

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AMBIENTAL – PPGCTA**

Tiago Bisognin Immich

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE
DIFERENTES TIPOS DE WETLANDS CONSTRUÍDOS PARA
SISTEMA DESCENTRALIZADO COLETIVO**

Frederico Westphalen, RS
Março de 2023.

Tiago Bisognin Immich

ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE WETLANDS CONSTRUÍDOS PARA SISTEMA DESCENTRALIZADO COLETIVO

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do título de **Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental**.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Corrêa Medeiros
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Samara Terezinha Decezaro

Frederico Westphalen, RS
2023.

Immich, Tiago Bisognin

ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO E
OPERAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE WETLANDS
CONSTRUÍDOS PARA SISTEMA

DESCENTRALIZADO COLETIVO / Tiago Bisognin Immich.- 2023.

123 p.; 30 cm

Orientador: Raphael Correa Medeiros
Coorientadora:
Samara Terezinha Decezaro

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Campus
de Frederico Westphalen, Programa de Pós Graduação em Ciência e
Tecnologia Ambiental, RS, 2023

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, TIAGO BISOGNIN IMMICH, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Tiago Bisognin Immich

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE DIFERENTES
TIPOS DE WETLANDS CONSTRUÍDOS PARA SISTEMA DESCENTRALIZADO
COLETIVO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do título de **Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental**.

Aprovado em 31 de março de 2023:

Raphael Corrêa Medeiros, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Samara Terezinha Decezaro, Dra. (UFSM)
(Coorientadora)

Delmira Beatriz Wolff, Dra. (UFSM)

Paula Loureiro Paulo, Dra. (UFMS)

Frederico Westphalen, RS
2023.

Agradecimentos

Ao concluir mais uma etapa da minha carreira acadêmica, não poderia deixar de agradecer a algumas pessoas que foram fundamentais para que eu conseguisse atingir o título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Primeiramente gostaria de agradecer a DEUS, onde ele sempre foi minha fonte de força e motivação para seguir em frente.

A minha querida esposa Eliara, pessoa que admiro muito e que me motivou mais do que ninguém a concluir essa etapa da minha vida, e que está presente em todos os momentos, e que eu não poderia seguir em frente sem a força e a garra por ela proporcionada.

A meus pais João e Regina que não mediram esforços para me proporcionar uma educação de qualidade e que sempre me incentivaram a buscar mais conhecimento.

Ao orientador professor Dr. Raphael Corrêa Medeiros e pela minha co-orientadora professora Dr.^a Samara Terezinha Decezaro os quais compartilharam seu conhecimentos, orientaram e tiveram a paciência em me ajudar a concluir minha pesquisa.

A todos os professores do programa de pós graduação em ciência e tecnologia ambiental da UFSM campus de Frederico Westphalen/RS pelos conhecimentos compartilhados.

Aos professores componentes da banca, professora Dr.^a. Delmira Beatriz Wolff, professora Dr.^a. Paula Loureiro Paulo e professora Dra. Juliana Scapin por terem aceitado a fazer parte da banca, pelo tempo dedicado a leitura e contribuições para a melhoria deste trabalho.

E por fim a todos meus amigos que apoiaram e de alguma forma contribuíram para que essa etapa fosse concluída.

A todos vocês o meu muito obrigado!

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”

Ayrton Senna

RESUMO

ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE WETLANDS CONSTRUÍDOS PARA SISTEMA DESCENTRALIZADO COLETIVO

AUTOR: Tiago Bisognin Immich
ORIENTADOR: Prof. Dr. Raphael Corrêa Medeiros
CO-ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a Samara Terezinha Decezaro

A busca por novas tecnologias para o tratamento e águas residuárias domésticas vem cada vez mais sendo discutida no meio acadêmico, e mais ainda pelas entidades públicas. A falta de tratamento de esgoto no país já é tratada como um problema de saúde pública, uma vez que muitas doenças são ocasionadas pela falta de tratamento ou então pela ineficiência de sistemas em operação. Muito se tem pesquisado sobre alternativas mais eficientes e que sejam viáveis de aplicação, e é aí que surgem os *Wetlands* construídos (WC). Outro ponto importante a ser destacado é a expansão territorial urbana através de loteamento, condomínios ou outras modalidades de parcelamento de solo, tendência essa que é visivelmente verificada no município de Frederico Westphalen/RS nos últimos anos, onde diversos empreendimentos estão sendo construídos. Dentro deste contexto, esta pesquisa objetivou realizar uma análise de custo para implantação de WC como forma de tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas aplicados a loteamento no referido município. A pesquisa contou com a avaliação de três tipologias distintas de *Wetlands*, sendo elas os *Wetlands* construídos de escoamento horizontal (WCH), os *Wetlands* construídos de escoamento vertical (WCV) e os *Wetlands* construídos de sistema Francês (WCSF), objetivando realizar uma análise de custo tanto de implantação como de operação ao longo de uma vida útil de 15 anos. A partir de uma metodologia de tomada de decisão através de um processo hierárquico chamado AHP, foi escolhida a melhor alternativa de implantação avaliando critérios básicos de sustentabilidade como a esfera ambiental, esfera social e esfera econômica. Para isso foi necessário dimensionar as três tipologias propostas, e na sequência quantificar os materiais e mão de obra de cada um, e com auxílio de composições SINAPI e TCPO, bem como de insumos da tabela SINAPI, foi possível precificar cada item quantificado e por sua vez obter o valor de custo de implantação de cada tecnologia. Foi obtido para a WCH o custo de implantação de R\$ 291.971,79, para o WCV o custo operacional foi de R\$ 465.192,71, obtendo o maior custo dentre os três sistemas avaliados, e por fim o WCSF obteve o custo operacional de R\$ 317.779,78. Também foram avaliados os custos de operação mensal para os sistemas de WCH, WCV e WCSF, onde se obteve, respectivamente, R\$ 910,08, R\$ 1.820,16 e R\$ 1.365,12 de desembolsos mensais necessários para a manutenção dos sistemas. Isso resultou em um custo ao longo da vida útil de R\$ 163.814,40 para os WCH, R\$ 327.628,80 para o WCV e R\$ 245.721,60 para o sistema Francês. Aplicando a metodologia AHP para análise dos dados, além dos critérios de sustentabilidade definidos, adotaram-se outras três variáveis para cada critério, possibilitando elaborar as matrizes de preferência e por fim obter o vetor de prioridade para cada conjunto de variáveis de cada critério, bem como um vetor de prioridade global para os critérios de sustentabilidade. Como forma de exemplificar, encontrou-se através do método AHP que o critério econômico possui a maior importância dentro dos demais critérios, totalizando o percentual de 61%, na sequência aparece o critério ambiental com 27% e por fim o critério social com 12% da preferência. A partir desses quesitos, concluiu-se que as melhores tecnologias de WC para serem aplicadas em loteamentos são, primeiramente, o sistema WCH devido ao seu baixo custo de implantação e operação, e em segundo lugar o WCSF, que se mostra como um sistema que requer menor área de implantação, também não necessita de tratamento primário do esgoto e em relação ao custo não se mostrou tão discrepante do WCH.

Palavras-chave: *Wetlands* Construídos, orçamento e quantitativos, custos operacionais, custos de implantação, tratamento descentralizado de esgoto.

ABSTRACT

FEASIBILITY STUDY OF IMPLEMENTATION AND OPERATION OF DIFFERENT TYPES OF WETLANDS BUILT FOR A COLLECTIVE DECENTRALIZED SYSTEM

AUTHOR: Tiago Bisognin Immich
ADVISOR: Prof. Dr. Raphael Corrêa Medeiros
CO-ADVISOR: Prof^a. Dr^a. Samara Terezinha Decezaro

The search for new technologies for the domestic wastewater treatment has been increasingly discussed in academia, and even more so by public entities. The lack of sewage treatment in Brazil is a public health problem, since many diseases are caused by the lack of treatment or the inefficiency of the systems in operation. Much has been researched on more efficient viable alternatives, and this is where Constructed Wetlands (CW) systems appear. Another important reason to be highlighted is the urban territorial expansion through subdivisions, condominiums or other types of land subdivision, a trend that can be visibly verified in the municipality of Frederico Westphalen/RS in recent years, with several projects being built. In this context, this research aimed to carry out a cost analysis for the implementation of a CW as a form of decentralized treatment of domestic wastewater applied to subdivisions in that municipality. The investigation included the comparison of three distinct typologies of Wetlands, namely the Constructed Wetlands with horizontal flow (HFW), the vertical flow Constructed Wetlands (VFW) and the French vertical flow Constructed Wetlands (FVFW), aiming to carry out an analysis of cost of implementation and operation over a 15-year lifespan. Based on a decision-making methodology through an analytic hierarchical process called AHP, the best implementation alternative was chosen by evaluating basic sustainability criteria such as the environmental, social and economic scopes. For this, it was necessary to measure the three proposed typologies, to then quantify the materials and labor of each one, and with the assistance of SINAPI and TCPO compositions, as well as inputs from the SINAPI table, it was possible to price each quantified item and then obtain the implementation cost of each technology. An implantation cost of R\$ 291,971.79 was obtained for the HFW, for the VFW the operating cost was R\$ 465,192.71, obtaining the highest cost among the three evaluated systems, and finally the FVFW obtained the operating cost of R\$ 317,779.78. The monthly operating costs for the HFW, VFW and FVFW systems were also evaluated, which respectively obtained R\$ 910.08, R\$ 1,820.16 and R\$ 1,365.12 of monthly cost necessary for the maintenance of the systems. This resulted in a lifetime cost of R\$ 163,814.40 for the HFW, R\$ 327,628.80 for the VFW and R\$ 245,721.60 for the French system. Applying the AHP methodology for data analysis, in addition to the defined sustainability criteria, three more variables were adopted for each criterion, making it possible to elaborate the preference matrices and finally obtain the priority vector for each set of variables of each criterion, as well as a global priority vector for the sustainability criteria. As an example, it was verified through the AHP method that the economic criterion had the greatest importance, totaling the percentage of 61%, followed by the environmental criterion with 27% and finally the social criterion with 12% of preference. From this analyses, it was concluded that the best Constructed Wetland system to be applied in the subdivisions is firstly the HFW system due to its low cost of implantation and operation, and secondly the FVFW, which is a system that requires less implementation area, it does not require primary sewage treatment and the difference in cost was not so different from the HFW.

Keywords: Constructed Wetlands, budget and quantities, operating costs, implementation costs, decentralized wastewater treatment.

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Representação de sistemas descentralizados locais e coletivos.....	25
Figura 2 - Modelo genérico hipotético de tratamento descentralizado	26
Figura 3 - Fluxograma de sistema de tratamento individual de esgoto doméstico....	28
Figura 4 - Exemplo de <i>wetland</i> construído.	29
Figura 5 - Fluxograma de principais tipologias de WC's	30
Figura 6 – Perfil longitudinal esquemático de um WC de escoamento horizontal.	31
Figura 7 - Perfil longitudinal esquemático de um WC de escoamento vertical.....	34
Figura 8 - Perfil longitudinal esquemático de uma modalidade de WC híbrido (WCV seguido de WCH).....	37
Figura 9 - Perfil longitudinal esquemático de um WC de sistema francês	39
Figura 10 - Detalhe das unidades de cada estágio de um sistema Francês	40
Figura 13 - Fluxograma demonstrativo da AHP	48
Figura 11 - Fluxograma de processos metodológicos.	49
Figura 12 - Loteamento adotado para o estudo.....	50
Figura 14 - Fluxograma de estrutura de processo hierárquico do método AHP para a escolha do sistema WC.	60
Figura 15 – Proposição de rede coletora de esgoto do loteamento.....	62
Figura 16 - Seção transversal esquemático da WCH para loteamento em Frederico Westphalen-RS.....	64
Figura 17 - Planta baixa das unidades WCH para loteamento em Frederico Westphalen-RS.....	64
Figura 18 - Planta de localização das unidades WCH para loteamento em Frederico Westphalen-RS.....	65
Figura 19 - Seção transversal esquemático da WCV para loteamento em Frederico Westphalen-RS.....	67
Figura 20 – Planta baixa das unidades WCV para loteamento em Frederico Westphalen-RS.....	68
Figura 21 - Planta de localização das unidades WCV para loteamento em Frederico Westphalen-RS.....	68
Figura 22 - Seção transversal esquemático do 1º estágio do sistema Francês para loteamento em Frederico Westphalen-RS.....	71

Figura 23 - Seção transversal esquemático do 2º estágio do sistema Francês para loteamento em Frederico Westphalen-RS.....	71
Figura 24 - Planta baixa das unidades do sistema Francês para loteamento em Frederico Westphalen-RS.....	72
Figura 25 - Planta de localização das unidades sistema Francês para loteamento em Frederico Westphalen-RS.....	73
Figura 26 - Fluxograma de resumo das prioridades de cada critério da AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.	97

Lista de tabelas

Tabela 1 - Planilha de estimativa de custos de implantação do loteamento.....	52
Tabela 2 - Matriz de comparação da AHP.....	59
Tabela 3 - Cotação de preços de itens não contemplados pelo SINAPI.....	77
Tabela 4 - Planilha orçamentaria de quantitativos e custos do sistema WCH para loteamento em Frederico Westphalen-RS.....	78
Tabela 5 - Planilha orçamentaria de quantitativos e custos do sistema WCV para loteamento em Frederico Westphalen-RS.....	80
Tabela 6 - Planilha orçamentaria de quantitativos e custos do sistema Francês para loteamento em Frederico Westphalen-RS.....	82
Tabela 7 - Comparativo de custos de implantação dos sistemas avaliados para loteamento em Frederico Westphalen-RS.....	83
Tabela 8 - Quantificação de carga horaria para operação dos WC's.....	86
Tabela 9 - Planilha de custos operacionais para loteamento em Frederico Westphalen-RS.....	87
Tabela 10 - Custo operacional ao final da vida útil dos WC's para loteamento em Frederico Westphalen-RS.	88
Tabela 11 - Custo total durante a vida útil dos WC's para loteamento em Frederico Westphalen-RS.....	88
Tabela 12 - Matriz de comparação dos critérios de sustentabilidade para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.	91
Tabela 13 - Matriz normalizada dos critérios de sustentabilidade para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.	91
Tabela 14 - Matriz de comparação dos indicadores ambientais para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.	93
Tabela 15 - Matriz normalizada dos indicadores ambientais para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.	93
Tabela 16 - Matriz de comparação dos indicadores econômicos para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.	94
Tabela 17 - Matriz normalizada dos indicadores econômicos para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.	94

Tabela 18 - Matriz de comparação dos indicadores sociais para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.	96
Tabela 19 - Matriz normalizada dos indicadores sociais para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.....	96

Lista de quadros

Quadro 1 - Escala fundamental de Saaty (1977) para valores de importância pelo método AHP.....	55
Quadro 2 – Intensidade de importância de acordo com o intervalo da variação em percentual de cada par.	55
Quadro 3 - Modelo de comparação de intensidade das variáveis	58
Quadro 4 - Resumos comparativos das características das WC's dimensionadas para loteamento em Frederico Westphalen-RS.....	74
Quadro 5 - Especificação de materiais granulares adotados para os sistemas WC para loteamento em Frederico Westphalen-RS.....	75
Quadro 6 - Itens de operação dos sistemas de WC's.....	85
Quadro 7 - Periodicidade de operação dos sistemas WC para loteamento em Frederico Westphalen-RS.	87
Quadro 8 - Resumos dos critérios e indicadores da análise hierárquica AHP para escolha do melhor sistema WC para Frederico Westphalen-RS.	89
Quadro 9 - Definição dos critérios de sustentabilidade para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.....	90
Quadro 10 - Definição dos Indicadores ambientais	92
Quadro 11 - Definição dos indicadores econômicos para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.....	94
Quadro 12 - Definição dos indicadores sociais para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.	95

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP – Analytic Hierarchy Process (Método Analítico Hierárquico)
ANA – Agencia Nacional de Aguas
ASRU – Área Superficial Requerida Unitária
ATD – Alternativa como Tratamento Descentralizado
CI – Custo de Implantação
CO – Custo de operação
CORSAN – Companhia Rio Grandense de Saneamento
CONAMA – Conselho Nacional do Meio ambiente
CRELUZ – Cooperativa de Distribuição de Energia
CURB – Contribuição urbanística
CVU – Custo de Vida Útil
CXCONS – Complexidade de Construção
CXOP – Complexidade de Operação
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DN – Diâmetro Nominal
DQO – Demanda Química de Oxigênio
DTP – Dispensa de Tratamento Primário
ELECTRE – (Elimination et Choix Traduisant la Réalité)
ESS – Eficiência de Remoção de Sólidos Suspensos
ETE – Estações de Tratamento de Esgoto
FFS – Fossa, Filtro e Sumidouro
GESAD – Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMA – Instituto do Meio Ambiente
MACBETH – Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MAUT – Multiple Attribute Utility Theory
MCDM – Multicriteria Decision Making (Tomada De Decisão Multicritério)
MO – Matéria Orgânica
NBR – Norma Brasileira
PEAD – Polietileno de Alta Densidade
PROMETHEE – Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation

PVC - Policloreto de polivinila

SH – Sistema Híbrido

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento

SST – Sólidos Suspensos Totais

TCPO – Tabela de Composição de Preços para Orçamentos

TODIM – Tomada de Decisão Interativa Multicritério;

TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

TS – Tanque Séptico

VPG – Vetor Prioridade Global

VPL – Vetor Prioridade Local

WC – Wetlands Construídos

WCH – Wetland Construído Horizontal

WCV – Wetland Construído Vertical

WCSF – Wetland Construído Sistema Francês

Sumário

1 INTRODUÇÃO	21
2 OBJETIVOS	24
2.1 OBJETIVO GERAL	24
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
3 REFERENCIAL TEÓRICO	25
3.1 DESCENTRALIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO	25
3.3 SISTEMAS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO DE ESGOTO DESCENTRALIZADO	27
3.4 “WETLANDS” CONSTRUÍDOS (WC)	28
3.4.1 Tipos de WC’s.....	30
3.4.1.1 WC de escoamento horizontal (WCH).....	30
3.4.1.2 WC de escoamento vertical (WCV)	33
3.4.1.3 WC de escoamento híbrido (WCSH).....	36
3.4.1.3 WC sistema Francês (WCSF)	37
3.4.2 Aplicação de WC ao tratamento de esgotos domésticos em loteamentos.....	41
3.5 IMPLANTAÇÃO E OPERACIONALIZAÇÃO DOS SISTEMAS	42
3.6 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO	43
3.6.1 Quantificação dos insumos e mão de obra.....	44
3.6.2 Orçamentação.....	44
3.7 CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO.....	45
3.8 PARCELAMENTO DE SOLO.....	46
3.9 MÉTODO MULTICRITÉRIOS PARA TOMADA DE DECISÃO	46
4 METODOLOGIA	49
4.1.1 Escolha do loteamento.....	49
4.1.2 Estimativa de custo de implantação da infraestrutura do loteamento.	51
4.1.3 Dimensionamento dos sistemas WC’s	52
4.1.4 Composição dos custos de implantação e operação.....	53
4.1.5 Método de tomada de decisão do sistema de maior viabilidade.....	54
4.1.6 Grupo de estudo para tomada de decisão.....	56

4.1.7 Definição dos indicadores e das alternativas do método AHP	56
4.1.8 Matriz de julgamentos e vetores de prioridade local e global.....	58
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
5.1 DIMENSIONAMENTO DOS WETLANDS	61
5.1.1 WC de escoamento horizontal	63
5.1.2 WC de escoamento vertical.....	66
5.1.3 WC sistema Francês	69
5.1.4 Resumo das configurações dos três WC dimensionados	73
5.2 RELAÇÃO DE MATERIAIS E CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO	75
5.2.1 Cotações de materiais para implantação	76
5.2.2 WC de escoamento horizontal	77
5.2.3 WC de escoamento vertical.....	79
5.2.4 WC sistema Francês	81
5.2.5 Comparação de custo entre as tipologias estudadas.	83
5.3 CUSTOS OPERACIONAIS	84
5.4 CUSTOS TOTAIS	88
5.5 ESCOLHA DO SISTEMA PELO MÉTODO AHP	89
5.5.1 Definição do objetivo da análise hierárquica	90
5.5.2 Definição da importância dos indicadores dos critérios de seleção	90
5.5.3 Definição dos indicadores das alternativas.....	92
5.5.3.1 <i>Indicadores ambientais</i>	92
5.5.3.2 <i>Indicadores econômicos</i>	93
5.5.3.3 <i>Indicadores sociais</i>	95
5.5.4 Resumo das definições de importância de acordo com o método AHP.....	96
6 CONCLUSÕES.....	98
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	101
8 REFERÊNCIAS	102
APÊNDICES	109

1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta um quadro generalizado de baixa cobertura dos serviços de saneamento básico, para o segmento de esgotamento sanitário, sua cobertura, a exceção da Região Sudeste e da Região Centro Oeste, é inferior a 60% (SNIS, 2021). Ainda de acordo com o diagnóstico do SNIS (2021) o mesmo aponta que 40,8% são utilizadas soluções alternativas individuais como fossa séptica, fossa rudimentar, vala a céu aberto e lançamento em cursos d'água. É a situação que pode ser percebida em casos de esgoto a céu aberto. Outros 18,8% dos esgotos até são coletados, mas são lançados nos corpos d'água sem tratamento. Já os 42,6% restantes são coletados e tratados antes de retornarem aos mananciais, o que é o cenário ideal.

Dentro deste contexto surge também o novo marco do saneamento básico brasileiro aprovado pelo senado em junho de 2020 e regulamentado através da lei federal nº 14.026/2020, o qual prevê uma serie de diretrizes e metas a serem atingidos até o ano de 2033 para os municípios. Dentre os principais pontos estabelecidos, pode-se destacar a meta que estabelece que 90% da população deverão possuir coleta e tratamento de esgoto até dezembro de 2033.

O município de Frederico Westphalen tem apresentado, nos últimos anos, uma tendência de expansão territorial urbana por meio de loteamentos e condomínios horizontais. Estes parcelamentos de solo, para que possam ser aprovados pela prefeitura municipal, devem estar projetados e adequados conforme a lei municipal Nº 1.036/1984. Dentre todas as exigências prescritas na legislação, uma delas se refere ao tratamento do esgoto sanitário proveniente dos lotes individuais de cada loteamento.

Segundo a referida lei, todos os efluentes provenientes das unidades residenciais, ou comerciais, devem ser tratados utilizando sistemas de tratamento descritos e aprovados na licença ambiental da obra. No município já existe uma previsão de implantação de uma unidade de tratamento de esgoto compacta com capacidade de 20 L/s, entretanto, a rede coletora prevista não atende a toda área urbana, apenas uma pequena parcela do território possui previsão de rede.

Quando não existe previsão de implantação de rede coletora, os sistemas de tratamento de esgoto dos lotes são os sistemas individuais, geralmente compostos por tanque séptico seguido de filtro anaeróbio e sumidouro ou vala de infiltração, assim como previsto pelas ABNT/NBR 7229 (1993) e NBR 13969 (1997). Porém, em

algumas regiões do município, a camada de solo responsável pela infiltração do efluente não apresenta características favoráveis como: espessura da camada de solo, tipo de solo, profundidade do lençol freático e disponibilidade de área suficiente no lote para o bom desempenho do sistema.

Como opção alternativa para esses casos, já muito utilizado em outras regiões do país e do mundo, existe os sistemas naturais de tratamento de efluentes. Um exemplo desses sistemas são os *wetlands* construídos (WC), que consistem em cópias artificiais dos *wetlands* naturais; porém, possuem um aumento do potencial dos ciclos biogeoquímicos que podem ser dimensionados com o objetivo de tratar águas residuárias provenientes de sistemas individuais ou também como alternativa para tratamento de esgotos brutos.

O Boletim Wetlands Brasil, de Von Sperling e Sezerino (2018), descreve valores para eficiências globais de remoção esperadas para os sistemas WC, em suas diversas configurações: entre 80% e 90% para DBO, 80% a 85% pra DQO e 85% a 90% para SST.

Os sistemas WC ganham destaque em virtude de serem compostos por processos simples, porém completos e eficientes. E é por esse motivo que esta pesquisa pretendeu trazer argumentos que de alguma forma contribuam com a implantação destes sistemas nos loteamentos de Frederico Westphalen, buscando evidências da sua colaboração quanto aos fatores econômico e técnico de implantação, quanto à minimização do impacto ambiental e quanto ao âmbito de benefícios sociais aos moradores.

Visto que atualmente o município de Frederico Westphalen não possui uma estação de tratamento de esgoto (ETE) pública, pode-se supor que em sua totalidade as unidades residenciais possuem tratamento individual para o afluente produzido, assumindo um panorama de que todas estão dentro da legalidade, uma vez que o município não possui dados que evidenciam a real situação. Desta maneira, esta pesquisa traz alternativas que comportem a demanda da expansão territorial urbana a partir de um modelo de sistema descentralizado de tratamento de esgoto que comporte os loteamentos de maneira coletiva.

Dessa forma, não somente tem por objetivo evidenciar os benefícios de implantação dos sistemas WC, como também se espera que o trabalho desperte o interesse das autoridades responsáveis na elaboração e atualização dos planos diretores, bem como dos poderes executivos e legislativos. Destaca-se que a

implantação desses sistemas que, por sua vez, promovem uma interação com a qualidade de vida dos munícipes, oferece uma melhor condição no saneamento básico, promovendo o menor impacto possível ao meio ambiente. Assim, espera-se também mostrar de forma clara e objetiva o aspecto sustentável e ao mesmo tempo eficiente da implantação dos sistemas WC.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade de implantação e operação de diferentes modalidades de *wetlands* construídos (WC) aplicados ao tratamento de esgoto bruto e ao pós-tratamento de efluentes anaeróbios de soluções individuais de tratamento, proveniente de um loteamento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Selecionar e dimensionar três diferentes configurações de WC para um loteamento em Frederico Westphalen;
- II. Comparar os três tipos de WC como forma de tratamento descentralizado coletivo para uma determinada região;
- III. Comparar cada um dos tipos quanto aos custos de implantação e operação;
- IV. Propor a hipótese com maior viabilidade de implantação pelo Método de Análise Hierárquica (AHP).

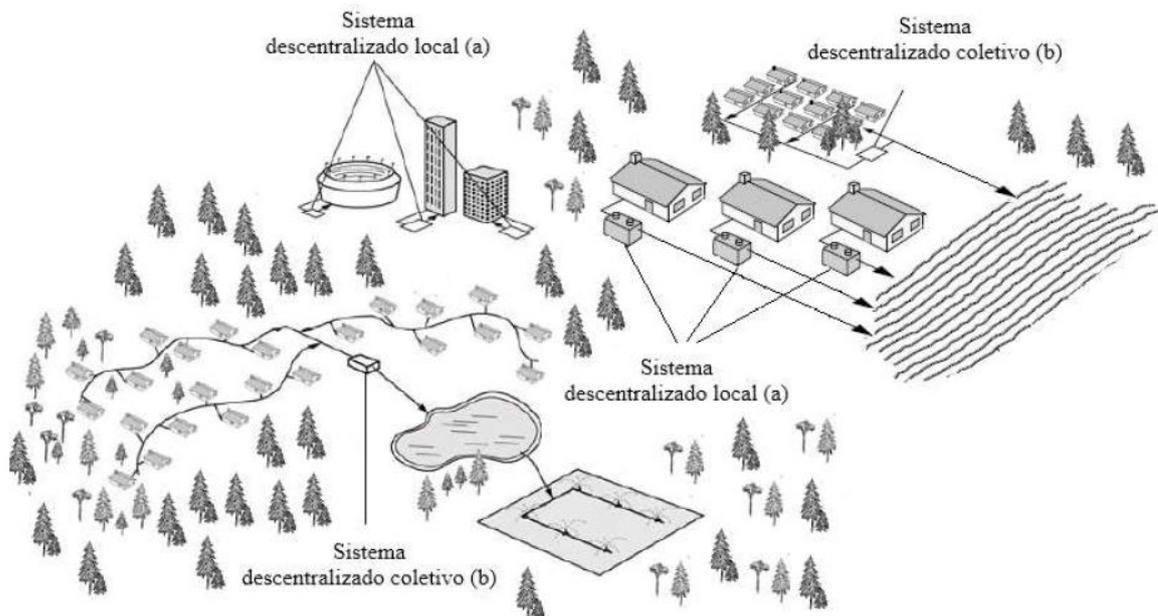
3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 DESCENTRALIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Aos sistemas para tratamento de águas residuárias domésticas, Subtil et al. (2016) citam duas diferentes modalidades em relação à localização das unidades de tratamento, sendo elas classificadas como centralizadas e descentralizadas. No tratamento centralizado todo o esgoto coletado em um município é conduzido através de tubulações até a estação de tratamento, o que acaba tornando o sistema bastante complexo, uma vez que em centros urbanos de maiores proporções, a malha de tubulação pode ser muito extensa, sem contar as dificuldades com a topografia da região que acaba por impor a utilização de estações de coleta e bombeamento do afluyente.

Ainda Subtil et al. (2016) demonstram, de maneira simplificada, os sistemas descentralizados locais(a) e coletivos(b) conforme a Figura 1.

Figura 1 - Representação de sistemas descentralizados locais e coletivos.



Fonte: Subtil et al. (2016).

