

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Ivair Marcos da Silva

**FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA: UMA
ALTERNATIVA ECOLÓGICAMENTE
CORRETA PARA O SANEAMENTO EM
ÁREA RURAL**

Taubaté - SP

2022

Ivair Marcos da Silva

**FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA: UMA
ALTERNATIVA ECOLÓGICAMENTE
CORRETA PARA O SANEAMENTO EM
ÁREA RURAL**

**Dissertação apresentada para obtenção
do Título de Mestre pelo Curso de
Ciências Ambientais do Departamento de
Ciências Agrárias da Universidade de
Taubaté.**

**Orientador: Prof. Dr. Marcos Roberto
Furlan**

**Taubaté - SP
2022**

Ivair Marcos da Silva

**FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA: UMA
ALTERNATIVA ECOLOGICAMENTE
CORRETA PARA O SANEAMENTO EM ÁREA
RURAL**

**Dissertação apresentada para
qualificação no Mestrado em Ciências
Ambientais - Programa de Pós-
graduação em Ciências Ambientais da
Universidade de Taubaté.**

**Orientador: Prof. Dr. Marcos Roberto
Furlan**

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Roberto Furlan

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof.^a Dr.^a Elisa Mitsuko Aoyama

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof.^a. Dr.^a. Adriana Mascarette Labinas

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

**Grupo Especial de Tratamento da Informação – GETI
Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBi**

S586f Silva, Ivair Marcos da

Fossa séptica biodigestora: uma alternativa ecologicamente correta para o saneamento em área rural. /Ivair Marcos da Silva. -- 2022.

48 f. : il.

Monografia (mestrado) - Universidade de Taubaté,
Departamento de Ciências Agrárias, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Marcos Roberto Furlam.

1. Saneamento básico. 2. Efluentes. 3. Zona rural. 4. Gestão ambiental. 5. Meio ambiente. I. Universidade de Taubaté. Departamento de Ciências Agrárias. Mestrado em Ciências Ambientais. II. Título.

CDD – 628.742

Universidade de Taubaté - UNITAU

Dedico este trabalho primeiramente a Deus e Nossa Senhora, e em especial ao meu orientador prof. Dr. Marcos Roberto Furlan cuja dedicação e paciência serviram como pilares de sustentação para a conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é consequência de muita dedicação, pesquisas, compromisso, persistência e vontade de adquirir novos conhecimentos.

Grato pelos professores Dr. Marcos Roberto Furlan, professor Dr. Marcelo Targa e a todo corpo docente do curso de pós-graduação em Ciências Ambientais Educacional da Universidade de Taubaté, pela competência e dedicação, cuja participações no desenvolvimento acadêmico resultou no meu curso de pós-graduação *stricto sensu*.

Agradeço ainda, a Deus e à minha família, em especial minha esposa, Neusa Maria dos Santos Silva, por sempre me apoiar e estar ao meu lado, obrigado por fazer parte da minha vida e por ser meu porto seguro nas horas difíceis.

“Acredite em si próprio e chegará um dia em que os outros não terão outra escolha senão acreditar com você”.

Cynthia Kersey

RESUMO

Este estudo verificou a eficácia da implantação da fossa séptica biodigestora como uma maneira de prevenção dos riscos à saúde pela contaminação dos descartes decorrentes do esgoto sanitário, isto é, a forma essencial para a vida saudável. No entanto, apesar dos avanços nos últimos anos, o sistema de saneamento básico no Brasil ainda se encontra em estado crítico. Nesse contexto, alternativas são de extrema importância, principalmente nas áreas rurais, onde uma parcela ainda maior da população sem serviços de saneamento está disponível. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade de implantar fossa séptica biodigestora em área rural no Brasil. O local de estudo para implantação do Sistema de Saneamento Básico - Fossa Séptica Biodigestora (FSB), foi a bacia do Ribeirão Grande, localizada na cidade de Pindamonhangaba, região rural próximo da Serra da Mantiqueira. Baseada nos princípios em verificar as características físicas e químicas do resíduo gerado na fossa séptica biodigestora; buscou fornecer modelo e orientações para implantação da fossa séptica biodigestora com uma análise aos custos da instalação da fossa séptica biodigestora com outros tipos de fossas. Para tanto, foram considerados indicadores das amostras que foram coletadas no local através de uma abertura da caixa da biodigestora e levadas para análises químicas e biológicas. A metodologia utilizada trata-se de uma pesquisa em artigos, dissertação, apostilas, de natureza qualitativa, com objetivo descritivo. Como resultado, a análise destacou a FSB em alvenaria poderia ter seu custo menor com mão de obra feita sem custo em regime de mutirão ou feita pelo próprio proprietário. Outro caminho para baratear o custo da fossa FSB em alvenaria utilizar o princípio dos 3r's, neste caso a reutilização dos materiais de sobra de obras. Portanto, em trabalhos futuros, está previsto aprofundar a análise, com o objetivo de coletar mais informações sobre fossa séptica biodigestora e, assim, subsidiar sua correta gestão e destinação para o saneamento em área rural.

Palavras-chave: Saneamento básico, Efluentes, Zona rural, Gestão ambiental, Meio ambiente.

ABSTRACT

This study verified the effectiveness of the implantation of the biodigester septic tank as a way of preventing the risks to health by the contamination of the discharges resulting from the sanitary sewage, that is, the essential form for a healthy life. Nonetheless, besides the advance provided in the last years, the sanitation system in Brazil remains in a critical state. In this context, alternative ways are very needed, mainly in rural areas, where a huge part of a population without sanitation system live. Thus, the present subject aims to analyze the viability in implant biodigester septic tank in rural area in Brazil. The study site for the implementation of the Basic Sanitation System - Biodigester Septic Tank (BST), in the Ribeirão Grande basin, located in the city of Pindamonhangaba, rural region close to Serra da Mantiqueira. Based on the principles of verifying the physical and chemical characteristics of the waste generated in the biodigester septic tank; sought to provide a model and guidelines for the implementation of a biodigester septic tank with an analysis of the costs of installing a biodigester septic tank with other types of tanks. For such, were considered samples collected in this local through a hole in a biodigester box, and taken for chemical and biological analysis. Therefore, the methodology used is research in articles, dissertation, handouts, of a qualitative nature, with a descriptive objective. As a result, the analysis highlighted the FSB in masonry could have its lower cost with labor made free of charge in a joint effort or done by the owner himself. Another way to reduce the cost of the BST pit in masonry is to use the 3r's principle, in this case the reuse of leftover materials from works. Therefore, in future works, it is planned to deepen the analysis, with the objective of collecting more information about the biodigester septic tank, thus subsidizing its correct management and destination for sanitation in rural areas.

Keywords: Basic sanitation, Effluents, Rural area, Environmental management, Environment.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Domicílios no Brasil que despejam os resíduos diretamente nas vias públicas.	20
Tabela 2 Principais agentes poluidores das águas	24
Tabela 3 Material utilizado para construção do protótipo da fossa séptica (para análises):..	36
Tabela 4 Parâmetros físicos e químicos empregados para a determinação da eficiência do tratamento dos resíduos da fossa séptica biodigestora.	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Distribuição da população rural em 2010.	18
Figura 2 Números de municípios no Brasil com coleta de esgoto sanitário em 2000 e 200820	
Figura 3 Números de municípios no Brasil com coleta de esgoto sanitário em 2008 e 201721	
Figura 4 Esgotamento sanitário nos domicílios rurais brasileiros, por macrorregiões e Brasil.	21
Figura 5 <i>Déficit</i> dos serviços de saneamento prestados na área rural no Brasil.....	22
Figura 6 Comparativo das vantagens fossa séptica biodigestora em relação a fossa rudimentar e a fossa séptica.	23
Figura 7 Problemas de saúde causados pela falta de escoamento sanitário.	26
Figura 8 Distribuição no mundo em relação aos casos de diarreia em crianças menores de cinco anos.....	27
Figura 9 Local da implantação do protótipo: Chácara São João, bairro do Ribeirão Grande, localizado no município de Pindamonhangaba, São Paulo.	30
Figura 10 Ocupação da população ao longo do Rio Ribeirão Grande, localizado no município de Pindamonhangaba, São Paulo.....	31
Figura 11 Local escolhido para implantação do sistema de fossa séptica biodigestora.	32
Figura 12 Esquema de distribuição das caixas do protótipo de um sistema biodigestor.	35
Figura 13 Esquema de distribuição das caixas de um sistema biodigestor.	36
Figura 14 Detalhe das conexões de instalação de um sistema biodigestor.	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Água

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente.

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio.

DQO - Demanda Química de Oxigênio.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

FSB – Fossa Séptica Biodigestora.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

IQA - Índice de Qualidade das Águas.

NTK - Nitrogênio Total Kjeldahl.

Ntotal - nitrogênio total.

ODS – Objetivo do Desenvolvimento Sustentável.

OMS – Organização Mundial de Saúde.

pH - potencial (ou potência) hidrogeniônico.

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios.

PNSB - Plano Nacional de Saneamento Básico.

Ptotal - fósforo total.

SANEPAR – Saneamento Básico do Estado do Paraná

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices.

SIWI - Banco Mundial e Instituto Internacional de Águas de Estocolmo.

TCPO - Tabela de Composições e Preços para Orçamentos.

UNICEF - Fundo das Nações Unidas para a Infância.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3. REVISÃO DE LITERATURA	17
3.2 População rural no Brasil	18
3.3 Saneamento rural no Brasil	19
3.4 Degradação e fontes de poluição	23
3.5 Dinâmicas dos poluentes no ambiente aquático	25
3.5.1 Parâmetros químicos	25
3.5.2 Parâmetros físicos	25
3.6 Riscos na saúde humana provenientes da falta de saneamento básico	26
3.7 Fossa séptica biodigestora (FSB)	28
4 MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1 Área de estudo	30
4.2 Etapa 1 – levantamento de dados	31
4.3 Etapa 2 – local para instalar o protótipo	31
4.4 Análises laboratoriais e levantamento das disposições de saneamento básico no local de instalação do protótipo	32
4.5 Protótipo das fossas sépticas biodigestoras	34
4.6 Análise laboratorial	38
4.6.1 Análises físicas e químicas	38
4.6.2 Análises microbiológicas	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1 Comparações dos custos entre as fossas	40
5.2 Análises laboratoriais	40
5.2.1 Resultados das análises físicas e químicas	41
5.2.2 Resultados das análises microbiológicas	41
5.3 Resultados de custo dos sistemas	42
6 CONCLUSÃO	43

1. INTRODUÇÃO

A população rural do Brasil tem uma triste realidade quanto a coleta e o tratamento de esgoto. Apesar de possuir, aproximadamente, 12% de toda a água doce do planeta, mais de 22 milhões de pessoas devido à falta de tratamento adequado de efluentes não são atendidas pelo fornecimento de água de boa qualidade e, com isso, recebem água contaminada pelos diferentes tipos de resíduos (EMBRAPA, 2010).

De acordo com Costa e Guilhoto (2014), em consulta ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio da realização do Censo Demográfico de 2010, na zona rural do Brasil vivem, aproximadamente, 30 milhões de pessoas em cerca de 8,1 milhões de domicílios. Ainda segundo os autores, e no mesmo trabalho, a implantação de um sistema tecnológico de tratamento de esgoto (fossa séptica biodigestora) pode evitar cerca de 250 óbitos e 5,5 milhões de infectados por doenças, como, por exemplo, diarreia e verminoses.

Ao diminuir em 129 mil toneladas os resíduos em cursos d'água, além de ser um investimento rentável, a implantação de sistemas de tratamento do esgoto pode gerar 39 mil empregos (COSTA; GUILHOTO, 2014). De acordo com um parecer do Ministério da Saúde, a cada um real aplicado em saneamento básico são economizados quatro reais na área da saúde, pois evitará gastos com agravamento e incidência de muitas doenças (FUNASA, 2016).

