

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

PROPOSTA DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO RURAL
Leonardo da Rosa Walz

DOURADOS

2019

LEONARDO DA ROSA WALZ

PROPOSTA DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO RURAL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia,
da Universidade Federal da Grande
Dourados como requisito para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil.
Orientação: Prof^a Dr^a Lôide Angelini
Sobrinha

DOURADOS

2019

PROPOSTA DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO RURAL

Leonardo da Rosa Walz¹; Lôide Angelini Sobrinha²
Leonardo.walz@hotmail.com¹; Loidesobrinha@ufgd.edu.br²;

RESUMO - O objetivo desse trabalho foi apresentar um modelo de sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário simplificado e eficiente quanto ao tratamento, voltado para comunidades rurais. Apresentou-se o dimensionamento do sistema, sua eficiência teórica, o orçamento dos materiais e mão de obra e o plano de manutenção. O sistema escolhido foi um semicoletivo, composto por um tanque séptico seguido de uma *Wetland*. A população de projeto foi de 20 pessoas e a temperatura local de 20°C. O orçamento foi feito por meio da tabela de preços do Sistema Nacional de Custos e Índices da Construção Civil, do mês de referência 09/2019. Como resultado obteve-se um sistema que contém um tanque séptico com diâmetro de 2,5 metros e profundidade de 1,5 metros. O tratamento secundário é feito no *Wetland*, que tem 7,4 metros de comprimento e 3,7 metros de largura, o resultado do tratamento é direcionado para um reservatório de reuso de água não potável. A eficiência teórica do sistema é de 96,30% para remoção de DBO e 90,25% de remoção de sólidos suspensos. Quanto ao custo total dos materiais e da mão de obra do sistema, chegou-se ao valor de R\$ 6.419,26.

Palavras-chave: Saneamento rural. Tratamento de esgoto. *Wetland*.

ABSTRACT – The objective of this study was to present a simplified and efficient sewage collection and treatment system for rural communities. It was presented the dimensioning of the system, its theoretical efficiency, the budget of materials and labor and the maintenance plan. The system chosen was a semicollective system, composed of a septic tank followed by a *Wetland*. The project population was 20 people and the local temperature was 20°C. The budget was made through the National System of Prices and Indexes, list for the reference month 09/2019. As a result, a system containing a septic tank with a diameter of 2.5 meters and depth of 1.5 meters was obtained. The secondary treatment is done in *Wetland*, which is 7.4 meters long and 3.7 meters wide, the result of the treatment is directed to a non-potable water reuse reservoir. The theoretical efficiency of the system is 96.30% for BOD removal and 90.25% for suspended solids removal. The total cost of materials and labor of the system was R\$ 6,419.26.

Keywords: Rural sanitation. Sewage treatment. *Wetland*.

1 INTRODUÇÃO

A deficiência no sistema de saneamento básico está diretamente ligada com as condições de vida das populações, o desenvolvimento de uma região e a veiculação de doenças (VIALI *et al*, 2014).

Antes de tratar do saneamento rural, deve-se caracterizar a população que reside em ambientes rurais, que em maioria é constituída por uma população que vive da agricultura familiar, agricultura de subsistência e por populações tradicionais, como, indígenas, quilombolas, ribeirinhos, entre outros povos. Demonstrando que há uma relação direta da população com o espaço e o meio ambiente em que habitam, realizando atividades de subsistência, culturais e relações sociais (TEIXEIRA, 2013).

O conceito clássico do saneamento ambiental é apresentado pela Organização Mundial da Saúde (2018) definido como “[...] o gerenciamento ou controle dos fatores físicos que podem exercer efeitos nocivos ao homem, prejudicando seu bem-estar físico, mental e social”. Outro conceito apresentado pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2018), entidade do Governo Federal responsável pelo apoio técnico e financeiro aos Estados e Municípios na implantação de ações de saneamento ambiental, define saneamento como um conjunto de ações sociais e econômicas, que tem como objetivo alcançar níveis de salubridade ambiental.

Dentro da área do saneamento básico, define-se esgoto sanitário como águas provenientes de sistemas de abastecimento de água que após terem suas características físicas, químicas e biológicas modificadas por atividades domésticas, industriais e comerciais são recolhidas pela rede de esgotamento que as conduz para o destino apropriado (MENDONÇA e MENDONÇA, 2018).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2017) cerca de 52% da população urbana brasileira tem acesso a rede coletora de esgoto. Na área rural, de acordo com a FUNASA (2017), apenas 17,10% da população tem esgotamento sanitário adequado. A diferença na cobertura da rede de esgotamento urbana e rural é necessária, pois devido ao número inferior de residências e habitantes, inviabiliza-se um sistema de tratamento ligado a uma rede pública coletora (SANTOS, 2011).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014), as soluções individuais mais utilizadas em ambientes rurais não são ligados à rede coletora pública e caracterizam-se por tanques sépticos, sumidouros, valas de infiltração, filtros anaeróbicos e as fossas rudimentares, sendo o último mais danoso ao meio ambiente, pois o esgoto infiltra no solo podendo atingir o lençol freático, aquíferos, e principalmente afetando a

qualidade da água de poços artesianos, que é um meio de obtenção de água para consumo humano muito utilizado em áreas rurais (SANTOS, 2011).

Visto que grande parte dos ambientes rurais não contam com redes de esgotamento sanitário, esse trabalho visou apresentar um modelo de sistema simplificado de coleta e tratamento de esgoto, eficiente quanto ao tratamento e voltado para comunidades rurais. Além da concepção do sistema, foram apresentados: o método de dimensionamento, o orçamento para implantação do sistema, o plano de manutenção e a análise da eficiência teórica do tratamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 COMPOSIÇÃO DO ESGOTO

O esgoto é constituído em sua maioria por água, cerca de 99,93%, e o restante divide-se em sólidos orgânicos (proteínas, carboidratos e gorduras) e inorgânicos (minerais, sais e metais) (MENDONÇA e MENDONÇA, 2018).

Apesar de constituir apenas 0,07% do esgoto, a parte sólida é a principal causadora dos problemas relacionados à saúde pública e ao ambiente (solo e recursos hídricos), o objetivo do tratamento é eliminar essa parcela sólida que contém bactérias, vírus e outros agentes patológicos (VON SPERLING, 2016).

2.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA

As características das águas residuárias dividem-se em:

Características físicas: São associadas em grande parte pelos sólidos presentes na água. Em função de sua granulometria são divididos em sólidos suspensos, coloidais ou dissolvidos. As características físicas da água são mais percebidas na etapa de consumo da mesma, algumas não tem valor sanitário, essas características são a temperatura, cor, odor e turbidez (VON SPERLING, 2016).

Cada característica atua como um indicador, por exemplo, o aumento da temperatura da água provoca o aumento das reações químicas, diminuindo também sua solubilidade. A cor indica a presença de poluentes dissolvidos, já o odor é relativo ao desconforto olfativo, por fim, a turbidez indica a quantidade de sólidos em suspensão (VON SPERLING, 2016).

