

**PROJETO EXECUTIVO DE WETLAND CONSTRUÍDO  
PARA TRATAMENTO DE LODO PROVENIENTE DE  
CAMINHÕES LIMPA-FOSSA**

Ágata Bogado Dominguez

Florianópolis  
2019



Ágata Bogado Dominguez

**PROJETO EXECUTIVO DE WETLAND CONSTRUÍDO PARA TRATAMENTO DE  
LODO PROVENIENTE DE CAMINHÕES LIMPA-FOSSA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.  
Orientador: Prof. Dr. Pablo Heleno Sezerino

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Dominguez, Ágata Bogado

Projeto executivo de wetlands construídos para  
tratamento de lodo proveniente de caminhões limpa-fossa /  
Ágata Bogado Dominguez ; orientador, Pablo Heleno  
Sezerino, 2019.

52 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental,  
Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

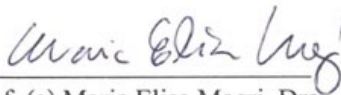
1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Wetland  
Construído. 3. Tanque Sêptico. 4. Lodo. 5. Saneamento  
Descentralizado. I. Sezerino, Pablo Heleno. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Ágata Bogado Dominguez

**PROJETO EXECUTIVO DE WETLAND CONSTRUÍDO PARA TRATAMENTO DE  
LODO PROVENIENTE DE CAMINHÕES LIMPA-FOSSA**

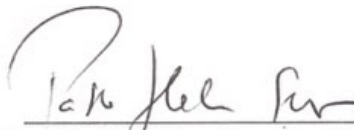
Trabalho submetido à banca examinadora como parte dos requisitos para Conclusão do Curso  
em Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II.

Florianópolis, 22 de Novembro de 2019.



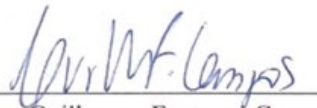
Prof. (a) Maria Elisa Magri, Dra.  
Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**



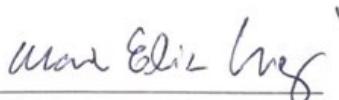
Prof. Pablo Helo Sezerino, Dr.  
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



Eng. Guilherme Fantozzi Campos  
Avaliador

Gerente de Políticas Operacionais - CASAN



Prof.(a) Maria Elisa Magri, Dr<sup>a</sup>.  
Avaliadora

Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus queridos pais.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Marcelo e Tereza, sem vocês nada disto seria possível. Este sonho só se tornou realidade por todo amor, incentivo e apoio que recebi. Obrigada principalmente pelo encorajamento nos momentos difíceis e por serem meus maiores conselheiros. Compartilhar com vocês este momento é motivo de grande alegria para mim.

Aos queridos mestres, que generosamente dividiram seus conhecimentos conosco, auxiliando para que sejamos profissionais cada vez melhores. Especialmente ao Prof. Dr. Pablo Heleno Sezerino, pela oportunidade de realizar este projeto e por todo conhecimento compartilhado.

Agradeço a UFSC e ao programa Ciências sem Fronteiras, por todas as oportunidades de crescimento profissional e pessoal.

Aos queridos amigos que fiz ao longo da graduação. Compartilhar estes anos com vocês fizeram que este percurso fosse mais leve e feliz. Levarei com carinho todos os momentos que vivemos, sejam eles de estudos e aprendizados, ou descontraídos e de diversão. Aos que fizeram parte das minhas melhores histórias da faculdade, muito obrigada!

A todos que estiveram ao meu lado durante esses anos e que de alguma forma contribuíram para a minha caminhada até aqui, meus sinceros agradecimentos.

*O que você sabe não tem valor.  
O valor está no que você faz com o que sabe.*  
Bruce Lee, 1940

## RESUMO

No meio rural onde as residências são isoladas, assim como em áreas de baixa densidade habitacional, os custos para construir uma rede coletora de esgoto se tornam elevados o que acaba por inviabilizar sua implantação, de maneira que o saneamento descentralizado desempenha um papel importante na manutenção da saúde pública. A norma brasileira preconiza o tanque séptico como unidade preliminar de um sistema local de tratamento, porém o lodo acumulado no interior de tanques sépticos deve passar por um tratamento antes de sua adequada disposição final, pois apresenta uma fração da matéria orgânica não estabilizada, elevado teor de umidade e organismos patogênicos. Como alternativa para o tratamento do lodo, os wetlands construídos de fluxo vertical são uma tecnologia promissora. O presente trabalho tem como objetivo geral projetar um wetland construído em escala real para disposição e tratamento de lodo proveniente de caminhões limpa-fossa. A base metodológica deste projeto consistiu em uma iniciativa entre o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina e a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). Este projeto está inserido como a primeira meta entre cinco metas a serem realizadas dentro de uma proposta de pesquisa e desenvolvimento mais inovação que poderá ser desenvolvido por meio do Grupo de Estudo em Saneamento Descentralizado, pertencente ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, em conjunto com a CASAN, na área de estudo de gerenciamento de lodo de tanque séptico com vistas à aplicação no estado de Santa Catarina. A proposta deste trabalho apresentou um valor estimado em R\$114.096,05 para implantação, representando R\$ 396,17/m<sup>2</sup> implantado. O modelo de sistema proposto irá avaliar o estabelecimento de rotinas operacionais de aplicação de lodo de tanque séptico, destacando-se aspectos de carregamento orgânico e de sólidos, bem como de alimentação e repouso.

**Palavras-chave:** Saneamento Descentralizado. Lodo. Tanque Séptico. Wetland Construído.



## ABSTRACT

In rural areas where residences are isolated, as well as in areas of low housing density, the costs to build a sewage collection system become high, which makes their implementation unfeasible, so that decentralized treatment plays an important role in maintaining public health. The Brazilian standard recommends the septic tank as a preliminary unit of a local treatment system, but the accumulated sludge in septic tanks has to be treated before the adequate final disposal, because of its high concentration of non-established organic matter, elevated content of moisture and pathogenic organisms. As an alternative to the treatment of sludge, the vertical flow constructed wetlands are a promising technology. The present work aims to design a full-scale wetland for sludge disposal and treatment from sump trucks. The methodological basis of this project consisted of an initiative between the Department of Sanitary and Environmental Engineering of the Federal University of Santa Catarina and the Santa Catarina Water and Sanitation Company (CASAN). This project is inserted as the first goal among five goals to be accomplished within a research and development proposal plus innovation that can be developed through the Decentralized Sanitation Study Group, belonging to the Department of Sanitary and Environmental Engineering, together with the CASAN, in the study area of septic tank sludge management for application in the state of Santa Catarina. The proposal of this work presented an estimated value of R \$ 114,096.05 for implementation, representing R \$ 396,17 / m<sup>2</sup> deployed. The proposed system model will evaluate the establishment of septic tank sludge operational routines, standing out aspects of organic and solid loading, as well as feeding and rest.

**Keywords:** Decentralized Sanitation. Sludge. Septic Tank. Constructed Wetland.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema do funcionamento geral de um tanque séptico .....	18
Figura 2: Componentes de um wetland de escoamento vertical .....	21
Figura 3: Critérios e parâmetros de projeto .....	23
Figura 4: Funções das macrófitas nos wetlands construídos .....	25
Figura 5: ETE Canasvieiras, no bairro Cachoeira do Bom Jesus – Florianópolis/SC .....	27
Figura 6: Imagem via satélite da ETE de Canasvieiras .....	28
Figura 7: Área cedida para o estudo .....	30
Figura 8: Divisão dos módulos .....	32
Figura 9: Subdivisão dos leitos .....	33
Figura 10: Corte transversal do leito 2 .....	34
Figura 11: Instalação de tubos corrugados e geomembrana de PEAD .....	35
Figura 12: Posicionamento das passarelas com guarda-corpo .....	36
Figura 13: Planta baixa do leito nº1 .....	37
Figura 14: Planta baixa do leito nº2 .....	39
Figura 15: Planta baixa do leito nº3 .....	40
Figura 16: Planta baixa do leito nº4 .....	41
Figura 17: Reunião de consolidação com a equipe técnica da companhia de saneamento .....	44

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Valores médios da DBO e DQO para lodos de tanques sépticos .....	19
Tabela 2: Orçamento previsto para implantação do wetland construído .....	42
Tabela 3: Estimativa de custos adicionais .....	45

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas  
CASAN Companhia Catarinense de Águas e Saneamento  
DBO Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DN Diâmetro Nominal  
DQO Demanda Química de Oxigênio  
ETE Estação de Tratamento de Esgoto  
IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
PEAD Polietileno de Alta Densidade  
P&D+I Pesquisa e Desenvolvimento Mais Inovação  
SIDMS Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Municipal Sustentável  
SINAPI Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices  
SST Sólidos Suspensos Totais  
ST Sólidos Totais  
TS Tanque Séptico  
UFSC Universidade Federal de Santa Catarina  
UGL Unidades de Gerenciamento de Lodo  
WC Wetland Construído

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
3.1	USO DE TANQUE SÉPTICO NO TRATAMENTO DE ESGOTO.....	17
3.2	CARACTERÍSTICAS QUALI-QUANTITATIVA DE LODO DE TANQUE SÉPTICO .....	18
3.3	ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DE LODO DE TANQUE SÉPTICO ..	20
3.4	WETLANDS CONSTRUÍDOS COMO ALTERNATIVA PARA DISPOSIÇÃO E TRATAMENTO DE LODO DE TANQUE SÉPTICO.....	20
3.5	CRITÉRIOS DE PROJETO EMPREGADOS AOS WETLAND CONSTRUÍDOS PARA O TRATAMENTO DE LODO.....	22
<b>3.5.1</b>	<b>Material filtrante .....</b>	<b>23</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Sistema de drenagem do líquido percolado.....</b>	<b>24</b>
<b>3.5.3</b>	<b>Sistema de ventilação.....</b>	<b>24</b>
<b>3.5.4</b>	<b>Macrófitas.....</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
4.1	ÁREA DE ESTUDO .....	26
4.2	ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	28
4.3	FONTES E BASES DE DADOS .....	29
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>30</b>
5.1	LOCAL DA OBRA .....	30
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO LODO RECEBIDO NA ETE DE CANASVIEIRAS	30
5.3	DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS .....	31
5.4	COMPONENTES DO SISTEMA.....	33
5.5	OPERAÇÃO DOS MÓDULOS .....	36

<b>5.5.1</b>	<b>Leito 1 .....</b>	<b>37</b>
<b>5.5.2</b>	<b>Leito 2 .....</b>	<b>38</b>
<b>5.5.3</b>	<b>Leito 3 .....</b>	<b>39</b>
<b>5.5.4</b>	<b>Leito 4 .....</b>	<b>40</b>
<b>5.6</b>	<b>ESTIMATIVA DE CUSTOS .....</b>	<b>41</b>
<b>5.7</b>	<b>REUNIÕES TÉCNICAS .....</b>	<b>43</b>
<b>5.8</b>	<b>NECESSIDADES ADICIONAIS .....</b>	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>
	<b>APÊNDICE A – Planta Baixa, Vista Lateral e Quantitativo de Materiais do Projeto.....</b>	<b>50</b>
	<b>APÊNDICE B - Cortes e Detalhes do Projeto</b>	



## 1 INTRODUÇÃO

As definições de saúde, saneamento e meio ambiente estão intimamente vinculadas, sendo o esgoto um resíduo gerador de poluição e o seu adequado destino evita implicações danosas à saúde pública e ao equilíbrio do meio ambiente. O déficit de coleta e tratamento de esgotos nas cidades brasileiras têm resultado em implicações negativas aos usos múltiplos dos recursos hídricos devido à significativa carga poluidora que chega aos corpos d'água.

No meio rural onde as residências são isoladas, assim como em áreas de baixa densidade habitacional, os custos para construir uma rede coletora de esgoto se tornam elevados o que acaba por inviabilizar sua implantação. Entretanto, os baixos índices de atendimento por rede pública de esgotos sanitários nos municípios não deveriam implicar automaticamente em más condições sanitárias da população. Diversos países desenvolvidos possuem regiões de baixa cobertura por rede coletora, sendo as residências providas de soluções individuais, ou descentralizadas de tratamento e disposição final adequada, de maneira a garantir condições sanitárias satisfatórias para a população.

Os sistemas descentralizados são soluções importantes para Santa Catarina, pois, segundo o Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Municipal Sustentável (SIDMS), a média de valores de domicílios na área rural e urbana que possuem acesso à rede geral de esgoto ou fossa séptica é de 57,34% (Índice de 2018 – FECAM, 2019). Existe uma vasta gama de tecnologias que podem ser aplicadas como tratamentos descentralizados, porém, é comum buscar soluções de operação simples e de baixo custo. Neste contexto, há normas brasileiras que preconizam como sistema local de tratamento de esgoto o tanque séptico (TS), a unidade preliminar, seguido de um tratamento complementar e disposição final segura do efluente no ambiente (ABNT, 1993 e 1997). Para garantir um bom funcionamento os TS requerem manutenção periódica de remoção do lodo acumulado em seu interior para que o funcionamento do sistema não se comprometa. O lodo retirado na limpeza dos tanques deve ser tratado e disposto corretamente, sendo esta atividade condicionada aos serviços dos caminhões “limpa-fossa”, que encaminham o lodo às estações de tratamento de esgoto (ETE), com autorizações preestabelecidas.

Como unidade de tratamento complementar e disposição final do efluente, bem como do subproduto dos reatores – lodo, os Wetlands Construídos (WC) ganham destaque por serem sistemas que permitem a acumulação deste lodo descartado dos TS com uma vida útil de vários anos, com custos reduzidos de manutenção, transporte e descarte do lodo (SUNTTI et al., 2011). Nesta tecnologia o processo de desaguamento e estabilização dos lodos ocorre



naturalmente por processos físicos, químicos e biológicos, não havendo o consumo de produtos químicos ou a necessidade de máquinas e equipamentos. A densa e diversificada comunidade microbiológica que se desenvolve nos leitos plantados contribui para a degradação e estabilização do lodo, convertendo-o em composto orgânico de alto valor nutricional.

A rotina operacional consiste em realizar um rodízio entre os leitos, permitindo uma alternância entre sua alimentação e repouso. Os ciclos operacionais dos WC se encerram a cada 10 ou 15 anos. Ao final do ciclo, os leitos vão sendo interrompidos de modo a permitir a desidratação e estabilização da última camada de lodo aplicada. Após o período de descanso, ocorre a remoção do material acumulado nos leitos, que é descartado em aterros industriais ou preparado e destinado como insumo para recuperação de áreas degradadas ou culturas agrícolas. Após a remoção desta camada, os leitos retomam a sua operação por mais um ciclo de 10 a 15 anos (Wetlands Construídos, 2015).