O Plano Nacional de Saneamento Básico (PNSB), por meio da Lei nº 11.445/07, define saneamento básico como sendo todos os serviços de um sistema, tais como: o abastecimento de água, o tratamento do esgoto, a drenagem de águas pluviais e a limpeza pública com lugar apropriado para os resíduos sólidos (BRASIL, 2014). De acordo com a agenda 2030, com relação aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6), uma das propostas de metas brasileiras é assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos (IPEA, 2018).

Quanto ao tratamento dos esgotos, uma das vantagens do uso das fossas sépticas biodigestoras (FSB) é a aplicação de seus resíduos na agricultura. Torres et al. (2019) observam que o tratamento do efluente final de esgoto doméstico pode melhorar em termos microbiológicos e garantir usos mais restritos do efluente tratado para a agricultura.

De acordo com Tonetti 2019a falta de saneamento básico na área rural deve-se por alguns fatores relacionados ao problema financeiro, à falta de soluções tecnológicas diferenciada e à falta de cultura na formação dos técnicos para trabalhar com a comunidade na gestão de sistema e soluções alternativas (TONETTI et al., 2019).

Para atender e solucionar os problemas das fossas rudimentares no tratamento do esgoto rural, pode ser utilizado um sistema desenvolvido por Novaes et al. (2006). Esses pesquisadores desenvolveram uma fossa séptica biodigestora. Esse sistema de tratamento de esgoto tem como finalidade substituir o esgoto a céu aberto e as fossas rudimentares utilizadas nas propriedades da área rural.

Uma das importâncias da fossa séptica biodigestora é a prevenção dos riscos à saúde pela contaminação dos descartes decorrentes do esgoto sanitário. Uma outra é usar os efluentes da biodigestão deste processo na adubação orgânica. Faustino (2007) apresentou análises físicas e químicas dos dejetos de uma fossa séptica biodigestora, como, por exemplo, matéria orgânica, potencial (ou potência) hidrogeniônico (pH), Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), teor de sólidos, e a concentração de macro e micronutrientes. Concluíram que para fins de fertilização do solo, os dejetos proporcionaram condições favoráveis para esse fim.

Leonel, Martelli e Silva (2013) estudaram a qualidade dos resíduos produzidos pela fossa séptica biodigestora quanto a variação do pH, condutividade elétrica, potencial redox, turbidez e concentração de coliformes. Tiveram uma resposta positiva na redução dos contaminantes biológicas e um líquido clarificado no processo final. Neste mesmo contexto, Costa e Guilhoto (2014) consideraram que a implementação deste sistema de fossa no Brasil poderia prevenir 250 mortes decorrentes de 5,5 milhões de doenças infecciosas por ano. Um outro benefício é a redução de 129 mil toneladas de resíduos proveniente de fossas que despejam seus resíduos irregulares nos rios, córregos, entre outros. Este processo de construção poderá gerar cerca de 39 mil empregos.

Diante do exposto, se justifica estudar a instalação de fossas sépticas em área rural, pois este estudo tem como ênfase a educação ambiental, a preservação da biodiversidade e a preservação da vida, por prevenir a contaminação das pessoas que podem adquirir sérias doenças, tais como: diarreia, leptospirose, verminoses, cólera, difteria e a própria dengue, dentre outras, podendo até chegar a óbitos principalmente em crianças menores de cinco anos que são as mais afetadas por essas doenças.

Um dado importante segundo as informações citada por Costa e Guilhoto (2014), é a geração de emprego em locais com a construção de fossa séptica biodigestora. Para atender as necessidades da população rural do bairro do Ribeirão Grande na cidade de Pindamonhangaba, Estado de São Paulo. Foi observado que no local específico não há tratamento de esgoto por órgão público e a maioria das pessoas utilizam-se de fossa rudimentar (fossa negra), diante disto os estudos concentraram em obter um sistema que fosse mais adequado para aquela situação,

uma vez que no projeto tem como objetivo a conscientização da contaminação da água de uso pessoal em geral, sendo ela para banho, beber, limpeza e outros meios de contato. Para isso, a preocupação foi no sentido de diminuir a contaminação, incentivar a educação ambiental e o custo para execução do projeto.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade de implantar fossa séptica biodigestora em área rural.

2.2 Objetivos específicos

Verificar as características físicas e químicas do resíduo gerado na fossa séptica biodigestora;

Fornecer modelo e orientações para implantação da fossa séptica biodigestora; e

Comparar os custos da instalação da fossa séptica biodigestora com outros tipos de fossas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Saneamento básico no Brasil

Para Ferreira et al. (2019), o Plano Nacional de Saneamento Rural (PNSR) só alcançará seus objetivos quando as ações de planejamento na área municipal em saneamento envolver toda área rural, dando condições para que todas as pessoas envolvidas tenham condições de atuarem de forma cooperativa, visando a sustentabilidade, a continuidade das ações com benefício à saúde e à qualidade de vida da população. Os autores destacaram que uma explicação possível dos estudos para alcançar os objetivos de saneamento só terá efeito se os agentes envolvidos no planejamento assumirem a responsabilidade na elaboração do projeto, tomarem iniciativa e trabalharem de uma forma clara na gestão.

Estudos feitos pelo Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) e pelo Banco Mundial e Instituto Internacional de Águas de Estocolmo (SIWI), apontam que as maiores vítimas da falta de investimento em saneamento básico no país são as crianças e os adolescentes, e para os estudantes da rede pública de educação o problema é mais grave. A maior discrepância, ainda segundo esses estudos, está na Amazônia, região Norte do país, pois 19% das escolas públicas têm acesso a água potável, enquanto a média nacional é de 68%. Ao se tratar de rede de esgoto, no Acre somente 9% das escolas da rede pública têm acesso; em Rondônia a situação é mais crítica com 6%, e no Amapá esse serviço de esgotamento sanitário é ainda pior, contemplando apenas 5% (UNICEF, 2020).

Segundo a UNICEF (2009), com condições mais apropriadas no acesso à água disponível ao consumo humano e mantendo as boas práticas de higiene, o hábito de lavar as mãos com sabão pode auxiliar a prevenir a diarreia infantil. A instituição relata que 88% das mortes por diarreias no mundo são em função das águas impróprias, saneamento inadequado e pela falta de higiene adequada.

Fontes de um relatório publicado em 2006 pela OMS/ UNICEF indicaram que 2,5 milhões não possuíam instalações sanitárias adequadas. Em países em desenvolvimento, 25% das pessoas fazem suas necessidades fisiológicas em lugares não apropriados ou a céu aberto. No mundo, em 2006, 1,2 bilhão de pessoas defecam ao ar livre e 18 milhões de pessoas no Brasil utilizam desta prática irregular para fazerem suas necessidades biológicas ao ar livre. (UNICEF, 2008).

Segundo Figueiredo et al. (2019), as fossas rudimentares, por se apresentarem como uma solução simples, econômica e popularmente conhecida, ainda são amplamente utilizadas

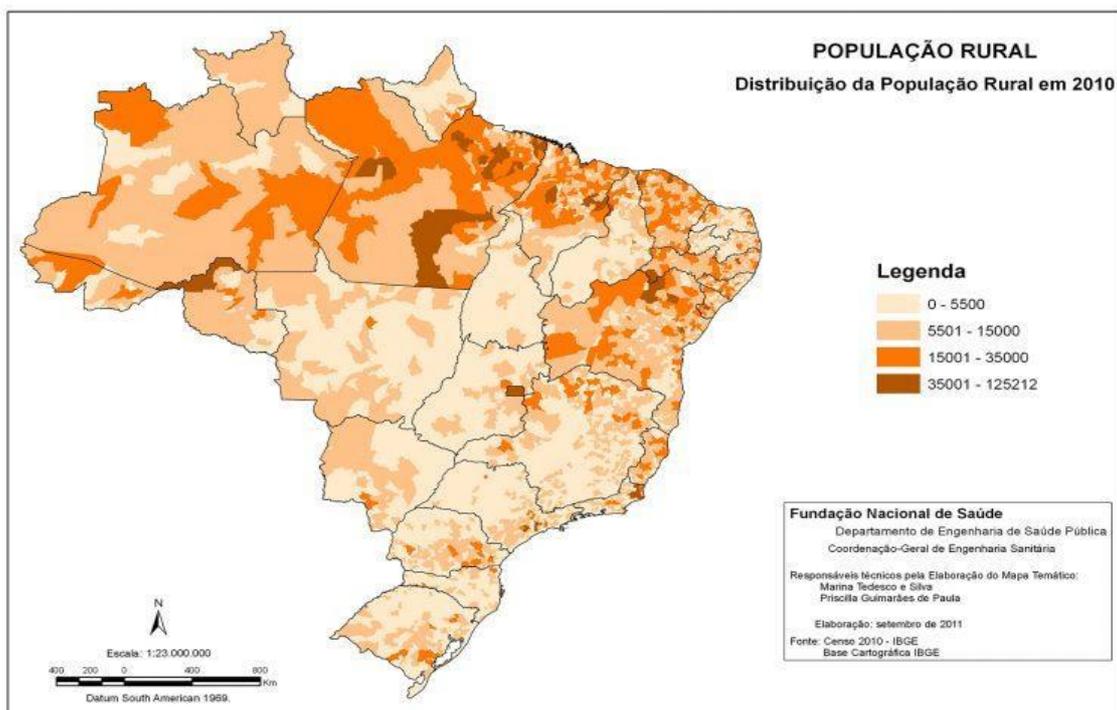
para o tratamento e a destinação de esgoto em áreas rurais no Brasil, apesar de que seu uso seja muitas vezes considerado precário. Esse sistema garante a separação higiênica entre as pessoas e as suas excretas, e se torna muitas vezes a única alternativa em situações em que outras tecnologias são inacessíveis (FIGUEIREDO et al., 2019).

Em uma comparação feita por Costa e Guilhoto (2014), comparando os benefícios da fossa séptica biodigestora com a fossa rudimentar e a fossa séptica em relação a contaminação das águas superficiais, águas subterrâneas, retirada dos dejetos, reciclagem do efluente, proliferação de vetores e odor desagradável; concluíram que a fossa séptica biodigestora apresenta vantagem em todos os esses itens comparado com outros sistemas de esgotamento sanitário em área rural.

3.2 População rural no Brasil

Na Figura 1, foi possível verificar a distribuição da população rural por municípios. A concentração é maior na região Norte, com destaque para alguns municípios dos Estados de Rondônia e Pará, e no Nordeste, em alguns municípios da Bahia, municípios onde o número de habitantes na área rural vai de 35.001 a 125.212 (IBGE, 2010).

Figura 1. Distribuição da população rural em 2010.



Fonte: Censo Demográfico - IBGE, 2010

Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), realizada em 2015, a população brasileira concentra-se nas áreas urbanas com 84,72%, e 15,28% vivem nas áreas rurais. A região com maior número de população vivendo na área urbana é o Sudeste, com 93,14%. A região Nordeste tem o maior número de pessoas vivendo nas áreas rurais, totalizando segundo a pesquisa, 26,88% (PNAD, 2015).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio do Censo Demográfico 2020, propôs um diferencial para caracterização da extensão territorial urbanos e rurais. Com esta nova proposta a população urbana do Brasil sofreu uma alteração, passando de 84,4% para 76,0%, o que corresponde somente a 26,0% do total de municípios. Em contrapartida, 60,4% dos municípios foram classificados como rurais, com apenas 17% da população (SAÚDE AMANHÃ, 2020).

Ainda segundo a proposta do Censo Demográfico 2020, a região Norte apresentou um elevado percentual, com 65% de municípios rurais, visto que 66,3% da população vivem em municípios urbanos. A região Nordeste possui a menor porcentagem de população (59,3%) vivendo em municípios urbanos e com, aproximadamente, 29,5% da população vivendo em 68,9% dos municípios rurais (SAÚDE AMANHÃ, 2020).

