte da parte aérea da planta, estimulando seu crescimento e favorecendo uma maior eficiência de remoção, por meio da fitoextração. Já o controle de pragas, deve ser realizado para que não se tenha o comprometimento das macrófitas (SEZERINO *et al.*, 2018).

É importante atenta-se a questão da proliferação de mosquitos especialmente em países tropicais como o Brasil. Sendo doenças como dengue e zika vírus transmitidos pelo mosquito *Aedes aegypti*. Mediante a esse cenário é recomendada a adoção de *Wetlands* Construídos de fluxo subsuperficial, com a finalidade de evitar a proliferação de vetores e ocasionarem odor (SILVA, 2007). Por isso, as modalidades *Wetlands* Construídos consideradas neste trabalho são sistemas de fluxo subsuperficial. Cabe salientar, que em caso de *Wetlands* Construídos que se utiliza de plantas aquáticas dentro das recomendações técnicas já é prevista não apenas o manejo da biomassa, mas também das larvas de mosquito.

2.9.3 Monitoramento do desempenho

Outro aspecto operacional importante, refere-se à análise do efluente bruto e tratado, de forma a verificar a remoção de poluentes no sistema. Este monitoramento, consiste na coleta e análise de qualidade de entrada e saída, por meio de coletas e análises periódicas de amostras afluentes e efluente dos *Wetlands* Construídos (SEZERINO *et al.*, 2018). De acordo com Sezerino (2018), em contexto geral, os parâmetros de desempenho analisados consistem naqueles relacionados a matéria orgânica carbonácea, nutrientes e patógenos.

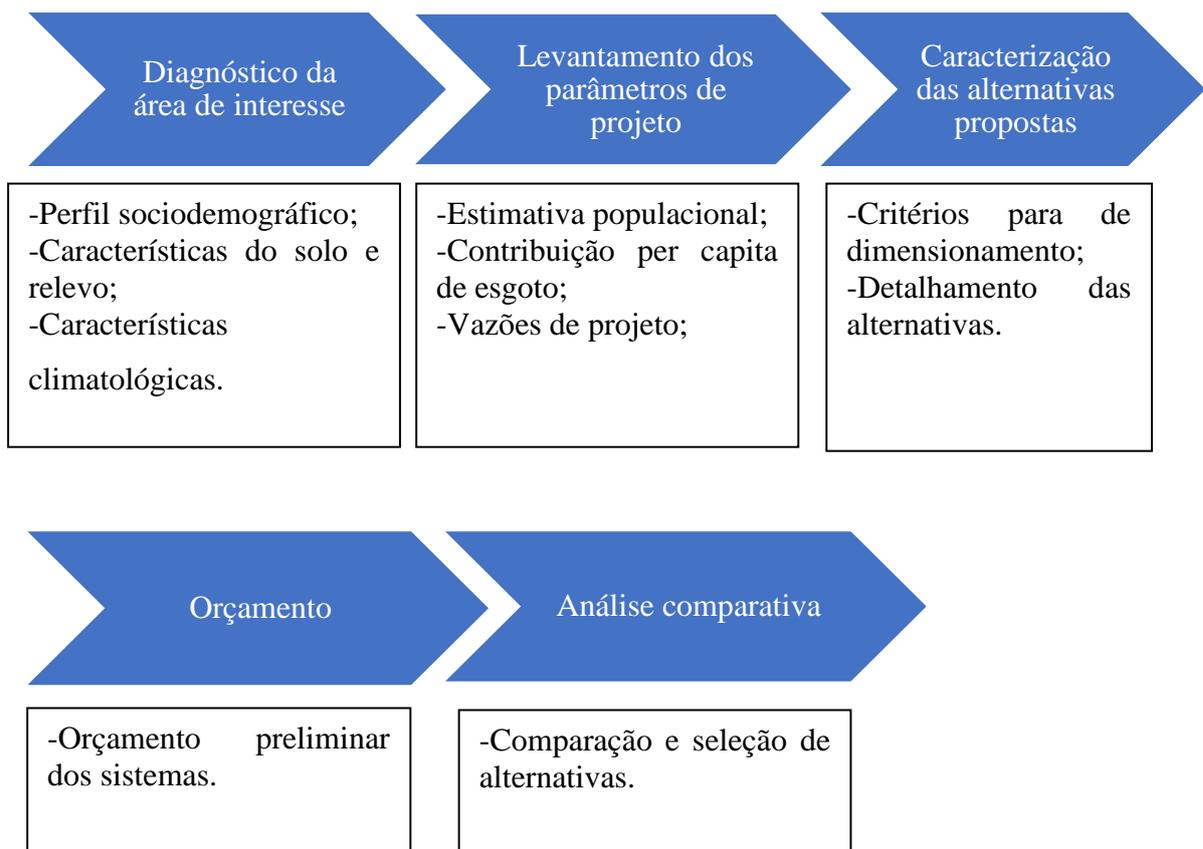
3 METODOLOGIA

3.1 Classificação da pesquisa

Este trabalho caracteriza-se quanto à natureza como pesquisa aplicada, visto que busca gerar conhecimentos para aplicação prática, voltadas para a solução de problemas. Quanto aos objetivos, como uma pesquisa descritiva, exploratória e documental. Os dados foram obtidos mediante técnicas padronizadas de coleta de dados. E quanto à abordagem, trata-se de uma pesquisa qualitativa, pois requer técnicas de coleta e análise de dados específicas (GIL, 2002).

O delineamento metodológico está ilustrado na Figura 3, com o esboço das etapas do projeto, assim como, as atividades a serem realizadas em cada uma delas.

Figura 3 - Delineamento metodológico.



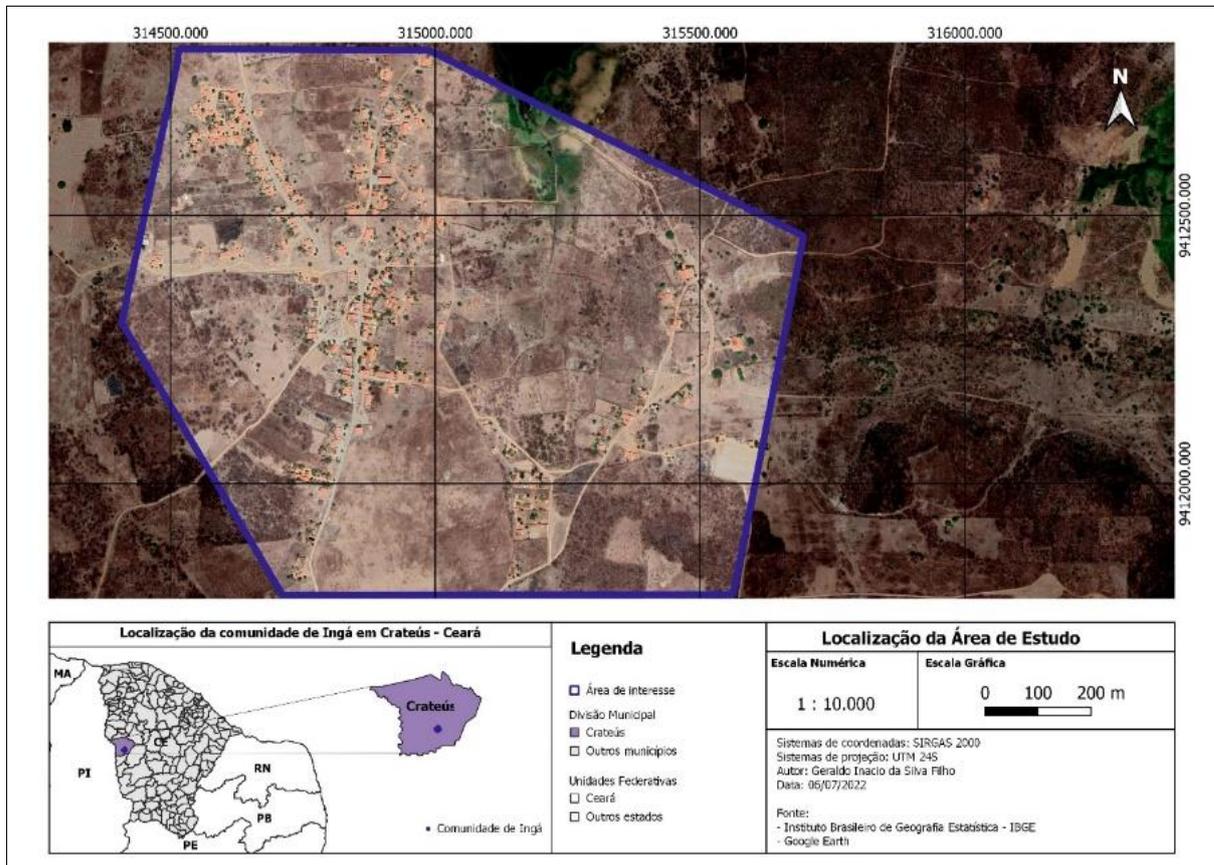
Fonte: Autor, 2022.

3.2 Localização da área de estudo

O presente trabalho planejado tomando como modelo a comunidade de Ingá, situada no Distrito de Santo Antônio na zona rural do município de Crateús-CE, nas seguintes

coordenadas: Latitude: -5,3 Longitude: -40,6667. Vale ressaltar, que os limites do município em questão e comunidade em análise, foram obtidos através de dados disponibilizados pelo IBGE (2022) e Google *eath* (2022). A localidade da área de interesse encontra-se em destaque na Figura 4.

Figura 4 – Mapa de localização da localidade de interesse.



Fonte: Autor, 2022.

3.3 Diagnóstico da área de interesse

3.3.1 Perfil sociodemográfico

Para o levantamento sociodemográfico, utilizou-se dados oriundos do município de Crateús e Distrito de Santo Antônio, visto a insuficiência de informações que contemplem exclusivamente a comunidade de interesse. Para essa finalidade, foram usados o portal das cidades IBGE (2022), IPECE (2021), SNIS (2022), Plano de Municipal de Saneamento Básico – PMSB de Crateús (2014) e o Sistema Integrado de Saneamento Rural Bacia do Parnaíba - SISAR BPA (2021) de Crateús. Os parâmetros levantados foram renda *per capita*, população, atividades econômicas, empregabilidade e condições de saneamento. Segundo dados

populacionais levantados pelo SISAR BPA (2022), a comunidade de Ingá possui uma população estimada de 650 habitantes.

De acordo com o mesmo levantamento realizado pelo SISAR BPA (2021), em relação a situação econômica a principal atividade exercida pela comunidade consiste na agricultura familiar, sendo essa a principal fonte de renda em conjunto com os benefícios governamentais recebidos pela comunidade como Bolsa Família e Seguro Safra.

O distrito de Santo Antônio é abastecido por apenas uma rede geral, estando as outras alternativas incorporadas na zona rural do distrito. Dos 370 domicílios que utilizam a rede, 65,40 estão na zona rural. Nota-se ainda, que além da rede, a zona rural é abastecida por poços, carros-pipa, cisternas entre alternativas, como açudes, rios e lagos, conforme expresso no PMS de Crateús.

Segundo dados levantados pela Companhia Estadual de Saneamento (CAGECE) em parceria com instituto SISAR. a comunidade de Ingá em termos de abastecimento, possui no total de 216 ligações, no entanto, apenas 179 dessas ligações encontram-se ativas. A população total coberta pela rede consiste em 816 hab, sendo apenas 59% da população efetivamente abastecida.

Na localidade de Ingá, a água é tratada com filtração direta ascendente e desinfecção (cloro granulado). O número de domicílios beneficiados por essa rede de distribuição, cuja fonte de abastecimento é o açude, corresponde a 58 domicílios.

Em relação às condições sanitárias, no distrito de Santo Antônio, a população em geral utiliza alternativas precárias de esgotamento sanitário, observando-se o alto índice de domicílios sem banheiro (46,84%). Entre os domicílios que possuíam algum método de esgotamento sanitário, prevalecia o tipo fossa rudimentar (37,96%), seguido por fossa séptica (10,11%) (PMS, 2014).

A comunidade de Ingá, conforme dados levantados pela prefeitura de Crateús (2014), na localidade não existem residências com banheiro e/ou fossa, sendo evidenciado esgoto a céu aberto em alguns locais. Entre os 58 domicílios analisados pelo pela equipe técnica, todos eles não possuem banheiro. Recentes dados levantados pelo SISAR BPA (2021), apontam a presença de banheiros individuais em todas as residências, sendo a fossa séptica a solução de esgotamento sanitário aderida pela comunidade.

3.3.2 Características do solo e relevo

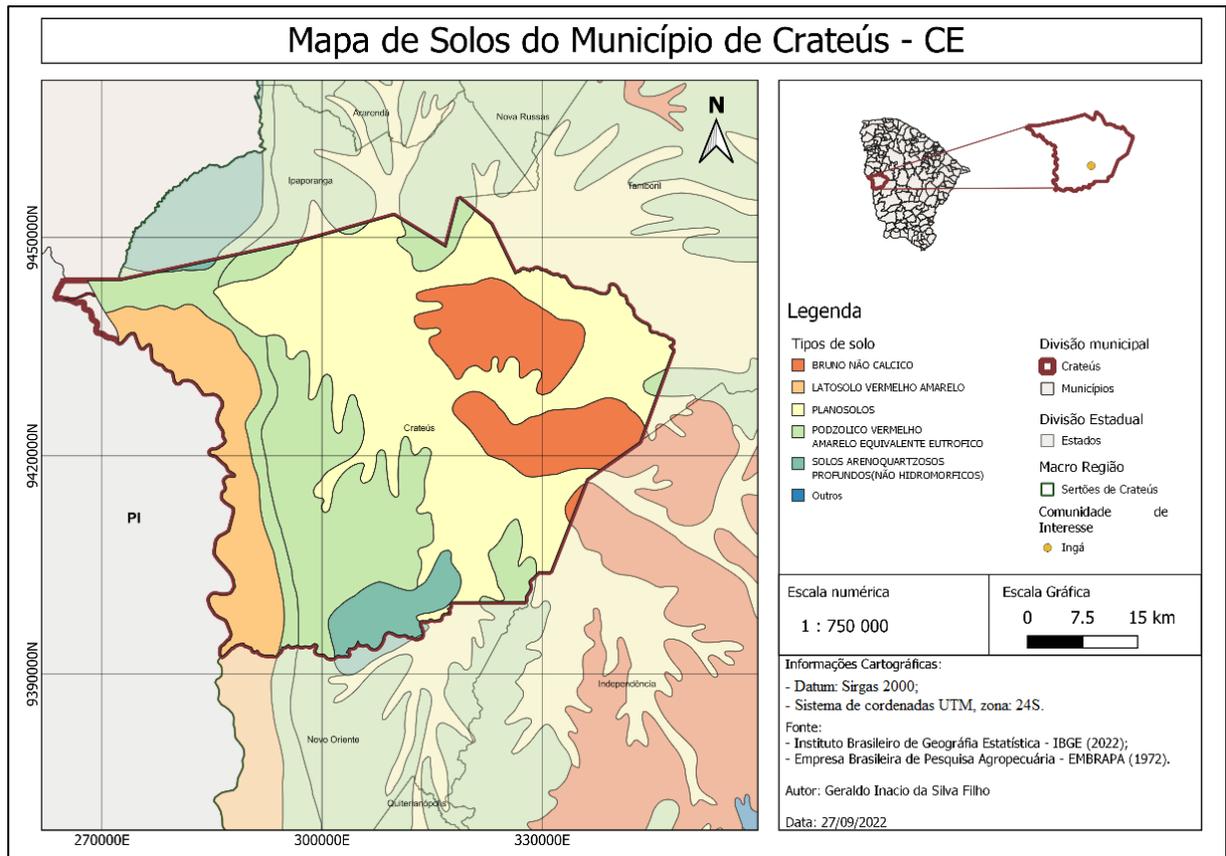
Para caracterização pedológica, realizou-se por meio de dados relativos ao município de Crateús, em decorrência da escassez de dados referentes à localidade de interesse. Neste caso, serão utilizadas informações provenientes do IPECE e do portal da Embrapa. Para a caracterização topográfica, utilizou-se o modelo digital de elevação (MDE), disponibilizado pelo portal da Embrapa (2022), em conjunto com o Google Earth (2022). Para a manipulação desses dados espaciais, aplicou-se o software Qgis.

De acordo com o IPECE (2017) os solos predominantes na região dos sertões de Crateús, Figura 5, no qual a localidade de interesse está inserida, são: Podzólico Vermelho - Amarelo Distrófico, Bruno Não Cálcico, Areias Quartzosas Distróficas e Planossolo Solódico.

Em maioria, esses solos não são hidromórficos, ou seja, com baixa umidade, no entanto possuem alta fertilidade natural. Destacando-se o Planossolo Solódico, por apresentar um horizonte endurecido ou cimentado, em decorrência de seus tipos estruturais que estão relacionados com a presença de argila de atividade alta, que é responsável pela formação de lençol d'água sobreposto de presença variável ao longo do ano.