Características químicas: São representadas pela matéria orgânica ou inorgânica. As características químicas compreendem uma importante etapa no tratamento, algumas das características químicas da água são nitrogênio, matéria orgânica, pH, alcalinidade e sólidos totais. Dois importantes parâmetros são as demandas orgânicas, que dividem-se em DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), que é a quantidade de oxigênio usada por

uma população mista de microrganismos durante a oxidação aeróbia da matéria orgânica, e DQO (Demanda Química de Oxigênio), que é a quantidade de oxigênio usada por uma população mista de microrganismos durante a oxidação aeróbia da matéria orgânica, determinando se o esgoto é biodegradável, e a carga de sólidos suspensos, que são as partículas que se mentem em suspensão devido ao movimento da água (VON SPERLING, 2016).

Características biológicas: São os seres presentes na água, vivos ou mortos, que interferem na composição da mesma, sendo estes, bactérias, vírus, fungos, protozoários e helmintos (VON SPERLING, 2016).

2.3 TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

O tratamento de esgoto consiste em processos químicos, físicos e biológicos para eliminar os contaminantes presentes no efluente. O objetivo do tratamento é de adequar o efluente aos padrões estabelecidos por portarias que definem os padrões de lançamento de efluentes em corpos de água e a destinação do lodo resultante de forma correta ou seu aproveitamento (VON SPERLING, 2016). O tratamento de esgoto é dividido em 4 níveis principais, como demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Níveis do tratamento de Esgoto

| Tratamento | Tipo de Poluente a ser removido |
|------------|--|
| Preliminar | Sólidos em suspensão grosseiros (matérias de maiores dimensões e areia). |
| Primário | Sólidos em suspensão de menores dimensões. |
| Secundário | DBO em suspensão (matéria orgânica em suspensão fina) e DQO solúvel (sólidos dissolvidos). |
| Terciário | Compostos químicos não biodegradáveis, tóxicos ou poluentes. |

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2016)

Quanto aos sistemas de tratamento existentes, dividem-se em centralizados, que são constituídos de estações de tratamento de esgoto e uma longa rede coletora, utilizando, por exemplo, lagoas de estabilização, filtros biológicos, reatores e logos ativados. Já os sistemas descentralizados, são os que a coleta, tratamento e disposição são realizadas próximas ao local onde o esgoto é gerado, utilizam-se, por exemplo, o tanque séptico e o tanque de evapotranspiração (REIS, 2018). Os sistemas descentralizados são recomendados para locais de baixa densidade populacional, comunidades de baixa renda, locais onde a capacidade de tratamento de esgoto seja inviável economicamente (VIANNA *et al*, 2019).

2.4 SISTEMAS DE TRATAMENTO DESCENTRALIZADOS

2.4.1 Tanque séptico

O tanque séptico é um sistema de tratamento descentralizado, que pode ter forma cilíndrica, retangular ou prismática de fluxo horizontal, sendo sua construção em anéis pré-moldados ou moldado *in loco*. Seu funcionamento consiste na decantação de sólidos sedimentáveis que se incorporam ao lodo, que por sua vez, sofre um processo de decomposição anaeróbia diminuindo o volume (VIANNA *et al*, 2019; OLIVEIRA, 2004). A eficiência de remoção de DBO varia de 35 a 50%, o sistema possui um baixo custo de implantação e manutenção e, é utilizado como tratamento primário, sendo necessário um sistema complementar (TONETTI *et al*, 2018).

2.4.2 Sistemas Alagados Construídos (SAC) - *Wetland*

Consistem em unidades de tratamento para águas cinzas ou para esgoto doméstico previamente tratado. Os SAC, também conhecidos como *Wetland*, são compostos por valas com paredes e fundo impermeabilizados, permitindo seu alagamento com o esgoto a ser tratado. A remoção dos poluentes é feita por plantas aquáticas, denominadas macrófitas, que degradam a matéria orgânica. Em seu interior há material particulado, por exemplo, areia, brita ou seixo rolado, que funciona como suporte para o crescimento das plantas e microrganismos (TONETTI *et al*, 2018).

O funcionamento consiste, primeiramente por um tratamento primário, onde são removidos os sólidos sedimentáveis (LEMES *et al.*, 2008), e posterior tratamento com a entrada do efluente na primeira zona, composta sequencialmente por uma camada de brita, uma camada de areia e raízes de vegetações e, por fim, outra de brita. Nessa rota há uma percolação lenta que filtra, retendo o conteúdo sólido da água, sendo que todo esse processo pode ser feito por percolação horizontal ou vertical (SEZERINO *et al*, 2015).

Os *Wetlands* são caracterizados por uma elevada acumulação de matéria orgânica e uma taxa de decomposição reduzida, devido às condições anaeróbias; são utilizados como tratamento secundário e terciário. A eficiência do sistema chega a ser superior a 90%, a manutenção está principalmente na poda das macrófitas, que por conta da rapidez de crescimento deve ser podada frequentemente (TONETTI *et al*, 2018).

No tratamento de esgoto doméstico (águas de vaso sanitário + águas cinzas), o *Wetland* é uma unidade complementar, portanto deve-se instalar um tratamento preliminar, que pode ser um tanque séptico ou um tanque biodigestor. Caso contrário, o sistema fica suscetível a entupimentos, o que implicaria na necessidade de remoção total do material filtrante e sua substituição por material limpo (TONETTI *et al*, 2018).

3 METODOLOGIA

O efluente a ser tratado é esgoto doméstico, para isso, utilizou-se um sistema que é caracterizado por um tratamento primário composto de um tanque séptico com três câmaras, que tem uma eficiência teórica de 35% de remoção de DBO, seguido do tratamento secundário feito por um *Wetland*, que conta com eficiência teórica superior a 90%. Todo o esgoto proveniente das residências será conduzido primeiramente para o tanque séptico, após esse tratamento primário seguirá para o *Wetland*.

Como concepção, trata-se de um sistema semicoletivo, que são aqueles que fazem o tratamento de um pequeno agrupamento de casas ou espaços destinados aos comércios ou prestação de serviços. O sistema foi dimensionado para uma população de 20 pessoas, esse valor foi determinado pela Agência dos Estados Unidos de Proteção Ambiental (USEPA, 2002), que fixa em 20 pessoas o número máximo de contribuintes de sistemas não convencionais. Utilizou-se a temperatura média do mês mais frio encontrada nos estados do Brasil, que é de 20°C (INMET, 2018).

3.1 Dimensionamento

O dimensionamento do sistema foi realizado da seguinte forma:

3.1.1 Tanque Séptico: Dimensionado de acordo com a NBR 13.969/1997, em conjunto com considerações determinadas pela NBR 7.229 (ABNT, 1993).

Para volumes inferiores a 10 m³, a NBR 7.229 recomenda que a profundidade do tanque deve ser de 1,5 m a 2,5 metros (ABNT, 1993). Para fins de facilidade de manutenção, limitou-se a profundidade do tanque séptico em 1,5 m. Para melhor aproveitamento de área construída, utilizou-se um tanque de seção circular.

Da NBR 7.229 (ABNT, 1993) utilizou-se os dados apresentados no Quadro 2:

Quadro 2 – Parâmetros adotados para o dimensionamento do tanque séptico

| Característica | Sigla | Valor considerado | Unidade |
|---|-------|-------------------|--------------|
| Contribuição diária de esgoto ¹ | C | 100 | L/pessoa.dia |
| Lodo fresco ¹ | Lf | 1 | L/pessoa.dia |
| Período de detenção dos despejos ² | PD | 22 | Horas |
| Taxa acumulação de lodo ³ | K | 217 | Dias |
| DBO típica ⁴ | DBO | 300 | mg/L |
| SS Típico ⁴ | SS | 400 | mg/L |

Fonte: Adaptado de NBR 7.229 (ABNT, 1993).