A região Sudeste terá de acordo com a proposta, um aumento de 37,5% de municípios urbanos e uma população de 87%. O Sul do país terá a menor proporção de cidades classificadas como intermediários remotos (0,02%) e rurais remotos (0,03%), isto significa que haverá uma grande proximidade física territorial entre as sedes municipais. O Centro-Oeste brasileiro possuirá a segunda maior população em regiões urbanas 79,8% e municípios remotos, intermediários e rurais (2,3% e 4,0% respectivamente), o que evidenciará uma região de grandes contrastes (SAÚDE AMANHÃ, 2020).

3.3 Saneamento rural no Brasil

O número de residências no Brasil que despeja os resíduos diretamente nas vias públicas ou na natureza, como fossas escavadas no quintal, valas de escoamento, águas de rios e mares; é em uma proporção de um para cada dez domicílios, o que equivale a aproximadamente 9 milhões de lares do território brasileiro que não têm acesso rede de tratamento de esgoto (AGÊNCIA BRASIL, 2020). Essa situação vem crescendo desde 2016, como demonstrado pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) e divulgados pelo IBGE.

No ano de 2018, eram 2,2 milhões, ou seja, 3,1% do total dos domicílios. Passou para 9 milhões em 2019, num total de 12,6%, se comparado com o ano de 2016. As residências que não tinham acesso a rede de esgoto eram em torno de 2,8% desses domicílios, e um total de 1,9 milhões de lares tinham seu esgotamento sanitário despejados diretamente na natureza, conforme exemplificado na tabela 1 (AGÊNCIA BRASIL, 2020).

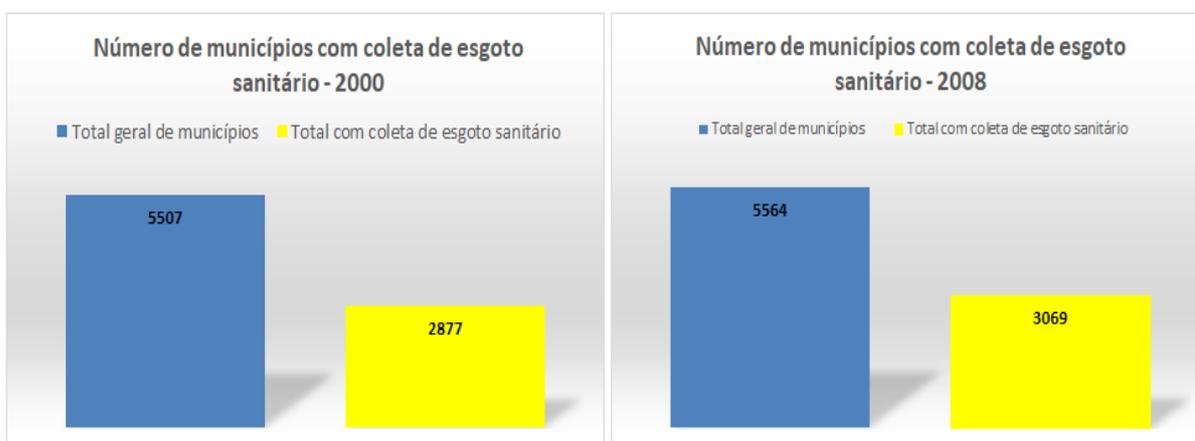
Tabela 1. Domicílios no Brasil que despeja os resíduos diretamente nas vias públicas.

Ano	Milhares de domicílio	Porcentagem
2016	1,9	2,8
2018	2,2	3,1
2019	9,0	12,6

Fonte: Agência Brasil (<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2020-05/um-em-cada-dez-domicilios-no-brasil-joga-esgoto-na-natureza>).

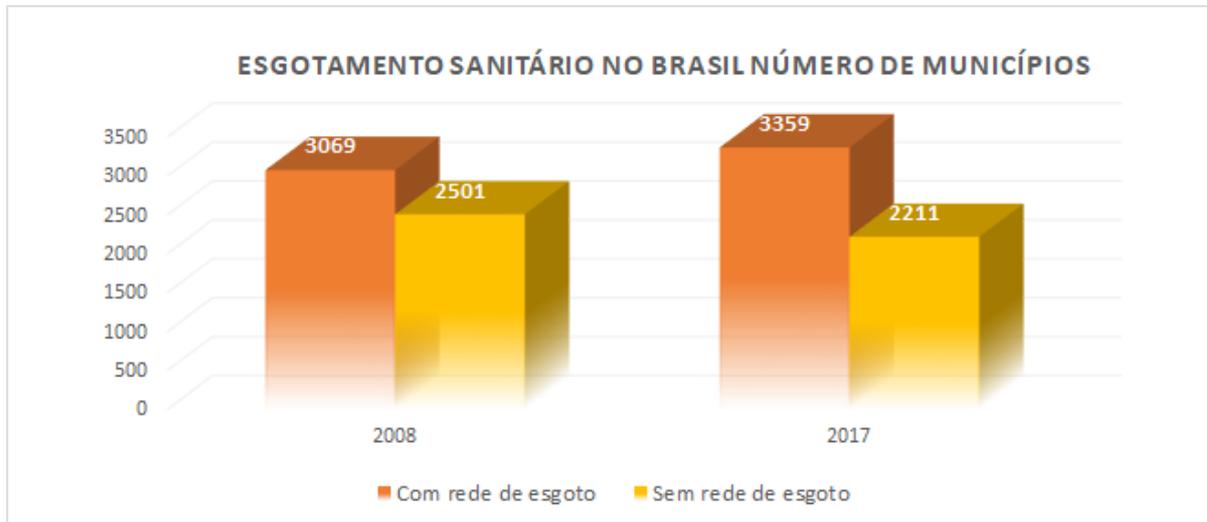
A Figura 2 mostrou a comparação do total geral de municípios no Brasil e o total das residências com coleta de esgoto sanitário no ano de 2000 e 2008. Verificou-se um aumento das moradias com acesso a este tipo de serviço, ou seja, 3%. Na Figura 3 se observa que o número de municípios atendidos com a coleta de saneamento básico em 2008 e 2017, aumentou em 9,45%, ou seja, um aumento considerável se comparado com os anos 2000 e 2008, os quais ficaram em 3%. O crescimento é lento, pois o número de moradias não atendidas até 2017 foi de 2.211, ou seja, 65,82% não foram atendidas com os serviços de saneamento básico de coleta de esgoto sanitário (IBGE, 2011).

Figura 2. Números de municípios no Brasil com coleta de esgoto sanitário em 2000 e 2008



Fonte: Adaptado pelo autor - IBGE - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2011).

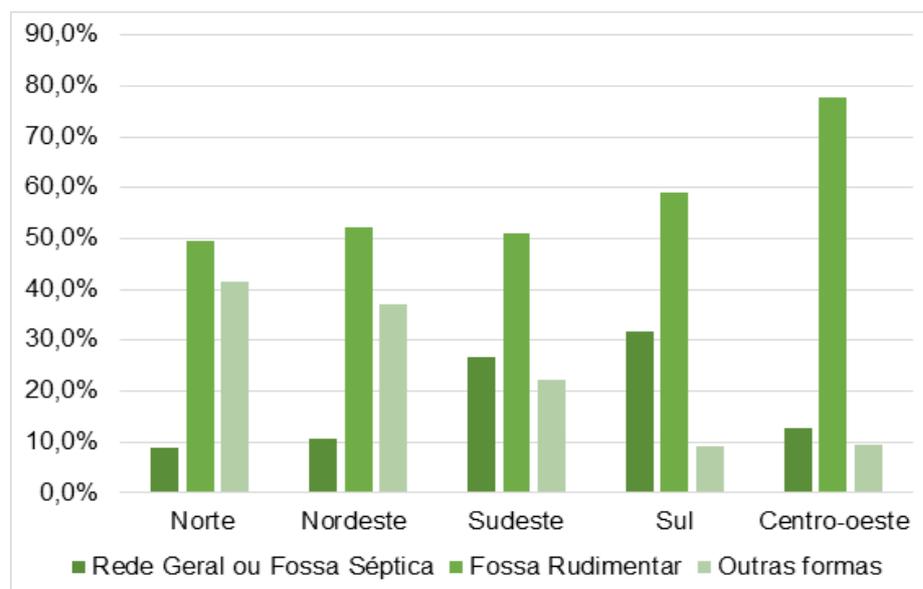
Figura 3. Números de municípios no Brasil com coleta de esgoto sanitário *em 2008 e 2017*



Fonte: Adaptado pelo autor - IBGE - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2011).

Ao analisar a Figura 4, pode-se verificar que o percentual de domicílios se encontra em atendimento precário com esgotamento sanitário. As fossas rudimentares estão localizadas na região Centro Oeste do País, com quase 80%; seguida pela região Sul, com aproximadamente 60%; Nordeste com 53%; Sudeste com 51% e, por última, a região Norte com 49,7%. Em contrapartida, a região Sul do Brasil é a que tem a maior percentagem das moradias com sistema de saneamento adequado, em torno de 31,7% (FUNASA, 2017).

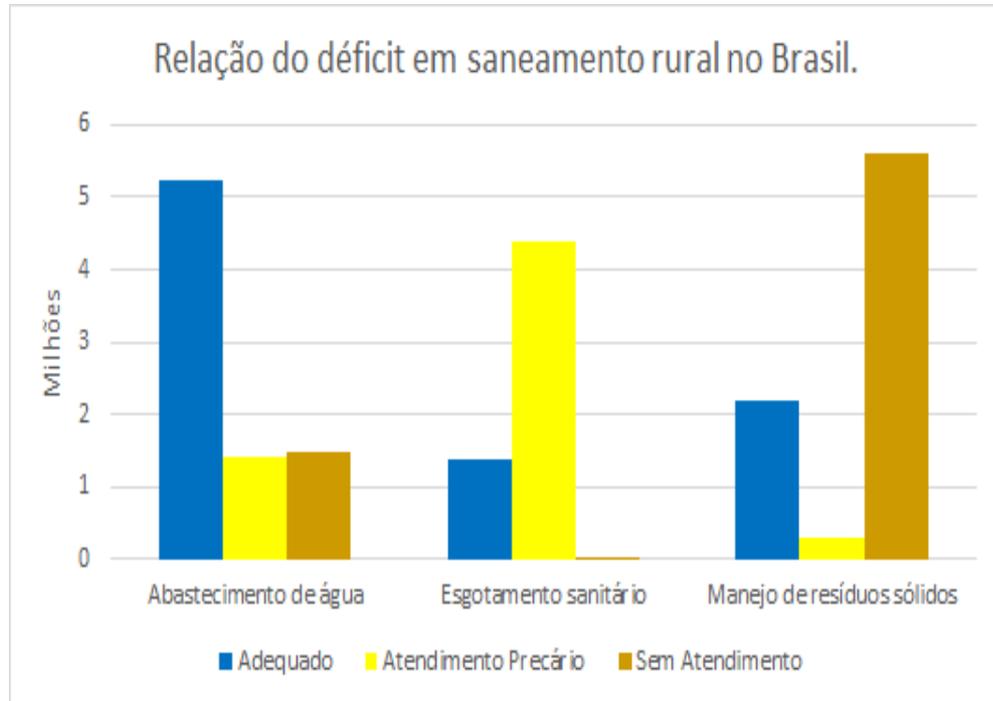
Figura 4. Esgotamento sanitário nos domicílios rurais brasileiros, por macrorregiões e Brasil.



Fonte: Departamento de Engenharia de Saúde Pública da Funasa (com dados do Censo Demográfico - IBGE, 2010).

A Figura 5 forneceu o déficit dos saneamentos relacionados à área rural no Brasil.