Essa condição se dá pelo elevado teor de argila, associado à presença de argila dispersa resultando na má infiltração de água, proporcionando a temporária retenção de água, sendo assim, um fator crítico para construção de projetos em sua superfície. No entanto, vale salientar, que segundo a Embrapa (2019) a predominância desse tipo de solo não é tão representativa na região, sendo o Podzólico Vermelho - Amarelo Distrófico e o Bruno Não Cálcico os tipos de maior predominância. Fato que favorece a instalação do projeto.

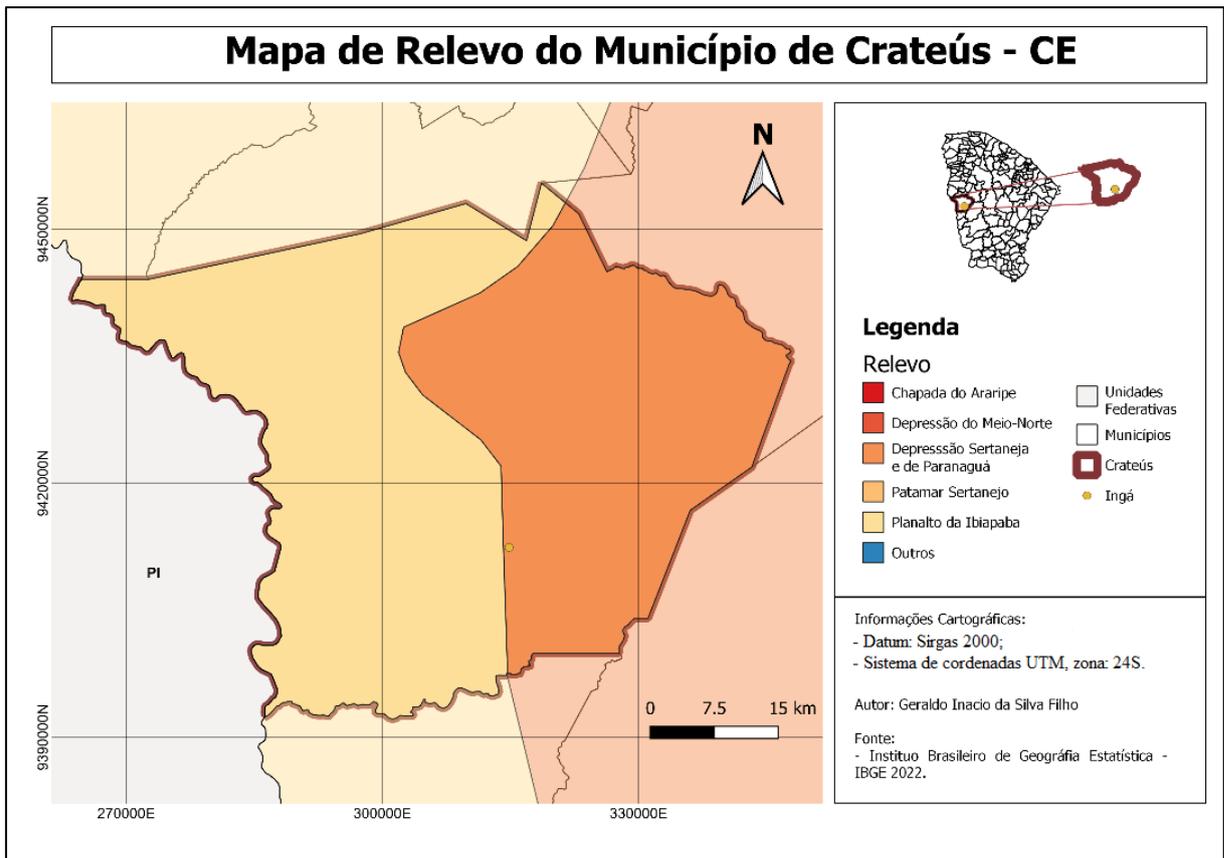
Figura 5 - Mapa de solos dos sertões de Crateús



Fonte: Autor, 2022.

Em relação ao relevo, segundo dados de 2017 da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) em parceria com o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), o relevo da região de Crateús divide-se em Planalto da Ibiapaba, Depressões Sertanejas e Maciços Residuais, sendo a localidade de interesse localizada no planalto da Ibiapaba, Figura 6.

Figura 6 - Mapa dos relevos sertões de Crateús.



Fonte: Autor, 2022.

Nota-se que a área de estudo se situa na região de depressões sertanejas, que são caracterizadas por uma vastidão de terras aplainadas interrompidas por subidos morros isolados, compostos de rochas mais resistentes que as do entorno rebaixado (AB'SABER, A. N. (2005)).

3.3.3 Características climatológicas

Para a caracterização climatológica local, utilizou-se dados oriundos da estação meteorológica de Crateús - 82583, visto a inexistência de informações referentes a área de interesse, sendo extraídos dados relativos à insolação, precipitação, temperatura e evapotranspiração, provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, obtidos por meio das normais climatológicas de 1981 a 2010.

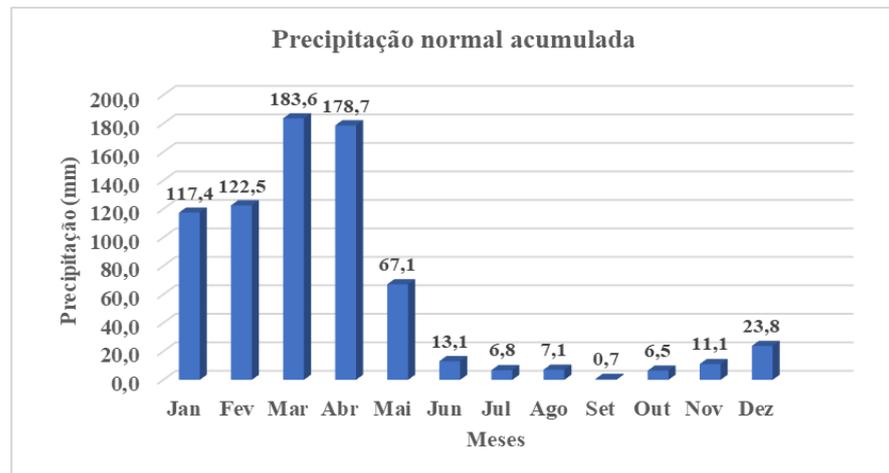
De acordo com a classificação climática de Köppen, o município de Crateús, Ceará ((5° 10' 42" S; 40° 40' 39" W, 274,7 m) corresponde ao tipo BSw'h', neste caso, semiárido

quente com temperatura média anual de 26° a 28°, com pluviosidade média anual de 731,2 mm. sendo as precipitações concentradas nos meses de janeiro a maio (SILVA *et al.*, 2013).

Cabe salientar, que fatores climáticos, tais como temperatura, evapotranspiração, insolação e precipitação, podem influenciar significativamente o funcionamento de *Wetlands* Construídos, por essa razão para o desenvolvimento do projeto esses parâmetros devem ser observados.

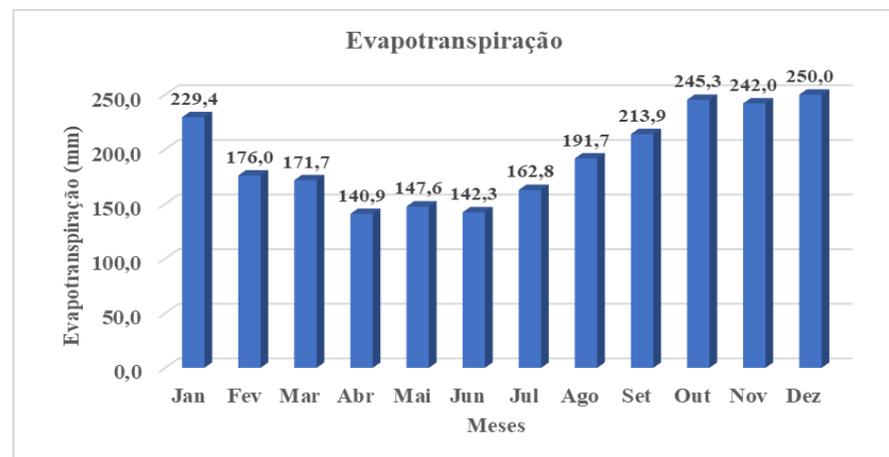
A precipitação, segundo dados do INMET (2019), corresponde em média a 738,4 mm por ano. Enquanto a precipitação é baixa, a evapotranspiração apresenta-se constante ao longo do ano, correspondendo a uma média de 192,8 mm, com média maior que a precipitação do mês de março, o mês mais chuvoso (INMET, 2019), Figuras 7 e 8.

Figura 7 - Precipitações Normal Acumulada (mm) Município de Crateús-CE.



Fonte: Dados adaptados do INMET (2019).

Figura 8 - Evapotranspiração Potencial Mensal (mm) Município de Crateús-CE.



Fonte: Dados adaptados do INMET (2019).

Quanto à insolação, cerca de 30% das horas em um ano a região passa sob efeitos solares (INMET, 2019). Cabe destacar, que em sistemas *Wetlands* Construídos a área superficial requerida pode ser adaptada conforme o clima. Em comparação às regiões temperadas, as temperaturas das regiões tropicais geram i) altas taxas de crescimento biológico durante o período de alimentação e ii) aceleração da mineralização da matéria orgânica retida nos poros do filtro (PLATZER; MAUCH, 1997). Essas características particulares dos climas quentes possibilitam aderir períodos de repouso menores ou períodos de alimentação maiores. Dessa forma, para essas regiões os sistemas WCFV pode ser utilizado com apenas dois leitos em paralelo no primeiro estágio (SEZERINO *et al*, 2018).

3.4 Levantamento dos parâmetros de projeto

Para fins de projeto, os parâmetros levantados para o projeto, estimativa populacional, contribuição per capita de esgoto, vazão de esgotos, coeficiente de retorno água e esgoto, coeficiente de variação de demanda, carga de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a caracterização do efluente doméstico gerado.

A área de projeto, abrangerá todo perímetro da comunidade de Ingá. A delimitação, se dará mediante ao uso do software Qgis, que determina a área total atendida pela unidade de tratamento. Para essa finalidade, serão utilizados dados provenientes do IBGE (2022) e Google Earth (2022). Para este projeto, o horizonte de eventos será fixado em 10 anos, iniciando em 2022 e obtendo-se em 2032 a população final atendida, conforme a taxa de crescimento prevista pela Fundação Nacional de Saúde - FUNASA (2022) para comunidades rurais.

Para determinar a contribuição per capita de esgoto, utilizou-se a recomendação de contribuição diária estabelecidas pela NBR 13969 (ABNT, 1997). Para o cálculo das vazões, adotou-se o coeficiente de retorno igual a 0,80 ($c=0,80$) e os coeficientes de variação de demanda $K1 = 1,2$ e $K2 = 1,5$, conforme a NBR 9.648 (ABNT, 1986). As fórmulas relativas as vazões de projeto encontram-se expressas no Quadro 5.

Quadro 5 – Vazões de projeto.

Vazões de projeto	Equações
Vazão máxima horária futura ($Q_{m\acute{a}x}$)	$Q_{m\acute{a}x} = \frac{c \times P \times q \times K1 \times K2}{86400} + Q_{ind}(Ls^{-1})$
Vazão média diária ($Q_{m\acute{e}d}$)	$Q_{m\acute{e}d} = \frac{cxPxq}{86400} + Q_{ind}(Ls^{-1})$

$$\text{Vazão mínima (Qmín)} \qquad Q_{\text{mín}} = \frac{Q_{\text{méd}}}{2} (Ls^{-1})$$

Legenda: c: Coeficiente de retorno; Qind.: Vazão industrial; P: População; q: contribuição per capita. **Observação:** Como o projeto não possui como propósito dimensionar a rede de coleta de esgoto, então a vazão de infiltração não será considerada nos cálculos.

Fonte: Adaptado NBR 9.648 (ABNT, 1986).

Para a avaliação da carga orgânica originada dos esgotos domésticos e estabelecimento da concentração de DBO_{5,20}, adotou-se o valor per capita recomendado pela ABNT NBR 12.209 (ABNT, 1992) igual a 54g/hab.dia. Para este trabalho, visto as informações e limitações existentes, a caracterização qualitativa e quantitativa do efluente doméstico, conforme (VON SPERLING, 1998).

3.5 Dimensionamento das unidades preliminares de tratamento

O tratamento preliminar compreende três diferentes etapas: gradeamento, desarenação e Calha Parshall. O dimensionamento de cada unidade é dado conforme a NBR 9826:2009 e NBR 12.209/2011.

A dimensão da Calha Parshall é designada pela largura da garganta (trecho contraído), podendo ser construída ou fabricados com aço, carbono revestido, aço inox ou concreto, sendo esse último o material escolhido para a construção da unidade neste trabalho. Sendo largura da garganta determinada pelas vazões máxima e mínima de projeto.

As alturas mínima e máxima foram dadas com base na equação 1.

$$Q = K \times H^n \qquad \text{Equação 1}$$

Sendo,

Q = Vazão (m³/s);

H = Altura (m).

O rebaixo (Z) é dado com base nos valores das alturas mínima e máxima. Sendo obtido por meio da equação 2.

$$Z = \frac{(Q_{\text{máx}} - H_{\text{mín}}) - (Q_{\text{mín}} \times H_{\text{máx}})}{Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}} \qquad \text{Equação 2}$$

Sendo,

Z = Rebaixo;

Q_{máx} = Vazão máxima (m³/s);

$Q_{\text{mín}} = \text{Vazão mínima (m}^3/\text{s)}$;

Para o dimensionamento da caixa de areia é necessário atenta-se aos seguintes critérios: a Taxa de aplicação superficial (TAS) deverá está entre 600 a 1300 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ e a velocidade crítica (v) deverá ser inferior a 0,4 m/s para a $Q_{\text{máx}}$.

A área da seção transversal se dar pela razão entre a vazão máxima ($Q_{\text{máx}}$) e a velocidade crítica (v), conforme a equação 3.

$$A = \frac{Q_{\text{máx}}}{v} \quad \text{Equação 3}$$

Sendo,

$A = \text{Área da seção transversal}$;

$Q_{\text{máx}} = \text{Vazão máxima (m}^3/\text{s)}$;

$v = \text{Velocidade (m/s)}$.

Já a largura da câmara da caixa de areia (b) pode ser obtida mediante a aplicação da equação 4.

$$b = \frac{A}{H_{\text{máx}} - Z} \quad \text{Equação 4}$$

Sendo,

$b = \text{Largura da câmara da caixa de areia (m)}$;

$A = \text{Área da seção transversal (m}^2)$;

$H_{\text{máx}} = \text{Altura máxima (m)}$;

$Z = \text{Rebaixo (m)}$.

O comprimento da caixa é obtido utilizando $hm_{\text{máx}}$ ($H_{\text{máx}} - Z$) pela equação 5.

$$L = 25 \times hm_{\text{máx}} = \quad \text{Equação 5}$$

A taxa de aplicação é calculada apartir da razão entre a vazão de esgoto e a área superficial da unidade de tratamento (equação 6).

$$TAS = \frac{Q_{\text{máx}}}{A_s} \quad \text{Equação 6}$$

Sendo,

$TAS = \text{Taxa de aplicação superficial (m}^3/\text{m}^2.\text{d)}$;

$Q = \text{Vazão máxima (m}^3/\text{d)}$;

$A_s = \text{Área superficial (m}^2)$.

Para o cálculo do rebaixo da caixa de areia (d) é necessário determinar o volume diário retido na caixa de areia (V_r). Valor que pode ser obtido através da equação 7.

$$V_r = Q_{\text{med}} \times P_c \quad \text{Equação 7}$$

V_r = Volume diário retido (m^3/d);

Q_{med} = Vazão média (m^3/d);

P_c = Produção de areia.

A altura diária (Q_a) de areia acumulada é dada por meio da equação 8.

$$Q_a = \frac{V_r}{A_s} \quad \text{Equação 8}$$

Q_a = Altura diária (m/d);

V_r = Volume diário retido (m^3/d);

A_s = Área superficial (m^2).

O valor de rebaixo (d) da caixa de areia é dado conforme a equação 9.

$$d = Q_a \times t \quad \text{Equação 9}$$

d = Valor de rebaixo (d);

Q_a = Altura diária (m/d);

t = Intervalo de limpeza da caixa de areia (t).

Para a determinação das dimensões da unidade de gradeamento os seguintes critérios foram adotados:

- Grade com barras de ferro;
- Espessura (t) = 0,95 cm;
- Espaçamento entre barras (a) = 2,5 cm;
- Grade média $3/8 \times 1^{1/2}$.

Primeiramente foi calculado a eficiência das barras por meio da equação 10.

$$E = \frac{a}{a+t} \quad \text{Equação 10}$$

Sendo,

E = eficiência das barras;

a = Espaçamento entre as barras (cm);

t = Espessura (cm).

Através da eficiência foi possível se obter a área útil (A_u) de gradeamento aplicando a equação 11.

$$A_u = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{v_b} \quad \text{Equação 11}$$

A_u = Área útil (m^2);

$Q_{m\acute{a}x}$ = Vazão máxima (m^3/s);

v_b = Velocidade entre barras (m^2/d).

