

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

RENATA ANDRESSA FERRARI

ANÁLISE DA APLICABILIDADE DE SISTEMAS ALTERNATIVOS DE
SANEAMENTO RURAL E SEUS PARÂMETROS DE PROJETO CONSIDERANDO
VARIÁVEIS AMBIENTAIS E SOCIOCULTURAIS

Porto Alegre

2018

RENATA ANDRESSA FERRARI

ANÁLISE DA APLICABILIDADE DE SISTEMAS ALTERNATIVOS DE
SANEAMENTO RURAL E SEUS PARÂMETROS DE PROJETO CONSIDERANDO
VARIÁVEIS AMBIENTAIS E SOCIOCULTURAIS

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas e Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Antônio Domingues Benetti

Porto Alegre

2018

CIP - Catalogação na Publicação

Ferrari, RenataAndressa

Análise da aplicabilidade de sistemas alternativos de saneamento rural e seus parâmetros de projeto considerando variáveis ambientais e socioculturais / RenataAndressa Ferrari. -- 2018.

98 f.

Orientador: Antônio Domingues Benetti.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. Saneamento. 2. Efluentes domésticos. 3. Tratamento de águas negras. 4. Variáveis ambientais e socioculturais. 5. Zona rural. I. Domingues Benetti, Antônio, orient. II. Título.

RENATA ANDRESSA FERRARI

TÍTULO: ANÁLISE DA APLICABILIDADE DE SISTEMAS ALTERNATIVOS DE
SANEAMENTO RURAL E SEUS PARÂMETROS DE PROJETO CONSIDERANDO
VARIÁVEIS AMBIENTAIS E SOCIOCULTURAIS

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas e
Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovado em: Porto Alegre, 11 de dezembro de 2018.

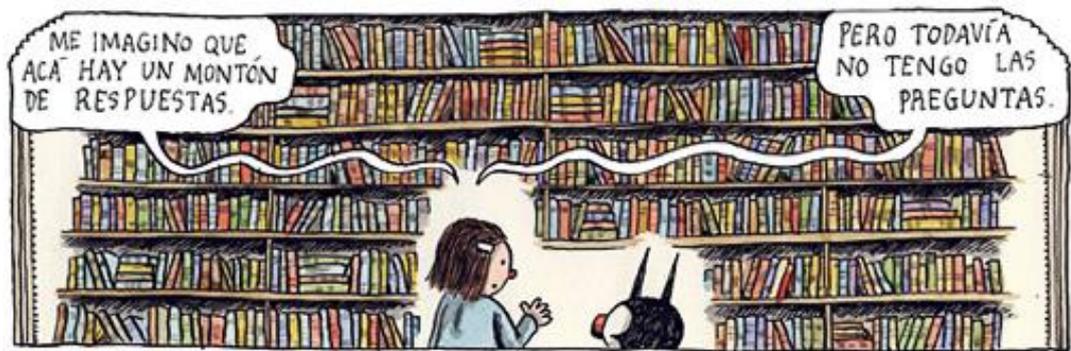
Prof^a. Dr Antônio Domingues Benetti (IPH/UFRGS)
PhD pela Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology
Orientador

Prof. Dr. Gino Roberto Gehling (IPH/UFRGS)
Dr. pela Universitat Politecnica de Catalunya
Examinador

Prof. Me. Daniel Brinckmann Teixeira (UERGS)
Me. pela Universidade de Santa Cruz do Sul
Examinador

Aos meus pais pelo incentivo e apoio

AGRADECIMENTOS



Liniers

A conclusão desta etapa vem repleta de honra e gratidão por ter compartilhado esta jornada com pessoas tão especiais e inspiradoras.

Agradeço ao professor Benetti, agradeço por todos os ensinamentos, orientações e por confiar em mim para a realização deste trabalho.

À banca deste trabalho, professor Gino e Daniel, agradeço pela disponibilidade e pelas contribuições para o aperfeiçoamento desta pesquisa.

Ao professor Fernando Fan, pelos ensinamentos, mas, mais do que isso, pela disponibilidade, pelas conversas e pelo chimarrão.

Agradeço ao Cnpq pela oportunidade de realizar intercâmbio durante a graduação e ao professor Anas Ghadouani pelas aulas inspiradoras e por me apresentar ao mundo do saneamento de uma maneira ímpar.

Ao pessoal do SASB, professor Dieter, Janaína, Filipe, Alice, Lígia, Ian, Monique, Renata, Kléber, Isadora, Eduarda, Fabi, Bruno, Édina, Marília, pela oportunidade de compartilhar tantos aprendizados, momentos e viagens que foram inspiradores e fundamentais para a construção deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, por todo carinho, por compreenderem minhas ausências, pelo incentivo e priorização do estudo e da educação desde criança e por se manterem presentes, mesmo quando longe. Tenho vocês como maiores exemplos.

Agradeço à minha grande amiga Natana, pelo apoio e pelo consolo nas horas de desespero. Ao Alexandre, pelo auxílio incansável, pelo amparo, por acreditar em mim e no meu trabalho e pela correção da gramática. Agradeço ao meu irmão Lucas pela parceria e conversas e por dividir o sonho de um mundo mais igualitário e sustentável.

Aos meus amigos da faculdade, Paula, Bernardo, Ana, Clarissa, Duda, Nicole, Aline, Gustavo, Luísa, (...) vocês deixaram essa caminhada muito mais leve e divertida. O que compartilhamos nestes anos todos criou um laço que vai permanecer na memória.

Por fim, agradeço àqueles que, mesmo não citados aqui, também participaram desde trabalho ou, de alguma forma me apoiaram.

RESUMO

Este trabalho versa sobre os sistemas de tratamento de águas negras denominados fossa séptica biodigestora, tanque de evapotranspiração e banheiro seco. Primeiramente, a partir da revisão da literatura, foram descritos os métodos de funcionamento e os aspectos construtivos de cada sistema. Em seguida, foram expostas variáveis ambientais e socioculturais que influenciam na implementação e êxito dos mesmos. A fim de compilar estas informações, foi elaborada uma matriz que cruzou as informações dos sistemas e das análises de aplicabilidade. Constatou-se que cada sistema possui diferentes variáveis e cenários que influenciam de maneira mais significativa na sua aplicabilidade, utilização e dimensionamento. Visando expor os parâmetros de projeto e um pré-dimensionamento de cada sistema, foram escolhidos cenários nos quais cada qual pode ser aplicado. Conclui-se que são necessárias análises das condições ambientais e participação ativa da população para a escolha e manutenção de sistemas de esgotamento sanitário. Estudos contínuos são necessários para que sejam propostos dimensionamentos que garantam a eficiência e segurança dos sistemas, visto que foram constatadas inconsistências de dimensionamento.

Palavras-chave: Saneamento. Tratamento de águas negras. Zona rural. Variáveis ambientais.
Variáveis socioculturais.

ABSTRACT

This work focuses on three alternative systems to treat black water: biodigester septic tank, evapotranspiration tank and dry toilets. Firstly, based on the literature review, the methods of functioning and the constructive aspects of each system were described. Then, environmental and sociocultural variables that influence on the implementation and success of them were exposed. In order to compile this information, an array was elaborated that crossed the information of the systems and the analysis of applicability. It was found that each system has different variables and scenarios that influence more significantly on its applicability, utilization and sizing. In order to expose the design parameters and a pre-dimensioning of each system, scenarios were chosen in which each system can be applied. It was concluded that analyses of environmental conditions and active participation of the population are necessary for the choice and maintenance of sanitary sewage systems. Continuous studies are needed to propose dimensionations that ensure the efficiency and safety of the systems, since inconsistencies of dimensioning were found.

Keywords: Sanitation. Black Water Treatment. Rural area. Environmental variables.

Socio-cultural variables

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema das etapas do trabalho.....	16
Figura 2 - Esquema conceitual dos efeitos diretos e indiretos do abastecimento de água e do esgotamento sanitário sobre a saúde.....	20
Figura 3 – Fluxograma da separação do esgoto.....	24
Figura 4 – Fossa digestora da Embrapa.....	30
Figura 5 – Filtro na caixa coletora de efluente.....	31
Figura 6 – Corte transversal do tanque de evapotranspiração	34
Figura 7 – Ciclo da contaminação da matéria orgânica quebrado.....	36
Figura 8 – Alternativas de uso e manejo da urina coletada dos banheiros.....	37
Figura 9 – Recolhimento dos recipientes móveis cheios para a compostagem.....	37
Figura 10 – Sistema de banheiro seco pré-fabricado, do tipo Carrossel.....	38
Figura 11 – Sistema de banheiro seco com duas câmaras.	39
Figura 12 – Banheiro seco industrializado.....	39
Figura 13 – Modelos de banheiro seco de duas câmaras com rampa	69
Figura 14 – Desenho de banheiro com duas câmaras.....	69
Figura 15 – Vaso sanitário segregador.....	71
Figura 16 – Vaso sanitário tipo pedestal com separador de urinas e fezes.....	71
Figura 17 - Sistema de coleta de urina de uma residência.....	73
Figura 18 – Métodos de tratamento de águas cinzas.....	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação do relevo conforme declividade.....	45
Quadro 2 – Matriz de alternativas e variáveis.....	52
Quadro 3 – Cenário proposto para implementação do sistema de Fossa Séptica Biodigestora.....	55
Quadro 4 – Cenário proposto para implementação do sistema de Tanque de Evapotranspiração.....	59
Quadro 5 – Valores calculados de área superficial	64
Quadro 6 – Cenário proposto para implementação do sistema de Banheiro Seco.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Redução esperada em morbidade e mortalidade a partir de melhoras na qualidade da água e esgotamento sanitário.....	19
Tabela 2 – Níveis de atendimento de água e esgotos dos municípios cujos prestadores de serviços são participantes do SNIS em 2016, segundo região geográfica e Brasil.....	21
Tabela 3 – Número de municípios para cada principal alternativa individual de esgotamento sanitário adotado por Região geográfica e Brasil.....	21
Tabela 4 – Tipo de esgotamento sanitário no Rio Grande do Sul e no Brasil.....	22
Tabela 5 – Parâmetros de lançamento de efluentes líquidos conforme vazão do efluente.....	23
Tabela 6 – População atendida por tanques sépticos, fossas rudimentares e sua combinação em números absolutos e porcentagem por área urbana, rural e no Brasil.....	27
Tabela 7 – Taxa de evapotranspiração em função da temperatura média.....	32
Tabela 8 – Análise de coliformes totais e termotolerantes no efluente de uma fossa séptica biodigestor.....	58
Tabela 9 – Volume da câmara de recepção em função do número de contribuintes	61
Tabela 10 – Tempo de sobrevivência de patógenos, em dias, em diferentes condições de tratamento/disposição.....	75
Tabela 11 – Resultado de análise de coliformes totais e termotolerantes.....	76

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
2.	DIRETRIZES DA PESQUISA	17
2.1	QUESTÃO DE PESQUISA.....	17
2.2	OBJETIVOS DA PESQUISA.....	17
2.2.1	Objetivo Principal.....	17
2.2.2	Objetivos Secundários	17
2.3	DELIMITAÇÕES.....	18
2.4	LIMITAÇÕES.....	18
2.5	DELINEAMENTO.....	18
3.	METODOLOGIA	20
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
4.1	SANEAMENTO BÁSICO.....	21
4.1.1	Saneamento e a saúde pública	21
4.1.2	Panorama atual de coleta e tratamento de esgoto sanitário no RS	23
4.1.3	Legislação efluentes sanitários.....	25
4.1.4	O esgoto doméstico.....	26
4.1.4.1	Separação do esgoto: águas claras, cinzas e negras	27
4.2	GERENCIAMENTO DOS ESGOTOS SANITÁRIOS	28
5.	MÉTODOS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO.....	30
5.1.	FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA	31
5.1.1.	Aspectos construtivos	31
5.2.	TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	34
5.2.1.	Aspectos construtivos	35
5.3.	PRIVADA SECA	38
5.3.1.	Aspectos Construtivos	40
6.	VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM AS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	44
6.1	VARIÁVEIS AMBIENTAIS.....	44
6.1.1	Solo	45
6.1.2	Topografia	47
6.1.3	Pluviosidade e Evapotranspiração	48

6.1.4	Lençol freático	50
6.2	VARIÁVEIS SOCIOCULTURAIS	51
6.2.1	Isolamento da residência	51
6.1.2	Interesse no reuso de nutrientes e energia	52
6.2.3	Aceitação da população	53
6.2.4	Manutenção	53
6.3	MATRIZ DE ALTERNATIVAS E VARIÁVEIS	55
7.	CRITÉRIOS DE PROJETO	58
7.1	FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA	58
7.1.1.	Cenário Considerados	58
7.1.2	Dimensionamento do volume da fossa séptica biodigestora	59
7.1.3	Considerações de projeto	60
7.1.4	Qualidade do efluente	60
7.2	TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO	61
7.2.1	Cenário Considerado	62
7.2.2	Dimensionamento do Tanque	62
7.2.2.1	Câmara anaeróbia.....	63
7.2.2.1.1	NBR 7.229/1993.....	63
7.2.2.1.2	Revisão bibliográfica.....	64
7.2.2.2	Área do canteiro	65
7.2.2.2.1	Gabialti (2009)	65
7.2.2.2.2	Ercole (2003).....	66
7.2.2.2.3	Vieira (2010)	67
7.2.2.3	Filtro.....	68
7.2.2.3.1	NBR 13.969/1997.....	68
7.2.2.3.2	Revisão bibliográfica.....	69
7.2.2.3.3	Altura das camadas filtrantes	69
7.2.3	Considerações de projeto	69
7.2.4	Utilização dos nutrientes	70
7.3	BANHEIRO SECO	70
7.3.1	Cenário Considerado	70
7.3.2	Parâmetros de projeto	71
7.3.2.1	Estrutura	72
7.3.2.2	Bacia segregadora	73

7.3.2.3	Coleta de urina	75
7.3.2.4	Coleta e armazenamento de fezes	76
7.3.2.5	Tubulação de ventilação.....	78
7.3.3	Qualidade do Material Compostado	78
8.	DISCUSSÃO.....	82
9.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
	REFERÊNCIAS	86
	ANEXO A – TABELAS ABNT	94
	NBR 7.229/1993.....	94
	NBR 13969/1997.....	95

1. INTRODUÇÃO

A universalização do saneamento básico, como preconiza a lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007, ainda é um desafio a ser alcançado no Brasil. As carências de serviços abrangem os quatro eixos do saneamento: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e manejo de águas pluviais. O esgotamento sanitário, no entanto, apresenta as menores porcentagens de atendimento e o mais longo caminho a ser percorrido para que se alcancem índices satisfatório (IBGE, 2011).

A situação global do esgotamento sanitário também merece destaque, segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2015), 2,5 bilhões de pessoas não possuem acesso a instalações sanitárias. No Brasil, mais de um milhão e meio (1.514.992) de domicílios não possui banheiro ou sanitário (IBGE, 2011).

O saneamento básico na zona rural apresenta índices ainda mais preocupantes que nas áreas urbanas. Conforme o censo demográfico de 2010 (IBGE,2010), 15,6% da população brasileira reside em zonas rurais. Dos domicílios particulares permanentes rurais somente 17% possuem rede geral de esgoto e fossa séptica.

Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNADC) no ano de 2017, 66% da população brasileira possuía rede de coleta de esgoto pluvial ou fossa ligada à rede, enquanto 30,3% utilizava fossa não ligada à rede (PNADC, 2017). Neste mesmo ano, 85,7% da população já era abastecida por rede geral de distribuição de água.

O lançamento de esgoto *in natura* em mananciais, a falta de coleta, tratamento e disposição de esgotos domésticos, de banheiros e sanitários gera sérios problemas de saúde pública e degradação de águas superficiais e subterrâneas, do solo e do ambiente em geral.

Diante deste cenário, é clara a necessidade de que sejam propostas técnicas e soluções para o tratamento de esgotos que sejam mais eficientes e que atendam às necessidades das propriedades mais isoladas na área rural. Para a garantia do sucesso e adesão por parte da comunidade rural, é imprescindível a análise da sustentabilidade econômica, ambiental e social. Ainda, a facilidade de execução, acessibilidade aos materiais, educação ambiental e padrões culturais devem ser levados em consideração na elaboração de projetos de saneamento.

Este trabalho visa propor soluções alternativas de esgotamento sanitário para comunidades rurais e avaliar sua possibilidade de execução considerando variáveis ambientais e socioculturais. Desta forma, as análises aqui propostas são um instrumento de grande valia para a tomada de decisões de políticas públicas no que tange a melhoria da qualidade de vida da população rural, do saneamento e do meio ambiente.

2. DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: Qual a influência de variáveis ambientais e socioculturais na escolha e implementação de tecnologias alternativas de tratamento de efluentes de habitações em áreas rurais e, considerando um determinado cenário, qual destas tecnologias seria mais apropriada?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

Este trabalho tem por objetivo estudar três diferentes alternativas de sistemas descentralizados para o tratamento de águas negras em zona rural não mecanizados, de baixo custo e sustentáveis e avaliar sua aplicabilidade considerando variáveis ambientais e socioculturais que condicionam e limitam sua utilização em diferentes cenários.