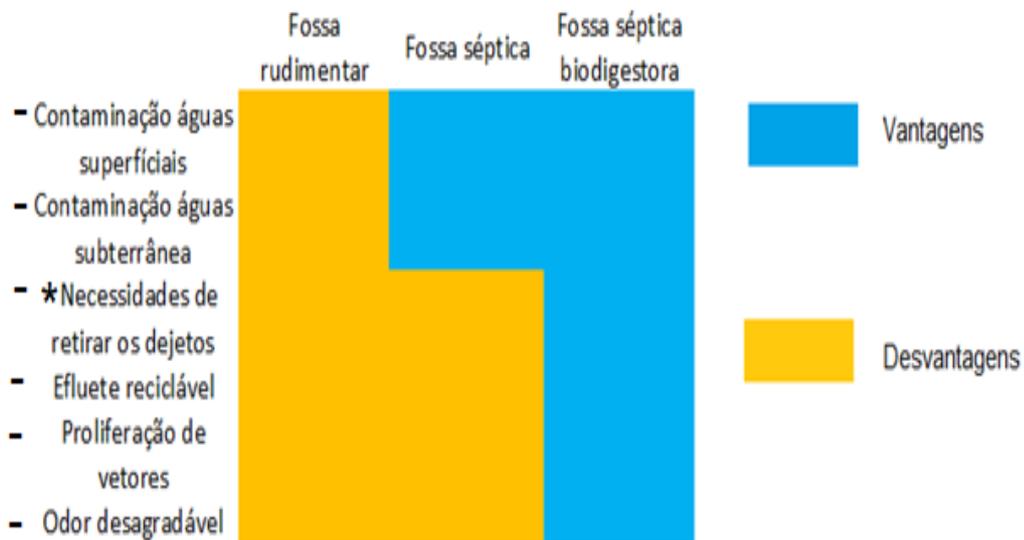
Figura 5. Déficit dos serviços de saneamento prestados na área rural no Brasil.



Fonte Departamento de Engenharia de Saúde Pública da Funasa (com dados do Censo Demográfico – IBGE, 2010) e adaptado pelo autor.

Analisando a Figura 5, o Brasil possui 5.224.326 moradias com sistema de abastecimento de água adequado, sendo que 1.392.989 estão em situação de atendimento precário e 1.474.988 ainda não possuem abastecimento de água na área rural. Se tratando do esgotamento sanitário, há um elevado número de moradias que não possuem um atendimento adequado, ou seja, 4.390.060 moradias. O maior risco fica por conta do manejo dos resíduos produzidos pelo sistema de esgotamento, onde 5.620.268 moradias não são atendidas e, com isso, a contaminação dos mananciais e das pessoas ficarem doentes é muito alto (IBGE 2010). A Figura 6 fornece comparativo das vantagens e desvantagens entre as diferentes fossas.

Figura 6. Comparativo das vantagens fossa séptica biodigestora em relação a fossa rudimentar e a fossa séptica.



Fonte: Costa e Guilhoto (2014), adaptado pelo autor.

*Em solos arenosos o material infiltra e não há necessidade de retirar os dejetos;

Na Figura 6, de acordo com os seis itens mencionados no esgotamento sanitário em área rural, a fossa séptica biodigestora apresentou vantagens de 100% comparada com a fossa rudimentar e 80% comparada com a fossa séptica.

3.4 Degradação e fontes de poluição

Para Faustino (2007), as fossas negras são as principais fontes de contaminação das águas subterrâneas, pois o dejetos é depositado direto em um reservatório sem revestimento algum. Nesses locais, as intensas atividades microbianas se infiltram diretamente no solo expostos da fossa, contaminando os solos e, conseqüentemente, as águas subterrâneas. Com a decomposição dos resíduos do esgoto, parte infiltra no solo e a outra parte restante fica sobre a superfície, provocando risco à saúde humana e ao meio ambiente.

De acordo com Jenny (2013), a poluição do solo influencia diretamente na poluição da água, visto que o solo contaminado faz com que seus poluentes cheguem até a água da superfície, nas águas do subsolo e nos lençóis freáticos; contaminando a água disponível para o consumo humano e transmitindo doenças, como, por exemplo, cólera e disenteria.

Algumas das substâncias encontradas na água servem de indicadores de poluição aquática como observa Manahan (2013), pois manifestam a presença de agentes poluidores,

como os pesticidas que escoam pelo solo e as bactérias coliformes fecais provenientes da poluição de descargas irregulares de esgoto, dentre outros. A Tabela 2 mostra os principais compostos poluentes presentes na água (SANEPAR, 2013).

Se tratando de esgoto doméstico, segundo dados levantados por Sperling (1995), as fontes poluidoras como sólidos em suspensão (sólidos em suspensão total), matéria orgânica biodegradável (demanda bioquímica de oxigênio), nutrientes (nitrogênio e fósforo) e patogênicos (coliformes), se encontram em grandes quantidades.

Tabela 2. Principais agentes poluidores das águas

POLUENTE	PRINCIPAIS PARÂMETROS	FONTE					POSSÍVEL EFEITO POLUIDOR
		ESGOTOS			DRENAGEM SUPERFICIAL		
		doméstico	industrial	reutilizado	urbana	agricultura pastagens	
Sólidos em suspensão	Sólidos em suspensão totais	xxx	<<		x	x	Problemas estéticos Depósito de lodo Adsorção de poluentes. Proteção de patogênicos
Matéria orgânica biodegradável	Demanda bioquímica de oxigênio	xxx	<<		x	x	Consumo de oxigênio Mortandade de peixes Condições sépticas
Nutrientes	Nitrogênio Fósforo	xxx	<<			x	Doenças de veiculação hídrica
Patogênicos	Coliformes	xxx					Toxicidade Espumas (detergentes) Redução de transferência de oxigênio (detergentes) Não biodegradabilidade Maus odores (Ex.: fenóis)
Matéria orgânica não biodegradável	Matéria orgânica não biodegradável		<<			xx	Toxicidade Inibição do tratamento biológico dos esgotos Problemas na disposição do lodo na agricultura Contaminação da água subterrânea
Metais pesados	Elementos específicos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, etc)		<<				Toxicidade Inibição do tratamento biológico dos esgotos Problemas na disposição do lodo na agricultura Contaminação da água subterrânea

Legenda: X: pouco, XX: médio, XXX: muito, <<: variável.

Fonte: Sperling (1995, p. 47).

3.5 Dinâmicas dos poluentes no ambiente aquático

3.5.1 Parâmetros químicos

Segundo SANEPAR (2013), são considerados os seguintes parâmetros químicos:

Dissolução do teor de oxigênio (OD): serve como indicador de poluição por matéria orgânica. A água que não contém matéria orgânica tem um elevado índice de oxigênio, e uma água com baixo teor de oxigênio dissolvido é uma indicação de uma elevada atividade de bactérias decompondo matéria orgânica;

As águas em seu estado natural possuem um pH dentro de uma faixa de 4 a 9. A variação do pH prejudica o metabolismo de microrganismos e, com isso, a degradação da matéria orgânica;

Para consumir a matéria orgânica dos esgotos ou de outros resíduos orgânicos foi analisada a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), verificando o oxigênio consumido em amostras do líquido;

Resíduo total é a matéria que fica após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra de água em determinados períodos de tempo e de temperatura, podendo causar prejuízos a vida aquática. Quando se depositam no leito eles matam os organismos que vivem nos sedimentos e servem de alimento para outros organismos, além de lesionar os locais de desova de peixes;

Nitrogênio possibilita avaliar o grau e a distância do local de origem onde está ocorrendo a poluição mediante a quantidade e o aspecto físico apresentados nos derivados nitrogenados, podendo analisar a poluição recente, a concentração do nitrogênio orgânico ou amônia, Estes compostos acontecem dos resíduos líquidos do esgoto doméstico e industrial, da drenagem ou lixiviação de áreas fertilizadas ou decorrente das chuvas;

O fósforo tem uma função importante para o processo biológico, pois seu excesso pode provocar a aumento da quantidade de nutrientes disponíveis no ambiente aquático.

3.5.2 Parâmetros físicos

De acordo com SANEPAR (2013), são considerados os seguintes parâmetros físicos a temperatura da água é um fator importante, pois interfere em algumas propriedades da água, como densidade, viscosidade e oxigênio dissolvido, impactando diretamente na vida aquática; e a turbidez da água está relacionada com o grau de interferência da passagem de luz.

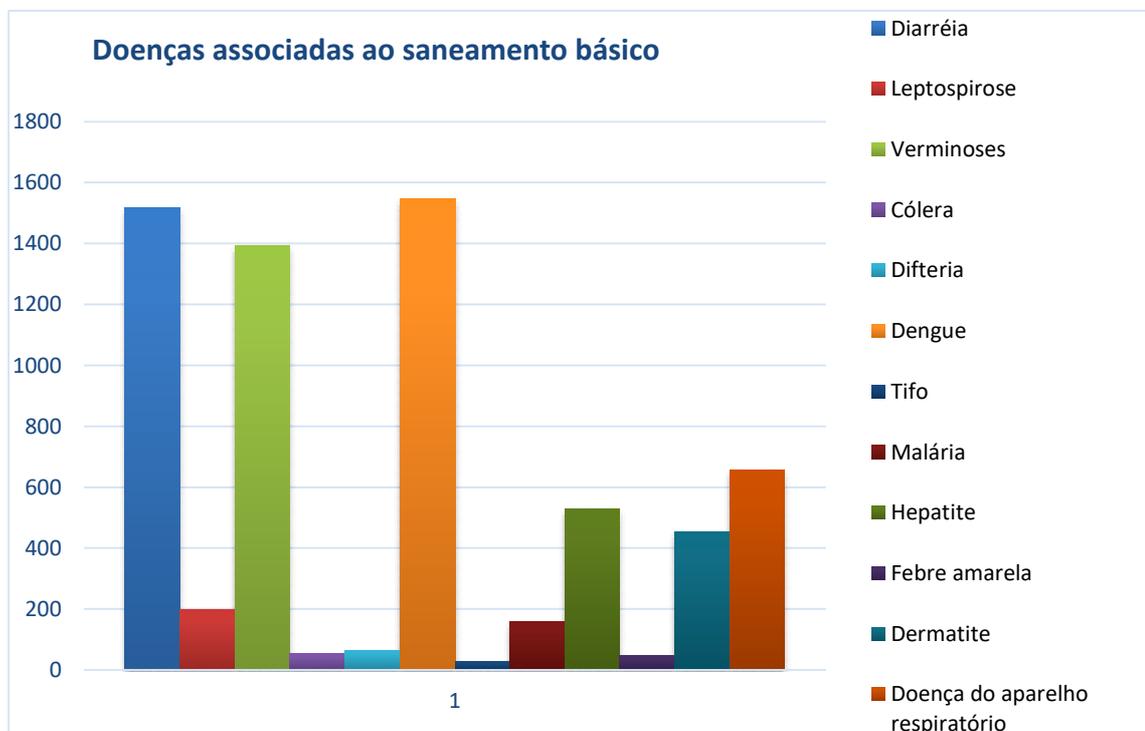
A turbidez relaciona-se com fontes naturais, partículas de rocha, argila, silte e algas, dentre outros; e através de fontes antropogênicas, como esgoto domésticos, microrganismos e erosão (SPERLING, 1995, p. 24).

3.6 Riscos na saúde humana provenientes da falta de saneamento básico

Em 2010, o IBGE fez um trabalho de pesquisa dos problemas causados pela falta de saneamento básico em todo território brasileiro e após avaliadas 5.564 cidades, os números de doenças associadas ao saneamento básico teve resultados expressivos, conforme apresentado na Figura 7. Merece destaque as doenças relacionadas à diarreia, verminoses e dengue.

Ficou evidente que o problema causado pela falta de esgotamento sanitário de uma forma adequada causa diversas doenças. Para atender os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável e a desigualdade social, são necessárias políticas públicas, com participação dos órgãos executivos de cada município e da população para assegurar o direito da disposição e gestão sustentável da água e saneamento, o que é uma das propostas da agenda 2.030 e a metas da ODS 6 (IBGE, 2010).

Figura 7. Problemas de saúde causados pela falta de escoamento sanitário.