Através da equação 12 é possível se obter a área total da seção do canal (A_t), que será necessária para a determinação da largura do canal da grade (b_o) (equação 13).

$$A_t = \frac{A_u}{E} \quad \text{Equação 12}$$

Sendo,

A_t = Área total da seção transversal (m^2);

A_u = Área útil (m^2);

E = eficiência das barras.

$$b_o = \frac{A_t}{H_{max} - Z} \quad \text{Equação 13}$$

Sendo,

b_o = Largura do canal da grade (m)

A_t = Área total da seção transversal (m^2);

$H_{máx}$ = Altura máxima (m);

Z = Rebaixo (m).

Após se obter a largura do canal (b_o) possível determinar o número de barras utilizando a equação 14.

$$N = \frac{b_o}{t+a} \quad \text{Equação 14}$$

Sendo,

N = Número de barras;

b_o = Largura do canal da grade (cm);

t = Espessura da barra (cm);

a = Espaçamento entre barras (cm).

Por fim foi realizada a verificação da distância entre barra extrema e lateral do canal (e) (equação 15).

$$e = \left(\frac{1}{2}\right) \times \{b_o [N \times t + (N - 1) \times a]\} \quad \text{Equação 15}$$

Sendo,

e = Distância entre barras extremas e lateral do canal (cm);

N = Número de barras;

b_o = Largura do canal da grade (cm);

t = Espessura da barra (cm);

a = Espaçamento entre barras (cm).

3.6 Caracterização das alternativas propostas

Para o projeto foram consideradas duas propostas de tratamento descentralizadas de esgoto sanitário, baseadas na ecotecnologia *Wetlands* Construídos. Cabe pontuar, que esta etapa possui a finalidade de realizar a caracterização, dimensionamento e detalhamento dos sistemas propostos, para que nas etapas posteriores, sejam realizadas análises comparativas com o intuito de inferir qual entre as propostas consideradas, melhor adequa-se a realidade local. As alternativas a serem trabalhadas neste estudo, encontra-se detalhadas no Quadro 6.

Quadro 6 – Alternativas consideradas para os modelos.

Propostas	Breve descrição
Sistema híbrido	<i>Wetlands</i> Construídos verticais descendentes (1º estágio modelo francês) seguido por <i>Wetlands</i> Construídos horizontal (como pós-tratamento).
Sistema francês adaptado ao clima subtropical	<i>Wetlands</i> Construídos de fluxo vertical, composto por dois estágios, dispensando o tratamento primário.

Fonte: Autor, 2022.

3.6.1 Critérios para o dimensionamento e detalhamento das alternativas propostas

Para a determinação dos critérios de dimensionamento, foram adotados conforme a NBR 12.209 (ABNT, 1992). Enquanto aos parâmetros e informações necessárias para o dimensionamento do modelo de fluxo vertical em sistema francês, assim como, o sistema híbrido, modelo de fluxo vertical com fluxo horizontal, serão baseadas de acordo com o documento de dimensionamento para *Wetlands* Construídos no Brasil, elaborado por Von Sperling e Sezerino (2018). Ressalta-se que o mesmo documento será utilizado para determinação da eficiência esperada relativa a cada sistema dimensionado.

A caracterização dos sistemas analisados foi realizada mediante a utilização do software Revit (2021), que possibilitará a realização do detalhamento dos componentes de cada sistema.

3.6.2 Sequência simplificada de cálculos de dimensionamento das unidades *Wetlands* Construídos

A etapa de pré-dimensionamento engloba a determinação da área superficial requerida, número de unidades em paralelo e das dimensões das unidades. Os sistemas tendem a ser dimensionado visando principalmente a remoção de matéria orgânica.

Para o cálculo da área superficial requerida, considera-se igualmente importantes as taxas de aplicação orgânica e hidráulica. Este método utiliza as seguintes equações para a determinação da área requerida.

Critério da taxa de aplicação orgânica superficial (equação 16):

$$\text{Área superficial requerida (m}^2\text{)} = \frac{\text{Carga de DBO afluente aos wetlands } \left(\frac{\text{dDBO}}{\text{d}}\right)}{\text{Taxa de aplicação orgânica superficial } \left(\frac{\text{dDBO}}{\text{m}^2\cdot\text{d}}\right)} \quad \text{Equação 16}$$

Critério da taxa de aplicação hidráulica superficial (equação Z):

$$\text{Área superficial requerida (m}^2\text{)} = \frac{\text{Vazão média afluente aos wetlands } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right)}{\text{Taxa de aplicação hidráulica superficial } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2\cdot\text{d}}\right)} \quad \text{Equação 17}$$

Com base nos valores obtidos para a área superficial, adotada-se o de maior valor. Cabe ressaltar, que a taxa de aplicação se refere apenas as unidades em operação, sendo realizado o produto da área individual de cada unidade e o número total de unidades/número de unidade em operação para se obter a área total do sistema.

A largura e comprimento de cada unidade foi obtido com base na relação comprimento/largura indicada pelo manual de acordo com o tipo de *Wetlands* Construído adotado.

3.7 Orçamento preliminar dos sistemas

Em relação à elaboração do orçamento, a estimativa de custos dos materiais e mão de obra foram obtidos conforme as tabelas disponibilizadas pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) do estado do Ceará dos anos de 2022.

3.8 Comparação e seleção de alternativas

O método de análise será baseado na metodologia adotada por Cioletti *et al* (2018), que consiste em uma matriz de decisão, na qual considera todos os elementos relevantes envolvidos em determinada situação, auxiliando na tomada de decisão de forma estratégica, por meio de uma eficaz análise das possibilidades. Sendo assim, foram selecionados critérios, tal como pesos pré-estabelecidos variando entre 1 e 5, representando o grau de importância, Quadro 7.

Quadro 7 - Critérios escolhidos para adequação do projeto.

Critérios	Justificativa	Peso
Custo de implantação	Dada as dificuldades econômicas enfrentadas no assentamento, custos elevados de implantação inviabilizaram a alternativa.	4
Custo de operação e manutenção	Similarmente ao critério acima, um custo elevado de operação inviabilizaria o sistema no longo prazo	5
Dificuldade técnica da manutenção e operação	Dada a baixa escolaridade da população em questão, a operação e manutenção dos sistemas não pode ser de caráter muito técnico ou de difícil apreensão, tampouco pode ser demandar uma carga elevada de trabalho, fatores que levariam o desleixo com a manutenção e deterioração do sistema.	4
Eficiência na Remoção de Poluentes	É objetivado que a alternativa em questão promova a salubridade do meio e a saúde da população. É boa remoção de patógenos e nutrientes (poluentes em geral), de forma que o efluente final não seja um risco quando lançado no meio.	5
Economia de água e energia	Também face as dificuldades econômicas e sociais vividas, a economia de recursos hídricos e energéticos representa um aspecto importante para ser considerado, uma vez que acarretaria melhor qualidade de vida.	3
Possibilidade de aproveitamento final do efluente	Na lógica do saneamento ecológico, é interessante que o efluente final da solução em questão apresente algum grau aproveitamento. No contexto rural, pode ser utilizado como fertilizante nos cultivos.	1
Formalização acadêmica e confiabilidade das informações	Em se tratando de soluções alternativas de esgoto, que não são tão pesquisadas quanto as convencionais, percebe-se que há uma limitação na disponibilidade das informações sobre dimensionamento e eficiência, podendo gerar a erros na concepção e funcionamento.	3

Fonte: Adaptado Cioletti, *et al* (2018)

Dessa forma, cada alternativa foi analisada de acordo com o desempenho em cada critério, recebendo respectivas pontuações, Quadro 8.

Quadro 8 – Critérios e respectivas pontuações atribuídas aos critérios adotados.

Critérios	Pontuação	
Custo de implantação	1	Alto
	3	Médio
	5	Baixo
Custo de operação e manutenção	1	Alto
	3	Médio
	5	Baixo
Dificuldade técnica da manutenção e operação	1	Alto
	3	Médio
	5	Baixo
Eficiência na Remoção de Poluentes	1	Alto
	3	Médio
	5	Baixo
Economia de água e energia	1	Alto
	3	Médio
	5	Baixo
Possibilidade de aproveitamento	1	Alto
	3	Médio
	5	Baixo
Formalização acadêmica e confiabilidade das informações	1	Alto
	3	Médio
	5	Baixo

Fonte: Adaptado Cioletti, *et al* (2018)

Posteriormente, cada alternativa considerada foi classificada de acordo com o desempenho de cada critério. Realizando o produto das pontuações pelos pesos dos critérios, foram obtidas as notas totais para cada alternativa consideradas.

4 RESULTADOS ESPERADOS

4.1 Estimativa populacional

O cálculo da estimativa populacional se deu com base nas orientações presentes na 5ª edição do Manual de Saneamento da Fundação Nacional de Saúde - FUNASA (2020), que estabelece o crescimento populacional de 2% ao ano para comunidades rurais. Neste caso, aplicando essa taxa de crescimento para um horizonte de projeto de 10 anos, teremos que a população final beneficiada será de 792 hab, Tabela 2.

Tabela 2 – Estimativa populacional para comunidade de Ingá -CE

Ano	2022	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2032
População	650	663	676	690	704	718	732	747	762	777	792

Fonte: Autor, 2022.

Os dados referentes à contribuição per capita para a comunidade de Ingá, foram disponibilizados pelo Instituto SISAR BPA (2022), sendo a contribuição de 100 l/hab/dia.

4.2 Vazões de projeto

Aplicando como valores de entrada dados obtidos na etapa de diagnóstico, e os coeficientes expressos pela NBR 9.648 (ABNT, 1986), foi possível obter as vazões necessárias para elaboração do projeto, Tabela 3.

Tabela 3 - Vazões de projeto calculada para dimensionamento do sistema.

Vazões de projeto	Fórmulas aplicadas	Valores obtidos
Vazão máxima (Q _{máx})	$Q_{máx} = \frac{c \times P \times q \times K1 \times K2}{86400} + Q_{ind}(Ls^{-1})$	1,46 L/s
Vazão média (Q _{méd})	$Q_{méd} = \frac{c \times P \times q}{86400} + Q_{ind}(Ls^{-1})$	Q _{méd} = 0,88 L/s
Vazão mínima (Q _{mín})	$Q_{mín} = \frac{Q_{méd}}{2}(Ls^{-1})$	0,44 L/s
Valores de entrada:		
c = 0,8	q = 100 L/s/dia	
P = 792 hab	Q _{ind} = 0	

Fonte: Autor, 2022.

Cabe salientar a presença de estabelecimentos públicos na localidade de consumo significativo, como creche, escola e Posto de saúde, foram considerados no cálculo das vazões de projeto. Na tabela 4, é expresso a vazão singular referente a cada equipamento público considerado.

Tabela 4 - Vazões singulares de projeto.

Estabelecimento	Quant.	Unidade	Contribuição per capita	Vazão singular/concentrada (L/s)
Creche	56	Pessoas	50	0,032
Escola	205	Pessoas	50	0,11

Fonte: Autor, 2022.

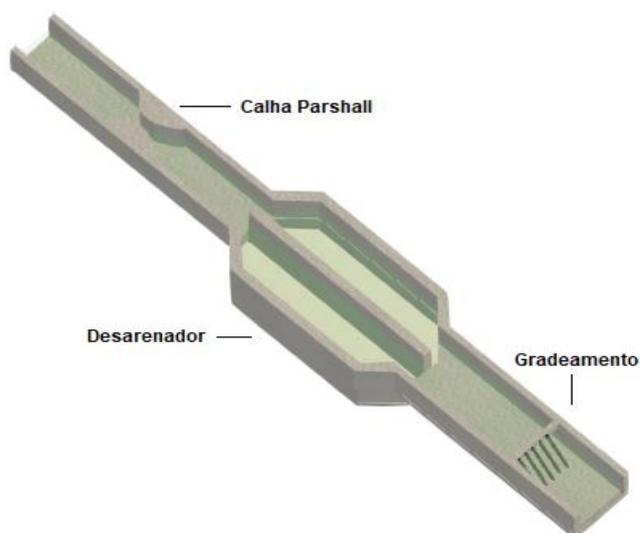
O consumo unitário foi obtido de acordo a NBR 7229 (1982), sendo a contribuição unitária estimada para a unidade de Posto de Saúde obtida com base no trabalho de Dutra *et. al.* (2016).

Para a avaliação da carga orgânica originada dos esgotos domésticos e estabelecimento da concentração de DBO, adotou-se conforme indicações presentes no Manual elaborado por Von Sperling *et al* (2018) para sistemas coletivos de pequeno porte o valor de 50 g/hab.d para Carga per capita, resultando em uma carga de DBO de 39.617,3 gDBO/d.

4.3 Dimensionamento da estação preliminar de tratamento

A etapa de tratamento preliminar é constituída por uma unidade de gradeamento, unidade de desarenação e Calha Parshall, Figura 9.

Figura 9 – Unidade de tratamento preliminar.



Fonte: Autor, 2022.

Diante dos valores das vazões foi selecionada a calha Parshall com as seguintes características (tabela 5).

Tabela 5 – Largura da garganta

Largura da garganta (W)	Vazão Mínima (L/s)	Vazão Máxima (L/s)	n	K
3''	0,85	53,8	1,547	0,176

Fonte: NBR/ISSO 9826:2009

Com base nos dados da tabela x é possível determinar a altura (H) utilizando a equação 1. Sendo calculado a altura mínima e máxima com base nas vazões de projeto (tabela 6).

Tabela 6 – Alturas máxima e mínima

Vazões (m³/s)	Altura (H)
0,000438	Hmin = 0,02 m
0,001462	Hmáx = 0,05 m

Fonte: Autor, 2022.

Com base nos valores na tabela 1 é possível determinar o rebaixo (Z) através da equação 2.

$$Z = \frac{(Q_{máx} - H_{min}) - (Q_{min} \times H_{max})}{Q_{max} - Q_{min}} = 0,01m$$

$Q_{máx}$ = Vazão máxima (m³/s);

$Q_{mín}$ = Vazão mínima (m³/s);

$H_{máx}$ = Altura máxima (m);

H_{min} = Altura mínima (m).

Sendo o rebaixo próximo a zero foi considerado a altura (H) equivalente à altura (h), visto que h corresponde a diferença de H pelo rebaixo (Z).

Para o dimensionamento da caixa de areia é necessário atenta-se aos seguintes critérios: a Taxa de aplicação superficial (TAS) deverá está entre 600 a 1300 m³/m².d e a velocidade crítica (v) deverá ser inferior a 0,4 m/s para a $Q_{máx}$.

A área da seção transversal se dar pela razão entre a vazão máxima ($Q_{máx}$) e a velocidade crítica (v), conforme a equação 3.

$$A = \frac{Q_{\text{máx}}}{v} = \frac{0,001462}{0,3} = 0,005 \text{ m}^2$$

Adotando $v = 0,3$ tem-se uma área (A) equivalente a.

Com base no resultado anterior é possível calcular a largura da câmara da caixa de areia (b), utilizando a equação 4.

$$b = \frac{A}{H_{\text{máx}} - Z} = \frac{0,005}{0,05} = 0,1 \text{ m}$$

O comprimento da caixa de areia (L) é obtido pela equação 5.

$$L = 25 \times h_{\text{máx}} = 25 \times 0,05 = 1,25 \text{ m}$$

A taxa de aplicação é foi obtida pela equação 6.

$$TAS = \frac{Q_{\text{máx}}}{As} = \frac{0,001462 \times 86400}{1,25 \times 0,15} = 673,7 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \cdot \text{d}\right)$$

Sendo o valor obtido é igual a $673,7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$, pode-se inferir que a Taxa de aplicação superficial encontra-se dentro da faixa 600 a $1300 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$. conforme os critérios estabelecidos por norma.

O calculo do rebaixo da caixa de areia (d) foi obtido após a determinação do volume diário retido na caixa de areia (V_r) pela a equação 7.

$$V_r = Q_{\text{med}} \times P_c = 0,002 \text{ m}^3/\text{d}$$

Adotando a produção de areia (P_c) igual a $0,03 \text{ L}/\text{m}^3$ tem-se $V_r = 12$. Por meio do Volume retido (V_r) é possível obter a altura diária (Q_a) de areia acumulada por meio da equação 8.

$$Q_a = \frac{V_r}{As} = 0,011 \text{ (m/d)}$$

Adotando o intervalo de limpeza da caixa de areia (t) de aproximadamente 28 dias é possível obter o valor de rebaixo (d), aplicando a equação 9.

$$d = Q_a \times t = 0,011 \times 24 = 0,27 \text{ m}$$

Cabe ressaltar, que a norma estabelece que o valor de rebaixo (d) deve ser igual ou superior a $0,25 \text{ m}$. Visto o resultado obtido na equação 9, pode-se inferir que esse critério foi atendido.

Para a determinação das dimensões da unidade de gradeamento os seguintes critérios foram adotados:

- Grade com barras de ferro;
- Espessura (t) = $0,95 \text{ cm}$;
- Espaçamento entre barras (a) = $2,5 \text{ cm}$;

- Grade média $3/8 \times 1^{1/2}$.