2.2.2 Objetivos Secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) Identificar três sistemas de tratamento de águas negras que possam ser utilizados para promoção de saneamento descentralizado em áreas rurais que sejam de baixo custo e fáceis de implementar e manter.
- b) Identificar as principais variáveis que limitam a aplicação dos sistemas escolhidos
- c) Elaborar uma matriz a partir do cruzamento dos dados dos sistemas e das variáveis, visando facilitar a escolha do modelo dentre os apresentados.
- d) Propor um pré-dimensionamento de cada sistema considerando sua implementação para uma determinada combinação de variáveis ambientais e socioculturais.

2.3 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao estudo de três sistemas de tratamento de águas negras de habitações da área rural e a aplicabilidade de cada um dos sistemas considerando variáveis ambientais e socioculturais.

2.4 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

a) com relação aos métodos de tratamento de efluentes:

-Será abordado somente o tratamento de águas negras;

-Serão considerados somente três métodos de tratamento de águas negras: Fossa Séptica Biodigestora, Tanque de Evapotranspiração e Banheiro Seco.

b) com relação às variáveis:

-Serão consideradas como variáveis ambientais: Condições de solo, topografia do terreno; pluviosidade e evapotranspiração e altura do lençol freático;

-Serão consideradas como variáveis socioculturais: Isolamento da residência, interesse no reuso de nutrientes, aspectos de utilização e manejo que influenciam na aceitação na residência e manutenção.

c) com relação ao dimensionamento dos sistemas:

-Será apresentada uma configuração de cada um dos três sistemas que mais se adequa ao cenário de variáveis ambientais e socioculturais proposto.

-O cenário de variáveis escolhidas para a proposta de parâmetros de projeto é hipotético.

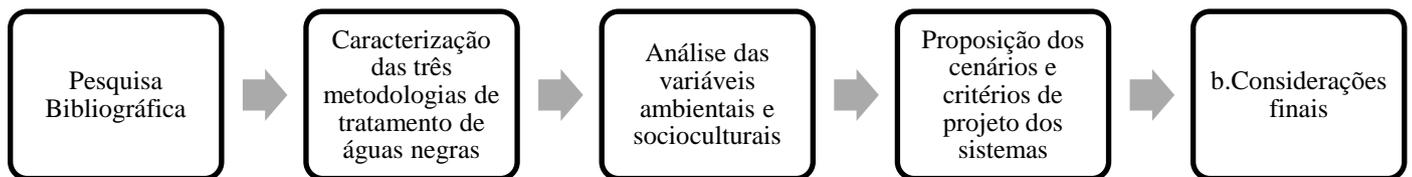
2.5 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas descritas a seguir, que estão representadas na figura 1, e descritas nos próximos parágrafos.

a. Pesquisa bibliográfica;

- b. Caracterização das três metodologias de tratamento de águas negras;
- c. Análise das variáveis ambientais e socioculturais;
- d. Proposição dos cenários e pré-dimensionamento dos sistemas;
- e. Considerações finais

Figura 1 - Esquema das etapas do trabalho



(Fonte: Elaborado pela autora)

O trabalho foi elaborado baseando-se em revisão de literatura, pesquisa bibliográfica e estudo exploratório de publicações e trabalhos referentes a esgotamento sanitário e tratamentos descentralizados e sustentáveis. Nesta primeira etapa é apresentada uma introdução sobre o conceito e a importância do esgotamento sanitário para o meio ambiente e para a população.

Em seguida, serão apresentados três métodos de tratamento de águas negras, sua definição, peculiaridades, aspectos construtivos e detalhes.

Na próxima etapa, as variáveis ambientais e socioculturais serão caracterizadas e, para cada uma destas variáveis serão apresentadas as restrições com relação às metodologias propostas anteriormente. Estas ressalvas serão feitas ao longo do capítulo e posteriormente serão apresentadas em forma de matriz. Esta cruzará os dados apresentados até o momento, de maneira a facilitar sua apresentação.

A seguir, a partir de dados retirados da matriz elaborada previamente, serão propostos cenários fictícios, considerando todas as variáveis apresentadas, para apresentação dos parâmetros de projeto de cada uma das soluções apresentadas.

Com todas as etapas já realizadas, serão apresentadas as considerações finais, fazendo uma análise crítica do trabalho.

3. METODOLOGIA

O trabalho foi elaborado baseando-se em revisão de literatura e estudo exploratório de publicações e trabalhos referentes a esgotamento sanitário e tratamentos descentralizados e sustentáveis.

O estudo envolveu as etapas a seguir:

- i) Breve revisão da situação do saneamento básico e do esgotamento sanitário no Brasil e Rio Grande do Sul e sua correlação com a saúde pública;
- ii) Descrição do funcionamento das três soluções de esgotamento sanitário descentralizadas consideradas adequadas para tratamento de águas negras em residências de áreas rurais;
- iii) Identificação das principais variáveis influenciadoras na escolha dos métodos de tratamento apresentados e;
- iv) Elaboração de matriz de alternativas e variáveis;
- v) Escolha dos cenários para proposta de pré-dimensionamento de cada sistema.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 SANEAMENTO BÁSICO

Considera-se, conforme a Lei Federal nº 11.445 de 2007, a divisão do saneamento básico em quatro eixos: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Assim como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais para cada um destes eixos, eles também devem adotar métodos, técnicas e processos que consideram as peculiaridades locais e regionais. Como ferramenta para a implementação de políticas públicas relacionadas aos eixos do saneamento, foi elaborado, pelo Ministério das Cidades, o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANASAB) (BRASIL, 2013).

4.1.1 Saneamento e a saúde pública

O investimento em saneamento é estratégico por diversos aspectos: além de promover a manutenção ou restauração da qualidade ambiental, a população beneficiada tem uma melhoria na qualidade e condições de vida.

O saneamento é considerado uma das principais ferramentas de gestão pública de saúde, e aponta-se uma correlação direta entre o investimento em saneamento e a economia em saúde pública. Estima-se que a cada real gasto com saneamento são economizados quatro reais em saúde preventiva WHO (2015).

O efeito multiplicador do saneamento se dá com a implementação de sistemas de abastecimento de água potável e esgotamento sanitário, que geram impactos de longo prazo sobre a saúde pública mais expressivos do que os provocados por intervenções tradicionais da medicina (BRISCOE, 1987). O vínculo direto entre a falta de tratamento e disposição incorreta de esgotos sanitários com as diversas doenças de veiculação hídrica salienta sua importância. Dentre as doenças parasitárias e de veiculação hídrica relacionadas à falta de esgotamento sanitário, pode-se destacar “[...] ancilostomíase, ascariíase, amebíase, cólera, diarreia infecciosa, desintéria bacilar, esquistossomose, estrogiloidíase, febre tifoide, febre paratifoide, salmonelose, teníase e cisticercose.” (BRASIL, 2015). Dessa forma, fica evidente a importância do esgotamento sanitário como forma de melhorar a saúde e a qualidade de vida da população.

A Organização Mundial da Saúde ressalta que em países em desenvolvimento, cerca de metade da população será afetada, em algum período da vida, “por enfermidades ou doenças diretamente relacionadas com água não segura ou escassez de água, com saneamento inadequado ou inexistente, ou com uma inadequada gestão de recursos hídricos.” (WHO, 2016). Usualmente, as populações de países com maiores índices de desenvolvimento são atendidas por serviços e sistemas de saneamento e, em sua grande maioria, mais saudáveis (HELLER, 1998)

Esrey et al. (1991) revisaram a relação do impacto da melhoria do suprimento de água e esgotamento sanitário na redução de morbidade e severidade em doenças como ascaridíase, diarreia, dracunculose, ancilostomose, esquistossomose e tracoma.

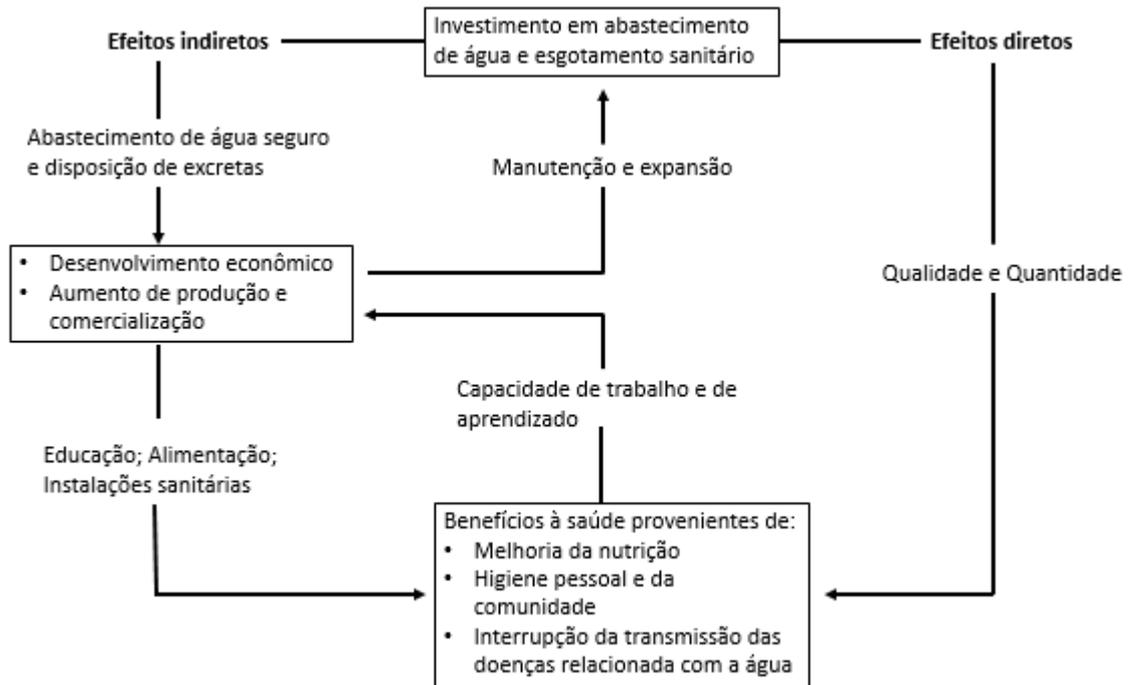
Tabela 1 - Redução esperada em morbidade e mortalidade a partir de melhoras na qualidade da água e esgotamento sanitário

	Todos os estudos		Estudos rigorosos	
	nº de estudos	Redução média (%)	nº de estudos	Redução média (%)
Ascaridíase	11	28 (0-83)	4	29 (15-83)
Diarreia				
Morbidade	49	22 (0-100)	19	26 (0-68)
Mortalidade	3	65 (43-79)	-	
Dracunculose	7	76 (37-98)	2	78 (75-81)
Ancilostomose	9	4 (0-100)	1	4
Esquistossomose	4	73 (59-87)	3	77 (59-87)
Tracoma	13	50 (0-91)	7	27 (0-79)
Mortalidade infantil	9	60 (0-82)	6	55 (20-82)

(Fonte: Adaptado pela autora de Esrey, et al., 1991)

A pesquisa de Cvjestanovic (1968) associa ao saneamento não somente questões de saúde pública, mas fatores sociais e econômicos que estão interligados. O esquema dos efeitos diretos e indiretos propostos pelo autor é apresentado na figura 2.

Figura 2 - Esquema conceitual dos efeitos diretos e indiretos do abastecimento de água e do esgotamento sanitário sobre a saúde



(Fonte: Adaptado pela autora de Cvjestanovic,1968)

4.1.2 Panorama atual de coleta e tratamento de esgoto sanitário no RS

Para a construção do panorama atual com relação aos serviços de esgotamento sanitário, foram retiradas informações do “Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2016”, que é um estudo divulgado anualmente pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades. Os dados provêm do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e são fornecidos por companhias estaduais, empresas e autarquias municipais, empresas privadas, e pelas próprias prefeituras.

As informações obtidas com relação ao esgotamento sanitário dizem respeito a um total de 4.084 municípios, que representa 73,3% do total de municípios do país, que abrigam 162,1 milhões de habitantes da zona urbana, o que representa 93,1% da população urbana do Brasil. Na tabela 2 são apresentados os índices de atendimento com rede e de tratamento de efluentes para o Brasil e cada região demográfica.

Tabela 2 – Níveis de atendimento de água e esgotos dos municípios cujos prestadores de serviços são participantes do SNIS em 2016, segundo região geográfica e Brasil.

Região	Índice de atendimento com rede (%)				Índice de tratamento dos esgotos (%)	
	Água		Esgoto		Esgotos gerados	Esgotos coletados
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total	Urbano
Norte	55,4	67,7	10,5	13,4	18,3	81
Nordeste	73,6	89,3	26,8	34,7	36,2	79,7
Sudeste	91,2	96,1	78,6	83,2	48,8	69
Sul	89,4	98,4	42,5	49	43,9	92,9
Centro-Oeste	89,7	97,7	51,5	56,7	52,6	92,1
Brasil	83,3	93	51,9	59,7	44,9	74,9

(Fonte: SNIS, 2016)

O Diagnóstico dos serviços de Saneamento - 2014 apresenta dados sobre soluções alternativas de saneamento em municípios que não possuem sistema público de coleta e/ou tratamento, ou seja, o sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário do município é feito através de soluções coletivas ou individuais. Neste ano, 1.698 municípios preencheram formulários simplificados para informações de esgotamento sanitário, com uma população total de 25.078.287 de habitantes. Na tabela 3 são apresentados os números de municípios e os métodos individuais utilizados por região geográfica e do Brasil. Um total de 120 municípios não respondeu qual a principal alternativa individual de esgotamento sanitário utilizado.

Tabela 3 - Número de municípios para cada principal alternativa individual de esgotamento sanitário adotado por Região geográfica e Brasil

Região	Principal alternativa individual de esgotamento sanitário					
	Fossa séptica e sumidouro	Fossa rudimentar	Valas a céu aberto	Lançamento em cursos d'água	Galerias de águas pluviais	Outros
Norte	115	73	4	1	0	4
Nordeste	344	87	43	33	38	14
Sudeste	25	15	0	28	6	0
Sul	482	80	3	0	22	4
Centro-Oeste	96	57	0	0	0	4
Brasil	1.062	312	50	62	66	26

(Fonte: SNIS, 2014)

No Rio Grande do Sul, de acordo com o Censo do IBGE de 2010, são contabilizados 8.621 domicílios sem acesso a banheiro ou sanitário. Dentre os que possuem banheiro ou sanitário, pelo menos 24% destes destinam os efluentes para fossas rudimentares, valas, rios, lagos, mar ou outros. Esse percentual sobe para 30% quando analisam-se os dados para o todo Brasil. É importante ressaltar que os dados de esgotamento sanitário do IBGE não diferem áreas urbanas de rurais.

A tabela 4 apresenta o número de domicílios que utiliza os diferentes métodos de destinação do esgoto sanitário, categorizando-os em domicílios com banheiro de uso exclusivo, com sanitário e sem banheiro ou sanitário. Os dados também são apresentados em porcentagem para a situação do Rio Grande do Sul e do Brasil.

Tabela 4 - Tipo de esgotamento sanitário no Rio Grande do Sul e no Brasil.

Tipo de esgotamento sanitário		Rio Grande do Sul	Porcentagem de domicílios por tipo de esgotamento no RS	Brasil	Porcentagem de domicílios por tipo de esgotamento no Brasil
Banheiro de uso exclusivo do domicílio	Rede geral de esgoto ou pluvial	1.723.410	48	31.484.558	54,98
	Fossa séptica	948.135	27	6.532.921	11,41
	Fossa rudimentar	729.811	20	12.955.832	22,63
	Vala	92.080	2,57	1.061.651	1,85
	Rio, lago ou mar	23.504	0,66	1.119.745	1,96
	Outro	11.107	0,31	348.089	0,61
Tinham sanitário	Rede geral de esgoto ou pluvial	8.165	0,23	302.308	0,53
	Fossa séptica	4.348	0,12	120.496	0,21
	Fossa rudimentar	13.426	0,38	1.064.798	1,86
	Vala	12.553	0,35	335.915	0,59
	Outro	830	0,02	409.766	0,72
Não tinham banheiro nem sanitário		8.621	0,24	1.524.992	2,66

(Fonte: Adaptado pela autora do Censo, 2010)

4.1.3 Legislação efluentes sanitários

No que se refere à legislação sobre efluentes sanitários, duas resoluções se destacam: as Resoluções CONAMA n° 357 e CONAMA n° 430, e a Resolução CONSEMA n° 355.

A Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005, estabelece a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. A Resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011 dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores complementando a anterior.

Já a Resolução CONSEMA n° 355/2017 dispõe sobre o lançamento de efluentes líquidos em corpos d'água superficiais. Para efluentes líquidos sanitários os parâmetros variam conforme as vazões conforme a tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros de lançamento de efluentes líquidos conforme vazão do efluente

Faixa de vazão do efluente (m³/d)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Coliformes Termotolerantes	
				NMP/ 100 mL	Eficiência
(1) Q < 200	120	330	140	-	-
(2) 200 ≤ Q < 500	100	300	100	10 ⁶	90%
(3) 500 ≤ Q < 1.000	80	260	80	10 ⁵	95%
(4) 1.000 ≤ Q < 2.000	70	200	70	10 ⁵	95%
(5) 2.000 ≤ Q < 10.000	60	180	60	10 ⁴	95%
(6) 10.000 ≤ Q	40	150	50	10 ³	95%

(Fonte: CONSEMA n° 355/2017)

4.1.4 O esgoto doméstico

O esgoto sanitário é definido pela resolução CONSEMA n° 245 de 2010 como “efluentes líquidos domésticos; despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas”. O volume gerado é considerado como parte do volume de água que é consumida pelas mesmas para fins de cálculo de cobrança pelas companhias de saneamento. Esta proporção é chamada de coeficiente de retorno e é padronizada pela NBR 9.649 (ABNT, 1986) como 80% quando não existem dados locais.