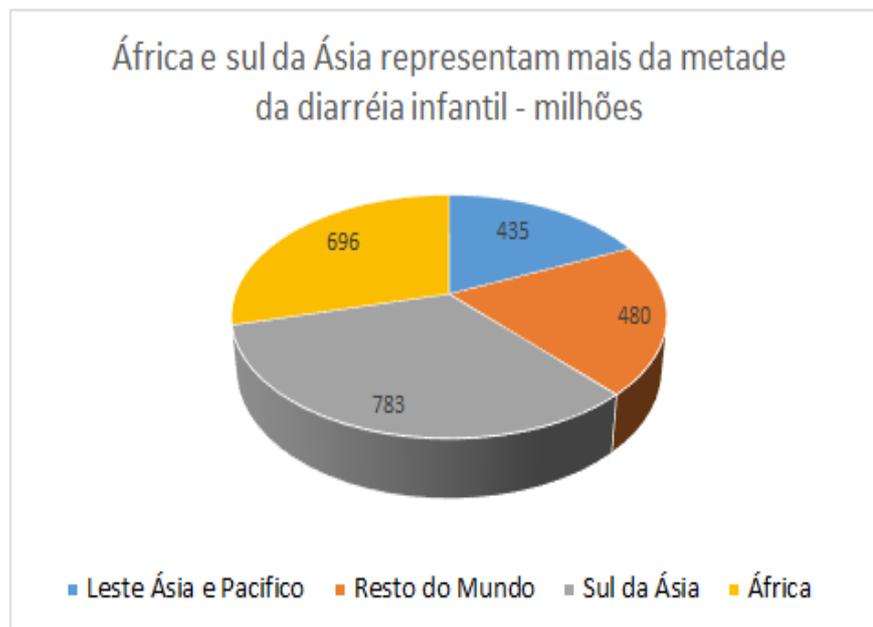


Fonte: Adaptado pelo autor - IBGE - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

Nos países em desenvolvimento, a doença como a diarreia é mais frequente, pois a falta de água potável e saneamento básico e, conseqüentemente, a higiene precária, agravado com o estado geral de saúde e nutrição, faz com que as pessoas nestas condições sofram maiores riscos. Estima-se que 2,5 bilhões de pessoas necessitam de instalações sanitárias adequadas e cerca de um bilhão de pessoas não têm acesso à água potável. Estes fatores fazem com que os patógenos causadores de diarreia se proliferem mais facilmente.

As crianças desnutridas e com problemas de saúde são as mais propícias às infecções graves como a diarreia aguda, e isso se repete a cada ano, podendo criar um ciclo mortal. Por ano, aproximadamente 2,5 bilhões de crianças menores de cinco anos ficam doentes com diarreia, sendo que mais da metade desses casos estão na África e no sul da Ásia, como se verifica na Figura 8 (UNICEF, 2009).

Figura 8. Distribuição no mundo em relação aos casos de diarreia em crianças menores de cinco anos.



Fonte: Adaptado pelo autor - Baseado na Organização Mundial da Saúde, estimativas da Carga Global de Doenças, atualização de 2004.

A distribuição proporcional para as regiões do UNICEF foi calculada aplicando as estimativas de causa de morte da OMS às estimativas mais recentes para o número total de mortes por subvida (2007).

Quanto à distribuição no mundo em relação aos casos de diarreia em crianças menores de cinco anos, por região; a maioria se encontra no continente asiático e africano, juntos chegam a quase 1,5 bilhões de crianças com diarreia (Figura 8).

3.7 Fossa séptica biodigestora (FSB)

Pensando em como melhorar os problemas sanitários e saúde pública do Brasil, foram estabelecidos a Lei nº 11.445/2007 e o decreto nº 7.217/2010, que definem e regulamentam as diretrizes para o saneamento básico no país. Dentre os objetivos da Política Federal de Saneamento Básico, capítulo IX, art. 49, estão sendo representados neste trabalho os incisos:

- I - Contribuir para o desenvolvimento nacional, diminuição da desigualdade regional, geração de emprego, renda e inclusão social;
- II - Priorizar novos projetos visando a ampliação dos serviços e ações de saneamento básico nas regiões onde se encontra populações de baixa renda; e
- IV - Oferecer condições adequadas de qualidade ambiental aos moradores da zona rural e de vilas urbanas isoladas (BRASIL, 2007).

A fossa séptica biodigestora é uma alternativa eficaz, pois a sua execução e a sua manutenção é simples e feita de uma maneira que não haja a necessidade de retirada do lodo por caminhão “limpa fossa” (GALINDO et al., 2010). Se utilizadas por vários moradores rurais, esta fossa séptica poderá reduzir a contaminação do solo, de córregos e de rios, com um ganho considerável para a natureza, melhorando a qualidade do solo e das águas, pois o líquido da terceira caixa é rico em nutrientes, como os macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio. Esse sistema para melhoria do saneamento básico na área rural, faz com que a fossa séptica seja um instrumento de saúde pública e de melhoria da qualidade de vida no campo (OTENIO et al., 2014).

Se comparar a eficiência do sistema de esgotamento sanitário da fossa séptica biodigestora, se obtém uma grande vantagem em relação à fossa rudimentar e a fossa séptica, pois não tem contaminação das águas superficiais e das águas subterrânea; não há necessidade de retirada dos dejetos; não há proliferação de vetores e não há odor desagradável. Já a fossa séptica não tem a mesma eficácia da fossa séptica biodigestora, pois a mesma há proliferação de vetores e possui um odor desagradável e a fossa rudimentar perde em todos os requisitos (COSTA; GUILHOTO, 2014).

Segundo os levantamentos dos estudos realizados pela Embrapa Instrumentação, o biofertilizante resultado do efluente da fossa séptica biodigestora gera aproximadamente uma

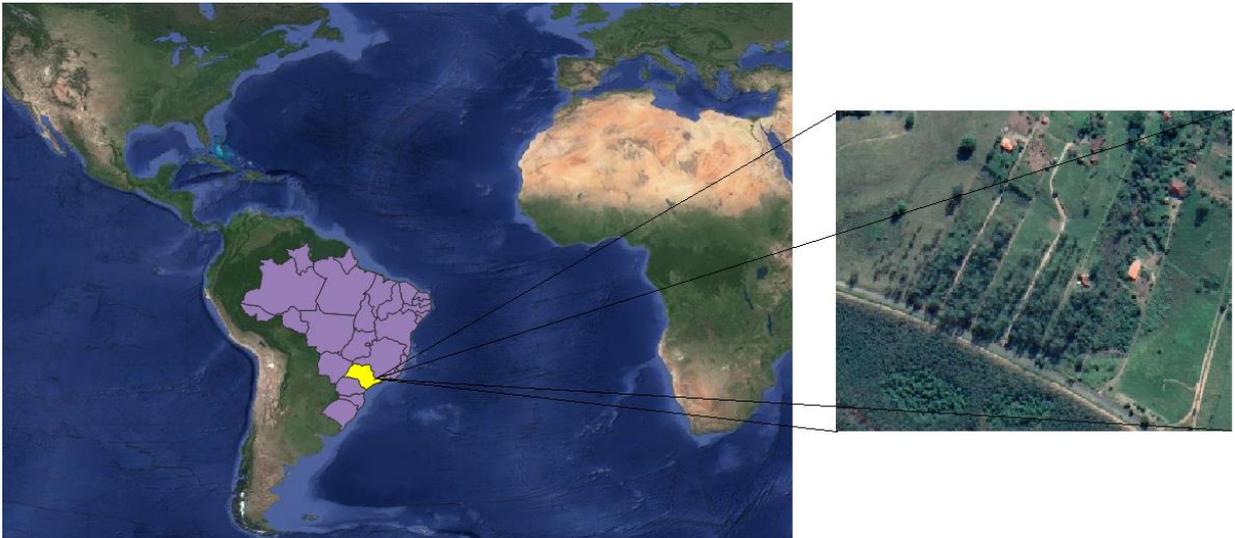
economia mensal de R\$ 30,00 a R\$ 90,00, por substituir a compra de adubos químicos para fertilização das plantas. Também pode contar com um ganho extra no aumento da produtividade, pois algumas pessoas têm dificuldade na compra de adubos comerciais, produto para correção da acidez do solo, e conta ainda com o reuso da água em períodos da seca (SILVA, 2014).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O local de estudo para implantação do Sistema de Saneamento Básico - Fossa Séptica Biodigestora, foi à bacia do Ribeirão Grande, localizada na cidade de Pindamonhangaba, região rural próximo da Serra da Mantiqueira. Um ponto de referência, a passarela de ferro que fica próximo do bar do Edmundo, está localizado na latitude $22^{\circ} 47' 46''$ S longitude $45^{\circ} 27' 21''$ W (CETESB, 2018), conforme destacada na figura 09.

Figura 9. Local da implantação do protótipo: Chácara São João, bairro do Ribeirão Grande, localizado no município de Pindamonhangaba, São Paulo.



Fonte: elaborado pelo próprio autor

A figura 10 demonstra como as residências estão bem próximas do curso do rio e como a população está ocupando o local. O atrativo da região, como a natureza, faz com que a população se desloque até este local à procura de lazer, principalmente para se banhar, e muitas famílias acabam estabelecendo moradia, como em sítios e chácaras, aumentando a população e, conseqüentemente, gerando resíduos sólidos com sistemas inadequados de tratamento, provocando contaminação no ambiente e nos cursos d'água.

Figura 10. Ocupação da população ao longo do Rio Ribeirão Grande, localizado no município de Pindamonhangaba, São Paulo.



Fonte: Prefeitura Municipal de Pindamonhangaba <http://jornaltribunadonorte.net/noticias/acoes-da-prefeitura-buscam-melhores-condicoes-para-as-aguas-do-ribeirao-grande-e-do-piracuama/> 2019.

4.2 Etapa 1 – levantamento de dados

Os estudos realizados neste projeto foram divididos em duas etapas sendo que na primeira parte foi realizada no período de março a dezembro de 2020 com estudos de artigos, dissertação, apostilas, entre outros, sempre com a preocupação de ter base de dados confiáveis baseados em consultadas de órgãos federais, estaduais e municipais e em empresas do ramo. Para isso, as buscas se concentraram em sites com base científica pesquisados no Google acadêmico, Portal da CAPES, Scielo, entre outros.

4.3 Etapa 2 – local para instalar o protótipo

Na segunda parte foi escolher o local para fazer o protótipo do sistema e realizar os estudos quanto ao resíduo final e suas análises físicas, químicas e biológicas, funcionalidade e custo do sistema.

Antes de apresentar para a comunidade do bairro do ribeirão grande em Pindamonhangaba, São Paulo, o local escolhido para implantação do protótipo, figura 11, foi a chácara São João, Estrada Municipal Jesus Antônio de Miranda, nº 21.313 no bairro do Ribeirão Grande, Pindamonhangaba, São Paulo.

Figura 11. Local escolhido para implantação do sistema de fossa séptica biodigestora.



Fonte: Google Maps/ 2022.

4.4 Análises laboratoriais e levantamento das disposições de saneamento básico no local de instalação do protótipo

As amostras foram coletadas no local através de uma abertura na terceira caixa da biodigestora, onde foram colocadas em frascos cedidas pela empresa Quimbiol Serviços Ambientais e posteriormente armazenada em uma caixa térmica resfriada com gelo para fazer o transporte do material retirado, no mesmo dia em um prazo de três horas o material foi levado à empresa para realização das análises, neste dia, 25 de fevereiro de 2022, estava ensolarada com uma temperatura ambiente em torno de 28 °C.

Através do relatório de Ensaio nº. 1.503/22 - 0.0 Processo Comercial Nº. 189/2022 os ensaios laboratoriais foram realizados através do método SMWM: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* e *Environmental Protection Agency*.

A prefeitura de Pindamonhangaba, através das secretarias da Saúde, com apoio da Vigilância Sanitária, Habitação e Meio Ambiente, procura soluções para melhorar as condições para as águas do Ribeirão Grande, visto que esse problema crônico vem se arrastando ao longo tempo.