O projeto visa estudar diferentes formas de operação de módulos WC para o gerenciamento de lodo de caminhões limpa fossa, para que a Companhia de Saneamento de Santa Catarina (CASAN) possa avaliar o uso desta tecnologia em outros municípios que tenham necessidades e características similares às desenvolvidas. A primeira etapa deste estudo, portanto, trata-se da elaboração de projeto executivo de unidades de WC para atuarem como Unidades de Gerenciamento de Lodo – UGL.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem como objetivo geral projetar um wetland construído em escala real para disposição e tratamento de lodo proveniente de caminhões limpa-fossa.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Dimensionar quatro módulos de wetlands para tratamento de lodo por meio das taxas de aplicação superficial de sólidos totais;
- Apresentar os elementos componentes do sistema na sua forma executiva;
- Estabelecer a rotina operacional dos módulos wetlands construídos.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

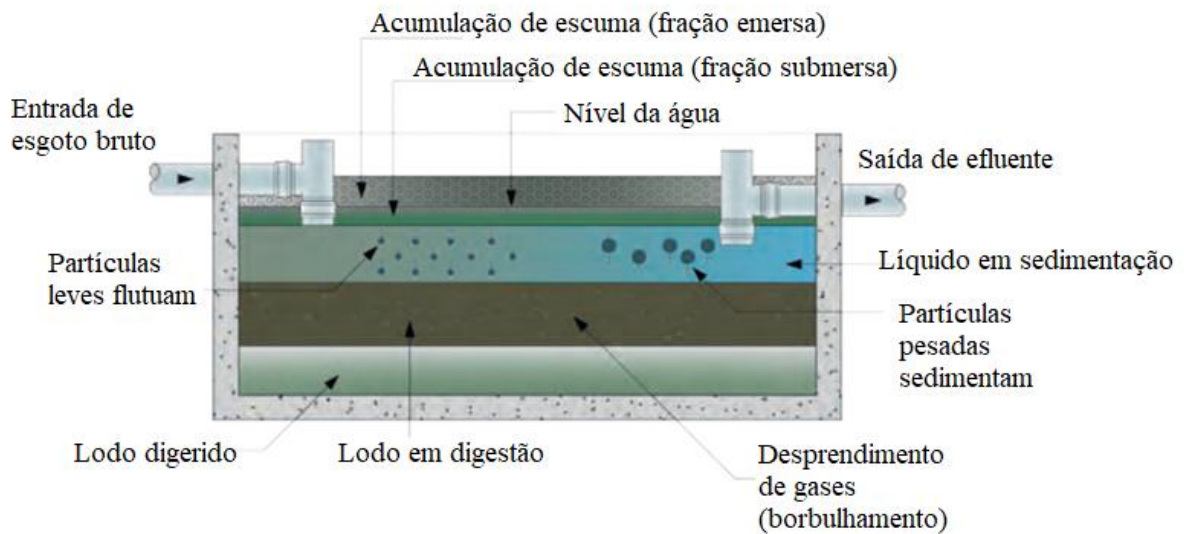
#### 3.1 USO DE TANQUE SÉPTICO NO TRATAMENTO DE ESGOTO

O tanque séptico é uma das tecnologias mais utilizadas como tratamento descentralizado no Brasil, sendo utilizado em mais de 12 milhões de domicílios brasileiros, o que equivale a 22% da população. O estado de Santa Catarina não se afasta da realidade brasileira, com baixos índices de coleta e tratamento de esgoto, valor este que se agrava quando se trata da zona rural, de maneira cerca de 70% das residências utilizam o tanque séptico para o tratamento de esgotos sanitários (Santa Catarina, 2006).

O sucesso deste sistema se deve à sua simplicidade de construção e operação, não exigindo técnicas construtivas sofisticadas, nem equipamentos especiais, e sua operação não requer a presença constante de operador. Não proporciona qualidade suficiente ao esgoto tratado, mas produz um efluente que apresenta melhores condições para receber um pós-tratamento. No Brasil, o projeto, a construção e a operação de tanques sépticos são regulamentados pela NBR 7229 de 1993 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1993). Os sistemas de tanques sépticos devem ser projetados de forma completa, incluindo disposição final para efluente e lodo bem como, sempre que necessário tratamento complementar destes conforme a NBR 13969 (ABNT, 1997).

Para o seu dimensionamento deve-se considerar o número de pessoas atendidas, o valor médio de contribuição de esgoto de cada indivíduo, a temperatura média do inverno no local onde se pretende instalar a unidade, a quantidade média de lodo fresco produzido por cada pessoa e o tempo previsto para o acúmulo de lodo digerido dentro do tanque, conforme NBR 7229 (ABNT-,1993). São unidades de tratamento em nível primário nos quais ocorre simultaneamente, em câmara única ou em série, a sedimentação dos sólidos sedimentáveis e a digestão anaeróbia do lodo que permanece acumulado no fundo durante alguns meses, tempo suficiente para sua estabilização. Na superfície ficam retidos os sólidos não sedimentados como óleos, graxas, gorduras e outros materiais que formam a espuma, também decomposta anaerobiamente. Na Figura 1 , tem-se um esquema do funcionamento geral de um tanque séptico.

Figura 1: Esquema do funcionamento geral de um tanque séptico



Fonte: FUNASA (2015)

Em seu funcionamento ocorrem as etapas de retenção, decantação e digestão. Na decantação ocorre a sedimentação de 60-70% dos sólidos em suspensão, e consequente formação de lodo, e a retenção dos sólidos não decantados na superfície do líquido - óleos, graxas e gorduras, que formam a chamada espuma. A retirada do lodo deve ser realizada no máximo uma vez ao ano, e no mínimo uma vez a cada cinco anos, conforme NBR 7229 (ABNT, 1993). Geralmente, a camada de lodo é retirada quando atinge altura igual ou superior a 50 cm, ou 1/3 da profundidade útil do tanque quando da utilização de unidades maiores (JORDÃO e PESSOA, 1995).

### 3.2 CARACTERÍSTICAS QUALI-QUANTITATIVA DE LODO DE TANQUE SÉPTICO

O efluente líquido do tanque séptico tem aspecto e cheiro desagradáveis, concentração elevada de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e é potencialmente contaminado devido à presença de bactérias em grande quantidade, inclusive patogênicas não eliminadas na fase anaeróbia, exigindo, por estas razões, uma solução eficiente de sua disposição. A parte sólida retida nas fossas sépticas (lodo) deverá ser removida periodicamente, de acordo com o período de armazenamento estabelecido no cálculo destas unidades. A falta de limpeza no período fixado acarretará diminuição acentuada da sua

eficiência. O gerenciamento do lodo dos tanques sépticos é uma atividade que deve ter a preocupação de técnicos e autoridades

A retirada de lodo de tanque séptico ocorre geralmente por prestação de serviço de caminhões limpa-fossa, e sua disposição é feita em estações de tratamento de esgoto. Esta é uma atividade realizada sem fiscalização, e muitas vezes negligenciada, sendo comum o descarregamento dos dejetos do caminhão diretamente em corpos d'água e terrenos baldios.

O lodo séptico é composto na sua maioria por água, esgoto, material inorgânico (areia) e material orgânico fecal, possui cor escura, forte odor e heterogeneidades em função de fatores como a frequência de limpeza, características do efluente e mistura nos caminhões limpa- fossa (ANDREOLI et al.,2001).

A composição química dos lodos sépticos está relacionada à sua origem, caracterizando, desta maneira, a parte orgânica e inorgânica dos mesmos. De acordo com Montangero e Strauss (2002) cerca de 80% da matéria seca encontrada nos lodos de tanques sépticos é de origem orgânica, tendo ainda quantidades de fósforo, nitrogênio e potássio provenientes em sua maioria de excretas humanas.

As características físico-químicas de lodos de tanque séptico são bastante variáveis, o que revela sua heterogeneidade. Na Tabela 1 se apresenta valores médios e faixas típicas de acordo com Brandes (1978), USEPA (1999), Cassini (2003), Rocha e San't Anna (2005) e Curitiba (2005).

Tabela 1: Valores médios da DBO e DQO para lodos de tanques sépticos

<b>Parâmetros (mg/L)</b>	<b>Brandes, 1978</b>	<b>USEPA, 1977</b>	<b>Cassini, 2003</b>	<b>Rocha e Sant' Anna, 2005</b>	<b>Curitiba, 2005</b>
DQO	8.640	45.000	10.383	7.911	9.419
DBO <sub>5</sub>	2.300	5.000	2,808	2.829	1.863
DQO/DBO <sub>5</sub>	3,76	9,00	3,70	2,80	5,06

Fonte: FEAM (2013)

A concentração de patógenos no lodo séptico depende principalmente do nível de contaminação da população e pode variar em função das condições socioeconômicas e sanitárias da mesma e pela presença de endemias regionais e o tipo de tratamento a que o lodo é submetido. O lodo séptico também apresenta pequenas quantidades de metais pesados e surfactantes provenientes de produtos de limpeza da casa (USEPA, 1980 apud RATIS, 2009).

### 3.3 ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DE LODO DE TANQUE SÉPTICO

Muitas são as formas de tratamento de lodo de tanque séptico, os processos utilizados variam de acordo com a finalidade e exigências legais quanto ao produto final. Nesse contexto, conforme assinalam Magri et al. (2011), há a necessidade do desenvolvimento de novas alternativas de sistemas para o gerenciamento de lodo de esgotos sanitários, como sistemas descentralizados eficientes, visando o reuso e, sobretudo, passíveis de serem implantadas em situações diversas. Uma alternativa que vem se destacando para o tratamento de lodo são os wetlands construídos.

Nesta unidade de tratamento o afluente aplicado deverá, no mínimo, ser o efluente de tratamento primário. Relatos de aplicação de esgoto bruto, pós-tratamento preliminar, informam sobre o entupimento dos vazios e empoçamentos, que provocam maus odores e a criação de vetores e insetos. Estes sistemas, em termos de desidratação de lodo, são capazes de atingir eficiências semelhantes às das tecnologias convencionais de tratamento (leitões de secagem, centrifugação ou filtro prensa), mas de maneira mais sustentável (UGGETTI et al., 2011a).

### 3.4 WETLANDS CONSTRUÍDOS COMO ALTERNATIVA PARA DISPOSIÇÃO E TRATAMENTO DE LODO DE TANQUE SÉPTICO

Os wetlands construídos (WC), ou simplesmente wetlands, são sistemas concebidos e projetados pelo homem para enfatizar características específicas de ecossistemas de zonas alagadas naturais e aumentar sua eficiência de tratamento. Demonstram boa eficiência no tratamento de efluentes, principalmente os de origem doméstica, adaptam-se às diferentes situações e arranjos ao local de implantação.

Segundo Kengneet al. (2008), os wetlands constituem-se em uma alternativa tecnológica interessante para tratamento do lodo de esgoto, pois proporcionam a redução do volume de água presente no lodo (desaguamento), permitem a sua estabilização e não requerem a remoção periódica do lodo acumulado em sua superfície. O desaguamento consiste no processo de infiltração e percolação da parte líquida do lodo no meio filtrante (camada de areia e brita) juntamente com o processo de evaporação e evapotranspiração das plantas. Os WC são, portanto, sistemas muito robustos e com uma vida útil longa, sendo

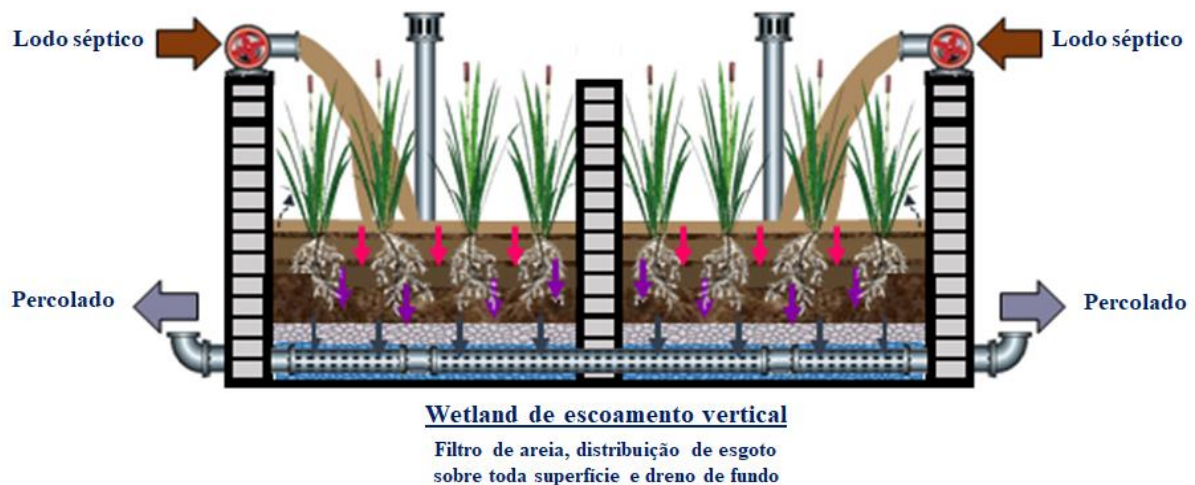
considerados, como sistemas de tratamentos ecológicos, onde há necessidade de baixa manutenção, baixo consumo de energia e baixo custo operacional (TOMENKO et al., 2007).

Os sistemas tipo “wetlands” construídos apresentam diversas configurações relacionadas à direção e tipo do fluxo, regime de aplicação do afluente e tipo de macrófita utilizada. A direção do fluxo pode ser horizontal ou vertical; quando horizontal, pode apresentar fluxo superficial ou subsuperficial. A escolha das macrófitas é inerente à configuração do sistema utilizado.

Independente do tipo de configuração é imprescindível a utilização de sistemas de tratamento preliminar e primário para a proteção do sistema contra o processo de colmatção (retirada de sólidos grosseiros, flutuantes e sedimentáveis).

A Figura 2 abaixo apresenta uma representação dos componentes de um wetland construído com macrófitas para o tratamento do lodo.

Figura 2: Componentes de um wetland de escoamento vertical



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Após a alimentação dos filtros com o lodo, o meio filtrante realiza o processo de separação das fases sólida e líquida por gravidade, produzindo um subproduto desidratado (lodo) e um produto líquido, denominado de líquido percolado.

O sistema funciona com ciclos em batelada, com um tempo de detenção hidráulica de seis dias, assim cada período de seis dias pode ser chamado de ciclo de alimentação. O lodo deve ser distribuído de maneira homogênea sobre todo o leito durante a sua alimentação. No ciclo seguinte o filtro é alimentado novamente com lodo, sendo este lançado sobre a parte sólida do lodo que ficou acumulado no leito do ciclo anterior.

A ação do vento sobre as plantas assim como o desaguamento, proporcionam rachaduras nas camadas de lodo acumulado, permitindo cada vez maiores perdas de água. Esta camada de lodo sobre os filtros aumenta até atingir determinada altura, já estabelecida no momento da sua construção e partir deste momento a alimentação é cessada, com o objetivo de melhorar a secagem final do lodo e sua mineralização completa. Recomenda-se a retirada do lodo do leito após um ano de cessada a alimentação (FUNASA, 2014).

### 3.5 CRITÉRIOS DE PROJETO EMPREGADOS AOS WETLAND CONSTRUÍDOS PARA O TRATAMENTO DE LODO

Até o momento não existem normas específicas para o dimensionamento de wetland construídos com macrófitas para o tratamento de lodo. Assim, tem-se utilizado como principal fator de dimensionamento a taxa de aplicação de lodo, ou taxa de alimentação, expressa em kgST/m<sup>2</sup>.ano. Nielsen (2010) destaca que também deve ser considerado na etapa de concepção e projeto a produção de lodo (toneladas de sólidos totais por ano), a qualidade do lodo e as condições climáticas locais.