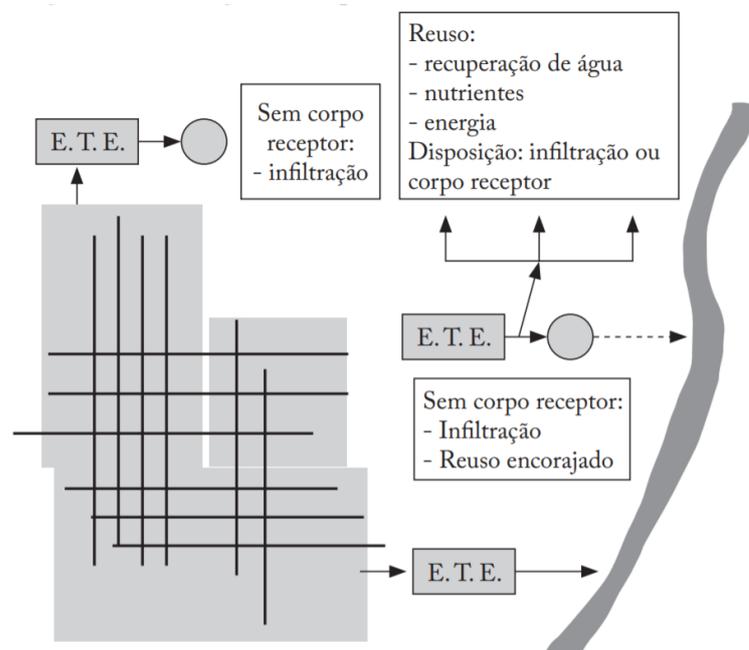
De acordo com Oliveira Junior (2013), os sistemas centralizados para tratamento de esgoto, conhecidos como convencionais, constituem de uma série de equipamentos subdivididos em unidades. A coleta de esgotos se dá através de

tubulações, transporte e reunião em pontos de cotas mais baixas. Então, há recalque do efluente através de estações elevatórias para o tratamento em uma ETE localizada, geralmente, distante dos centros urbanos. Por fim, há a disposição no ambiente, com o lançamento em corpo hídrico receptor, ou infiltração no solo.

Os sistemas descentralizados podem ser descritos como abrangente de uma gama de sistemas processadores de esgotos domésticos e comerciais. Schroeder (2020) cita que em grande parte dos casos, a alternativa de descentralização do tratamento somente é adotada quando a construção de uma rede coletora convencional ou centralizada não se viabiliza economicamente. Entretanto, é possível perceber que esta concepção tem se alterado, uma vez que os processos descentralizados não apenas se demonstram capazes de suprir as demandas primárias do tratamento centralizado, como também se apresentam vantajosos em relação a ele (TONETTI et al., 2018).

A Figura 2 expõe um modelo generalista que descreve as diversas tubulações de uma determinada região e como ela pode apresentar diversas ETE's, que absorvem parte das águas residuárias proveniente das unidades residenciais, bem como as diversas configurações para as unidades de tratamento.

Figura 2 - Modelo genérico hipotético de tratamento descentralizado



Fonte: Oliveira Junior (2013).

O conceito de gestão descentralizada para tratamento de efluentes visa o desenvolvimento de sistemas de águas residuárias que sejam economicamente mais

viáveis, mais socialmente responsáveis e ambientalmente mais benignos do que os sistemas convencionais centralizados (NHAPI, 2004). Ainda, o autor descreve que o conceito vai além da simples gestão dos sistemas individuais, formando assim, uma alternativa intermediária entre os sistemas locais e o sistema centralizado convencional.

Essa abordagem permite que o gerenciamento dos tratamentos de esgoto seja dividido em nível de bairro e atenda aos desagregados populacionais das grandes áreas urbanas, resultando em instalações de pequeno porte e com viabilidade econômica diretamente relacionadas ao reuso de águas residuárias tratadas.

3.3 SISTEMAS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO DE ESGOTO DESCENTRALIZADO

De acordo com o SNIS (2020) no Brasil, 59,2% dos municípios possuem esgoto coletado e tratado de forma coletiva e 40,8% utilizam-se de soluções individuais, como fossa séptica, fossa rudimentar, vala a céu aberto e lançamento em cursos d'água. Dessas alternativas, apenas a fossa séptica é considerada como adequada pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab). Como pode ser observada, uma parcela da população ainda conta com soluções individuais de tratamento de águas residuárias, e um exemplo é o município de Frederico Westphalen, onde basicamente é o único sistema previsto no plano diretor municipal. Esse tipo é amplamente difundido devido à simplicidade, e para muitas localidades brasileiras, a única alternativa viável de implantação.

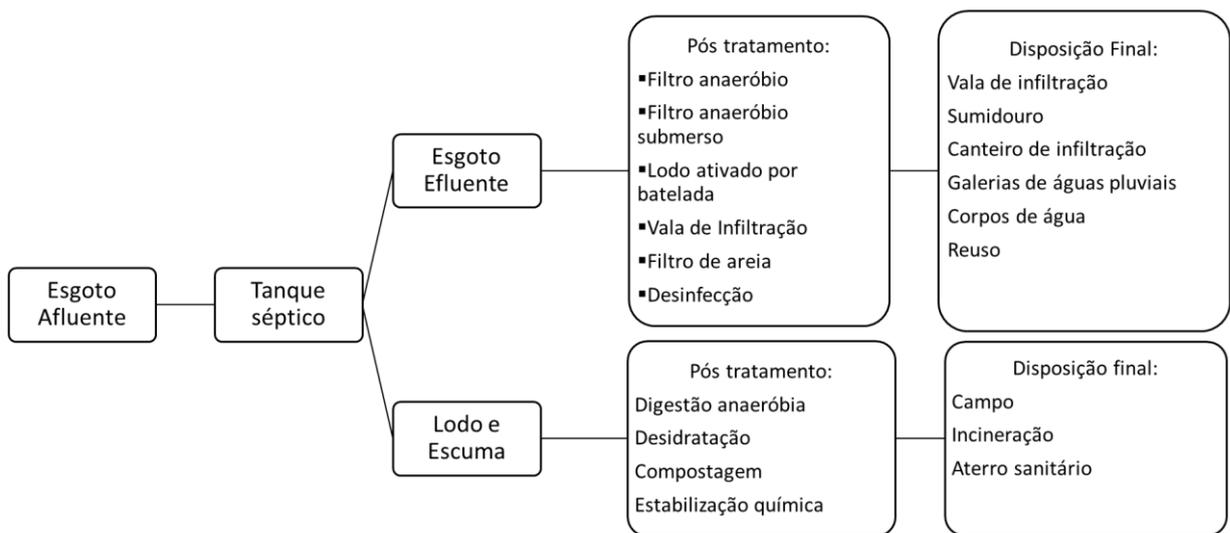
A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) prescreve duas normas que descrevem diretrizes e parâmetros de referência para o dimensionamento desses sistemas, sendo elas:

- NBR 7229 (ABNT, 1993), projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos – “Esta Norma fixa as condições exigíveis para projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos, incluindo tratamento e disposição de efluentes e lodo sedimentado.”
- NBR 13969 (ABNT, 1997), Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação – “Esta Norma foi elaborada para oferecer aos usuários do sistema local de tratamento de esgotos, que têm tanque

séptico como unidade preliminar, alternativas técnicas consideradas viáveis para proceder ao tratamento complementar e disposição final do efluente deste.”

Dentre as diversas possibilidades de configuração do sistema, a ABNT/NBR 13969 (1997) expõe alternativas para projeto de sistemas de tratamento de águas residuárias desde o afluente produzido, até a disposição final do efluente tratado, onde é possível observar através da Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma de sistema de tratamento individual de esgoto doméstico.



Fonte: Adaptado de ABNT/NBR 13969(2007).

3.4 “WETLANDS” CONSTRUÍDOS (WC)

A palavra “*wetland*” da língua inglesa, em sua tradução literal para a língua portuguesa, significa pantanal ou banhado; ou seja, designa-se a áreas alagadas ou inundáveis. São nestes pequenos ecossistemas em que se desenvolvem componentes bióticos vegetais adaptados à sobrevivência em ambientes alagadiços ou inundados, possuindo vasta variabilidade biológica (VON SPERLING E SEZERINO, 2018). Nestes locais, a água, os vegetais e o solo, interagem de forma coligada, o que por sua vez permite contribuir com a reciclagem de nutrientes, obtida através de processos químicos, físicos e biológicos (VON SPERLING E SEZERINO, 2018).

Como forma de simular o funcionamento dos “*wetlands*” naturais, surgem os “*wetlands*” construídos (WC), conhecidos por sua capacidade filtrante, utilizando plantas do tipo macrófitas. Eles podem ser ditos como sistemas de engenharia, uma vez que são projetados a fim de utilizar-se dos processos naturais que envolvem a água, as plantas e o solo, assim como nos *wetlands* naturais. Forma-se assim, uma eficiente alternativa para o tratamento de águas residuárias (STEFANAKIS, AKRATOS E TSIHRITZIS, 2014).

Von Sperling e Sezerino (2018) descrevem os WC's como sistemas filtrantes que utilizam vegetação de macrófitas fixada a um substrato, através do qual o efluente percola durante um determinado tempo de detenção hidráulica. Geralmente, a implantação é realizada em um local que não possui as características de um *wetland* natural, com a função de controlar as impurezas provenientes das águas residuárias, viabilizando-a como uma alternativa eficiente no tratamento e pós-tratamento de efluentes. No referido sistema, o tratamento de efluentes ocorre por meio da ação radicular da vegetação e de bactérias e outros microrganismos presentes, juntamente com o meio filtrante, desempenhando um processo otimizado e similar à autodepuração de matéria orgânica que ocorre em sistemas aquáticos. Na Figura 4, pode ser observado um exemplo de WC.

Figura 4 - Exemplo de *wetland* construído.



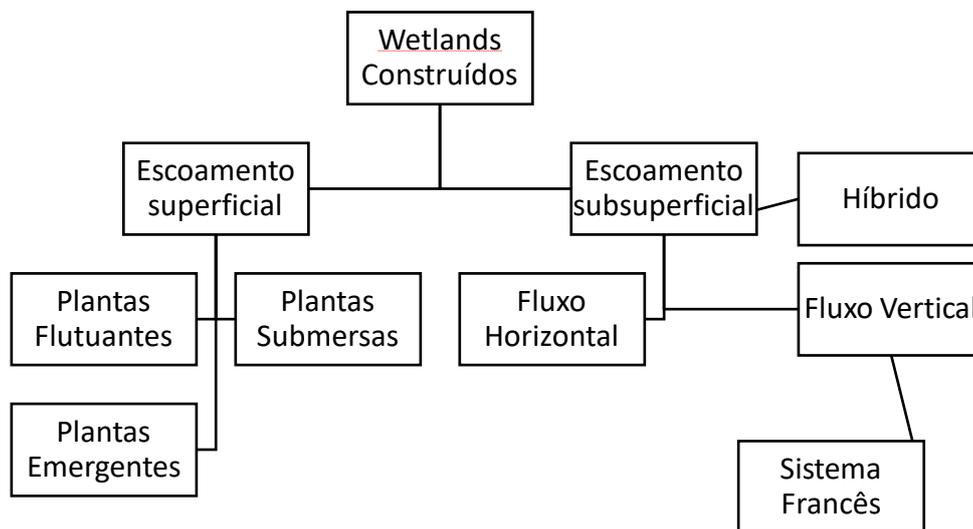
Fonte: Instituto da engenharia (2018).

3.4.1 Tipos de WC's

Na literatura, pode-se encontrar uma diversidade de tipologias e configurações possíveis para montagem de um sistema WC; dentre elas, podem ser citados: (i) WC de escoamento horizontal; (ii) WC de escoamento vertical; (iii) WC híbridos, que consistem em uma mescla dos tipos citados anteriormente; e (iv) o sistema francês, caracterizado como uma derivação do sistema vertical, entretanto possui a capacidade de tratamento de esgotos brutos (VON SPERLING E SEZERINO, 2018).. Destaca-se que existem diversos sistemas já em operação no Brasil como por exemplo as unidades avaliadas por Schroeder (2020).

Além dos WC já citados, que consistem em escoamento subsuperficial, objeto desta pesquisa, também se pode citar os WC que possuem escoamento superficial caracterizando-se pela presença de lâmina d'água. A Figura 5 demonstra através de um fluxograma, as principais variações de WC's conhecidas.

Figura 5 - Fluxograma de principais tipologias de WC's



Fonte: Autoria Própria (2023).

3.4.1.1 WC de escoamento horizontal (WCH)

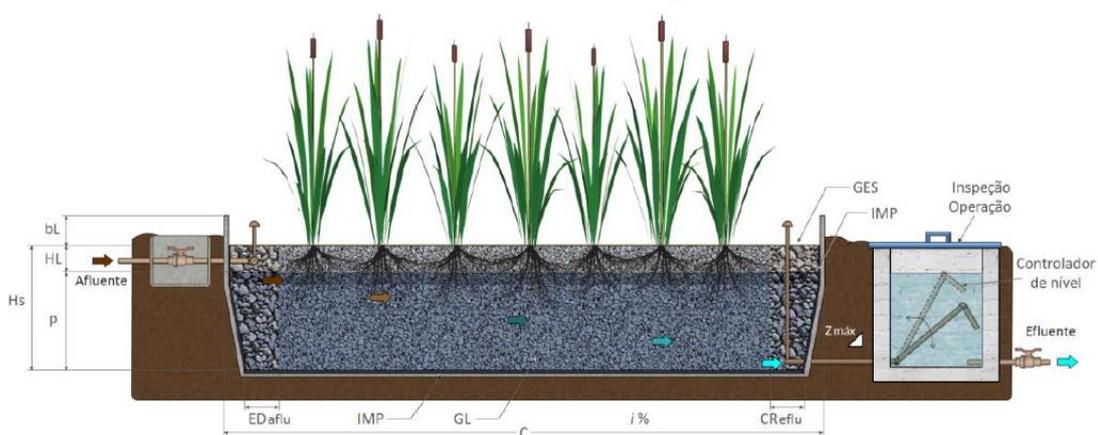
Em meados da década de 1990 surgem as primeiras unidades de *wetlands* construídos de escoamento subsuperficial horizontal, implantados como unidade de tratamento secundário de esgoto doméstico pós-tanque séptico, como alternativas

para as edificações em ambiente rural, sendo o estado de Santa Catarina protagonista nesse arranjo tecnológico (SEZERINO E PELISSARI, 2021).

Nos WC de escoamento horizontal subsuperficial (WCH), o efluente proveniente do pré-tratamento realizado pelos tanques sépticos é disposto na porção inicial do leito, denominada “zona de entrada”, que na maioria dos casos é composta por brita de granulometria superior. Na sequência, o efluente passa pela zona principal do leito, por onde irá escoar lentamente pelo substrato, com areia, brita e/ou cascalho, agindo como filtro, até atingir a porção final, no lado oposto ao de entrada, onde consiste também em um material filtrante composto por brita de maior porte denominada de “zona de saída” (VON SPERLING E SEZERINO, 2018).

O fluxo percola no sentido horizontal da seção longitudinal do WC, onde o nível do efluente líquido fica na parte inferior ao nível do material filtrante. Desta forma, a maior parte do material filtrante permanece submerso na parcela líquida, e as partículas suspensas no efluente, aderem ao material filtrante. A Figura 6 demonstra de maneira sistêmica, de que maneira é composto e como funcionam os WC's de escoamento horizontal subsuperficial.

Figura 6 – Perfil longitudinal esquemático de um WC de escoamento horizontal.



Legenda:

Hs - altura do meio suporte;
 p - profundidade útil do líquido;
 HL - distância vertical entre o nível superior do esgoto e o topo do meio suporte;
 Hs - altura do meio suporte (substrato);
 bL - borda livre; distância vertical entre o nível superior do meio suporte e o topo do talude ou parede.
 C - comprimento longitudinal;
 Zmáx - declividade máxima do talude interno (quando necessário);

IMP - impermeabilização (fundo e laterais);
 GES - granulometria da zona de entrada e saída;
 GL - granulometria do leito filtrante;
 ED aflu - zona de entrada e distribuição do afluente;
 CR eflu - zona de coleta e retirada do efluente;
 i % - declividade longitudinal de fundo.

Fonte: Von Sperling e Sezerino (2018).

De acordo com Sezerino et al. (2018), os WC's de escoamento horizontal possuem condições favoráveis à desnitrificação do efluente. Isto se deve ao funcionamento hidráulico desta tipologia de WC. Na zona de saída (Figura 6) há a presença de um controlador de nível que regula a saída, mantendo a zona filtrante sempre saturada, e essa saturação ocasiona um ambiente anaeróbio e/ou anóxico, o que por sua vez favorece a desnitrificação.

Os autores completam, demonstrando que a presença da vegetação resulta na passagem do efluente em zonas aeróbias localizadas na região das raízes das plantas, mesmo predominando as regiões anóxicas e anaeróbias dentro da zona saturada do material filtrante da presente modalidade.

Para determinar o dimensionamento dos WC's de escoamento horizontal, de acordo com Philippi e Sezerino (2004), a partir de modelos provenientes da cinética de primeira ordem, é apresentada a Equação (1), onde se expressa, como variável principal, a área superficial requerida considerando a vazão total de efluente a ser recebido pelos "WC", dentre outras variáveis envolvidas.

$$A = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{K \cdot p \cdot n} \quad (1)$$

Onde:

A = área superficial requerida (m^2);

Q = Afluente produzido (m^3 /dia);

C_o = concentração afluente em termos de $DBO_{5,20}$ (mg/l);

C_e = concentração efluente em termos de $DBO_{5,20}$ (mg/l);

K_T = constante de reação da cinética de primeira ordem (varia de acordo com a temperatura (adimensional));

n = porosidade do substrato, volume de vazios em relação ao volume total de material (m^3/m^3);

p = profundidade do maciço filtrante (m);

Bergosso (2009) descreve que é possível converter a constante K_{20} , que por sua vez é uma variável de K_T utilizando a equação empírica modificada por van't Hoff-Arrhenius, assim será possível obter a constante para a temperatura média do ambiente (mês mais frio do ano) em que será projetado o "WC" (Equação (2)).

$$K_T = K_{20} \cdot 1,06^{T-20} \quad (2)$$

Onde:

K_T = constante de reação da cinética de primeira ordem, dependente da temperatura T (d⁻¹)

K_{20} = Constante de reação a 20°C (d⁻¹);

T = Temperatura crítica (mês mais frio);

De posse das variáveis citadas anteriormente, procede-se então o cálculo do volume útil do “WC” de escoamento horizontal através da Equação (3).

$$V = A \cdot p \quad (3)$$

Onde:

V = Volume do WC (m³);

A = área superficial requerida (m²);

p = profundidade do maciço filtrante (m);

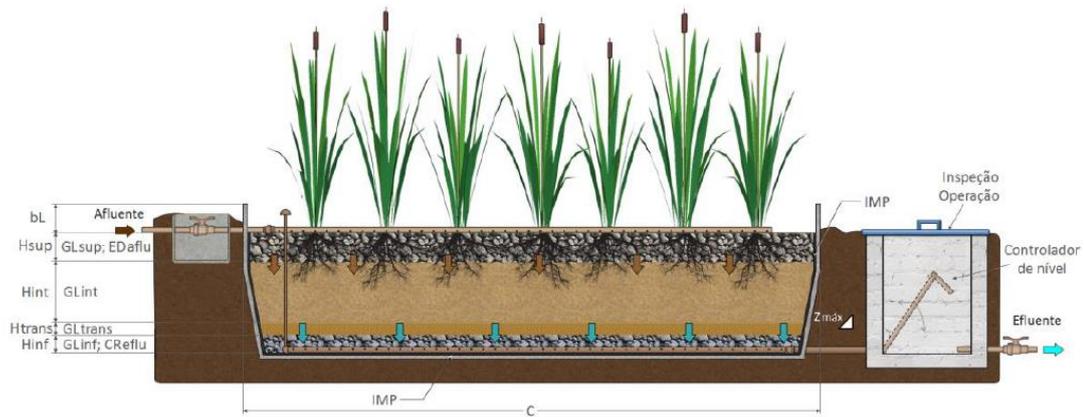
Além disso, o dimensionamento de WCH, para a realidade brasileira, pode ser feita de acordo com o Boletim Wetlands Brasil.

3.4.1.2 WC de escoamento vertical (WCV)

Outra modalidade de WC é a de escoamento vertical, onde o efluente a ser tratado é distribuído de maneira uniforme em toda a superfície da unidade de tratamento, geralmente de maneira alternada (batelada). Dessa forma, o fluxo do esgoto assume uma trajetória descendente, através da gravidade, passando pelo sistema radicular das macrófitas e do material filtrante (VON SPERLING; SEZERINO, 2018). O material filtrante geralmente é composto por areia, e o efluente passante pelo filtro é coletado na parte inferior através de um sistema de drenagem como é demonstrado na Figura 7.

Nessa tipologia, diferentemente do sistema de escoamento horizontal, o meio não permanece saturado, isto é, os espaços vazios entre os grãos do meio suporte não estão preenchidos com líquido, mas sim com ar, e dessa forma, prevalecem as condições aeróbias no material filtrante (VON SPERLING; SEZERINO, 2018).

Figura 7 - Perfil longitudinal esquemático de um WC de escoamento vertical



Legenda:

Hsup - altura da camada superior do meio suporte (camada opcional);	GLsup - granulometria do leito na camada superior do meio filtrante;
Hint - altura da camada intermediária, principal, de filtração;	GLint - granulometria do leito na camada intermediária, principal, de filtração;
Htrans - altura da camada de transição;	GLtrans - granulometria do leito na camada de transição
Hinf - altura da camada inferior, de drenagem;	GLinf - granulometria do leito na camada inferior, de drenagem;
bL - borda livre; distância vertical entre o nível superior do meio suporte e o topo do talude ou parede	ED aflu - zona de entrada e distribuição do afluente, na camada superior do meio filtrante;
C - comprimento;	CR eflu - zona de coleta e retirada do efluente na camada de drenagem, no fundo.
Zmáx - declividade máxima do talude (quando necessário);	
IMP - impermeabilização (fundo e laterais);	

Fonte: Von Sperling e Sezerino (2018).

Decezaro *et al.* (2019) destacam que a taxa de transferência de oxigênio tem um impacto significativo no projeto e operação WCV destinadas à remoção de matéria orgânica e nitrificação, ainda que a participação do mesmo é de fundamental importância, os dados de entrada real de oxigênio em WCV são limitadas, sendo geralmente estimadas por balanço de massa, onde é calculada apenas a taxa de consumo de oxigênio.

Cooper *et al.* (1996) discorrem sobre o lançamento intermitente de afluente sobre a superfície da unidade, fazendo com que haja grande concentração de oxigênio no interior do material filtrante, através de ações de convecção e difusão. À medida que uma nova alimentação é realizada, a quantidade de oxigênio é renovada juntamente com o oxigênio já disposto na massa sólida, e dessa forma provoca, nos interstícios e superfície do material filtrante, elevada degradação aeróbica. Tal afirmação, também pode ser observada em Hoffmann *et al.* (2011).

Diferentemente dos WC's de escoamento horizontal, Hoffmann *et al.* (2011) expõem que os de escoamento vertical necessitam da ação de uma bomba para a que a alimentação do sistema ocorra de maneira intermitente, o que torna o sistema mais oneroso em relação à implantação, operação e manutenção. Porém, em algumas situações onde a topografia é favorável a implantação das unidades é possível a utilização de um sifão para desempenhar tal função. Da mesma forma como acontece nos sistemas horizontais, a vegetação tem a capacidade de transferir oxigênio e liberá-lo dentro do substrato através da região das raízes, porém trata-se de uma pequena concentração quando comparado com a transferência de oxigênio gerada pela alimentação alternada, assunto esse que ainda é amplamente debatido dentre os autores especializados. (NIVALA *et al.*, 2013; COOPER *et al.*, 1996; DECEZARO *et al.*, 2019).

O dimensionamento dos "WC" de escoamento vertical pode ser determinado através de três metodologias distintas, sendo elas através de relação de área per capita, carregamento orgânico superficial e taxa hidráulica ou então através do balanço de oxigênio, apresentada por Johansen e Brix (1996) apud Bergosso (2009). No entanto como em senso comum dentre diversos pesquisadores do assunto, o Boletim Wetlands Brasil estabelece o dimensionamento relacionando à determinação da área superficial requerida, do número de unidades em paralelo e das dimensões das unidades, bem como à estimativa das concentrações efluentes. Objetiva-se com esse dimensionamento a remoção de matéria orgânica. Abaixo segue a sequência de dimensionamento conforme descrito no boletim.

a) Dados de entrada relativos à vazão e à carga de DBO afluentes.

$$\text{Carga de DBO do esgoto bruto} = \text{Carga per capita} \times \text{População} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Carga de DBO afluyente aos WC} & \quad (5) \\ & = \text{Carga de DBO do esgoto bruto} \times \left(1 - \frac{\text{Eficiência de remoção do tratamento prévio}}{100}\right) \end{aligned}$$

- b) Cálculo da área superficial requerida usando o conceito da taxa de aplicação orgânica superficial.

$$\text{Área superficial requerida} = \frac{\text{Carga de DBO afluente aos WC}}{\text{Taxa de Aplicação orgânica superficial}} \quad (6)$$

- c) Verificação da taxa de aplicação hidráulica superficial resultante

$$\begin{aligned} \text{Taxa de Aplicação hidráulica superficial resultante} \\ = \frac{\text{Vazão média afluente aos wetlands}}{\text{Área superficial requerida}} \end{aligned} \quad (7)$$

- d) Determinação do número de unidades em paralelo

$$\text{Área de cada unidade} = \frac{\text{Área total}}{\text{Numero de unidades em paralelo}} \quad (8)$$

- e) Determinação do comprimento e largura de cada unidade

$$\text{Área de cada unidade} = \text{Comprimento} \times \text{Largura} \quad (9)$$

- f) Determinação da profundidade útil e da altura do meio filtrante
 g) Cálculo do volume útil ocupado pelo líquido
 h) Especificação da granulometria do leito filtrante
 i) Detalhes adicionais relacionados aos cálculos de processo
 j) Estimativa das concentrações efluentes
 k) Detalhes construtivos e operacionais.

3.4.1.3 WC de escoamento híbrido (WCSH)

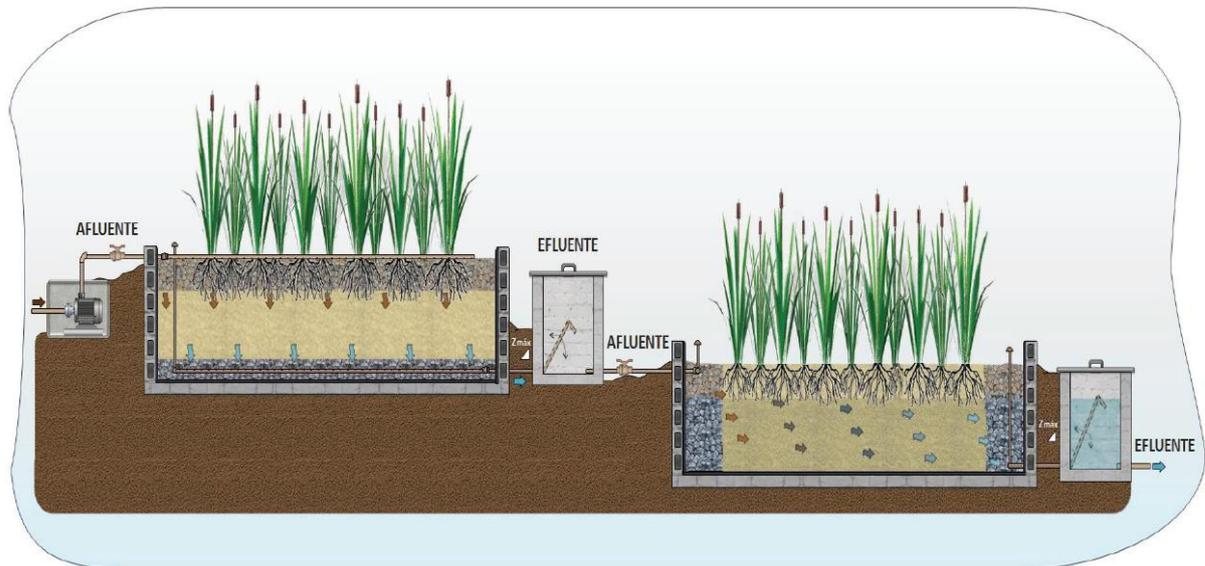
Além dos sistemas já citados, Sezerino *et al.* (2018) também caracterizam uma terceira modalidade de configuração para os WC's, denominado de sistema híbrido. Sua principal característica consiste em arranjos onde são dispostas diferentes modalidades de WC integrados em sequência. A principal característica dos sistemas híbridos é otimizar a capacidade de remoção de agentes poluidores, uma vez que a combinação dos dois sistemas potencializa as características positivas de cada um.

Basicamente, a composição convencional de um sistema híbrido consiste em um arranjo entre o sistema vertical descendente após a passagem do efluente pelas unidades de WC com sistema horizontal subsuperficial, promovendo assim a desnitrificação do efluente final (DECEZARO *et al.*, 2019). Assim são produzidos

efluentes com baixa concentração de DBO e nitrogênio total como citam Vymazal (2005) e Sezerino (2006).

A Figura 8 expõe a composição de um sistema híbrido, através de um esquema sistêmico de um perfil longitudinal, identificando os principais itens que o compõe.