Primeiramente foi calculado a eficiência das barras por meio da equação 10.

$$E = \frac{a}{a + t} = \frac{2,5}{2,5 + 0,95} = 0,725$$

Através da eficiência foi possível se obter a área útil (Au) de gradeamento aplicando a equação 11. Sendo considerando a velocidade entre barras (Vb) igual a 0,60 m/s.

$$Au = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{Vb} = 0,0037 \text{ m}^2$$

Posteriormente, utilizando a equação 12 foi obtida a área total da seção do canal (At), que será necessária para a determinação da largura do canal da grade (bo) (equação 13).

$$At = \frac{Au}{E} = 0,005 \text{ m}^2$$

$$bo = \frac{At}{H_{max} - Z} = 0,12 \text{ m}$$

Após se obter a largura do canal (bo) possível determinar o número de barras utilizando a equação 14.

$$N = \frac{bo}{t + a} = 3,5; \text{ aproximadamente } 4 \text{ barras}$$

Por fim foi realizada a verificação da distância entre barra extrema e lateral do canal (e). Aplicando a equação 15, tem-se uma distância (e) equivalente a 0,4 cm. A norma estabelece que essa distância (e) seja menor que 2,5 cm. Conforme o valor obtido pode-se inferir que esse critério foi respeitado.

Na Tabela 5 encontram-se as dimensões de cada unidade que compõe a etapa preliminar de tratamento e as vistas correspondentes, respectivamente.

Tabela 7 – Dimensões de cada unidade.

Calha Parshall	
Largura da garganta	3''
Caixa de areia	
Área transversal	0,0049 m ²
Largura de uma câmara da caixa de areia	0,1177 m
Comprimento	1 m
Verificação da taxa de escoamento	631,58 m ³ /m ² /s
Rebaixo da caixa de areia	0,27 m
Grades	

Espessura	0,95 cm
Espaçamento entre barras	2,5 cm
Área média	0,004 m ²
Área total da seção do canal	0,005 m ²
Largura do canal da grade	0,122 m
Número de barras	4 Barras

Fonte: Autor, 2022.

4.4 Dimensionamento dos módulos *Wetlands* Construídos

Como ponto de partida foram adotados os seguintes valores: 50 gDBO₅/hab.d, 60 g SS/hab.d e 120 gDQO/hab.d (ABNT NBR 12209, 1992 e 2011). Para o dimensionamento dos módulos *Wetlands* Construídos é importante se atentar a algumas variáveis cruciais para a determinação da área superficial requerida referente aos módulos do sistema francês em climas tropicais, como as cargas orgânicas e hidráulicas aplicadas a área superficial requerida. Na tabela 6 encontra-se os parâmetros básicos aplicados ao projeto.

Tabela 8 – Parâmetros de projeto.

Parâmetro	Valor	Unidade
População	792	hab
DBO	39617,3	gDBO/d
DQO	78000	gDQO/d
SS	39000	gSS/d
Q _{méd}	75,7	m ³ /d

Fonte: autor, 2022.

O dimensionamento dos módulos *Wetlands* Construídos dos sistemas considerados, será dada conforme expresso no Boletim *Wetlands* Construídos elaborado por Von Sperling e Sezerino (2018). O referido documento, estabelece o dimensionamento das unidades por meio de métodos baseados na taxa de aplicação orgânica e hidráulica. Na tabela 7 encontra-se as dimensões de cada unidade *Wetlands* Construídos dimensionada

Tabela 9 – Dimensões das unidades *Wetlands* Construídos dos sistemas de tratamento considerados.

Unidade	Área requerida obtida pela (To)	Área requerida obtida pela (TH)	Área requerida adotada	Relação geométrica (C:L)	Comprimento (C)	Largura (L)
---------	---------------------------------	---------------------------------	------------------------	--------------------------	-----------------	-------------

WCFV 1° Estágio	293,5 m ²	189,1 m ²	294 m ²	1:1	17,15 m	17,15 m
WCFV 2° Estágio	220,1 m ²	210,1 m ²	220,0 m ²	1:1	14,8 m	14,8 m
WCH	220,1 m ²	210,1 m ²	220,0 m ²	2:1	21 m	10,5 m

Legenda:

To – Taxa de aplicação orgânica; C – Comprimento;
 TH – Taxa de aplicação hidráulica; L – Largura.

Fonte: Autor, 2022.

Os referidos cálculos expressos na tabela 7 encontra-se presentes no APÊNDICIE A deste documento. Adotou-se para cálculos de área apenas 90% das taxas de aplicação orgânica e hidráulica, para que os módulos que compõem os sistemas não fossem dimensionados no limite de operação e que houvesse uma margem de segurança.

Para facilidade de construção houve o arredondamento de algumas dimensões das unidades WCFV e WCH que compreende a Largura (L) e Comprimento (C)

Para o cálculo das dimensões da unidade WCFV (2° segundo estágio do sistema francês) e WCH (pós-tratamento do sistema híbrido), foi considerado a carga de DBO afluente de 3961,7 g/hab.d. baseada na eficiência de remoção da unidade WCFV correspondente ao primeiro estágio.

A primeira etapa do sistema francês apresenta segundo a referida literatura percentuais de remoção superior a 85% de DBO, sendo esse primeiro estágio capaz de atingir eficiência de até 96% de remoção da carga de DBO segundo experiências em regiões de clima tropical, por esses motivos foi adotado para cálculo de eficiência um percentual de remoção de 90%, com a finalidade de garantir certa segurança de projeto e obter-se menores demandas de áreas para módulos de pós tratamento em ambas as alternativas propostas.

Nota-se que as áreas obtidas para as unidades WCFV se encontram em conformidade com o estabelecido no manual, que recomenda como área máxima 400 m² para cada unidade dimensionada.

Visando evitar cargas aplicadas excessivas na seção transversal da unidade WCH, ocasionando o acúmulo de sólidos na zona de entrada, resultando em uma colmatação mais

rápida, verificou-se a taxa de aplicação máxima orgânica na seção transversal. Para unidades WCH a taxa limite é de 250 gDBO/m².d. O cálculo se deu por meio da equação 19.

$$TAO_{DBO} = \frac{3961,7 \text{ g.DBO}}{220 \text{ m}^2} = 18 \text{ g.DBO/m}^2. \text{ d} \quad \text{Equação 18}$$

Sendo,

TAO_{DBO} = Taxa de aplicação máxima orgânica na seção transversal (g. DBO/m². d);

C_{DBO} = Carga de DBO afluente (g. DBO/ d)

Ar = Área requerida (m²).

Mediante a esse resultado pode-se inferir que o risco de colmatação por excesso de sólidos na entrada do filtro é muito baixa, visto que o valor calculado é bastante inferior ao limite adotado.

4.5 Seleção da unidade de armazenamento

A caixa de acumulação foi selecionada de acordo com o número de bateladas (aplicações diárias), que consiste na razão da vazão diária (m³/d) pelo volume de cada batelada (m³/batelada). Geralmente o valor resulta em 6 a 24 bateladas diárias, ou seja, uma a cada 1 a 4h. O número de bateladas adotadas no projeto corresponde a 12 bateladas, sendo 1 a cada 2h. Dessa forma, visto que a vazão média corresponde a 75,7 m³/d, tem-se que o volume por batelada corresponde a 6,3 m³ aproximadamente.

Neste caso, conforme os modelos disponíveis no mercado, adotou-se para o projeto uma unidade de armazenamento de polietileno com capacidade de 7,5 m³. Foi adotado dois reservatórios para que atuassem de forma alternada, em decorrência da necessidade de manutenção de cada unidade devido a característica dos sistemas, cuja alimentação dos leitos de operação é dada de forma intermitente.

A instalação do reservatório, assim como sua manutenção deverão ser realizadas conforme as orientações presentes no manual do fabricante.

4.6 Determinação de Bombas para a distribuição do efluente

Idealizou-se o sistema composto por duas bombas, que serão utilizadas de forma intermitente atuando em alternância, de acordo com o ciclo de operação das unidades *Wetlands* Construídos, neste caso, a cada 3,5 dias. A escolha da bomba foi em função da vazão e a característica do efluente a ser bombeado. Como o sistema recebe um fluxo reduzido de vazão por aplicação, optou-se por utilizar bombas centrífugas de menor potência, assim como um

modelo de rotor semi-aberto, visto que o efluente passará por uma etapa de pré-tratamento antes de ser recalcado. O modelo escolhido mediante a esses critérios foi o modelo MS4-21, sendo indicado pela fabricante para o bombeamento de águas servidas.

A alimentação do sistema será em média de 12 aplicações diárias, assim a vazão de aplicação é dada de acordo com a equação 19.

$$Qa = \frac{Q_{méd}}{n} = \frac{75,7 \text{ m}^3/\text{dia}}{12 \text{ Aplicações}/\text{dia}} = 6,3 \text{ m}^3 \text{ por aplicação} \quad \text{Equação 19}$$

Sendo,

Qa = Vazão por aplicação (m^3/dia);

$Q_{méd}$ = Vazão média (m^3/dia);

n = Número de aplicações diárias.

4.7 Configuração dos sistemas propostos

4.7.1 Sistema francês adaptado a climas tropicais

Para o sistema francês adaptado a climas tropicais, primeira alternativa considerada, foram projetados 4 módulos de WCFV, cuja área total dos leitos equivale a 1.028 m^2 . O sistema possui 4 poços de visita de mesmas dimensões, 0,80 m de diâmetro e 1,4 m de altura, para a coleta e posterior distribuição do efluente, 1 caixa de manobra de concreto (1,4 x 1,4 x 0,6 m), 2 caixas de concreto (1 x 1 x 1 m) para acomodação das bombas e 3 caixas de concreto (0,6 x 0,6 x 0,6 m) para registros. Sendo os poços dispostos 20 cm abaixo da base de cada leito.

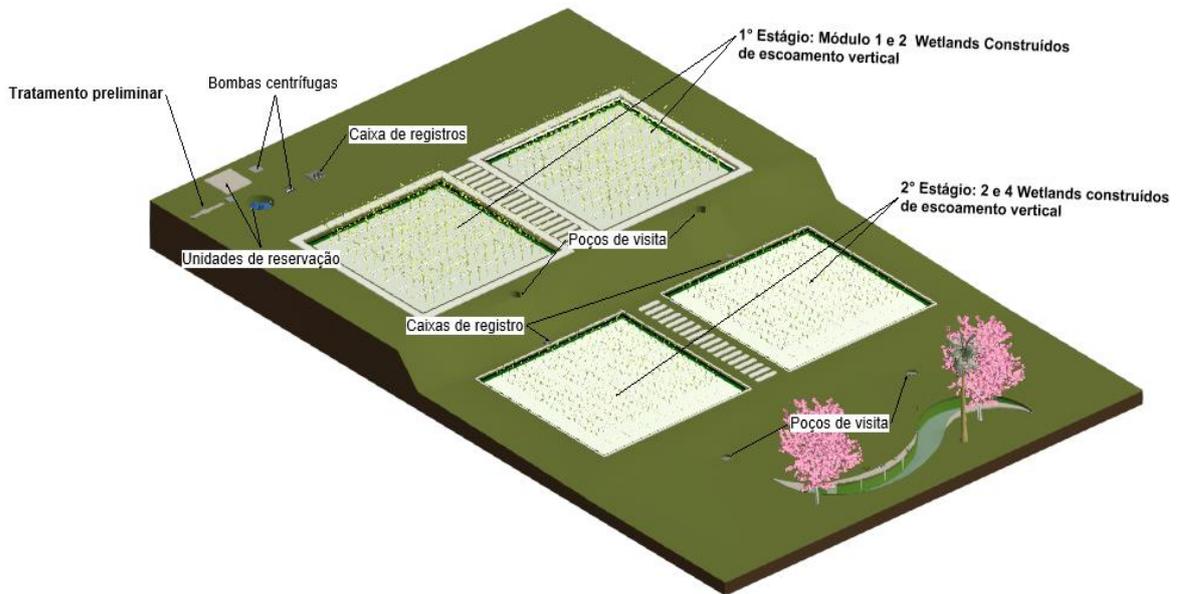
Em decorrência das características geográficas da localidade, o esgoto bruto chegará ao sistema por meio de uma elevatória, que irá comportar o esgoto proveniente dos domicílios. Após essa etapa preliminar de tratamento, o efluente pré-tratado será conduzido para uma das unidades de reservação com capacidade de 7,5 m^3 . Posteriormente, o efluente armazenado será conduzido para o leito *Wetlands* em operação, por meio de bombeamento. Esse processo se dará de acordo com o número de bateladas adotadas no projeto, que determinará os reais intervalos de funcionamento das bombas, que serão controladas por automação e reguladas de acordo com o nível do reservatório.

O sistema é composto por dois estágios, Figura 10, no primeiro há dois leitos em paralelo, atuando de forma alternada de alimentação e repouso. Na concepção simplificada para climas quentes, adota-se 3,5 dias alimentação e 3,5 dias de descanso completando um ciclo de 7 dias.

Após o primeiro estágio de tratamento, o efluente será distribuído por gravidade para etapa de pós-tratamento, que corresponde ao segundo estágio do sistema. Antes desse

processo, o esgoto tratado e coletado pelos drenos da unidade WCFV é conduzido para o primeiro poço, para depois ser direcionado para leito *Wetlands* Construídos no segundo estágio.

Figura 10. Representação conceitual *Wetlands* Construídos de Fluxo Vertical.

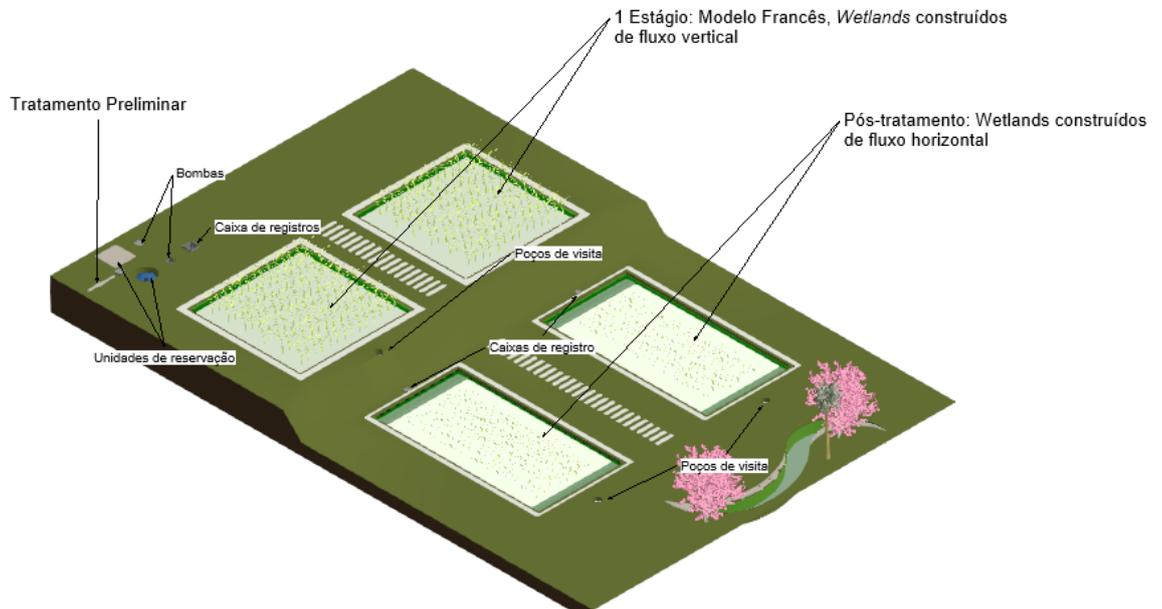


Fonte: Autor, 2022.

4.7.2 Sistema Híbrido (WCFV 1º estágio modelo francês seguido de WCH)

Foram projetados quatro módulos de *Wetlands* Construídos, sendo dois de escoamento vertical e dois de escoamento horizontal para o segundo estágio de tratamento, cuja área total dos leitos equivale a 1.028 m². O modo de operação, funcionamento e constituintes do sistema assemelhasse ao sistema francês adaptado já caracterizado, havendo diferenças apenas na etapa de pós tratamento no qual é adotado módulos *Wetlands* Construídos de fluxo horizontal ao invés de módulos de fluxo vertical, como convencionalmente adotado, uma configuração de sistema mencionada no boletim *Wetlands* Construídos (2018). A configuração do sistema encontra-se ilustrada na Figura 11.

Figura 11 – Representação conceitual *Wetlands* Construídos de fluxo vertical.



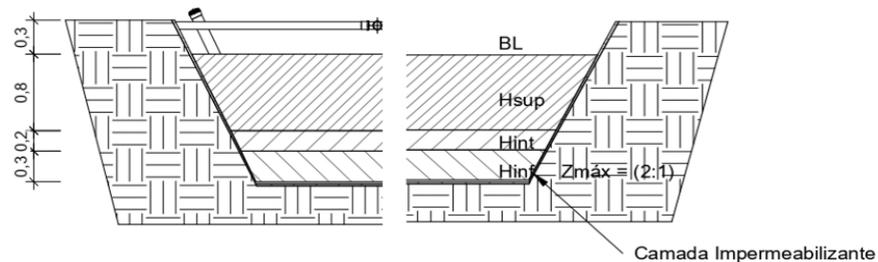
Fonte: Autor, 2022.