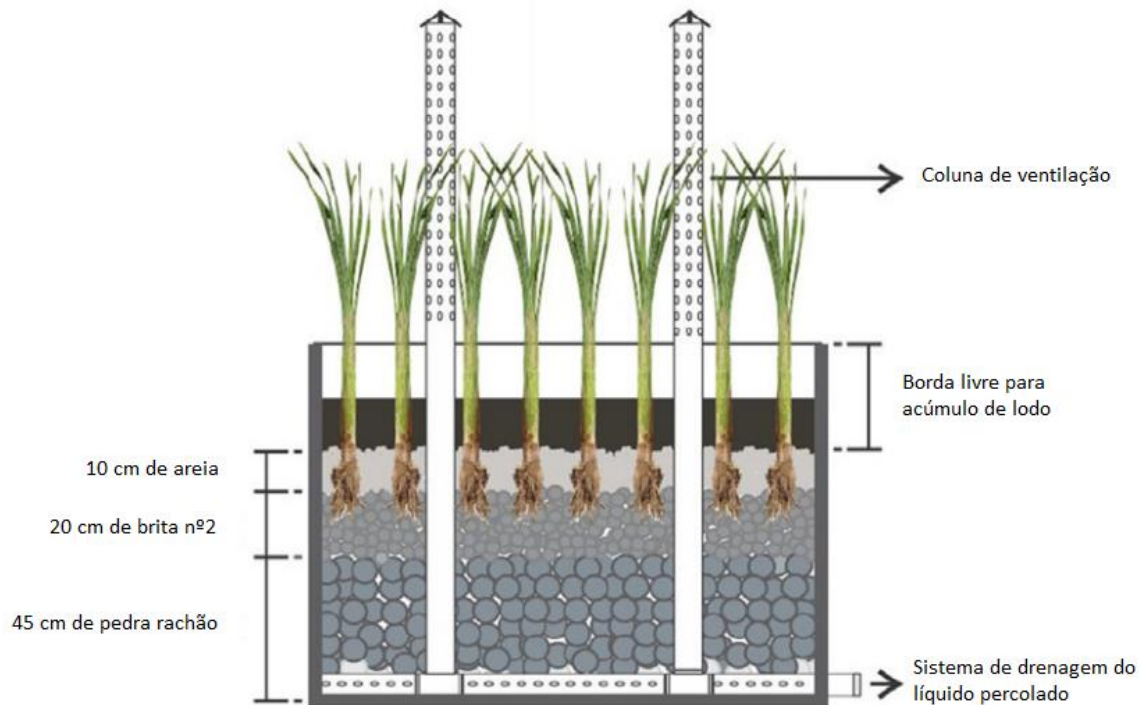
Os WC para tratamento de lodo apresentam uma constituição diferente daqueles dimensionados para tratamento de esgoto em vários aspectos. São constituídos por quatro componentes principais: material filtrante, sistema de drenagem do líquido percolado, sistema de ventilação e as macrófitas.

Outros critérios e parâmetros de projeto abrangem os seguintes elementos:

- Detalhes construtivos: borda livre, declividade de fundo, impermeabilização do fundo;
- Estratégia operacional: alimentação contínua ou em bateladas; eventual alternância entre leitos em paralelo;

Na Figura 3 são apresentados os parâmetros de projeto abrangidos no projeto em questão.

Figura 3: Critérios e parâmetros de projeto



Fonte: Adaptado de Magri et al. (2016)

### 3.5.1 Material filtrante

O material filtrante age fisicamente na retenção dos sólidos do lodo e serve de suporte para o crescimento das bactérias responsáveis pelos processos de depuração biológica do lodo e do líquido percolado.

Cada substrato possui características próprias, como granulometria, porosidade e permeabilidade (condutividade hidráulica), que vão influenciar na dinâmica de escoamento do sistema. Diante disso, indica-se variar a granulometria do material, a fim de minimizar as chances de ocorrer a colmatação do sistema.

Um bom material para o maciço filtrante é aquele que possa manter ao longo do tempo condições adequadas de fluxo, promover a adsorção de compostos inorgânicos e minimizar o risco de colmatação (SEZERINO, 2006). Vale destacar que nas zonas de entrada e saída de esgoto, bem como próximo às tubulações, recomenda-se a utilização de materiais suporte de maiores granulometrias, a fim de minimizar a ocorrência de entupimentos.



### **3.5.2 Sistema de drenagem do líquido percolado**

Junto ao fundo do módulo instala-se um sistema de drenagem que tem função de permitir a evacuação do percolado. Optou-se no projeto utilizar tubo PVC corrugado para drenagem.

A estrutura corrugada do tubo assegura, ao mesmo tempo, resistência mecânica e flexibilidade. Os furos presentes no dreno funcionam como um auxiliar para maximizar a capacidade de drenagem e garantir um escoamento em sentido único de forma gradual de forma que não sobrecarregue o nível de escoamento do tubo.

Para instalação do tubo drenante é necessária a colocação de uma camada de brita seguida de uma camada de areia em torno do tubo para evitar possíveis problemas no processo de drenagem.

É importante salientar que a drenagem ideal só é alcançada através do formato anelado e dos furos posicionados estrategicamente. A junção desses fatores faz do tubo corrugado o tubo ideal para drenagem de solo, independentemente da situação na qual o mesmo se encontra.

### **3.5.3 Sistema de ventilação**

Interligado ao sistema de drenagem do líquido percolado foram instalados colunas de ventilação para garantir as condições aeróbias dos leitos. Tem-se uma coluna de ventilação por m<sup>2</sup> de filtro, posicionadas verticalmente, 1m acima do meio filtrante (MAGRI et al, 2016). No topo de cada coluna são instalados terminais de ventilação para tampar a parte superior das colunas e permitir também a entrada de ar por esse orifício.

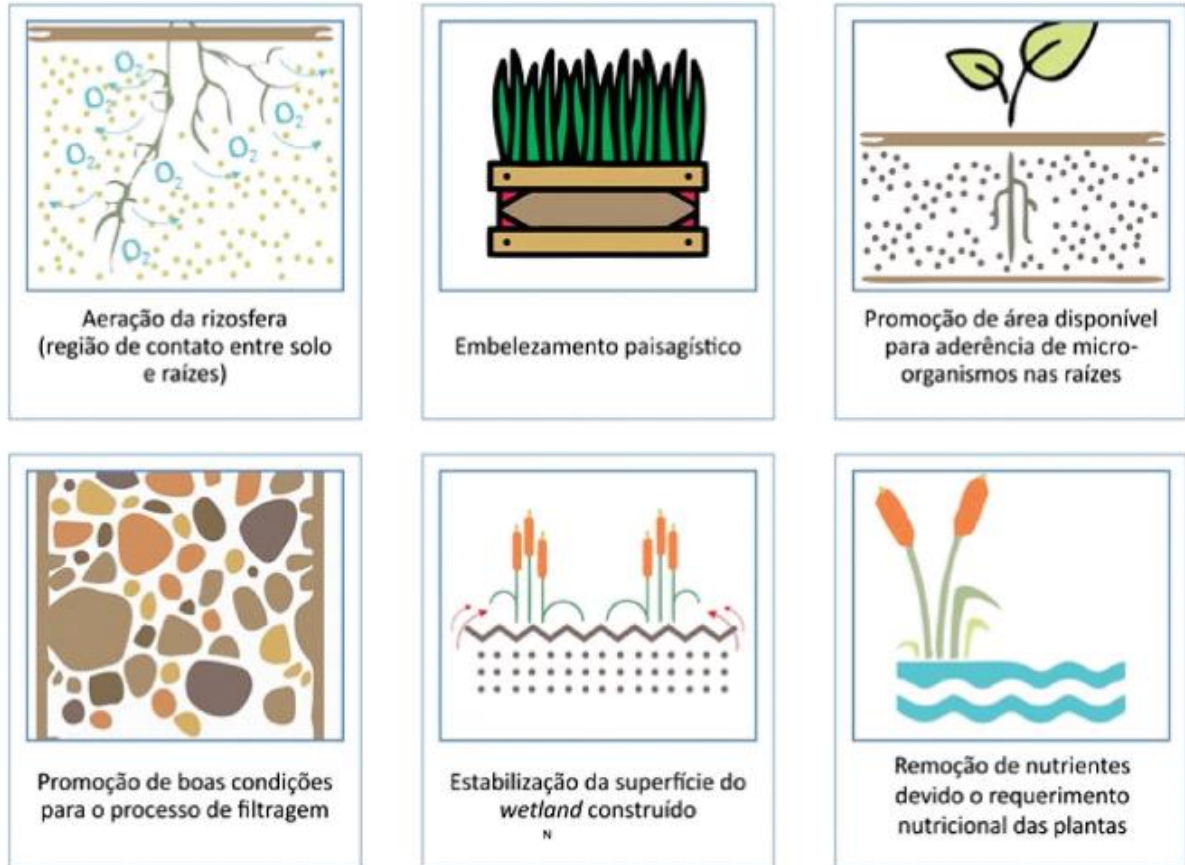
Ao permitir a maior entrada de oxigênio no filtro, favorece-se o processo de nitrificação (MAGRI et al, 2016).

### **3.5.4 Macrófitas**

As plantas desempenham um importante papel no tratamento em WC. Dentre as principais atribuições, destacam-se: promoção de área superficial para aderência de micro-organismos (nas raízes); liberação de oxigênio para o material filtrante; prevenção da col-

matação do material filtrante; embelezamento paisagístico; e retirada e armazenamento de nutrientes. Na Figura 4, tem-se as principais funções das macrófitas na ecotecnologia de WC.

Figura 4: Funções das macrófitas nos wetlands construídos



Fonte: Sezerino et al (2018)

A escolha da macrófita está associada à sua tolerância a ambientes alagados de água (ou esgoto), seu potencial de crescimento, à presença destas plantas na área próxima de onde o Wetland será construído. Esta última condição é considerada para que a planta esteja mais adaptada às condições climáticas da região e não prejudique seu desenvolvimento, assim como o custo relativo ao plantio e à manutenção (poda regular e aproveitamento da biomassa) (PHILIPPI e SEZERINO, 2004). Outro parâmetro importante a ser considerado no projeto do WC é a penetração das raízes das macrófitas no meio suporte.

## 4 METODOLOGIA

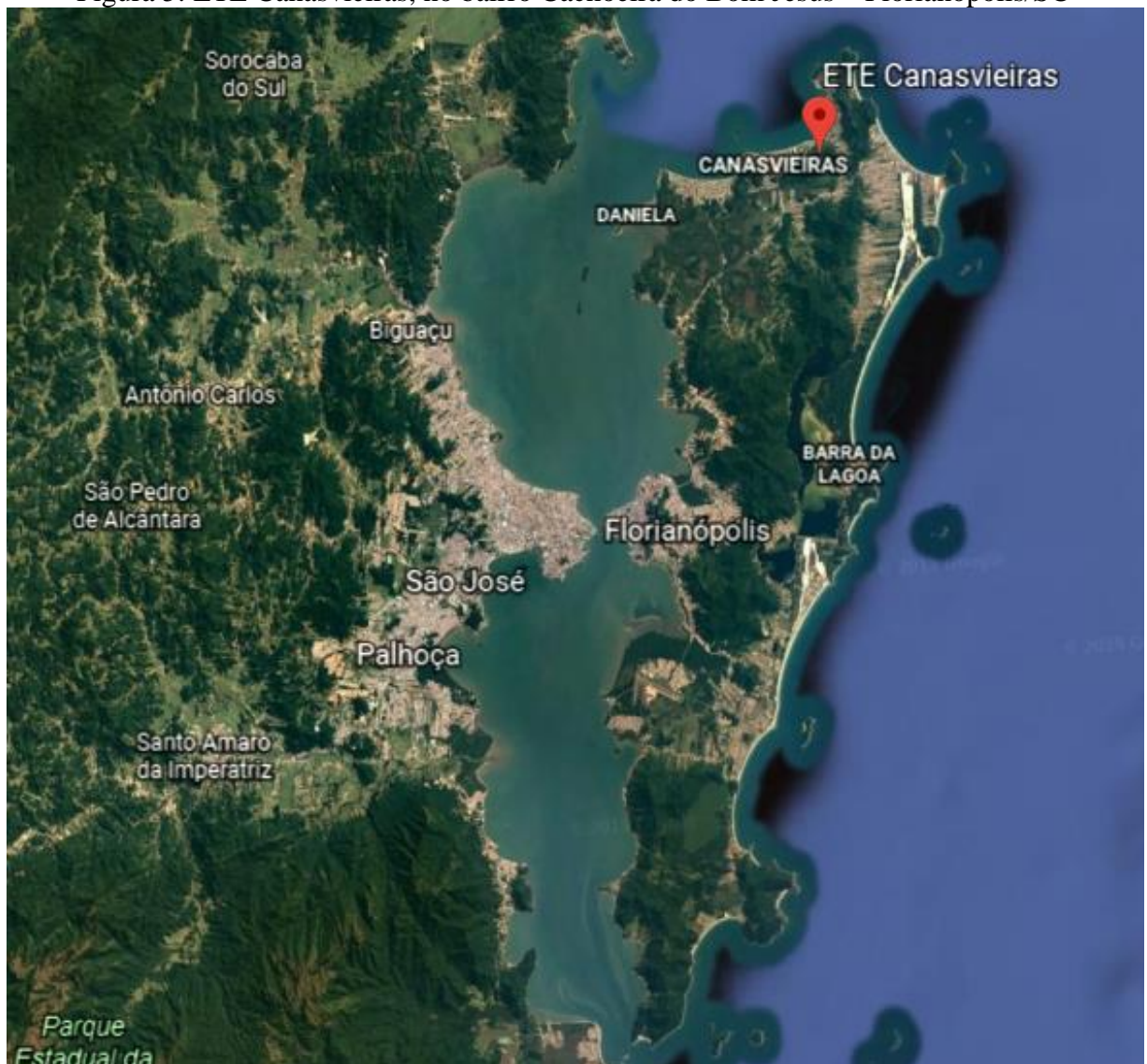
O presente trabalho de conclusão está inserido como a primeira meta entre cinco metas a serem realizadas dentro de uma proposta de pesquisa e desenvolvimento mais inovação (P&D+I) que poderá ser desenvolvido por meio do Grupo de Estudo em Saneamento Descentralizado – GESAD, pertencente ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – ENS, em conjunto com a CASAN, na área de estudo de gerenciamento de lodo de tanque séptico com vistas à aplicação no estado de Santa Catarina.

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área cedida para o estudo está localizada dentro da Estação de Tratamento de Esgotos operada pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), no bairro Cachoeira do Bom Jesus, Florianópolis/SC, na Av. Luiz Boiteux Piazza. Na Figura 5, apresenta-se a localização da ETE na cidade de Florianópolis e na Figura 6 tem-se uma vista via satélite da ETE, destacando a posição dos módulos que serão instalados no terreno.

A ETE recebe, diariamente, grande volume de cargas de lodo de tanque séptico, oriundos dos serviços de “caminhão limpa-fossa”. Hoje este lodo recebido é disposto em um tanque, que retém areia e sólidos grosseiros, posteriormente segue a um poço que bombeia todo o lodo ao processo de tratamento da estação.