Figura 8 - Perfil longitudinal esquemático de uma modalidade de WC híbrido (WCV seguido de WCH)



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

Para o dimensionamento do sistema híbrido, como o próprio nome já pressupõe, serão combinadas as duas metodologias, horizontal e vertical, como apresentadas anteriormente.

3.4.1.3 WC sistema Francês (WCSF)

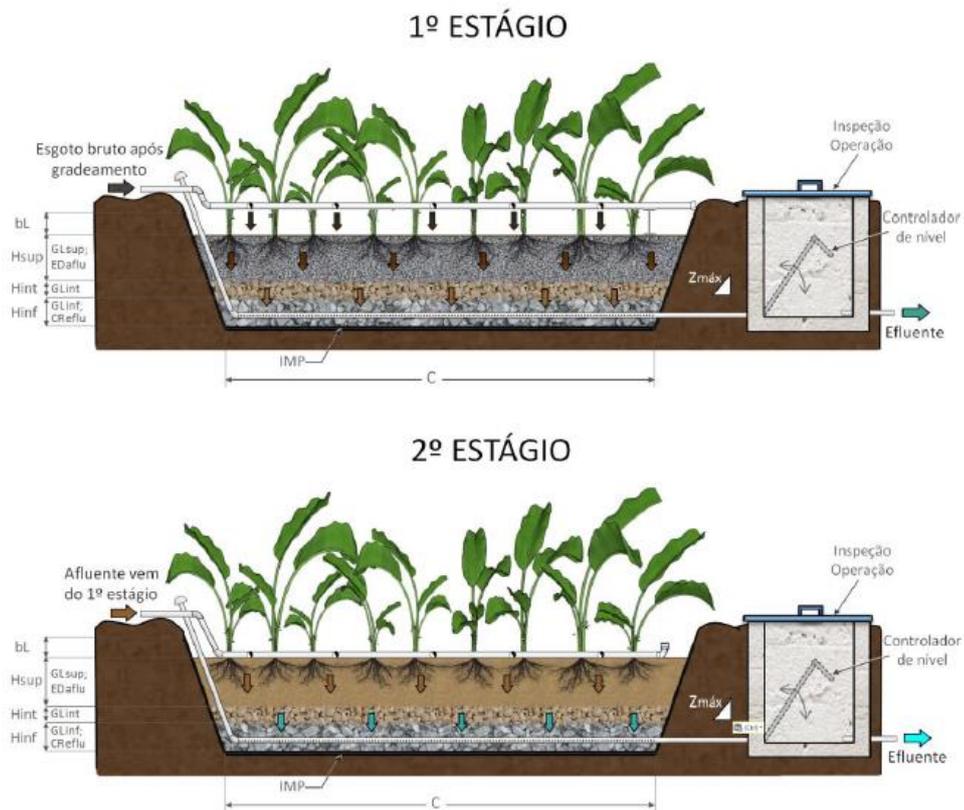
Uma das desvantagens apresentados em sistemas de WC, em um contexto geral, na medida em que ocorrem os processos físicos como adsorção, sedimentação e filtração, químicos e biológicos como degradação e absorção, há a retenção de partículas sólidas suspensas no afluente, acarretando na formação e crescimento de biofilme, aumento da quantidade de raízes da vegetação, geração de precipitados insolúveis e degradação do substrato que, por fim, obstruem os poros do meio filtrante. Esse fenômeno que compromete a porosidade, e também a eficiência do meio filtrante, é denominado de colmatação (TREIN *et al.*, 2020).

Com o intuito de prevenir a colmatção, de maneira geral, os sistemas horizontais e verticais são projetados apenas para o tratamento de afluentes que já passaram por um tratamento primário, através de um tanque séptico por exemplo. No entanto, na França, comumente têm sido utilizados com sucesso os sistemas verticais para o tratamento de esgoto bruto, não sendo necessária assim, a implantação de tanques sépticos para o tratamento primário como é exposto por Dotro *et al.* (2017).

De acordo com Von Sperling e Sezerino (2018), os WC's verticais do sistema Francês clássico são caracterizados por uma sequência de dois estágios, uma vez que o primeiro estágio recebe esgoto bruto, e o segundo estágio recebe o efluente tratado no primeiro estágio. Vale lembrar que o lançamento do esgoto bruto no primeiro estágio só é possível após o gradeamento do mesmo, evitando que partículas sólidas de maior tamanho adentrem ao sistema.

O sistema Francês forma assim um sistema composto exclusivamente por WC's. A Figura 9 mostra em detalhes o esquema do sistema francês de 1º e 2º estágio.

Figura 9 - Perfil longitudinal esquemático de um WC de sistema francês



Legenda:

Hsup - altura da camada superior do meio suporte (camada principal, de filtração);	Glsup - granulometria do leito na camada superior do meio filtrante;
Hint - altura da camada intermediária, de transição;	Glint - granulometria do leito na camada intermediária;
Hinf - altura da camada inferior, de drenagem;	Glinf - granulometria do leito na camada inferior, de drenagem;
bL - borda livre;	ED afl - zona de entrada e distribuição do afluente;
C - comprimento;	CR efl - zona de coleta e retirada do efluente.
Zmáx - declividade máxima do talude (quando necessário);	
IMP - impermeabilização (fundo e laterais);	

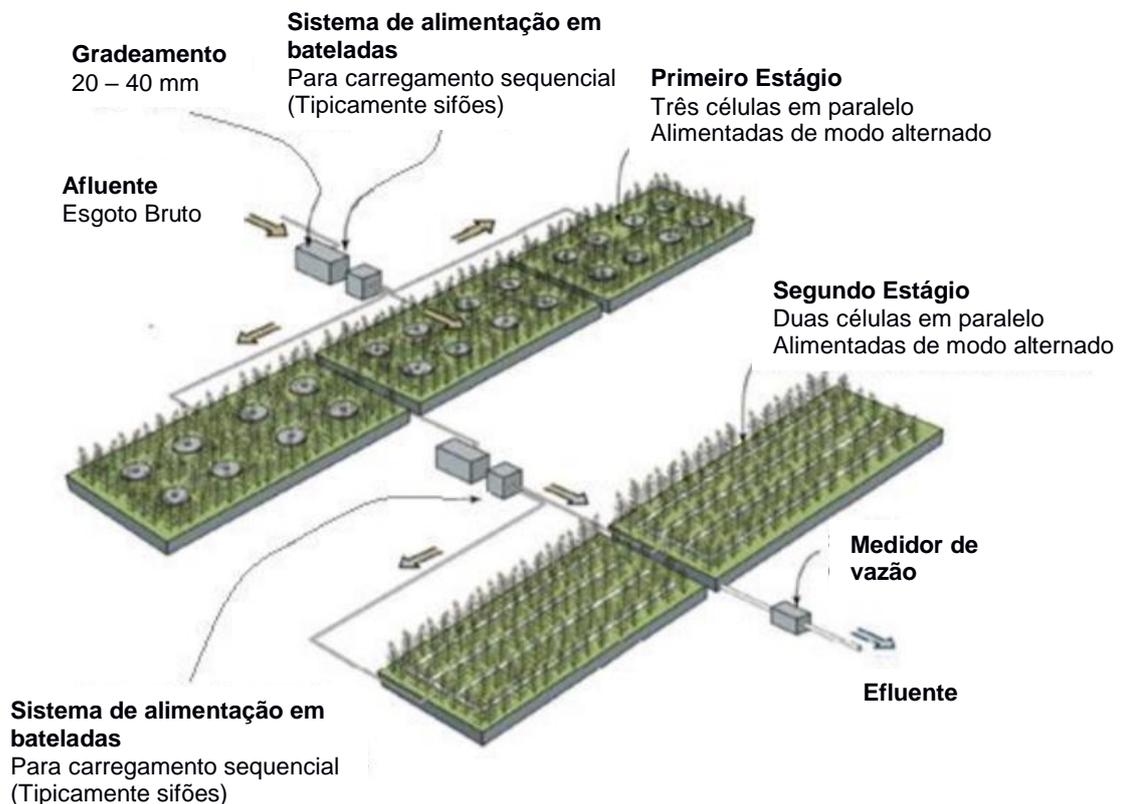
Fonte: Von Sperling e Sezerino (2018).

Assim como nos sistemas verticais convencionais, o afluente é distribuído na superfície do leito e o escoamento é vertical descendente. O primeiro estágio tem por objetivo principal a retirada de material orgânico e partículas sólidas em suspensão, também auxiliando no processo de nitrificação (SEZERINO et al., 2015). Já o segundo estágio proporciona um refinamento do tratamento, também em termos de remoção complementar de matéria orgânica e sólidos em suspensão, mas, principalmente no processo de nitrificação onde ocorre a transformação do nitrogênio amoniacal em nitrato (METCALF e EDDY, 2016).

Dotro *et al.* (2017) ainda complementam que tal sistema possui no primeiro estágio, três filtros em paralelo, com fases alternadas de alimentação e repouso

(usualmente 3,5 dias de alimentação e 7 de repouso). Além disso, durante os dias de alimentação, recebem o esgoto bruto em forma pulsativa ou batelada. A alternância garante o controle do crescimento da biomassa, mantêm as condições aeróbias e mineraliza os depósitos orgânicos retidos na camada superficial, combatendo a ocorrência de colmatação. Na Figura 10 é demonstrada a configuração básica do sistema francês, onde o primeiro estágio é composto por três unidades em paralelo, sendo uma unidade em operação e duas unidades em descanso, e na sequência, no segundo estágio, consiste em por duas unidades em paralelo, sendo uma unidade em operação e uma unidade em descanso (VON SPERLING; SEZERINO, 2018).

Figura 10 - Detalhe das unidades de cada estágio de um sistema Francês



Fonte: Adaptado de Dotro *et al.* (2018).

Trein (2015) relata que o dimensionamento de “WC’s” de escoamento vertical, em síntese, depende das cargas orgânicas e hidráulicas aplicadas sobre a superfície do mesmo, tendendo a proporcionar um ambiente aeróbio e evitar a colmatação do meio filtrante. Uma vez que os “WC’s” do sistema Francês consistem em uma derivação dos sistemas verticais, permite-se considerar que o dimensionamento de

tal sistema corresponde equivalentemente ao que já foi exposto anteriormente, desde que respeitados seus próprios limites, impostos a partir de dados empíricos. Desta forma, Platzer (1999) e Molle et al. (2005) apresentam recomendações básicas para o dimensionamento de “WC” em sistema francês, as quais servirão de referência para o dimensionamento para esta pesquisa.

- Carga orgânica aplicada (g DQO/m².d e g SS/m².d): deve limitar-se a valores de aplicação máximos de 300 g DQO/m².d e 150 g SS/m².d para o leito em que está recebendo a aplicação de efluente;
- Taxa hidráulica (m³/m².d): o filtro opera em altas cargas hidráulicas, atingindo até 0,37 m³/m².d, também para um leito;
- Relação área/pessoa (m²/E.P.): a área superficial recomendada é de 2 – 2,5 m²/E.P para o arranjo de 2 estágios e 1,2 – 1,5 m²/E.P. para o estágio único, para todos os leitos filtrantes.

3.4.2 Aplicação de WC ao tratamento de esgotos domésticos em loteamentos

Medeiros (2017) realizou um estudo sobre a aplicação de WC para o tratamento de esgoto em loteamentos, condomínios e comunidades isoladas, onde o autor verificou que os WC's demonstraram serem alternativas robustas quando empregadas no tratamento de águas residuais domésticas, podendo ser apresentada como uma ecotecnologia que pode ter aplicabilidade em diversas regiões do país, tanto em áreas urbanas ou rurais que possam não ser atendidas por rede pública de coleta de esgoto sanitário ou que possuem fossas rudimentares, ou ainda não possuem nenhuma solução.

O autor também destacou que os WC's têm grande potencial para utilização como área verde urbana em loteamentos e condomínios, pois atendem, em grande parte, aos quesitos legais e às características funcionais aplicáveis às áreas verdes urbanas. Ainda Medeiros (2017) descreve que áreas destinadas aos WC's quando utilizados como área pública do loteamento ou como também como área verde em loteamentos e condomínios de terrenos pode favorecer a escolha pela instalação da ecotecnologia.

3.5 IMPLANTAÇÃO E OPERACIONALIZAÇÃO DOS SISTEMAS

Seja qual for a tipologia ou configuração de WC utilizada, durante sua implantação devem ser observados determinados aspectos importantes para o bom funcionamento do sistema posteriormente. Benassi *et al.* (2018) e Sezerino *et al.* (2015) elencam alguns aspectos a serem observados:

- Deve-se sempre optar por transplantar mudas de macrófitas retiradas de local próximo, pois estas estão mais adaptadas ao clima local, e sempre que possível realizar tal processo em período chuvoso, a fim de minimizar condições de estresse hídrico para as plantas;
- A utilização de bombas deve, sempre que possível, ser evitada;
- Evitar tubulações de diâmetro estreito e válvulas, a fim de evitar obstruções do sistema.

Em relação à operação dos sistemas WC, ainda que de simples operação, Benassi *et al.* (2018) citam alguns cuidados essenciais com a finalidade de manter a eficiência do sistema, dentre elas podem ser citados alguns pontos, em destaque:

- Tubulações, válvulas e bombas devem ser inspecionadas e limpas periodicamente, em um intervalo de 5 a 15 dias, variando de acordo com a composição do efluente e diâmetro da tubulação utilizada, para evitar obstruções das instalações.
- Ervas daninhas, que eventualmente possam nascer junto à vegetação de macrófitas, devem ser removidas, pois algumas espécies podem comprometer a ação do rizoma das macrófitas, podendo inclusive suprimi-las;
- Plantas utilizadas em WC abastecidos com águas muito poluídas, ou até mesmo com esgoto bruto como no caso do sistema francês, tendem a se reproduzir e crescer rapidamente, exigindo um aumento na frequência de manutenção;

Benassi *et al.* (2018) ressaltam também que a adequada operação e manutenção de unidades de tratamento primário que antecedem os sistemas de WC, nos casos onde são necessários, são essenciais para a manutenção e prolongamento da vida útil do sistema. Assim, nos casos em que haja a presença de tanques sépticos ou qualquer outro tipo de pré-tratamento, é fundamental que ocorra a manutenção desse sistema, incluído a limpeza para remoção do lodo, de acordo com o tempo de manutenção à que foram projetados. Conseqüentemente, evitam-se a colmatação da

estrutura inicial e a introdução de concentrações elevadas de sólidos suspensos, que podem comprometer o funcionamento dos WCs.

3.6 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

Toda e qualquer obra de engenharia, para que tenha êxito desde sua concepção consultiva de projetos, até a perfeita execução do mesmo, deve ter planejamento de custos envolvidos. Embora haja diversos fatores que influenciam os custos de uma obra, um, em especial, ganha destaque neste cenário que consiste na precisão com relação à quantificação dos insumos e na mão de obra de um determinado projeto. Este é um dos principais objetos de estudos quando se trata de engenharia de custos.

Dias (2011) define a engenharia de custos como sendo a área da engenharia onde princípios, normas, critérios e experiência são utilizados para resolução de problemas de estimativa de custos, avaliação econômica, de planejamento e de gerência e controle de empreendimentos. O autor vai além e discorre que a mesma também serve de propósito para a elaboração de bancos de dados juntamente com as composições analíticas de custo dos serviços para um determinado projeto, utilizando como referência dados obtidos em obras que vão sendo executadas, uma vez que isto virá servir de embasamento para a orçamentação de projetos futuros.

Ainda Dias (2011) chama a atenção pelos inúmeros bancos de dados de composições físicas de serviços de engenharia, geralmente, operados por órgãos governamentais, apresentando um bom padrão técnico e com agilidade e precisão na atualização de preços básicos. Porém, é importante destacar que a utilização indiscriminada dos preços de referências pode gerar erros grosseiros no custo final de um projeto.

Costa e Serra (2014) destacam que na fase inicial de análise de viabilidade de uma obra, a orçamentação é uma das principais ferramentas gerenciais e possui diferentes características ao longo do projeto. É possível determinar baseando-se em estimativas de custos ou também detalhando de forma global todos os serviços da obra. Neste caso, deve-se fazer um levantamento detalhado dos quantitativos de materiais, serviços e equipamentos envolvidos.

3.6.1 Quantificação dos insumos e mão de obra

Para que haja precisão na previsão de custos, é imprescindível a atenção a todo e qualquer detalhe do projeto que envolva o critério econômico. A correta quantificação dos insumos e serviços envolvidos é primordial para geração do levantamento de custos, uma vez que é a partir do somatório dos itens individuais que custo final da obra será concebido (TISAKA, 2007).

Conforme Mattos (2006), para a construção de uma base de quantitativos, são necessárias diversas informações fundamentais que estão inseridas nos projetos executivos, nos critérios de medição de áreas, volumes e serviços, nos índices de dimensionamento do trabalho e no conhecimento sobre a tecnologia e técnica do serviço construtivo a ser executado. Como forma prática, para elaboração das quantidades de materiais e serviços, são utilizadas planilhas orçamentárias, com o auxílio das Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos – TCPO, é possível, a partir de coeficiente de consumo, quantificar de maneira individual cada item inserido a uma determinada composição de serviços, sendo possível então obter tanto as quantidades de materiais quanto aos serviços da composição geral do item (TCPO, 2018).

Ainda para Mattos (2006), mesmo com a prática comumente difundida de se obter as quantidades de serviços e insumos, percebem-se os inúmeros problemas que surgem no processo de elaboração de orçamentos na construção civil, dentre eles podem ser citados:

- Falhas e incompatibilidade de projetos;
- Planejamento inadequado;
- Erros no levantamento de quantitativos;
- Falta de informações sobre os índices de dimensionamento;

Esses, por sua vez, podem provocar divergências orçamentárias, acarretando em elevação massiva nos custos de obra.

3.6.2 Orçamentação

O TCPO (2018) trata a elaboração de um orçamento como fundamental para o sucesso de construtores, incorporadores e contratantes de obras públicas ou privadas, não constituindo de um exercício de adivinhação arbitrária. Manter uma base de composições consolidada é fundamental para a composição de um orçamento

preciso e detalhado. Lembrando que se atribui ao profissional da área de orçamentos, elencar e quantificar os serviços envolvidos e necessários para a execução de uma obra, pois é a partir deles que se torna possível a associação com as composições dispostas na TCPO.

De acordo com Tisaka (2007) para início dos serviços de elaboração de um orçamento, o engenheiro orçamentista tem como demanda diversas etapas preliminares fundamentais, iniciando-se pela leitura preliminar do projeto, definição de critérios e unidades de medição, consulta a indicadores de engenharia, composição de serviços, coleta de preços, para que ai sim seja possível elaborar o custo final de determinado projeto.

3.7 CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Diversos custos envolve a utilização de WC's como alternativa de tratamento de águas residuárias, principalmente quando aplicado a tratamentos de forma coletiva e descentralizada. Dentre estes custos, Schroeder (2020) destaca itens básicos que compõem os custos de operação e manutenção, dentre eles é possível citar custos com energia elétrica para acionamento das bombas para alimentação das unidades, onde também para tal função pode ser adotado sifões dosadores dimensionados de acordo com as unidades de WC's, caso a topográfica local seja favorável, que por sua vez não requerem utilização de energia elétrica, no entanto necessitam de cuidados e monitoramento constante, envolvendo mão de obra humana para tal ação.

O autor supracitado ainda destaca a necessidade de operadores qualificados para operação da unidades, uma vez que as mesmas não requerem monitoramento de maneira contínua, mas necessitam que as atividades sejam verificadas constantemente a fim de garantir o bom desempenho das unidades. Ainda é possível citar a poda das macrófitas, a remoção de espécies invasoras que por ventura possam se proliferar junto as plantas, e cuidados com entupimentos das tubulações e acionamento de registros ou outra válvulas não automatizadas (VON SPERLING e SEZERINO, 2018).

3.8 PARCELAMENTO DE SOLO

De acordo com a lei federal 6.766/1979 que dispõe sobre a legalidade dos processos de parcelamento de solo, existem três principais tipos de parcelamento, sendo eles:

- **Loteamento urbano:** Consiste na subdivisão da gleba em lotes, com a abertura de novas vias e implantação de infraestrutura para as unidades a serem implantadas. Nesta modalidade, o empreendimento precisa ter 35% da área total líquida da gleba destinada ao domínio público, sendo divididas em arruamento, áreas de equipamentos públicos e área verdes.
- **Condomínio:** Esta modalidade é muito semelhante aos loteamentos, no entanto, existem maiores restrições sobre a área da gleba que normalmente é menor que do loteamento. Quanto às áreas públicas exigidas, elas devem totalizar 45% da área total líquida da gleba. A diferença que, neste caso, as áreas públicas são divididas como áreas de uso comum proporcionais à área de cada unidade autônoma do condomínio, ficando sobre responsabilidade do condomínio e não da entidade pública.
- **Desmembramento ou fracionamento:** Já nesta outra modalidade, é quando se permite a utilização da distribuição da gleba em lotes, aproveitando-se dos arruamentos e da infraestrutura já existentes na localidade, sem que haja a necessidade de abertura de novas ruas, ou área de domínio público.

3.9 MÉTODO MULTICRITÉRIOS PARA TOMADA DE DECISÃO

Diversas são as metodologias multicritérios que servem para auxiliar o ser humano no processo de escolha e de tomadas de decisões. Os métodos multicritérios estudam maneiras de confrontar as diversas variáveis envolvidas no problema, baseando em critérios pré-estabelecidos com a finalidade de auxiliar a tomada de decisões quando porventura possa haver conflitos de interesses (BORRETO; COMINO; RIGGIO, 2011). Diversos métodos de tomada de decisão multicritério podem ser citados. Alguns exemplos mais difundidos são:

- Método de Análise Hierárquica (AHP, Analytic Hierarchy Process);

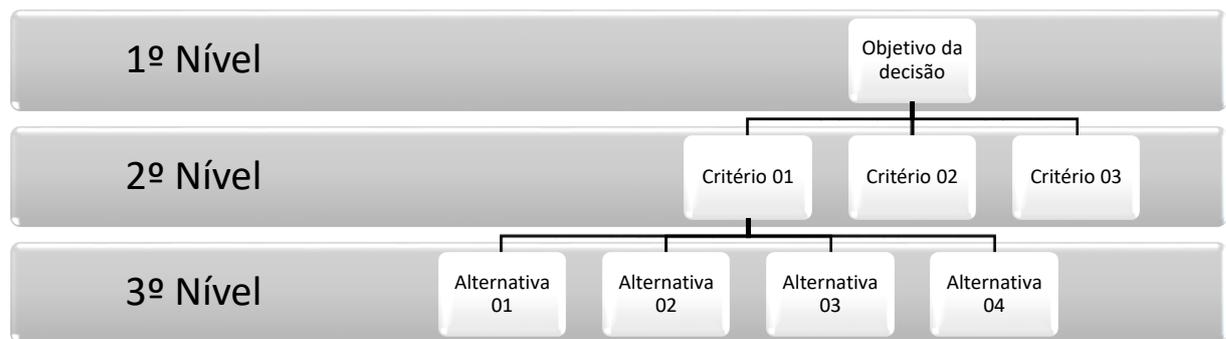
- Método de Análise em Rede (ANP, Analytic Network Process);
- ELECTRE (Elimination et Choix Traduisant la Réalité);
- PROMETHEE (Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation);
- MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique);
- TODIM (Tomada de Decisão Interativa Multicritério);
- TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution);
- MAUT (Multiple Attribute Utility Theory).

A metodologia para tomada de decisão multicritério utilizada nesta pesquisa foi o Método de Análise Hierárquica – AHP. É amplamente utilizado para os mais diversos problemas que envolvem escolhas baseadas em critérios e hipóteses. De acordo com Schroeder (2020), o AHP se enquadra a este tipo de pesquisa devido à sua ampla aplicação em problemas de tomada de decisão, uma vez que considera simultaneamente elementos tangíveis e intangíveis para a avaliação dos métodos, através do uso de dados reais e de decisões subjetivas da equipe de tomada de decisão.

O AHP pode ser dividido basicamente em três níveis distintos, onde primeiramente será definido como 1º nível o objetivo da decisão, no qual se busca escolher qual a tipologia avaliada mais viável de implantação. E para que tal decisão possa ser tomada, diversos critérios deverão ser avaliados, o que se pode chamar de indicadores de avaliação, que consistem nos indicadores ambientais, econômicos e sociais, formando assim o segundo nível da AHP. Já o terceiro nível são as variáveis envolvidas para avaliar cada critério, onde poderão ser analisadas e classificadas devido a sua importância envolvida dentro do critério em que a mesma está inserida (BORRETO; COMINO; RIGGIO, 2011). A

Figura 11 mostra um fluxograma que destaca de que maneira se procede a AHP.

Figura 11 - Fluxograma demonstrativo da AHP



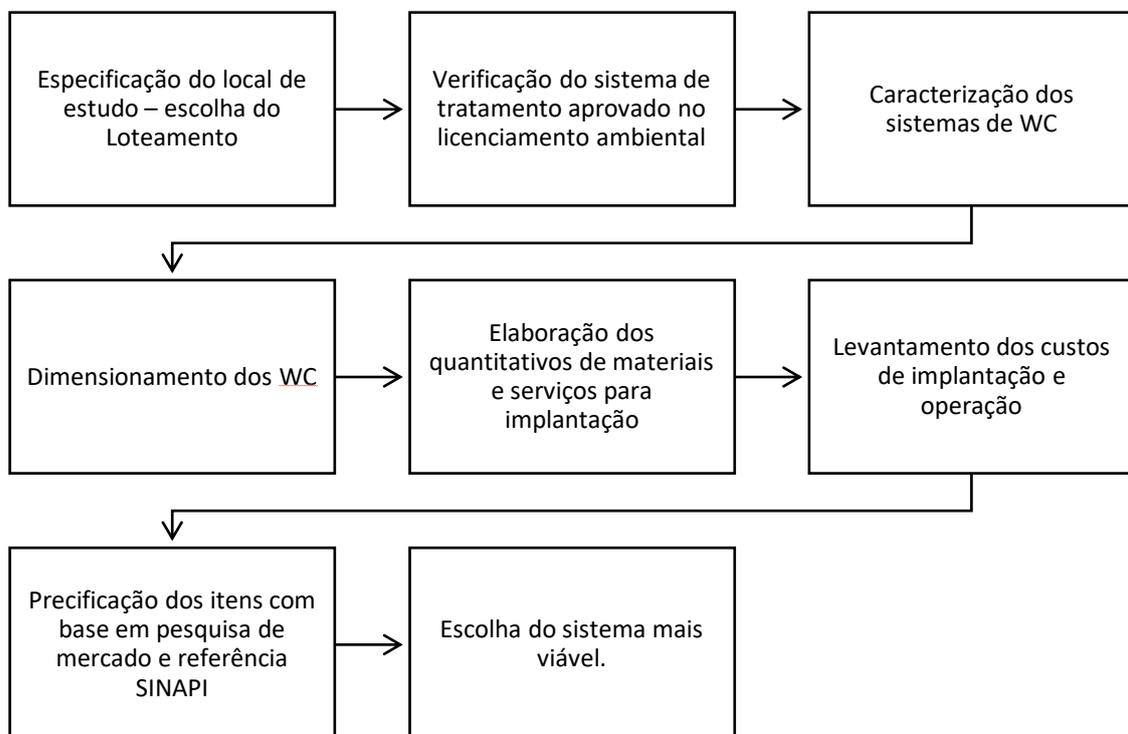
Fonte: Autoria Própria (2023).

4 METODOLOGIA

A metodologia descrita apresentou um estudo de caso onde estabeleceu uma comparação, com o intuito de verificar a viabilidade de implantação de sistemas WC como tecnologia de tratamento de efluentes domésticos proveniente de residências em um determinado loteamento localizado no município de Frederico Westphalen/RS. A pesquisa caracterizou-se por seu caráter exploratório, uma vez que se buscou investigar a possibilidade de utilização de *wetlands* construídos como sistema de tratamento de esgoto, seja ele como tratamento primário, ou como pós-tratamento.

Como proposto nos objetivos, o estudo de viabilidade do programa experimental foi dividido em diversas etapas, visando o encaminhamento adequado da pesquisa. A Figura 12 mostra o fluxograma de processos metodológicos desenvolvidos na pesquisa.

Figura 12 - Fluxograma de processos metodológicos.



Fonte: Autoria Própria (2023).