¹ - Considerando ocupação permanente e residência de padrão baixo.

² - Contribuição diária de 1501 a 3000 L.

³ - Considerando um período entre limpeza de 5 anos e temperatura de 20°C.

⁴ – Concentração típica de DBO e SS em esgotos domésticos.

3.1.2 Wetland: Para o dimensionamento do sistema alagado, foram utilizados os conceitos apresentados por Von Sperling e Sezerino (2018), identificou-se que os dois métodos mais empregados para o dimensionamento são o da degradação da matéria orgânica e o que relaciona a área de filtro por número de habitantes. Utilizou-se o *Wetland* de fluxo horizontal por ter menores custos operacionais e dimensionamento mais simples (SEZERINO *et al*, 2004).

O esquema de dimensionamento utilizado é o método simplificado, com o objetivo de remoção da matéria orgânica.

Antes de aplicar o método simplificado, calcula-se a vazão média, que é a vazão de projeto, determinada pela Equação 1.

$$Q_m = \frac{P \cdot C \cdot R}{86400} \quad \text{Equação 1}$$

Em que: Q_m é a vazão média (m^3/dia); P é a população de projeto; C é a contribuição diária de esgoto ($g/hab.dia$); R é o coeficiente de retorno;

Após isso, calculam-se as cargas de DBO de entrada do sistema, para isso utilizam-se as Equações 2 e 3.

$$CEB \left(\frac{g}{dia} \right) = Q_m \cdot C \quad \text{Equação 2}$$

Em que: CEB é a carga de esgoto bruto (g/dia); Q_m é a vazão média (m^3/dia); C é a concentração ($g/hab \cdot dia$).

$$CAW \left(\frac{g}{dia} \right) = CEB \cdot \left[1 - \left(\frac{ETP}{100} \right) \right] \quad \text{Equação 3}$$

Em que: CAW é a carga de DBO afluente à etapa de *Wetland* (g/dia); CEB é a carga de esgoto bruto (g/dia); ETP é a eficiência do tratamento primário (%).

Tendo a carga de DBO afluente ao *Wetland* calcula-se a área superficial requerida, utilizando a Equação 4.

$$A (m^2) = CAW / TAOS \quad \text{Equação 4}$$

Em que: A é a área mínima requerida (m^2); CAW é a carga de DBO afluente à etapa de *Wetland* (g/dia); $TAOS$ é a taxa aplicação orgânica superficial ($g_{DBO}/(m^2.dia)$).

Encontrada a área mínima, determina-se a taxa de aplicação hidráulica superficial resultante; esse parâmetro é indicador para o uso da área, caso a taxa esteja dentro de valores de 0,02 e 0,08 a área requerida poderá ser considerada como a área superficial adotada. Caso a taxa de aplicação hidráulica esteja acima de valores típicos da faixa usual, a área superficial poderá ser aumentada, de forma a que a taxa de aplicação hidráulica seja reduzida e se torne adequada. Para isso utiliza-se a Equação 5.

$$TAHSR \left(\frac{m^3}{m^2.dia} \right) = \frac{Q_{média}}{A} \quad \text{Equação 5}$$

Em que: TAHSR é a taxa de aplicação hidráulica superficial resultante ($m^3/(m^2 \cdot dia)$); Q_m é a vazão média (m^3); A é a área (m^2).

Encontrado os parâmetros sanitários, determina-se o comprimento e a largura das unidades, sendo que a relação entre comprimento e a largura deve ser 2:1.

Com as dimensões, encontra-se o volume útil do líquido utilizando a Equação 6.

$$V_u (m^3) = c \cdot l \cdot PU \cdot p \quad \text{Equação 6}$$

Em que: V_u é o volume útil (m^3); c é o comprimento da camada do meio filtrante (m); l é a largura da camada (m); PU é a profundidade útil (m); p é a porosidade do material filtrante.

Tendo o volume útil, determina-se com a Equação 7 o tempo de detenção hidráulico.

$$TDH \text{ (dias)} = \frac{V_u}{Q_m} \quad \text{Equação 7}$$

Em que: TDH é o tempo de detenção hidráulico (dias); V_u é o volume útil (m^3); Q_m é a vazão média (m^3/dia).

Por fim, calculou-se a eficiência do tratamento na *Wetland*, com a Equação 8.

$$E = S_0 / (1 + KT \cdot t) \quad \text{Equação 8}$$

Em que: E é a eficiência (mg/L); S_0 é a concentração de DBO efluente (mg/L); KT a taxa de acumulação de lodo ($dias^{-1}$); t é o tempo de detenção hidráulica (dias).

No Quadro 3 estão as considerações de cálculo utilizadas no dimensionamento.

Quadro 3 – Parâmetros adotados para o dimensionamento do sistema

| Termo | Definição | Valor adotado |
|------------------|---|-----------------|
| P | População Atendida | 20 pessoas |
| C | Contribuição diária de esgoto | 100 g/(hab.dia) |
| R ⁵ | Coeficiente de retorno | 40 % |
| ETP ⁶ | Eficiência de remoção do tratamento prévio (DBO e SS) | 35 % |
| PU ⁷ | Profundidade útil | 1,0 m |
| PR ⁸ | Porosidade | 0,7 m/m |
| PF | Altura do leito filtrante | 0,8 m |

Fonte: Adaptado de Von Sperling e Sezerino, (2018).

⁵ – Von Sperling (2016), recomenda para pequenas comunidades um coeficiente de retorno de 40%, por conta da baixa contribuição de esgoto.

⁶ – Eficiência de tratamento de Tanques sépticos entre 30 e 35 % (SEZERINO, 2018)

⁷ – A profundidade deve do meio filtrante deve ter entre 0,4 e 0,8 cm.

⁸ – A porosidade adotada é encontrada em função do material do meio filtrante.

Elementos construtivos

O meio filtrante será composto de camadas horizontais, dispostas da seguinte forma: a primeira de brita nº4, a segunda camada com brita nº1, e a camada final novamente de brita nº4. A brita nº1 servirá de suporte para a fixação das plantas aquáticas, denominadas macrófitas.

É prevista a utilização de materiais e métodos que garantam a impermeabilização do fundo e das paredes, e a resistência mecânica e aos impactos da radiação solar (em locais expostos). Para isso, utilizou-se geomembranas (camadas de lona plástica), com espessura mínima de 1,0 mm.

A macrófita escolhida leva em conta a distribuição geográfica da mesma, sua distribuição é importante para que o projeto possa ser feito em qualquer estado brasileiro, outro fator levado em consideração foi a estética da planta, considerando que as plantas devem ser ornamentais, podendo ou não ter flores, para que torne o ambiente mais agradável aos moradores. No Quadro 4, estão indicadas as espécies mais utilizadas de acordo com Von Sperling e Sezerino (2018), ao lado a distribuição geográfica nos estados brasileiros.