Figura 5: ETE Canasvieiras, no bairro Cachoeira do Bom Jesus – Florianópolis/SC



Fonte: Google Earth, (2019)

Figura 6: Imagem via satélite da ETE de Canasvieiras



Fonte: Google Earth, (2019)

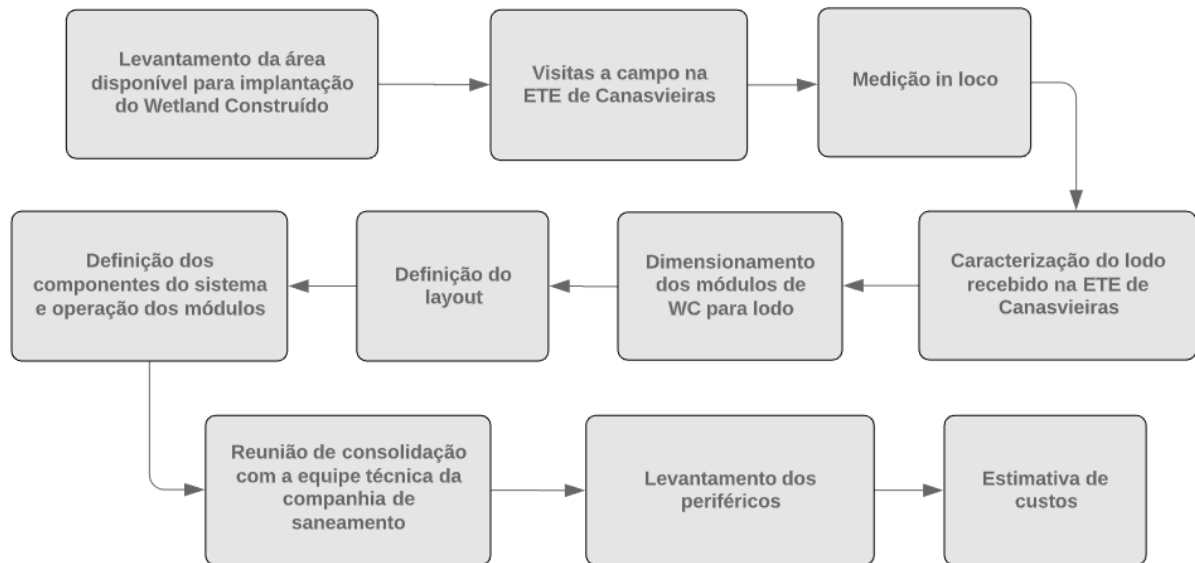
#### 4.2 ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O desenvolvimento do projeto de wetland de lodo se deu conforme o Fluxograma 1, e foi executado entre o período de março a novembro de 2019.

Todos os critérios de projeto, equações, relações assumidas e os itens de orçamento levantados, fazem parte da confecção do projeto (objetivo deste trabalho de conclusão de curso), e serão apresentados no item resultados e discussão.



Fluxograma 1: Etapas do desenvolvimento do projeto



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

#### 4.3 FONTES E BASES DE DADOS

A companhia de saneamento forneceu dados de algumas análises físicas e químicas, sendo que a caracterização destas análises foi realizada com amostras coletadas no ponto de controle conhecido como elevatória limpa-fossa, após a descarga dos caminhões. Esta unidade está localizada após o tanque de retenção de sólidos (areia e resíduos grosseiros). As análises qualitativas foram realizadas, com base no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA/AWWA/ WEF, 2000). Também forneceu dados quanto a demanda da ETE de Canasvieiras referente ao fluxo de caminhões limpa-fossa e seu respectivo volume.

Os demais parâmetros e informações utilizados no projeto foram obtidos a partir de pesquisa bibliográfica, direcionado à definição das cargas e taxas afluentes, por meio de busca em base de dados publicadas na forma de artigos técnicos obtidos junto ao Periódicos CAPES, site GESAD e livros que versam sobre a temática.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 LOCAL DA OBRA

A área que foi disponibilizada para a construção do wetland encontra-se atualmente sem utilização. Sua estrutura está comprometida pela intempérie e necessitará de reparos para a futura execução do projeto, contudo, a divisão dos leitos será mantida, de maneira a ser utilizada como ponto de partida nas tomadas de decisões do projeto em questão. Na Figura 7, pode-se observar a divisão dos leitos, sendo que cada leito possui 12m de comprimento, 6m de largura e 1m de altura, totalizando 288m<sup>2</sup>.

Figura 7: Área cedida para o estudo

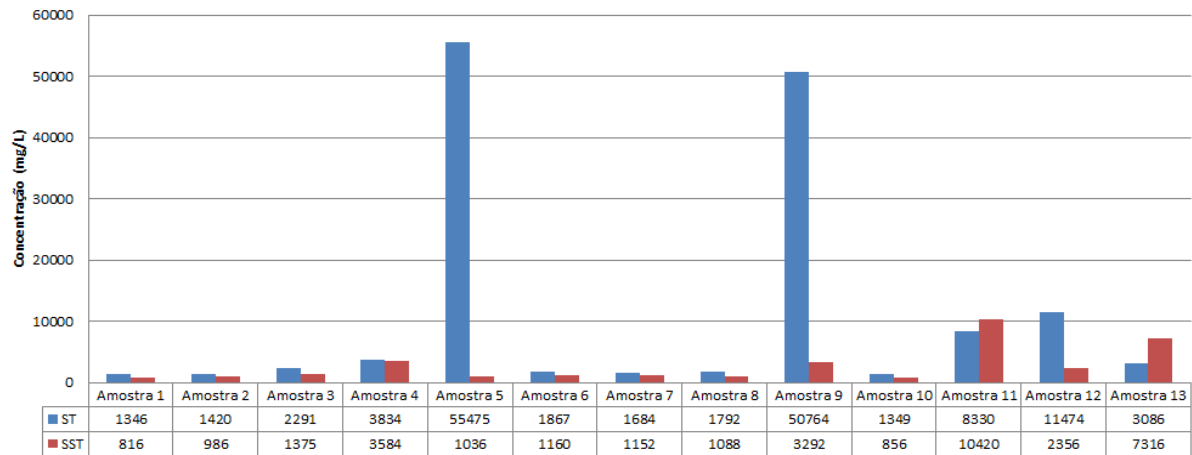


Fonte: Foto capturada pela autora em abril de 2019

### 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO RECEBIDO NA ETE DE CANASVIEIRAS

A partir dos dados recebidos pela CASAN, de resultados das caracterizações físico-químicas das amostras coletadas dos caminhões na entrada da ETE (coletas aleatórias), foi elaborado um gráfico (Gráfico 1), com os parâmetros sólidos totais (ST) e sólidos suspensos totais (SST), para uma melhor visualização.

Gráfico 1: Caracterização do lodo recebido em termos de ST e SST



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Os parâmetros de sólidos totais e sólidos voláteis podem ser utilizados para monitorar o grau de estabilização da matéria orgânica. Fica evidente através da análise do Gráfico 1 a ocorrência de grande variação nas concentrações das variáveis monitoradas. Essas variações são inerentes a esse tipo de resíduo, uma vez que são provenientes de diferentes unidades físicas (tanques sépticos, tanques enterrados, sumidouros, etc.), diferentes contribuintes (residências, restaurantes, hospitais, etc.) e são mantidos e operados de formas diferentes.

### 5.3 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS

O dimensionamento de WC envolvem algumas variáveis, quais sejam: concentração que o lodo tem em termos de sólidos totais, o volume de aplicação de lodo nos módulos, a taxa que quer aplicar-se e a área que será necessária para sua construção.

Como se optou em manter a divisão original da área cedida (quatro leitos) tem-se como ponto de partida no dimensionamento 288 m<sup>2</sup> de área disponível. Os leitos foram nomeados de 1 a 4 conforme apresentado na Figura 8, para facilitar a sua identificação. Cada leito possui 12m de comprimento, 6m de largura e 1m de altura, totalizando uma área de 72m<sup>2</sup> cada.



Figura 8: Divisão dos módulos



Fonte: Foto capturada pela autora em abril de 2019

De acordo com o item 5.2, observam-se as características do lodo recebido na ETE de Canasvieiras em termos de ST. A partir dos dados recebidos pela CASAN, obteve-se uma média de 11.132mg/L em termos de ST. A taxa de carregamento de sólidos utilizada para calcular o volume de aplicação, foi obtida por meio de literatura, variando entre 150 a 250Kg/m<sup>2</sup>.ano (SUNTII, 2010), sendo adotado o valor de 125Kg/m<sup>2</sup>.ano, conforme orientações de Magri et al (2016). Abaixo se apresentam os cálculos realizados para determinar a o volume de aplicação para cada leito do sistema.

$$\text{Taxa de carregamento} \left( \frac{\text{Kg. ST}}{\text{m}^2 * \text{ano}} \right) = \frac{\text{Concentração de ST} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * \text{Volume} (\text{m}^3)}{\text{Área} (\text{m}^2) * 1 \text{ ano}}$$

$$125 \cdot \left( \frac{\text{Kg. ST}}{\text{m}^2 * \text{ano}} \right) = \frac{11,13 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) * \text{Volume} (\text{m}^3)}{72 (\text{m}^2) * 1 \text{ ano}}$$

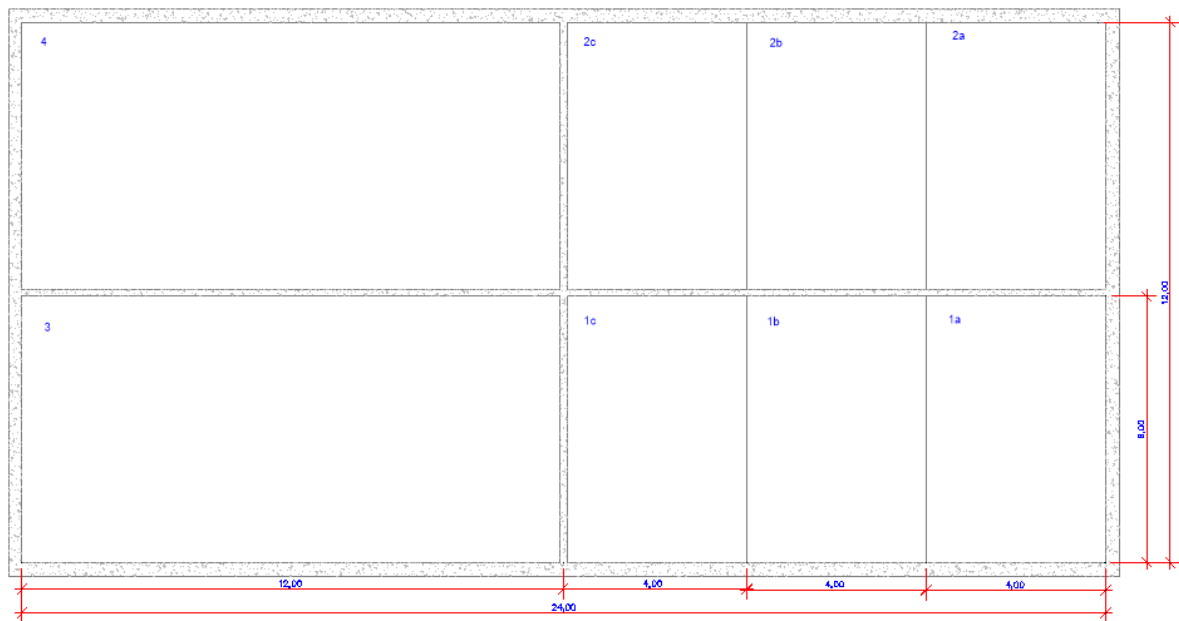
$$\text{Volume} = 808,62 \frac{\text{m}^3}{\text{ano}} \approx \text{em } 52 \frac{\text{semanas}}{\text{ano}} \approx 15 \frac{\text{m}^3}{\text{semana}}$$

A perda média de água nos WCs varia entre 24 e 78% (MAGRI et al, 2016), desta maneira, serão previstos tanques em PRFV de 1.000 litros para coleta do lixiviado em cada leito.

#### 5.4 COMPONENTES DO SISTEMA

Foram projetados quatro leitos de fluxo vertical com 72m<sup>2</sup> de área superficial cada, nomeados de um a quatro. O wetland número um foi subdividido em três leitos (nomeados 1a, 1b e 1c), de 24m<sup>2</sup> cada. O wetland número dois foi dividido também em três subleitos (nomeados 2a, 2b e 2c), de 24 m<sup>2</sup> cada. E os wetlands três e quatro mantiveram sua formatação original, com área de 72m<sup>2</sup> cada. A subdivisão dos leitos pode ser visualizada na Figura 9.

Figura 9: Subdivisão dos leitos



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Em cada filtro será instalado um sistema de coleta do efluente, em tubo de esgoto em PVC corrugado de diâmetro nominal – DN 100, disposto junto ao fundo dos leitos. Neste sistema será interligado o sistema de ventilação, feito em tubos de esgoto em PVC DN 75, com 1 m de altura acima da camada filtrante, o que provavelmente permitirá o acúmulo de lodo por 10 anos (SUNTTI, 2010), sendo uma coluna de ventilação a cada 2 m<sup>2</sup> de filtro, totalizando 3 colunas em cada subleito (módulos 1 e 2) e 12 colunas nos módulos 3 e 4.

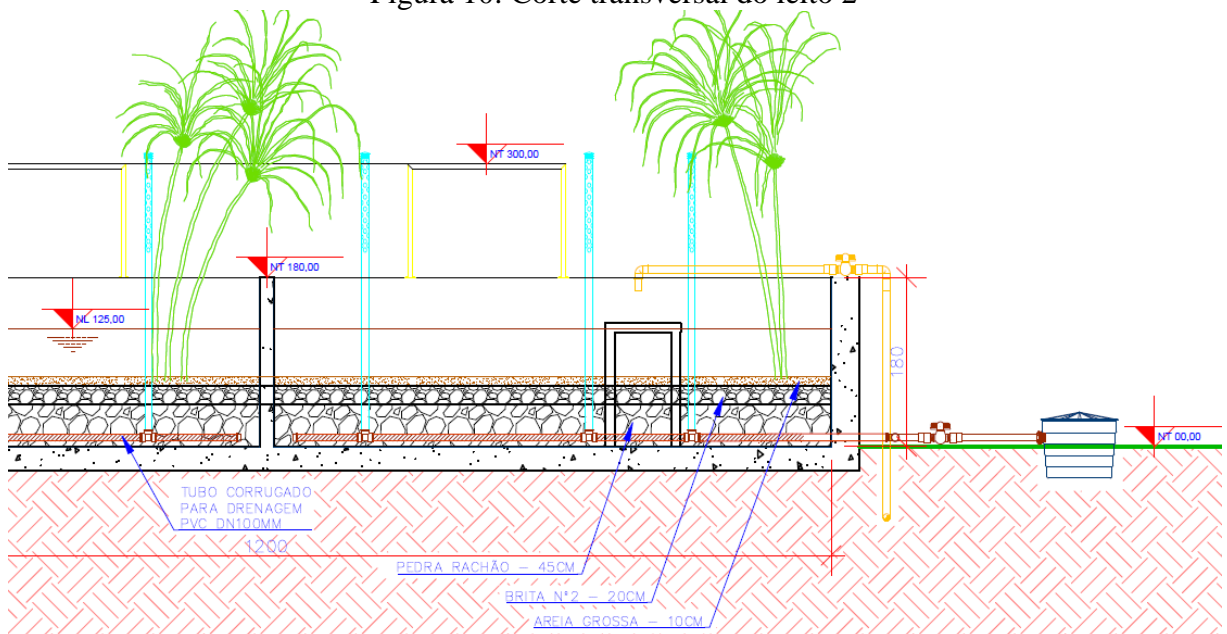
Nestas colunas serão feitos furos de 2 cm de diâmetro de forma aleatória, para permitir a entrada de ar no leito filtrante. Em cada coluna será instalado um terminal de ventilação para tampar a parte superior das colunas, e permitir também a entrada de ar por esse orifício.