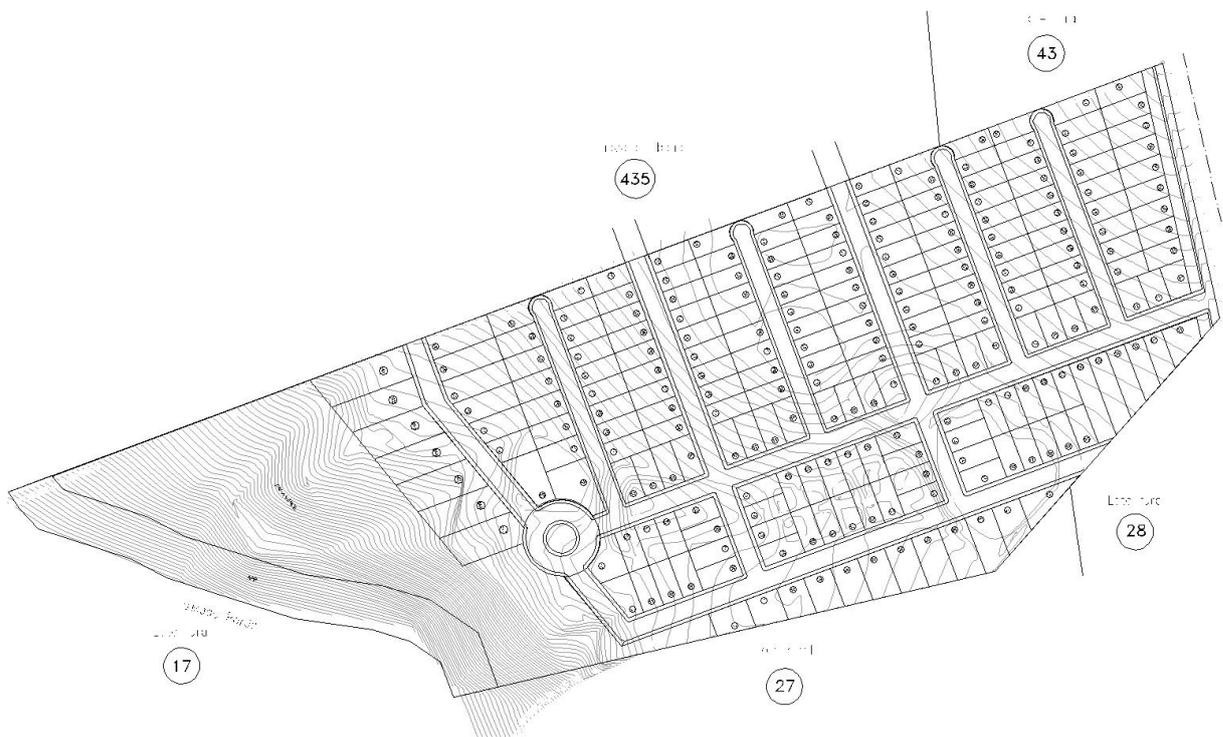
4.1.1 Escolha do loteamento

A primeira etapa constituiu-se na seleção de um loteamento em processo de implantação no município de Frederico Westphalen. Para o loteamento escolhido não

foi exposto sua autoria e propriedade, a fim de evitar contratempos éticos, que possam provocar problemas comerciais futuros. O loteamento tem uma área total 165.324,19 m² e conta com um total de 8 chácaras urbanas e 211 lotes urbanos, destinados a edificações residenciais, constituindo um total de 65% da área total do loteamento. Os demais 35% de área são destinados a áreas verdes e áreas de equipamentos públicos.

De maneira preliminar, é apresentada, na Figura 13, a planta baixa do projeto urbanístico, juntamente com a planialtimetria da área. A mesma planta é apresentada no Apêndice I.

Figura 13 - Loteamento adotado para o estudo



Fonte: Autoria Própria (2023).

Para a estimativa da população para ocupação do loteamento, foi considerada uma média de 4 pessoas por lote, o que por sua vez totalizou 384 pessoas.

O local do loteamento escolhido foi determinado a partir da verificação da região com maior potencial de crescimento territorial urbano, verificado juntamente à Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente da Prefeitura Municipal do município. O critério de verificação foi a região com maior número de projetos de parcelamento de solo já aprovados e com solicitações realizadas.

O licenciamento ambiental para instalação prevê, como forma de tratamento para o esgoto gerado nos lotes, o sistema já comumente utilizado no município, que consiste no sistema FFS – Fossa séptica, filtro anaeróbio e sumidouro, instalado individualmente para cada residência. Nesse sistema, a última etapa é constituída pela disposição final e pode haver variações entre sumidouro, vala de infiltração, ou até mesmo disposição final nas galerias pluviais após passar por caixa cloradora. No caso da utilização de sumidouro ou vala de infiltração, o laudo geológico realizado para tal concluiu que o coeficiente de infiltração do solo da região é de 42 litros/dia, dado este importante para o dimensionamento dos elementos de disposição final do efluente tratado.

Com posse dos projetos urbanísticos e topográficos do loteamento, como consta na Figura 13, foram pré-dimensionadas as tubulações para condução do efluente até o local de implantação dos WC's. O local escolhido para a implantação dos WC foi o mais favorável topograficamente, a fim de evitar sistemas complementares para condução do efluente, como por exemplo, estações de bombeamento.

4.1.2 Estimativa de custo de implantação da infraestrutura do loteamento.

Para comparar os valores de custo de implantação dos sistemas WC's foi realizada estimativa de custo de implantação de toda a infraestrutura básica exigida pela Lei 6766/1979 e pela lei que institui o plano diretor do município de Frederico Westphalen/RS. De forma geral, utilizando valores do SINAPI, consideraram-se os seguintes itens para estimar o valor médio para execução do loteamento. Abaixo segue a Tabela 1, fornecida pelo proprietário do loteamento onde são demonstrados os custos de implantação para o referido empreendimento.

Nesta planilha orçamentária, no que compete ao item 5.0 não foi definido um valor para o sistema de tratamento de esgoto doméstico sanitário, uma vez que tal valor será definido por este estudo como forma de proposta mais viável para o empreendimento.

Tabela 1 - Planilha de estimativa de custos de implantação do loteamento.

Item	Descrição	Unid.	Quant.	Custo unit	Custo total
1.0	Instalação, Mobilização e Desmobilização do Canteiro de Obras	Verba	1,00	12.120,00	12.120,00
2.0	Supressão Vegetal	Verba	1,00	12.120,00	12.120,00
3.0	Terraplanagem (Abertura de Ruas e Vias de Acesso)	m ²	34.888,09	12,00	418.657,08
4.0	Sistema de Esgotamento Pluvial	m	1.346,00	100,00	134.600,00
5.0	Sistema de Tratamento de Esgoto Doméstico Sanitário (A ser definido neste estudo)	-	-	-	-
6.0	Rede Coletora do Efluente Doméstico Sanitário Tratado	m	3.097,00	102,50	317.442,50
7.0	Sistema de Abastecimento de Água Potável - CORSAN	m	3.744,16	110,00	411.857,60
8.0	Sistema de Energia Elétrica e de Iluminação Pública - CRELUZ	Lotes	222,00	2.424,00	538.128,00
9.0	Pavimentação Asfáltica - Ruas	m ²	22.485,70	100,00	2.248.570,00
10.0	Pavimentação de Concreto - Passeios Públicos	m ²	6.226,70	30,00	186.801,00
11.0	Sinalização Horizontal (Pintura)	m ²	489,00	25,00	12.225,00
12.0	Sinalização Vertical (Placas)	Unid	27,00	250,00	6.750,00
13.0	Rampas de Acessibilidade	Unid	58,00	200,00	11.600,00
14.0	Praça Pública	Verba	1,00	12.277,82	12.277,82
				Total Geral	4.323.149,00

4.1.3 Dimensionamento dos sistemas WC's

Para o dimensionamento dos WC's, foram utilizados parâmetros baseados em demais estudos da área que monitoraram o funcionamento de diversos sistemas. De acordo com bibliografias encontradas foi possível elaborar um resumo contendo alguns parâmetros já estudados e expostos por diversos autores, como detalhado anteriormente. Entretanto, cabe salientar que foram fundamentais os critérios de projeto analisados caso a caso, a fim de promover eficiência do sistema, compatibilizando critérios que contribuam para a máxima durabilidade, mínima manutenção, evitando o entupimento do sistema.

Diversas pesquisas ao longo dos anos vêm desenvolvendo metodologias distintas tanto entre suas configurações como quanto aos parâmetros iniciais de dimensionamento. Com o intuito de buscar um consenso entre os pesquisadores e praticantes da área de wetlands, surgiu o Boletim Wetlands Brasil, que descreve os principais critérios e parâmetros de projeto que podem ser utilizados para as três principais variantes do sistema (VON SPERLING; SEZERINO, 2018).

Assim, o dimensionamento das tipologias de WC, propostas nesta pesquisa, foi de acordo com o boletim, seguindo suas diretrizes e parâmetros sugeridos para cada variante de WC. Para cada um dos três sistemas, o boletim apresentou os seguintes itens como forma de diretriz inicial para o dimensionamento:

- Configuração do sistema (descrição, ilustração esquemática, características físicas);
- Critérios e parâmetros de projeto (critérios de projeto a fim de se calcular as dimensões principais das unidades; faixas de eficiências de remoção esperadas).

Dentro dos critérios e parâmetros de projeto que o boletim abrangeu, destacaram-se os seguintes elementos:

- Cálculos de processo: taxas de aplicação que permitiram a determinação da área superficial requerida; critérios para especificação do número de unidades em paralelo adotadas e das principais dimensões das unidades (comprimento, largura, profundidade);
- Detalhes hidráulicos: tubulações de entrada, distribuição, coleta e saída;
- Detalhes do 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 requerido;
- Eficiências de remoção esperadas para a etapa de wetlands e para o sistema, como um todo: faixas típicas esperadas para esgotos domésticos, pois não foram efetuados cálculos usando modelos matemáticos.

4.1.4 Composição dos custos de implantação e operação

Para composição dos custos de implantação e operacionalização dos diversos sistemas dimensionados e analisados, em um primeiro momento, detalharam-se os sistemas com os devidos materiais, para aí então quantificar cada item envolvido em cada etapa. Para tal quantitativo, foi elaborada uma composição individual para cada

item, contendo todos os materiais e serviços necessários, juntamente com os coeficientes de produtividade de mão de obra, bem como os coeficientes de rendimento dos materiais. Para as composições, foi utilizada a planilha SINAPI com data de referência de dezembro de 2022.

Depois de realizadas as composições, tornou-se possível iniciar as precificações. Visto que vários outros autores já realizaram o estudo de análise de custo de implantação, com o intuito de comparar os mesmos, fez-se necessário verificar os preços médios dos itens, por sua vez praticados no mercado. Para isso, utilizou-se basicamente o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI. No entanto, caso determinado item não pudesse ser encontrado neste banco de dados, outras fontes foram utilizadas, como a TCPO-Web ou então simples pesquisa de mercado, utilizando um mínimo de três orçamentos, verificando a média aritmética deles.

A fim de garantir o registro da atual situação de preços, as tabelas de referência aplicadas foram as mais atualizadas possíveis. Até o momento da precificação dos itens, a tabela SINAPI disponível era a de dezembro de 2022, utilizando a versão desonerada da tabela, tanto de insumos como de composições. Além disso, com o intuito de fixar os parâmetros para que outras pesquisas futuras possam comparar e verificar as variações de preço considerando o cenário econômico, a cotação monetária, em dólar, na data em que foi realizada a precificação era de R\$ 5,278.

Por fim, para a conclusão da análise de custos, realizou-se um levantamento com base bibliográfica de estudos que monitoraram sistemas já implantados com a descrição dos custos de operação envolvidos durante o funcionamento do sistema. Diversas variáveis analisadas buscaram descrever de maneira sucinta os itens envolvidos na operacionalização do sistema, obtendo o montante de custos, bem como a previsão das manutenções, preventivas e corretivas.

4.1.5 Método de tomada de decisão do sistema de maior viabilidade

Em síntese, na AHP as comparações foram realizadas aos pares de indicadores individuais, onde determinou qual dos dois é o mais importante em relação ao que se objetivou. E para determinar a base de referência foram atribuídos valores de importância, baseados na escala fundamental proposta por Saaty (1977) apud Schroeder (2020). Tais valores são descritos no Quadro 1. Esta foi a maneira

encontrada para quantificar numericamente as decisões verbais relacionadas à comparação entre os indicadores individuais.

Quadro 1 - Escala fundamental de Saaty (1977) para valores de importância pelo método AHP

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência ou juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos números não zero acima	Se uma atividade possui um dos números não-zero acima associados a ela quando comparada a uma atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparado com i.	

Fonte: Adaptado de Saaty (1977) apud Schroeder (2020).

Após a aplicação do questionário apresentado no Apêndice V ao grupo de estudo, verificou-se a preferência dos membros em relação a cada par de indicador o que por sua vez permitiu verificar a variação entre cada percentual. O quadro 2 mostra a classificação de importância para cada intervalo de variação.

Quadro 2 – Intensidade de importância de acordo com o intervalo da variação em percentual de cada par.

Diferença entre porcentagens de preferência entre a comparações	Intensidade de importância com base na Escala Fundamental de Saaty
$X = 0\%$	1
$0\% < X \leq 12,5\%$	2
$12,5\% < X \leq 25\%$	3
$25\% < X \leq 37,5\%$	4
$37,5\% < X \leq 50\%$	5
$50\% < X \leq 62,5\%$	6
$62,5\% < X \leq 75\%$	7
$75\% < X \leq 87,5\%$	8
$87,5\% < X \leq 100\%$	9

Fonte: Schroeder (2020).

4.1.6 Grupo de estudo para tomada de decisão

Para chegar aos valores de intensidades de cada análise dos pares avaliados, foi necessário aplicar o questionário do Apêndice V ao grupo de estudos composto por membros do poder executivo e legislativos, empreendedores do ramos de loteamentos, membros da comunidade acadêmica e munícipes que residem em loteamentos no município de Frederico Westphalen.

4.1.7 Definição dos indicadores e das alternativas do método AHP

Para atingir o objetivo de escolher a melhor tipologia de WC aplicada ao loteamento como forma de tratamento descentralizado, definiram-se três critérios básicos que podem ser ditos como os pilares da sustentabilidade: ambiental, econômico e social. A cada um deles, adotaram-se outras três alternativas para a formação da matriz de julgamento de cada indicador. As alternativas adotadas para cada critério são:

- Indicador ambiental:
 - **Área superficial requerida unitária (ASRU):** adotou-se esse requisito em vista de que a demanda por área superficial é um fator decisivo para a implantação dos sistemas WC, uma vez que, em determinados empreendimentos, pode não haver área disponível que comporte o sistema.
 - **Dispensa de tratamento primário (DTP):** dentre as características de cada um dos WC caracterizados anteriormente, destaca-se o WCSF que dispensa a implantação de tratamento primário através de tanque séptico. Ele pode receber esgoto bruto proveniente das residências do loteamento, variável essa que pode ser determinante na escolha do melhor sistema.
 - **Atendimento a Legislação (AL):** A Resolução CONAMA Nº 430/2011 estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

- Indicador econômico:
 - **Custo de implantação (CI):** o custo de implantação é uma das principais variáveis dentro do critério econômico, mas não sendo o único custo envolvido, optou-se por avaliar sua importância frente aos demais custos.
 - **Custo de operação (CO):** o custo de operação também é outra variável a ser considerada, pois a manutenção do sistema também gera custos após o WC estar implantado. O desembolso de recursos é demandado mensalmente e, caso a operação não seja realizada de maneira correta, pode acarretar na diminuição da vida útil do sistema.
 - **Custo de vida útil (CVU):** o custo envolvido de vida útil consiste na avaliação da importância do montante geral de custo, desde sua implantação até sua operação durante um período de 15 anos. Essa variável pode inviabilizar a implantação do WC caso os custos tornem-se inviáveis.
- Indicador social:
 - **Aceitação Pública (AP):** alguns WC's, devido ao fato de não requerem tratamento primário, podem gerar maus odores na região de implantação o que pode causar desconforto aos moradores. Outro fator social importante é referente aos custos de operação, onde tais custos serão a cargo dos usuários do loteamento.
 - **Complexidade de Construção (A):** esta é uma variável que deve ser avaliada entre as tipologias de WC's, pois há distinções entre as configurações de cada sistema, o que leva a um grau de complexidade maior entre um e outro.
 - **Complexidade de Operação (CXOP):** não apenas a complexidade de construção é importante, mas também de operação, visto que quanto mais complexo for de operar, mais onerosa tende a ficar a operação e manutenção do sistema.

Definidos estes critérios, utilizando-se da Escala fundamental de Saaty, demonstrada Quadro 1, foram atribuídos valores de importância relacionados entre si

em cada uma das alternativas de cada critério e, depois, avaliado o grau de importância e prioridade entre os critérios estabelecidos.

4.1.8 Matriz de julgamentos e vetores de prioridade local e global

Para comparação dos elementos pelos julgamentos, cada alternativa e critério foram transformados em valores numéricos pela escala fundamental. Desse modo, se obtém um quadro de comparações, onde para cada conjunto de critérios e alternativas foram colocados uns em comparação aos outros, sendo dispostos conforme o modelo do Quadro 3. Neste quadro foram colocadas todas as possibilidades de comparação entre as variáveis. Caso a variável do lado esquerdo fosse maior que a do lado direito, preenchia-se com a intensidade da variável na coluna “<I”; caso a variável do lado direito fosse maior que a do lado esquerdo, preenchia-se a coluna “>I” com o valor da intensidade adotada e, no caso de o julgamento das variáveis possuir a mesma intensidade, preenchia-se a coluna central.

Quadro 3 - Modelo de comparação de intensidade das variáveis

Lado Esquerdo	<I	Igual Intensidade	>I	Lado direito
Variável 1				Variável 2
Variável 1				Variável 3
Variável 2				Variável 3

Fonte: Autoria Própria (2021).

Após realizada a atribuição das intensidades e a comparação entre cada variável, os valores adotados foram dispostos em uma matriz quadrada de decisão, ou também denominada matriz de julgamentos. Na Tabela 2 representa-se, genericamente, essa matriz com n alternativas (Variável 1, Variável 2, Variável n) à luz do critério 1, na qual x_{ij} corresponde ao valor numérico de importância atribuído pela comparação em pares das variáveis, variando i e j de 1 a n.

Tabela 2 - Matriz de comparação da AHP.

Critério 1	Variável 1	Variável 1	...	Variável N
Variável 1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1n}
Variável 2	X_{21}^{-1}	X_{22}	...	X_{2n}
...
Variável n	X_{n1}^{-1}	X_{n2}^{-1}	...	X_{nn}

Fonte: Adaptado de Schroeder (2020).

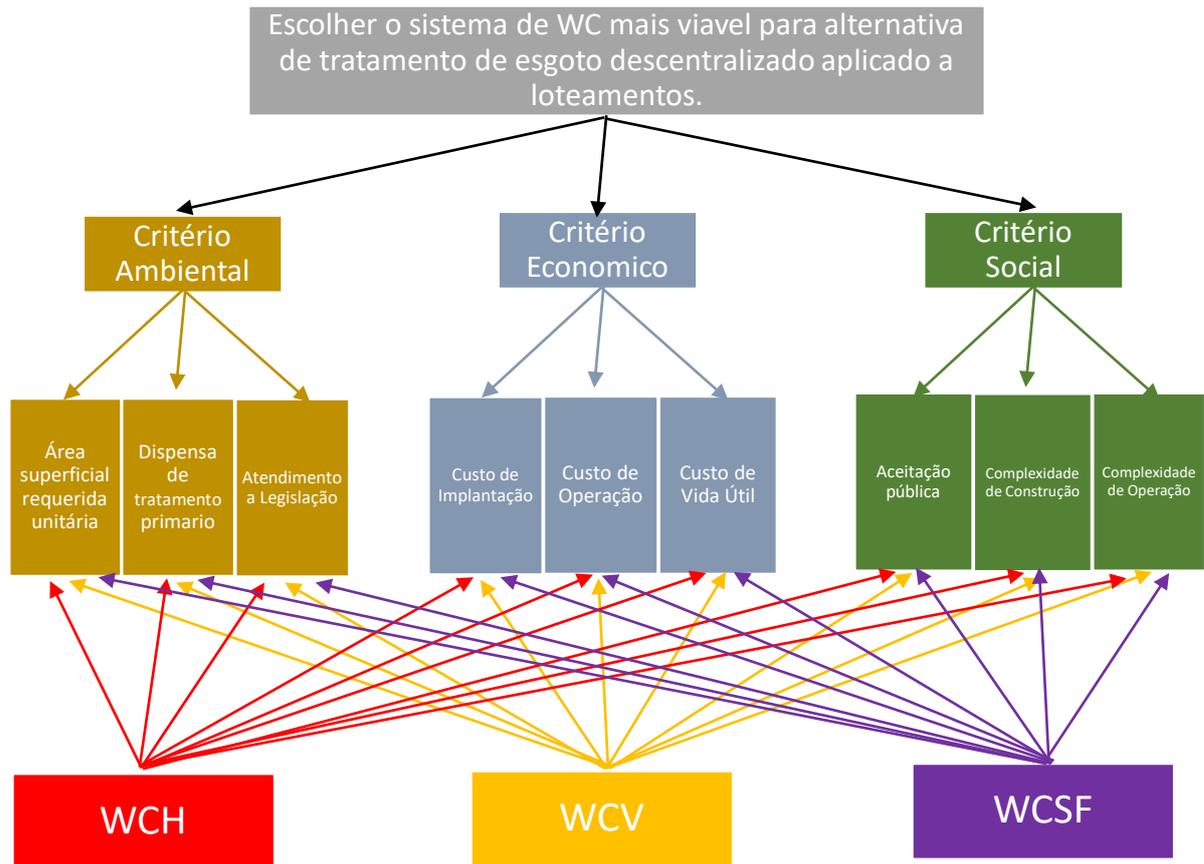
Ressalta-se que as matrizes de decisão da AHP são sempre matrizes recíprocas de acordo com Gomes et al. (2004). Assim, se X_{12} tiver valor atribuído de 5, conseqüentemente X_{21} será inversamente proporcional ao valor inteiro, obtendo valor de 0,20 (1/5). Outra característica desse tipo de matriz é que a diagonal principal é preenchida por 1, uma vez que ela não deve haver comparação entre uma alternativa e outra sendo que as mesmas variáveis estão sendo comparadas: dessa forma não pode haver discrepância entre os valores.

O passo a seguir foi a determinação da matriz quadrada de comparação normalizada, onde foram somados os valores de cada coluna e obtida uma nova matriz, onde cada valor foi dividido pelo somatório de sua coluna correspondente

Posteriormente à normalização, foi obtido o vetor prioridade local correspondente à porcentagem de cada variável em relação ao critério avaliado. O vetor prioridade local foi obtido a partir da média aritmética dos valores de cada linha da matriz normalizada, sendo que o somatório dos três componentes do vetor deve ser o percentual de 100%.

A Figura 14 mostra o fluxograma da estrutura do processo hierárquico através da utilização do método AHP.

Figura 14 - Fluxograma de estrutura de processo hierárquico do método AHP para a escolha do sistema WC.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Para obtenção da matriz global, a metodologia utilizada foi a mesma descrita anteriormente, no entanto utilizando os critérios estabelecidos comparados entre si para destacar a importância de cada critério em relação ao objetivo principal. A partir da matriz normalizada, foi possível obter o vetor de prioridade global de maneira que elencasse a importância de cada critério.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 DIMENSIONAMENTO DOS WETLANDS

Como proposto inicialmente neste trabalho, foram dimensionados três tipos de wetlands construídos, sendo eles:

- Wetland construído de escoamento horizontal;
- Wetland construído de escoamento vertical;
- Wetland construído – Sistema Francês;

O dimensionamento das três configurações propostas teve como base o Boletim Wetlands Brasil de Von Sperling e Sezerino (2018), onde são especificados parâmetros de dimensionamento e outros fatores relevantes a cada um dos sistemas, de forma convencionada entre os autores e demais pesquisadores que contribuíram para elaboração do boletim.

Um parâmetro fundamental para o dimensionamento dos sistemas, portanto, um dado de entrada para a determinação da área superficial requerida, é a estimativa de população da região de abrangência do sistema. Por se tratar de um projeto em específico, um loteamento a ser implantado no município de Frederico Westphalen/RS, cabe-se destacar que a região de implantação está situada na zona ZR5 do município, conforme o mapa de zoneamento urbano do Plano diretor, caracterizada como zona residencial unifamiliar.

Desta forma, para estimar a população do loteamento, que por sua vez conta com um total de 8 chácaras urbanas e 211 lotes urbanos, sendo que um desses lotes urbanos está destinado à preservação de área verde, e outro lote para implantação de equipamentos públicos, local que será utilizado para implantação das unidades dos sistemas WC's dimensionados. No entanto, os lotes destinados à implantação de equipamentos públicos e preservação de áreas verdes não somam como lotes geradores de contribuição de esgoto. Assim, a quantidade total de lotes é de 217 lotes. Considerando 4 pessoas por lote, chegou-se à população total de 868 pessoas para o loteamento.

Dentre as variações dos sistemas propostos para avaliação neste trabalho, os sistemas de escoamento horizontal e vertical requerem tratamento prévio de nível primário. Neste caso, foi previsto que cada lote deverá instalar um tanque séptico para posteriormente lançar o efluente na rede coletora de esgoto que irá conduzi-lo até os

WC's, ainda que na prática possa ser mais vantajoso implantar um tanque séptico ou outro decanto-digestor coletivo. Já para o sistema Francês, não se faz necessário tratamento primário à montante dos WCs, desta forma as unidades receberão o esgoto bruto proveniente das unidades autônomas.

Como já citado anteriormente, para os WC's como opção de tratamento de esgoto aplicado a loteamentos, é necessário que haja uma rede coletora de esgoto. Desta forma, a Figura 15 mostra o traçado da rede projetada, levando em consideração as contribuições das unidades e a topografia local.

Figura 15 – Proposição de rede coletora de esgoto do loteamento



Fonte: Autoria Própria (2023).

No dimensionamento da rede coletora de esgoto foram adotados tubulações de PVC OCRE com ponta e bolsa, vedado por anel de borracha e diâmetro nominal de 150 milímetros para todos os trechos principais, com exceção dos ramais de ligação dos lotes até a rede principal das ruas, onde foi adotado o mesmo tipo de tubulação, no entanto, com diâmetro nominal de 100 milímetros.

5.1.1 WC de escoamento horizontal

Seguindo o roteiro de cálculo, para pré-dimensionamento e dimensionamento descrito no boletim Wetlands Brasil, o WCH foi dimensionado utilizando inicialmente os dados relativos à vazão e à carga de DBO afluentes. Para a carga per capita de DBO do esgoto bruto foi adotado o valor de $54 \text{ g hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$. A partir do cálculo da população de 868 habitantes, chegou-se a uma carga de DBO de esgoto bruto de 46.872 g d^{-1} .

Na sequência, foi estimada a eficiência de remoção de DBO do tratamento prévio, visto que será realizado através de tanque séptico, como tratamento primário. O boletim indica que essa taxa deve ser estimada no intervalo de 25% a 35%; desta forma, foi adotado o valor de 35% de eficiência de remoção de DBO do efluente através do tratamento primário através de tanque séptico na entrada na WCH.

Por conseguinte, foi possível calcular a carga de DBO afluente ao WCH, através da razão entre a carga de DBO de esgoto bruto e da eficiência de remoção de DBO de 65% a montante da unidade, obtendo-se assim o valor de $30.466,80 \text{ g/dia}$.

Outro parâmetro fundamental para o cálculo da área superficial requerida para o WCH é a taxa de aplicação orgânica superficial, para a qual foi adotado o valor de $12 \text{ g DBO m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, dentro do intervalo de $6 \text{ a } 15 \text{ g DBO m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ recomendado por Von Sperling e Sezerino (2018). Foi adotado este valor visto que, para o município de Frederico Westphalen/RS, de acordo com Weather Spark (2023), as temperaturas mais elevadas ocorrem durante 4,4 meses, com temperatura máxima média diária acima de $28 \text{ }^\circ\text{C}$, já o período mais fresco permanece por 2,7 meses com temperatura máxima diária em média abaixo de $22 \text{ }^\circ\text{C}$, sendo a máxima de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ e mínima de $12 \text{ }^\circ\text{C}$, em média. Isso permite afirmar que, na maior parte do ano, as condições climáticas são favoráveis; porém, em alguns períodos, as temperaturas podem ser baixas, desfavorecendo o desempenho dos WC's.

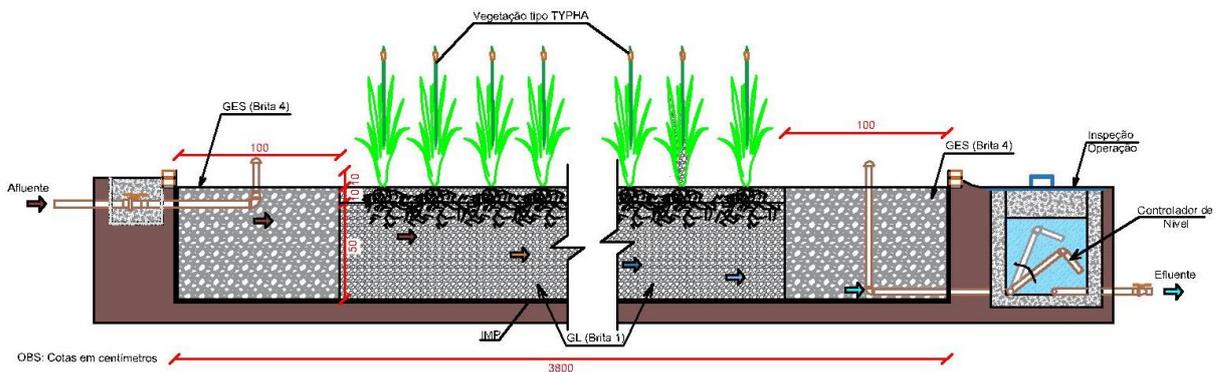
A determinação da área superficial requerida para o WCH foi estimada através da divisão entre a carga de DBO afluente e a taxa de aplicação orgânica superficial, o que resultou em uma área requerida de $2.556,00$ metros quadrados divididas em 4 unidades em paralelo de $639,00 \text{ m}^2$ base no Boletim Wetland Brasil que recomenda que em sistemas de grande porte, um maior número de unidades em paralelo, de forma a evitar que haja unidades individuais de grandes dimensões. As dimensões adotadas para cada unidade foram de 18 metros de largura por 35,50 metros de

comprimento. Para a profundidade útil das unidades foi adotado o valor de 0,60 metros, desta forma o volume útil de todo o sistema, considerando uma porosidade do meio filtrante de 40%, é de 613,44 m³.