Quadro 4 - Distribuição das espécies de macrófitas

| Espécie | Encontrada em quantos estados do Brasil? |
|-------------------------------|--|
| <i>Typha domingensis</i> | 25 |
| <i>Juncus spp</i> | 10 |
| <i>Eleocharis spp</i> | 27 |
| <i>Alternanthera aquática</i> | 11 |
| <i>Canna generalis</i> | 24 |
| <i>Salvinia Ség.</i> | 26 |
| <i>Nymphoides sp</i> | 15 |
| <i>Egeria densa</i> | 17 |
| <i>Mayaca sp</i> | 23 |
| <i>Utricularia sp</i> | 11 |
| <i>Pistia stratiotes</i> | 23 |
| <i>Eichhornia sp</i> | 26 |

Fonte: Re flora, (2019).

Nesse trabalho utilizou-se a macrófita *Typha Domingensis* (taboa), por conta da adaptabilidade a diferentes ambientes e temperaturas, além de ser obtida facilmente (SEZERINO *et al*, 2004). Outro fator levado em consideração é o seu baixo custo e alta eficiência na remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio, Fósforo e coliformes fecais, que são utilizados como nutrientes, sendo absorvidos pelas raízes das macrófitas para formação de sua biomassa (NAIME, 2005). Quanto à manutenção, de acordo com Sezerino *et al* (2004), a principal atividade a ser desenvolvida é a poda dessas

macrófitas, que deve ser realizada em intervalos mensais para que não haja problemas com excesso de vegetação e não tenha propagação de vetores.

O orçamento de materiais e mão de obra foi realizado por meio da tabela de preços do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) da Caixa Econômica Federal, com a base de dados do mês de setembro de 2019 do estado do Mato Grosso do Sul (CAIXA, 2019). Para a precificação da mão de obra utilizou-se o BDI (Benefícios e Despesas Indiretas) de 30%.

3.1.3 Disposição final

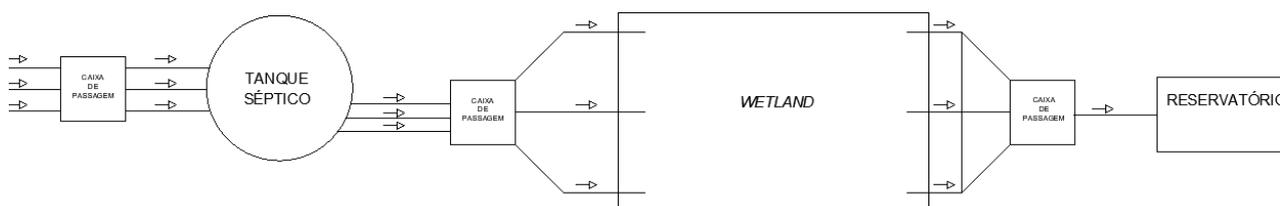
Após o tratamento do efluente, o mesmo será disposto em um reservatório para reuso em atividades que não envolvam o consumo humano, como irrigação de plantações, entre outros. O dimensionamento do reservatório foi feito de acordo com o volume do *Wetland*. Caso ocorra o extravasamento do reservatório, o efluente seguirá por uma tubulação até uma vala de infiltração, que foi dimensionada com as recomendações da NBR 7.229 (ABNT, 1993).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Concepção do sistema

A concepção do sistema de tratamento seguirá o desenho esquemático da Figura 1. Em que o esgoto proveniente das residências passará por uma caixa de passagem até chegar no tanque séptico. Após isso, o líquido efluente seguirá para o *Wetland* e irá para um reservatório para reuso.

Figura 1 - Croqui do sistema



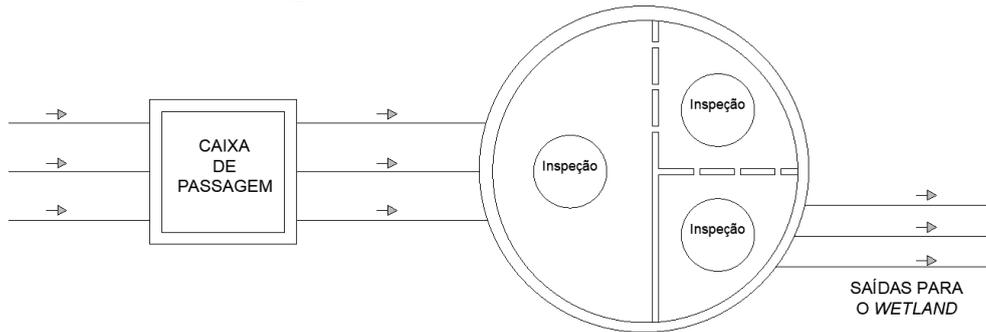
Fonte: Autor, (2019)

4.2 Dimensionamento Tanque Séptico

4.2.1 Configuração do sistema

O tanque séptico será de três câmaras, sendo que em cada uma terá uma caixa para inspeção e manutenção, como visto na Figura 2.

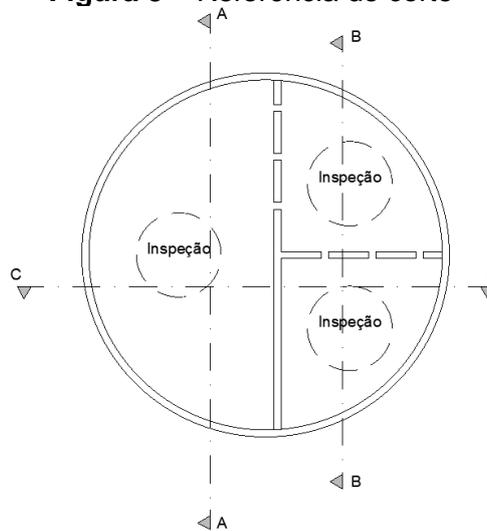
Figura 2 - Tanque séptico em planta



Fonte: Autor, (2019).

Na Figura 3 são indicadas as referências de corte do projeto do tanque séptico.

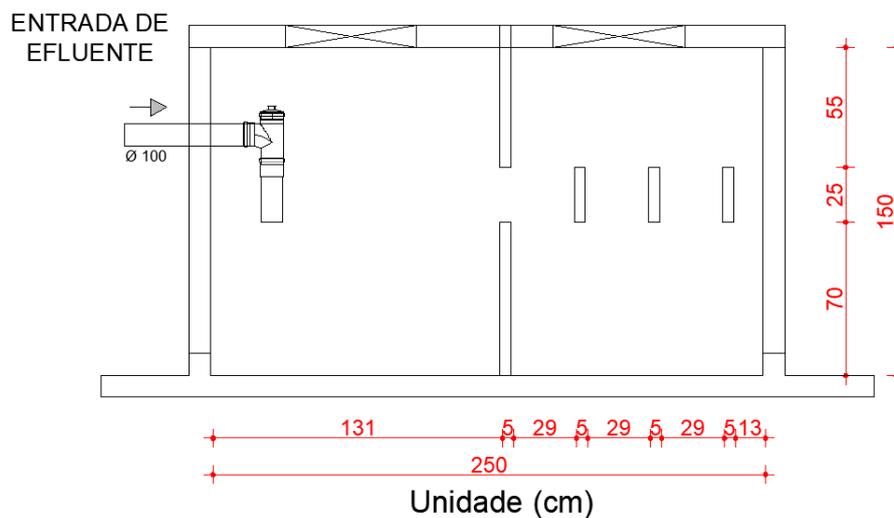
Figura 3 – Referência de corte



Fonte: Autor, (2019).