Cada leito será preenchido com 0,75m de meio filtrante. A primeira camada logo acima das tubulações de coleta será preenchida com 0,45 m de pedra rachão, 0,20 m dos filtros com brita n.º2, e por fim, acima desta camada, 0,10 m de areia grossa. Foi projetada uma borda livre de 0,50m para permitir o acúmulo do lodo desidratado. A escolha da altura da borda livre é em função do tempo previsto para acumular o lodo, antes de sua retirada.

A tubulação de drenagem possui válvulas para controlar a saída e, conseqüentemente, o tempo de detenção hidráulico. Todos os WC são independente entre si, e cada saída é conectada a um contentor fechado de 1.000 litros para coleta do lixiviado e futura disposição ou reinserção no sistema, conforme será apresentado no item 5.5 de operação dos módulos.

Na Figura 10, pode-se observar a disposição dos componentes do sistema descritos anteriormente nos leitos do sistema, sendo esta apenas um fragmento do projeto.

Figura 10: Corte transversal do leito 2



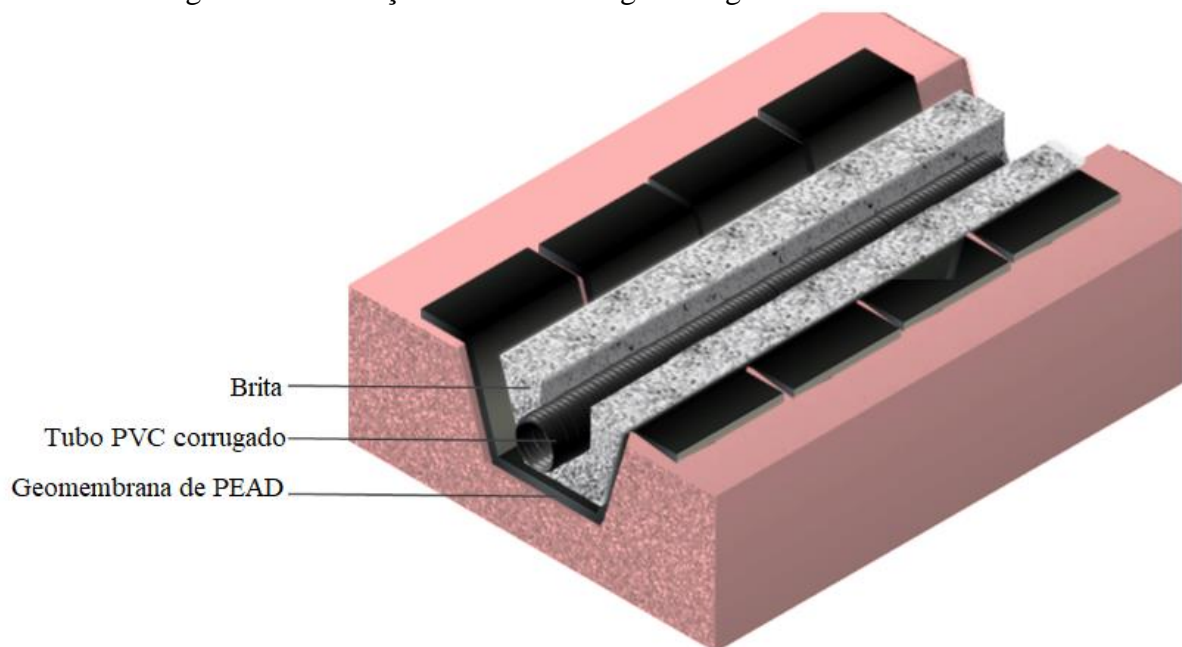
Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Ao fundo de todo o sistema, antes da instalação do sistema de coleta do líquido percolado, será realizado a impermeabilização da estrutura utilizando geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD). A aplicação de mantas permanece como a principal

solução adotada para a impermeabilização de superfícies evitando que as águas residuais entrem em contato com as águas subterrâneas.

Antes da aplicação da Geomembrana de PEAD, deve ser feita inspeção da superfície, a qual deve estar nivelada, compactada e isenta de qualquer tipo de material contundente, depressões e mudanças abruptas de inclinação do terreno não previstas no projeto. Em superfícies de concreto ou alvenaria, a fixação da Geomembrana se dará pelo uso de perfil metálico ou plástico, utilizando-se elementos de fixação. Na Figura 11 tem-se uma representação de como deve ser aplicado a tubulação de PVC corrugado em relação a geomembrana de PEAD.

Figura 11: Instalação de tubos corrugados e geomembrana de PEAD

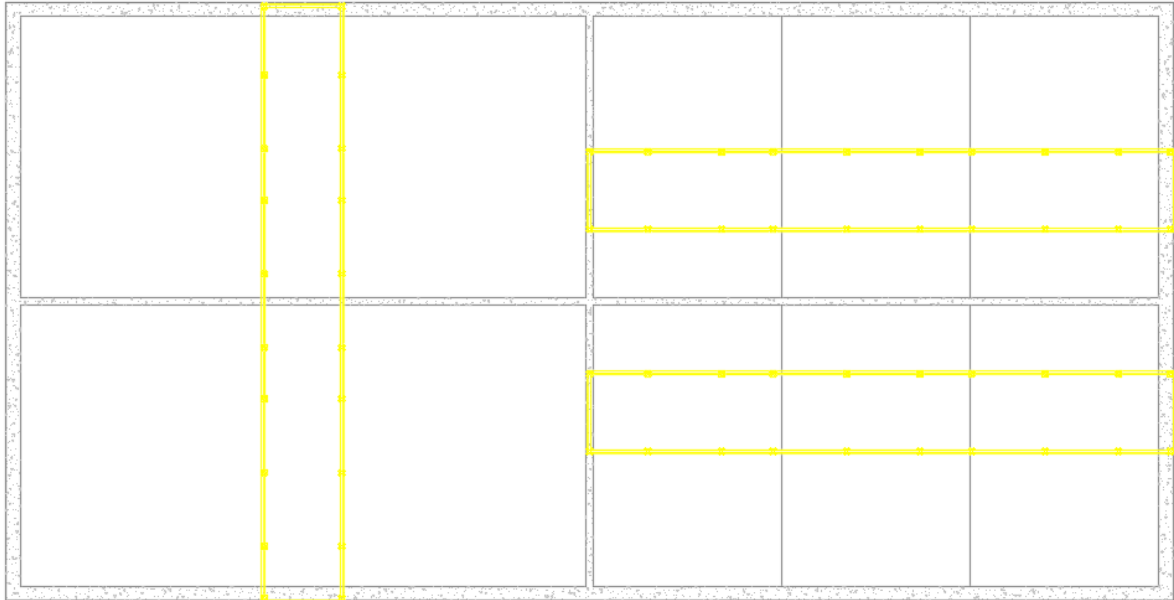


Fonte: Peveduto 2017. Disponível em [www.peveduto.com.br](http://www.peveduto.com.br). Acessado em 13/11/2019.

Para facilitar a manutenção e operação dos módulos foram previstas instalações de estruturas metálicas (passarelas), que serão fixadas na estrutura de concreto. Devida à altura que os módulos estão em relação ao solo é obrigatório pela utilização de guarda-corpos para segurança do operador, sendo estes de altura mínima de 1,0 m NBR 14718 (ABNT, 2001). Estas estruturas terão suas laterais vazadas para que o operador consiga podar as macrófitas que irão crescer nos módulos, assim como, permitir que sejam coletadas amostras ou qualquer outra demanda que venha a ser necessária para a manutenção e operação do sistema. A limpeza dos wetlands (poda das plantas) é feita quando necessário, para manter o mesmo sem a invasão por outras espécies de plantas, e sem acúmulo de material em decomposição, como

plantas mortas, diminuindo o suprimento de carbono ao sistema. Na Figura 12 tem-se o posicionamento das passarelas com guarda corpo no sistema.

Figura 12: Posicionamento das passarelas com guarda-corpo



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

## 5.5 OPERAÇÃO DOS MÓDULOS

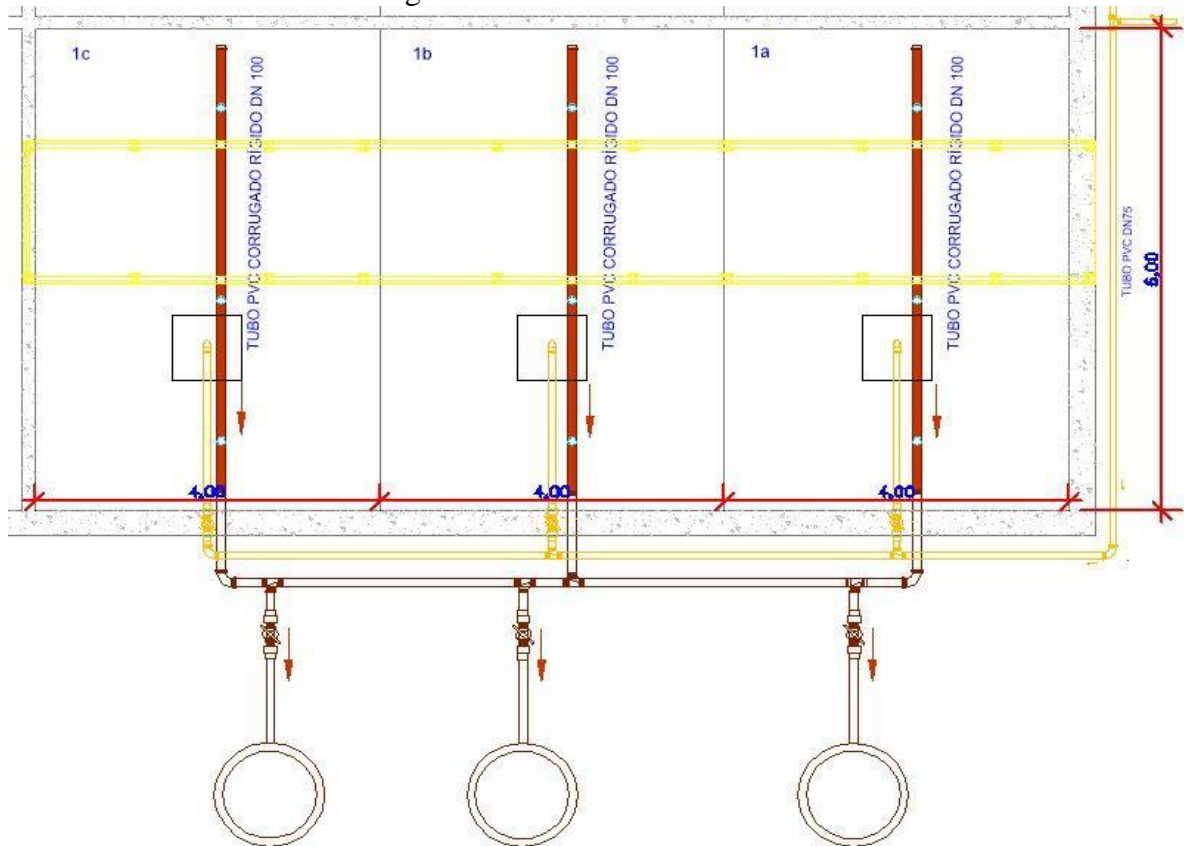
Atualmente o lodo do tanque séptico chega à ETE através do serviço dos caminhões limpa-fossa, e é despejado em um tanque para retenção de sólidos e areia. Por gravidade este lodo é direcionado para um poço de armazenamento no qual ocorre a sua homogeneização. Neste poço o lodo é succionado por uma bomba submersa que o direciona para ser inserido no processo de tratamento da estação. A estação de Canasvieiras tem um grande fluxo de caminhões limpa-fossa, tendo estabelecido um intervalo de 20 min entre o descarregamento de um caminhão e o próximo para não sobrecarregar todo o sistema de tratamento. Em média cada caminhão transporta entre 8 a 9m<sup>3</sup> de lodo de tanque séptico e similares.

Para o projeto de instalação dos wetlands, considera-se que a partir deste poço apenas uma fração deste lodo será direcionada para a alimentação dos módulos, conforme previsto no dimensionamento do sistema. Para operação das unidades são propostas rotinas semanais de alimentação do sistema com lodo e manutenção das unidades, que serão descritos a seguir.

### 5.5.1 Leito 1

O leito número 1, terá operação idêntica para todos seus subleitos, sendo alimentado através de uma tubulação de PVC DN 75. As entradas do lodo no sistema são pré-estabelecidas, tendo instalado um anteparo, de revestimento cerâmico no interior do módulo para auxiliar na dispersão homogênea em todo o leito. A tubulação possui um registro que deverá ser aberto para permitir o fluxo. Sua operação será feita sem recirculação do percolado, de maneira que receberá uma aplicação semanal, com repouso de 6 dias, seguido por 24h de desague, para que somente no sétimo dia após a primeira aplicação de lodo se inicie um novo ciclo de alimentação. O volume de aplicação será distribuído entre os 3 subleitos, resultando em um volume de aproximadamente 5 m<sup>3</sup>. Cada subleito possui uma tubulação com registro ao fundo que deságua em uma caixa de coleta de percolado de maneira individualizada. Na Figura 13, apresenta-se a planta do leito n° 1 com seus componentes.