As pessoas que frequentam o bairro do Ribeirão Grande convivem com a contaminação das águas, conforme os últimos dados realizados em 2019 pela CETESB, onde se constatou que nos 22 dos 44 relatórios analisados, as águas foram classificadas como impróprias. Desde 2015 a análise é feita semanalmente e quase sempre é classificada como imprópria devido a contaminação por causa do esgoto jogado direto no corpo hídrico pelos moradores. Uma outra preocupação são as fossas feitas inadequadamente, possibilitando a infiltração no solo e contaminando o lençol freático superficial (PREFEITURA DE PINDAMONHANGABA, 2019).

Segundo os dados informados pelo Plano Diretor Municipal de Pindamonhangaba, há uma aglomeração populacional localizada na área da APA Federal da Serra da Mantiqueira, como nos Núcleos Rurubanos: Piracuama, Oliveiras e **Ribeirão Grande**. No levantamento feito pelo Programa da Saúde da Família nos bairros Massaim, Cruz Pequena, Cruz Grande, Colméia, Buraqueira, Rola, Pinga, Tetequera, Graminha, Nogueiras, **Ribeirão Grande** e das Bicas; foi verificado que essa região é ocupada por 545 famílias, sendo que 171 tem acesso a água tratada da rede pública operada pela SABESP. As demais famílias, 374, utilizam de fontes naturais, nascentes ou poços rasos para terem acesso a água, sendo que a construção e operação do sistema são feitas por conta dos próprios moradores e não contam com qualquer tipo de tratamento da água captada, onde alguns moradores do bairro do Ribeirão Grande se enquadram (PLANSAN 123, 2011).

A implantação de um sistema de esgotamento sanitário e considerando que este sistema seja uma alternativa eficaz, barata e que não haja manutenção para retirada do lodo por caminhão “limpa fossa”, conforme exposto por Galindo et al. (2010), servirá para evitar a contaminação do lençol freático, riachos, e rios, reduzindo a proliferação de doenças causadas pelas águas de consumo poluídas.

O trabalho foi projetado para atender as necessidades da população rural do bairro do Ribeirão Grande na cidade de Pindamonhangaba, estado de São Paulo. Foi observado que no local específico não há tratamento de esgoto por órgão público e a maioria das pessoas utilizam-se de fossa rudimentar (fossa negra), diante disto os estudos concentraram em obter um sistema que fosse mais adequado para aquela situação, uma vez que no projeto tem como objetivo a conscientização da contaminação da água de uso pessoal em geral, sendo ela para banho, beber,

limpeza e outros meios de contato. Para isso, a preocupação é no sentido de diminuir a contaminação, incentivar a educação ambiental e o custo para execução do projeto comparada com as caixas de PVC conforme ilustrado na figura 12.

A primeira parte da pesquisa foi realizada no período de março a dezembro de 2020, com estudos de artigos, dissertação, apostilas, entre outros, sempre com a preocupação de ter dados confiáveis e para isso a consulta em rede social como a internet foi baseada em órgãos federais e estaduais em empresas do ramo. As buscas pelas referências se concentraram no Google acadêmico.

Na segunda parte foi escolher o local para fazer o protótipo do sistema e realizar os estudos quanto ao resíduo final e suas análises físicas e químicas, funcionalidade e custo do sistema antes de apresentar para a comunidade do bairro do ribeirão grande em Pindamonhangaba, São Paulo. O local escolhido para implantação do protótipo foi a chácara São João, Estrada Municipal Jesus Antônio de Miranda no bairro do Ribeirão Grande, Pindamonhangaba, São Paulo de propriedade de Ivair Marcos da Silva.

4.5 Protótipo das fossas sépticas biodigestoras

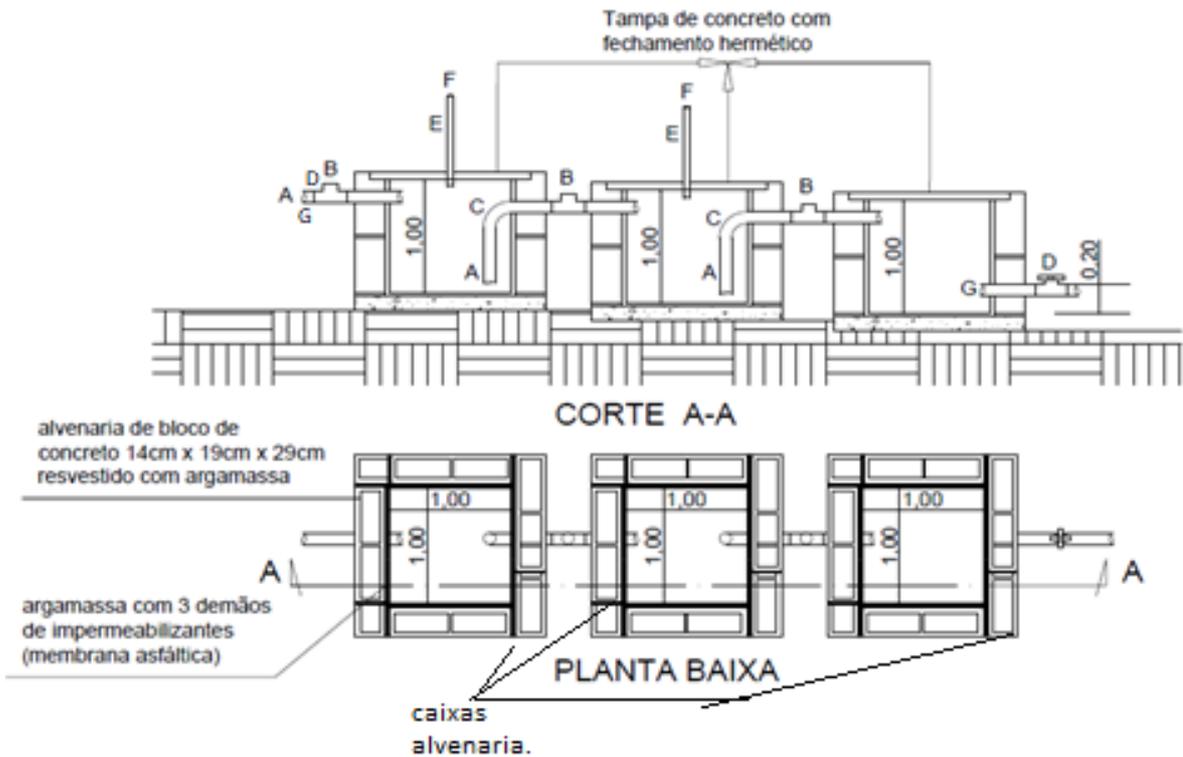
Foi construído um protótipo (Figura 12) para observar e recolher o efluente, para depois realizar as análises. Contou com três caixas de alvenaria de bloco de concreto nas dimensões de 1,00m x 1,00m x 1,00m, assentadas com argamassa de cimento e areia no traço de 1:4, ou seja, uma parte de cimento para quatro partes de areia; revestidas interna e externamente com chapisco, emboço e reboco. O chapisco foi no traço 1:2 (cimento e areia média), emboço 1:4 (cimento e areia média) e reboco 1:3 (cimento e areia fina), evitando o uso da cal na composição para não haver interferência no processo, pois a cal age como poderoso bactericida podendo alterar o processo e podem matar os micro-organismos que fazem a decomposição do esgoto e posteriormente, impermeabilizadas com membrana asfáltica em três demãos.

As bases e as tampas do sistema serão de concreto armado, a tampas da primeira caixa terá uma abertura para fazer a captação do material, para a segunda e terceira caixa não será necessário a abertura, pois o material final recolhido só foi feita na terceira caixa com um registro para sua retirada, as laterais das tampas foram vedadas com argamassa de cimento e areia e impermeabilizada com membrana asfáltica a fria.

A alimentação das caixas foi feita com tubulação de PVC de 100 mm, conforme os detalhes construtivos apresentados na figura 14.

Foram colhidas amostras para análises e levantamento de dados durante todo o processo da fossa séptica biodigestora. Foram obtidos resultados para DBO, P total, N total, NTK, pH, *Escherichia coli* e Coliformes Totais.

Figura 12. Esquema de distribuição das caixas do protótipo de um sistema biodigestor.



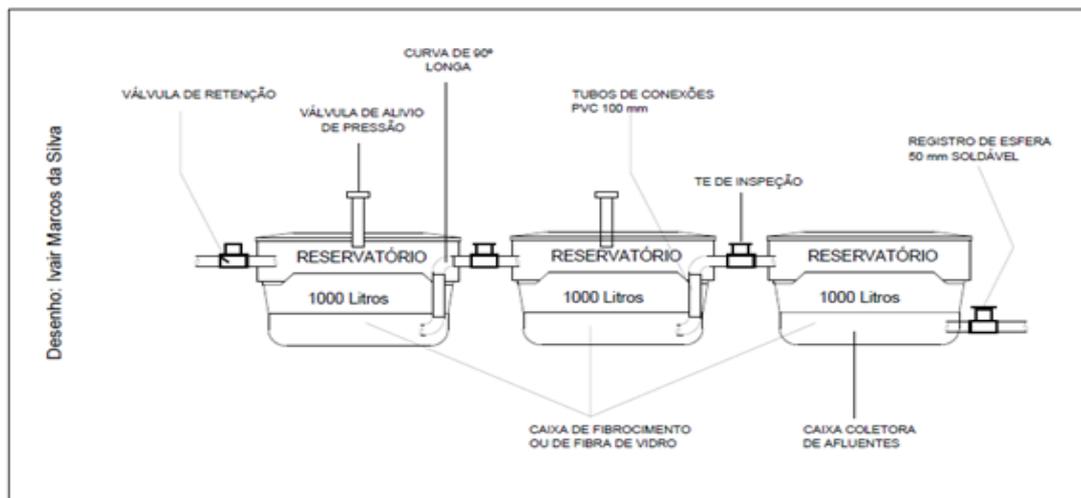
Fonte: Galindo et al. (2010) – adaptado pelo autor.

A tabela 3 fornece o material utilizado para construção do protótipo.

Tabela 3. Material utilizado para construção do protótipo da fossa séptica (para análises).