A laje de fundo deverá garantir a estanqueidade do tanque séptico, impedindo que o efluente infiltre para o solo, como pode ser visto na Figura 4.

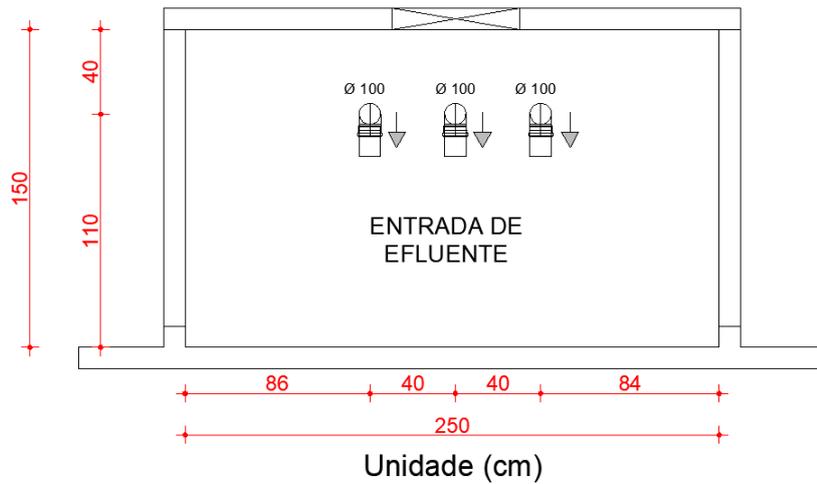
Figura 4 – Corte A-A



Fonte: Autor, (2019).

A entrada do efluente no tanque séptico está indicada na Figura 5.

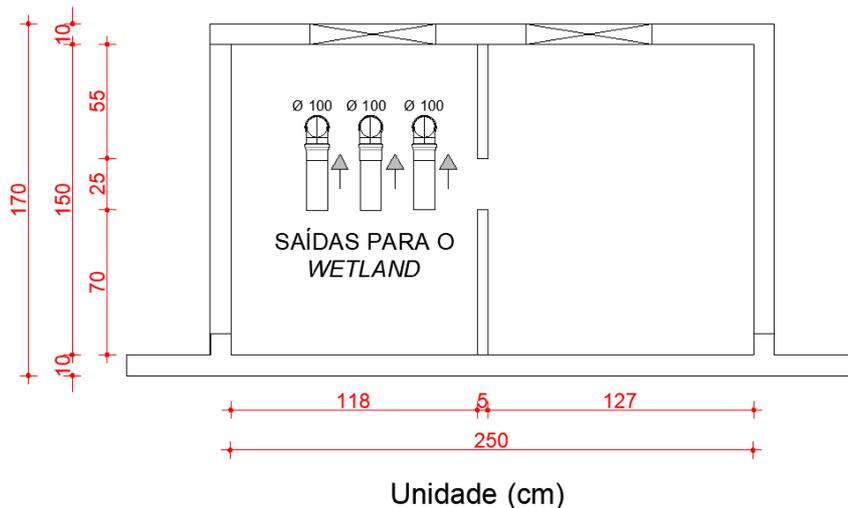
Figura 5 – Corte B-B



Fonte: Autor, (2019).

A saída para a *Wetland* está indicada na Figura 6.

Figura 6 – Corte C-C



Fonte: Autor, (2019).

4.2.2 Dimensionamento

O volume útil total do tanque séptico é de 7.180 litros.

4.2.2.1 Dimensões

Optando-se por um tanque séptico de seção circular, tem-se as seguintes características:

Profundidade: 1,5 metros

Diâmetro: 2,5 metros

Volume calculado: 7.360 litros

O volume calculado é superior ao volume útil, logo o tanque séptico funcionará corretamente, tendo uma utilização de 102% do sistema.

4.2.2.2 Processo Construtivo

A estrutura será pré-fabricada com anéis de concreto, disponíveis no mercado, com 0,5 metros de altura e 2,5 metros de diâmetro. Logo, são necessários 3 anéis de concreto.

A laje de fundo será executada após a escavação e antes do posicionamento dos anéis. As laterais e o fundo deverão ser impermeabilizados. Antes da execução deverá ser feito um teste de estanqueidade para verificar a ocorrência de infiltrações e vazamentos.

4.2.2.3 Eficiência do tratamento:

A eficiência teórica do sistema será a seguinte:

Remoção de DBO – Eficiência de 35%:

DBO de entrada = 300 mg/L

DBO de saída = 195 mg/L

Remoção de SS – Eficiência de 35%:

Concentração de Sólidos Suspensos típica = 400 mg/L

Sólidos Suspensos de saída = 260 mg/L

4.3 Dimensionamento *Wetland*

4.3.1 Parâmetros de carga orgânica (DBO)

Os primeiros parâmetros a serem determinados são relativos a vazão de projeto e as cargas de DBO que chegarão ao *Wetland*, esse pré-dimensionamento está indicado na Tabela 1.

Tabela 1 - Pré-dimensionamento *Wetland*

| Parâmetro | Resultado | Unidade | Equação Utilizada |
|--|-----------|---------------------------------------|-------------------|
| Vazão | 0,80 | m ³ /h | 1 |
| Carga de DBO do esgoto bruto | 240,00 | g/dia | 2 |
| Carga de DBO afluente | 156,00 | g/dia | 3 |
| Área superficial requerida | 26,00 | m ² | 4 |
| Taxa de aplicação hidráulica superficial | 0,031 | m ³ /(m ² .dia) | 5 |

Fonte: Autor, (2019).

4.3.2 Parâmetros geométricos

Indicados os parâmetros de carga orgânica fez-se o pré-dimensionamento do sistema *wetland*, indicando suas dimensões.

Adotando a largura de 3,7 metros, tem-se o comprimento igual a 7,4 metros. Tendo uma área construída igual a 27,4 m². Para o funcionamento do sistema a área construída

deve ser igual ou maior a área requerida de 26,0 m², logo a área construída é superior, tendo um aproveitamento de 105%. A profundidade adotada foi de 0,8 metros.

Tendo as dimensões lineares calculou-se o volume, de acordo com a Equação 8:

$$\text{Volume útil} = 15,33 \text{ m}^3$$

Para a determinação do tempo de detenção hidráulico utilizou-se a Equação 9:

$$\text{TDH} = 19,2 \text{ dias}$$

4.3.3 Parâmetros construtivos

As camadas horizontais do sistema estão especificadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Materiais utilizados e parâmetros de construtivos

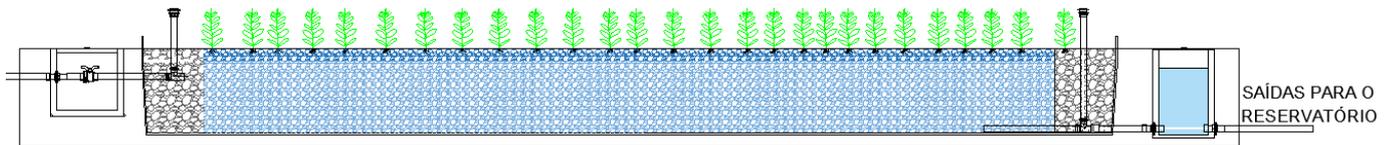
| Parâmetro | Camada de Entrada | Leito Filtrante | Camada de Saída |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| Material | Brita n°4 | Brita n°1 | Brita n°4 |
| Comprimento (cm) | 50 | 500 | 50 |
| Altura (cm) | 70 | 70 | 70 |
| Largura (cm) | 300 | 300 | 300 |
| Volume de material (m ³) | 1,05 | 10,50 | 1,05 |

Fonte: Autor, (2019).