O esgoto doméstico é composto basicamente de água, no entanto os dejetos humanos aumentam sua carga orgânica, de nitrogênio e patógenos. Enquanto os efluentes oriundos de pias, tanques e chuveiros possuem produtos de limpeza, como sabões e detergentes, estes últimos contribuem principalmente com a carga de fósforo (JENSSEN, 2008).

4.1.4.1 Separação do esgoto: águas claras, cinzas e negras

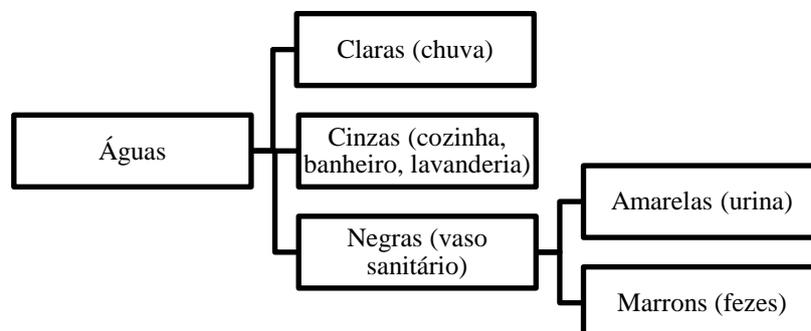
As águas residuárias geradas pelos domicílios têm características diferentes e são classificadas como águas claras, cinzas ou negras dependendo de sua origem.

A água proveniente das chuvas, que normalmente possui sólidos grosseiros e/ou sólidos em suspensão, são chamadas de águas claras. Estes sólidos podem ser facilmente removidos por gradeamento ou decantação, gerando águas de excelente qualidade para usos como descargas, lavagens de roupas, veículos, pátio, etc (ERCOLE, 2003).

As águas cinzas, por sua vez, são provenientes de chuveiros, pias, máquinas de lavar louça e roupa. Estas águas contêm produtos de limpeza e sólidos em suspensão como terra, fibras de tecidos, fios de cabelo e outros, bem como gorduras, graxas e óleos (ERCOLE, 2003). Estas águas compõem o maior volume de efluente gerado por uma residência (GALBIATI, 2009).

A água oriunda da descarga do vaso sanitário, contendo fezes e urina, logo, alta carga orgânica, é denominada água negra. O volume deste tipo de água gerado em uma residência é consideravelmente inferior ao volume gerado de águas cinzas. A separação das águas cinzas e negras é desejável para que não haja diluição da matéria orgânica nem comprometimento do tratamento biológico por contaminação com produtos químicos provenientes das águas cinzas. O tratamento de menor volume de efluente com maior carga orgânica é mais eficiente e necessita de equipamentos e áreas menores (ERCOLE, 2003; GALBIATI, 2009). As águas negras podem ser divididas em amarelas (urina) e marrons (fezes).

Figura 3 - Fluxograma da separação do esgoto



(Fonte: Elaborado pela autora)

4.2 GERENCIAMENTO DOS ESGOTOS SANITÁRIOS

Os objetivos primordiais do tratamento do esgoto sanitário são promover e proteger a saúde humana, prover água de qualidade e proteger os ecossistemas.

De acordo com Capodaglio (2017), a tecnologia mais apropriada para cada caso é aquela que contempla a proteção do meio ambiente, é consistente técnica e institucionalmente, é socialmente aceita e, principalmente, é economicamente viável.

O gerenciamento do esgotamento sanitário vem sendo tratado sob a perspectiva de duas abordagens: centralizada e descentralizada.

Os sistemas tidos como convencionais ou centralizados são aqueles que dependem de rede separadora, estação de tratamento e disposição final. Para sua implantação estão envolvidos custos elevados de construção, manutenção, consumo de produtos químicos e energia, bem como complexidade, robustez estrutural e difícil sustentabilidade econômica. A utilização destes sistemas torna-se inviável economicamente em áreas com baixa densidade populacional e também em termos de operação e manutenção, impedindo a universalização do saneamento (OLIVEIRA, 2013; MASSOUD, 2008).

Por outro lado, integra-se ao conceito de gestão descentralizada o tratamento e disposição de efluentes de uma só casa, ou seja, na fonte, ou sistemas comunitários (cluster ou blocos) onde um grupo de habitações localizadas relativamente próximas são servidas por um mesmo sistema, perto da fonte, e não são ligadas a um sistema centralizado de coleta e tratamento (USEPA, 2005).

Assim, a gestão da água residuária, seu tratamento e disposição no local ou muito próximo de onde é gerada é chamada descentralizada. Este tratamento é geralmente compacto, altamente flexível em termos de condições operacionais e de gerência, possui menores impactos estéticos e é altamente factível e viável na zona rural (CAPODAGLIO, 2017; OTTERPOHL et al., 2002). O manual de gerenciamento On-Site e em Clusters de sistemas de tratamento de águas residuárias da USEPA (2005), cita que estes métodos de gerenciamento apresentam benefícios como: proteção de valor da propriedade; conservação da água; minimização de custos e; flexibilidade no gerenciamento.

O tratamento descentralizado vem sendo opção em diversos países. Nos Estados Unidos, cerca de 60 milhões de pessoas utilizam algum sistema descentralizado de tratamento de efluentes domésticos. Destes, 20 milhões fazem uso do tanque séptico (BRADLET et al, 2002). Na Austrália, cerca de 12% da população utiliza tanques sépticos (AHMED, et al, 2005). Na Grécia, aproximadamente 14% da população utiliza métodos descentralizados, principalmente nas zonas rurais (TSAGARAKIS, et al, 2001).

É importante salientar que a gestão descentralizada de efluentes trata também do entendimento da comunidade e das pessoas que usufruem daquele sistema, para que se possa propor soluções que entendam suas necessidades, cultura, relação entre as propostas de saneamento e a população, e que respeitem as condições locais de materiais e tecnologia. Em comunidades que carecem de sanitários, por exemplo, é importante que a população ‘queira’ a construção e que esteja engajada na operação e manutenção (LÜTHI, C. et al, 2011).

5. MÉTODOS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO

O sistema comumente utilizado para o tratamento de águas residuárias *on-site* é a fossa séptica com posterior percolação no solo (MASSOUD, 2008). Este processo consiste basicamente na conversão anaeróbia da matéria orgânica e acumulação de partículas inertes, gerando acumulação de lodo no fundo e óleo e gorduras na superfície. O sistema necessita limpezas periódicas e possui potencial parcial de reutilização de água (CAPODAGLIO, 2017). A norma NBR 13.969/1997 regulamenta a utilização de fossas sépticas seguidas de unidades de tratamento complementar, ou simples disposição ao solo via sumidouros ou valos de infiltração. Embora existam carências nas políticas de gestão de esgotamento descentralizado no Brasil, parte considerável da população é atendida por este sistema, conforme apresentado por Andreolli (2009) na tabela 6.

Tabela 6 – População atendida por tanques sépticos, fossas rudimentares e sua combinação em números absolutos e porcentagem por área urbana, rural e no Brasil

Local	População (x1000)	Tanques Sépticos	População atendida por tanques sépticos	Fossas Rudimentares	População atendida por fossas rudimentares	População atendida por tanques sépticos+ rudimentares	Tanque séptico + rudimentar
Urbana	158.453	23,57%	37.347.372	14,11%	22.357.728	59.705.090	37,68%
Rural	31.368	18,40%	5.771.712	45,32%	14.215.978	19.987.690	63,72%
Brasil	189.820	22,72%	43.119.084	19,27%	36.573.696	79.692.780	41,99%

(Fonte: Andreolli,2009)

A FUNASA aponta, no Manual de Orientações Técnicas para Elaboração de Projetos de Melhorias Sanitárias Domiciliares (BRASIL, 2014), o tanque séptico, sumidouro e filtro anaeróbio (biológico) como métodos de tratamento e destinação de efluentes domésticos passíveis de receber financiamento para domicílios que não possuem módulos sanitários. No entanto, a utilização de métodos alternativos, mais sustentáveis e apropriados, têm sido pesquisada mundialmente para que se possa projetar sistemas que se adequem à realidade do local de implementação e que promovam a reciclagem de nutrientes.

A separação prévia das diferentes águas residuárias dos domicílios, apesar de demandar sistemas de coleta diferenciados, acaba gerando benefícios, visto que podem ser utilizados sistemas de tratamento mais específicos, de menor porte, mais econômicos e adequados ao nível de contaminação do efluente. Elimina-se, portanto, a necessidade do tratamento de efluentes

que possuem águas negras diluídas em águas cinzas, que possuem baixo potencial poluidor e podem ser facilmente tratadas. Aumenta-se, assim, a eficiência do processo.

Serão apresentados, a seguir, métodos descentralizados de tratamento de efluentes provenientes somente de vasos sanitários e seus respectivos aspectos construtivos. Estes sistemas foram considerados por se tratarem de alternativas que permitem a ciclagem e utilização de nutrientes sem que aspectos de segurança sanitária sejam desconsiderados.

5.1. FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA

O desenvolvimento da fossa biodigestora se deu com o intuito de viabilizar e expandir o tratamento de efluentes domésticos na zona rural com um baixo custo e produzir um composto a partir dos dejetos que fosse desinfetado e que pudesse ser utilizado (COSTA, 2014). Este sistema é baseado na atividade microbiológica anaeróbia, onde as bactérias, a partir da digestão fermentativa, consomem a matéria orgânica (EMBRAPA, 2007). São utilizados esterco bovino/ovino como meio inoculante onde se encontram bactérias, protozoários, fungos anaeróbios e bacteriófagos adaptados a meios anaeróbicos (KAMRA, 2005). Visto que algumas famílias podem ter dificuldade de acesso a este material próximo às casas, este procedimento pode vir a ser comprometido.

De acordo com Costa (2014) “os benefícios desse sistema em relação às fossas convencionais são, principalmente, a reciclagem dos dejetos e sua vedação hermética (que impede a proliferação de vetores de doenças) ”.

Existem diferentes modelos de biodigestores disponíveis, destacando-se os modelos chinês e indiano, compostos por um tanque hermético para que ocorra a decomposição da biomassa, e um gasômetro (campânula), para armazenar o biogás (PERMINIO, 2013). A Embrapa desenvolveu para o atendimento do esgoto doméstico da população rural, um modelo de biodigestor com três ou mais tanques, cujas especificações construtivas serão descritas a seguir.

5.1.1. Aspectos construtivos

Diversos materiais didáticos propõem o dimensionamento e montagem do sistema de maneira padronizada, como a cartilha “Como montar e usar a fossa séptica modelo Embrapa” (EMBRAPA, 2014), o informativo “Saneamento básico rural” (EMBRAPA, 2014a), o artigo

“Utilização de uma Fossa Séptica Biodigestora para Melhoria do Saneamento Rural e Desenvolvimento da Agricultura Orgânica” (EMBRAPA, 2002), bem como a cartilha “Saúde e Renda no Campo” (EMBRAPA, 2010), todos produzidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. As informações apresentadas aqui são referentes a estes manuais

Para a construção de um sistema padrão é considerada uma família com até 5 pessoas, que gera aproximadamente 50 litros de água e resíduos por dia, ou seja, um volume de 1500 litros por mês é lançado nas caixas biodigestoras. Todavia, pode-se adaptar o sistema para atender uma maior demanda, acoplando novos módulos de fermentação.

O processo (figura 4) utiliza de três caixas de fibra de vidro, manilha de concreto ou caixas d'água com volume de 1000 litros espaçadas de 50 a 60 cm. Nas primeiras duas caixas ocorrerá o sistema de decomposição do efluente, sendo a primeira conectada diretamente ao vaso sanitário. A terceira caixa tem como finalidade receber e armazenar o adubo produzido nas etapas anteriores. Esta configuração pretende garantir que o tempo de detenção hidráulica, ou seja, o tempo que a última caixa ficará cheia, seja de 20 dias. No caso de enchimento em tempo menor ou de acréscimo de duas ou três pessoas no domicílio, é recomendada a adição de mais uma caixa.

O processo de tratamento do efluente proposto neste sistema é anaeróbio, portanto as duas primeiras caixas devem ser vedadas com borracha, enquanto as conexões e tubos de PVC devem ser vedados com cola de silicone (não se recomenda caixas de plástico, pois este material não permite o uso de cola de silicone). Os processos fermentativos são favorecidos em temperaturas mais elevadas, para tanto é interessante que haja iluminação solar e que as tampas sejam pintadas de preto favorecendo o aumento da temperatura interna dos tanques.

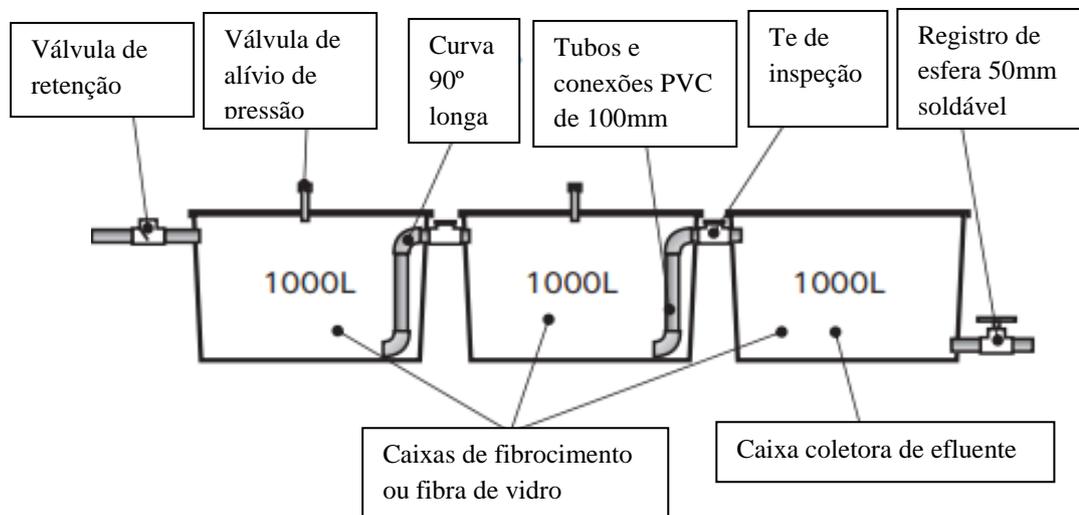
Para garantir o funcionamento do sistema é necessário que sejam despejados na válvula de retenção, antes da utilização e mensalmente, uma mistura de 10 litros de água e 10 litros de esterco fresco bovino ou de outro animal ruminante.

Com relação ao local de implantação, salienta-se que não deve haver risco de alagamentos, dando preferência a locais com solos não muito arenosos, de fácil escavação, sem pedras e sem árvores muito próximas que possam sombrear ou que suas raízes possam dificultar a escavação e que possíveis quebras de galhos não venham a danificar as caixas. Garantindo a sustentabilidade energética do sistema, este deve ser alocado de maneira que o esgoto escoe por

gravidade. Para tal, deve haver um desnível de, no mínimo, 40 cm do vaso sanitário com relação às caixas, sendo que estas estarão niveladas entre si. O local deve ser de fácil acesso para permitir o acompanhamento e deve ser cercado para evitar a entrada de animais.

As caixas serão parcialmente enterradas e as duas primeiras devem possuir uma válvula de escape do gás produzido durante a biodigestão. Para facilitar a coleta do biofertilizante no último tanque por um registro, o sistema deve apresentar desnível de 50 cm do topo da primeira caixa ao pé da última caixa. Não havendo desnível, a coleta deve ser feita com balde, por uma tampa instalada na parte superior da última caixa.

Figura 4 – Fossa digestora da Embrapa.



(Fonte: EMBRAPA,2010)

O adubo orgânico obtido na terceira caixa da Fossa Séptica Biodigestora poderá ser utilizado na adubação do solo de pastagens, de culturas frutíferas e outras culturas de ciclo longo, como canaviais. Caso não haja interesse em aproveitar o biofertilizante para adubação, ele deverá ser infiltrado no solo. Neste caso, deve-se montar na terceira caixa um filtro de areia, que permitirá a saída de água sem excesso de matéria orgânica dissolvida, conforme a figura 5.

Figura 5 – Filtro na caixa coletora de efluente



(Fonte: EMBRAPA, 2010)

5.2. TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

O Tanque de Evapotranspiração, também chamado de fossa de bananeiras ou tanque bioséptico, consiste em um sistema fechado de tratamento e reaproveitamento dos esgotos provenientes dos vasos sanitários. Esta metodologia é composta por um tanque impermeabilizado e preenchido por camadas de diferentes substratos onde serão plantadas espécies vegetais que tenham alta demanda por água e crescimento rápido (GALBIATI, 2009). O processo foi inicialmente proposto nos Estados Unidos e utilizava material plástico para composição do tanque. Contudo, permacultores brasileiros adaptaram o sistema utilizando manilhas de concreto e pneus, para diminuição do custo (PAMPLONA e VENTURI, 2004).