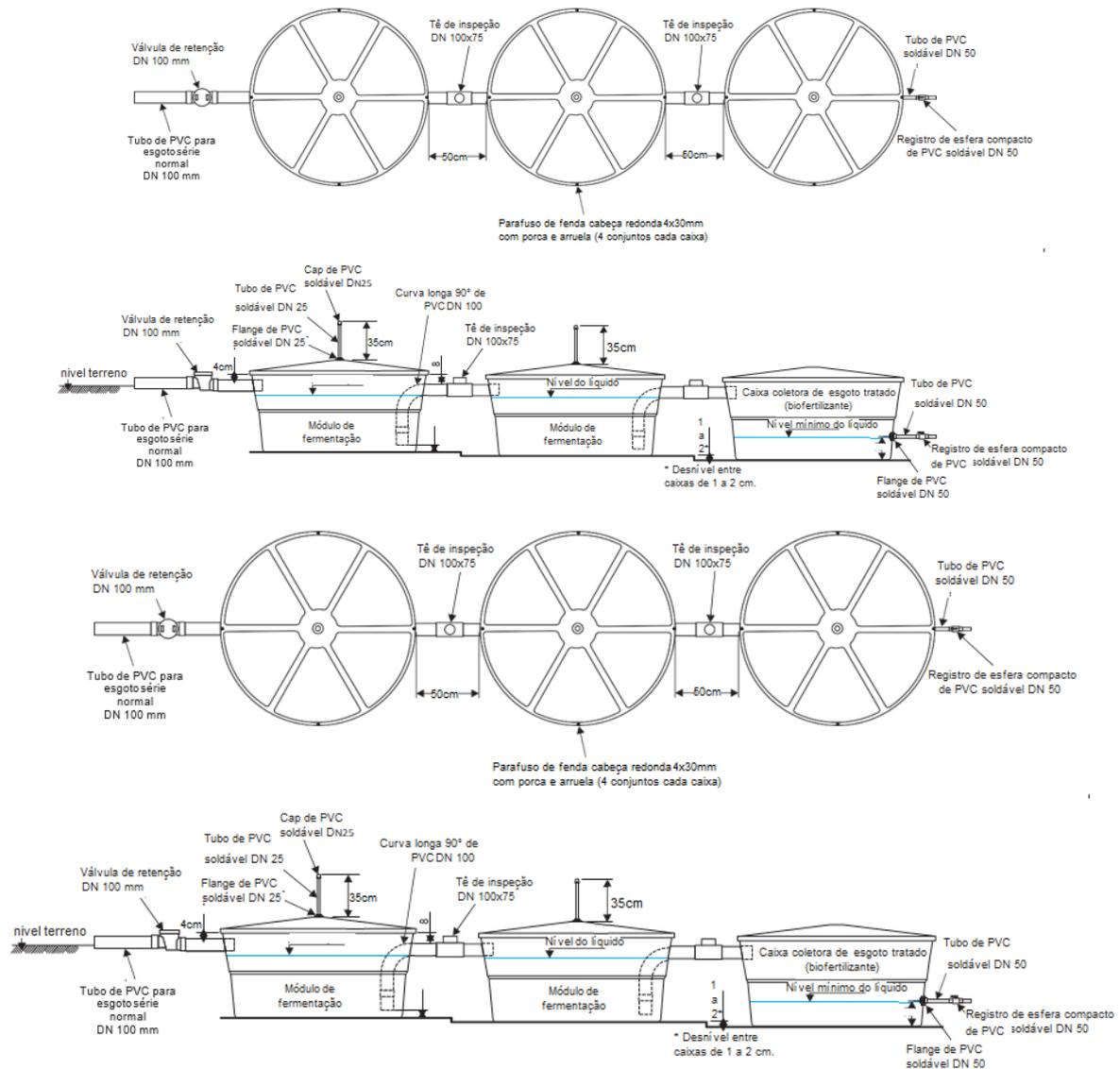
Material	Quantidade	Unidade
Caixa de alvenaria item 4.3	03	peças
A - Tubo de PVC DN 100 (100 mm) para esgoto	2	barras
B - T de PVC DN 100 (100 mm)	02	peças
C - Curva 90° longa de PVC DN 100 (100 mm)	03	peças
D - Cap de PVC DN 100 (100 mm)	01	peça
E - Tubo de PVC DN 25 (25mm)	01	barra
F - Cap de PVC DN 25 (25 mm)	02	Peças
G - Válvula de retenção DN 100 (100mm)	01	peça
H - Registro de gaveta	01	tubo
Adesivo para PVC		
Impermeabilizante flexível (membrana asfáltica)	20	litros
Cimento saco de 50 kg	05	sacos
Areia média	1	m ³
Brita 1	0,5	m ³

Para implantação do sistema de fossa séptica biodigestora para uma residência de até cinco pessoas, como descrito por Galindo et al. (2010), segue o esquema de distribuição das caixas na Figura 13. E os detalhes de conexões conforme ilustrado na Figura 12 por Silva et al. (2017).

Figura 13. Esquema de distribuição das caixas de um sistema biodigestor.

Fonte: Galindo et al. (2010) – adaptado autor.

Figura 14. Detalhe das conexões de instalação de um sistema biodigestor.



Fonte: SILVA et al. (2017)

A figura 13 demonstra como ficaram distribuídas as caixas para realização do sistema de biodigestor, conforme especificado por Galindo et al. (2010). O esquema constou com 03 caixas de 1000 litros alinhadas e ligadas entre si por dispositivos de canos, válvulas e conexões de policloreto de vinila (PVC) (GALINDO et al., 2010).

Na figura 14 Silva et al. (2017) destacaram os detalhes dos materiais que foram usados no sistema da Fossa Séptica Biodigestora, onde pode-se observar os detalhes:

- Tubo para esgoto DN 100mm;
- Válvula de retenção DN 100mm;
- Tubo de esgoto DN100 mm, distante 4 cm da parte superior na entrada da caixa 01;

- Caixa d'água de 1.000 litros (módulo de fermentação) adaptada com um flange de PVC soldável DN 25mm, tubo de PVC soldável DN 25mm de 35 cm e um cap de PVC soldável DN 25mm;
- Curva longa 90° de PVC DN 100mm, distante de 7cm do fundo e 8 cm na saída da caixa 01;
- TÊ de inspeção de PVC DN 100x75mm, com prolongamento de tubo de esgoto DN 100mm e mantendo a altura de 8 cm na entrada da caixa 02;
- Caixa d'água de 1.000 litros (módulo de fermentação) adaptada com um flange de PVC soldável DN 25mm, tubo de PVC soldável DN 25mm de 35 cm e um cap de PVC soldável DN25mm;
- Curva longa 90° de PVC DN 100mm, distante de 7cm do fundo e 8 cm na saída da caixa 02;
- TÊ de inspeção de PVC DN 100x75mm, com prolongamento de tubo de esgoto DN 100mm e mantendo a altura de 8 cm na entrada da caixa 03; e
- Caixa d'água de 1.000 litros (caixa coletora de esgoto tratado - biofertilizante), adaptada com um flange de PVC soldável DN 50 mm, tubo de PVC soldável DN 50 mm, e um registro de esfera composto de PVC soldável DN 50 mm, colocado a 20 cm do fundo da caixa.

4.6 Análise laboratorial

4.6.1 Análises físicas e químicas

Para este projeto as análises efetuadas, conforme o Índice de Qualidade das Águas (IQA), foram: Demanda Bioquímica de oxigênio (DBO); fósforo total (Ptotal); nitrogênio total (N total), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), pH, *E. coli* e Coliformes Totais (ANA, 2013).

Para os parâmetros inorgânicos como a Demanda Bioquímica de Oxigênio foi utilizado o método SMWW5210B, Demanda Química de Oxigênio foi utilizada SMWW 5220D, Fósforo Total o método SMWW4500 P E, o Nitrogênio Total e o Nitrogênio Total Kjeldahl foram utilizados o método de ensaio laboratorial EPA 351.3. O potencial Hidrogeniônico foi analisado através do método de ensaio laboratorial conforme ABNT NBR 9.251:1986. As análises microbiológicas foram obtidas a concentração de *Escherichia coli* e Coliformes Totais, para esses parâmetros o método utilizado foi o SMWW 9221 B, E e F.

A análise da DBO consistiu em verificar se houve uma eficiência na redução de matéria orgânica, pois a DBO elevada significa um maior consumo da matéria orgânica do sistema FSB.

O pH dentro dos padrões entre 4,0 e 9,5, mantém a sobrevivência das bactérias que são responsáveis pelo tratamento do resíduo líquido.

O nitrogênio é um fator importante na adubação, pois sua função é de nutrir as plantas e auxilia no seu desenvolvimento, com isso o efluente de esgoto tratado gerado na fossa séptica biodigestora (FSB) é um biofertilizante que pode ajudar os pequenos produtores em suas lavouras, podendo substituir a aplicação do nitrogênio sintético na adubação.

Saber a concentração de fósforo proveniente do efluente gerado no resíduo da fossa Séptica Biodigestora (FSB) é muito importante, pois uma elevada concentração pode eutrofizar o corpo hídrico com o crescimento de nutrientes, fósforo e nitrogênio, produzindo uma grande quantidade de organismos como algas e com isso diminuindo a quantidade de oxigênio da água.

Resolução do CONAMA n. 20, de 18 de junho de 1986, Artigo I, parágrafo IV – classifica à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras como classe 3, onde o número de coliformes fecais até 4.000 por 100 mililitros em 80%, com o índice limite de até 20.000 coliformes totais por 100 mililitros em 80%.

Essas condições são essenciais para a manipulação do fertilizante proveniente do resíduo da FSB, tomando todo cuidado com o uso e contato, utilizando luvas, máscaras, botas e demais cuidados, pois ainda a prevenção é a melhor maneira de evitar contaminação da saúde humana.

4.6.2 Análises microbiológicas

Segundo Silva et al. (2017), a biodigestão anaeróbia ocorre em um processo microbiológico decorrente de uma série de microrganismos, que sem a presença de ar, agem na transformação da matéria orgânica. Nesse processo ocorre uma transformação das estruturas das moléculas mais complexas para uma estrutura mais simples. O resultado da biodigestão anaeróbia das fezes é a produção de biogás e um líquido clarificado estabilizado química e microbiologicamente no final do sistema da fossa séptica biodigestora. Essa redução da concentração de coliformes no efluente faz com que o produto seja indicado para irrigação.

Coliformes termotolerantes – são bactérias encontradas nas fezes humanas e de animais homeotérmicos, estão nos solos, plantas, entre outras, que não foram contaminadas pelas fezes. *Escherichia coli* (*E. coli*) – são coliformes termotolerantes que ocorre em grandes densidades provenientes do intestino humano e de animais homeotérmicos (SANEPAR, 2013).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Comparações dos custos entre as fossas

Quanto ao custo de execução do sistema da fossa séptica biodigestora o orçamento comparativo entre um sistema feito com três caixas d'água de PVC com capacidade de mil litros cada e outro sistema executado com alvenaria de vedação, é fundamental para a escolha do processo economicamente mais barato. Diante do exposto foi feito um orçamento comparativo e o resultado baseado na composição de preço SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices e TCPO - Tabela de Composições e Preços para Orçamentos. Para os itens comuns entre os dois sistemas como escavação manual do solo e apiloamento do fundo da vala foi considerado os custos iguais.

5.2 Análises laboratoriais

A Tabela 4 fornece os valores obtidos relacionados aos parâmetros físicos e químicos. Tabela 4 Parâmetros físicos e químicos empregados para a determinação da eficiência do tratamento dos resíduos da fossa séptica biodigestora.

DADOS REFERENTES À COLETA									
Nº da Amostra:	1503/22		Tipo da Amostra:	Água Residual					
Identificação do Ponto:	Fossa Biodigestor								
Data Coleta:	25/02/2022	Hora:	09:10	Recebimento Laboratório:	25/02/2022	Hora:	14:44	Data Emissão:	09/03/2022
Coletor:	COLETA (CLIENTE)						RG:	-	
ENSAIOS DE LABORATÓRIO									
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência		Resultado		
					CONAMA 430 - Art. 16				
INORGÂNICO(S)									
Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias à 20°C)	mg/L	2,0	SMWW 5210B	26/02/22	60% Redução		70		
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O2	26,0	SMWW 5220D	26/02/22	-		181,0		
Fósforo Total	mg/L	0,020	SMWW 4500 P E	09/03/22	-		2,022		
Nitrogênio Total	mg/L	2,4	EPA 351.3	09/03/22	-		109,1		
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L	2,4	EPA 351.3	09/03/22	-		109,1		
MICROBIOLÓGICOS									
Coliformes Totais	NMP/100mL	1,8	SMWW 9221 B, E e F	25/02/22	-		2500		
Escherichia coli	NMP/100mL	1,8	SMWW 9221 B, E e F	25/02/22	-		2500		

Legendas

(-): Não Aplicável.

(*): Vide Observações.

L.Q.: Limite de Quantificação.

Norma(s) Técnica(s) do(s) Método(s) utilizado(s):

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas - . .

EPA: Environmental Protection Agency - 05 - 2014.

SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 23ª - 2017.

Fonte: Quimbiol Serviços Ambientais - Relatório de Ensaio N°. 1.503/22 - 0.0 Processo Comercial N°. 189/2022.1

5.2.1 Resultados das análises físicas e químicas

Os resultados das análises do sistema da fossa séptica biodigestora demonstraram que as variáveis se encontram dentro da faixa de valor estabelecidos para o lançamento do efluente, conforme CONAMA n. 430 - Art. 16 para os parâmetros inorgânicos e microbiológicos.