4.3.4 Configuração do sistema

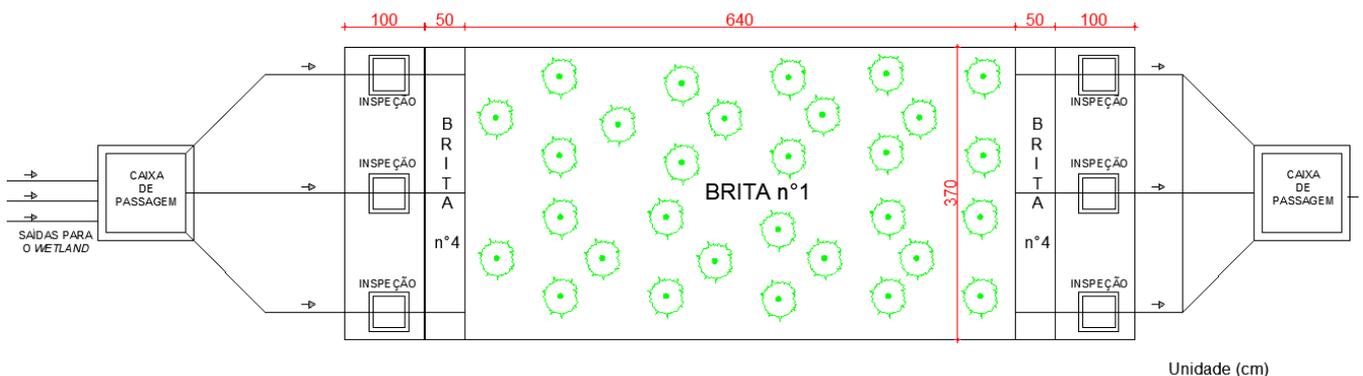
A configuração do sistema está indicada nas Figuras 7 e 8.

Figura 7 - Wetland em corte



Fonte: Autor, (2019).

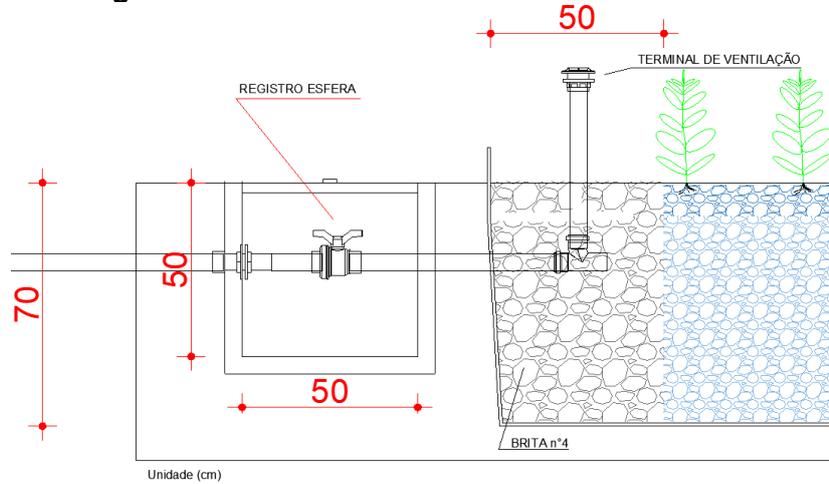
Figura 8 - Wetland em planta



Fonte: Autor, (2019).

Na Figura 9 é indicada a entrada do sistema, que contará com um registro para controle de vazão de entrada, e também é vista a camada de 50 cm de brita n°4, a tubulação em contato com a brita será envolvida em um material geotêxtil para proteção.

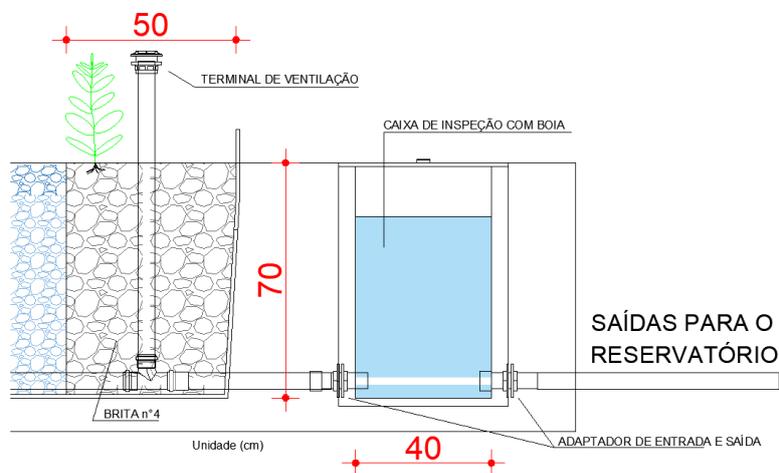
Figura 9 - Detalhe da entrada e da saída do sistema



Fonte: Autor, (2019).

Na Figura 10 é indicada a saída do sistema, que contará com um terminal de ventilação para os gases, novamente a tubulação será envolvida com material geotêxtil, na saída terá uma caixa de inspeção de nível com uma boia para que não extravase o sistema. O registro controlará a vazão que irá para o reservatório.

Figura 10 - Detalhe da entrada e da saída do sistema



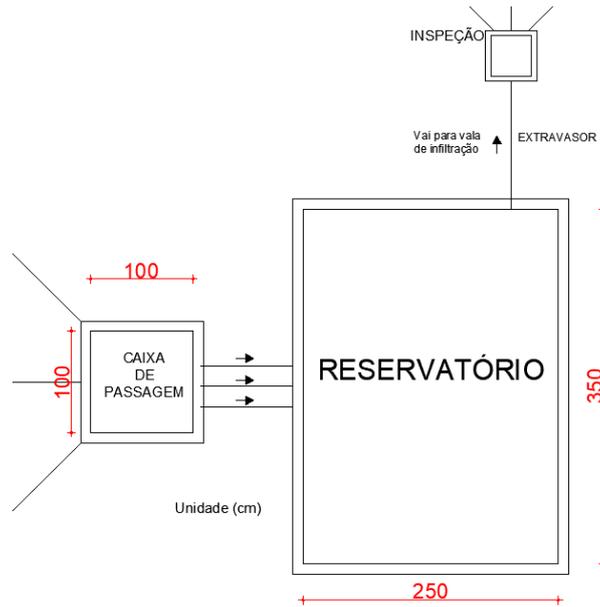
Fonte: Autor, (2019).

Em todas as entradas e saídas de tubulação será instalado um adaptador soldável com flange, para evitar vazamentos e infiltrações. Todas as tubulações serão de PVC.