Assim, o tempo de detenção do efluente foi obtido através do quociente do volume útil e a vazão média de 138,88 m³/dia, desta forma o tempo de detenção foi estimado em 3 dias.

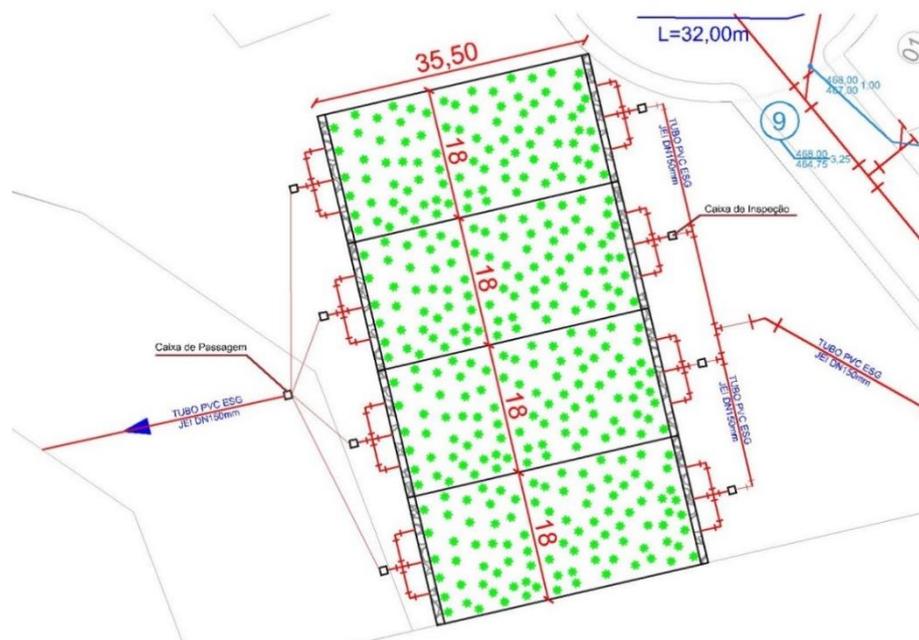
As Figura 16 a 18 detalham as características geométricas, configuração e localização das unidades WCH.

Figura 16 - Seção transversal esquemático da WCH para loteamento em Frederico Westphalen-RS.



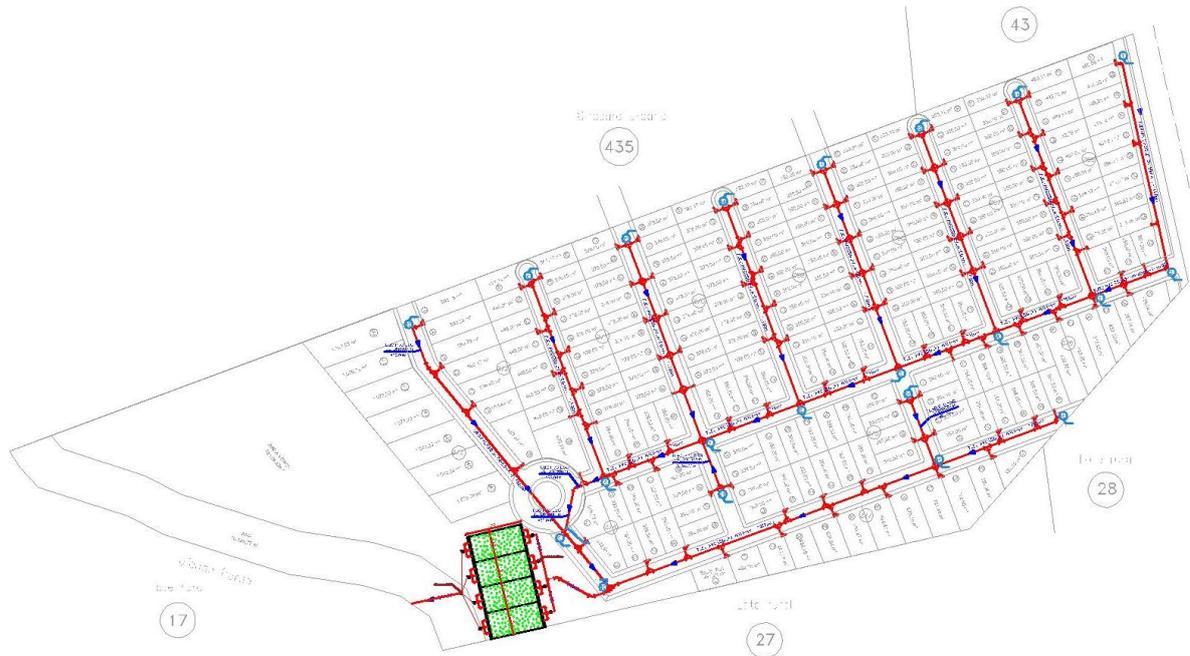
Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 17 - Planta baixa das unidades WCH para loteamento em Frederico Westphalen-RS.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 18 - Planta de localização das unidades WCH para loteamento em Frederico Westphalen-RS.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Cabe destacar que foram adotados materiais granulares, ou também chamados de agregados graúdos como elemento filtrante para a WCH, sendo que para o meio filtrante (GL) foi adotado brita 01 com granulometria variando entre 9,5 mm e 19 mm. Já para as zonas de entrada e saída (GES), atribuiu-se uma espessura de 1 metro no sentido horizontal com brita 04 com granulometria variando de 50 mm a 76 mm.

A vegetação de macrófitas adotada para o sistema foi a Taboa (*Typha domingensis*), devido ao seu alto potencial de remoção de nutrientes, capacidade de absorção de nitrogênio, adaptabilidade ao clima regional e custo das mudas da espécie. De acordo com Sánchez (2015), esta espécie contribui significativamente na remoção de nitrogênio e fósforo, em função da produção de biomassa, assim como a altura de saturação dentro dos leitos. Seguindo a indicação do boletim Wetlands Brasil, foi adotada densidade de vegetação de 4 por m² da WCH.

Por se tratar de um sistema que trabalha de maneira contínua, ou seja, o esgoto entra nos WCH de maneira constante nas 4 unidades projetadas, sem a necessidade de caixas sifonadas ou então de bomba para circulação. Por fim, é possível observar, que mesmo não havendo necessidade de unidades extras para alternância de operação, a demanda requerida de área para implantação dos sistemas é bastante elevada; no entanto, cabe destacar que o empreendimento objeto deste estudo é de

grande porte e, quando comparado a área requerida em função da área total do loteamento, chega-se a um coeficiente de 1,54% da área total utilizada para implantação do WCH. Indo além, também é possível verificar que a área requerida por habitante foi de 2,945 m²/hab. Sezerino et al. (2015) resumem diversas experiências de WCH já implantado no Brasil onde os autores expõem dados referente a relação de área per capita dos WCH onde o mesmo destaca que para afluentes com características de esgoto doméstico e/ou sanitário, faixas de aplicação encontram-se variando de 1 a 5 m².pessoa⁻¹ quando os WCH são empregados como tratamento secundário precedidos, na maioria dos casos, de decanto-digestores.

A prancha com o detalhamento da unidade está disposta no Apêndice II.

5.1.2 WC de escoamento vertical

A WCV seguiu o mesmo roteiro de cálculo para o pré-dimensionamento e dimensionamento da WCH; no entanto, seguindo os parâmetros previstos no boletim Wetlands Brasil para WCV. Sendo assim, os parâmetros de população, vazão média, carga de DBO afluente, carga per capta e total de DBO do esgoto bruto e eficiência, foram adotados os mesmos valores calculados anteriormente para a WCH.

A primeira variação entre os dois sistemas se deu no cálculo da área requerida para a unidade. Neste caso, a taxa de aplicação orgânica pode variar entre 10 e 20 gDBO.m⁻².d⁻¹, como recomendado por Von Sperling e Sezerino (2018). E pelo mesmo fator climático, optou-se por adotar uma média entre esses valores, sendo ele de 15 gDBO.m⁻². d⁻¹.

Calculando a área superficial requerida, obteve-se uma área de 2.031,12 m², ligeiramente inferior ao mesmo parâmetro calculado para a WCH. Todavia, o sistema de operação da WCV é de fluxo intermitente, ou seja, funciona através de bateladas de efluente que são lançados na superfície da unidade com o auxílio de bombas ou então de caixas sifonadas devidamente dimensionados para o respectivo volume. Neste formato, as bateladas ocorrem diversas vezes por dia e assim a área requerida calculada refere-se às unidades em operação diariamente, e por isso reque-se que à necessidade de repouso por alguns dias de parte das unidades para prevenir a colmatação. Von Sperling e Sezerino (2018) expõem que podem ser utilizadas $\frac{3}{4}$ das unidades em alimentação e $\frac{1}{4}$ das unidades em descanso, desta forma a área foi

calculada com base na taxa de aplicação corresponde a $\frac{3}{4}$ da área total. Sendo assim, a área total deverá ser de 2.708,00m², correspondente à área requerida para a WCH.

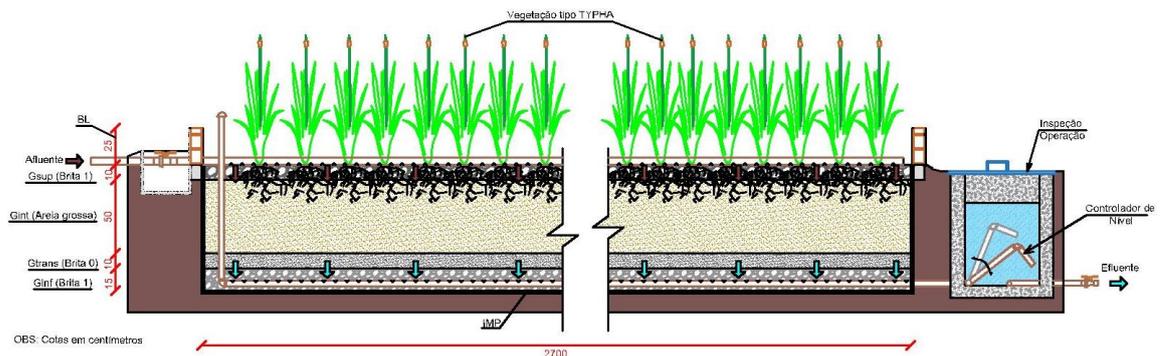
Porém, o boletim Wetlands Brasil também instrui que cada unidade não deverá ser maior que 400 m² e que deve ser uma quantidade par para o funcionamento ideal do sistema. Isso faz com que sejam necessárias no mínimo seis unidades, sendo quatro em operação e duas em descanso de forma alternada. Neste contexto, ocorre que para não superar a recomendação de área máxima para cada unidade, e adotando 6 unidades para o sistema, a área total requerida totaliza 2.400,00 m², sendo esta inferior ao mínimo calculado, o que possibilita duas hipóteses para o sistema:

- a) 6 Unidades de 400 m² - total de 2.400,00 m².
- b) 8 Unidades de 350 m² - total de 2.708,00 m².

Desse modo, optou-se por utilizar a configuração “b”, pois a configuração “a” não atenderia o mínimo de área requerida e nesta configuração 6 unidades estariam em operação e 2 unidades em descanso.

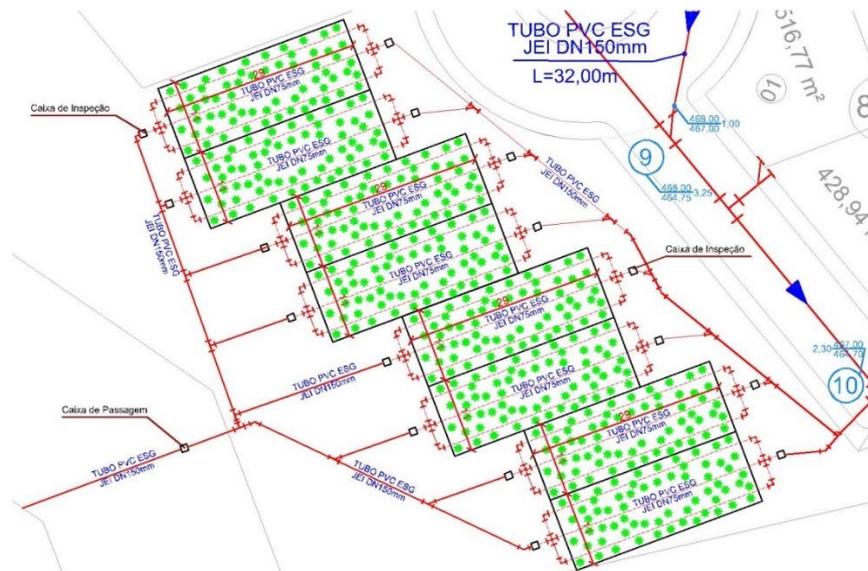
As Figura 19, Figura 20 e Figura 21 detalham as características geométricas, configuração e localização das unidades adotadas para esta tipologia de sistema.

Figura 19 - Seção transversal esquemático da WCV para loteamento em Frederico Westphalen-RS.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 20 – Planta baixa das unidades WCV para loteamento em Frederico Westphalen-RS.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 21 - Planta de localização das unidades WCV para loteamento em Frederico Westphalen-RS.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Os materiais granulares adotados para esta configuração, como elementos filtrantes, são divididos em 4 camadas: a primeira camada é caracterizada pela primeira etapa filtrante (Gsup) foi composta de Brita 01 com granulometria variando entre 9,5 mm e 19 mm e com uma altura de camada (Hsup) de 0,10 m, a segunda

camada já na parte interna (Gint) do meio filtrante é composta por agregado miúdo, utilizando areia grossa com espessura da camada (Hint) de 0,50 m. Após as duas primeiras camadas antecedendo a camada inferior, tem-se a camada de transição (Gtrans) sendo utilizado brita 0, com granulometria variando de 4,8 a 9,5 mm e com 0,10 m de espessura (Htrans). Por fim, na camada inferior (Ginf), adotou-se também brita 01 como elemento filtrante final em uma camada (Hinf) com espessura de 0,15 m. Somadas todas as espessuras, juntamente a borda livre (bl) necessária para a unidade, totaliza-se 1,10 m de altura livre para o WCV.

Para a vegetação de macrófitas, também foi adotada a Taboa (*Typha domingensis*). Sánchez (2015) avaliou o desempenho da espécie em WCH e WCV. Em seu estudo, foi comprovado que a espécie tem melhor desempenho de remoção de nutrientes nos WCH do que nos WCV; no entanto, os resultados obtidos pelo autor demonstram que a espécie também é uma boa opção para esse sistema. Para este modelo também foi adotado uma densidade de vegetação de 4 mudas por unidade de área do WCV.

O sistema de WCV opera de forma diferente do modelo WCH, pois opera de maneira intermitente, e enquanto algumas unidades estão em operação existem outras em descanso. Von Sperling e Sezerino (2018) recomendam que a área requerida calculada seja apenas para suprir a demanda das unidades que devem estar em operação, o que por sua vez demandaria do dobro de área requerida para realizar a alternância das unidades. Entretanto, em sistemas de grande porte, como é o caso do presente estudo, é possível modificar essa alternância para que 75% das unidades estejam em operação e 25% fiquem em repouso. Essa metodologia faz com que haja menos demanda de área para implantação do sistema, e permite que o mesmo opere com a mesma eficiência prevista.

Por fim, conforme a configuração adotada, a demanda total de área foi de 2708,00 m² o que corresponde a 3,12m² hab⁻¹, ligeiramente superior ao WCH.

A prancha com o detalhamento da unidade está disposta no Apêndice III.

5.1.3 WC sistema Francês

A metodologia adotada para o dimensionamento do sistema francês consiste em uma estimativa de área baseada em unidades que estão em operação. Baseado nessas unidades em funcionamento, Von Sperling (2020) atribui uma taxa de 1,2

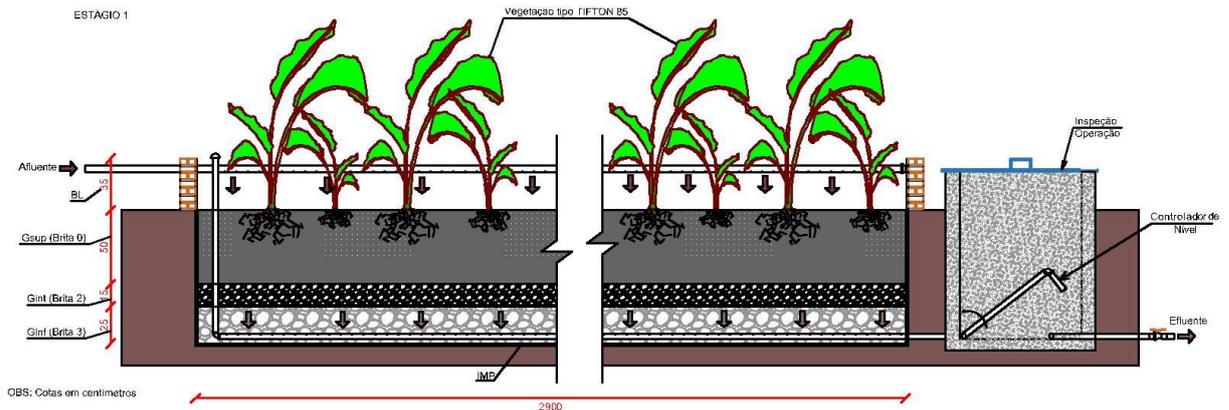
m²/hab para o primeiro estágio do sistema e 0,8 m²/hab para o segundo estágio. Segundo o autor, essa prática é adotada a nível mundial, principalmente nas unidades em operação na França, país onde surgiu esta configuração, onde também é descrito por Paing et al. (2015) e Molle et al. (2005). Ainda é citado pelos autores que, em determinados casos, é possível reduzir esta área; no entanto, optou-se por seguir esta recomendação para o dimensionamento deste sistema, pois a aplicação dele é para um loteamento de grande densidade populacional, ainda que em fase de implantação, porém com potencial habitacional bastante elevado.

Seguindo as recomendações do boletim Wetlands Brasil, adotou-se neste estudo a configuração clássica do sistema francês: o primeiro estágio, três unidades em paralelo, com uma em operação e duas em descanso; e no segundo estágio, duas unidades, sendo uma em operação e outra em descanso. De acordo com os critérios anteriores, e considerando uma população de 868 habitantes para o loteamento, para o primeiro estágio a área requerida de 1.041,60 m² foi dividida em três unidades de 347,20 m², e no segundo estágio uma área total de 694,40 m² foi fracionada em duas unidades também com 347,20 m² cada.

Von Sperling e Sezerino (2018) recomendam que a alternância de operação das unidades deva ocorrer de maneira que possibilite, durante o período de descanso, que haja digestão e secagem da camada de lodo que se acumula na parte superior do WCSF. Seguindo as recomendações de Trein et al. (2020), para o primeiro estágio, a operação deve acontecer durante 3,5 dias em uma unidade, enquanto as outras duas repousam por 7 dias. Já para o segundo estágio, uma unidade opera durante 3,5 dias enquanto a outra permanece em descanso. Tal ação é fundamental para o bom funcionamento do sistema, uma vez que a secagem do lodo na parte superior ajuda a evitar a colmatação, fenômeno que pode reduzir consideravelmente a vida útil do sistema.

A Figura 22 e a Figura 23 mostram o perfil transversal esquemático do sistema francês dimensionado, bem como especificação dos materiais utilizados e espessura das camadas. Da mesma forma que no WCV, foi adotado, neste caso, caixa sifonada para alimentação das unidades, de forma a reduzir gastos de implantação, operação e manutenção com bombeamento do efluente.

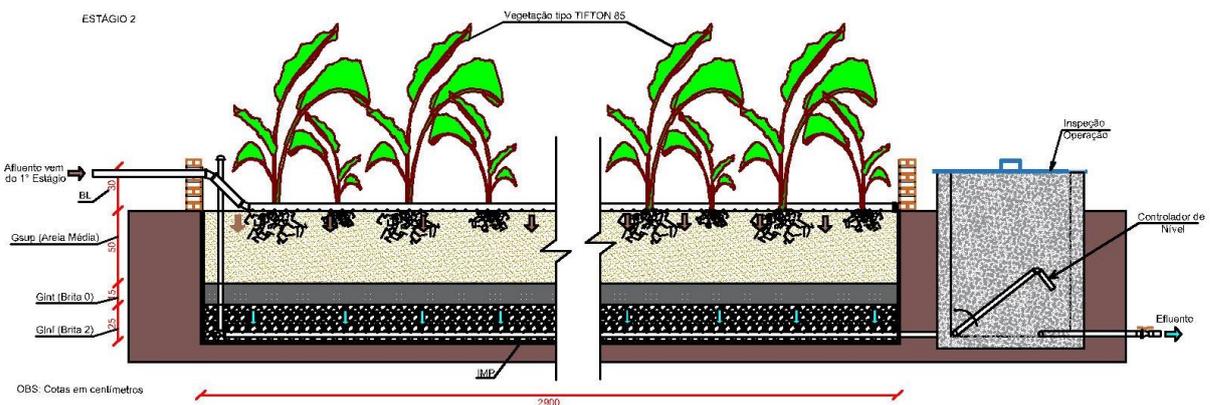
Figura 22 - Seção transversal esquemático do 1º estágio do sistema Francês para loteamento em Frederico Westphalen-RS.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Para o primeiro estágio, os materiais granulares adotados para esta configuração, como elementos filtrantes, são divididos em três camadas granulares: a primeira camada, caracterizada pela primeira etapa filtrante (Gsup), foi composta de Brita 0 com granulometria variando entre 4,8 e 9,5mm e com uma altura de camada (Hsup) de 0,50 m, já a segunda camada, na parte interna (Gint) do meio filtrante, é composta por brita 02 com granulometria variando entre 19 e 25 mm com espessura da camada (Hint) de 0,15 m. Por fim, na camada inferior (Ginf), adotou-se a brita 03 como elemento filtrante final, com granulometria variando de 25 a 50 mm em uma camada (Hinf) com espessura de 0,25 m. Somadas todas as espessuras, juntamente à borda livre (bl) necessária para a unidade, totaliza-se 1,25 m de altura livre para o primeiro estágio do WCSF.

Figura 23 - Seção transversal esquemático do 2º estágio do sistema Francês para loteamento em Frederico Westphalen-RS.



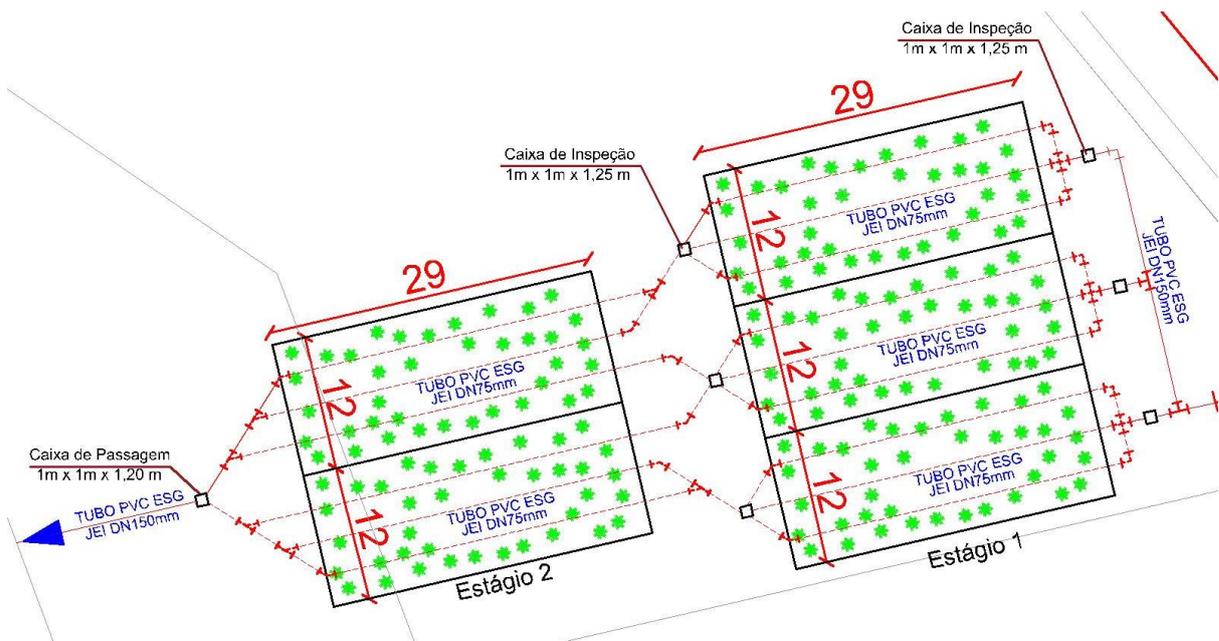
Fonte: Autoria Própria (2023).

Já no segundo estágio, os materiais granulares devem apresentar uma porosidade menor, sendo adotados seguinte configuração de elementos filtrantes divididos também em três camadas granulares: a primeira camada (Gsup) foi composta por agregado miúdo, utilizando areia média e com uma altura de camada (Hsup) de 0,50 m; a segunda camada (Gint) do meio filtrante é composta por brita 0, com granulometria variando entre 4,8 e 9,5mm em uma espessura da camada (Hint) de 0,15 m. E por último, na camada inferior (Ginf), adotou-se a brita 02 como elemento filtrante final com granulometria variando de 19 a 25 mm em uma camada (Hinf) com espessura de 0,25 m. Somadas todas as espessuras, juntamente à borda livre (bl) necessária para a unidade, totaliza-se 1,20 m de altura livre para o segundo estágio da WCSF.

A Figura 24 e a Figura 25 detalham, em planta baixa, o arranjo do WCSF, bem como a disposição das instalações hidráulicas e a localização das unidades no lote destinado a equipamentos públicos.

A prancha com o detalhamento da unidade está disposta no Apêndice IV.

Figura 24 - Planta baixa das unidades do sistema Francês para loteamento em Frederico Westphalen-RS.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 25 - Planta de localização das unidades sistema Francês para loteamento em Frederico Westphalen-RS.



Fonte: Autoria Própria (2023).

No caso do WCSF, diferentemente dos outros dois sistemas anteriores, foi adotada uma espécie vegetal distinta dos demais: o Capim Tifton 85 em virtude da recomendação de Von Sperling e Sezerino (2018) que relatam que há sistemas semelhantes a este projetado com registro de operação adequada por mais de 10 anos em uma ETE no Brasil. O autores ainda destacam que outras espécies também podem ser utilizadas, porém, como essa tecnologia, ainda não obteve uma ampla aplicabilidade no país e diversidade na utilização de outra espécies, o conhecimento sobre o desempenho das mesmas ainda é limitado. Quanto à densidade de plantas utilizadas, seguiu-se a mesma taxa proposta anteriormente: de 4 mudas por unidade de área requerida.

5.1.4 Resumo das configurações dos três WC dimensionados

De acordo com o exposto neste capítulo foram dimensionadas três configurações distintas de WC. O Quadro 4 mostra um resumo das configurações e características geométricas de cada uma.

Quadro 4 - Resumos comparativos das características das WC's dimensionadas para loteamento em Frederico Westphalen-RS.

Parâmetro	WCH	WCV	WCSF
População	868 hab.	868 hab.	868 hab.
Contribuição de esgoto	138,88 m ³ /dia	138,88 m ³ /dia	138,88 m ³ /dia
Pré-tratamento	Tanque séptico	Tanque séptico	Não se aplica.
Altura do meio filtrante	0,60 m	0,85 m	1º Estágio: 0,90 m 2º Estágio: 0,90 m
Borda Livre	0,10 m	0,25 m	1º Estágio: 0,35 m 2 Estágio: 0,30 m
Nº de unidades	4 un.	8 un.	5 un.
Largura das unidades	18,00 m	11,00 m	12,00 m
Comprimento das unidades	35,50 m	30,80 m	29,00 m
Área de cada unidade	639,00 m ²	338,50 m ²	348,00 m ²
Área total do sistema	2556,00 m ²	2708,00 m ²	1740,00 m ²
Taxa de área requerida por habitante	2,945 m ² /hab.	3,120 m ² /hab.	2,000 m ² /hab.
Macrófitas	Taboa (<i>Typha domingensis</i>)	Taboa (<i>Typha domingensis</i>)	Capim Tifton 85

Fonte: Autoria Própria (2023).

O Quadro 5 resume os materiais granulares filtrantes adotados para cada sistema, conforme as especificações e recomendações descritas por Von Sperling e Sezerino (2018).

Quadro 5 - Especificação de materiais granulares adotados para os sistemas WC para loteamento em Frederico Westphalen-RS.