4.8 Caracterização dos módulos wetlands construídos

4.8.1 Wetlands Construídos de fluxo vertical (WCFV)

O módulo WCFV que corresponde ao 1º estágio compreende individualmente uma área superficial de 294 m², com dimensões de 17,15 x 17,15 m. No módulo *Wetlands* WCFV que constitui o 2º estágio compreende uma área superficial de 220 m², com dimensões de 14,8 x 14,8. A altura de cada camada constituinte do leito filtrante pode ser vista na Figura 12.

Figura 12 – Altura das camadas constituintes do leito filtrante WCFV



Legenda:

BL – Borda Livre;

Hsup – Altura da camada superior do leito filtrante;

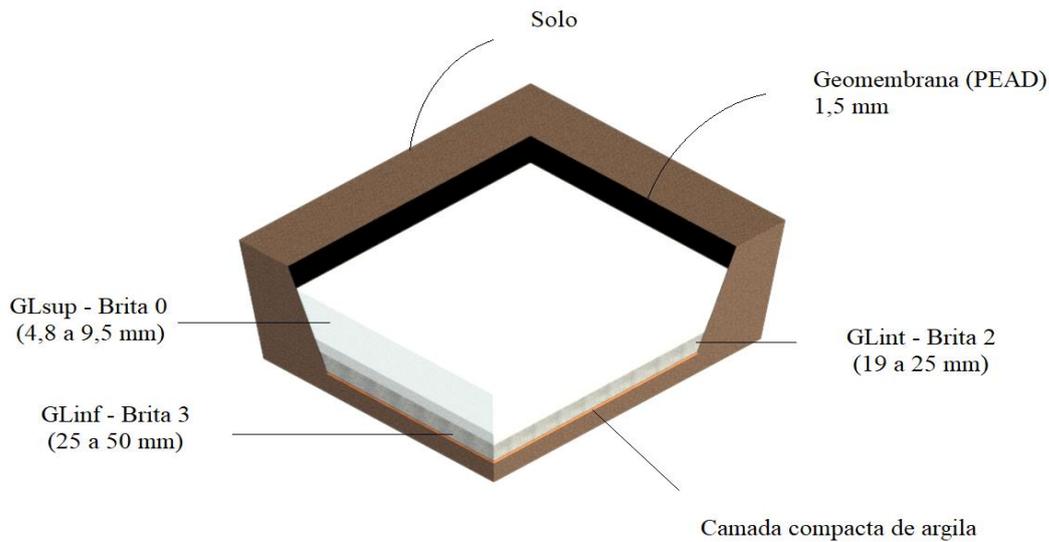
Hint – Altura da camada intermediária de transição; Hinf – Altura da camada inferior de drenagem;

Zmáx – Declividade máxima do talude.

Fonte: autor, 2022.

A escolha do material e da granulometria do meio filtrante dos *Wetlands* Construídos foram determinadas, prioritariamente, em função da disponibilidade, custo do material e recomendações presentes na literatura. O material do meio filtrante será em ordem crescente de acordo com a granulometria ao longo da profundidade do filtro. A Figura 13 mostra a composição das camadas constituintes do meio filtrante da unidade WCFV 1° estágio.

Figura 13 – Composição das camadas leito filtrante WCFV 1° Estágio.



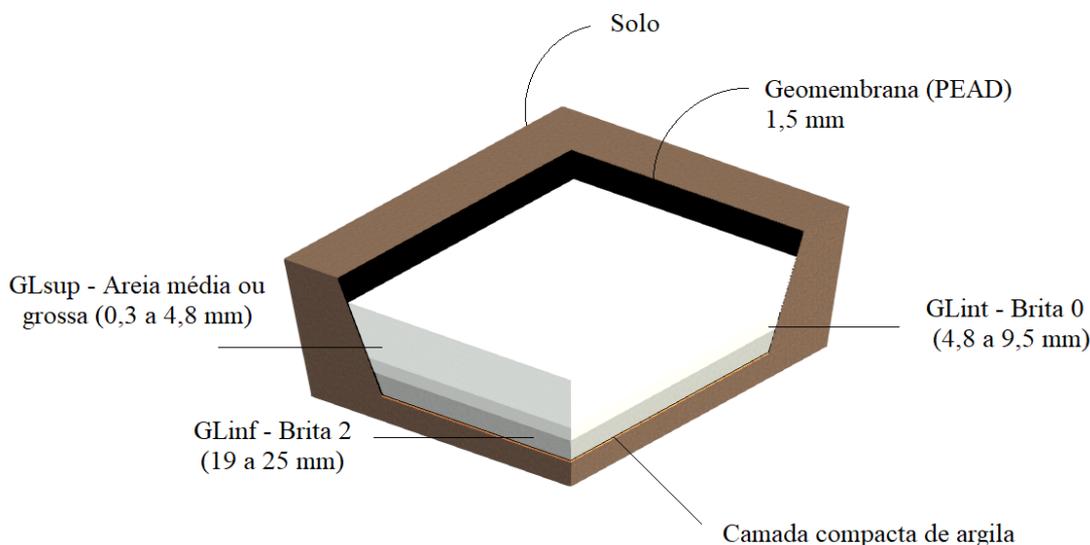
Legenda:

GLsup - Granulometria do leito na camada superior do meio filtrante;
 GLint - Granulometria do leito na camada intermediária de transição;
 GLinf - Granulometria do leito na camada inferior de drenagem.

Fonte: autor, 2022.

A Figura 14 é expressa a composição das camadas constituintes do meio filtrante da unidade WCFV 2º estágio.

Figura 14 – Composição das camadas leito filtrante WCFV 2º Estágio



Legenda:

GLsup - Granulometria do leito na camada superior do meio filtrante;
 GLint - Granulometria do leito na camada intermediária de transição;
 GLinf - Granulometria do leito na camada inferior de drenagem.

Fonte: autor, 2022.

A distribuição do efluente em cada leito será por uma tubulação em PVC DN 75 centralizada 30 cm acima de cada leito, que equivale a borda livre (distância entre o topo do meio suporte e o nível do terreno). O esgoto tratado será coletado por um tubo de drenante (DN 100) presente no fundo do leito, que irá conduzir o efluente para o poço de coleta. As dimensões das tubulações de alimentação e dos drenos seguem referências de algumas experiências realizadas pela empresa Rotatória do Brasil e recomendações da literatura.

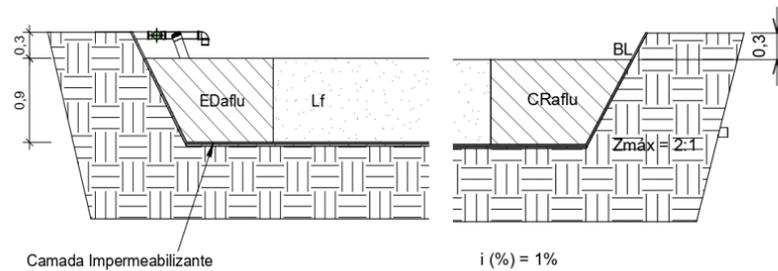
Cabe ressaltar, a importância de se assegurar pelo menos 30 cm de borda livre, em decorrência do acúmulo superficial do lodo formado pelos sólidos presentes no esgoto bruto. Esses depósitos biológicos são fundamentais para o desempenho do sistema, segundo experiência francesa a taxa de acúmulo de lodo corresponde a 1,5 a 3,0 cm/ano, já experiências brasileiras, por sua vez ainda limitadas, indica valores em torno de 1,0 cm/ano nas unidades do 1º estágio do sistema francês adaptado. Já no segundo estágio recomenda-se adotar uma borda livre superior a 0,25 m, para o projeto foi adotado uma borda de 0,30 m.

Nos APÊNDICES B, C e D encontram-se expressa o detalhamento hidráulico de cada unidade WCFV.

4.8.2 Wetlands Construídos de escoamento horizontal

O módulo de fluxo horizontal dispõe de uma área efetiva de 220 m², com dimensões de 21 x 10,5 m, e a altura de cada camada constituinte do leito filtrante pode ser vista na Figura 15.

Figura 15 – Altura das camadas constituintes do leito filtrante WCH.



Legenda:

BL – Borda Livre;

EDaflu – Zona de entrada e distribuição do afluente;

Zmáx – Declividade máxima do talude;

Lf - Leito filtrante;

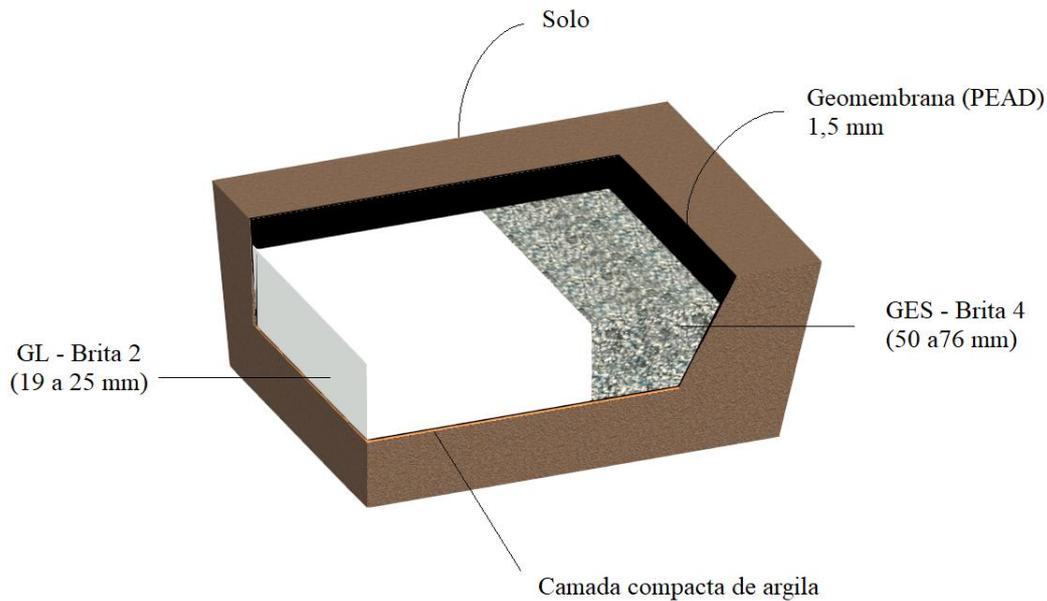
CRaflu - Zona de coleta e retirada do afluente;

$i (%)$ - Declividade longitudinal de fundo.

Fonte: autor, 2022.

A Figura 16 mostra a composição das camadas constituintes do meio filtrante da unidade WCFV 2º estágio.

Figura 16 – Composição das camadas leito filtrante WCH.



Legenda:

GL - Granulometriado leito filtrante;

GES - Granulometria do leito na zona de entrada (distribuição do afluente e saída (coleta do afluente)).

Fonte: autor, 2022.

O efluente será distribuído por meio de uma tubulação em PVC DN 75 centralizada 20 cm acima do leito, sendo após de tratado coletado por um tubo em PVC DN 100, centralizada no fundo do leito, conectada a um duto de 75 mm que adentrará um poço para que se tenha o controle do nível, permitindo a saturação do meio filtrante. A tubulação de drenagem terá furos de 20 mm de diâmetro espaçados a cada 10 mm. No APÊNDICIE E e F pode ser visualizado o detalhamento hidráulico da unidade WCH.

4.9 Aspectos construtivos

4.9.1 Estrutura

A escolha da estrutura da *Wetlands* Construídos, seja de fluxo vertical ou horizontal, assim como sua execução, depende das condições específicas da região, podendo a estrutura ser escavadas ou erguidas acima do solo. Em decorrência da extensão dos módulos e as características do solo e nível do lençol freático, optou-se por uma estrutura escavada, com

taludes internos com inclinação $Z = 2:1$. Em decorrência da alta taxa de aplicação hidráulica do projeto recomenda-se uma inclinação de fundo (i) variando entre 0 a 1%.

Os poços de passagem e controle de nível dos módulos, serão tubos de concreto armado pré-moldados de seção circular. Já as caixas para instalação de registros de água serão pré-moldadas e caixas de registro de manobra e acomodação das bombas serão construídas em alvenaria ou concreto.

4.9.2 Impermeabilização

Para que não se tenha vazamentos no sistema, é indispensável assegurar a estanqueidade, ou seja, o isolamento da estrutura. Evitando a percolação do efluente e a possível contaminação do lençol freático. Dessa forma, será realizada a impermeabilização de fundo com argila compactada com espessuras entre 20 a 30 cm. Caso seja necessário a redução da camada impermeabilizante, pode ser considerada a utilização de argila bentônica em associação com carbonato de sódio, adotando uma espessura de 2 cm.

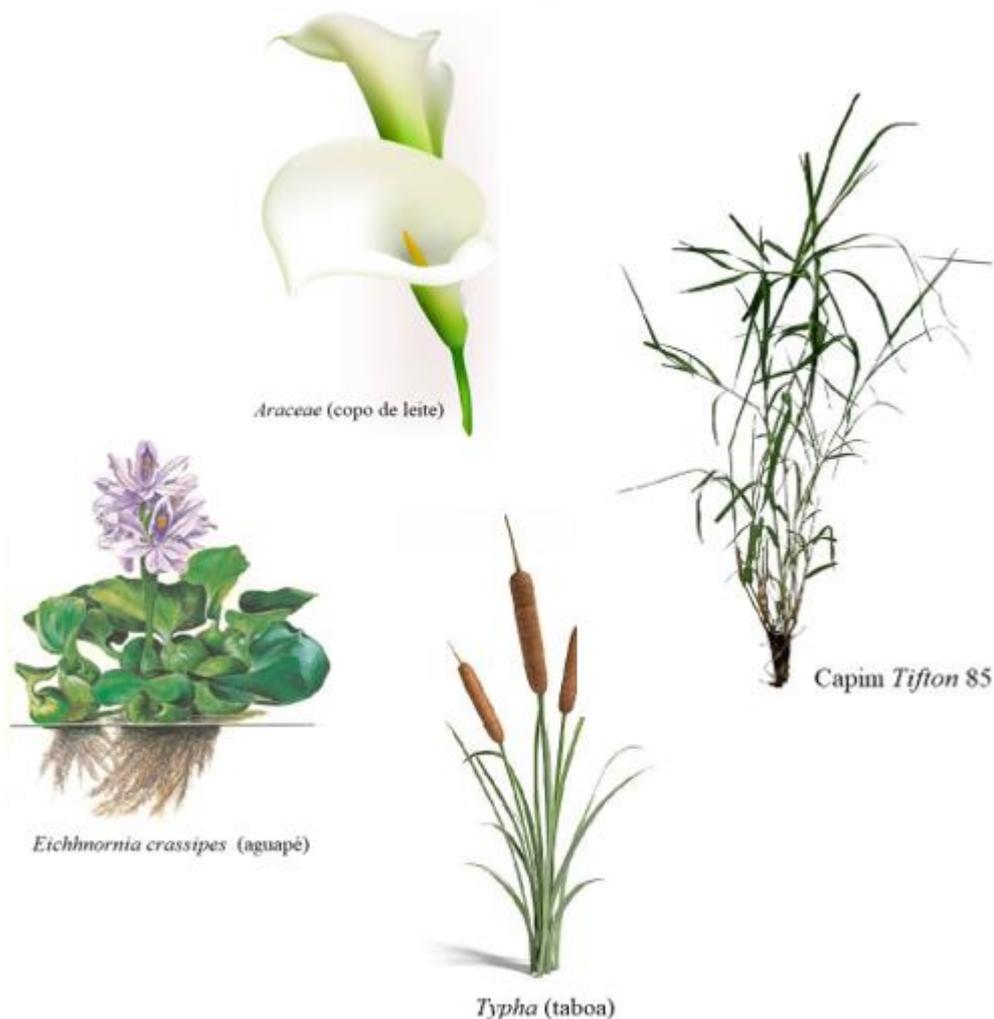
Além da camada impermeabilizante de fundo, as paredes internas dos módulos *Wetlands* Construídos serão impermeabilizados com mantas de geomembranas em polietileno PEAD de 1,5 mm conforme recomendado na literatura, em decorrência da extensão do sistema. Caso seja permitido pelo órgão licenciador, alternativamente, pode ser adotada apenas a camada compactada de argila.

A aplicação da geomembrana exige que a superfície seja isenta de qualquer tipo de depressão, fazendo assim a necessidade de compactação e regularização da superfície do terreno. Os poços de passagem serão impermeabilizados com tinta específica para o tipo de material.

4.9.3 Macrófitas

O critério utilizado para seleção da vegetação a ser utilizada, foram o potencial de crescimento, capacidade de sobrevivência, adaptação ao local e disponibilidade no mercado e manutenção. Para o projeto foram escolhidas as espécies *Typha* (taboa), Capim *Tifton 85* (planta com registro de operação adequada por mais de 10 anos em ETE no Brasil), *Eichhornia crassipes* (aguapé) e *Araceae* (copo de leite), figura 17. A diversidade das macrófitas adotadas possibilitará o desenvolvimento de pesquisas e estudos de qual espécie será melhor adaptável.