O sistema funciona baseado em processos de degradação anaeróbia da matéria orgânica, mineralização de nutrientes, e evapotranspiração, visando a reciclagem da água e o aproveitamento dos nutrientes para produção de biomassa, sem que haja escape de patógenos para o solo. A parte inferior do tanque funciona como uma câmara de decomposição anaeróbia, enquanto que na parte subsuperficial e superficial funcionam como um banhado construído de fluxo subsuperficial. A segurança do sistema pode ser garantida pelo aprisionamento dos microrganismos patógenos, pois não há garantia da sua eliminação completa (VIEIRA, 2010). Para tal, o sistema deve ser dimensionado corretamente e construído de modo que não ocorram infiltrações e vazamentos.

A evapotranspiração das plantas é o meio de saída de água do sistema. Para que haja uma alta taxa de evaporação da água proveniente do efluente pela transpiração das plantas são aconselhadas espécies como, as comestíveis, banana (*Musa sp.*), mamão (*Carica papaya L.*), inhame e taioba (*Colocasia sp.*), ou as ornamentais, copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*), maria-sem-vergonha (*Impatiens walleriana*), lírio-do-brejo (*Hedychium coronarum*), caeté banana (*Heliconia spp.*) e junco (*Zizanopsis bonariensis*) (PAMPLONA, 2004).

Fatores como a umidade do ar, a radiação solar, o vento e o grau de desenvolvimento da planta interferem na intensidade da evapotranspiração (ERCOLE, 2003). As interações entre estes fatores são dinâmicas e interligadas. A condição hídrica do sistema, portanto, depende da combinação destes elementos. A tabela 7 relaciona a taxa de evapotranspiração em função da temperatura média.

Tabela 7 – Taxa de evapotranspiração em função da temperatura média

Temperatura (°C)	Taxa de Evapotranspiração (litros/m ³ .dia)
< 15°C	5 litros/m ² .dia
15°C < T < 25°C	35 litros/m ² .dia
> 25°C	70 litros/m ² .dia

(Fonte: ERCOLE, 2003)

5.2.1. Aspectos construtivos

O dimensionamento dos tanques de evapotranspiração pode ser efetuado considerando o tanque como um decanto-digestor e aplicando a formulação segundo a NBR 7229 (ABNT, 1993). A pesquisa bibliográfica de Ercole (2003) concluiu que resultam, dos cálculos da norma, volumes conservadores e pode-se adotar, com segurança, um volume útil mínimo de 700 litros para um decanto-digestor responsável apenas pelo tratamento de águas negras.

O estudo de Vieira (2010), no entanto, estabelece que para o dimensionamento do tanque, deve-se considerar um volume de 2 m³ para cada habitante da casa para que não ocorram extravasamentos. Padroniza-se, geralmente, um tanque com 2 metros de largura, 1 metro de

profundidade e 1 metro de comprimento por pessoa. No entanto, adaptam-se as dimensões conforme o terreno.

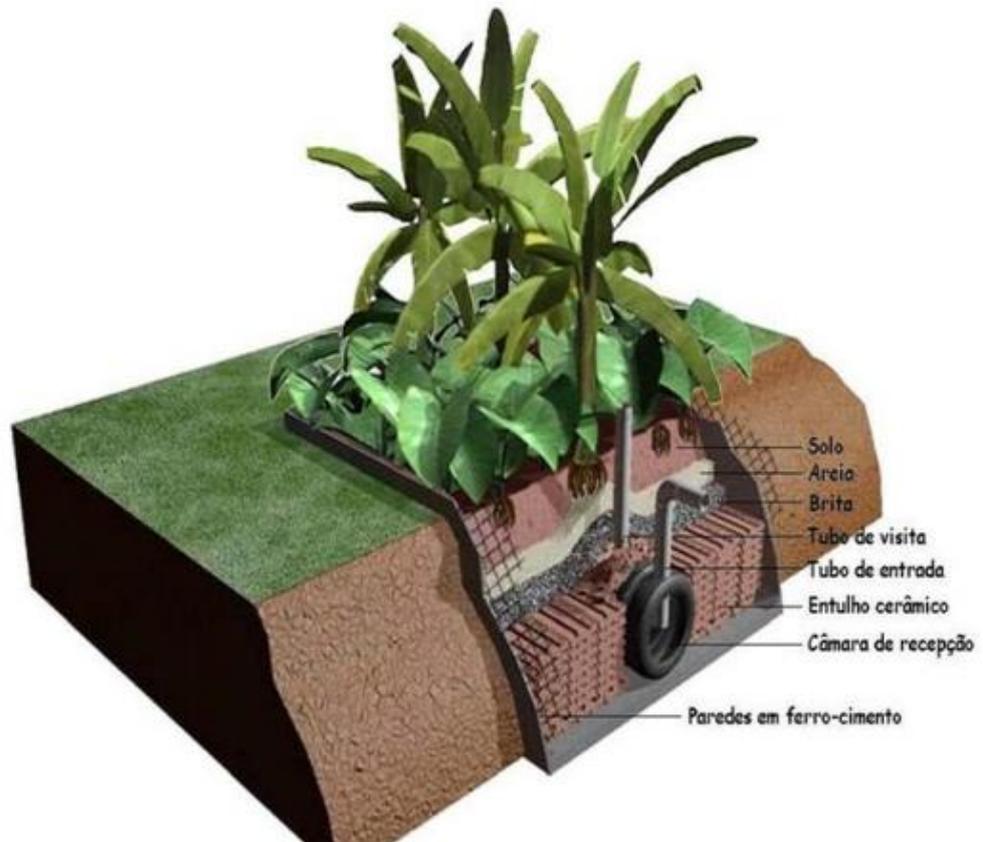
Independente do volume a ser adotado para o tanque e de sua geometria, a construção do sistema de funcionamento segue os mesmos procedimentos.

O tanque, depois de escavado, deve ser impermeabilizado para garantir a condição de sistema fechado e a não contaminação do solo e águas subterrâneas. Para a construção da trincheira, diversos métodos podem ser adotados. Segundo Vieira (2010), visando a economia e segurança, o método mais indicado de construção das paredes e do fundo é o ferrocimento, esta técnica consiste na aplicação de uma camada de cimento sobre uma estrutura de metal. Viera, 2016 propõe uma impermeabilização para reservatórios que sofrem menos variações térmicas com argamassa polimérica. Esta é caracterizada pela NBR 9.575 (ABNT, 2010, p. 2) como “Tipo de impermeabilização industrializada, aplicada em substrato de concreto ou alvenaria, constituída de agregados minerais inertes, cimento e polímeros, formando um revestimento com propriedades impermeabilizantes”. A impermeabilização do sistema pode ser feita também com mantas plásticas.

Em seguida, constrói-se uma câmara de recepção, por onde as águas negras entram no sistema. Esta camada constitui-se de, por exemplo, uma série de pneus alinhados ou tijolos dispostos em cascata ou pirâmide. O esgoto bruto entra nesta câmara para a primeira etapa do tratamento, tendo, portanto, uma configuração de decanto-digestor a qual se constitui de processos de sedimentação, flotação e digestão.

A trincheira deverá então ser preenchida com materiais grosseiros, como pedras, cacos de tijolos e telhas, até a altura da câmara de recepção, nesta camada o efluente que percola os espaços entre os pneus e inicia seu processo de degradação anaeróbia. Finalizada esta camada, iniciam-se as camadas filtrantes, primeiramente uma camada de brita grossa e brita fina de aproximadamente 10 cm, seguidas de uma manta de Bidim e uma camada de areia de também aproximadamente 10 cm. A camada superficial é de solo adubado e deve ser dimensionada conforme o espaço necessário para o desenvolvimento das raízes da espécie a ser cultivada. No caso de serem utilizadas bananeiras, pode-se considerar 70cm de solo orgânico como espessura recomendada (SOARES, 2016).

Figura 6 – Corte transversal do tanque de evapotranspiração



(Fonte: Paulo, 2008)

São recomendados pelo menos dois dutos de inspeção de 100mm de diâmetro, que devem chegar até a câmara de pneus, para inspeção do sistema e para eventual remoção de lodo por caminhão limpa-fossa, o que é raramente necessário (TONETTI, et al.2018). Além disto, é fundamental que a água proveniente da chuva não alague o sistema. Para tal deve ser construída uma mureta de tijolos ou blocos de concreto para que a água que escoar no terreno não adentre no tanque. A parte superficial deve ser coberta com palhas, folhas, aparas de gramas e podas, formando um colchão e escoando a água da chuva para fora do sistema.

Para que possa haver a realização de manutenção do sistema sem que seja necessária interrupção, é recomendada a construção de duas fossas independentes. Pode-se utilizar o segundo tanque para destino das águas cinzas, uma vez que a mistura das duas não é recomendada, pois inibe o desenvolvimento dos microrganismos (LEGAN, 2007). Outra metodologia de uso para que se possa reduzir possíveis efeitos de colmatção no filtro, é fazer

o uso intermitente dos tanques, utilizando registros nas tubulações hidráulicas que precedem as unidades de tratamento (PLATZER, 2007).

Para maior segurança, é indicado que o tanque de evapotranspiração esteja ligado a um sumidouro, vala de infiltração ou outro método de tratamento de águas cinzas, como o círculo de bananeiras, por meio de um tubo ladrão, com 50mm de diâmetro, que deve ser posicionado 10cm abaixo da superfície do solo do tanque. Esta medida é importante para que, em locais com muita chuva ou em dias que muitas pessoas utilizem o sistema, o excedente de efluente já tratado tenha um destino adequado.

5.3. PRIVADA SECA

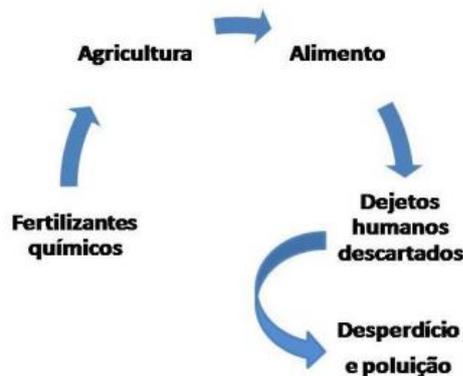
Os efluentes domésticos são constituídos, de maneira geral, por 99,9% água e 0,1% sólidos, em peso seco. O líquido passa a ser um meio de transporte para os sólidos, que são responsáveis pela contaminação e degradação dos corpos receptores do efluente (UEHRARA, 1989). A utilização de privadas que não necessitam de água para o transporte dos sólidos é o preceito básico do banheiro seco. Nele as excretas são coletadas e armazenadas em câmaras sem necessitar de descargas hidráulicas (TEIXEIRA, 2008). De acordo com Alves (2009), em países como Estados Unidos, Canadá, Suécia, Noruega, Nova Zelândia, Inglaterra e Austrália, a tecnologia dos banheiros secos é bastante conhecida e utilizada.

Este sistema pode ter diferentes metodologias construtivas. No entanto, todas baseiam-se na ação de microrganismos que efetuam a compostagem das excretas humanas transformando-as em húmus passível de reutilização. Conforme a utilização do sanitário é necessária a disposição de material orgânico seco rico em carbono como terra, cinzas, aparas de grama, casca de arroz, serragem, ou outro material para cobertura (ERCOLE, 2003; TEIXEIRA, 2008).

O tratamento e disposição somente das excretas evita efluentes diluídos e reduz o desperdício de um grande volume de água, sendo uma alternativa viável para locais com problemas de escassez e de abastecimento. Outros benefícios associados a este sistema são o baixo risco de contaminação de solos e recursos hídricos, o baixo custo e simplicidade de construção, a possibilidade de utilização em locais com nível freático próximo à superfície, bem como em solos rochosos de difícil escavação. No entanto, a necessidade de manejo dos resíduos após a compostagem pode causar certa aversão, assim como seus aspectos estético e funcional podem ser considerados desagradáveis para pessoas acostumadas com descargas hídricas.

A utilização do banheiro seco e da compostagem para a produção de fertilizante descontaminado a partir das excretas, como afirma Vinneras (2007), fecha o ciclo da utilização dos nutrientes orgânicos e da transmissão oral de doenças através da contaminação da água e alimentos. Assim, estes benefícios têm tornado este conceito de tratamento cada vez mais popular. A figura 7 apresenta o ciclo usual da contaminação por matéria orgânica, que é quebrado com o uso do banheiro seco.

Figura 7 – Ciclo da contaminação da matéria orgânica quebrado

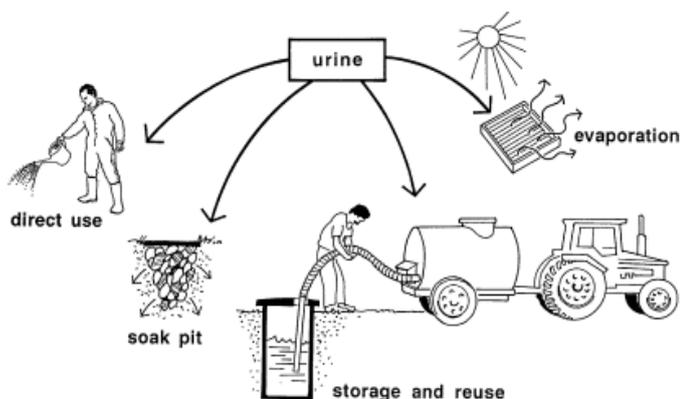


(Fonte: Vinneras, 2007)

Banheiros que apresentam separação das águas amarelas e marrons geram também a possibilidade da utilização da urina como composto. A maioria dos nutrientes necessários para as plantas está presente na urina. De acordo com Esrey (1998), em um ano um adulto costuma produzir 400 litros de urina, que correspondem a 4,0 kg de nitrogênio, 0,4 kg de fósforo e 0,9 kg de potássio, além disto, a urina é usualmente estéril, salvo em casos especiais nos quais patógenos encontrados na urina podem causar febre tifóide, paratifóide e bilharziose.

A urina coletada para uso deve ser estocada de modo que não produza odores e minimize a perda de nitrogênio para o ar. A urina coletada pode ter diversos destinos, tanto no que tange ao uso e disposição na residência e entornos, quanto a sistemas de recolhimento em termos de comunidade para uso de agricultores. A figura 8 apresenta os potenciais usos da urina: uso direto, infiltração, estocagem e reuso e evaporação.

Figura 8 – Alternativas de uso e manejo da urina coletada dos banheiros.



(Fonte: Esrey, 1998)

5.3.1. Aspectos Construtivos

Os banheiros secos podem apresentar diversas metodologias de construção, variando conforme seus recipientes de armazenamento, sua apresentação ao usuário, se possuem ou não separação de águas amarelas e marrons ou não e se efetua a compostagem no reservatório.

De acordo com Jenkins (1999) pode-se diferenciar os tipos de sistemas de privadas secas conforme seu método de armazenamento. Os mais conhecidos são:

-*Sistema com recipientes móveis*: Este banheiro possui um recipiente que armazena as excretas sendo substituído por outro semelhante quando cheio. As excretas coletadas são armazenadas no próprio recipiente, transportadas para uma pilha maior de compostagem, ou para uma câmara designada até que se complete a compostagem para então o conteúdo ser utilizado como fertilizante.

Figura 9 – Recolhimento dos recipientes móveis cheios para a compostagem



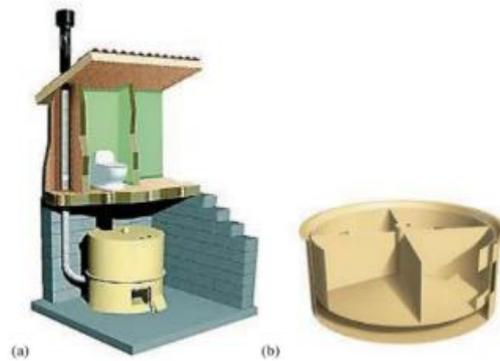
(Fonte: Wordpress yvyporã)

-*Sistema carrossel*: Este é um sistema de uso contínuo, que apresenta duas câmaras, sendo uma externa e outra interna. A câmara externa tem a função de isolar o sistema, de maneira a evitar a transmissão de doenças e contaminantes.

A câmara interna, por sua vez, é compartimentada, possuindo quatro ou seis divisões, sendo utilizada uma divisão por vez. Quando a seção em utilização atinge o volume máximo, o sistema rotatório permite que uma nova seção, vazia, seja posicionada para uso.

O sistema é projetado de modo que leve pelo menos um ano para todas as câmaras a serem preenchidas quando o uso está dentro da capacidade de projeto da unidade. Após este ponto, quando uma câmara é preenchida, o material no mais antigo é removido através de uma porta de acesso, a fim de dar espaço para material fresco.

Figura 10 – Sistema de banheiro seco pré-fabricado, do tipo Carrossel.



(Fonte: Alves, 2009)

-*Sistema com duas câmaras*: Este sistema depende de duas câmaras, geralmente construídas de alvenaria, que podem estar abaixo ou a cima do solo. As câmaras, ou compartimentos, são utilizados alternadamente, tendo uma tampa quando em processo de compostagem, ou o vaso sanitário quando em uso. As câmaras são esvaziadas depois de completo o processo de compostagem. Mesmo sendo possível que o sistema tenha toda a estrutura abaixo do solo, compartimentos feitos acima do nível do solo facilitam o esvaziamento.