Camada	WCH (Material / Esp.)	WCV (Material / Esp.)	WCSF 1º Estagio (Material / Esp.)	WCSF 2º Estagio (Material / Esp.)
Granulometria do leito (GL)	Brita 01 (9,5mm a 19mm) / 0,60m	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Granulometria da zona de entrada e saída (GES)	Brita 04 (50mm a 76 mm) / 1,00m	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Granulometria da camada superior (Gsup)	Não se aplica	Brita 01 (9,5mm a 19mm) / 0,10m	Brita 0 (4,8mm a 9,5 mm) / 0,50m	Areia Média (0,42 mm a 1,2 mm) / 0,50m
Granulometria da camada interna (Gint)	Não se aplica	Areia Grossa (1,2 mm a 2 mm) / 0,50m	Brita 02 (19mm a 25 mm) / 0,15m	Brita 0 (4,8mm a 9,5 mm) / 0,15m
Granulometria da camada de transição (Gtrans)	Não se aplica	Brita 0 (4,8mm a 9,5 mm) / 0,10m	Não se aplica	Não se aplica
Granulometria da camada inferior (Ginf)	Não se aplica	Brita 01 (9,5mm a 19mm) / 0,15m	Brita 03 (25mm a 50 mm) / 0,25m	Brita 02 (19mm a 25 mm) / 0,25m

Fonte: Autoria Própria (2023).

5.2 RELAÇÃO DE MATERIAIS E CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

Em todos os sistemas foram previstos os materiais bem como itens compostos por mão de obra e insumos para execução do projeto. Os itens quantificados e orçados referem-se apenas à implantação do sistema no lote destinado a equipamentos públicos. O valor do terreno onde será implantado não foi contabilizado como custo, uma vez que tal lote pertence aos 35% exigidos pela Lei de parcelamento de solo 6.766/1979, sendo o percentual mínimo exigido do total da área do loteamento destinado a áreas públicas (Arruamentos, Áreas verdes, lotes de equipamentos públicos, faixas de domínio, etc.), que por sua vez, ao término do empreendimento, essas áreas serão de domínio do município.

Também não foram considerados os custos do sistema de coleta de esgoto desde os lotes até a chegada ao lote onde serão implantados os WC's, visto que estas instalações são iguais para todos os sistemas, e não diferenciariam os custos de execução das unidades de WC's.

Outro custo que não foi contemplado por este estudo é o sistema de tratamento individual composto por tanque séptico e filtro anaeróbio, onde os mesmos foram propostos para os sistemas horizontais e verticais como forma de pré-tratamento. Por mais que os sistemas de pré-tratamento sejam custos consideráveis, a responsabilidade de implantação é do proprietário do lote no momento em que for construir e não do loteador.

Foram quantificados os itens listados a seguir, os quais se referem a todo material e mão de obra necessária para levantamento dos custos de implantação. Desta forma, nos orçamentos, foram descritos os seguintes itens principais, e como subitens de cada um, os serviços e materiais que mais se enquadram ao projeto, sendo eles:

- Escavações;
- Alvenarias (WC's);
- Alvenaria (Caixas de inspeção e de passagem);
- Materiais granulares filtrantes;
- Impermeabilização;
- Tubulações;
- Vegetação de macrófitas.

5.2.1 Cotações de materiais para implantação

Como já descrito nos procedimentos metodológicos, para os itens que não possuíam referência em composições e insumos no SINAPI, fazia-se necessário realizar a cotação dos itens. A cotação foi realizada pesquisando preços no comércio local e quando não encontrados na região foi enviada solicitação de cotação para empresas que possuíam disponibilidade dos itens em estoque. O período de cotação foi entre os meses de novembro e dezembro de 2022.

Para cada item cotado, foram coletados preços de, no mínimo, três fornecedores, sendo considerados apenas os três menores valores praticados no mercado, conforme indicado pela Lei 14.133/2021. O valor adotado corresponde ao arredondamento em duas casas decimais da média aritmética dos valores expostos na Tabela 3. A fim de evitar problemas éticos em relação aos valores dos itens cotados, os fornecedores não foram identificados, preservando assim sua integridade comercial.

Tabela 3 - Cotação de preços de itens não contemplados pelo SINAPI

Código	Especificação	Unid.	Fornecedor 01	Fornecedor 02	Fornecedor 03	Valor Médio	Valor adotado
1	Cruzeta PVC, serie r, DN150 mm, para esgoto predial	Unid.	R\$ 105,75	R\$ 138,13	R\$ 116,77	R\$ 120,217	R\$ 120,22
2	Curva PVC, serie r, 45 graus, DN 150 mm	Unid.	R\$ 82,75	R\$ 59,99	R\$ 79,40	R\$ 74,047	R\$ 74,05
3	Cruzeta PVC, serie r, DN 75 mm, para esgoto predial	Unid.	R\$ 139,24	R\$ 150,00	R\$ 157,75	R\$ 148,997	R\$ 149,00
4	Muda de Taboa (<i>Typha Domingensis</i>) c/ 30 cm.	Unid.	R\$ 2,50	R\$ 2,50	R\$ 2,36	R\$ 2,453	R\$ 2,46
5	Muda de capim Tifton 85 c/ 30 cm.	Unid.	R\$ 2,50	R\$ 1,15	R\$ 1,99	R\$ 1,880	R\$ 1,88

Fonte: Autoria Própria (2023).

5.2.2 WC de escoamento horizontal

A Tabela 4 traz a planilha orçamentaria do WCH, com as especificações dos materiais utilizados, bem como de itens compostos por material e serviço. Para melhor entendimento, optou-se pela planilha completa, seguindo o modelo da planilha múltipla da CEF para orçamentação, em que são especificadas as fontes de quais foram extraídos os valores, especificação dos itens, unidade de referência, custo unitário dos itens e custo total.

O primeiro ponto a se destacar quanto aos custos de implantação do WCH são os itens de maior custo envolvido que se referem aos materiais filtrantes e da impermeabilização dos leitos. Esses custos somados representam um percentual de 85,50% do valor total.

O custo total de implantação do WCH é de R\$ 291.971,79, o que corresponde um custo per capita de R\$ 336,37/hab. ou ainda R\$ 1.345,49 por lote. Ainda que com um custo total bastante elevado de implantação, quando comparado a custo de implantação total do empreendimento, este sistema WC projetado representa 6,75% do total investido para a execução do loteamento.

Schroeder (2020), em seu estudo, dimensionou diversos sistemas de WC's, sendo um deles o WCH, o sistema foi dimensionado para um equivalente populacional de 150 habitantes, e utilizou valores de custos da base da tabela SINAPI, chegando a um custo total de materiais e serviços de R\$ 48.849,06, o que corresponde a um equivalente de R\$ 325,66/hab. A data base utilizada pela autora para o orçamento foi de julho de 2019.

Realizando uma análise comparativa entre os dados obtidos por Schroeder (2020) e pelo presente trabalho, verificou-se que houve um aumento no custo de implantação per capita, mesmo que os dois sistemas difiram de forma significativa

tanto na configuração como na população contemplada, a dissonância de valores é evidente. Um fator que pode ter influenciado nesta distinção de valores é o fato de os valores apurados por Schroeder (2020) antecederem a ocorrência da pandemia de COVID-19.

Tabela 4 - Planilha orçamentaria de quantitativos e custos do sistema WCH para loteamento em Frederico Westphalen-RS.

Fonte	Código	Especificação	Quant	Unid	Custo unit	Custo total
		Escavação			Subtotal	R\$ 17.253,22
SINAPI	101267	Escavação vertical a céu aberto, em obras de infraestrutura, incluindo carga, descarga e transporte, em solo de 1ª categoria com escavadeira hidráulica (caçamba: 1,2 m³ / 155hp), frota de 4 caminhões basculante	1641,6	M³	R\$ 10,51	R\$ 17.253,22
		Alvenaria (Wetlands)			Subtotal	R\$ 5.654,66
SINAPI	101159	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos maciços de 5x10x20cm (espessura 10cm) e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Af_05/2020	44,8	M²	R\$ 126,22	R\$ 5.654,66
		Alvenaria (caixas de inspeção/passagem)			Subtotal	R\$ 4.771,12
SINAPI	101159	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos maciços de 5x10x20cm (espessura 10cm) e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Af_05/2020	37,8	M²	R\$ 126,22	R\$ 4.771,12
		Materiais filtrantes			Subtotal	R\$ 122.068,74
SINAPI - I	4723	Pedra britada n. 4, (50 a 76 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	86,4	M³	R\$ 69,86	R\$ 6.035,90
SINAPI - I	4721	Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	1555,4	M³	R\$ 74,60	R\$ 116.032,84
		Impermeabilização			Subtotal	R\$ 114.843,46
SINAPI	44508	Impermeabilização com manta termoplástica, PEAD, geomembranas lisa, e = 1,50 mm (NBR 15352)	3004,8	M²	R\$ 38,22	R\$ 114.843,46
		Tubulação			Subtotal	R\$ 27.380,60
SINAPI - I	9840	Tubo PVC, serie r, DN 150 mm, para esgoto ou aguas pluviais predial (NBR 5688)	333,8	M	R\$ 72,88	R\$ 24.327,34
SINAPI - I	20181	Te, PVC, serie r, 150 x 150 mm, para esgoto predial	3	UNID	R\$ 142,52	R\$ 427,56
SINAPI - I	20158	Joelho, PVC serie r, 90 graus, DN 150 mm, para esgoto predial	16	UNID	R\$ 94,74	R\$ 1.515,84
COTAÇÃO	1	Cruzeta PVC, serie r, DN150 mm, para esgoto predial	8	UNID	R\$ 120,22	R\$ 961,76
COTAÇÃO	2	Curva PVC, serie r, 45 graus, DN 150 mm	2	UNID	R\$ 74,05	R\$ 148,10
		Vegetação de macrófitas			Subtotal	R\$ 25.175,64
COTAÇÃO	4	Muda de Taboa (<i>Typha Domingensis</i>) c/ 30 cm.	10234	UNID	R\$ 2,46	R\$ 25.175,64
					TOTAL	R\$ 291.971,79

Fonte: Autoria Própria (2023).

Vale destacar também que os custos que envolvem as tubulações necessárias para o lançamento do efluente nas unidades e também de coleta pós-tratamento na WCH representa um valor relativamente baixo, visto que o sistema de escoamento horizontal não requer um volume de tubulações internas para distribuição e coleta do

efluente. Isso diferencia este sistema do WCV, o qual necessita de tubulações para dispersão do efluente em toda superfície das unidades bem como de coleta no fundo, o que tende a onerar mais o sistema.

5.2.3 WC de escoamento vertical

Assim como abordado no item anterior, a Tabela 5 traz a planilha orçamentária da WCV, também com especificações dos materiais utilizados e itens compostos por material e serviço. Os itens do orçamento foram adotados os mais próximos possíveis dos demais sistemas estudados, buscando-se assim uma tendência de homogeneidade entre os itens de orçamento. Também se optou pela planilha completa, seguindo o modelo da planilha múltipla da CAIXA para orçamentação; nele estão especificadas as fontes de onde foram extraídos os valores, especificação dos itens, unidade de referência, custo unitário dos itens e custo total.

Para este sistema o custo total de implantação foi de R\$ 465.192,71, o que corresponde a um custo per capta de R\$ 535,94/hab. ou ainda R\$ 2.143,75 por lote, sendo 37,24% maior que o custo de implantação do WCH. Já o WCV representa 10,76% do total investido para a execução do loteamento. Os maiores montantes de valores no WCV também foram relacionados aos materiais filtrantes e à impermeabilização. A principal diferença entre os valores, quando comparado ao WCH, foram os materiais filtrantes, onde dois fatores contribuíram para esse aumento. Primeiramente, o volume de material granular, mesmo que a área superficial requerida das duas tipologias é muito parecida, a altura de material filtrante é 15 cm maior que no WCH, isso totaliza um volume de 527,4 m³ a mais de material filtrante. O segundo fator que onera ainda mais o custo com material filtrante é a granulometria do material, pois a WCH requer materiais granulares mais grosseiros como a brita 1 e a brita 4 e a WCV já utiliza materiais mais finos como, areia, brita 0 e brita 1. Quanto menor a granulometria do material, o volume de vazios também é menor; conseqüentemente, a quantidade do material é maior o que torna o custo mais elevado em relação a granulometrias mais abertas.

Outro custo que mostrou considerável aumento foi em relação aos itens da tubulação necessária para o WCV. Inicialmente, pelo fato de ter o dobro de unidades do que o WCH, e também pelo traçado das tubulações na parte interna nas unidades. O WCV necessita de tubulações que abranjam toda a superfície do WC para a

dispersão uniforme do efluente, bem como da coleta do mesmo no fundo das unidades.

Tabela 5 - Planilha orçamentaria de quantitativos e custos do sistema WCV para loteamento em Frederico Westphalen-RS.

Fonte	Código	Especificação	Quant	Unid	Custo unit.	Custo total
		Escavação			Subtotal	R\$ 22.798,29
SINAPI	101267	Escavação vertical a céu aberto, em obras de infraestrutura, incluindo carga, descarga e transporte, em solo de 1ª categoria com escavadeira hidráulica (caçamba: 1,2 m³ / 155hp), frota de 4 caminhões basculante	2169,2	M³	R\$ 10,51	R\$ 22.798,29
		Alvenaria (Wetlands)			Subtotal	R\$ 20.195,20
SINAPI	101159	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos maciços de 5x10x20cm (espessura 10cm) e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Af_05/2020	160	M²	R\$ 126,22	R\$ 20.195,20
		Alvenaria (caixas de inspeção/passagem)			Subtotal	R\$ 11.801,57
SINAPI	101159	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos maciços de 5x10x20cm (espessura 10cm) e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Af_05/2020	93,5	M²	R\$ 126,22	R\$ 11.801,57
		Materiais filtrantes			Subtotal	R\$ 189.787,14
SINAPI - I	367	Areia grossa - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	1276	M³	R\$ 94,21	R\$ 120.211,96
SINAPI - I	4720	Pedra britada n. 0, ou pedrisco (4,8 a 9,5 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	255,2	M²	R\$ 86,13	R\$ 21.980,38
SINAPI - I	4721	Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	638	M²	R\$ 74,60	R\$ 47.594,80
		Impermeabilização			Subtotal	R\$ 118.329,12
SINAPI	44508	Impermeabilização com manta termoplástica, PEAD, geomembranas lisa, e = 1,50 mm (NBR 15352)	3096	M²	R\$ 38,22	R\$ 118.329,12
		Tubulação			Subtotal	R\$ 77.091,00
SINAPI - I	9840	Tubo PVC, serie r, DN 150 mm, para esgoto ou águas pluviais predial (NBR 5688)	328,2	M	R\$ 72,88	R\$ 23.919,22
SINAPI - I	9839	Tubo PVC, serie r, DN 75 mm, para esgoto ou aguas pluviais predial (NBR 5688)	1632	M	R\$ 28,58	R\$ 46.642,56
SINAPI - I	20181	Te, PVC, serie r, 150 x 150 mm, para esgoto predial	6	UNID	R\$ 142,52	R\$ 855,12
SINAPI - I	20158	Joelho, PVC serie r, 90 graus, DN 150 mm, para esgoto predial	1	UNID	R\$ 94,74	R\$ 94,74
SINAPI - I	20152	Joelho, PVC serie r, 45 graus, DN 150 mm, para esgoto predial	5	UNID	R\$ 90,88	R\$ 454,40
SINAPI - I	20177	Curva PVC curta 90 graus, DN 75 mm, para esgoto predial	32	UNID	R\$ 29,49	R\$ 943,68
SINAPI - I	20146	Junção simples, PVC serie r, DN 150 x 150 mm, para esgoto predial	8	UNID	R\$ 224,66	R\$ 1.797,28
COTAÇÃO	3	Cruzeta PVC, serie r, DN 75 mm, para esgoto predial	16	UNID	R\$ 149,00	R\$ 2.384,00
		Vegetação de macrófitas			Subtotal	R\$ 25.175,64
COTAÇÃO	4	Muda de taboa (<i>Typha Domingensis</i>) c/ 30 cm.	10240	UNID	R\$ 2,46	R\$ 25.190,40
					TOTAL	R\$ 465.192,71

Fonte: Autoria Própria (2023).

Dentre os sistemas avaliados, o WCV foi o que obteve o maior custo de implantação, o mesmo ocorreu para Schroeder *et al.* (2022) onde o WCV obteve o custo maior que do WCH, no entanto com menos discrepância de valores, sendo que a autora chegou a um custo total de R\$ 65.490,80, para um equivalente populacional de 150 habitantes, e utilizando valores de custos da base da tabela SINAPI, correspondente a custo per capita de R\$ 436,61/hab. A data base utilizada pela autora para o orçamento foi de julho de 2019.

5.2.4 WC sistema Francês

A última tipologia avaliada foi o sistema francês, que por sua vez possui seu custo de implantação detalhado na Tabela 6. Assim como nas demais tecnologias avaliadas, optou-se pela mesma planilha, nos moldes da planilha múltipla da CAIXA para orçamentação, onde foram descritas as fontes de onde foram extraídos os valores, especificação dos itens, unidade de referência, custo unitário dos itens e custo total.

O WCSF obteve o custo intermediário dentre os três sistemas avaliados chegando a um custo total de implantação de R\$ 317.779,78, o que corresponde um custo per capita de R\$ 366,11/hab. ou ainda R\$ 1.464,42 por lote. Em relação ao WCH, o WCSF obteve o percentual de 8,13% maior de custo de implantação, já quando comparado ao WCV, o custo do WCSF é 31,69% menor. Em comparação ao custo total de implantação do empreendimento, o WCSF representa percentual de 7,35%.

O padrão dos itens com maior custo se manteve no WCSF: maior percentual de custo foi referente aos materiais filtrantes e à impermeabilização. O valor do custo de materiais filtrantes foi ligeiramente inferior ao do WCH e bastante reduzido em comparação ao WCV. Isso pode ser atribuído à área superficial requerida, uma vez que o WCSF é o que menos requer área e por sua vez volume de material filtrante. No entanto, o sistema aqui descrito foi o que apresentou maior espessura de material filtrante: nos dois estágios foi atribuída altura útil de 90 cm.

Tabela 6 - Planilha orçamentaria de quantitativos e custos do sistema Francês para loteamento em Frederico Westphalen-RS.

Fonte	Código	Especificação	Quant	Unid	Custo unit.	Custo total
		Escavação			Subtotal	R\$ 21.708,41
SINAPI	101267	Escavação vertical a céu aberto, em obras de infraestrutura, incluindo carga, descarga e transporte, em solo de 1ª categoria com escavadeira hidráulica (caçamba: 1,2 m³ / 155hp), frota de 4 caminhões basculante	2065,5	M³	R\$ 10,51	R\$ 21.708,41
		Alvenaria (Wetlands)			Subtotal	R\$ 15.903,72
SINAPI	101159	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos maciços de 5x10x20cm (espessura 10cm) e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Af_05/2020	126	M²	R\$ 126,22	R\$ 15.903,72
		Alvenaria (caixas de inspeção/passagem)			Subtotal	R\$ 6.588,68
SINAPI	101159	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos maciços de 5x10x20cm (espessura 10cm) e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Af_05/2020	52,2	M²	R\$ 126,22	R\$ 6.588,68
		Materiais filtrantes			Subtotal	R\$ 129.503,50
SINAPI - I	370	Areia média - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	348	M³	R\$ 93,00	R\$ 32.364,00
SINAPI - I	4720	Pedra britada n. 0, ou pedrisco (4,8 a 9,5 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	626,4	M²	R\$ 86,13	R\$ 53.591,83
SINAPI - I	4718	Pedra britada n. 2 (19 a 38 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	330,6	M²	R\$ 74,60	R\$ 24.795,00
SINAPI - I	4722	Pedra britada n. 3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	261	M²	R\$ 70,47	R\$ 18.392,67
		Impermeabilização			Subtotal	R\$ 109.248,05
SINAPI	44508	Impermeabilização com manta termoplástica, PEAD, geomembranas lisa, e = 1,50 mm (NBR 15352)	2858,4	M²	R\$ 38,22	R\$ 109.248,05
		Tubulação			Subtotal	R\$ 21.742,62
SINAPI - I	9840	Tubo PVC, serie r, DN 150 mm, para esgoto ou aguas pluviais predial (NBR 5688)	51,3	M	R\$ 72,88	R\$ 3.738,74
SINAPI - I	9839	Tubo PVC, serie r, DN 75 mm, para esgoto ou aguas pluviais predial (NBR 5688)	581,2	M	R\$ 28,58	R\$ 16.610,70
SINAPI - I	20181	Te, PVC, serie r, 150 x 150 mm, para esgoto predial	2	UNID	R\$ 142,52	R\$ 285,04
SINAPI - I	20158	Joelho, PVC serie r, 90 graus, DN 150 mm, para esgoto predial	1	UNID	R\$ 94,74	R\$ 94,74
SINAPI - I	20177	Curva PVC curta 90 graus, DN 75 mm, para esgoto predial	6	UNID	R\$ 29,49	R\$ 176,94
SINAPI - I	3519	Joelho PVC, soldável, PB, 45 graus, DN 75 mm, para esgoto predial	12	UNID	R\$ 9,75	R\$ 117,00
SINAPI - I	20142	Junção simples, PVC serie r, DN 75 x 75 mm, para esgoto predial	6	UNID	R\$ 45,41	R\$ 272,46
COTAÇÃO	4	Cruzeta PVC, serie r, DN 75 mm, para esgoto predial	3	UNID	R\$ 149,00	R\$ 447,00
		Vegetação de macrófitas			Subtotal	R\$ 19.251,20
COTAÇÃO	5	Muda de capim Tifton 85 c/ 30 cm.	10240	UNID	R\$ 1,88	R\$ 19.251,20
					TOTAL	R\$ 317.779,78

Fonte: Autoria Própria (2023).

Cabe salientar que o WCSF, apesar de ser um sistema distinto dos demais avaliados neste estudo, tendo diversas características exclusivas de implantação e operação, pode ser considerado um WCV, uma vez que seu escoamento pelo material

granular filtrante ocorre no sentido vertical, sendo distribuído na superfície das unidades e coletado ao fundo. Isso faz com que a demanda de tubulações necessárias para o bom funcionamento do sistema sejam mais elevadas que dos sistemas de fluxo horizontal. No entanto, observando o subtotal de tubulações do sistema WCV com o WCSF, percebeu-se uma considerável redução nos custos. Essa redução pode ser atribuída principalmente à menor demanda por área do sistema francês, o que por sua vez requer uma menor quantidade de unidades operacionais.

5.2.5 Comparação de custo entre as tipologias estudadas.

A Tabela 7 mostra o comparativo de custos entre os serviços quantificados e orçados para cada tipologia de WC estudado. É possível observar que dentre os três sistemas dimensionados, quantificados e orçados, o que possui menor custo de implantação é o WCH e em contra partida o WCV possuiu o maior custo agregado para implantação.

Tabela 7 - Comparativo de custos de implantação dos sistemas avaliados para loteamento em Frederico Westphalen-RS.

Serviço/Material	WCH	WCV	WCSF
Escavação	R\$ 17.253,22	R\$ 22.798,29	R\$ 21.708,41
Alvenaria (Wetlands)	R\$ 5.654,66	R\$ 20.195,20	R\$ 15.903,72
Alvenaria (caixas de inspeção/passagem)	R\$ 4.771,12	R\$ 11.801,57	R\$ 6.588,68
Materiais filtrantes	R\$ 122.068,74	R\$ 189.787,14	R\$ 129.503,50
Impermeabilização	R\$ 114.843,46	R\$ 118.329,12	R\$ 109.248,05
Tubulação	R\$ 27.380,60	R\$ 77.091,00	R\$ 21.742,62
Vegetação de macrófitas	R\$ 25.175,64	R\$ 25.175,64	R\$ 19.251,20
TOTAL	R\$ 291.971,79	R\$ 465.192,71	R\$ 317.779,78

Fonte: Autoria Própria (2023).

Além dos demais pontos abordados anteriormente frente às diferenças de custos entre as tipologias, cabem ressaltar alguns itens, que por mais que não representem um montante considerável em relação ao valor total de implantação, mostraram notável discrepância entre um sistema e outro. Como exemplo disso é possível citar o custo das alvenarias envolvidas nos projetos. Quando comparado o valor das alvenarias utilizadas nos WC, o WCV demanda custo 357,14% maior do que no WCH, atribuído primeiramente pelo número de unidades necessárias no WCV em

virtude da área máxima de cada unidade que não pode ser superior a 400 m² cada, e também pela altura da borda livre necessária que é 0,15 m maior que do WCH.

O item referente às alvenarias utilizadas em caixas de inspeção e caixas de passagem também obteve uma variação de custo elevada, principalmente, nos WCH e WCV, atribuído também ao número de unidades necessárias, uma vez que o WCV possui o dobro de unidades, tornando assim a distribuição e coleta do efluente mais complexa, exigindo um número maior de caixas.

Em relação à impermeabilização, o custo deste item apresentou pouca variação dentre as tipologias avaliadas. Esse custo está diretamente ligado à área superficial requerida, onde a maior demanda por área foi do WCV e, conseqüentemente, apresentou o maior custo; já o menor custo foi do WCSF que por sua vez apresentou a menor demanda por área.

A vegetação de macrófitas utilizada também apresentou pouca variação, sendo obtido o menor custo no WCSF, devido ao fato que a variável determinante para a quantificação de volume de mudas também é a área superficial requerida, e como tal variável é menor no referido sistema, conseqüentemente, o número de mudas necessárias é menor e por se tratar de uma espécie diferente das demais tipologias, no processo de cotação o capim Tifton 85 apresentou menor valor por muda em relação à Taboa (*Typha Domingensis*).

5.3 CUSTOS OPERACIONAIS

Assim como todo e qualquer sistema de tratamento de esgoto requer custos operacionais, para os sistemas de WC's não é diferente. Não apenas estão envolvidas as demandas financeiras para construção e implantação apresentados no capítulo anterior, mas também faz-se necessário cuidados com os sistemas para que a eficiência projetada não seja comprometida devido à ausência de manutenção.

Diversos fatores podem influenciar na manutenção e operação dos sistemas WC's, onde podem ser citados: poda das macrófitas utilizadas, remoção de espécies de plantas invasoras ao sistema, monitoramento da vazão de entrada e saída do efluente, desentupimento das tubulações responsáveis pela distribuição da entrada, bem como da coleta interna do efluente tratado nos WC's. É importante destacar, que ainda que não ocorra com a mesma frequência das variáveis operacionais citadas anteriormente, a substituição do material filtrante também pode acontecer; porém, tal

ação apenas se torna necessária quando ocorre a colmatação do sistema, efeito que depende substancialmente da boa manutenção e operação das WC's, uma vez que se realizado corretamente, prolonga a vida útil do sistema.

Cabe destacar ainda que foi optado por não utilizar bombas para alimentação dos WC's para evitar custos operacionais com energia elétrica, e implantação de entrada de energia e rede de distribuição, a fim de tornar o sistema mais simples e menos oneroso. Desta forma, foi adotada, para os sistemas, a alimentação alternada por sistema de sifões dosadores.

Neste contexto, foram realizadas as previsões de custos operacionais para os três tipos de sistemas de WC's estudados neste trabalho. Em primeiro momento, foram elencadas quais as atividades envolvidas durante a operação dos WC's, bem como cada atividade compete a cada sistema. O Quadro 6 expõe os itens de operação divididos de acordo com sua aplicabilidade em cada tipologia.

Quadro 6 - Itens de operação dos sistemas de WC's.

Serviço	WCH	WCV	WCSF
Monitoramento	Sim	Sim	Sim
Poda e limpeza	Sim	Sim	Sim
Alternância das unidades	N/A	Sim	Sim

Fonte: Autoria Própria (2023).

Basicamente, foram elencados três principais tipos de serviços de operação, sendo eles:

- **Monitoramento:** Acompanhamento do bom funcionamento das unidades, verificando o fluxo de efluente verificando o funcionamento dos sifões, tanto na entrada como na saída, monitoramento da colmatação, acompanhamento do crescimento das macrófitas, verificação e limpeza das tubulações, conexões e registro a fim de evitar vazamentos, entupimentos, dentre outras ocorrências de problemas relacionados. Aplicação: WCH, WCV e WCSF.
- **Poda e Limpeza:** Manutenção do crescimento através da poda das macrófitas, remoção da biomassa resultante da poda e controle de pragas ou outras espécies de plantas não pertencentes à configuração projetada para os WC's. Aplicação: WCH, WCV e WCSF.

- **Alternância das unidades:** Realização de abertura e fechamento de registros de alimentação das unidades para promover a alternância do fluxo de efluente entre as unidades em operação e unidades em descanso: Aplicação: WCV e WCSF. É oportuno lembrar que neste item, em específico, não é contemplada a tipologia de WCH, em razão de seu fluxo de alimentação ser constante em todas as unidades, não exigindo alternância entre unidades operacionais e em descanso.

Von Sperling e Sezerino (2018) relatam que os WC's não requerem manutenções frequentes, porém é prudente que o monitoramento das unidades bem como as condições plenas de funcionamento seja feita por profissionais treinados (PERONDI et al., 2020). Em virtude da alternância de operação, os WCV exigem mais envolvimento com a operacionalização das unidades do que nos sistemas WCH.

Schroeder et al. (2022) considerou, para a operação e manutenção dos WC's, um operador com frequência mensal para o WCH e quinzenal para o WCV e o sistema híbrido, sendo cada operação com duração de 4 horas. Realizando uma correlação entre o tempo de operação por área superficial dos WC, chegou-se a uma taxa de 0,0127 h m²-1h para o WCH e 0,0254 para as unidades de WCV. De maneira a proporcionar o tempo de manutenção com os modelos dimensionados neste trabalho, aplicou-se a taxa unitária de tempo por unidade de área superficial, para as áreas requeridas aqui dimensionadas. Para o WCSF foi adotado a mesma taxa dos WCV, pois apesar das diferenças entre os dois sistemas, ambos operam com fluxo vertical descendente.