Figura 13: Planta baixa do leito n°1



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

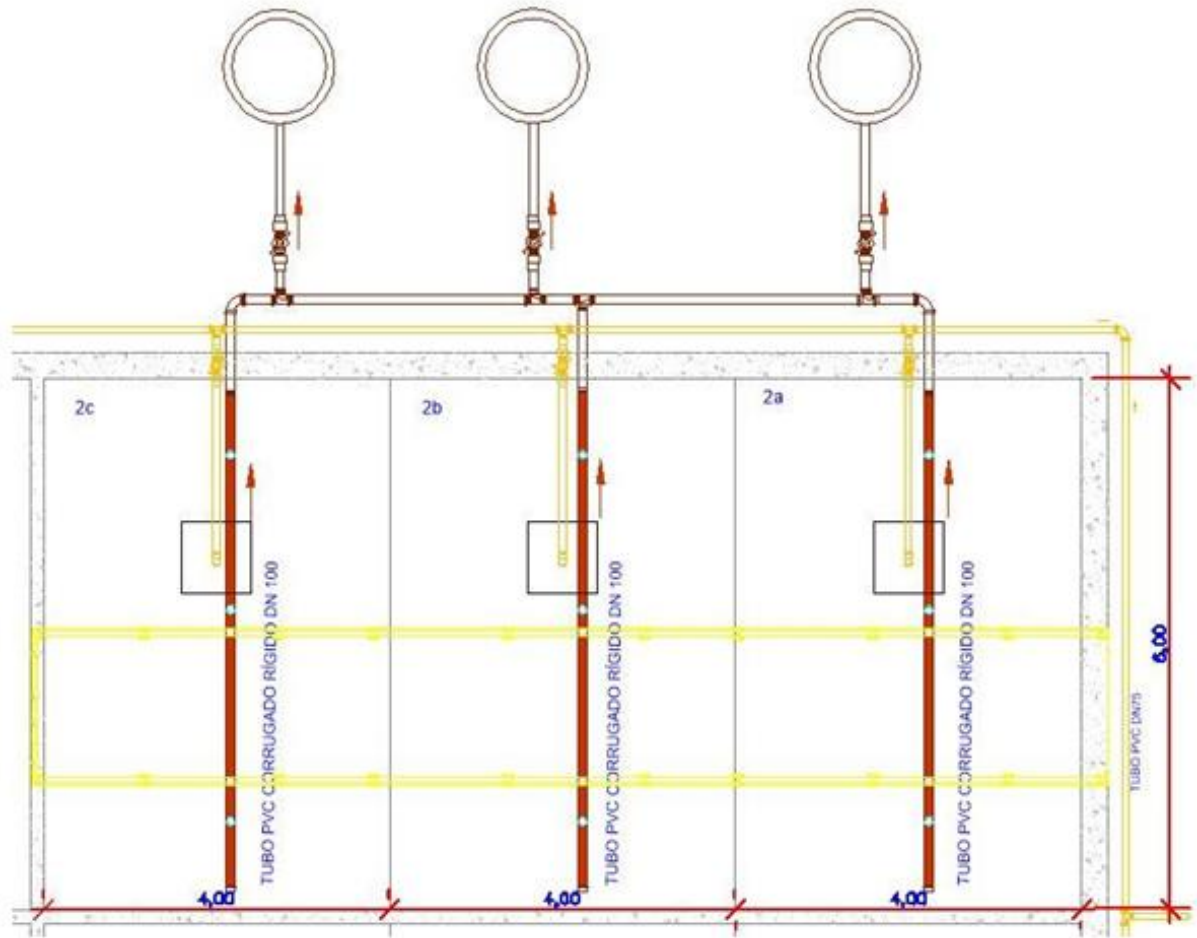


### 5.5.2 Leito 2

O leito número 2, também terá a mesma operação para todos seus subleitos, sendo alimentado através de uma tubulação de PVC DN 75, com entradas do lodo no sistema pré-estabelecidas, com anteparo, e registros. O que difere na sua operação em relação ao leito 1 é que os efluentes líquidos resultantes do tratamento dos wetlands (percolados 1) após os 6 dias de detenção no sistema serão recirculados para dentro dos mesmos wetlands e retirados após mais 6 dias de detenção (percolados 2). De maneira que na primeira semana o módulo é carregado com lodo e na segunda semana com o percolado 1. O período de alimentação com lodo e com a recirculação do líquido percolado estabelece um ciclo de alimentação. Cada subleito possui uma tubulação com registro ao fundo que deságua em uma caixa de coleta de percolado de maneira individualizada.

Por realizar a recirculação este módulo receberá a cada aplicação de lodo (semana 1) um volume de 2 vezes o valor de aplicação estabelecido no dimensionamento do projeto, fechando a aplicação anual de 970 m<sup>3</sup>. Na Figura 14, apresenta-se a planta do leito nº 2 com seus componentes.

Figura 14: Planta baixa do leito n°2



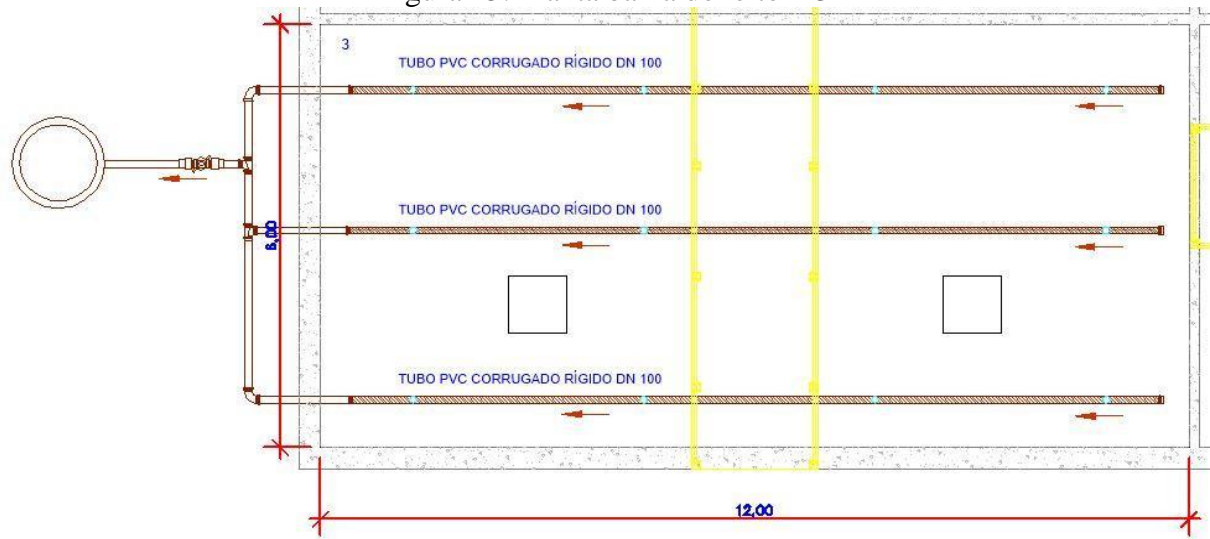
Fonte: Elaborado pela autora (2019).

### 5.5.3 Leito 3

O leito número 3, será alimentado diretamente do caminhão limpa-fossa, para testar a aplicação do lodo sem prévia homogeneização no sistema. Ele prevê o posicionamento das aplicações, com os anteparos de revestimento cerâmico no interior do módulo para auxiliar na dispersão homogênea em todo o leito, porém não possui tubulação de entrada nem registros. Sua operação será realizada similarmente ao leito 1, sem recirculação, com um período de descanso de 6 dias entre os ciclos de alimentação. O leito possui uma tubulação com registro ao fundo que deságua em uma caixa de coleta de percolado. Na Figura 15, apresenta-se a planta do leito n° 3 com seus componentes.



Figura 15: Planta baixa do leito n°3

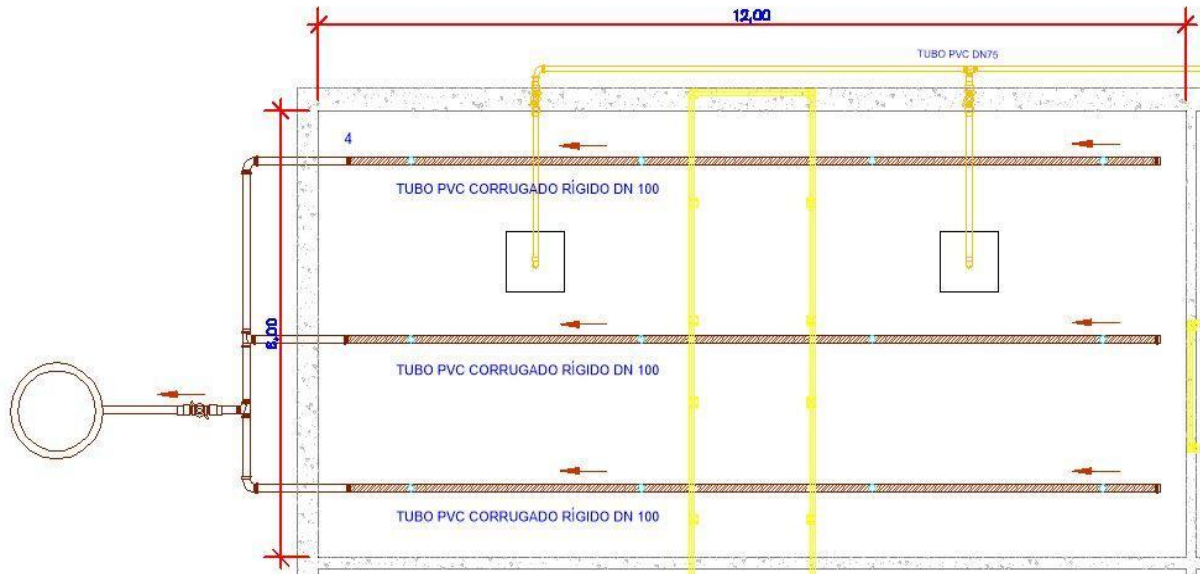


Fonte: Elaborado pela autora (2019).

#### 5.5.4 Leito 4

O leito número 4, também será alimentado através de uma tubulação de PVC DN 75, com entradas do lodo no sistema pré-estabelecidas, com anteparo e registros. Sua operação será realizada similarmente aos leitos 1 e 3, sem recirculação, com um período de descanso de 7 dias entre os ciclos de alimentação. O volume de aplicação de 15 m<sup>3</sup> determinado em dimensionamento será distribuído em sua totalidade de maneira homogênea sob todo o leito. O leito possui uma tubulação com registro ao fundo que deságua em uma caixa de coleta de percolado. Na Figura 16, apresenta-se a planta do leito n° 4 com seus componentes.

Figura 16: Planta baixa do leito nº4



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

A disposição completa do projeto no terreno, contendo as vistas laterais, cortes e detalhamentos podem ser vistos no APÊNDICE A – Planta Baixa, Vista Lateral e Quantitativo de Materiais do Projeto, e no APÊNDICE B – Cortes e Detalhes do Projeto.

## 5.6 ESTIMATIVA DE CUSTOS

Foi realizada uma pesquisa quanto aos materiais de construção e seus custos para elaborar um orçamento prévio da implantação do sistema. Para esta estimativa de custos foi utilizada a tabela com preços de insumos e mão de obra do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Esta tabela é mantida pela Caixa Econômica Federal e pelo IBGE, que informa os custos e índices da Construção Civil no Brasil, com atualização mensal para todas as capitais do país.

Na tabela 2, encontram-se as estimativas dos materiais necessários para construção do sistema, seus preços unitários, o valor da mão de obra, assim como o valor final estimado para a implantação do sistema.

Tabela 2: Orçamento previsto para implantação do wetland construído

<b><i>Preparo da estrutura existente e regularização do fundo</i></b>	<b><i>Unidade</i></b>	<b><i>Quantidade</i></b>	<b><i>Preço</i></b>	<b><i>Custo</i></b>
Roçada fina	M <sup>2</sup>	309,96	R\$ 1,29	R\$ 399,85
Demolição de concreto armado ou simples, com equipamento.	M <sup>3</sup>	4,00	R\$ 149,49	R\$ 597,96
Concreto estrutural, FCK=15,0 MPa	M <sup>3</sup>	12,96	R\$ 363,17	R\$ 4.706,68
Argamassa, cimento e areia, traço 1:3	M <sup>3</sup>	0,10	R\$ 448,27	R\$ 44,83
<b>SUBTOTAL</b>				<b>R\$ 5.749,32</b>
<b><i>Tratamento de lodo – Wetland</i></b>	<b><i>Unidade</i></b>	<b><i>Quantidade</i></b>	<b><i>Preço</i></b>	<b><i>Custo</i></b>
Escavação manual de áreas, valas, poços e cavas em solo não rochoso, com profund. Até 1,25m.	M <sup>3</sup>	9,60	R\$ 43,57	R\$ 418,27
Camada drenante com areia grossa	M <sup>3</sup>	57,60	R\$ 177,32	R\$ 10.213,63
Camada drenante com brita n <sup>o</sup> 2	M <sup>3</sup>	129,60	R\$ 197,25	R\$ 25.563,60
Camada drenante com brita n <sup>o</sup> 4	M <sup>3</sup>	28,80	R\$ 149,47	R\$ 4.304,74
Drenagem com tubo PVC perfurado, DN 100 mm	M	100,00	R\$15,13	R\$1.513,00
Terminal de ventilação DN 75 mm	M	42,00	R\$ 32,64	R\$ 1.370,88
Lastro de pedra britada	M <sup>3</sup>	57,60	R\$ 115,34	R\$ 6.643,58
Assentamento de tubos e conexões PVC DN 75 mm	M	158,00	R\$ 1,39	R\$ 219,62
Assentamento de tubos e conexões PVC DN 100 mm	M	393,00	R\$ 1,44	R\$ 565,92
Alvenaria de bloco em concreto E=0,10 m	M <sup>2</sup>	43,20	R\$ 44,328	R\$ 1.194,62
Alvenaria de bloco em concreto E=0,15 m	M <sup>2</sup>	86,40	R\$ 66,79	R\$ 5.770,66
Chapisco comum, cimento e areia, traço 1:3	M <sup>2</sup>	423,00	R\$ 6,50	R\$ 2.749,50
Emboço, cimento, cal e areia, traço 1:2:6	M <sup>2</sup>	423,00	R\$30,93	R\$13.083,39
Impermeabilização de superfície com geomembrana tipo PEAD, E=1,0 mm	M <sup>2</sup>	365,40	R\$ 30,80	R\$ 11.254,32
<b>SUBTOTAL</b>				<b>R\$ 85.585,73</b>
<b><i>Tubos e Conexões – Fundo e Distribuição do Wetland-Continua</i></b>	<b><i>Unidade</i></b>	<b><i>Quantidade</i></b>	<b><i>Preço</i></b>	<b><i>Custo</i></b>
Tubo PVC corrugado 0,25 Mpa, DN 100 mm	M	100,00	R\$ 25,93	R\$ 2.593,00
CAP PVC DN 100 JE	Peça	12,00	R\$ 20,63	R\$ 247,56
Curva PVC 90° PB DN 75 JE	Peça	8,00	R\$ 70,61	R\$ 564,88
TEE PVC BB DN 100 x 100 JE	Peça	11,00	R\$ 19,45	R\$ 213,95
Tubo PVC esgoto DN 100 JE	M	138,00	R\$14,33	R\$1.977,54
Adaptador TCC x esgoto	Peça	12,00	R\$10,09	R\$121,08
Tanque PRFV, capacidade 500 litros	Peça	8,00	R\$187,42	R\$1.499,36

<b>Tubos e Conexões – Fundo e Distribuição do Wetland-Continuação</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço</b>	<b>Custo</b>
Tanque PRFV, capacidade 1000 litros	Peça	2,00	R\$323,63	R\$647,26
Registro PVC esfera DN 75 mm	Peça	8,00	R\$178,06	R\$1.424,48
Redução PVC PB DN 100 x75 JE	Peça	42,00	R\$11,00	R\$462,00
Tubo PVC PB classe 1,0 Mpa DN 100 JE	M	155,00	R\$42,59	R\$6.601,45
Tubo PVC PB classe 1,0 Mpa DN 75 JE	M	126,00	R\$25,32	R\$3.190,32
Curva PVC 90° PB DN 75 JE	Peça	12,00	R\$70,61	R\$847,32
TEE PVC esgoto BB DN 75 x 75 JS	Peça	5,00	R\$67,92	R\$339,60
Registro PVC esfera DN 75 JS	Peça	8,00	R\$178,06	R\$1.424,48
Tubo PVC PB DN 75 JS	M	32,00	R\$18,96	R\$606,72
<b>SUBTOTAL</b>				<b>R\$ 22.761,00</b>
<b>TOTAL</b>				<b>R\$ 114.096,05</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Portanto, considerando o preparo da estrutura já existente e todos os componentes do WC, estima-se que a obra terá um custo de R\$ 114.096,05, resultando em um valor relativizado por metro quadrado construído de R\$ 396,17/m<sup>2</sup> implantado.