Figura 11 – Sistema de banheiro seco com duas câmaras



(Fonte: Fácil Engenharia)

Outra proposta de classificação de banheiros secos é dada por Alves (2009, apud Del Porto e Steinfeld, 2000¹), os modelos estão divididos em:

-Auto coletores ou centralizados: Os modelos são auto coletores quando são somente uma unidade o vaso sanitário e um pequeno coletor (ou reator). Este sistema é comumente utilizado em pequenas casas e chalés. Por outro lado, os centralizados ou remotos têm o banheiro conectado a um coletor que se localiza em um lugar diferente

-Industrializados ou construção local: Os banheiros industrializados são comprados prontos e obedecem a normas e padrões. Já os construídos no local podem estar sujeitos a dificuldades relacionadas a licença do órgão e agentes de saúde local para uso do sistema.

Figura 12 - Banheiro seco industrializado.



(Fonte: Sun-Mar.)

¹ DEL PORTO, D. e STEINFELD, C. **Composting Toilet System Book: A practical Guide Pollution to Choosing, Planning, and Mantaining Composting Toileit Systems.** Center of Ecological Prevention. Concord. 2000

-Múltiplas câmaras ou câmara única (uso contínuo): O sistema que utiliza múltiplas câmaras opera utilizando uma de cada vez, permitindo a evolução do processo de compostagem do resíduo. Em contrapartida, os banheiros de uso contínuo consistem em uma câmara única na qual o excremento é adicionado pelo topo e o produto final é removido por baixo.

O Manual de Saneamento da Fundação Nacional de Saúde (BRASIL, 2015) apresenta, como tecnologia aceitável para domicílios sem abastecimento de água, privadas higiênicas para tratamento e disposição de esgoto doméstico sem utilização de água., são estas: privada com fossa seca, privada com fossa estanque e privada com fossa de fermentação. A primeira compreende uma fossa seca escavada no solo, destinada a receber somente excretas e a casinha de proteção. As fezes retidas no interior se decompõem por processo de digestão anaeróbia ao longo do tempo. A latrina com fossa estanque recebe as excretas diretamente, sem descarga de água, em condições idênticas a latrina de fossa seca. No entanto, o material não entra em contato com o solo, o tanque é feito de alvenaria ou concreto é totalmente impermeabilizado. Por fim, a latrina com fossa de fermentação apoiada na superfície do solo consta essencialmente de dois tanques contíguos e independentes destinadas a receber os dejetos, tal qual nas privadas de fossa seca. Neste sistema, utiliza-se uma câmara até esgotar sua capacidade conforme o sistema de duas câmaras explicado anteriormente.

6. VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM AS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Para a escolha do sistema a ser utilizado no gerenciamento dos esgotos domésticos, devem ser levados em consideração critérios de eficiência de remoção de matéria orgânica e patógenos, de sustentabilidade financeira para instalação e manutenção, de condições do ambiente onde será implantado, e de aceitação social. Existem atualmente, uma gama de tecnologias disponíveis para áreas rurais e isoladas, no entanto, não há consenso sobre qual seria mais adequada do ponto de vista técnico, pela inexistência de soluções milagrosas e generalistas que possam ser aplicadas em todos os casos (TONETTI, 2018).

De acordo com Tonetti (2018) o primeiro desafio para a implantação e gestão de sistemas descentralizados é “a própria escolha das tecnologias de tratamento de esgoto mais adequadas para cada situação” uma vez que esta tarefa é complexa e envolve a avaliação de muitas variáveis simultaneamente.

“Nenhum sistema de tratamento pode ser indicado como ideal para qualquer situação. Somente quando se escolhe criteriosamente um processo que se adapte às condições e aos objetivos de cada local pode-se obter uma boa relação custo-benefício” (COELHO, 2008)

Serão apresentadas a seguir variáveis ambientais e socioculturais que apresentam, de alguma maneira, algum tipo de ressalva ou restrição à adoção de algum dos métodos de tratamento citados anteriormente. Estas restrições podem ser de caráter: construtivo, ou seja, implicando em maiores dificuldades para execução da obra; de utilização, ou seja, é altamente desaconselhado utilizar a metodologia em determinadas condições e; relativo, isto é, necessita-se de mais informações para que se possa concluir ou são necessárias adaptações para aquele meio.

6.1 VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Para que se possa escolher uma metodologia de tratamento apropriada para o local, é necessário que se avaliem as condições do meio onde será implantado o sistema. Os aspectos ambientais são geralmente os mais discutidos para a escolha de um sistema. Alguns problemas ambientais citados pela Agência dos Estados Unidos de Proteção Ambiental (USEPA, 2002) relacionados a sistema de esgotamento sanitário descentralizado são: a sobrecarga e contaminação de solos com baixa capacidade de infiltração ou de solos com boa drenagem, a contaminação da água

por sistemas alocados muito próximos a reservas de água superficiais ou subterrâneas e a eutrofização de corpos d'água superficiais.

As características ambientais, além de delinearem os métodos construtivos do projeto, são importantes para que se possa assumir o menor risco de contaminação possível, garantindo que se opte pelo sistema que garanta maior eficiência em determinadas condições de solo, topografia, clima e águas subterrâneas.

6.1.1 Solo

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2006) os solos podem ser classificados em níveis categóricos, isto é, em conjuntos de classes que são definidas a partir de atributos em um mesmo nível de generalização ou abstração. O sistema brasileiro abrange seis níveis categóricos. Nas classes de 1º nível definem-se os Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Luviossolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos, Planossolos, Plintossolos e Vertissolos.

Algumas características do solo são fundamentais para a determinação do seu uso, como cor, textura, porosidade e permeabilidade. Esta última tem significativa relevância para a escolha de métodos de tratamento de efluentes, visto que define o quanto a água consegue infiltrar e se movimentar no solo. A permeabilidade do solo, ou condutividade hidráulica, é influenciada por fatores como: granulometria, índice de vazios, composição mineralógica, e estrutura do solo.

Uma metodologia de classificação de solos com relação a sua permeabilidade e facilidade de infiltração é a classificação hidrológica dos solos proposta pelo Soil Conservation Service dos Estados Unidos. Esta metodologia divide os solos em quatro grupos: A, B, C e D. De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (2007), os solos hidrológicos podem ser descritos como:

Solo A: baixo potencial de escoamento direto e elevadas intensidades de infiltração, mesmo quando completamente umedecidos. Possuem, tipicamente, menos de 10% de argilas e mais de 90% de areias. Incluem principalmente areias profundas com drenagem boa ou excessiva. Possuem uma elevada permeabilidade.

Solo B: potencial de escoamento direto abaixo da média e intensidades de infiltração moderadas quando completamente umedecidos. Possuem, tipicamente, entre 10 a 20% de argilas e entre 50 a 90% de areias. Incluem principalmente solos medianamente profundos, com textura moderadamente fina e moderadamente grosseira, e medianamente drenados. Possuem uma permeabilidade média.

Solos C: potencial de escoamento direto acima da média e baixas intensidades de infiltração quando completamente umedecidos. Possuem, tipicamente, entre 20 a 40% de argila e menos de 50% de areia. Incluem principalmente solos com camadas impermeáveis subjacentes e solos com textura moderadamente fina. Estes solos possuem uma permeabilidade baixa.

Solos D: potencial de escoamento direto elevado e intensidade de infiltração muito baixa quando completamente umedecidos. Possuem, tipicamente, mais de 40% de argila e menos de 50% de areias. Incluem essencialmente solos argilosos expansíveis, solos com o nível freático permanentemente próximo da superfície, e solos com substratos impermeáveis a pouca profundidade. Estes solos possuem permeabilidade muito baixa.

O estudo de Sartori et al. (2005) correlacionou os grupos de solos hidrológicos com as classes de primeiro nível de solos. Estão relacionados abaixo, de maneira geral, a relação de solos pertencentes a cada grupo hidrológico.

Grupo hidrológico A: Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo.

Grupo hidrológico B: Argissolo Vermelhos, Neossolo Quartzarênico, Nitossolo Háptico, Nitossolo Vermelho.

Grupo hidrológico C: Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo Háptico, Cambissolo Húmico, Espodossolo Ferrocárbico, Neossolo Fluvico.

Grupo hidrológico D: Alissolo Crômico, Afloramentos de Rocha, Cambissolo Háptico, Chernossolo Argilúvico, Gleissolo Háptico, Gleissolo Sálico, Luvisso Crômico, Neossolo Litólico, Organossolo Háptico, Planossolo Hidromórfico. Plintossolo Pétrico e Solos de mangue.

De maneira geral, solos do tipo A e D não são adequados para sistemas que requerem infiltração. Os primeiros porque a infiltração será excessivamente rápida, levando a uma potencial contaminação do lençol freático caso o efluente ainda não esteja plenamente tratado. Enquanto a infiltração nos solos tipo D será muito lenta, podendo sobrecarregar o sistema.

Dentre os sistemas propostos, deve-se ter especial cuidado com relação à infiltração para o sistema de fossa biodigestora com filtro, pois há necessidade de percolação do efluente tratado, ou biofertilizante, no solo.

Solos muito arenosos, sem coesão, podem causar problemas durante a escavação e impermeabilização do tanque de evapotranspiração, podendo ser necessário o escoramento das paredes (EMBRAPA, 2010). No entanto o sistema é considerado versátil para Tonetti (2018), pois pode ser usado em locais com solo muito arenoso ou muito argiloso.

No caso de sistemas de banheiros secos que possuem isolamento dos dejetos do contato com o solo, a preocupação relativa a contaminação dos mesmos é mínima. No entanto, no caso da necessidade de área de compostagem separada, estas devem planejadas de modo a não permitir a potencial contaminação do solo e lençol freático por lixiviados da pilha de compostagem, podendo ser cobertas e impermeabilizadas, em casos de solos permeáveis.

O sistema apontado pela FUNASA de latrina com fossa seca, também apontado como alternativa por Tilley, et al. (2014) como “single pit”, apesar de resolver problemas de defecação ao ar livre e possível contaminação direta, acabam gerando focos de contaminação do solo, subsolo e lençol freático, podendo comprometer o abastecimento de água da região.

6.1.2 Topografia

Outra condição importante no projeto de um sistema de tratamento de efluentes em uma residência é a topografia do terreno. Esta deve ser utilizada de maneira a facilitar a implantação, operação e manutenção do terreno. Segundo a Embrapa (2006), pode-se classificar o relevo em função da sua declividade, dada em porcentagem, conforme o quadro 1.

Quadro 1 – Classificação do relevo conforme declividade

Relevo	Declividade %
Plano	0 – 3
Suave ondulado	3 -8
Ondulado	8 – 20
Forte ondulado	20 – 45
Montanhoso	45 – 75
Escarpado	>75

(Fonte: Embrapa, 2006)

Sistemas como a fossa biodigestora necessitam de uma inclinação de 1 a 2% para o funcionamento por gravidade (entre 1 a 2 cm por caixa). Segundo a EMBRAPA (2010), “Não há impedimentos de implantar a fossa em um terreno inclinado, já que é possível dispor as caixas na forma de patamares (degraus).” No caso de a topografia do terreno permitir a exposição do furo de saída da última caixa, pode-se efetuar a retirada do biofertilizante por um registro instalado. Do contrário, deve-se retirá-lo com auxílio de baldes ou por bombeamento.

Em terrenos muito acidentados a instalação de tanques de evapotranspiração pode apresentar maiores empecilhos construtivos, uma vez que é necessário nivelar o fundo da caixa, bem como evitar que águas de escoamento pluvial entrem no sistema.

Sistemas de banheiros secos centralizados que possuem rampas, conforme a figura 10, são favorecidos em terrenos com declives, uma vez que facilitam a execução das obras, por não haver necessidade de escavar ou elevar a estrutura do banheiro.

6.1.3 Pluviosidade e Evapotranspiração

A pluviosidade é a medida do volume de água que precipita em determinada área em um determinado período. Os dados de pluviosidade, para a escolha da metodologia de tratamento ganham importância quando, nos sistemas, a precipitação aumentaria o volume de efluente a ser tratado, causando transtornos ou a ineficiência do sistema.

A forma como a água se transporta da superfície terrestre para a atmosfera é chamada de evapotranspiração. Este processo envolve os fenômenos de evaporação da água da superfície livre e dos solos, e de transpiração dos vegetais. A transpiração é influenciada por fatores climáticos como radiação solar, temperatura do ar, déficit de pressão de vapor, e velocidade do vento. Fatores como o tipo de cultura, a densidade vegetal, a variedade e a fase de crescimento, afetam as taxas de evapotranspiração, apresentando valores diferentes mesmo sob as mesmas condições climáticas e de solo. (ALENCAR et al. 2015 apud ALLEN et al., 1998).²

A transpiração dos vegetais será mais intensa quanto maior for a sua população e mais ativo seu estágio de desenvolvimento, todavia, não é causada pelo crescimento das plantas. A água que é extraída pelo sistema radicular das plantas é transpirada pelas folhas em proporção à demanda evaporativa da atmosfera, ou seja, locais de atmosfera saturada possuem evapotranspiração aproximadamente nula. (ERCOLE, 2003).

A evapotranspiração possui grande relevância no dimensionamento do sistema de tratamento pelo tanque de evapotranspiração, uma vez que é a única saída de água do sistema. A pluviosidade também influencia no dimensionamento, uma vez que, adiciona água ao sistema. Portanto, quanto maior a diferença entre a evapotranspiração e a pluviosidade, menor tende a ser a área necessária para tratamento.

Os valores de precipitação anuais no estado do Rio Grande do Sul superam os valores de evapotranspiração. No entanto, considerando-se que a distribuição dos valores de evapotranspiração é variável, conforme a estação, e que a distribuição de precipitação é praticamente uniforme ao longo das estações, existem, no estado, épocas onde o déficit é positivo e outras onde é negativo (MOTA, 1966). A pluviometria, no entanto, varia significativamente de um município para outro. É recomendável, portanto, a fim de assegurar a eficiência do sistema de tanque de evapotranspiração, que sejam adotados valores conservadores para as taxas de evapotranspiração e que se obtenham dados o mais regionais possíveis.

² ALLEN, R. G. PEREIRA, L. S. RAES, D. SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p.

Tanto a fossa biodigestora, quando o banheiro seco, são sistemas fechados. Nos quais, quando em perfeito funcionamento, não há entrada de água do ambiente e, portanto, não há influência das taxas de precipitação ou evapotranspiração.

6.1.4 Lençol freático

A contaminação dos corpos hídricos superficiais e a demanda crescente por água para as mais diversas funções tem aumentado a necessidade de uso das águas subterrâneas. A preservação dos reservatórios subterrâneos está diretamente relacionada com as atividades antrópicas que sucedem em sua área de recarga. O risco de contaminação do lençol freático, de acordo com Florencio (2006), pode ser avaliado a partir da combinação entre a vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante potencial existente.

Conforme, CPRM (2000), “o uso generalizado de fossas sépticas e drenos, não somente contribui para que o esgoto filtrado alcance a superfície do terreno, como se constitui provavelmente numa das principais causas de contaminação da água subterrânea no mundo.”

Segundo a NBR 13.969 (ABNT, 1997), as valas de infiltração podem ser utilizadas para disposição final do efluente líquido após o tratamento por fossa séptica. O fundo destas valas deve estar a uma distância mínima de 1,5 metros do lençol freático. Considerando as metodologias de tratamento citadas anteriormente, esta norma deve ser respeitada no caso da implantação de um sistema com fossa biodigestora e filtro, para que se possa ter uma maior garantia da não contaminação do aquífero.

O nível da água no solo muito próximo da superfície também pode vir a dificultar a construção de sistemas que necessitam de escavação para serem executados como a fossa biodigestora, o tanque de evapotranspiração, e sistemas de banheiros secos com câmaras de armazenamento de excretas enterrados.

Segundo a Embrapa (2010), desaconselha-se o uso do sistema de biodigestores caso o lençol freático entre em contato com as caixas. Deve-se garantir que o nível d'água esteja pelo menos 1 metro abaixo do fundo das mesmas, em razão de que o contato da água com a caixa tende a resfriar o sistema e, portanto, diminuir sua eficiência, uma vez que a degradação anaeróbia é favorecida em condições de maiores temperaturas.

A instalação de privadas com fossa seca deve ser feita levando em consideração o fluxo de água subterrânea. Devem ser construídas afastadas e a jusante de captações de água. Sistema de fossa estanque e tanque de evapotranspiração, por outro lado, são indicados para zonas com lençol muito superficial, justamente por não permitirem o escape de excreta.

6.2 VARIÁVEIS SOCIOCULTURAIS

A implantação bem-sucedida de sistemas descentralizados de pequeno e médio porte tem como fator primordial a aceitação e envolvimento da população no processo de escolha da tecnologia (TONETTI, 2018). Para esta escolha também devem ser levadas em consideração características como o isolamento da residência, o interesse da família em utilizar nutrientes provenientes do tratamento das excretas e os procedimentos necessários para a manutenção.