Figura 17 – Macrófitas selecionadas para o projeto.



Fonte: Adaptado Istoks (2022).

Cabe salientar, que a colheita periódica da biomassa é essencial para se evitar a proliferação indesejada de macrófitas no sistema, comprometendo assim a remoção de nutrientes. Além disso, a alta produção de biomassa produzida por esses sistemas pode ser utilizada na produção de ração animal, energia e biofertilizantes, impactando positivamente as atividades econômicas desenvolvidas na comunidade. A vegetação também proporciona a harmonia estética e paisagística ao sistema de tratamento.

Outras espécies de macrófitas são passíveis de estudo, para serem utilizadas no projeto como: leguminosas, cana-de-açúcar, alguns tipos de erva medicinal de médio porte, considerando seu potencial na eficiência de tratamento e utilização pela população local.

4.10 Eficiência esperada

A eficiência de tratamento está intrinsecamente relacionada ao clima do local, estrutura dos filtros e vegetação adotada, em decorrência desses aspectos, tem-se na literatura uma diversidade de resultados referente a remoção de parâmetros orgânicos como DQO, SST e NKT. Segundo avaliações explanadas por Molle *et al.* (2005) as experiências francesas com sistema tradicional francês de dois estágios obtiveram em média uma remoção de 90% da DQO, 95% de SST e 85% de NTK.

Em Chinchá, no Peru, as experiências com essa ecotecnologia no tratamento de esgoto doméstico ao longo de dois anos se obteve a remoção de 96% de DQO e DBO5, já no primeiro estágio do sistema adotado, mostrando-se superior a tecnologias como fossa séptica e tanque Imhoff que chegam a 40% de remoção (HOFFMANN *et al.*, 2013). Cabe ressaltar, que a cidade é caracterizada por um clima quente e seco com baixas precipitações, na qual assemelha-se com a comunidade de Ingá.

Vale ressaltar, que esses resultados são relativos ao sistema francês convencional que se diferencia do sistema adotado neste trabalho, pelo número de leitos adotados no primeiro estágio. Contudo, Von Sperling e Sezerino (2018) apresentam estimativas de eficiência de remoção esperada para o sistema francês adaptado, tomando como base experiências nacionais, Tabela 8.

Tabela 10 – Estimativas de eficiências de remoção para o Sistema Francês adaptado.

Eficiências de remoção esperadas	Eficiência do 1º estágio	Eficiência global (1º e 2º estágios)
DBO	> 85 %	> 90 %
DQO	> 75 %	> 85 %
SS	> 80 %	> 90 %
N amoniacal	> 50 %	> 80 %
N total	< 40 %	< 50 %
Fósforo total	< 20 %	< 30 %
Coliformes termotolerantes	1 a 2 unidades log	1 a 2 unidades log

Fonte: adaptado Von Sperling *et al.* (2018).

As experiências utilizando-se WCFH na etapa de pós tratamento para o primeiro estágio do sistema francês são quase inexistentes, apesar da viabilidade segundo a literatura. Conforme Von Sperling e Sezerino (2018), tem-se a estimativa de eficiência de remoção esperada para essa configuração de sistema, Tabela 9.

Tabela 11 – Estimativa de eficiência de remoção Sistema Híbrido, WCFV seguido de WCH.

Eficiências de remoção esperadas	Eficiência do 1º estágio	Eficiência global (1 estágio e wetlands de fluxo horizontal)
DBO	> 85 %	> 90 %
DQO	> 75 %	> 85 %
SST	> 80 %	> 90 %
N amoniacal	> 50 %	< 40 %
N total	< 40 %	< 50 %
Fósforo total	< 20 %	< 20 %
Coliformes termotolerantes	1 a 2 unidades log	1 a 3 unidades log

Fonte: adaptado Von Sperling *et al* (2018).

Conforme os valores de eficiências estimadas apresentados neste estudo é importante verificar se está de acordo com o que as normativas determinam para o lançamento de efluentes nos corpos receptores. Neste sistema o objetivo é lançar o efluente tratado em valas de infiltração, e para a verificar se o tratamento cumpre o atendimento aos requisitos de modo a evitar a poluição do solo, a resolução CONAMA 430/11 prevê parâmetros de lançamento de efluentes em corpos hídricos

4.11 Estimativa preliminar de custo

Com base em dados obtidos pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), foi possível realizar a estimativa de custos relativos a materiais

para implantação. Em relação aos itens não constados no SINAPI foram orçados com base em lojas de construção presentes na região.

Nos custos de implantação foram considerados meio filtrante dos leitos, poços de visita, caixas de registro, tubulações, conexões e equipamento referentes a parte hidráulica do sistema. Nos anexos A e B, tem-se com mais detalhes o orçamento prévio para implantação de cada sistema, com a descrição, valor unitário, quantidade e custo de cada item, tal como valor estimado. Nas Tabelas 10 e 11 encontra-se o resumo do orçamento prévio relativo a cada sistema.

Tabela 12 – Resumo do orçamento preliminar, Sistema francês adaptado.

Estrutura das unidades wetlands construídos	
Descrição	Preço total (R\$)
Impermeabilização	64.183,2
Meio suporte	138.755,4
Estrutura hidráulica	
Conexões	11.024,10
Tubulação	12.070,19
Equipamentos hidráulicos	14.490,40
Composições do sistema	
Reservatório	12.461,74
Caixas de passagem e poços de visita	1.610,54
Alternativa 1: <i>Wetlands</i> Construídos adaptado a climas tropicais – Preço total preliminar	254.595,5
Valor preliminar estimado por habitante (R\$/hab)	R\$ 321,46/hab

Fonte: autor, 2022.

Tabela 13 – Resumo do orçamento preliminar, Sistema híbrido.

Estrutura das unidades wetlands Construídos	
Descrição	Preço total (R\$)
Impermeabilização	65.548,80
Meio suporte	109.567,12
Estrutura hidráulica	

Conexões	6.336,34
Tubulação	7.196,30
Equipamentos hidráulicos	14.496,36
Composições do sistema	
Reservatório	12.461,74
Caixas de passagem e poços de visita	1.610,54
Alternativa 2: Sistema híbrido: WCFV (1º Estágio do sistema francês) seguido de WCH – Preço total preliminar	217.217,20

Valor preliminar estimado por habitante R\$ 274,26/hab
(R\$/hab)

Fonte: autor, 2022.

Nota-se que a Sistema híbrido: WCFV (1º Estágio do sistema francês) seguido de WCH apresenta-se como opção economicamente mais viável se comparada a 1º alternativa. Sendo evidenciada uma diferença de quase 16% entre os valores totais estipulados.

4.12 Análise crítica

Com a finalidade de auxiliar no processo de decisão, baseou-se no método utilizado por Cioletti (2018), que desenvolveu uma matriz de decisão que estabelece critérios, estabelecendo pesos de 1 a 5, sendo 1 de menor importância e 5 de máxima importância, atribuindo em seguida notas para cada critério. As pontuações totais de cada alternativa foram obtidas através do produto das pontuações pelos pesos de cada critério. A matriz de decisão final encontra-se expressa na tabela 12.

Tabela 14 – Matriz de decisão final.

Alternativas	CIM	COM	DMO	ERP	EAE	PA	FAC	Pontuação final
Pesos	4	5	4	5	3	1	3	
Sistema Francês adaptado	2	1	1	3	3	3	3	53
Sistema híbrido	2	1	1	2	3	2	1	41

Legenda: CIM – Custo de Implantação e manutenção; COM – Custo de Operação e Manutenção; DMO – Dificuldade de manutenção e operação; Ef. – Eficiência na Remoção de Poluentes; EAE – Economia de água

e Energia; PA – Possibilidade de Aproveitamento de Efluente Final; FAC – Formalização Acadêmica e Confiabilidade das Informações.

Fonte: autor, 2022.

Ambos os sistemas compartilham de características em comum, recebendo em alguns critérios a mesma pontuação. Entretanto, observando a matriz de decisão, nota-se que a alternativa que apresentou melhor qualificação foi o Sistema Francês Adaptado. Sendo os principais motivos evidenciados a seguir:

- ✓ O sistema híbrido, composto por *Wetlands* Construídos de fluxo vertical seguida de sistema *Wetlands* Construídos de fluxo horizontal, apresenta uma eficiência menor se comparada ao sistema francês. Principalmente na remoção de nutriente, como fósforo e nitrogênio amoniacal.
- ✓ A possibilidade é intrínseca a eficiência de remoção do sistema, quanto maior a capacidade de remoção do sistema maior a possibilidade de aproveitamento do efluente final. Nesse aspecto, o sistema francês adaptado se destaca.
- ✓ A associação do módulo do primeiro estágio do sistema francês e o módulo *Wetlands* Construídos de fluxo horizontal, é pouco abordado na literatura, assim como, tem-se poucas evidências de sistemas implantados que utilizam essas configurações. Transparecendo pouca confiabilidade por insuficiência de validação científica.

5 CONCLUSÃO

Os estudos desenvolvidos neste trabalho se inserem no escopo de um trabalho de conclusão de graduação, dessa forma, apresenta-se um serie de limitações, como a impossibilidade de realização de levantamentos topográficos em escala adequada, caracterização mecânica do solo e nível do lençol freático. Essas limitações pressupõem que em caso da real construção do sistema, alguns estudos mais aprofundados sejam realizados com o propósito de suprir tais recomendações.

Apesar das limitações o presente estudo trouxe resultados relevantes, como a eficiência esperada de ambos os sistemas considerados, prevendo alto desempenho para parâmetros orgânicos, enquanto a eficiência de remoção esperada para nutrientes apresenta-se a abaixo de 50%. Neste aspecto, o sistema francês adaptado apresentou estimativas melhores para remoção de nitrogênio se comparado ao Sistema híbrido com WCH.

A demanda de área apresenta-se como um aspecto significativo desses tipos de sistema, visto que requerem uma disponibilidade de área expressiva para sua implantação, nesse aspecto ambos os sistemas apresentam demandas similares, diferenciando-se na forma de utilização da mesma em decorrência da geometria das unidades

O custo preliminar estimado para implantação entre os sistemas diferencia-se em quase 16%, sendo o sistema híbrido um pouco mais atrativo economicamente, apresentando um custo prévio de R\$ 274,26/hab, enquanto o sistema francês adaptado corresponde a R\$ 321,46/hab. Isso é decorrente da diferença de fluxo dos módulos de pós tratamento, que afeta na distribuição do afluente no leito influenciando na demanda por tubulações e conexões hidráulicas. Outro aspecto são as diferenças das camadas do meio filtrante e o material constituinte de cada leito, que apresentam preços distintos e diferença significativa de volume de material requerido.

Conforme a matriz final de decisão o sistema francês adaptado apresentou-se como alternativa mais coerente para a área em estudo, visto a alta eficiência de remoção de parâmetros orgânicos e nutrientes, assim como, a maior confiabilidade. Contudo, o sistema híbrido utilizando WCH como pós-tratamento apresentou-se como promissora, apresentando ótimas estimativas de eficiência, além de ser vantajosa economicamente.

REFERÊNCIAS

ANA. **Atlas esgotos: Despoluição das bacias hidrográficas. Brasil: Ana, 2017.** Disponível em: <<http://atlasesgotos.ana.gov.br/>>. Acesso em: 06 jul. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12209:** Elaboração de Projetos Hidráulico Sanitários de Estações Tratamento de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 9826-2008:** Medição de vazão de líquido em canais abertos - Calhas Parshall e SANIIRI. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.], p. 25. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13969:** Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9648:** Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12209:** Elaboração de projetos hidráulicos-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 1992.

BRASIL. Decreto nº. 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 22 jun. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7217.htm. Acesso em: 06 jul. 2022.

BRASIL. Ministério da saúde. Gabinete ministerial. Portaria nº 3.174, de 12 de dezembro de 2019, que cria o Programa Nacional de Saneamento Rural. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2005/prt2460_12_12_2005_comp.html. Acesso em: 06 jul. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de orientações técnicas para elaboração de propostas e projetos para sistemas de abastecimento de água. Brasília: 2017.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis Nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei Nº

6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 06 jul. 2022.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Mensagem de veto. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#art7. Acesso em: 06 jul. 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB - Subsídios para a definição do Projeto Estratégico de elaboração do PLANSAB. Agosto 2008. Disponível em: <http://www.abm.org.br/PLANSAB.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2022.

CEARÁ. Lei Complementar nº 162, de 20 de junho de 2016. Institui a Política Estadual de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário no Estado do Ceará, institui o Sistema Estadual de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário, o Sistema Estadual de Informações em Saneamento, e cria o Fundo Estadual de Saneamento. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=325200>. Acesso em: 06 jul. 2022.

CIOLETTI JUNIOR, Edmar e CARMO, Augusto Beloto do e LEITE, Natália Canela Moreira. Saneamento básico rural. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – EPUSP, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/3ce4e696-6d7d-4de3-817e-bd443c83be98/AUGUSTO%20BELOTO%20DO%20CARMO.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2022.

EMBRAPA. **Sistemas de Tratamento de Esgoto na Zona Rural. Portal Embrapa.** <http://www.embrapa.gov.br/imprensa/noticias/2010/agosto/3a-semana/sistemas-de-tratamentode-esgoto-na-zona-rural-traz-melhorias-a-saude-publica-e-ao-meio-ambiente/>. Acesso em: 06 jul. 2022.

IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) 2014.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 06 jul. 2022.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2017):** Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 124 p. ISBN 978-65-87201-11-5. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101734.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2022.

LIBRALATO, Giovanni & Volpi Ghirardini, ANNAMARIA & AVEZZÙ, Francesco. (2011). **To Centralise or to Decentralise: An Overview of the Most Recent Trends in Wastewater Treatment Management.** Journal of environmental management. v. 94, p. 61-68, 2012.

MASSOUD, M. A.; TARHINI, A.; NASR, J. A. **Decentralized approaches to wastewater treatment and management: applicability in developing countries.** Journal of Environmental Management, v. 90, n. 1, p. 652–659, 2009.

MATOS *et al.* **Clogging in horizontal subsurface flow constructed wetlands:** influencing factors, research methods and remediation techniques. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 87-107, 2018.

MATOS, A.T.; MATOS, M.P. (2017). **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos.** Viçosa: Editora da UFV. 371 p.

MIETTO, A. *et al.* **Temperature influence on nitrogen removal in a hybrid constructed wetland system in Northern Italy.** *Ecological Engineering*, v. 75, p. 291–302, 2015.

PLATZER, C.; MAUCH, K. **Soil Clogging in Vertical-flow Reed Beds:** Mechanisms, Parameters, Consequences and ... Solutions? *Water Science and Technology*, London, v. 35, n. 5, p. 175- 181, 1997.

PINHO *et al.* **Desafios para a expansão do acesso ao esgotamento sanitário em áreas rurais isoladas:** o uso de tecnologias sociais e a experiência do Programa Cisternas = Expanding access to sanitation in isolated rural areas: the use of social technologies and the experience of the Cisterns Program. *Revista do BNDES*, Rio de Janeiro, v. 28, n. 55 , p. [113]-160, jun. 2021.

REYMOND, P.; WAHAAB, R. A.; MOUSSA, M. S.; LÜTHI, C. **Scaling up small scale wastewater treatment systems in low- and middle-income countries:** An analysis of challenges and ways forward through the case of Egypt. *Utilities Policy*, v. 52, p. 13–21, 2018.

SEZERINO *et al.*, 2018. **Cartilha Wetlands Construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário:** recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção/ Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2018 56 p.: il.

SILVA, S. CRISTINA. **“Wetlands Construídos” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos.** (tese doutorado) 202 p. – UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA FACULDADE DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E AMBIENTAL DF, 2007.

SPERLING, Marcos von. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 134p. (v.2), 1996.

SURIYACHAN *et al.* **Potential of decentralized wastewater management for urban development:** Case of Bangkok. *Habitat International*. v. 36, n. 1, p. 85-92, 2012.

TRATABRASIL. **Universalização do Saneamento Básico e Seus Impactos.** 2021. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/pt/saneamento-basico/universalizacao-saneamento-basico>>. Acesso em: 06 jul. 2022.

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

USEPA. **United States Environmental Protection Agency**. Handbook for Managing Onsite and Clustered (Decentralized) wastewater treatment systems. An introduction to management tools and information for implementing EPA's Management guidelines. Washington: USEPA/EPA, 2005, 64 p.

VON SPERLING, M.; SEZERINO, P. H. **Dimensionamento de *Wetlands* Construídos no Brasil**. Boletim wetlands Brasil, Florianópolis, Edição Especial, nov. 2018. 65 p. ISSN 2359-0548.

APÊNDICE A - MEMORIAL DE CÁLCULO DIMENSIONAMENTO DOS
MÓDULOS *WETLANDS* CONSTRUÍDOS

DIMENSIONAMENTO DAS UNIDADES *WETLANDS* CONTRUÍDOS

1 – DIMENSIONAMENTO MODULO *WETLANDS* CONSTRUÍDOS DE FLUXO VERTICAL 1º ESTÁGIO.