4.3.5 Disposição final do efluente

Para o dimensionamento do reservatório de água tratada utilizou-se o volume de 15,33 m³ de efluente, que corresponde ao volume do *Wetland*, as dimensões em planta do reservatório estão indicadas na Figura 11.

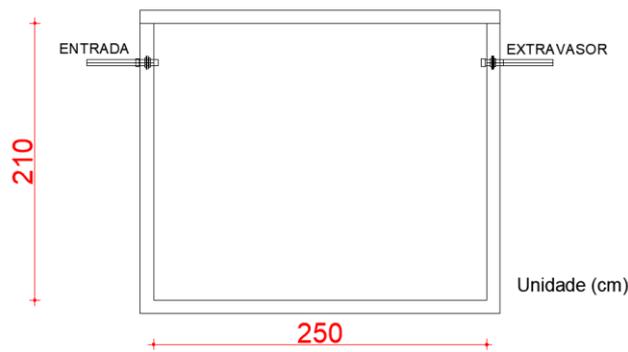
Figura 11 – Planta baixa do reservatório



Fonte: Autor, (2019).

Na Figura 12 demonstra-se a entrada do reservatório e o extravasor.

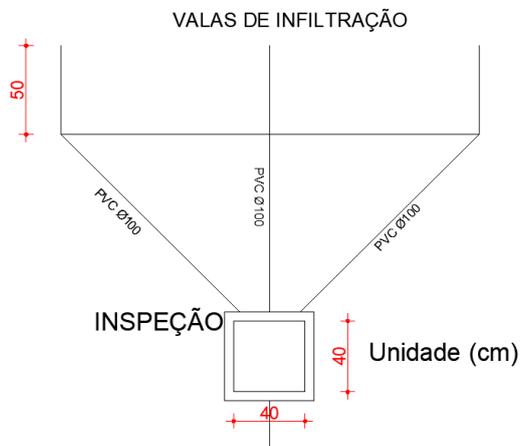
Figura 12 – Vista em corte do reservatório



Fonte: Autor, (2019).

São previstas valas de infiltração no solo, como indicado na Figura 13.

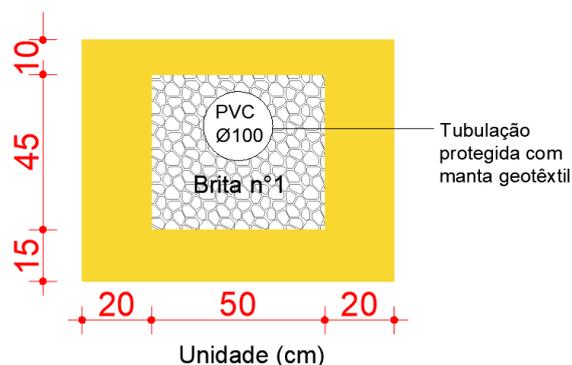
Figura 13 – Valas de infiltração em planta



Fonte: Autor, (2019).

Na Figura 14 é indicada a vista em corte da vala de infiltração.

Figura 14 – Vista em corte do reservatório



Fonte: Autor, (2019).

4.3 Orçamento

4.3.1 Materiais e mão de obra

Utilizando como referência a tabela de preços SINAPI 09/2019, tem-se os seguintes custos com materiais e mão de obra, descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Orçamento do sistema

| Item | Código | Descrição | Und | Quant. | Valor Unit. 35% BDI | Total |
|----------|-----------|---|----------------|--------|------------------------|-----------------|
| 0 | | Serviços Preliminares | | | | 1.452,51 |
| 0.1 | 73992/001 | Locação de Obra | m ² | 75 | 11,32 | 849,00 |
| 0.2 | 83446 | Caixa de passagem 30x30x40 com tampa | UN | 3 | 201,17 | 603,51 |
| 1 | | Tanque Séptico | | | | 3.009,00 |
| 1.1 | 00003520 | Joelho PVC, Esgoto soldável, 90 graus, Ø100 mm | UN | 2 | 6,64 | 13,28 |
| 1.2 | 00003528 | Joelho PVC, Esgoto soldável, 45 graus, Ø100 mm | UN | 2 | 6,60 | 13,20 |
| 1.3 | 00003899 | Luva simples, PVC, Esgoto soldável, Ø100 mm | UN | 10 | 5,07 | 50,70 |
| 1.4 | 00007091 | Tê simples, PVC, Esgoto, Ø100x100 mm | UN | 1 | 12,76 | 12,76 |
| 1.5 | 2336 | Tubo PVC Rígido p/ esgoto Ø 100 mm | m | 6 | 11,05 | 66,30 |
| 1.9 | 00012567 | Anel de Concreto Armado Ø2,5 m, H0,5 m | UN | 3 | 749,87 | 2.249,61 |
| 1.10 | 94971 | Concreto fck 25 MPa – Preparo mecânico | m ³ | 1 | 389,03 | 389,03 |
| 1.11 | 74106/001 | Impermeabilização com tinta asfáltica | m ² | 5 | 11,93 | 59,65 |
| 1.12 | 00013255 | Tampa de concreto 60x60x5 cm | UN | 3 | 51,49 | 154,47 |
| 2 | | Wetland | | | | 1.797,55 |
| 2.1 | 00003520 | Joelho PVC, Esgoto soldável, 90 graus, Ø100 mm | UN | 2 | 6,64 | 13,28 |
| 2.1 | 00003899 | Luva simples, PVC, Esgoto soldável, Ø100 mm | UN | 5 | 5,07 | 25,35 |
| 2.3 | 00039319 | Terminal de ventilação - Esgoto - Ø50 mm | UN | 2 | 5,48 | 10,96 |
| 2.4 | 00009836 | Tubo PVC Rígido p/ esgoto Ø 100 mm | M | 12 | 11,70 | 140,40 |
| 2.4 | 00007091 | Tê simples, PVC, Esgoto, Ø100x100 mm | UN | 2 | 12,76 | 25,52 |
| 2.6 | 311 | Brita nº4 (50,0 a 76,0 mm) | m ³ | 1 | 122,77 | 122,77 |
| 2.7 | 308 | Brita nº1 (9,5 a 19,0 mm) | m ³ | 4 | 138,94 | 555,76 |
| 2.8 | 00025863 | Manta termoplástica, PEAD, geomembrana lisa, e=1 mm | m ² | 18 | 22,49 | 404,82 |
| 2.9 | 94971 | Concreto fck 25 MPa – Preparo mecânico | m ³ | 1 | 389,03 | 389,03 |
| 2.10 | 12828 | Tratamento da área da lagoa | m ² | 18 | 2,47 | 44,46 |
| 2.11 | 90091 | Escavação mecanizada da vala da lagoa + escavação e aterro manual | m ³ | 10 | 6,52 | 65,20 |

Fonte: CAIXA, (2019).

Quanto ao custo da taboa, no comércio local encontrou-se o valor médio de R\$ 8,90 por muda, como a planta tem alta capacidade reprodutiva, serão utilizadas três fileiras com seis mudas, totalizando R\$ 160,20.

Somando o custo unitário de cada sistema com o custo das macrófitas, chega-se ao custo total de materiais e mão de obra de R\$ 6.419,26.