6.2.1 Isolamento da residência

A área rural, dependendo de fatores como meio de subsistência e afastamento do centro da cidade, pode apresentar distintas densidades populacionais. Um maior aglomerado de residências tende a facilitar as questões do saneamento, tornando mais eficiente e menos custosa a coleta de resíduos, facilitando a distribuição de água potável e podendo tratar em conjunto o efluente gerado pela comunidade.

Regiões mais afastadas tendem a tratar questões de saneamento de maneira mais local, sendo na disposição do resíduo ou no tratamento de efluentes. Neste contexto, é de extrema valia propor metodologias de gestão de efluentes que se adequem às condições locais, tenham fácil manutenção e sejam plenamente aceitas. Sistemas de tratamento que necessitam de limpeza terceirizada como caminhões de limpa fossas acabam se tornando inviáveis nestes contextos.

Os métodos apresentados podem ser utilizados por uma só residência. No entanto, seu dimensionamento deve levar em consideração o número de pessoas que utilizarão o sistema. A fossa biodigestora, por exemplo, pode também ser utilizada por mais de uma residência, desde que projetada e dimensionada para o número correto de habitantes. No entanto, é aconselhado que a canalização que liga o vaso sanitário à fossa não tenha mais de 30 metros para evitar que o efluente comece a fermentar na tubulação, o que pode gerar odores desagradáveis (EMBRAPA, 2010). Este sistema não pode ser utilizado quando não houver alimentação contínua, ou seja, em residências de temporada ou final de semana. Sem o aporte regular de

matéria orgânica a alimentação e sobrevivência das bactérias que executam a degradação fica comprometida.

Os banheiros secos são, muitas vezes, alternativas para locais afastados e de uso comunitário, como campings e residências rurais de final de semana bem como estratégias funcionais para situações de emergências, como foi o caso da adoção de banheiros secos no Haiti após um terremoto em janeiro de 2010. O terremoto deixou cerca de 230 mil mortos e mais de um milhão de desabrigados, diversas ONGs se instalaram no país para auxiliar em sua reconstituição (STEINMAN, et al,2011). Uma delas foi a GiveLove, que construiu, em setembro de 2012, um dos maiores sistemas de banheiro seco do mundo em um povoado construído para os desabrigados na comunidade de Santo Village, em Léogane, a 40 km da capital Porto Príncipe.

O sistema baseava-se na compostagem termofílica e no banheiro como dispositivo de recolhimento para transporte até as 16 composteiras que recebiam resíduos de 1350 pessoas (GIVELOVE, 2015; PORTO, 2016).

Populações em condições de extrema pobreza, com acesso restrito a saneamento e água podem ser muito beneficiadas com instalação de sistemas de banheiros secos, uma vez que a correta destinação das excretas reduz a taxa de doenças relacionadas ao saneamento.

6.1.2 Interesse no reuso de nutrientes e energia

A utilização de nutrientes para a agricultura, em muitos casos é necessária e indispensável. A produção de composto a partir do tratamento das águas negras e a possibilidade de obtê-lo a partir de um material que não teria valor é de grande serventia para famílias que precisariam adquirir compostos similares.

A ONG Britânica Water Aid promoveu um programa de uso de sistema de saneamento ecológico utilizando banheiro seco de uso alternado para famílias do Malauí. Foi constatado por Sugden (2003), que boa parte da comunidade da área também adotou o sistema após perceberem que o composto produzido nas instalações sanitárias reduzia os custos de compras de fertilizante químico.

Este cenário de acontecimentos em Malauí ratifica o potencial que o tratamento e manejo adequado dos dejetos humanos tem para geração de fertilizantes. É importante salientar, no

entanto, que o primeiro passo com relação ao aproveitamento de efluentes é a aceitação e o compromisso com a manutenção e correto manuseio do composto.

6.2.3 Aceitação da população

Um sistema de tratamento de efluentes só será eficiente se for construído e mantido de maneira correta. O entendimento por parte do usuário do processo de funcionamento do sistema a ser utilizado é de extrema importância, visto que facilita a interação, a manutenção e a própria aceitação. Esta última é especialmente importante para que, caso houvessem hábitos de defecação ao ar livre ou utilização de sistemas precários sem tratamento, estes não voltem a ser praticados.

Sistemas que possuem descargas hídricas tendem a ser bem aceitos pela não geração de odores, enquanto os banheiros secos apresentam este problema. Outro aspecto que pode causar certa aversão é a necessidade de retenção e posterior transporte dos dejetos para locais de compostagem em sistemas de banheiros secos operacionais. Estes modelos, no entanto, de acordo com Porto (2016), não apresentam geração de odores, como acontece nos banheiros de compostagem in loco.

6.2.4 Manutenção

Para que os sistemas de tratamento de efluentes operem em suas condições ideais, algumas medidas devem ser tomadas durante o uso e periodicamente.

A utilização de produtos clorados para a limpeza dos vasos sanitários, por serem bactericidas, acaba inviabilizando os processos biológicos, acarretando no mal funcionamento dos processos da fossa biodigestora e do tanque de evapotranspiração. Para a limpeza dos sanitários devem ser priorizados produtos de limpeza biodegradáveis. Banheiros secos também não devem receber nenhum tipo de produto de limpeza, a limpeza deve ser efetuada somente nas superfícies.

Os banheiros secos necessitam, para seu correto funcionamento, o aporte de material orgânico volumoso após cada utilização. Este material deve ser mantido nas proximidades do sanitário para que seu uso seja facilitado. A serragem, folhas, palha, etc. garantem a adição de carbono para a compostagem, visto que os dejetos humanos contribuem com altos níveis de nitrogênio

para o composto. (JENKINS, 2005) Estes materiais também propiciam a presença de pequenos bolsões de ar, facilitando a decomposição aeróbica (PORTO, 2016).

Para a manutenção do sistema de fossa biodigestora é necessário inserir a mistura de esterco fresco bovino e água mensalmente, além disto, é recomendável que sejam verificados periodicamente os suspiros de escape de gás das caixas onde ocorre a biodigestão e possíveis locais de vazamento. Situações em que haja geração de odores ou enchimento rápido da última caixa, alertam a necessidade de manutenção e revisão da eficiência do sistema.

Os manuais propostos pela Embrapa, criadora do sistema, não apresentam dados ou recomendações com relação a manutenção e limpeza do sistema. Inclusive materiais destinados à população afirmam que “não é necessário realizar limpeza das caixas, pois não há acúmulo de resíduos sólidos” (Embrapa, 2010). Todavia, apesar de os sistemas anaeróbios possuírem uma baixa produção de lodo, o que os caracteriza como um sistema vantajoso quanto à produção e disposição final do lodo, ressalta-se que haverá a produção do mesmo e devem ser adotadas medidas para sua limpeza, a fim de garantir a eficiência do sistema (METCALF e EDDY, 2002).

A utilização de leitos filtrantes nos tanques de evapotranspiração os acomete a um problema comum, a redução dos espaços vazios dos meios porosos. A colmatção pode ser física, química ou biológica, sendo a última a mais usual em filtros aplicados a esgotos, devido à formação de colônias bacterianas no leito (Remígio, 2006).

A NBR 13.969 (ABNT, 1997) recomenda a limpeza do filtro anaeróbio quando for observada redução de sua eficiência. Na configuração usual do tanque de evapotranspiração a limpeza do filtro anaeróbio não é prevista. Soares (2016) propõe, para manutenção do sistema, a instalação de uma mangueira flexível de silicone $\frac{3}{4}$ ” sobre o leito de brita, com espera para conexão acima do nível do solo, permitindo o lançamento de água pressurizada, quando uma limpeza se fizer necessária. A mangueira deve possuir pequenos buracos, a fim de possibilitar a distribuição homogênea da água sobre o leito.

Para a segunda camada do leito filtrante, composta por areia, também não é proposta nenhuma manutenção. O formato do tanque não permite a retrolavagem do filtro de areia, procedimento convencional de limpeza. A falta desse procedimento diminui a vida útil do tanque de forma significativa (Soares, 2016). Ercole (2003) sugere que, a remoção do filtro de areia não

compromete a qualidade do tratamento e aceleraria o processo de ascensão do efluente no tanque. Afirmado que, o nível de tratamento do efluente, após o tanque, o filtro anaeróbio e o leito de evapotranspiração, e equivalente ao nível terciário, quando bem operado. Tonetti (2018) ressalva que, apesar de raramente necessário, é recomendável instalação de tubos de inspeção para eventual remoção de lodo por caminhão limpa-fossa.

6.3 MATRIZ DE ALTERNATIVAS E VARIÁVEIS

A partir das informações apresentadas anteriormente sobre os métodos de tratamento e das análises de funcionalidade dos sistemas nas variáveis consideradas, tornou-se possível elaborar uma matriz que cruzasse estes dados. O quadro 2 apresenta, de maneira concisa, a possibilidade ou não de utilizar cada um dos sistemas e quais as restrições ou observações que devem ser consideradas para cada caso.

Quadro 2 – Matriz de alternativas e variáveis

			Fossa séptica Biodigestora		Tanque Evapotranspiração	Banheiro Seco	
			Sem infiltração	Com infiltração		Fossa seca	Sistema com estanque
Variáveis Ambientais	SOLO	arenoso (muito permeável)	Sim	<i>Necessário garantir o bom funcionamento</i>	<i>Podem ocorrer problemas na construção do tanque. Necessário escoramento</i>	Não	Sim
		permeável	Sim		Sim	Sim, mas não deve ser escolhida quando outras opções forem viáveis	
		pouco permeável	Sim	Não	<i>Muito interessante pois não necessita de infiltração</i>		
		rocha fraturada (impermeável)	<i>Muito interessante pois não necessita infiltração (Possível interferência nos aspectos construtivos)</i>	Não	<i>Muito interessante pois não necessita infiltração (Possível interferência nos aspectos construtivos)</i>		

			Fossa séptica Biodigestora		Tanque Evapotranspiração	Banheiro Seco	
			Sem infiltração	Com infiltração		Fossa seca	Sistema com estanque
Variáveis Ambientais	CONDIÇÕES CLIMÁTICAS	Pluviosidade e evapotranspiração	Não interfere		<i>Para a viabilização da adoção do sistema o local deve possuir uma combinação de alta taxa de evapotranspiração e valores baixos de pluviosidade.</i>	Não interfere	
		Irradiação solar	<i>Aumento da temperatura é importante para o processo de digestão anaeróbia, posiciona-se os tanques para receber a máxima incidência solar</i>		<i>Importante para aumentar as taxas de evapotranspiração</i>	<i>É interessante que as câmaras de compostagem recebam irradiação solar para aumento de temperatura</i>	
	LENÇOL FREÁTICO	Muito raso	<i>Não, se a água do lençol freático entrar em contato com as caixas, pode ocorrer resfriamento do sistema, diminuindo sua eficiência. Nível d'água deve estar 1 metro abaixo do fundo das caixas</i>	<i>Não é recomendada infiltração com lençol freático a no mínimo 1,5m do fundo</i>	<i>Sim, mas pode interferir nos aspectos construtivos</i>	Não	<i>Sim, mas pode interferir nos aspectos construtivos</i>
		Profundo	Sim		Sim	Sim	Sim
	TOPOGRAFIA	Plano- suave ondulado	Sim		Sim	<i>Pode-se adaptar os modelos de construção conforme a topografia do local. Modelos centralizados com rampas são favorecidos com maiores declividades no terreno, por exemplo</i>	
		Ondulado - forte ondulado	<i>Deve-se adaptar o projeto em sistema de degraus</i>		<i>Pode não ser possível, deve-se adaptar o projeto</i>		
		Montanhoso	<i>Deve-se adaptar o projeto em sistema de degraus</i>		Não		

		Fossa séptica Biodigestora		Tanque Evapotranspiração	Banheiro Seco		
		Sem infiltração	Com infiltração		Fossa seca	Sistema com estanque	
Variáveis Socioculturais	ISOLAMENTO DA RESIDÊNCIA	sistema em cluster	Sim		<i>Pode se tornar inviável pelo volume necessário para o tanque</i>	<i>Não (há casos onde mais de uma residência utiliza o sistema, principalmente em áreas com maior densidade populacional ou em casos emergenciais)</i>	
		somente uma família	Sim		Sim	Sim	
		propriedades de final de semana	<i>não (deve haver alimentação regular para manutenção das bactérias e garantia da eficiência da biodigestão)</i>		Sim	Sim	
	INTERESSE NO REUSO DE NUTRIENTES	Reuso de composto orgânico	Sim	Não	<i>Não há reuso de forma direta</i>	Sim	
		Possibilidade de separação de urina	<i>Não é convencional, porém adaptável</i>		<i>não é convencional, porém adaptável</i>	Sim	
	ASPECTOS DE UTILIZAÇÃO: ACEITAÇÃO DA RESIDÊNCIA	Necessidade de retirar os dejetos	<i>Retirada do biofertilizante.</i>	Não	Não	<i>Retirada do material compostado ou excretas para posterior compostagem</i>	<i>Somente retirada do material compostado</i>
		Produção de odores	<i>Pode ocorrer se não for adicionada a mistura de água e esterco, e se o tempo de detenção for muito pequeno</i>		Não	Sim	<i>Considerada menor que no banheiro compostável in loco</i>
		Interface do usuário	<i>Descarga hídrica</i>		<i>Descarga hídrica</i>	<i>Pode ser utilizado dentro ou fora da casa</i>	<i>Normalmente localizado fora da casa</i>
	MANUTENÇÃO	Durante utilização	<i>Limpeza sem produtos clorado</i>		<i>Limpeza sem produtos clorados</i>	<i>Necessidade de material seco para cada utilização</i>	
		Periódico	<i>Inserção da mistura esterco e água; Retirada do biofertilizante; Retirada de lodo</i>	<i>Inserção da mistura esterco e água; Retirada de lodo</i>	<i>Colmatação após certo tempo de uso</i>	<i>Retirada dos excrementos e transporte para compostagem</i>	<i>Retirada do composto pronto</i>

(Fonte: Elaborado pela autora)

7. CRITÉRIOS DE PROJETO

Neste capítulo serão apresentadas as principais características construtivas e operacionais de cada um dos três sistemas de tratamento de águas negras apresentados. A partir de informações revisadas na bibliografia e nas normas técnicas, foram definidos critérios de dimensionamento. Para isto, foram escolhidos cenários hipotéticos de acordo com a matriz apresentada no capítulo 6. Para cada variável foi escolhida uma condição na qual existe a possibilidade de implementação da metodologia.

7.1 FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA

7.1.1. Cenário Considerados

O cenário proposto para a implementação da fossa séptica biodigestora está apresentado no quadro 3. Este cenário considera características em que existe possibilidade utilização do sistema.

Quadro 3 – Cenário proposto para implementação do sistema de Fossa Séptica Biodigestora.

Variáveis	Cenário
Condição de solo	Pouco permeável
Condição do lençol freático	Profundo
Topografia	Ondulado (8- 20%)
Pluviosidade e Evapotranspiração	Clima subtropical
Isolamento da residência	Atendimento de uma residência com 5 pessoas
Interesse no reuso de nutrientes	Retirada e utilização do biofertilizante
Manejo e manutenção	Acesso a esterco fresco de gado

(Fonte: Elaborado pela autora)

Este sistema pode ser implantado em diferentes circunstâncias, conforme apresentado na matriz do capítulo 7. Todavia, condições de lençol freático profundo e acesso a esterco fresco são primordiais para o funcionamento do sistema. Enquanto que para as outras variáveis, diferentes cenários não necessariamente restringem o uso do sistema, sendo necessárias algumas adaptações de projeto. Condições de topografia ondulada, por exemplo, requerem sua

instalação em formato de degraus, e condições de solo pouco permeável restringem a possibilidade de infiltração com filtro para a destinação do efluente final, sendo, portanto, necessário que haja interesse na utilização do biofertilizante. Variáveis como a pluviosidade e evapotranspiração não influenciam no sistema, uma vez que ele é vedado.

7.1.2 Dimensionamento do volume da fossa séptica biodigestora

Embora existam diferentes sistemas de biodigestão, o sistema de fossa biodigestora, proposto pela Embrapa, é altamente recomendável pela facilidade de implantação e manutenção considerando a realidade da área rural. Este sistema obedece a um padrão de construção e dimensionamento considerados adequados para que o tratamento seja realizado. Visto isto, neste tópico será apresentada uma análise do volume necessário a partir da consideração de tempo mínimo necessário de permanência do efluente no sistema.

Conforme descrito no item 5.1.1, o sistema é construído a partir de três ou mais módulos de tratamento. Cada um destes pode ser feito de fibra de vidro, manilha de concreto ou então, utilizam-se caixas d'água. Sendo o volume de cada tanque de 1000 litros.

O Comunicado técnico da Embrapa (EMBRAPA, 2002) propõe o uso do sistema com três caixas para uma família de até cinco pessoas, as quais produzem 50 litros de efluente por dia, ou seja, 1.500 litros de água e resíduos entram no sistema por mês. Considerando esta vazão influente, o volume de 2.000 litros dos dois primeiros tanques de digestão garante que o efluente permaneça entre 35 a 40 dias no sistema. Este período é suficiente para que ocorra uma completa biodigestão (EMBRAPA, 2002).