Dados adotados em projeto:

Carga de DBO afluente aos *Wetlands* Construídos – CDBO = 39617,3 *gDBO.d*;

Vazão média afluente aos *Wetlands* Construídos – Q_{méd} = 75,7 m³/d;

Taxa de aplicação orgânica superficial – To = 150 *gDBO/m²/dia*;

Taxa de aplicação hidráulica superficial – Th = 0,4 m/d;

Relação Comprimento (C):Largura (L) = 1:1.

Calculo da área superficial:

Critério de aplicação orgânica superficial:

$$Ar = \frac{Cdbo}{To * 0,9}$$

$$Ar = \frac{39617,3}{150 * 0,9}$$

$$Ar = 293,5 \text{ m}^2$$

Critério da taxa de aplicação hidráulica superficial:

$$Ar = \frac{Qméd}{Th * 0,9}$$

$$Ar = \frac{75,7}{0,4 * 0,9}$$

$$Ar = 210,3 \text{ m}^2$$

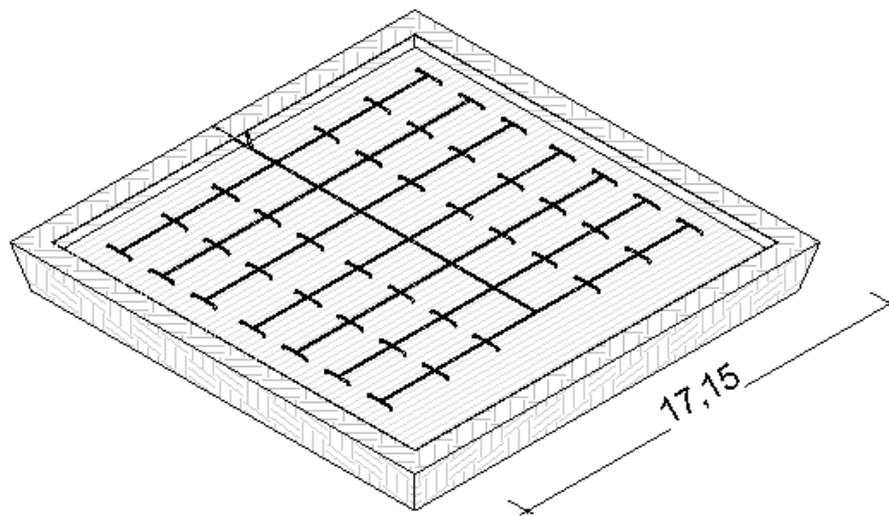
Comprimento (C):

$A_r = 294 \text{ m}^2$ (adotado)

$$C = \sqrt{A_r} = \sqrt{294} = 17,15 \text{ m}$$

Largura (L):

Largura = Comprimento



1.1 eficiência de remoção de DBO na primeira etapa de tratamento.

Dados:

$cDBO =$ Carga de DBO do esgoto bruto = $39617,3 \text{ (gDBO/d)}$;

$e =$ Eficiência de remoção do tratamento = 90% .

$$cDBO_a = cDBO \times (1 - e)$$

Carga de DBO afluente ($CDBO_a$) = $3961,7 \text{ gDBO/d}$

Dados adotados em projeto:

Carga de DBO afluente aos *Wetlands* Construídos – $CDBO = 3961,7 \text{ gDBO/d}$

Vazão média afluente aos *Wetlands* Construídos – $Q_{méd} = 75,7 \text{ m}^3/\text{d}$;

Taxa de aplicação orgânica superficial – $T_o = 20 \text{ gDBO/m}^2/\text{dia}$;

Taxa de aplicação hidráulica superficial – $T_h = 0,4 \text{ m/d}$;

Relação Comprimento (C):Largura (L) = 1:1.

Calculo da área superficial:

Critério de aplicação orgânica superficial:

$$Ar = \frac{Cdbo}{To * 0,9}$$

$$Ar = \frac{3961,7}{20 * 0,9}$$

$$Ar = 220 \text{ m}^2$$

Critério da taxa de aplicação hidráulica superficial:

$$Ar = \frac{Qméd}{Th * 0,9}$$

$$Ar = \frac{75,7}{0,4 * 0,9}$$

$$Ar = 210,3 \text{ m}^2$$

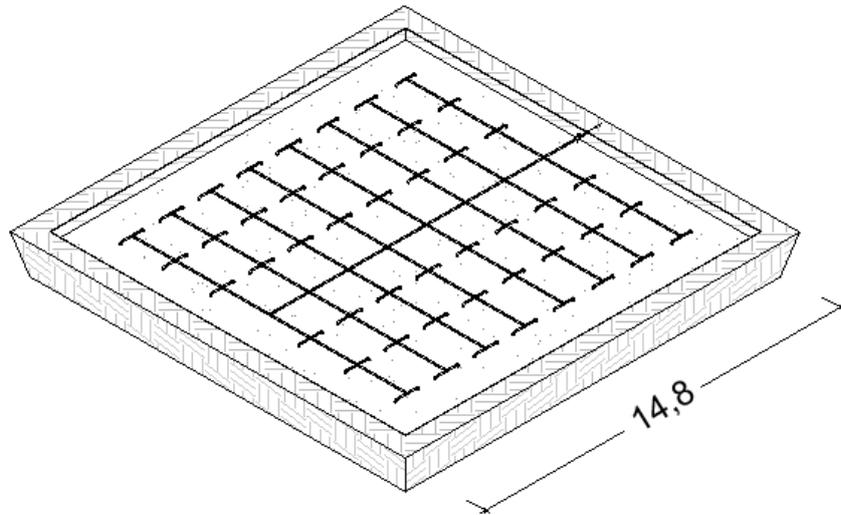
Comprimento (C):

Ar = 220,1 m² (adotado)

$$C = \sqrt{Ar} = \sqrt{220,1} = 14,8 \text{ m}$$

Largura (L):

Largura = Comprimento



2 - DIMENSIONAMENTO UNIDADE WCH

Dados adotados em projeto:

Carga de DBO afluente aos *Wetlands* Construídos – CDBO = 3961,7 gDBO.d;

Vazão média afluente aos *Wetlands* Construídos – Q_{méd} = 75,7 m³/d;

Taxa de aplicação orgânica superficial – T_o = 20 gDBO/m²/dia;

Taxa de aplicação hidráulica superficial – T_h = 0,4 m/d;

Relação Comprimento (C):Largura (L) = 2:1.

Calculo da área superficial:

Critério de aplicação orgânica superficial:

$$Ar = \frac{Cdbo}{T_o * 0,9}$$

$$Ar = \frac{39617,3}{20 * 0,9}$$

$$Ar = 220,1 \text{ m}^2$$

Critério da taxa de aplicação hidráulica superficial:

$$Ar = \frac{Q_{méd}}{T_h * 0,9}$$

$$Ar = \frac{75,7}{0,4 * 0,9}$$

$$Ar = 210,3 \text{ m}^2$$

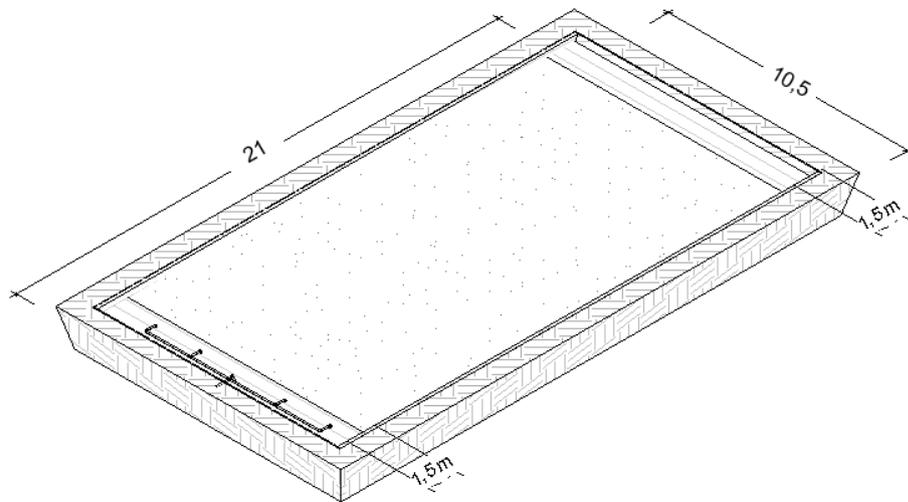
Comprimento (C):

$Ar = 220,1 \text{ m}^2$ (adotado)

$$C = \sqrt{\frac{Ar}{2}} = \sqrt{\frac{220,1}{2}} = 10,5 \text{ m}$$

Largura (L):

Comprimento = 2 x Largura



APÊNDICE B – SISTEMA HIDRÁULICO, MODELO 3D E TRATAMENTO PRELIMINAR SISTEMA FRANCÊS ADAPTADO

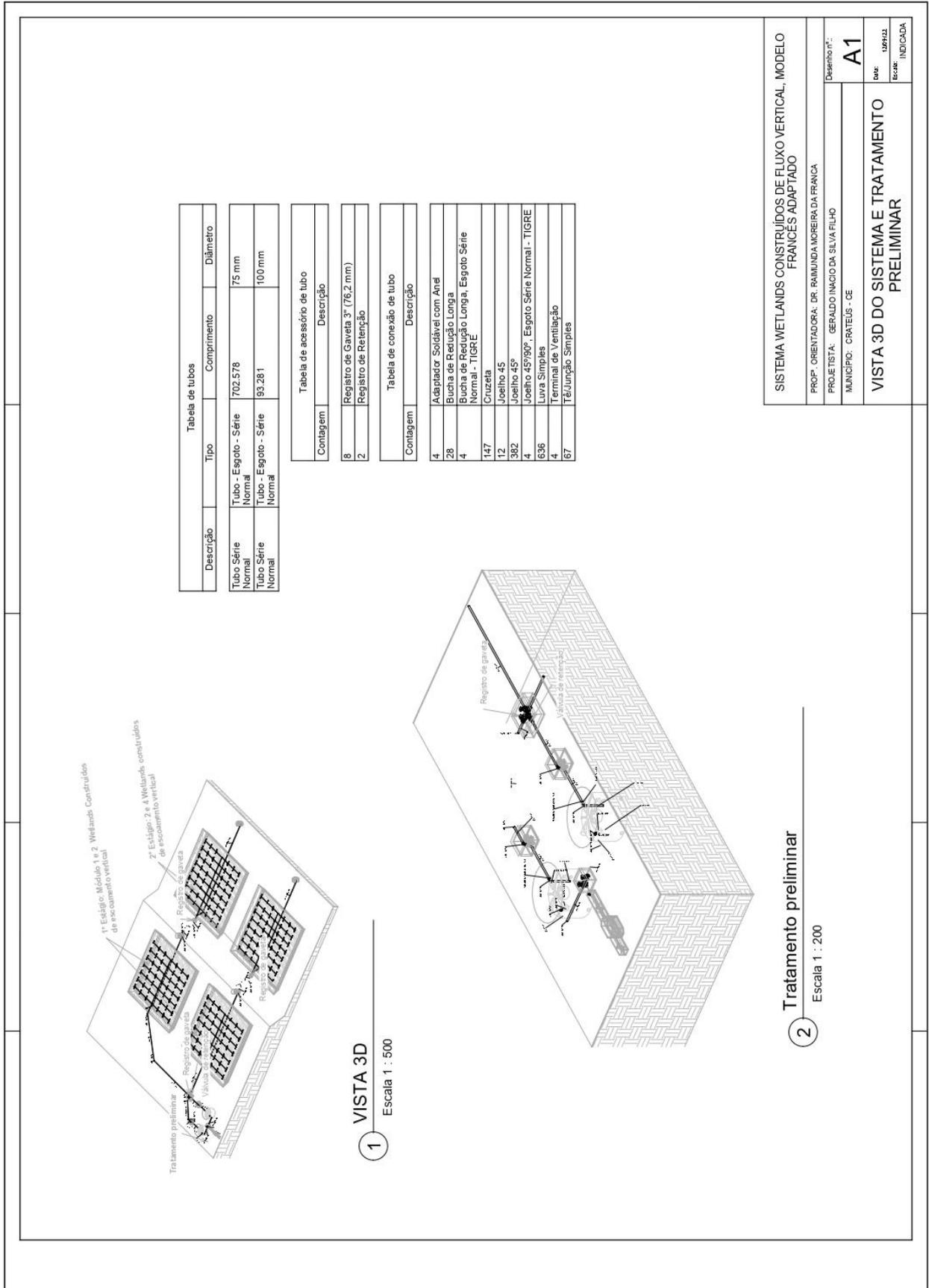


Tabela de tubos			
Descrição	Tipo	Comprimento	Dímetro
Tubo Série Normal	Esgoto - Série Normal	702,578	75 mm
Tubo Série Normal	Esgoto - Série Normal	83,281	100 mm

Tabela de acessório de tubo	
Contagem	Descrição
8	Registro de Gaveta 3" (76,2 mm)
2	Registro de Retenção

Tabela de conexão de tubo	
Contagem	Descrição
4	Adaptador Soldável com Anel
28	Bucha de Retenção Longa
4	Bucha de Retenção Longa, Esgoto Série Normal - TIGRE
147	Cruzeta
12	Joelho 45
382	Joelho 45°
4	Joelho 45°/90° - Esgoto Série Normal - TIGRE
636	Luva Simples
4	Terminal de Ventilação
67	Tê/Junção Simples

1 VISTA 3D
Escala 1 : 500

2 Tratamento preliminar
Escala 1 : 200

SISTEMA WETLANDS CONSTRUÍDOS DE FLUXO VERTICAL - MODELO FRANCÊS ADAPTADO

PROF. ORIENTADORA: DR. RAIMUNDA MOREIRA DA FRANCA

PROJETISTA: GERALDO INACIO DA SILVA FILHO

MUNICÍPIO: CRATELUS - CE

Desenho n.º: **A1**

data: 12/01/22

escala: INDICADA

VISTA 3D DO SISTEMA E TRATAMENTO PRELIMINAR

APÊNDICE C – SISTEMA HIDRÁULICO, MODELO 3D E TRATAMENTO
PRELIMINAR SISTEMA HÍBRIDO

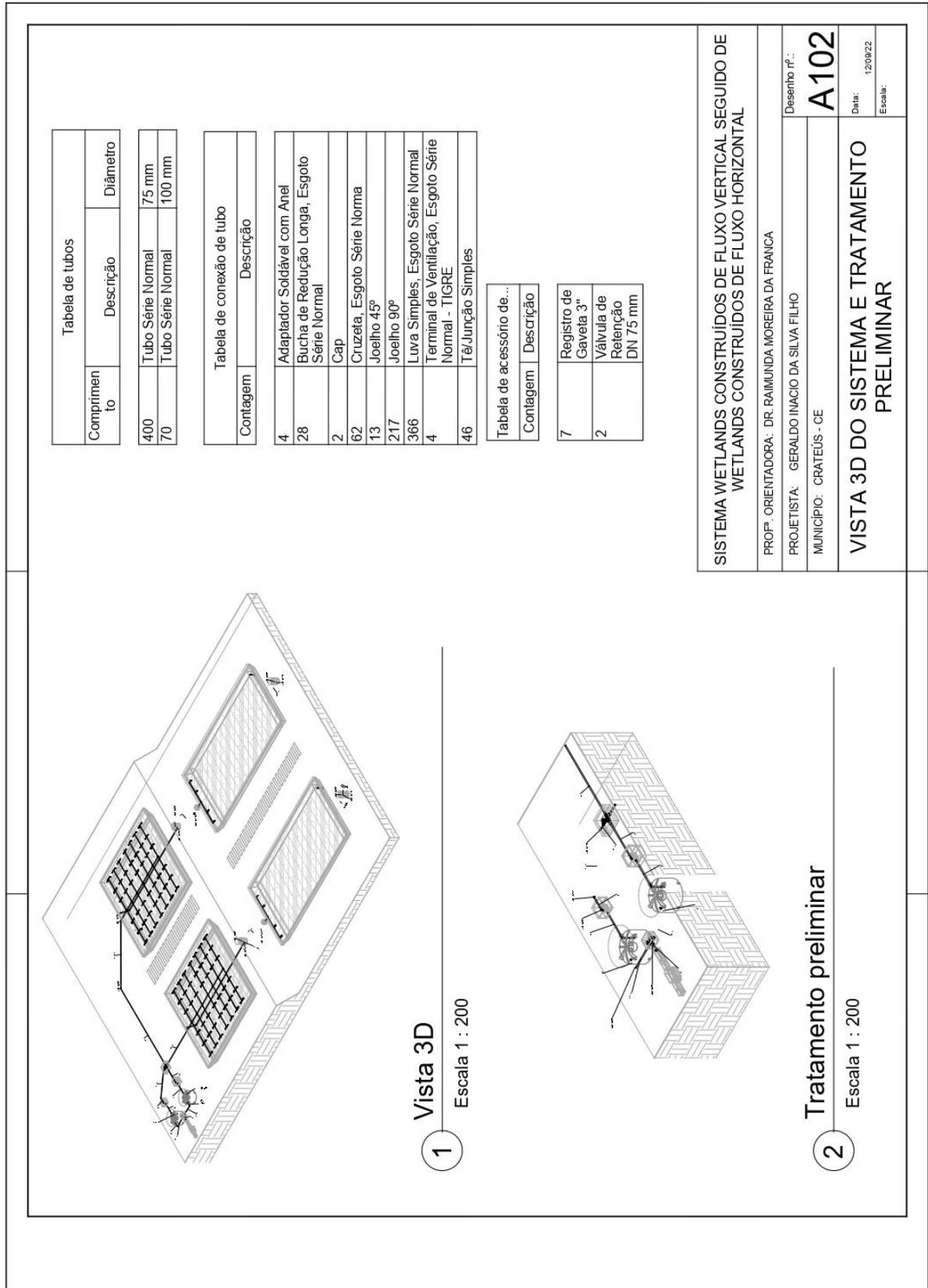


Tabela de tubos		
Comprimento	Descrição	Diâmetro

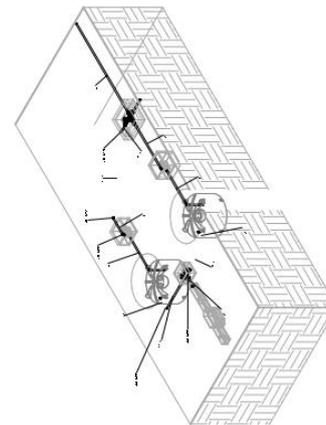
400	Tubo Série Normal	75 mm
70	Tubo Série Normal	100 mm