4.3.2 Custo de manutenção

A manutenção necessária para o tanque séptico é a retirada do lodo resultante, essa será feita por meio de um caminhão contratado próprio para a limpeza de tanques, o tempo calculado para a limpeza é de 5 anos. O custo médio encontrado comercialmente varia entre R\$ 350,00 a R\$ 600,00 por viagem.

A manutenção da *Wetland* é a poda das macrófitas, que deverá ser realizada mensalmente, evitando proliferação exagerada e diminuição da eficiência do sistema, deverá ser contratada uma empresa ou pessoa para que seja feita a poda. Após a poda, recomenda-se que o resíduo gerado seja incinerado, pois as raízes contêm metais pesados que não podem ser descartados em aterros sanitários.

4.4 Análise da eficiência teórica

Utilizando a Equação 10, encontra-se na *Wetland* uma DBO de saída de 11,15 mg/L, tendo a eficiência teórica de 94,30%. Na questão de sólidos suspensos, o tanque séptico tem eficiência média de 35%, a *Wetland*, aproximadamente 85%, finalizando o tratamento com 39 mg/L, a eficiência total do sistema é de 90,25%. Outro importante resultado é a eficiência de remoção da matéria inorgânica, que são os metais presentes no efluente, eles não são removidos parcialmente no tanque séptico, porém no *Wetland*, as macrófitas estocam esses metais em suas raízes (PIO *et al*, 2013).

A eficiência teórica do sistema está indicada na Tabela 4.

Tabela 4 - Resumo da eficiência do sistema

| Tipo de Poluente | Concentração na entrada (mg/L) | Concentração na saída (mg/L) | Eficiência do tratamento (%) | Eficiência prevista na literatura (%) |
|------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| DBO | 300 | 11,15 | 96,30 | 85,00 |
| SS | 400 | 39,00 | 90,25 | 85,00 |

Fonte: Autor, (2019).

5 CONCLUSÕES

Observada as características do sistema de tratamento apresentado, conclui-se que o mesmo é viável para pequenas comunidades no modelo multifamiliar, primeiro porque trabalhou-se com a temperatura mínima média do Brasil e por ser independente do tipo de macrófita, podendo ser encontradas facilmente. É um modelo com a eficiência teórica de 96,30%, com uma destinação final em um reservatório para reuso de água em irrigação. O

orçamento prevê um custo de instalação do sistema de R\$ 6.419,26 com materiais e mão de obra, sendo que as manutenções mensais de poda da *Wetland* e retirada do lodo do tanque séptico a cada cinco anos com a utilização de um caminhão contratado de limpeza.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7229: **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro. 1993.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Panorama do saneamento rural no Brasil. 2017**. Ministério da Saúde. Brasília. Disponível em: <<https://bit.ly/2DP4Ryz>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Programa SUSTENTAR – Saneamento e Sustentabilidade em Áreas Rurais. 2018**. Ministério da Saúde. Brasília. Disponível em: <<https://bit.ly/2RorGB1>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Temperatura média anual**. 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2MRc1cW>>. Acesso em: 16 jun. 2019.

LEMES, J. L. V. B.; SCHIRMER, W.; CALDEIRA, M. V. W.; VAN KAICK, T. S. Tratamento de esgoto por meio de zona de raízes em comunidade rural. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 6, n. 2, p. 169-179, 2008. Disponível em: <<https://bit.ly/2RhIIUN>>. Acesso em 17 de mai. 2019.

MENDONÇA, L. C.; MENDONÇA, S. R.. **Sistemas sustentáveis de esgotos: orientações técnicas para projeto e dimensionamento de redes coletoras, emissários, canais, estações elevatórias, tratamento e reúso na agricultura**. Editora Blucher, 2018.

NAIME, Roberto. Aplicação de enraizadas no tratamento de efluentes agroindustriais. **Revista Tecnologia e Tendências**, v. 4, n. 1 e 2, p. 7-22, 2005. Disponível em: <<https://bit.ly/2pOihql>>. Acesso em: 05 out. 2019.

OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de. **Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário**. 2004. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://bit.ly/2WMUbmO>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

OMS - Organização Mundial da Saúde (OMS) et al. **Diretrizes sobre saneamento e saúde**. 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2SrRkIQ>>. Acesso em: 11 out. 2019.

PIO, M. C. S; ANTONY et al. Wetlands Construídas (Terras Alagadas): Conceitos, Tipos e perspectivas para remoção de metais potencialmente tóxicos de água contaminada. **Revista Scientia Amazonia**, v. 2, n.1, 28-40, 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2C8fg7H>>. Acesso em: 30 out. 2019.

REFLORA. **Flora do Brasil. Catálogo 2019 - 2020 em construção**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/34Stlmo>>. Acesso em: 30 out. 2019.

- REIS, Adriana de Oliveira Pereira dos. **Sistemática para seleção de tecnologias de tratamento de efluentes: uma análise multicriterial aplicada à bacia hidrográfica**. 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/37Zd1lz>>. Acesso em: 03 dez. 2019.
- SANTOS, Guilherme Balliana Durão et al. **Estudo de viabilidade econômica e construtiva de um tanque séptico pré-moldado para residências unifamiliares**. 2011. Disponível em: <<https://bit.ly/2pDWP7v>>. Acesso em: 19 out. 2019.
- SEZERINO, P. H.; *et al.* **Sistemas naturais para tratamento descentralizado de esgoto nos municípios da grande Florianópolis/SC – ferramenta para o desenvolvimento regional sustentável**. 2004, Florianópolis, SC. Disponível em: <<https://bit.ly/2IQ0XHP>>. Acesso em: 09 mai. 2019.
- SEZERINO, P. H.; *et al.* Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 151-158, Mar. 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2InVyJ3>>. Acesso em: 18 abr. 2019.
- TEIXEIRA, J. B. **Saneamento Rural no Brasil**. Cadernos temáticos para o Panorama do saneamento no Brasil. Brasília: Ministério das Cidades, 2013. p. 237–296.
- TONETTI, A. L. et al. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: Referencial para a escolha de soluções**. 1 ed. Campinas, SP: Unicamp, 2018. 153 p. Disponível em: <<https://bit.ly/2ROc77j>>. Acesso em: 22 mai. 2019.
- USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **ONSITE WASTEWATER TREATMENT SYSTEMS MANUAL**. Environmental Protection Agency, 2002. Disponível em: <<https://bit.ly/2Ri5HK5>>. Acesso em: 16 jun. 2019.
- VIALI, A. M. et al. Estudo do impacto das deficiências de saneamento básico sobre a saúde pública no Brasil no período de 2001 a 2009. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2PjnBLJ>>. Acesso em: 22 mai. 2019.
- VIANNA, T. C. et al. **Panorama do emprego de tanques sépticos e filtros anaeróbios no tratamento descentralizado de efluentes no Sudeste brasileiro**. EDIÇÃO ESPECIAL SANEAMENTO RURAL, p. 157, 2019.
- VON SPERLING, Marcos. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. 2. Ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.
- VON SPERLING, M.; SEZERINO, P.H. (2018). **Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil**. Boletim Wetlands Brasil, Edição Especial, dezembro/2018. 65 p. ISSN 2359-0548. Disponível em: <<http://gesad.ufsc.br/boletins/>>. Acesso em: 05 out. 2019.