Visto que o processo consiste em caixas interconectadas em paralelo, no caso de residência que possuam mais de 5 habitantes, é proposta a adição de mais módulos de biodigestão em paralelo, entre a segunda e a terceira caixa, de maneira proporcional ao número de moradores. Mesmo que menos de 5 pessoas utilizem a fossa, é recomendado que se mantenha o sistema modelo, com as duas caixas de biodigestão e a terceira de acúmulo.

“...O tamanho das caixas deve ser proporcional ao número de moradores da casa. Por exemplo, em uma casa com 10 moradores, pode-se utilizar 6 caixas de 1.000 litros ou 3 caixas de 2.000 litros.” (EMBRAPA, 2014).

7.1.3 Considerações de projeto

Tendo em vista o cenário apontado anteriormente, este tópico propõe-se a esclarecer como algumas das variáveis apontadas influenciam na instalação e operação da fossa.

O tipo de solo considerado neste cenário é pouco permeável, condição advinda de um solo com alta proporção de argila ou mesmo de locais com solos muito pouco espessos, onde a camada de rocha é muito superficial. Neste caso, a infiltração do efluente tratado, por meio de filtro, torna-se impraticável e, à vista disso, o biofertilizante deve ser retirado da terceira caixa para ser utilizado para adubação.

Diante da impossibilidade de retirada do biofertilizante durante um período de tempo ou de sua utilização não ser contínua, podem ocorrer extravasamentos da terceira caixa. A fim de corrigir este problema, sugere-se a adição de mais um módulo, como filtro ou caixa de armazenamento após a terceira caixa, ou como tanque de biodigestão entre a segunda e a terceira caixa.

Considerou-se que a topografia do terreno com uma declividade ondulada, para adequar-se a essa condição, os módulos devem ser dispostos em degraus. Esta adaptação pode ser proposta, uma vez que não irá alterar o fluxo de enchimento das caixas. Visto que haverá reuso de nutrientes, a última caixa foi disposta de modo que sua base externa fique exposta com a finalidade de colocar uma torneira para facilitar a remoção do biofertilizante.

Para a construção deste sistema é importante que sua localização seja planejada, de modo que: não fique distante da residência; receba incidência solar; não possua árvores no entorno e; que o desnível entre o vaso sanitário e a primeira caixa seja de, no mínimo, 40 cm.

7.1.4 Qualidade do efluente

A garantia da qualidade do efluente gerado na biodigestão é de extrema importância para que sua utilização não ofereça riscos patológicos e de contaminação. A avaliação da qualidade microbiológica da água pode ser realizada através da identificação de indicadores de contaminação fecal.

Com o intuito de comprovar a segurança do efluente, a Embrapa (2002) realizou análises microbiológicas em um sistema de biodigestão com três módulos. O efluente já tratado e armazenado na terceira caixa foi amostrado mensalmente e foram realizadas análises de

coliformes totais e fecais. Os valores destas análises são expressos em NMP “número mais provável” por 100 mL. As amostras de coliformes totais resultaram em 1100/100ml para todas as amostras, enquanto as análises de coliformes fecais resultaram em 3/100ml nos dois primeiros meses e foram ausentes nos meses subsequentes.

A pesquisa de Leonel, et al. (2013) avaliou o efluente de uma fossa séptica biodigestora com cinco módulos de 1000 litros instalada em São Carlos, São Paulo. Foram coletadas amostras no primeiro e no último tanque para realizar análises de coliformes totais e coliformes termotolerantes durante três meses subsequentes. A tabela 8 apresenta os valores medidos.

Tabela 8 – Análise de coliformes totais e termotolerantes no efluente de uma fossa séptica biodigestora

		Mês 1	Mês 2	Mês 3
Coliformes totais	Entrada	6400000	660000	950000
NMP /100ml	Saída	1500*	1500*	7800
Coliformes termotolerantes	Entrada	5500000	100000	120000
NMP /100m	Saída	1500*	1500*	4400

*abaixo do limite de detecção

(Fonte: Adaptado de Leonel, et al.,2013)

O limite apontado pela CONAMA nº20/1986 para águas destinadas à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas é de 1.000 coliformes fecais por 100 mL. Visto que o efluente ou biofertilizante obtido após o processo de biodigestão tem como destino a adubação do solo de pastagens, de culturas frutíferas e outras culturas de ciclo longo, o correto funcionamento da fossa garante que a aplicação do biofertilizante não causaria impactos ambientais.

Foi constatado pela Embrapa (2002) que a aplicação de efluentes da fossa biodigestora no solo acarretou em um aumento de matéria orgânica, de fósforo extraível, e da acidez potencial na primeira camada de solos. Contudo, ocorreu uma provável lixiviação de íons de potássio e cálcio para camadas subsuperficiais (EMBRAPA, 2002)

7.2 TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

7.2.1 Cenário Considerado

O cenário proposto para a implementação do tanque de evapotranspiração está apresentado no quadro 4. Este cenário considera características em que existe possibilidade de utilização do sistema.

Quadro 4 – Cenário proposto para implementação do sistema de Tanque de Evapotranspiração.

Variáveis	Cenário
Condição de solo	Permeável
Condição do lençol freático	Superficial (~1,5m abaixo da superfície)
Topografia	Plano (0 -3%)
Pluviosidade e Evapotranspiração	Clima subtropical, condições climáticas da região de Porto Alegre
Isolamento da residência	Atendimento de uma residência de 5 pessoas
Interesse no reuso de nutrientes	Não
Manejo e manutenção	Possibilidade de implantação de sistema para recebimento de excedente tratado.

(Fonte: Elaborado pela autora)

Embora este sistema de tratamento possa ser aplicado em diferentes contextos ambientais é importante ressaltar que a condição que norteia o dimensionamento e o correto funcionamento são as taxas de evapotranspiração e pluviosidade. Condições de solo e lençol freático podem interferir na construção, contudo, não interferem no processo. A topografia do terreno, no entanto, restringe a utilização deste tratamento sendo, portanto, necessário que seja plana.

7.2.2 Dimensionamento do Tanque

Visto a carência de literatura específica, normas e acompanhamento científico relacionados a este sistema, o dimensionamento do tanque foi elaborado de acordo com recomendações de estudos e revisão bibliográfica.

O dimensionamento é elaborado com o intuito de alcançar um balanço hídrico do sistema a fim de minimizar os riscos de extravasamento. Para tal, o cálculo da área do tanque leva em

consideração as entradas e saídas de água do sistema, representadas por taxas de pluviosidade e vazão produzida de efluentes, e taxas de evapotranspiração, respectivamente.

7.2.2.1 Câmara anaeróbia

Para o cálculo do volume da câmara anaeróbia são propostas duas metodologias. A primeira segue as recomendações da norma NBR 7.229 (ABNT, 1993) e a segunda é proposta por revisão bibliográfica de Soares (2016) e Ercole (2003). As duas serão apresentadas a seguir.

7.2.2.1.1 NBR 7.229/1993

O dimensionamento de tanques sépticos é proposto pela NBR 7.229/1993. Esta norma apresenta a recomendação de cálculo para o volume útil do decanto-digestor. Este se assemelha à câmara de pneus do tanque de evapotranspiração, uma vez que, dentro da câmara de recepção, o efluente passa por processos de sedimentação, flotação e digestão.

O volume útil total necessário para a câmara anaeróbia é quantificado conforme a equação 1.

$$V = 1000 + N (C \cdot T + K \cdot Lf) \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

V = volume útil, em litros;

N = número de pessoas ou unidades de contribuição;

C = contribuição de despejos, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia);

T = período de detenção, em dias;

K = taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco;

Lf = contribuição de lodo fresco, em litro/pessoa.dia.

O sistema receberá contribuições de uma residência com cinco moradores. A contribuição diária de esgoto (C) e lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e ocupante é dada pela tabela 1 da

NBR 7.229. Considerou-se uma família de baixo padrão e, portanto, foram adotados os valores de 100 e 1 para C e Lf, respectivamente.

A determinação do tempo de detenção (Td) foi calculada a partir da multiplicação do número de moradores na residência (N) e a contribuição diária de esgoto (C). Uma contribuição diária de até 1500L, conforme a tabela 2 da NBR 7.229, em anexo, possui um tempo de detenção de 1 dia.

Dado que o tanque de evapotranspiração não terá limpeza como nas fossas sépticas, com o intuito de garantir o funcionamento do sistema, foi utilizado como taxa de acumulação de lodo (K) o maior intervalo entre limpezas apresentado na NBR 7.229. Os intervalos entre limpezas variam de 1 a 5 anos. À vista disto, foi adotado o valor correspondente a 5 anos para uma temperatura entre 10 e 20 graus Celsius conforme a tabela 3 da NBR 7.229.

Assim sendo, o volume calculado para o tanque foi de 11,35m³.

7.2.2.1.2 Revisão bibliográfica

O estudo de Ercole (2003), todavia, concluiu através de revisão bibliográfica, que o procedimento de cálculo do volume útil mínimo da NBR 7.229 torna-se muito conservador para o tratamento somente de águas negras. Recomendou-se, portanto, de maneira conservadora, a adoção de um volume útil mínimo de 700 litros para o decanto-digestor. Considerando o volume útil mínimo proposto por Ercole (2003), Soares (2016) propôs uma relação dos valores de volume útil necessários para a câmara de recepção em função do número de habitantes da residência, apresentados na tabela 9.

Tabela 9: Volume da câmara de recepção em função do número de contribuintes

Contribuintes	Volume da câmara de recepção (litros)
1	700
2	700
3	700
4	700
5	700
6	786
7	917

(Fonte: elaborado pela autora, adaptado de Ercole, 2003)

7.2.2.2 Área do canteiro

O cálculo da área de canteiro do tanque será elaborado a partir de metodologias propostas por três autores: Gabialti (2009), Ercole (2003) e Vieira (2010). A comparação entre os valores obtidos será feita com o intuito de propor a melhor solução.

7.2.2.2.1 Gabialti (2009)

A estimativa da área necessária para o funcionamento do tanque proposta por Gabialti (2009) é elaborada a partir da equação 2.

$$A = \frac{n \times Qd}{ET_0 \times k_{tvap} - P \times k_i} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

A= Área superficial;

n= número de residentes;

Qd= Vazão diária por pessoa em L/dia;

Ktevap= Coeficiente do tanque;

ETo= Evapotranspiração média do local, em mm/dia;

P= Pluviosidade média do local, em mm/dia;

Ki= Coeficiente de infiltração, variando de 0 a 1.

O valor de evapotranspiração do sistema foi obtido através da multiplicação do coeficiente do tanque (Ktvap) com a evapotranspiração de referência (ETo). Este valor estima as saídas do sistema. Para o dimensionamento será utilizado o valor de 2,71 para coeficiente do tanque, conforme os estudos de Gabialti (2009). No entanto, cabe ressaltar que este valor se aplica às condições climáticas de Campo Grande, Mato Grosso do Sul.

A entrada de água no sistema é composta pelas contribuições do vaso sanitário e da pluviosidade média local. O coeficiente de infiltração é uma variável que depende da forma de

construção do tanque, tipo de cobertura de solo, inclinação da superfície do solo do tanque, presença de obstáculos ao escoamento superficial, e fatores que influenciam na penetração da água da chuva no tanque. Para este estudo, foi arbitrado um valor de 1, ou seja, 100% da água que precipita no tanque entra no sistema.

O volume de águas negras que contribui para o tanque é estimado conforme uma média do número de descargas efetuadas por morador e do volume de água utilizado a cada descarga. De acordo com a Emater (2016), o sistema de tanque de evapotranspiração é indicado para descargas acopladas de no máximo seis litros por descarga.

Outra forma de medição do volume de águas negras produzidas é a partir da porcentagem do consumo de água que é destinada aos vasos sanitários. Gonçalves, et al. (2005) aponta uma média de 14%, enquanto os experimentos de Pires (2012) indicam 9,8%.

Para este trabalho foram consideradas 4 descargas por pessoa por dia com de 6 litros por descarga cada. Para efeitos de comparação considerou-se que cada pessoa utiliza uma média de 150 litros de água por dia e 14% deste volume é destinado ao vaso sanitário. Os métodos resultaram em uma contribuição média de aproximadamente 22 litros de águas negras por dia por pessoa.

O valor de pluviosidade média foi gerado a partir de dados do Instituto Nacional de Meteorologia, que apontam uma média de 1400 mm por ano para a cidade de Porto Alegre. O volume médio de precipitação diária é, portanto, de 3,8mm/dia.

De acordo com pesquisa de Scuderi, et al. (2012), a média diária de evaporação em Porto Alegre em um tanque classe A, no período de julho de 2004 até março de 2005, foi de 3,8 mm/dia. O trabalho avaliou também médias de evapotranspiração da macrófita aquática *Zizaniopsis Bonariensis* e propôs uma razão evapotranspiração/evaporação de 1,37 para o tempo total do estudo e de 0,95 para o inverno, período mais crítico. Portanto, no cenário menos favorável, a média de evapotranspiração seria de 3,68 mm/dia.

7.2.2.2.2 *Ercole (2003)*

De acordo com Ercole (2003), o cálculo da área necessária do canteiro, a fim de eliminar todo o efluente por evapotranspiração, é dado a partir da equação 3:

$$A = \frac{Vc}{Ve} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

A= Área necessária para o canteiro, em m²;

Vc= Volume total de contribuição diária, em litros/dia;

Ve= Volume de evapotranspiração, em litro/m².dia.

O volume de contribuição diário é dado pela soma dos 110 litros/dia dos cinco habitantes com a pluviosidade diária de 3,8 litros/dia. Conforme a tabela 7, do capítulo 5, a taxa de evapotranspiração para a faixa de temperaturas entre 15 a 25°C é de 35 litros/m². dia.

7.2.2.2.3 *Vieira (2010)*

Por sua vez, Vieira (2010) propõe o dimensionamento do volume do tanque como sendo 2m³ por habitante, com dimensões pré-fixadas de 1 metro de profundidade, 2 metros de largura e 1 metro de comprimento para cada habitante. Estas dimensões podem variar, alterando o valor da área de superfície. Para fins de comparação, foram adotadas as dimensões propostas pelo autor.

7.2.2.2.4 *Resultados de área de canteiro*

Os resultados de cálculo da área necessária para o tanque estão apresentados no quadro 5.

Quadro 5 - Valores calculados de área superficial

Metodologia	$A = \frac{n \cdot Q_d}{ET_0 \cdot k_{evap} - P \cdot k_i}$	$A = \frac{Vc}{Ve}$	2m ³ por habitante
Área necessária calculada	17,82 m ²	3,36 m ²	8m ² tanque (4x2x1)

(Fonte: Elaborado pela autora)

Verifica-se, a partir destes resultados, uma grande inconsistência de valores obtidos. Dessa forma, evidencia-se que diferentes cenários requerem diferentes parâmetros para cálculo e

projeto. A adoção de valores ou metodologias padronizadas não se torna viável para este sistema, uma vez que precisa ser dimensionado, principalmente, de acordo com características de clima do local. Um dos prováveis motivos para tal é a falta de normatização e pesquisas contínuas sobre o assunto.

7.2.2.3 Filtro

O filtro do tanque de evapotranspiração corresponde ao volume acima da câmara de recepção, por onde o efluente irá percolar para ser utilizado pelas raízes das plantas. O volume de filtro pode ser calculado pela NBR 13.969 (ABNT, 1997) ou estimado por revisão bibliográfica. Todavia, muitos autores não propõem um dimensionamento do volume de filtro, citando apenas a altura necessária de cada camada filtrante.

7.2.2.3.1 NBR 13.969/1997

Pode-se considerar, para o dimensionamento do volume útil do leito filtrante, as recomendações da NBR 13969/1997 conforme a equação 4.

$$Vfa = 1,6 \times N \times C \times T \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

Vfa = volume do meio filtrante, em litros;

N = número de contribuintes;

C = contribuição de despejos, em litros x habitantes/ dia;

T = tempo de detenção hidráulica, em dias.

O tempo de detenção hidráulica é obtido na tabela 4 da norma referida, e é dado em função da temperatura média do mês mais frio, bem como da contribuição diária total. A contribuição de efluente considerada é de 100 litros por pessoa por dia para prédios de baixo padrão. Para temperaturas médias entre 15 e 25°C o volume do meio filtrante, de acordo com a equação 4 é de 800 litros.

7.2.2.3.2 *Revisão bibliográfica*

Em virtude de a contribuição de efluentes ser apenas de águas negras, o volume mínimo de 1000 litros, exigido pela norma técnica, dificilmente será alcançado. Do mesmo modo que, a partir de embasamento teórico, Ercole (2003) apontou o volume mínimo para o decantodigestor, o autor afirma que, para o meio filtrante, um volume mínimo de 700 litros seria suficiente para o tratamento de somente águas negras.

7.2.2.3.3 *Altura das camadas filtrantes*

De acordo com Soares (2016), são necessários para a camada filtrante, acima da câmara de recepção e pilha de entulhos:

- 10cm de brita grossa e fina (agregado com diâmetros superior a 32mm);
- 10cm de areia;
- Camada de solo orgânico.

É recomendável colocar uma manta de Bidim entre as camadas de brita e areia.

7.2.3 Considerações de projeto

Quanto à construção do sistema, a escolha da localização na propriedade é crucial. Deve-se optar por um local em que o fundo do tanque possa ser nivelado e que a água do vaso sanitário entre no sistema por gravidade, não havendo necessidade de utilização de bombas.