## 5.7 REUNIÕES TÉCNICAS

O desenvolvimento deste projeto envolveu visitas a campo, assim como reuniões entre professores da UFSC e engenheiros membros da CASAN. A foto relacionada com a Figura 17 foi capturada em reunião realizada no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, que tinha como objetivo apresentar os detalhes construtivos do projeto aos engenheiros da CASAN, bem como consolidar a primeira etapa, no dia 22 de Agosto de 2019.

Figura 17: Reunião de consolidação com a equipe técnica da companhia de saneamento



Fonte: Foto capturada pela autora (2019)

## 5.8 NECESSIDADES ADICIONAIS

Para a execução do projeto em sua totalidade, haverá que se levarem em conta as seguintes questões adicionais:

- Armazenamento de grandes volumes para o drenado do leito nº 2 com a possibilidade de retorno (estima-se ser necessário um contentor de 5m<sup>3</sup>);
- Alocar tal reservatório no terreno (envolverá movimentação de terra);
- Instalação de bombeamento para funcionamento do sistema (três conjuntos moto bomba);

Para a inclusão destes itens estima-se um custo adicional, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Estimativa de custos adicionais

<b><i>Custos adicionais</i></b>	<b><i>Unidade</i></b>	<b><i>Quantidade</i></b>	<b><i>Preço</i></b>	<b><i>Custo</i></b>
Montagem eletro-mecânica de conjunto moto bomba de 01 a 15 CV	Peça	3,00	R\$ 3.188,47	R\$ 9.565,41
Tanque PRFV, capacidade 5.000 litros	Peça	1,00	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
Conjunto moto-bomba	Conjunto	3,00	R\$ 2.300,00	R\$ 6.900,00
<b>TOTAL</b>				<b>R\$ 17.965,41</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Desta maneira, caso seja optado incluir a recirculação do leito 2 na implementação do sistema, estima-se que um custo de aproximadamente R\$18.000,00 será gerado.

## 6 CONCLUSÃO

O presente trabalho propôs elaborar o projeto de wetland construído, em escala real, para disposição e tratamento de lodo proveniente de caminhões limpa-fossa. Este projeto está inserido como a primeira meta entre cinco metas a serem realizadas dentro de uma proposta de pesquisa e desenvolvimento mais inovação, na área de estudo de gerenciamento de lodo de tanque séptico com vistas à aplicação no estado de Santa Catarina.

Os wetland construídos com fluxo vertical constituem uma alternativa tecnológica para tratamento do lodo de tanque séptico, pois proporcionam a redução do volume de água presente no lodo e não requerem a remoção periódica do lodo acumulado. Por apresentar uma área de 288 m<sup>2</sup> disponível, assim como um grande volume de cargas de lodo chegando diariamente à ETE, o fator que apresentou maior variação quanto ao dimensionamento dos módulos foi a concentração de ST no lodo recebido. Essas variações são inerentes a esse tipo de resíduo uma vez que são provenientes de diferentes unidades físicas, sendo imprescindível a presença de um tanque de homogeneização antes de aplicar o lodo no sistema.

A proposta deste trabalho apresentou um valor estimado em R\$114.096,05 para implantação, representando R\$ 396,17/m<sup>2</sup> implantado, de maneira que a companhia de saneamento terá que abrir processo licitatório para sua execução. Após sua implantação, na fase de operação do sistema, análises do efluente devem ser realizadas com certa periodicidade, a fim de manter controle da eficiência de tratamento, durante toda sua vida útil.

O modelo de sistema proposto poderá avaliar o estabelecimento de rotinas operacionais de aplicação de lodo de tanque séptico, destacando-se aspectos de carregamento orgânico e de sólidos, bem como de alimentação e repouso. Espera-se que a partir dos resultados obtidos na conclusão desta P&D+I, a CASAN avalie a aplicabilidade de utilização nos diferentes municípios de sua cobertura a ecotecnologia dos wetlands construídos como unidade de gerenciamento de lodo de tanque séptico.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001) **Guarda-corpos para edificação**. NBR 14718 Rio de Janeiro. ABNT, 14p
- ABNT– Associação Brasileira de Normas Técnicas (1990). **Material filtrante - areia, antracito e pedregulho**. NBR 11799. Rio de Janeiro: ABNT. 7p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993). **Projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementares e disposição final dos efluentes de tanques sépticos: procedimentos**. NBR 7229. Rio de Janeiro: ABNT. 15p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997) **Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos** NBR 13969:– projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT. 60p
- ANDREOLI, C. V. et al. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. UFMG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Companhia de Saneamento do Paraná. Belo Horizonte, 2001.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. 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. : i
- DUARTE, S. **Estudo das Potencialidades das Zonas Húmicas Artificiais no Tratamento de Efluentes Agrícolas**. 2002. Monografia de Final de Curso – Curso de Licenciatura em Engenharia do Ambiente. Universidade de Lisboa. Lisboa. 2002.
- EPA - Environmental Protection Agency. **A handbook of constructed wetlands**. 1993.
- FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Elaboração de metodologia para cadastro e controle de caminhão “limpa fossa”: relatório I** / Fundação Estadual do Meio Ambiente. --- Belo Horizonte, 2013. 159 p.
- FECAM - Federação Catarinense de Municípios. **Índice de Desenvolvimento Sustentável dos Municípios Catarinenses - 2018**. Disponível em [www.indicadores.fecam.org.br](http://www.indicadores.fecam.org.br). Acessado em 13/11/2019.
- FEDERAL, Caixa Econômica. **SINAPI – Índice da Construção Civil**. Brasil, Governo Federal. Disponível em: [www.caixa.gov.br](http://www.caixa.gov.br) Acessado em 13/11/2019.
- FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento. Ministério da Saúde**. Brasília, 2004.
- FURTADO, Daniel. **Caracterização de lodo de tanque séptico e tratamento em filtros plantados com macrófitas**. 2012. 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.



IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2002/IBGE**, Diretoria de Geociência. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

JORDÃO, E. P. e PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro: ABES, 3. ed. 1995.

KENGNE NOUMSI, I.M., AMOUGOU, A., BEMMO, N., STRAUSS, M., TROESCH, S., NTEP, F., TSAMA NJITAT, V., NGOUTANE PARE, M. KONÉ, D., 2006. **Potentials of sludge drying beds vegetated with *Cyperus papyrus* L. and *Echinachloa pyramidakis* (LAM.) Hitchc. and Chase for faecal sludge treatment in tropical regions**. In: Dias, V., Vymazal, J. (Ed.), Proceedings of the Conference on the Use of Aquatic Macrophytes for Wastewater Treatment in Constructed Wetlands, Lisbon, Portugal.

KENGNE, I.M, AKOA, A., SOH, E.K, TSAMA, V., NGOUTANE, M.M, DODANE, P.H, KONÉ, D. 2008. **Effects of faecal sludge application on growth characteristics and chemical composition of *Echinochloa pyramidalis* (Lam.) Hitchc and Chase and *Cyperus papyrus* L.** Ecol. Eng. 34 (3), 233–242.

Magri, M.E., Francisco, J.G.Z., Sezerino, P.H., Philippi, L.S. 2016. **Constructed wetlands for sludge dewatering with high solids loading rate and effluente recirculation: characteristics of effluente produced and accumulated sludge**. Ecological Engineering, v.95, 316-323

PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo**. Edital 1. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464p.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Saúde. Diretoria de Vigilância Epidemiológica. **Destino de esgoto por municípios e regionais de saúde, segundo SIAB – Sistema de Informação da Atenção Básica e CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento**. Relatório, 2005. 16p.

SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical**. 2006. 171f. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

SEZERINO, P. H.; PHILIPPI, L. S. **Tratamento de esgotos utilizando o potencial solo-planta**. In: Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, XXVI. CD Room. Anais ... Lima, Peru: AIDIS, 1998. 9p.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2006**. Brasília: MCIDADES. SNSA, 2007. 232p.

SUNTTI, Carla. **Desaguamento de lodo de tanque séptico em filtros plantados com macrófitas**. 2010. 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

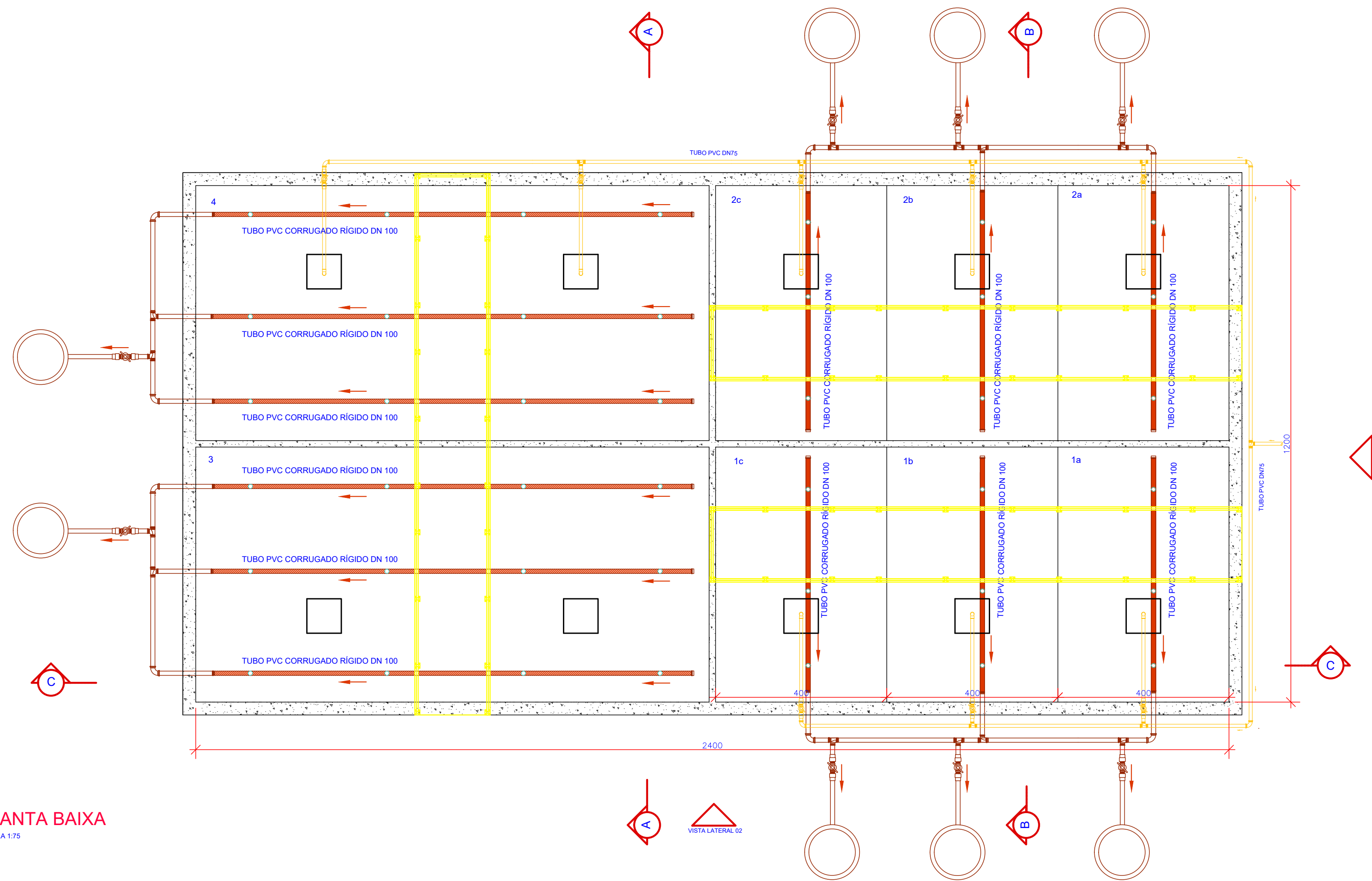
UGGETTI, E.; LLORENS, E.; PEDESCOLL, A.; FERRER, I.; GARCÍA, J.. **Sludge dewatering and mineralization in two full-scale drying reed beds in Catalonia, Spain.** Bioresource Technology 100, 2009a. p. 3882-3890.

UGGETTI, E.; FERRER, I.; LLORENS, E.; GARCÍA, J. **Sludge treatment wetlands: A review on the state of art.** Bioresource Technology. 2009. doi:10.1016. 2009b. 8p.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias V.1 – **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG 1996. 243p

VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. p.17-67.

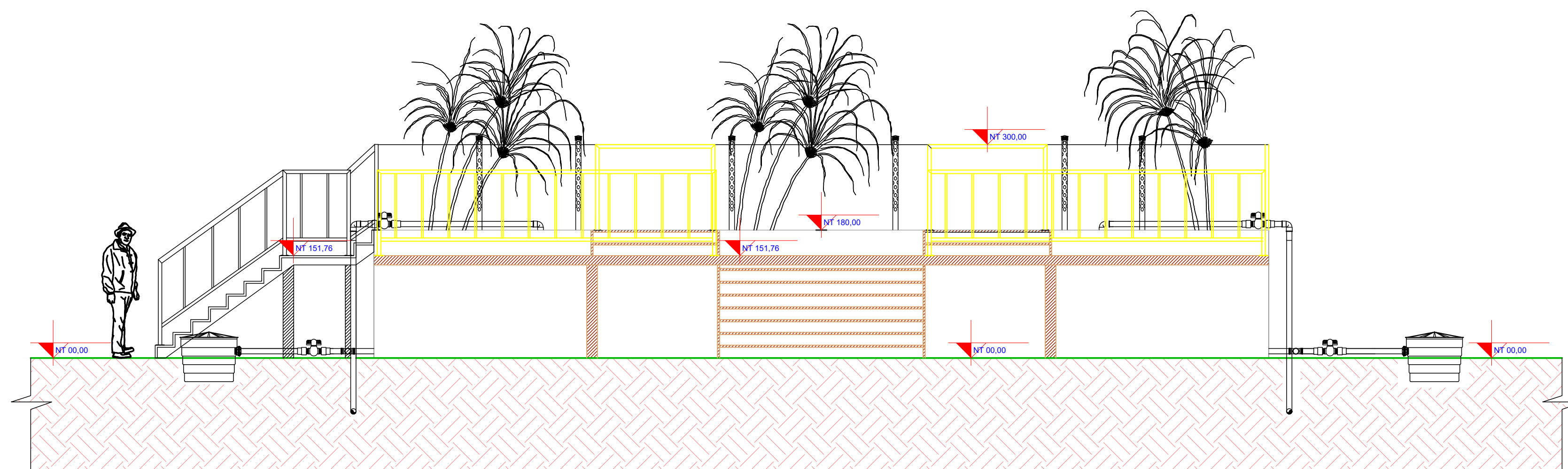
**APÊNDICE A – Planta Baixa, Vista Lateral e Quantitativo de Materiais do Projeto.**