Tabela de conexão de tubo	
Contagem	Descrição

4	Adaptador Soldável com Anel
28	Bucha de Redução Longa, Esgoto Série Normal
2	Cap
62	Cruzeta, Esgoto Série Norma
13	Joelho 45°
217	Joelho 90°
366	Luva Simples, Esgoto Série Normal
4	Terminal de Ventilação, Esgoto Série Normal - TIGRE
46	Tê/Junção Simples

Tabela de acessório de...	
Contagem	Descrição

7	Registro de Gaveta 3"
2	Válvula de Retenção DN 75 mm



SISTEMA WETLANDS CONSTRUÍDOS DE FLUXO VERTICAL SEGUIDO DE WETLANDS CONSTRUÍDOS DE FLUXO HORIZONTAL

PROF. ORIENTADORA: DR. RAIMUNDA MOREIRA DA FRANCA

PROJETISTA: GERALDO INACIO DA SILVA FILHO

MUNICÍPIO: CRATEÚS - CE

Desenho nº:

A102

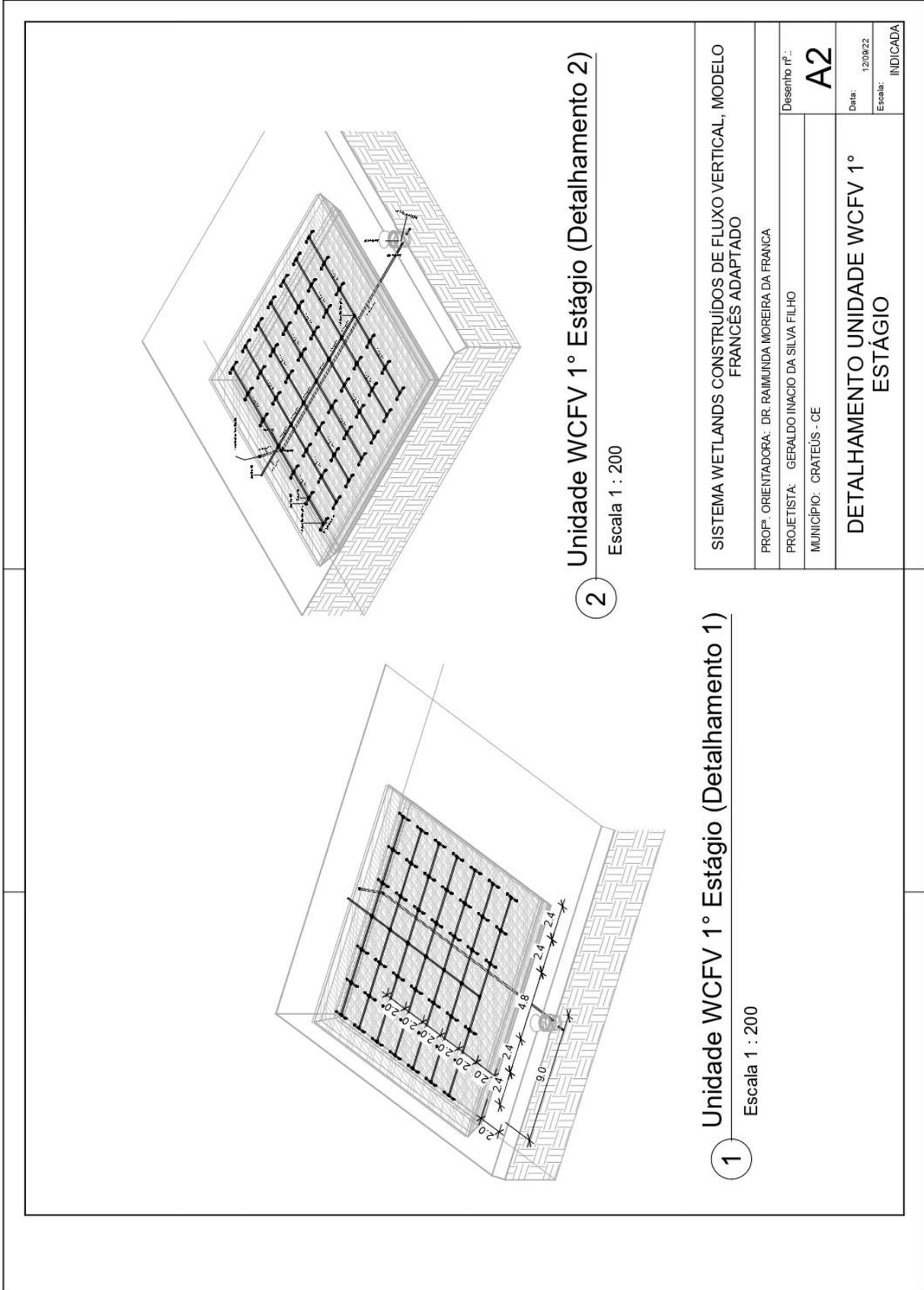
Data:

12/09/22

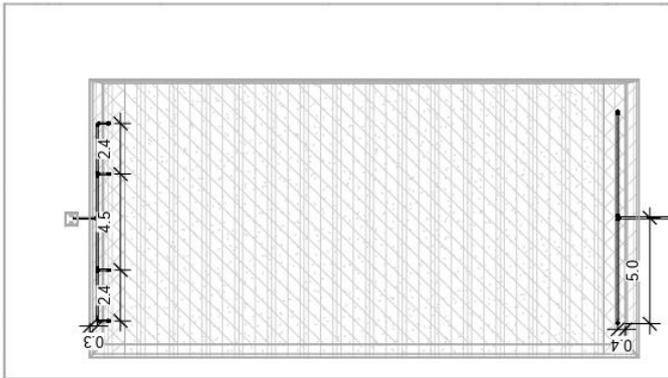
Escala:

**VISTA 3D DO SISTEMA E TRATAMENTO
PRELIMINAR**

APÊNDICIE D – SISTEMA HIDRÁULICO, MÓDULO WCFV 1º ESTÁGIO

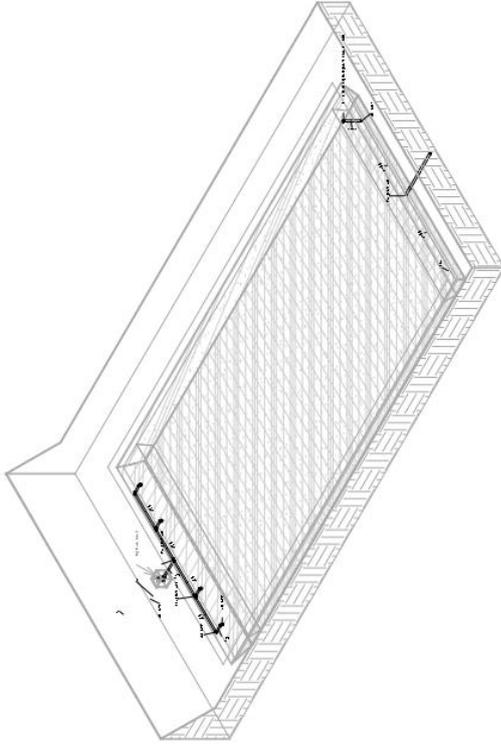


APÊNDICE F – SISTEMA HIDRÁULICO, MÓDULO WCH



1 Unidade WCH (Detalhamento 1)

Escala 1 : 200



2 Unidade WCH (Detalhamento 2)

Escala 1 : 200

SISTEMA WETLANDS CONSTRUÍDOS DE FLUXO VERTICAL SEGUIDO DE WETLANDS CONSTRUÍDOS DE FLUXO HORIZONTAL	
PROF. ORIENTADORA: DR. RAIMUNDA MOREIRA DA FRANCA	Desenho nº.: A103
PROJETISTA: GERALDO INACIO DA SILVA FILHO	Data: 12/08/22
MUNICÍPIO: GRATEÚS - CE	Escala: INDICADA
DETALHAMENTO WCH	

ANEXO G – ORÇAMENTO PRELIMINAR SISTEMA FRANCÊS ADAPTADO

ALTERNATIVA I – SISTEMAS FRANCÊS ADAPTADO A CLIMAS TROPICAIS				
Unidades WCFV 1º Estágio (materiais – impermeabilização e Leito)				
Descrição	Unidade	Valor Unitário (R\$/Un.)	Quantidade	Custo (R\$)
MANTA TERMOPLASTICA, PEAD, GEOMEMBRANA LISA, E = 1,50 MM (NBR 15352)	m ²	45,52	690	31.408,8
PEDRA BRITADA N. 0, OU PEDRISCO (4,8 A 9,5 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM M3 108,18 FRETE	m ³	108,18	404	43.704,72
PEDRA BRITADA N. 1 (9,5 a 19 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	m ³	93,7	102	9.557,4
PEDRA BRITADA N. 2 (19 A 38 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	m ³	94,2	148	13.941,6
			TOTAL	98.612,52
Unidades WCFV 1º Estágio (materiais – impermeabilização e Leito)				
MANTA TERMOPLASTICA, PEAD, GEOMEMBRANA LISA, E = 1,50 MM (NBR 15352)	m ²	45,52	720	32.774,4
AREIA GROSSA (0,3 a 4,8 mm) - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	m ³	141,83	350,4	49.697,2
PEDRA BRITADA N. 0, OU PEDRISCO (4,8 A 9,5 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM M3 108,18 FRETE	m ³	108,18	87,6	9.476,57

131PEDRA BRITADA N. 2 (19 A 38 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	m³	94,2	131,4	12.377,88
			Total	104.326,08
Sistema Hidráulico – Tubos, conexões, equipamentos, bombas e reservatórios				
TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 75 MM	m	14,51	703	10.200,53
Tubo PVC Série Normal DN 100 mm	m	19,89	94	1.869,66
Adaptador Soldável com Anel para Caixa d'Água, PVC Marrom	Un.	72	4	288
Bucha de Redução Longa, Esgoto Série Normal - (75 mm x 50)	Un.	21,45	28	600,6
Cruzeta, Esgoto Série Normal (75 mm)	Un.	14,76	147	2.169,72
JOELHO PVC, SOLDAVEL, PB, 45 GRAUS, DN 75 MM	Un.	8,3	12	99,6
JOELHO PVC, SOLDAVEL, PB, 45 GRAUS, DN 100 MM	Un.	9,24	4	36,96
JOELHO PVC, SOLDAVEL, PB, 90 GRAUS, DN 75 MM	Un.	7,32	382	2.796,24
LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 75 MM, SERIE NORMAL	Un.	6,12	636	3.892,32
Terminal de Ventilação, DN 100 mm, Esgoto Série Normal	Un.	19,68	4	78,72
TE SANITARIO, PVC, DN 75 X 75 MM, SERIE NORMAL	Un.	15,85	67	1.061,95
REGISTRO GAVETA BRUTO EM LATAO FORJADO, BITOLA 3 "	Un.	307,38	8	2.459,04
Válvula de Retenção 3"	Un.	149,9	2	299,8
Caixa D'gua 7500 L - Fortlev	Un.	6230,87	2	12.461,74
BOMBA CENTRIFUGA MOTOR ELETRICO TRIFASICO 4HP,	Un.	5865,76	2	11.731,52

DIAMETRO DO ROTOR 120 MM, HM/Q: 10 Mca / 35,1 M3/H				
			Total	50.046,4
Caixas de registro e poços de visita				
Anel de concreto pré moldado, diâmetro = 0,8 m; altura = 1,4 m	Un.	222,96	4	891,84
Caixa de válvulas e registros pré-moldada de concreto (1,4 x 1,4 x 0,6 m)	Un.	220,0	1	220,0
Caixa de concreto (0,8 x 0,8 m x 0,8)	Un.	92,9	3	278,7
Caixa de concreto (1 x 1 x 1 m)	Un.	110,0	2	220,0
			Total	1.610,54

APÊNDICIE H - ORÇAMENTO PRELIMINAR SISTEMA HIBRIDO

ALTERNATIVA II – SISTEMAS HIBRIDO: WCFV 1º ESTÁGIO SEGUIDO DE WCH				
Unidades WCFV 1º Estágio (materiais – impermeabilização e Leito)				
Descrição	Unidade	Valor Unitário (R\$/Uni)	Quantidade	Custo (R\$)
MANTA TERMOPLASTICA, PEAD, GEOMEMBRANA LISA, E = 1,50 MM (NBR 15352)	m ²	45,52	690	31.408,8
PEDRA BRITADA N. 0, OU PEDRISCO (4,8 A 9,5 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM M3 108,18 FRETE	m ³	108,18	404	43.704,72
PEDRA BRITADA N. 1 (9,5 a 19 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	m ³	93,7	102	9.557,4
PEDRA BRITADA N. 2 (19 A 38 MM) POSTO	m ³	94,2	148	13.941,6

PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE				
			TOTAL	98.612,52
Unidades WCH (materiais – impermeabilização e Leito)				
MANTA TERMOPLASTICA, PEAD, GEOMEMBRANA LISA, E = 1,50 MM (NBR 15352)	m ²	45,52	750	34.140,0
PEDRA BRITADA N. 2 (19 A 38 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	m ³	94,2	396,9	37.388,0
PEDRA BRITADA N. 4 (50 A 76 MM) POSTO	m ³	87,75	56,7	4.975,43
			Total	104.326,08
Sistema Hidráulico – Tubos, conexões, equipamentos, bombas e reservatórios				
TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 75 MM	m	14,51	400	5.804
Tubo PVC Série Normal DN 100 mm	m	19,89	70	1.392,3
Adaptador Soldável com Anel para Caixa d'Água, PVC Marrom	Un.	7,2	4	28,8
Bucha de Redução Longa, Esgoto Série Normal - (75 mm x 50)	Un.	21,45	28	600,6
Cap, Esgoto Série Normal (75 mm)	Un.	7,66	2	15,62
Cruzeta, Esgoto Série Normal (75 mm)	Un.	14,76	62	915,12
JOELHO PVC, SOLDAVEL, PB, 45 GRAUS, DN 75 MM	Un.	8,3	8	66,4
JOELHO PVC, SOLDAVEL, PB, 45 GRAUS, DN 100 MM	Un.	9,24	8	73,92
JOELHO PVC, SOLDAVEL, PB, 90 GRAUS, DN 75 MM	Un.	7,32	217	1.588,44
LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 75 MM, SERIE NORMAL	Un.	6,12	366	2.239,92

Terminal de Ventilação, DN 100 mm, Esgoto Série Normal	Un.	19,68	4	78,72
TE SANITARIO, PVC, DN 75 X 75 MM, SERIE NORMAL	Un.	15,85	46	729,1
REGISTRO GAVETA BRUTO EM LATAO FORJADO, BITOLA 3 "	Un.	307,38	8	2.459,04
Válvula de Retenção 3"	Un.	149,9	2	299,8
Caixa D'gua 7500 L - Fortlev	Un.	6230,87	2	12.461,74
BOMBA CENTRIFUGA MOTOR ELETRICO TRIFASICO 4HP, DIAMETRO DO ROTOR 120 MM, HM/Q: 10 Mca / 35,1 M3/H	Un.	5865,76	2	11.731,52
			Total	40.490,7
Caixas de registro e poços de visita				
Anel de concreto pré moldado, diâmetro = 0,8 m; altura = 1,4 m	Un.	222,96	4	891,84
Caixa de válvulas e registros pré-moldada de concreto (1,4 x 1,4 x 0,6 m)	Un.	220,0	1	220,0
Caixa de concreto (0,8 x 0,8 m x 0,8)	Un.	92,9	3	278,7
Caixa de concreto (1 x 1 x 1 m)	Un.	110,0	2	220,0
			Total	1.610,54