A Tabela 8 descreve o cálculo da carga horária necessária de forma proporcional à área superficial requerida de cada sistema, sendo inicialmente quantificado em horas, e depois em dias, considerando uma jornada de trabalho de 8 horas diárias.

Tabela 8 - Quantificação de carga horária para operação dos WC's

Sistema	Duração unitária (h/m ²)	Área total do sistema (m ²)	Duração total (h)	Horas por dia (h)	Duração do Serviço (Dias)
WCH	0,0127	2556	32	8	4
WCV	0,0254	2708	68,78	8	8,6
WCSF	0,0254	1740	44	8	6

Fonte: Autoria Própria (2022).

Na sequência, conforme exposto no Quadro 1, foi utilizada a duração do serviço em dias para estimar a periodicidade de operação do sistema bem como a jornada de trabalho semanal.

Quadro 7 - Periodicidade de operação dos sistemas WC para loteamento em Frederico Westphalen-RS.

Sistema	Frequência
WCH	1 dia por Semana
WCV	2 dia por Semana
WCSF	1,5 dia por Semana

Fonte: Autoria Própria (2023).

Utilizando a periodicidade calculada anteriormente, foi possível estabelecer a carga horaria mensal do operador e precificar o custo operacional dos WC's, de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9 - Planilha de custos operacionais para loteamento em Frederico Westphalen-RS.

Sistema	Frequência (Dias por semana)	Carga Horaria Mensal (h)	Custo do Operador (R\$/h)	Custo de Operação mensal	Custo de Operação Anual	Custo de Operação em 15 Anos
WCH	1	36	R\$ 25,28	R\$ 910,08	R\$ 10.920,96	R\$ 163.814,40
WCV	2,15	77,4	R\$ 25,28	R\$ 1.956,67	R\$ 23.480,06	R\$ 352.200,96
WCSF	1,5	54	R\$ 25,28	R\$ 1.365,12	R\$ 16.381,44	R\$ 245.721,60

Fonte: Autoria Própria (2023).

A carga horaria mensal foi definida com base em uma média de 4,5 semanas em um mês. Para o custo do operador, utilizou-se o valor de referência da SINAPI-I, utilizando o cargo de auxiliar técnico / assistente de engenharia, cujo código de referência SINAPI é 532. Os valores de custo de operação foram expostos em três cenários distintos, onde primeiramente verificou-se o custo mensal de operação, pois na prática, a rotatividade de desembolso financeiro operacional ocorre mensalmente.

Outro cenário a ser destacado é o valor anual gasto com a operação, sendo importante destacar que não foram considerados custos trabalhistas como encargos sociais, 13º salário e férias, ou então tributação fiscal em caso de prestação de serviço por empresa terceirizada, pois estes custos dependem do regime de contratação.

Por último, avaliou-se o custo no cenário de vida útil de 15 anos de operação dos WC's, com base na literatura e em outras unidades que já estão em operação em

um período igual ou maior. Também se considerou que na metade da vida útil dos sistemas, possa ser necessário o replantio das macrófitas; assim, o custo total operacional ao longo da vida útil dos sistemas é exposto na Tabela 10.

Tabela 10 - Custo operacional ao final da vida útil dos WC's para loteamento em Frederico Westphalen-RS.

Sistema	Custo com replantio das macrófitas	Custo de Operação em 15 Anos	Custo de operacional final
WCH	R\$ 25.175,64	R\$ 163.814,40	R\$ 188.990,04
WCV	R\$ 25.175,64	R\$ 352.200,96	R\$ 377.376,60
WCSF	R\$ 19.251,20	R\$ 245.721,60	R\$ 264.972,80

Fonte: Autoria Própria (2023).

Destaca-se que não foi considerado nenhum tipo de correção monetária para previsão dos custos ao longo dos anos, e recomenda-se que para a aproximação do custo real, faça-se a correção através do índice IGPM do período da cotação atual até o momento da atualização dos valores, ou então pela precificação atualizada dos itens.

5.4 CUSTOS TOTAIS

De forma conclusiva em relação aos custos totais, é apresentado na Tabela 11 o custo total durante toda a vida útil projetada dos sistemas WC's estudados neste trabalho, aplicados ao loteamento objeto deste estudo.

Tabela 11 - Custo total durante a vida útil dos WC's para loteamento em Frederico Westphalen-RS.

Sistema	Custo de operação	Custo de implantação	Custo TOTAL
WCH	R\$ 188.990,04	R\$ 291.971,79	R\$ 480.961,83
WCV	R\$ 352.804,44	R\$ 465.192,71	R\$ 817.997,15
WCSF	R\$ 264.972,80	R\$ 317.779,78	R\$ 582.752,58

Fonte: Autoria Própria (2023).

Observa-se que, considerando todos os custos envolvidos, mantendo o padrão, o WCV possui o maior custo agregado chegando a ser 70% maior que o sistema WCH.

Quando comparado com o WCSF, o sistema de WCV apresentou custo 40,37% maior. E em relação ao WCH, o sistema francês apresentou uma variação de custo da ordem de 21,16% maior que o WCH.

5.5 ESCOLHA DO SISTEMA PELO MÉTODO AHP

Conforme descrito nos processos metodológicos, objetiva-se buscar qual a melhor alternativa dentre as três tecnologias avaliadas para o tratamento descentralizado de esgoto aplicado a loteamentos em caso específico no município de Frederico Westphalen/RS. Desta forma, para que fosse possível realizar a escolha de forma coerente, utilizou-se o método AHP para auxiliar na escolha da melhor metodologia.

Sendo assim, foram definidos os critérios, bem como os indicadores para as alternativas, onde para cada um dos critérios foram realizadas comparações entre os pares de indicadores, atribuindo-se valores de importância de acordo com a escala fundamental de Saaty. O Quadro 8 mostra o resumo dos critérios e seus respectivos indicadores avaliados, juntamente com a abreviação de cada um, a natureza de qualificação e a unidade do parâmetro avaliado.

Quadro 8 - Resumos dos critérios e indicadores da análise hierárquica AHP para escolha do melhor sistema WC para Frederico Westphalen-RS.

Crítérios	Indicadores	Abreviação	Natureza	Unidade
Ambientais	Área superficial requerida unitária	ASRU	Quantitativo	m ² /Hab.
	Dispensa de tratamento primário	DTP	Qualitativo	N/A
	Atendimento a Legislação	AL	Qualitativo	N/A
Econômicos	Custo de Implantação	CI	Quantitativo	R\$
	Custo de Operação	CO	Quantitativo	R\$
	Custo de Vida Útil	CVU	Quantitativo	R\$
Sociais	Aceitação Pública	AP	Qualitativo	N/A
	Complexidade de Construção	CXCONS	Qualitativo	N/A
	Complexidade de Operação	CXOP	Qualitativo	N/A

Fonte: Autoria Própria (2023).

5.5.1 Definição do objetivo da análise hierárquica

Com a implementação do método AHP, buscou-se encontrar qual o sistema de WC mais viável para implantação em loteamentos. Desta forma, foram atribuídos valores de importância para cada critério e para cada indicador, o que permitiu montar uma matriz de prioridade local para cada alternativa e uma matriz global para os critérios de sustentabilidade.

Os valores de importância adotados para comparação foram adotados com base no questionário aplicado ao grupo de estudo para a AHP. O Apêndice VI mostra em resumo as respostas, bem como as preferências do grupo, juntamente com a variação em porcentagem e o nível de importância de acordo com o intervalo de variação.

5.5.2 Definição da importância dos indicadores dos critérios de seleção

Inicialmente, foi elaborado o Quadro 9, no qual foram comparados os pares entre si. Inicialmente, avaliou-se o critério ambiental frente ao critério econômico, e julgou-se que os aspectos ambientais são importantes, no entanto, para que possa ser desempenhada sua função de contribuição ambiental, é necessário que seja implantado o sistema, o que por sua vez gera custos. Desta forma, o grupo de estudo julgou que o indicador econômico é mais importante.

Quando comparados os indicadores ambientais frente aos indicadores sociais, também foi definido que o grau de importância de um sobre o outro 5, mas nesta comparação sobressaiu o critério ambiental. Por fim, realizou-se a última comparação entre os pares atendendo a todas as combinações possíveis, onde foram comparados os critérios econômicos frente aos critérios sociais. Neste caso, julgou-se que os aspectos econômicos possuem maior importância frente aos critérios sociais.

Quadro 9 - Definição dos critérios de sustentabilidade para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.

Ambientais			6	Econômicos
Ambientais	5			Sociais
Econômicos	3			Sociais

Fonte: Autoria Própria (2023).

Após definidas as prioridades entre os critérios, foi possível montar a matriz de comparação entre os critérios de sustentabilidade, a qual está exposta na Tabela 12.

Tabela 12 - Matriz de comparação dos critérios de sustentabilidade para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.

Matriz de comparação dos critérios de sustentabilidade	Ambientais	Econômicos	Sociais
Ambientais	1,00	0,17	5,00
Econômicos	6,00	1,00	3,00
Sociais	0,20	0,33	1,00
Soma	7,20	1,50	9,00

Fonte: Autoria Própria (2023).

Com a matriz montada, realizou-se o processo de normalização da matriz para que fosse possível a obtenção do vetor de prioridade. Tal processo é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Matriz normalizada dos critérios de sustentabilidade para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.

Matriz normalizada dos critérios de sustentabilidade	Ambientais	Econômicos	Sociais	Vetor de Prioridade
Ambientais	0,14	0,11	0,56	27%
Econômicos	0,83	0,67	0,33	61%
Sociais	0,03	0,22	0,11	12%

Fonte: Autoria Própria (2023).

O vetor de prioridade permitiu observar o nível de importância de cada um dos critérios para determinar a escolha da tipologia. Assim, foi elencado como o de maior importância o critério econômico, totalizando o percentual de 61%, na sequência aparece o critério ambiental com importância de 27% e, por fim, o critério social com 12%.

Schroeder *et al.* (2022) aplicou a mesma metodologia para escolha do melhor método utilizando-se dos critérios de sustentabilidade, porém utilizando outras alternativas de tratamento além dos WC, principalmente, ao que diz respeito à eficiência dos sistemas que a autora avaliou. Outro ponto a se destacar é que Schroeder (2020) aplicou a metodologia AHP a um grupo de estudos para verificar as

preferências de cada integrante e assim poder observar as prioridades da maioria. Como resultado, a preferência do grupo de estudos foi em relação à dimensão ambiental, com prioridade 56% sobre os demais critérios, seguido do critério econômico, com 32%, e, por fim, o critério social com o menor percentual de prioridade, totalizando 12%.

5.5.3 Definição dos indicadores das alternativas

5.5.3.1 Indicadores ambientais

Para os indicadores ambientais foram analisados três indicadores, sendo eles a área superficial requerida, a dispensa de tratamento primário e o WC como alternativa de tratamento descentralizado. Desta forma, comparou-se cada um dos pares entre si. O Quadro 10 demonstra as intensidades adotadas para cada comparação entre os indicadores.

Primeiramente, foi comparado o indicador da área superficial requerida com o indicador de dispensa de tratamento primário, sendo atribuído que a primeira possui importância maior em relação ao critério ambiental na implantação de WC. A segunda comparação foi entre a área superficial requerida e o atendimento a legislação, onde se julgou que o atendimento a legislação possui importância absoluta para a viabilidade de implantação.

Por fim, comparou-se o indicador de dispensa de tratamento primário com o atendimento a legislação, onde o mesmo novamente sobressai-se sobre a alternativa de tratamento descentralizado, sendo atribuído grau de importância 8.

Quadro 10 - Definição dos Indicadores ambientais

ASRU	2			DTP
ASRU			9	AL
DTP			8	AL

Fonte: Autoria Própria (2023).

Sendo definidas as prioridades dentre os indicadores ambientais, foi possível montar a matriz de comparação dos pares. A Tabela 14 expõe a matriz montada de acordo com os valores de prioridade adotados.

Tabela 14 - Matriz de comparação dos indicadores ambientais para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.

Matriz de comparação dos indicadores Ambientais	ASRU	DTP	AL
ASRU	1,00	0,50	0,11
DTP	2,00	1,00	0,13
AL	9,00	8,00	1,00
Soma	12,00	9,50	1,24

Fonte: Aatoria Própria (2023).

Na sequência à elaboração da matriz de comparação, realizou-se o processo de normalização da matriz para obtenção do vetor de prioridade. Tal processo é descrito na Tabela 15.

Tabela 15 - Matriz normalizada dos indicadores ambientais para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.

Matriz normalizada dos indicadores Ambientais	ASRU	DTP	AL	Vetor de Prioridade
ASRU	0,08	0,05	0,09	8%
DTP	0,17	0,11	0,10	12%
AL	0,75	0,84	0,81	80%

Fonte: Aatoria Própria (2023).

A partir da obtenção do vetor de prioridade, verificou-se que, através dos julgamentos prévios e após elaboração da matriz normalizada, o ponto mais importante, dentro dos indicadores ambientais estabelecidos, consiste no atendimento a legislação com preferência de importância de 80%, seguido pela dispensa de tratamento primário com 12% e, na sequência, a área superficial requerida com 8%.

5.5.3.2 Indicadores econômicos

Dando sequência ao processo de tomada de decisão AHP, para os indicadores econômicos foram também adotadas três variáveis para definição da importância: custo de implantação, custo de operação e custo ao longo da vida útil dos WC. Seguindo o processo, foram comparados todos os indicadores entre si e, posteriormente, formando a matriz de comparação.

A primeira comparação realizada foi entre custo de implantação e custo de operação, onde se julgou que o custo de implantação possui maior relevância. Na sequência, foi comparado o indicador de custo de implantação com o custo ao longo da vida útil da WC, sendo atribuído que o custo de implantação é mais importante que o custo ao longo da vida útil do WC. Por último, avaliou-se o custo de operação frente ao custo ao longo da vida útil do sistema, prevalecendo o custo ao longo da vida útil. O Quadro 11 mostra os valores adotados para realizar a comparação entre os pares.

Quadro 11 - Definição dos indicadores econômicos para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.

CI	3			CO
CI	3			CVU
CO			5	CVU

Fonte: Autoria Própria (2023).

De posse das prioridades, dentre os indicadores econômicos, elaborou-se a matriz de comparação dos pares. A Tabela 16 expõe a matriz montada de acordo com os valores de prioridade adotados.

Tabela 16 - Matriz de comparação dos indicadores econômicos para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.

Matriz de comparação dos indicadores Econômicos	CI	CO	CVU
CI	1,00	3,00	3,00
CO	0,33	1,00	0,20
CVU	0,33	5,00	1,00
Soma	1,67	9,00	4,20

Fonte: Autoria Própria (2023).

Seguindo o processo metodológico da AHP, procedeu-se a normalização da matriz, obtendo-se assim o vetor de prioridade, como descrito na Tabela 17.

Tabela 17 - Matriz normalizada dos indicadores econômicos para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.

Matriz normalizada dos indicadores Econômicos	CI	CO	CVU	Vetor de Prioridade
CI	0,60	0,33	0,71	55%

CO	0,20	0,11	0,05	12%
CVU	0,20	0,56	0,24	33%

Fonte: Autoria Própria (2023).

Com a obtenção do vetor de prioridade dos indicadores econômicos, verificou-se que o custo de implantação lidera o ranking de prioridade com 55%, seguido do custo ao longo da vida útil com 33% e por último o custo de operação do sistema com 12%.

5.5.3.3 Indicadores sociais

O último critério a ser avaliado foi o social, onde foram abordados os seguintes critérios:

- Aceitação pública;
- Complexidade de construção;
- Complexidade de operação;

A partir destes indicadores, foram comparadas, inicialmente, a aceitação pública com a complexidade de construção, onde ponderou-se ser mais importante, e com grande intensidade de prioridade, a aceitação pública. Posteriormente, realizou-se a mesma comparação anterior, porém frente à complexidade de operação, onde foi definido também como mais importante a complexidade de operação, porém com pouca intensidade superior. Por último, efetuou-se a comparação entre a complexidade de operação e a complexidade de construção, onde sobressaiu-se complexidade de operação maior intensidade igual a 5.

Quadro 12 - Definição dos indicadores sociais para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.

AP	8			CXCONS
AP			2	CXOP
CXCONS			5	CXOP

Fonte: Autoria Própria (2023).

Definidas as prioridades dentre os indicadores sociais, elaborou-se a matriz de comparação dos pares. A Tabela 18 expõe a matriz montada de acordo com os valores de prioridade adotados.

Tabela 18 - Matriz de comparação dos indicadores sociais para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.

Matriz de comparação dos indicadores Sociais	AP	CXCONS	CXOP
AP	1,00	8,00	0,50
CXCONS	0,13	1,00	0,20
CXOP	2,00	5,00	1,00
Soma	3,13	14,00	1,70

Fonte: Autoria Própria (2023).

Por fim realizou-se o processo de normalização da última matriz de comparação, sendo possível a obtenção do vetor de prioridade dos indicadores sociais. Tal processo é descrito na Tabela 19.

Tabela 19 - Matriz normalizada dos indicadores sociais para AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.

Matriz normalizada dos indicadores Sociais	AP	CXCONS	CXOP	Vetor de Prioridade
AP	0,32	0,57	0,29	40%
CXCONS	0,04	0,07	0,12	8%
CXOP	0,64	0,36	0,59	53%

Fonte: Autoria Própria (2023).

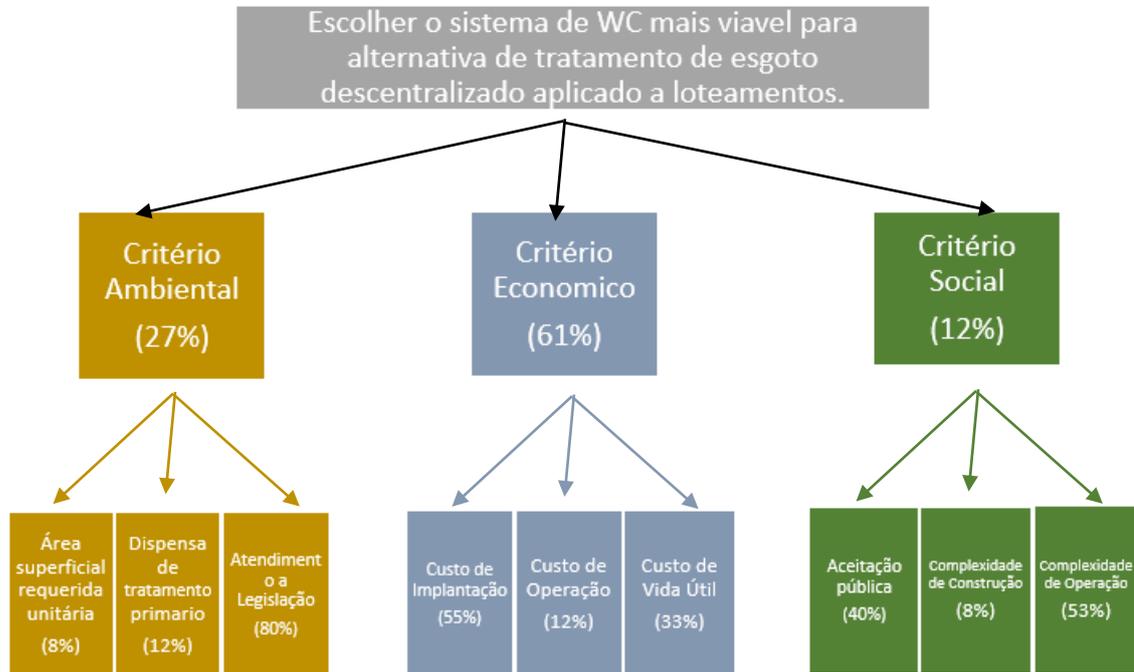
Em consonância com os indicadores econômicos, onde foi priorizado o custo de operação dos sistemas WC como mais importante, o vetor de prioridade dos indicadores sociais revela que a complexidade de operação é a variável mais importante dentre os demais indicadores comparados, com 53%; a aceitação pública vem na sequência, com 40%, e, pôr fim, a complexidade de construção com 8%.

5.5.4 Resumo das definições de importância de acordo com o método AHP.

De acordo com o exposto anteriormente foi possível aplicar a metodologia para definir as prioridades através da análise multicritério AHP. Cabe lembrar que não foi realizada a pesquisa através da análise de grupo, uma vez que o objetivo desta pesquisa é avaliar a viabilidade de implantação de WC em loteamentos no município de Frederico Westphalen/RS e, dentre os sistemas dimensionados, escolher qual WC possui melhor aplicabilidade de acordo com os critérios estabelecidos. A Figura 26

resume os percentuais obtidos através do vetor de prioridade para cada indicador, bem como dos critérios avaliados.

Figura 26 - Fluxograma de resumo das prioridades de cada critério da AHP de WC's em estudo de caso em Frederico Westphalen-RS.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Conforme os percentuais de prioridade avaliados, observou-se uma tendência de priorizar o critério econômico, o que por sua vez, viabilizaria como melhor opção para implantação no loteamento o WCH. Mas também cabe destacar que o critério ambiental também merece destaque principalmente na variável sobre a demanda por área para implantação dos sistemas, onde dentro desse quesito sobressai-se o WCSF.

6 CONCLUSÕES

O que se buscou a partir desta pesquisa foi não somente evidenciar os benefícios de implantação dos sistemas WC. Também se espera que desperte o interesse das autoridades e profissionais responsáveis pela elaboração dos planos diretores e planos de saneamento dos municípios.

Também objetivou tornar evidente a importância da descentralização dos sistemas de tratamento de esgoto, ainda que a mesma já seja uma realidade em nossa região, porém de forma individual. Assim, buscou-se chamar a atenção dos poderes executivos e legislativos em relação à implantação dessa alternativa para o tratamento de águas residuárias domésticas de maneira regionalizada, que proporcionaria melhor qualidade de vida dos munícipes, com sistemas eficientes para o tratamento de esgoto e tornando o impacto ambiental o menor possível.

Desta forma, o intuito foi expressar de forma clara e objetiva o aspecto sustentável, econômico e ao mesmo tempo eficiente da implantação dos sistemas WC na sua configuração como tecnologia descentralizada para o tratamento de esgotos, sejam eles brutos ou pré-tratados, de acordo com o sistema indicado ao fim desta pesquisa.

Dentre os resultados obtidos, inicialmente, é importante destacar que todos os três sistemas dimensionados possuem viabilidade de implantação quando avaliado o parâmetro de área superficial requerida, pois todos podem ser implantados no terreno destinado a equipamentos públicos do empreendimento. No entanto, neste quesito destacou-se o WCSF que possuiu a menor taxa de área requerida com uma área total de 1736 m² de área. Perante as prioridades dentro dos critérios ambientais, a demanda por área foi a variável com maior nível de importância adotada, desta forma, o WCSF se sobressai sobre os demais em virtude de requerer menor área de implantação.

Ainda sobre os indicadores ambientais avaliados, destaca-se que a adoção de um sistema descentralizado de tratamento de efluentes ficou como segunda colocação no ranking de importância, à frente da dispensa de tratamento primário. Pode-se atribuir isso ao fato da perspectiva de importância ser da ótica empreendedora do loteamento, desta forma, a utilização ou não de pré-tratamento nas unidades autônomas não é uma competência do loteador, e sim do proprietário

do lote que deverá implementar o sistema no momento em que for edificar sobre o lote.

No que diz respeito aos indicadores econômicos, o custo de implantação foi a preferência de acordo com o método AHP, seguido do custo de operação. Seguindo a análise de custo realizada, verifica-se que o WCH é o mais viável economicamente, tanto na implantação quanto na operação, ainda que, no custo de operação, possua pequena variação em relação ao WCSF.

Quanto aos indicadores sociais abordados neste estudo, verificou-se que o nível de maior importância é atribuído à complexidade de implantação, e na sequência da complexidade de operação. Partido desses atributos, é possível afirmar que o sistema WCH é o que possui menor complexidade, tanto de implantação, pois requer menor volume de materiais envolvido, quanto na operação, pois é um sistema que exige menos monitoramento e manutenção do sistema.

Cabe ressaltar que, após concluídas as obras, toda área reservada ao domínio público deverá ser doada ao município, ficando os custos de operação e manutenção de toda a infraestrutura do loteamento ao erário público, inclusive dos WC's. Isso ressalta a complexidade de escolher uma alternativa viável para o tratamento descentralizado aplicado a loteamentos, uma vez que parte do custo é do empreendedor, neste caso, a implantação do WC, e outra parte é do município, como citado anteriormente, e com exceção do WCSF, os demais aqui estudados ainda requerem sistema de tratamento primário, que por sua vez também demandam de manutenções periódicas, e que se não realizada de maneira correta, pode acarretar em problemas ambientais pela ineficiência do sistema.

Contudo, visto que dos critérios avaliados pelo processo hierárquico para tomada de decisão AHP, sendo eles os critérios econômicos, ambientais e sociais, possuindo percentual de importância de 61%, 27% e 12%, respectivamente, é possível afirmar que o sistema mais viável de implantação, dentro dos parâmetros avaliados, é o WCH.

Ainda assim, é possível destacar que o sistema WCSF também é uma possibilidade viável de implantação a loteamentos, uma vez que quando comparado a variação de custo entre o WCH e WCSF, para o atendimento de uma mesma população, é bastante discreta. Todavia, o sistema Francês se destaca por dois critérios ambientais, sendo eles, a utilização de menor área de implantação e dispensa de tratamento primário, fator este que pode contribuir na eficiência do tratamento, uma

vez que a manutenção do sistema não depende do proprietário do lote, assim, evitam-se possíveis problemas nas unidades de WC. Além disso, com o WCSF, é possível atingir melhor qualidade do efluente no que diz respeito ao nitrogênio amoniacal, onde a nitrificação é mais efetiva. Portanto, se houver necessidade de remoção de nitrogênio amoniacal para lançamento do efluente em curso d'água, o sistema francês aparece como melhor alternativa.

A concentração da manutenção dos sistemas pode ser um fator decisivo na operação dos WC, assumindo que os responsáveis por tal ação realizem a mesma de forma correta. Desta forma, é possível citar o WCSF que possibilita que todo processo de operação e manutenção da unidade seja concentrada em apenas um agente administrativo, o que por sua vez minimiza possíveis problemas aos WC devido à não manutenção dos sistemas de tratamento primário proveniente dos lotes individuais.

Por fim, espera-se que este trabalho contribua com a disseminação do assunto dentre empreendedores do ramo de loteamentos, bem como do poder público, principalmente, no que se refere à descentralização do tratamento de esgoto e à adoção de novas tecnologias que possam contribuir para a sustentabilidade em todas suas esferas. Salienta-se ainda que este estudo foi aplicado a um cenário específico e, em hipóteses diferentes das aqui abordadas, ou em aplicações diferentes do exposto neste trabalho, podem não refletir os mesmos resultados.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar e comparar os resultados da análise AHP com os mesmos indicadores a um grupo multidisciplinar para tomada de decisão.
- Comparar custos de manutenção de sistemas de tratamento individual com sistemas de tratamento descentralizado coletivo.
- Comparar custos de implantação entre WC e ETE's compactas como forma de tratamento descentralizado.
- Analisar custo de implantação de WC's como forma de tratamento individual e descentralizado coletivo.
- Comparar a qualidade do efluente tratado nas três modalidades de WC estudadas (WCH, WCV e WCSF), em termos de matéria orgânica carbonácea, nitrogênio, fósforo e coliformes.

8 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7229. **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993, 15p.

_____. NBR 13969. **Tanques Sépticos – Unidade de Tratamento Complementar e Disposição Final de Efluentes Líquidos: Projeto e Construção**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997, 60p.

ANA. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas** / Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. – Brasília, ANA, 2017.

BERGOSSO, L. **Determinação de parâmetros de projeto e critérios para dimensionamento e configuração de Wetlands construídos para o tratamento de água cinza**. Dissertação de M. Sc. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2009.

BORRETO, M.; COMINO, E.; RIGGIO, V. **Application of the Analytic Hierarchy Process and the Analytic Network Process for the assessment of different wastewater treatment systems**. Environmental Modelling & Software, v. 26, n. 10, p. 1211-1224, 2011.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445. **Estabelece as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico**. 5 jan. 2007.

_____. Lei Federal nº 14.026. **Novo Marco do saneamento básico Brasileiro**. 15 jul. 2020.

_____. Lei Federal nº 6.766. **Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências**. 19 dez. 1979.

_____. Lei Federal nº 14.133. **Lei de Licitações e Contratos Administrativos**. 1º abr. 2021.

_____. Lei municipal Nº 1.036/1984 de Frederico Westphalen. **Dispõe sobre parcelamento de solo urbano**. 23 nov. 1984

CALIJURI, M. L. et al. **Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/wetlands construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes**. Revista Engenharia Sanitaria e Ambiental, v.14 n.3, jul/set 2009 | 421-430

COOPER, P. F.; JOB, G. D.; GREEN, M.B.; SHUTES, R. B. E. **Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment**. Swindon: WRc plc. 184 p., 1996

COSTA, J. M. C. da; SILVA, S. M. B. **Comparação de processos de levantamento de quantitativos: tradicional e bim.** In: **9º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.** Maceió, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Sheyla_Serra/publication/301435446_Comparacao_de_processos_de_levantamento_de_quantitativos_tradicional_e_BIM/links/571a71db08ae7f552a4731d5/Comparacao-de-processos-de-levantamento-de-quantitativos-tradicional-e-BIM.pdf>. Acesso em: 02 Jan. 2020.