O pH Potencial Hidrogeniônico realizado de acordo com ABNT NBR 9251:1986 em 04/03/22, coletado na última caixa encontra na faixa de 7,88, ou seja, dentro do padrão estipulada pela Resolução CONAMA n. 430 de 13/05/2011, que é entre 5 a 9. Com o indicativo dos valores de pH dentro da faixa estabelecida pela resolução, o crescimento de microrganismos que se alimentam de matéria orgânica na ausência de oxigênio não será afetado. Segundo Metcalf & Eddy (1991), os padrões do pH entre 4,0 e 9,5 mantém a sobrevivência das bactérias que são responsáveis pelo tratamento do resíduo líquido.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio de acordo com a resolução do CONAMA 430, Art. 16 a redução deve estar em 60%, o resultado analisado da DBO (5 dias à 20°C), teve uma redução de 70%, sendo assim houve uma eficiência na redução de matéria orgânica, pois a DBO elevada significa um maior consumo da matéria orgânica do sistema FSB.

De acordo com CETESB, Apêndice e Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem, no Brasil os resíduos provenientes dos esgotos sanitários tem uma concentração de fósforo total na faixa de 6 a 10 mgP/l, para a amostra apresentada o resultado final da amostra apresentou uma concentração de 2,022 mg/l, ou seja, dentro da faixa estipulada na resolução CONAMA.

Nitrogênio total, fator importante na adubação apresentou resultados satisfatórios com alta concentração 109,1 mg/l.

Atendendo a Resolução do CONAMA N° 20, DE 18 DE JUNHO DE 1986, Artigo I, parágrafo IV – classifica à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras como classe 3, o resultado apresentado para o descarte está dentro da faixa para adubação onde o número de coliformes fecais até 4.000 por 100 mililitros.

5.2.2 Resultados das análises microbiológicas

Os valores de *E. coli* e de Coliformes Totais coletado no efluente na última caixa apresentou 2.500 coliformes termotolerantes por 100 mililitros, conforme a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, Art. 16, §1, alínea g, o limite apropriado é de 4000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais, neste caso apesar das

amostras apresentarem padrões aceitáveis é necessário uma atenção em manusear o resíduo para fins de adubação de plantas arbóreas, visto que a contaminação é um risco eminente. Tal procedimento deve ser feito com equipamentos de proteção individual (EPI), como luvas, máscaras, botas, entre outras que se acharem necessários, garantido assim a segurança do usuário e de sua família.

Vale a pena mencionar que o uso mais adequado e seguro seria a infiltração do resíduo através de valas, acrescido de um plantio de bananeiras ao entorno das valas para servir de nutrientes para as plantas e evitar o contato das pessoas e animais com a água proveniente da FSB, evitando desta forma a disseminação de doenças causadas pelo contato com o resíduo.

5.3 Resultados de custo dos sistemas

Quanto ao custo de execução do sistema da fossa séptica biodigestora o orçamento comparativo entre um sistema feito com três caixas d'água de PVC com capacidade de mil litros cada e outro sistema executado com alvenaria de vedação, é fundamental para a escolha do processo economicamente mais barato. Diante do exposto foi feito um orçamento comparativo e o resultado baseado na composição de preço SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices e TCPO - Tabela de Composições e Preços para Orçamentos. Para os itens comuns entre os dois sistemas como escavação manual do solo e apiloamento do fundo da vala foi considerado os custos iguais.

Os levantamentos de custos do sistema de fossa séptica biodigestora em alvenaria custou R\$ 3.306,48, em contrapartida o custo do sistema feito em caixa d'água em polietileno de 1.000 litros com tampa ficou em R\$ 1.920,28.

Com tudo levando em consideração da FSB em alvenaria poderia ter seu custo menor se levarmos em conta se a mão de obra fosse feita sem custo em regime de mutirão ou feita pelo próprio proprietário. Outro caminho para baratear o custo da fossa FSB em alvenaria utilizar o princípio dos 3R's, neste caso a reutilização dos materiais de sobra de obras.

6 CONCLUSÃO

O sistema apresentou um resultado satisfatório de acordo com as análises, pois demonstraram que as variáveis para os parâmetros inorgânicos e microbiológicos ficaram dentro do padrão de valores estabelecidos pela Resolução do CONAMA nº 430, no Art. 16. Com isso o processo da Fossa Séptica Biodigestora (FSB) proveniente do vaso sanitário acrescido de esterco bovino foi significativo para os resultados apresentados. Quanto aos coliformes termotolerantes amostras apresentarem padrões aceitáveis .

Com relação à comparação do custo de uma fossa séptica biodigestora feita com três caixas em alvenaria e uma outra utilizando três caixas d'água, ambas com capacidade de 1.000 litros cada, fica evidente que a FSB construída com caixa d'água comercial fica mais barata e mais rápida sua execução.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. **Um em cada dez domicílios no Brasil joga esgoto na natureza.** Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2020-05/um-em-cada-dez-domicilios-no-brasil-joga-esgoto-na-natureza>>. Acesso em: 19 jun. 2022.

ANA Agência Nacional de Águas. **Índice de Qualidade das Águas 2013.** Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 23 de jun. de 2022.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 13969.** Tanques sépticos. Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, p. 60. 1997.

BRASIL. Ministério das Cidades, S. N. DE S. A. **Plano Nacional de Saneamento Básico.** Disponível em: http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/plansab_06-12-2013.pd, 2014. Acesso em: 17 jun. 2022.

BRASIL, Presidência da República Casa Civil Subchefia para **Assuntos Jurídicos**, Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/L11445compilado.htm. Acesso em: 17 jun. 2022.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2018.**

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430**, de 13 de maio de 2011.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 20**, de 18 de junho de 1986.

CONAMA -Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005.

COSTA, Cinthia Cabral da; GUILHOTO, Joaquim José Martins. Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestora. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, p. 51-60, 2014.

EMBRAPA. Tecnologia social, fossa séptica biodigestora: **Saúde e renda no campo**. Brasília: Fundação Banco do Brasil, 2010.

FAUSTINO, A. S. **Estudos físico-químicos do efluente produzido por fossa séptica biodigestora e o impacto do seu uso no solo**. 2007. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007

FERREIRA, Arthur Pate de Souza; SZWARCOWALD, Célia Landmann; DAMACENA, Giseli Nogueira. **Prevalência e fatores associados da obesidade na população brasileira: estudo com dados aferidos da Pesquisa Nacional de Saúde**, 2013. Revista brasileira de epidemiologia, v. 22, 2019.

FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles; MIYAZAKI, Caroline Kimie; MADRID, Francisco José Peña y Lillo; DUARTE, Natália Cangussu; MAGALHÃES, Taína Martins; TONETTI, Adriano Riano Luiz. Fossa absorvente ou rudimentar aplicada ao saneamento rural: solução adequada ou alternativa precária? **Revista Dae**, [S.L.], v. 67, n. 220, p. 87-99, 2019. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2019.057>. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_220_n_1820.pdf. Acesso em: 05 jul. 2022.

FUNASA. **Panorama do Saneamento Rural no Brasil** - Fundação Nacional de Saúde, 2017. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/panorama-do-saneamento-rural-no-brasil>>. Acesso em 17 jun.2022.

FUNASA. **Manual de saneamento**. 4 ed. Brasília: Funasa, 2016. 645p.

GALINDO, N.; DA SILVA, W.T.L.; NOVAES, A.P.; GODOY, L.A.; SOARES, M.T.S.;

GALVANI, F. (2010). **Perguntas e respostas: fossa séptica biodigestora**. Série Documentos. N. 49. São Carlos: Embrapa

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2011). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/default.php>. Download. Estatísticas. Contas Nacionais. Sistemas de Contas Nacionais. 2008. Acesso em 01 jul. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico – IBGE, 2010 Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/30/84366>. Acesso em 03 jul. 2022.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Agenda 2030 - ODS – **Metas Nacionais dos objetivos de Desenvolvimento Sustentável** - Proposta de adequação. p. 502, 2018.

JENNY, E. **Doenças causadas pela poluição do solo**. eHow. 2013. Disponível em: <http://www.ehow.com.br/doencas-causadas-pela-poluicao-solo_lista_4625/#page=0> Acesso em: 22 jun. 2022.

JENNY, Carole et al. A avaliação de crianças na atenção primária quando há suspeita de abuso sexual. **Pediatria** , v. 132, n. 2, pág. e558-e567, 2013.

LEONEL, Leticia F.; MARTELLI, LF de A.; DA SILVA, Wilson Tadeu Lopes. Avaliação do efluente de fossa séptica biodigestora e jardim filtrado. In: **III Simpósio de Gestão de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais. São Pedro, São Paulo**. 2013.

MANAHAN, S. E. **Química Ambiental**. Tradução de: Félix Nonnenmacher. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013, p. 187 [adapt].

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P.; TCHOBANOGLIOUS, Georg. **Engenharia de águas residuais: tratamento, disposição e reutilização**. Nova York: McGraw-Hill, 1991.

OTENIO, M. H. et al. **Como montar e usar a fossa séptica modelo Embrapa**. In: Embrapa Gado de Leite. Brasília: [s.n.]. p. 46, 2014.

PINDAMONHANGABA - SP - 05/11/19 – **Ações da prefeitura buscam melhores condições para as águas do Ribeirão Grande e do Piracuama**. Disponível em: <<http://jornaltribunadonorte.net/noticias/acoes-da-prefeitura-buscam-melhores-condicoes-para-as-aguas-do-ribeirao-grande-e-do-piracuama/>>. Acesso em: 28 jun. 2022.

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - **População rural e urbana**. 2015. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html>>. Acesso em: 20/06/2022.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná: “**Projeto Sustentabilidade: da escola ao rio**”. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/cartilha_professor.pdf
Acesso em: 22 jun. 2022.

Saúde Amanhã - **O futuro da saúde no Brasil** – Censo 2020 - Disponível em: <<https://saudeamanha.fiocruz.br/censo-2020/#.YAg8P-hKjIU>>. Acesso em: 20/06/2022.

SILVA, Wilson Tadeu Lopes da. **Saneamento básico rural**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 68 p.; il. ; 11 cm x 15 cm. – (ABC da Agricultura Familiar, 37).

SILVA, W. T. L DA.; MARMO, C. R; LEONEL, L. F. **Memorial descritivo: montagem e operação da fossa séptica biodigestora**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2017. 27 p. (Embrapa Instrumentação. Documentos, ISSN 1518-7179; 59). Disponível em: Acesso em: 04/05/2022.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Minas Gerais: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1995. v. 1

TONETTI, Adriano Luiz; RESENDE, S.; FIQUEIREDO I. C. Sales. Saneamento rural: desafio que exige novas soluções. **Revista Dae**, [S.L.], v. 67, n. 220, p. 6-14, 2019. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2019.052>. Disponível em: <http://revistadae.com.br/site/artigos/220>. Acesso em: 25 jun. 2022.

TORRES, Dayana Melo; NASCIMENTO, S. S.; SOUZA, J. F.; FREIRE, J.O. Tratamento e efluentes e produção de água de reuso para fins agrícolas. **Holos**, [S.L.], v. 8, p. 1-15, 24 dez. 2019. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2019.9192>. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/download/9192/pdf>. Acesso em: 17 junho. 2022.

UNICEF- Fundo Internacional de Emergência das Nações Unidas para a Infância Crianças e jovens. **Brasileiros são vítimas invisíveis das desigualdades no acesso a saneamento**, publicado em 28 de Ago. 2020. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/criancas-e-jovens-brasileiros-sao-vitimas-invisiveis-das-desigualdades-no-acesso-a-saneamento/>. Acesso em: 01 de jul. de 2022.

UNICEF- Fundo Internacional de Emergência das Nações Unidas para a Infância Crianças e jovens UNICEF/WHO, **Diarrhoea: Why children are still dying and what can be done**, 2009.