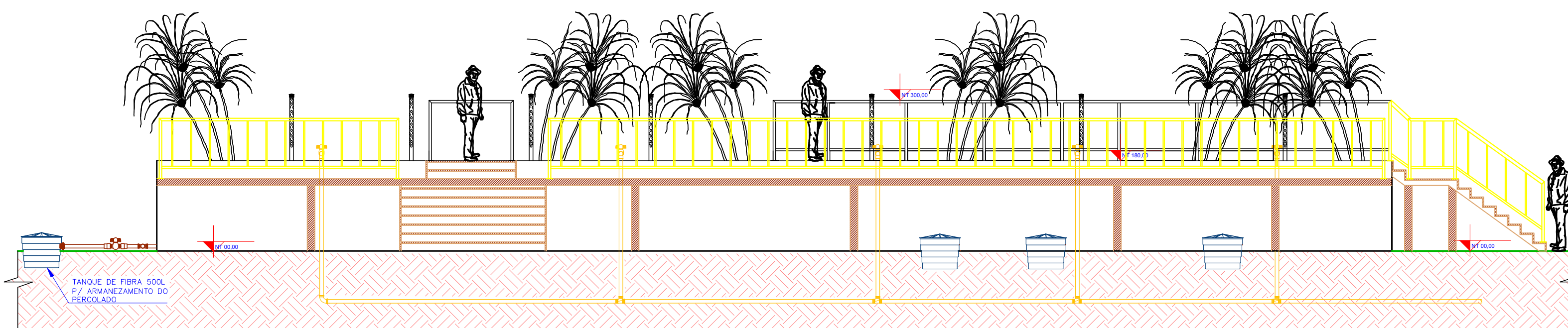
QUANTITATIVO DE MATERIAL				
ESGOTAMENTO FUNDO WETLAND				
NÚM	DESCRIÇÃO	MATERIAL	UND	QNT
01	TUBO 6M PVC CORRUGADO RÍGIDO - DN 100 MM	PVC	M	100
02	CAP PVC ESGOTO - DN 100 MM	PVC	UN	12
03	CURVA 90° PVC ESGOTO - DN 75 MM	PVC	UN	08
05	TERMINAL DE VENTILAÇÃO DN 75 MM	PVC	UN	42
06	TEE PVC ESGOTO - DN 100 MM	PVC	UN	11
07	TUBO 6M PVC ESGOTO DN 100 MM	PVC	BARRAS	23
08	ADAPTADOR TCC X ESGOTO	PVC	UN	12
14	TANQUE PRFV 500 L	PRFV	UN	08
15	TANQUE PRFV 1.000 L	PRFV	UN	2
16	ADAPTADOR P/ CAIXA D'ÁGUA COM REGISTRO	PVC	UN	8
17	TEE DE REDUÇÃO PVC ESGOTO 100X75 MM	PVC	UN	42
18	TUBO PVC DN 100 MM	PVC	M	155
19	TUBO PVC DN 75 MM	PVC	M	126

QUANTITATIVO DE MATERIAL				
DISTRIBUIÇÃO WETLAND				
NÚM	DESCRIÇÃO	MATERIAL	UND	QNT
01	CURVA 90° PVC ÁGUA FRIA SOLDÁVEL DN75	PVC SOLD	UN	12
02	TEE PVC ÁGUA FRIA SOLDÁVEL DN75	PVC SOLD	UN	06
03	REGISTRO ESFERA DN75	PVC SOLD	UN	08
04	TUBO 6 M PVC ÁGUA FRIA SOLDÁVEL DN 75 MM	PVC SOLD	BARRA	04
05	TOCO 2,0 M PVC ÁGUA FRIA SOLDÁVEL DN 75 MM	PVC SOLD	UN	08

1 PLANTA BAIXA  
ESCALA 1:75



2 VISTA LATERAL 01  
ESCALA 1:50

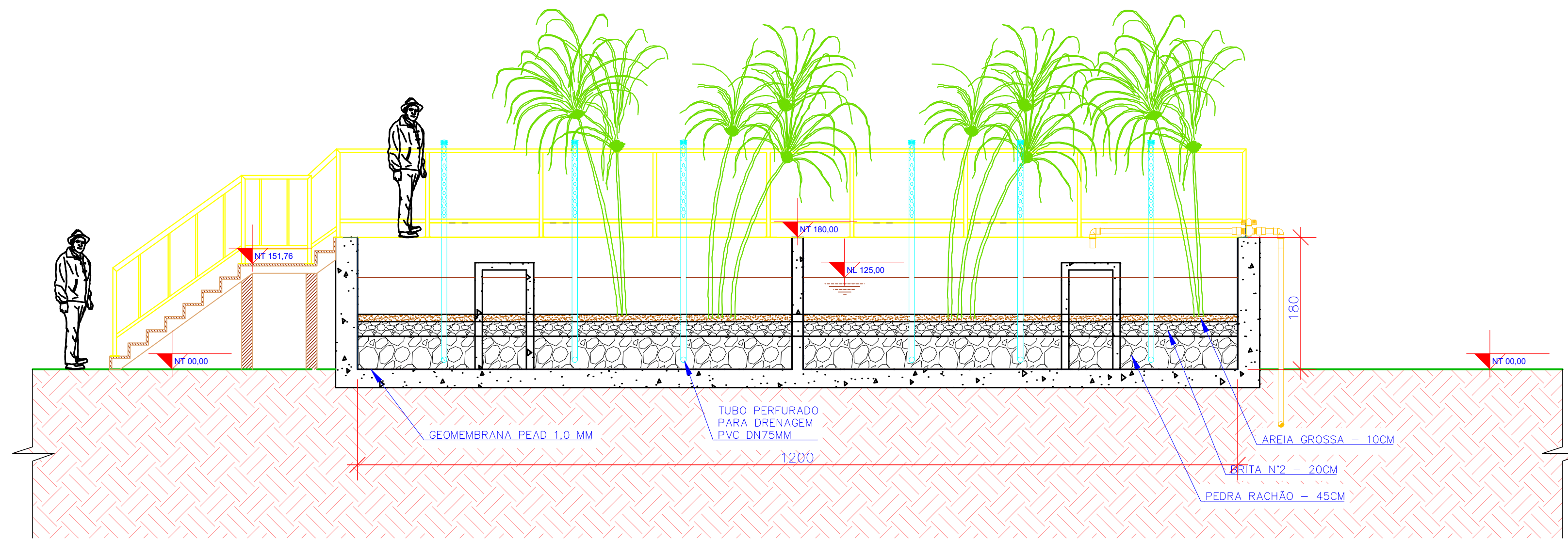


3 VISTA LATERAL 02  
ESCALA 1:75

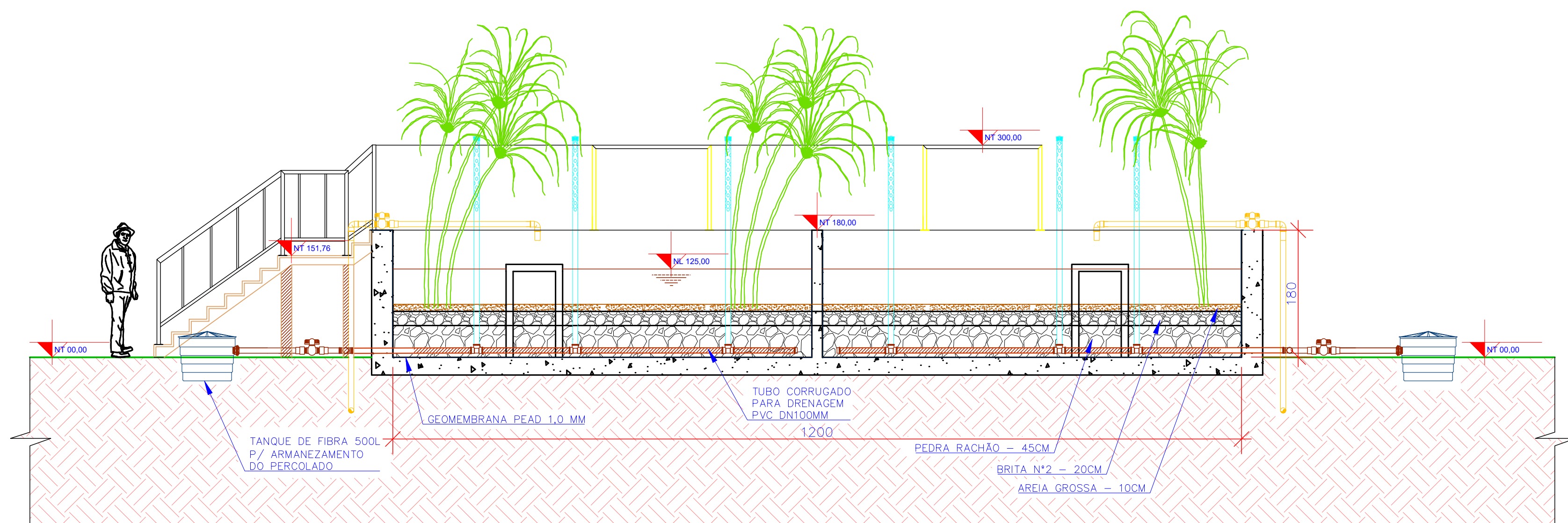
	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA	PRANCHA
	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA	
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO		1/2
PROJETO EXECUTIVO DE WETLAND CONSTRUÍDO PARA TRATAMENTO DE LODO PROVENIENTE DE CAMINHÕES LIMPA-FOSSA		
PROF. ORIENTADOR: PABLO HELENO SEZERINO		
DESENHISTA: ÁGATA BOGADO DOMINGUEZ	NOVEMBRO/2019	
PLANTA BAIXA, VISTA LATERAL E QUANTITATIVO DOS MATERIAIS	FLORIANÓPOLIS/SC	
ESC. INDICADA	NOVEMBRO/2019	
<small>Nota: Direitos autorais protegidos pela lei 5.988 de 14/12/73. Fica vedada a reprodução, alteração, cópia total ou parcial, sem autorização expressa do autor.</small>		

**APÊNDICE B – Cortes e Detalhes do Projeto.**

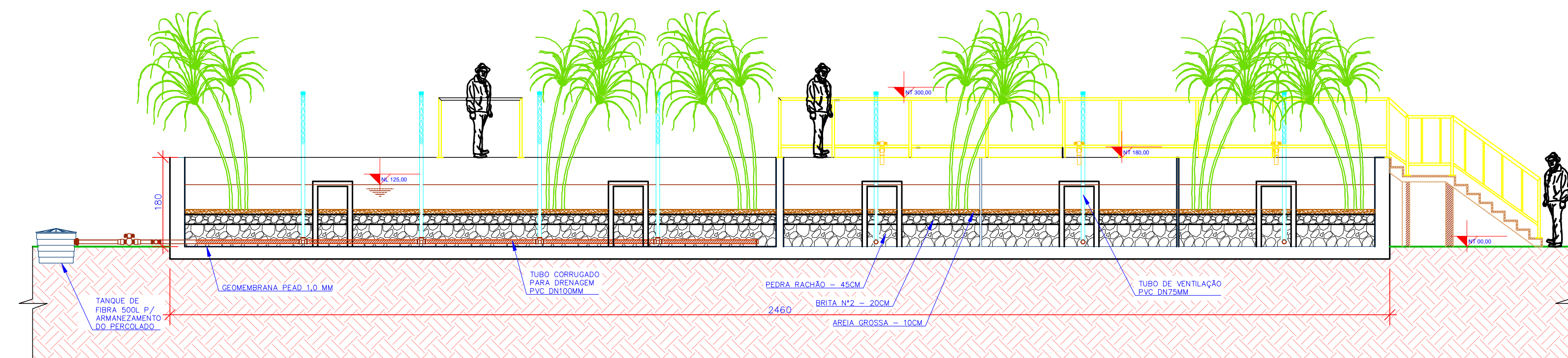




4 CORTE A-A  
ESCALA 1:50



5 CORTE B-B  
ESCALA 1:50



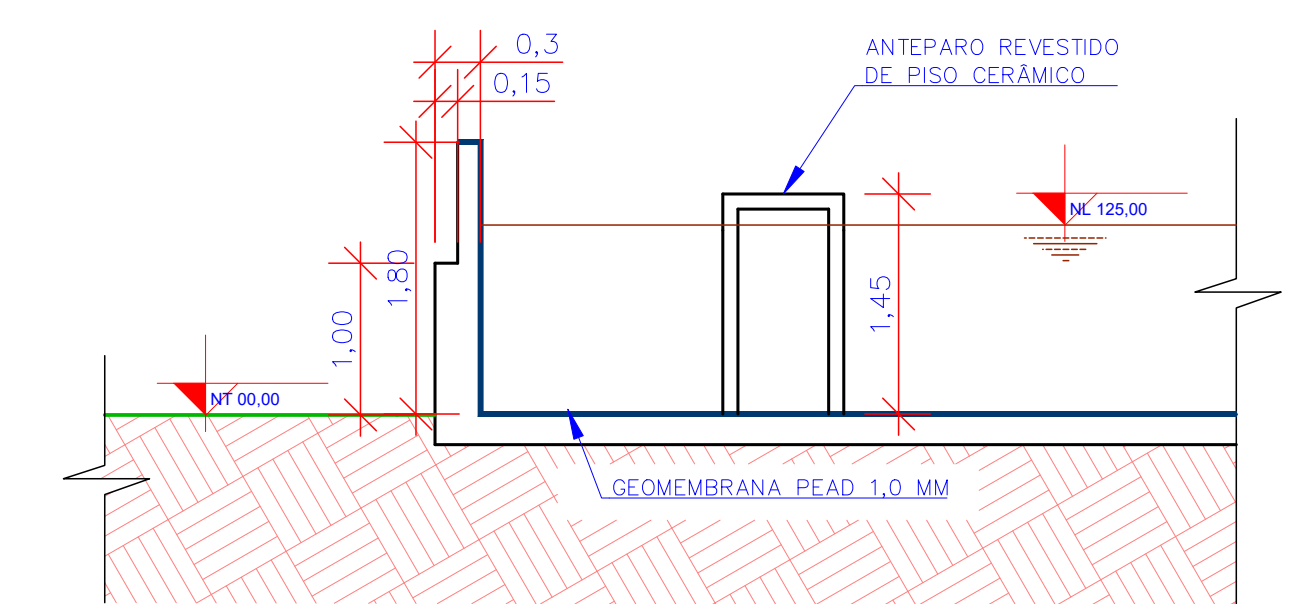
6 CORTE C-C  
ESCALA 1:75



7 DIVISÓRIAS INTERNAS EM ALVENARIA COM GEOMEMBRANA  
S/ ESCALA



8 TUBO PARA APOIO DO MANGOTE DO CAMINHÃO  
S/ ESCALA



9 MURO E REVESTIMENTO COM GEOMEMBRANA  
ESCALA 1:50

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
PROJETO EXECUTIVO DE WETLAND CONSTRUÍDO PARA  
TRATAMENTO DE LODO PROVENIENTE DE CAMINHÕES LIMPA-FOSSA

PROF. ORIENTADOR: PABLO HELENO SEZERINO

DESENHISTA: ÁGATA BOGADO DOMINGUEZ

CORTES E DETALHES

FLORIANÓPOLIS/SC

ESC. INDICADA

NOVEMBRO/2019

PRANCHA

2/2

Nota: Direitos autorais protegidos pela lei 5.988 de 14/12/73. Fica vedada a reprodução, alteração, cópia total ou parcial, sem autorização expressa do autor.