DECEZARO, S. T. **Nitrificação e remoção de matéria orgânica carbonácea e sólidos de efluente doméstico em wetland construído de fluxo vertical.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

DECEZARO, S. T. **Sistema de tanque séptico e wetland construído vertical com recirculação para remoção de matéria orgânica e nitrogênio de esgoto doméstico.** Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

DECEZARO, S. T.; WOLFF, D. B.; PELISSARI, C.; RAMIREZ, R. J. M. G.; FORMENTINI, T. A.; GOERCK, J.; RODRIGUES, LUIZ. F.; SEZERINO, P. H. **Influência da taxa de carregamento hidráulico e recirculação na transferência de oxigênio em uma área úmida construída de fluxo vertical.** *Ciência do Meio Ambiente*, v. 668, p. 988 - 995, 2019.

DOTRO, G.; LANGERGRABER, G.; MOLLE, P.; NIVALA, J.; PUIGAGUT, J.; STEIN, O.; VON SPERLING, M. **Treatment Wetlands.** 1. ed. Londres: IWA Publishing, 2017. v. 7

FEDERAL, Caixa Econômica. **SINAPI – Tabela de preços de insumos - desonerado.** Brasil, Governo Federal. Dez/2022. Disponível em:<https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2009rs/SINAPI_ref_Insumos_Composicoes_RS_122022_Desonerado.zip>

_____. **SINAPI – Tabela analítica de preços de composições - desonerado.** Brasil, Governo Federal. Dez/2022. Disponível em:<https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2009rs/SINAPI_ref_Insumos_Composicoes_RS_122022_Desonerado.zip>

_____. **SINAPI – Tabela sintética de preços de composições - desonerado.** Brasil, Governo Federal. Dez/2022. Disponível em:<https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2009rs/SINAPI_ref_Insumos_Composicoes_RS_122022_Desonerado.zip>

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. **Manual de sistemas de wetlands construídas para o tratamento de esgotos sanitários: Implantação, operação e manutenção:** Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2018.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério a decisão.** São Paulo: Thomson, 2004.168 p.

HOFFMANN, H.; PLATZER, C.; WINKER, M.; VON MUENCH, E. **Technology review of constructed wetlands Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment**. Eschborn: Giz, 36 p., 2011.

JOHANSEN, N. H.; BRIX, H., **Design criterial for a two-stage construed wetland. Wetland Systems for Water Pollution Control**. Proceedings ICWS, Institute for Water Provision, Viena, Austria, 1996.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. **Treatment wetlands, Second Edition. Treatment Wetlands**, p. 965, 2009.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentistas, estudo de caso, exemplos**. São Paulo: Editora Pini, 2006.

MEDEIROS, D. M. de. **Estudo sobre a aplicação de wetlands construídos para o tratamento de esgoto em loteamentos, condomínios e comunidades isoladas**. 2017. 191p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/179012/348175.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

METCALF & EDDY. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5 ed. Tradução: Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. Porto Alegre: AMGH, 1980p., 2016.

MOLLE, P. et al. **How to treat raw sewage with constructed wetlands: na overview of the French systems**. Water Science & Technology, v. 51, p. 11-21, 2005

NHAPI, I. A **Framework for the decentralized management of wastewater in Zimbabwe**. Elsevier: Physics and Chemistry of the Earth, v.29. p. 1265 – 1273, 2004.

NIVALA, J. et al. **Oxygen transfer and consumption in subsurface flow treatment wetlands**. Ecological Engineering, 61P, 2013.

OLIVEIRA JÚNIOR, JL. **Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas: uma estratégia de inclusão social**. In: LIRA, WS., and CÂNDIDO, GA., orgs. *Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa* [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2013, pp. 213-232. ISBN 9788578792824. Available from SciELO Books.

LOBO OLIVEIRA, J. J.; ISMAEL DE SOUSA, T. M.; MENEZES TELES BRANDÃO , A. F. **Dimensionamento de wetlands construídos**. Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN), v. 4, n. 1, 31 out. 2020.

PAING, J., GUILBERT, A., GAGNON, V., & CHARAZENC, F. **Effect of climate, wastewater composition, loading rates, system age and design on performances of French vertical flow constructed wetlands: A survey based on 169 full scale systems**. Ecological Engineering, v.80, p.46–52, 2015

PERONDI, T.; WOLFF, D. B.; DECEZARO, S. T.; ARAÚJO, R. K. de. **Wetlands construídos para o tratamento de esgoto doméstico: uma análise comparativa do custo do ciclo de vida.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 175-189, 2020.

PHILIPPI, L. S.; COSTA, R. H. R.; SEZERINO, P. H. **Domestic effluent treatment through integrated system of septic tanks and root zone.** Water Science and Technology, v. 40, n. 3 p. 125-131, 1999.

PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H. **Aplicação de sistemas tipo Wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas.** 1. ed. Florianópolis: Ed. do Autor, 2004. 144 p.

PLATZER, C. **Design recommendation for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification.** Water Science Technology, v. 40, nº 3, p. 257-263, 1999.

POÇAS, C. D. **Wetlands construídos para tratamento de esgoto.** Instituto da engenharia. São Paulo, 2018. Disponível em <<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/events/wetlands-construidos-para-tratamento-de-esgoto/>>. Acesso em 01 de Jan. 2021

SAATY, T. L. **A Scaling method for priorities in hierarchical structures.** Journal of Mathematical Psychology, v. 15, p. 234-281, 1977.

SÁNCHEZ, C. G. **Participação da macrófita *typha domingensis* na remoção de nutrientes de esgoto sanitário em wetlands construídos.** 2015. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SCHROEDER, A. K. **Avaliação de tecnologias normatizadas e wetlands construídos empregados no tratamento descentralizado de esgoto por meio de análise multicriterial.** 2020. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

SEZERINO, P. H.; BENTO, A. P.; DECEZARO, S. T.; MAGRI, M. E.; PHILIPPI, L. S. **Experiências Brasileiras com Wetlands Construídos Aplicados ao Tratamento de Águas Residuárias: Parâmetros de Projeto para Sistemas Horizontais.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 20, p. 151-158, 2015a

SEZERINO, P. H.; PELISSARI, C. **Wetlands construídos como ecotecnologia para o tratamento de águas residuárias: experiências brasileiras.** 15ª Edição. Curitiba: Editora Brasil Publishing, 2021.

SEZERINO, P. H.; PHILIPPI, L. S. **Utilização de um sistema experimental por meio de “wetland” construída no tratamento de esgotos domésticos pós tanque séptico.** 2000. IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais, Porto Seguro, Bahia, 2000.

SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos Filtros Plantados com Macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical.** 2006. 171 p. Tese de Doutorado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SEZERINO, P. H. BENTO, A. P.; DECEZARO, S. T.; MAGRI, M. E.; PHILIPPI, L. S. **Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais.** Revista Engenharia Sanitaria e Ambiental, v.20 n.1 | jan/mar 2015 | 151-158.

SEZERINO, P. H.; ROUSSO, B. Z.; PELISSARI, C.; SANTOS, M. O.; FREITAS, M. N.; FECHINE, V. Y.; LOPES, A. M. B. **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.

SILVA, S.C. **Wetlands construídos de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos.** Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e recursos hídricos. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.

SNIS. **Diagnóstico temático – serviços de água e esgoto – visão geral /** Sistema nacional de informações sobre saneamento, Ministério do desenvolvimento regional, Secretaria nacional de saneamento. – Brasília, SNIS, 2021.

STEFANAKIS, A.; AKRATOS, C. S.; TSIHRINTZIS, V. A. **Vertical Flow Constructed Wetlands: Eco-engineering Systems for Wastewater and Sludge Treatment.** 1. ed. Amsterdam: Elsevier Science, 2014.

SUBTIL, E. L.; SANCHEZ, A. A.; CAVALHERO, A. Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto e reuso de água. p. 201-220. In: MANTOVANI, W.; CARDOSO, A. O.; BENASSI, R. F.; SUBTIL, E. L. (Org). **Ciência e tecnologia ambiental: conceitos e perspectivas.** São Bernardo do Campo: EdUFABC, 2016.405 p.

TCPO. **Tabelas de composições de preço para orçamentação.** 15º Edição. São Paulo: Editora Pini, 2017.

TISAKA, M. **Orçamento na Construção – Consultoria, Projeto e Execução.** São Paulo: Editora Pini, 2007. 387 p.

TREIN, C. M. **Monitoramento de sistemas descentralizados de wetlands construídos de fluxo vertical aplicados no tratamento avançado de esgotos.** 2015. 134 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/134780/334115.pdf?sequenc e=1&isAllowed=y>>.

TREIN, C. M.; BANC, C.; MACIEJEWSKI, K.; MOTTA, A. DE M., GOURDON, R.; MOLLE, P.; VON SPERLING, M. **French vertical flow treatment wetlands in a subtropical climate: Characterization of the organic deposit layer and comparison with systems in France.** Science of The Total Environment, v. 742, 2020.

TONETTI, A. L.; MADRID, F. J. P.; FIGUEIREDO, I. C. S.; SCHNEIDER, J.; CRUZ, L. M. de O.; LIMA, R. C. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções.** Campinas, SP: UNICAMP, 2018. 153 p.

VON SPERLING, M.; SEZERINO, P.H. **Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil.** Boletim Wetlands Brasil, Edição Especial, novembro/2018. 65 p. Disponível em: <<http://gesad.ufsc.br/boletins/>>.

VON SPERLING. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 452 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v. 1).

VON SPERLING. **Webinar – Wetlands verticais para o tratamento de esgoto bruto (Sistema Francês).** Belo Horizonte UFMG, 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=vVBhjlGwC0c>>.

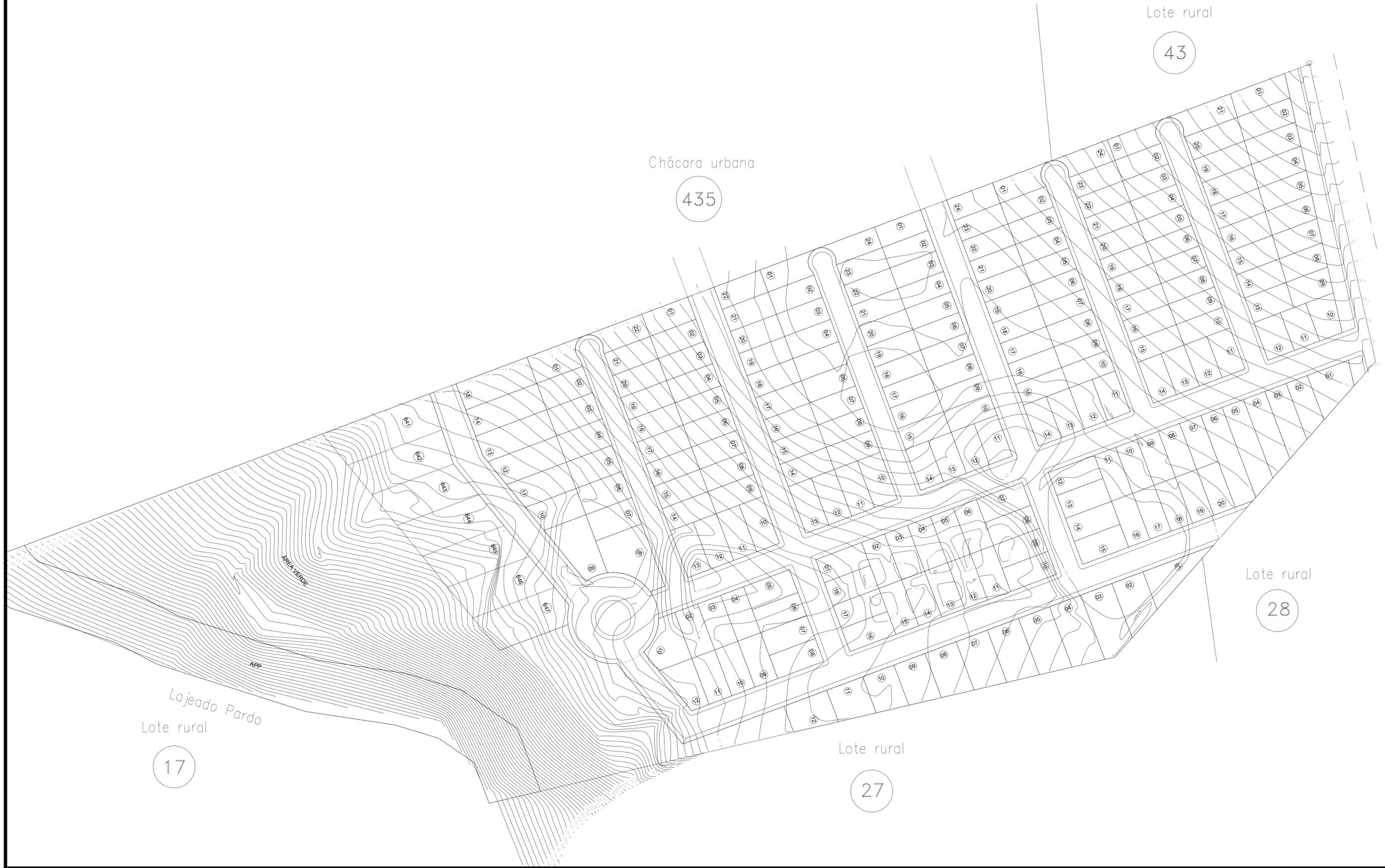
VYMAZAL, J. **Types os Constructed Wetlands for Wastewater Treatment.** Proceedings os 6^o International Conference os Wetland Systems for Water pollution control. CEA/UNESP e IAWQ. Aguas de São Paulo, São Paulo, 1998.

VYMAZAL, J. **Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment.** Ecological Engineering, v. 25, n. 5, p. 478-490, 2005.

WEATHER SPARK. **Clima e condições meteorológicas médias em Frederico Westphalen no ano todo.** Brasil. 2023. Disponível em: <

APÊNDICES

**APÊNDICE I – PRANCHA DO PROJETO URBANÍSTICO DO
LOTEAMENTO**



Lote rural
43

Chácara urbana
435

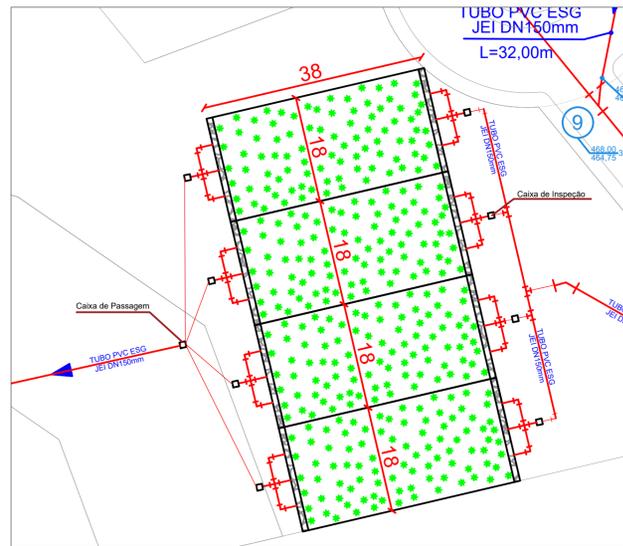
Lote rural
28

Lajeado Pardo
Lote rural
17

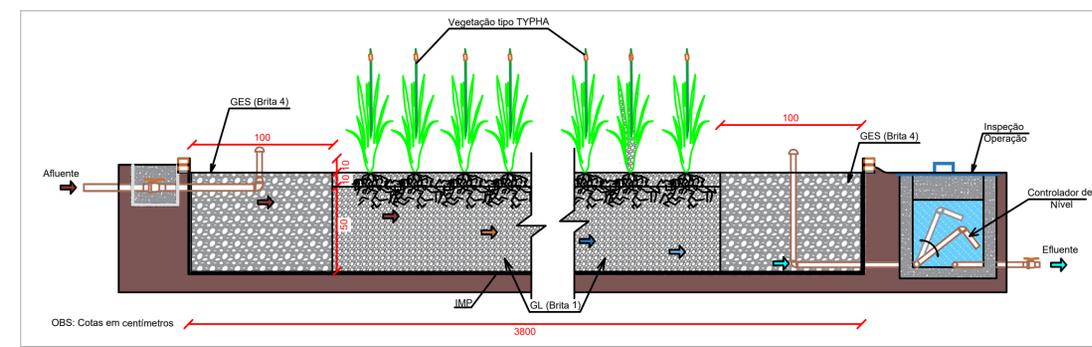
Lote rural
27

**APÊNDICE II – PRANCHA DO PROJETO DO WETLAND
CONSTRUÍDO DE ESCOAMENTO HORIZONTAL**

Detalhamento - Planta baixa Esc: 1/600



Detalhamento - Seção Transversal s/E



Chácara urbana

435

Lote rural

43

Lote rural

28

Lote rural

27

Lote rural

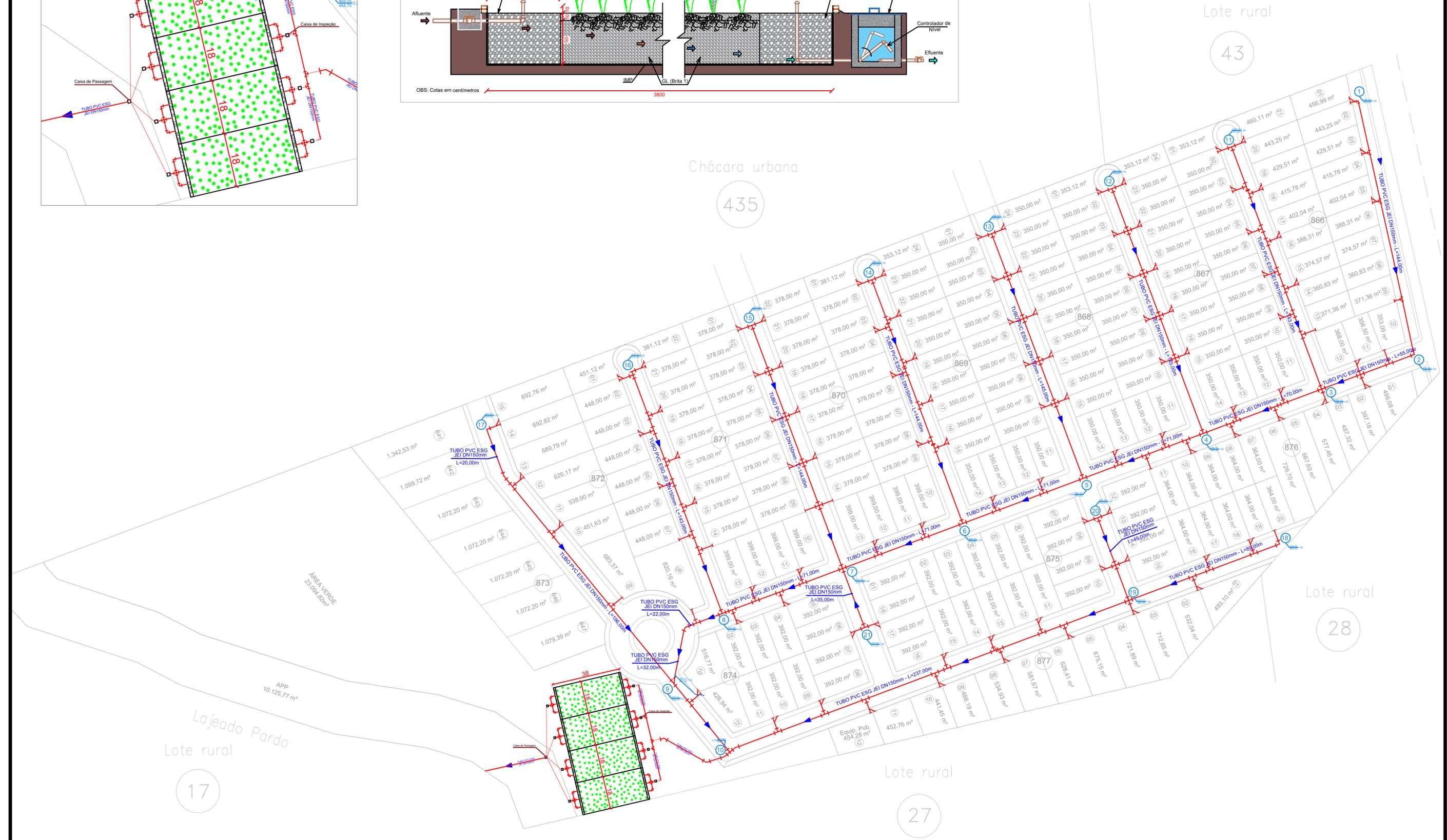
17

Lajeado Pardo

APP
10.125,77 m²

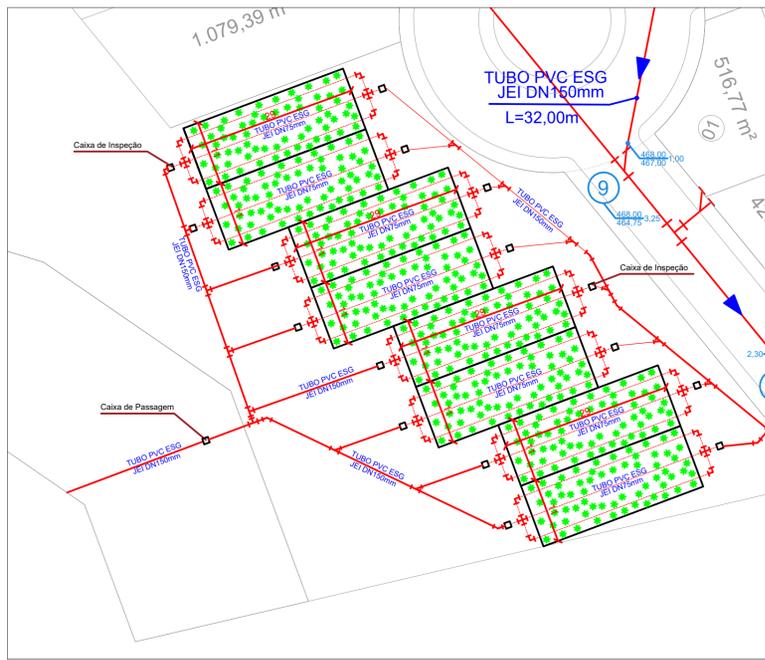
ÁREA VERDE
23.034,82 m²

Equip. Pub.
454,28 m²

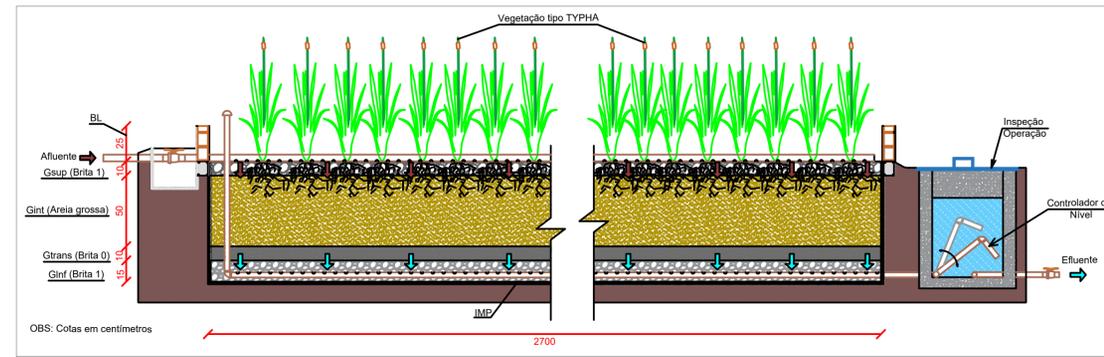


**APÊNDICE III – PRANCHA DO PROJETO DO WETLAND
CONSTRUÍDO DE ESCOAMENTO VERTICAL**

Detalhamento - Planta baixa Esc: 1/600



Detalhamento - Seção Transversal s/E



Chácara urbana

435

Lote rural

43



Lajeado Pardo

17

Lote rural

27

Lote rural

28

**APÊNDICE IV – PRANCHA DO PROJETO DO WETLAND
CONSTRUÍDO SISTEMA FRANCÊS**

APÊNDICE V – QUESTIONÁRIO APLICADO AO GRUPO DE ESTUDO

Questionário para o grupo de tomada de decisão

Com o objetivo de avaliar comparativamente tecnologias normatizadas e os wetlands construídos como alternativa ao tratamento descentralizado de efluentes, selecionou-se o Método de Análise Hierárquica (AHP) como uma ferramenta de tomada de decisão para selecionar a tecnologia mais adequada ao tratamento do cenário em estudo

Nesse processo de tomada de decisão as opiniões de especialistas e sujeitos ligados ao saneamento serão incorporadas, através do preenchimento deste questionário, que contém perguntas com 12 comparações entre alternativas. Todas as perguntas serão respondidas com base na Escala Fundamental de Saaty (Quadro 1), que transforma o juízo verbal de preferências dos decisores em uma escala de valores numéricos.

Quadro 1 - Escala fundamental de Saaty (1977) para valores de importância pelo método AHP

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência ou juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos números não zero acima	Se uma atividade possui um dos números não-zero acima associados a ela quando comparada a uma atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparado com i.	

Fonte: Adaptado de Saaty (1977) apud Schroeder (2020).

Nas questões abaixo, assinale com “X” uma das duas opções apresentadas em cada linha. Coloque na última coluna qual a intensidade de importância da opção assinalada, com base na Escala Fundamental de Saaty (Quadro 1).

1 – Considerando o processo de escolha da melhor alternativa tecnológica para o tratamento descentralizado de esgoto sanitário, qual dos indicadores apresentados abaixo tem maior peso na tomada da decisão?

	Opção 01	Opção 02	Importância
a)	Ambiental ()	Econômico ()	
b)	Ambiental ()	Social ()	
c)	Econômico ()	Social ()	

2 - Considerando os critérios ambientais para a escolha da tecnologia, qual dos alternativa tem maior peso na tomada de decisão?

	Opção 01	Opção 02	Importância
a)	Dispensa de tratamento primário ()	Atendimento a Legislação ()	
b)	Dispensa de tratamento primário ()	Área superficial requerida unitária ()	
c)	Atendimento a Legislação ()	Área superficial requerida unitária ()	

3 - Considerando os critérios econômicos para a escolha da tecnologia, qual dos custos tem maior peso na tomada de decisão?

	Opção 01	Opção 02	Importância
a)	Custo de implantação ()	Custo de Operação ()	
b)	Custo de implantação ()	Custo de Vida Útil ()	
c)	Custo de Operação ()	Custo de Vida Útil ()	

4 - Considerando os critérios sociais para a escolha da tecnologia, qual dos custos tem maior peso na tomada de decisão?

	Opção 01	Opção 02	Importância
a)	Aceitação Pública ()	Complexidade de Construção ()	
b)	Aceitação Pública ()	Complexidade de Operação ()	
c)	Complexidade de Construção ()	Complexidade de Operação ()	

**APÊNDICE VI – TABELA DE RESPOSTAS E ANÁLISE DOS
DADOS COLETADOS COM O GRUPO DE ESTUDOS**

Membros Grupo de pesquisa	Amb/Econ	Amb/Social	Econ/Social	DTP/AL	DTP/ASRU	AL/ARSU	CI/CO	CI/CVU	CO/CVU	AP/CXCONS	AP/CXOP	CXCONS/CXOP
Membro 01	Amb	Social	Social	AL	DTP	AL	CI	CI	CVU	AP	CXOP	CXOP
Membro 02	Econ	Social	Econ	AL	DTP	AL	CI	CVU	CVU	AP		CXCONS
Membro 03	Econ	Amb	Econ	AL	DTP	AL	CI	CI	CO	AP	CXOP	CXCONS
Membro 04	Econ	Amb	Econ	DTP	ASRU	AL	CI	CI	CO	CXCONS	CXOP	CXCONS
Membro 05	Amb	Amb	Social	AL	ASRU	AL	CI	CI	CO	AP	AP	CXOP
Membro 06	Econ	Amb	Social	AL		AL	CO	CVU	CVU	AP	AP	CXOP
Membro 07	Econ	Amb	Econ	AL	ASRU	AL	CO	CVU	CVU	AP	CXOP	CXOP
Membro 08	Econ	Amb	Econ	AL	DTP	AL	CI	CVU	CVU	AP	CXOP	CXOP
Membro 09	Econ	Amb	Econ	AL	ASRU	AL	CO	CVU	CVU	AP	AP	CXOP
Membro 10	Econ	Social	Social	AL	ASRU	AL	CO	CVU	CVU	AP	AP	CXOP

Opção 01	Amb = 20%	Amb = 70%	Social = 40%	AL = 90%	DTP = 40%	AL = 100%	CI = 60%	CI = 40%	CO = 30%	AP = 90%	AP = 40%	CXCONS = 30%
Opção 02	Econ = 80%	Social = 30%	Econ = 60%	DTP = 10%	ASRU = 50%	ASRU = 0%	CO = 40%	CVU = 60%	CVU = 70%	CXCONS = 10%	CXOP = 50%	CXOP = 70%
Igual Iportância	0%	0%	0%	0%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	0%
Varição de porcentagens (X)	60%	40%	20%	80%	10%	100%	20%	20%	40%	80%	10%	40%
Maior prioridade escolhida pelos membros	Econ	Amb	Econ	AL	ASRU	AL	CI	CI	CVU	AP	CXOP	CXOP
Valor na escala fundamentaç de saaty	6	5	3	8	2	9	3	3	5	8	2	5