De acordo com Norma NBR 7.229 (ABNT, 1993), para tanques sépticos devem ser respeitadas distâncias mínimas horizontais de: 1,5m de construções, limites de terreno, sumidouro, valas de infiltração e ramal predial de água; 3,0m de árvores e qualquer ponto de rede de abastecimento de água; e 15,0m de poços freáticos e corpos d'água.

O tanque deve possuir bordas elevadas com o intuito de barrar a entrada de escoamento superficial (contribuição externa).

7.2.4 Utilização dos nutrientes

Este sistema preconiza o reciclo dos nutrientes provenientes do efluente através de sua utilização pelas plantas. De acordo com Tonetti (2018), alimentos como banana e taioba e folhas que crescem no tanque não ficam contaminados por bactérias e outros micro-organismos e, portanto, são seguros para o consumo humano. Por outro lado, não é recomendado o consumo de raízes como inhame ou gengibre ou frutos colhidos do chão.

7.3 BANHEIRO SECO

7.3.1 Cenário Considerado

O cenário proposto para a implementação do banheiro seco está apresentado no quadro 6. Este cenário considera características em que existe possibilidade utilização do sistema.

Quadro 6 – Cenário proposto para implementação do sistema de Banheiro Seco

Variáveis	Cenário
Condição de solo	Pouco permeável
Condição do lençol freático	Muito superficial (1m da superfície)
Topografia	Forte ondulado (20 – 45%)
Pluviosidade e Evapotranspiração	Clima subtropical
Isolamento da residência	Somente uma residência atendida
Interesse no reuso de nutrientes	Separação de águas amarelas e utilização de material compostado
Manejo e manutenção	Utilização de material compostado e urina

(Fonte: Elaborado pela autora)

O fato de os projetos de privadas secas apresentarem diversas configurações, conforme apresentado no item 5.3.1, e, portanto, possibilidade de instalação em diversas condições ambientais, amplia de maneira significativa os cenários possíveis para sua utilização. Algumas adaptações de projeto devem ser feitas a fim de maximizar sua eficiência. Em solos com altas taxas de permeabilidade e lençol freático superficial, banheiros de fossa seca não são recomendados. Todavia, os sistemas que contam com câmaras de armazenamento vedadas

podem ser utilizados em todos os tipos de solo. Em terrenos com altas declividades, como foi apresentado, podem ser construídos banheiros de recipientes móveis com rampas. A possibilidade de separação de urina neste sistema é geralmente mais explorada, devendo ser proposto um correto armazenamento e destinação.

7.3.2 Parâmetros de projeto

Em vista das condições apresentadas no quadro 6, foi proposta a construção de um banheiro compostável de duas câmaras com separação da urina. Este formato de banheiro parte do princípio de coleta e tratamento (compostagem) in loco, ou seja, não é necessário o manejo dos dejetos a curto prazo. Por não haver necessidade de manejo imediato das fezes e urinas, se aproximando do modelo hidráulico, o banheiro com compostagem in loco tem como aspecto positivo importante a sua maior aceitação social. No entanto, esse formato dispõe de uma série de limitações operacionais como: possível geração de odores e custo estrutural e de implementação mais elevados quando comparado a banheiros de recipientes móveis (PORTO e SIMÕES, 2016).

Todavia, Schönning e Stenström (2004) afirmam que o mau cheiro no banheiro será menor se a urina e as fezes forem mantidas separadas e isto resultará em um uso mais conveniente e aceitável do sanitário e manejo da excreta. Jenkins (2005) afirma que a razão para a separação dos dejetos se deve ao fato de que a mistura da urina com as fezes contém muito nitrogênio, o que compromete a compostagem e pode gerar um composto muito úmido e de odor desagradável. Portanto, a coleta da urina reduz o volume de nitrogênio, o conteúdo de líquido e o odor.

O modelo de banheiro com duas câmaras pode ser projetado de modo que o tanque de armazenamento fique abaixo do sanitário, ou com uma rampa abaixo do sanitário por onde descem as fezes para o tanque de compostagem. Devido à possibilidade de visualização dos mesmos no modelo com o tanque abaixo do sanitário adicionada à aversão aos próprios resíduos (fecofobia), e a condição de topografia forte ondulada, o modelo com rampa se torna mais aconselhável.

Figura 13: Modelos de banheiro seco de duas câmaras com rampa



(Fonte: Blog meio-ambiente)

Figura 14: Desenho de banheiro com duas câmaras.



(Fonte: Jenkins, 2005)

A construção de um sanitário seco com segregação de fezes e urina necessita dos seguintes elementos: estrutura de proteção, bacia segregadora, sistema de coleta e armazenamento da urina, câmara para armazenamento das fezes, tubulação para ventilação. Cada um destes itens será melhor abordado abaixo.

7.3.2.1 Estrutura

A estrutura do banheiro é construída afastada da residência e visa abrigar o usuário e completar a proteção das câmaras. Para sua construção, existe uma grande variedade de materiais que podem ser empregados, com a preferência dada àqueles de maior disponibilidade no local, menor custo e maior resistência. Os materiais comumente usados para as paredes são: tijolos,

madeira, adobe, taipa, blocos de concreto, placas de cimento armado e outros; e para os telhados os mais empregados são: telhas cerâmicas, chapas onduladas de fibrocimento, zinco e alumínio, placas de cimento armado e outros. A porta é geralmente construída de madeira e recomenda-se que abra para fora (FUNASA, 2015).

Para o modelo com rampa, a ONG Sítio Sete Lombas (SETELOMBAS, 2006) disponibiliza algumas instruções quanto a construção:

Altura da câmara de compostagem: esta medida se refere ao espaço para a bolsa de ar quente que deverá se formar na parte mais alta da câmara, encostada na parede de trás do sanitário. Se essa dimensão for insuficiente, o ar quente que sobe pela chapa preta e sai pela chaminé, tenderá a escapar para dentro do sanitário provocando um desconforto para o usuário, além do odor.

Dimensões: As medidas do sanitário são definidas pelo tamanho das câmaras, da inclinação da rampa e da noção de conforto para as pessoas que vão usá-lo. As câmaras devem ter cerca de 1 metro cúbico de espaço para o material a ser compostado. Portanto, a largura de uma câmara é aproximadamente de 1 m, e o sanitário, como tem duas câmaras, terá 2 m de largura.

A rampa: Inclinação mínima de 45°. Para uma boa compostagem, é necessário que o material seja misturado, mas como neste caso é uma tarefa manual indesejável, a rampa possibilita que o produto fecal role envolto em serragem até o final da rampa. Portanto é imprescindível que a rampa seja lisa e que antes do primeiro uso a rampa seja coberta com serragem. Para a serragem parar na rampa pela primeira vez, basta molhar a rampa antes de colocar a serragem.

Altura de queda até a rampa: aproximadamente 80 cm para provocar o início da rolagem.

7.3.2.2 Bacia segregadora

Para possibilitar a coleta em separado da urina e das fezes, de maneira facilitada para o usuário, utiliza-se uma bacia que contém duas seções separadas. Na parte frontal a urina é coletada e drenada para um sistema de armazenamento. Enquanto que, a parte posterior contém um buraco maior para a coleta das fezes.

Bacias segregadoras do tipo pedestal estão disponíveis no mercado. Contudo, quando não há acesso a este produto, e a fim reduzir os custos de implantação do sistema, esta pode ser confeccionada utilizando tubos que podem ser de diversos materiais. De acordo com Demenighi (2017), um modelo do tipo pedestal com tubos de Policloreto de vinila (PVC) pode ser confeccionado com dois tubos, um de 200 e outro de 100 ou 50 mm, unidos entre si, o primeiro para a coleta de fezes e o segundo, na parte frontal, para a coleta de urina

Figura 15: Vaso sanitário segregador



(Fonte: Paulo, J.(s.d.))

Figura 16: Vaso sanitário tipo pedestal com separador de urinas e fezes



(Fonte: Banheiro seco ecológico, 2012)

Tilley, et al. (2014) considera dois detalhes de design como importantes para o correto funcionamento do sistema, são eles: a compartimentação do sanitário deve ser feita de maneira que impossibilite a mistura das excretas e; deve-se evitar utilização de encanamentos de metal, pelo potencial corrosivo da urina.

Muitas vezes este sistema pode não ser intuitivo ou imediatamente óbvio para alguns usuários. Com o intuito de evitar erros e acidentes e, garantir o funcionamento e aceitação, a apresentação dos projetos e treinamento são imprescindíveis. Para melhor aceitação e, para evitar que urina entre na câmara de fezes, o sanitário pode ser combinado com um mictório.

7.3.2.3 Coleta de urina

A urina coletada, conforme apresentado no item 5.3, pode ter diversos fins. Para calcular o volume do recipiente de armazenamento da urina é necessário que se saiba o tempo que esta permanecerá armazenada até ser retirada.

De acordo com Schönning, 2004, o armazenamento da urina à temperatura ambiente é considerado uma opção viável de tratamento. O tempo recomendado de armazenamento a temperaturas de 4 a 20° C variam entre um e seis meses para sistemas de grande escala dependendo do tipo de cultivo a ser fertilizado. Para residências individuais, a urina pode ser aplicada diretamente a qualquer cultivo sem ser armazenada contanto que transcorra um mês entre a fertilização e a colheita, se a contaminação fecal cruzada e a diluição da urina forem evitadas (SCHÖNNING E STENSTRÖM, 2004).

O volume do tanque de urina necessário pode ser calculado a partir da equação 5, proposta por Demenighi (2017):

$$V_t = N \times V_u \times T_{arm} \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

V_t = Volume do tanque, em litros;

N = Número de usuários;

V_u = Volume de urina excretado por pessoa por dia, em litros/pessoa. dia

T_{arm} = Tempo de armazenamento, em dias.

Em média, de acordo com Otterpohl (2000) a produção anual de urina é de 500 litros, adota-se, portanto, uma média de 1,5 litros de urina por pessoa por dia. Em uma residência com cinco habitantes, para um tempo de armazenamento de 7 dias, o volume necessário seria de 52,5 litros. Tanques de 50 litros poderiam ser esvaziados a cada 6 dias.

Tanques de até 20 litros são frequentemente utilizados para um armazenamento em curto prazo, pois são facilmente transportados, porém o esvaziamento deverá ser feito com maior frequência.

Em uma residência com cinco habitantes, estes tanques devem ser esvaziados a cada 2 dias ou 3 dias.

Tanques de tamanhos intermediários podem ser utilizados alternadamente, oferecendo um tempo maior de armazenamento. No entanto, recomenda-se não utilizar tanques com dimensões muito grandes pela dificuldade de transporte. Também é recomendado que o comprimento da tubulação não ultrapasse 10 metros e, que as curvas sejam evitadas sempre que possível.

Figura 17: Sistema de coleta de urina de uma residência.



(Fonte: Schönning, 2004)

7.3.2.4 Coleta e armazenamento de fezes

O banheiro compostável proposto utiliza duas câmaras intercambiáveis. Apenas uma câmara é utilizada até que esteja cheia, para que então, seja fechada e se utilize a outra câmara. O uso de duas câmaras possibilita um maior período de tempo para a compostagem da matéria fecal.

Schönning e Stenström (2004) afirmam que para compostar fezes é necessário adicionar material volumoso, como lascas de madeira/cascas de árvore para permitir a aeração. Jenkins (1999) afirma que o esterco humano pode ser misturado com outros materiais orgânicos resultantes das atividades humanas, tais como restos de alimentos, cascas, restos de podas, folhas de árvores e aparas de grama, papéis e serragem. Esta mistura de materiais é necessária para que a compostagem ocorra apropriadamente, e produzirá um aditivo de solo adequado para a agricultura e horticultura. Para que a compostagem de material fecal humano seja eficaz,

vários fatores devem ser considerados, como: temperatura, umidade, aeração, relação C/N e pH.

As câmaras devem obedecer sempre que possível a orientação solar norte, no hemisfério sul, e evitar locais sombreados, pois a radiação auxilia no processo uma vez que eleva a temperatura da câmara e, portanto, do composto.

O dimensionamento da câmara vai depender do número de usuários e a frequência de utilização. Demenighi (2017) propõe a equação 6 como metodologia para obtermos o volume por pessoa para um período de armazenamento de 6 meses, considerando-se uma altura livre de 20 cm acima da massa dentro da câmara, pois a distribuição ao longo da pilha pode ocorrer de forma desigual acumulando-se em um ponto.

$$V_c = N \times 35 \quad \text{(Equação 6)}$$

Em que:

V_c = Volume da câmara de fezes, em litros;

N = Número de usuários.

De acordo com Otterpohl (2000) uma pessoa adulta produz, anualmente cerca de 50 litros ou 35 kg de fezes. Para Austin (2007), uma pessoa necessita de 70 litros para acomodar as fezes produzidas em 1 ano em um BSVS, considerando também o aditivo e o papel higiênico necessário neste volume

Considerando a proposta de Austin (2007) e Demenighi (2017), para um período de armazenamento de um ano e uma residência com cinco habitantes, o volume de cada câmara deve ter no entorno de 0,35m³.

Considerando o cenário apontado no quadro 6, que o nível do lençol freático é raso, é importante que as câmaras de compostagem sejam impermeabilizadas para que as excretas não entrem em contato direto com o solo. Também deve ser observado que, antes da primeira utilização, deve-se cobrir o chão da câmara com uma espessa camada de 3cm de terra seca para absorver a umidade e impedir a aderência das fezes no piso (DEMENIGHI, 2017). Jenkins (1999)

recomenda “pré-carregar” o banheiro com uma “esponja biológica”, uma camada espessa de material de celulose absorvente que enche o fundo da câmara de composto até uma profundidade de até 50% de sua capacidade, este material pode ser fardos de feno ou palha enterrados em serragem.

7.3.2.5 Tubulação de ventilação

O suprimento de ar e ventilação beneficia o processo de compostagem das excretas, para tal, os tanques não devem ser fechados. O sistema de ventilação dentro da câmara fornece a exaustão dos odores e da umidade. A ventilação natural consiste em posicionar um tubo de pelo menos 100 mm de diâmetro que por meio do efeito sifão leva os odores para fora do ambiente. Podem ser metálicos ou de plástico, e devem ultrapassar um metro acima do telhado (DEMENIGHI, 2017).

7.3.3 Qualidade do Material Compostado

A compostagem é um processo biológico no qual, sob condições controladas, bactérias degradam substância orgânicas produzindo húmus. A compostagem da excreta humana, depositada em câmaras, juntamente com agentes de volume adicional, ocorre pela ação de uma grande variedade de microrganismos que decompõem os sólidos, assim como eventualmente acontece com todos os materiais orgânicos no ambiente natural. (ESREY, 1998).

O processo de compostagem possui diferentes estágios, que mudam conforme a temperatura do composto. Esta variação de temperatura, somada ao elevado pH, competição por nutrientes e toxinas produzidas na decomposição contribuem para a eliminação ou redução de patógenos (GAJUREL, 2007). A tabela 10 apresenta o tempo de sobrevivência de patógenos em diferentes condições de tratamento.

Tabela 10 - Tempo de sobrevivência de patógenos (em dias) em diferentes condições de tratamento/disposição.

Condição	Bactéria	Vírus	Protozoário*	Helmintos**
Solo	400	175	10	Meses
Plantação	50	60	Sem dados	Sem dados
Fezes, esgoto (20 – 30° C)	90	100	30	Meses
Compostagem anaeróbia ⁵	60	60	30	Meses
Compostagem termófila ⁶	7	7	7	7

* Excluindo *Cryptosporidium parvum*** Principalmente *Ascaris*, outros ovos de parasitas tendem a morrer mais rápido.

(Fonte: Esrey, 1998)

Na pesquisa de Sá (2011) foram realizadas amostras em dois banheiros secos no estado de São Paulo de duas câmaras com rampa. Foram analisados diversos parâmetros, entre estes, coliformes totais e termotolerantes. Os valores obtidos são apresentados na tabela 11. Nota-se que os valores de coliformes ficaram abaixo dos determinados pela Instrução Normativa nº27 (MAPA, 2006), que determina como valor máximo 1.000 NMP/g de coliformes termotolerantes admitidos em substrato para plantas.

Tabela 11 - Resultado de análise de coliformes totais e termotolerantes

	Tempo de compostagem	Coliformes Totais (NMP/g)	Coliformes Termotolerantes (NMP/g)
Banheiro compostável de duas câmaras e rampa, Piracicaba	12 meses	92,08	-
	6 meses	38,72	15,94
Banheiro compostável de duas câmaras e rampa, Botucatu	12 meses	16,24	30,76
	24 meses	129,97	15,85

(Fonte: Sá, 2011)

O estudo de Botto, et al. (2010), analisou coliformes termotolerantes de material coletado de banheiro seco no Ceará com 12 meses de tempo de maturação. Obteve o valor de 3 NMP/g.

O trabalho de Alves (2009) mediu os coliformes totais e feciais de dois banheiros de duas câmaras, um com e outro sem rampa. O resultado obtido para coliformes feciais em uma amostra de 12 meses do banheiro com rampa foi de 7,4 NMP/100ml. A análise de coliformes totais resultou em um valor acima de 2400 NMP/100ml. No banheiro sem rampa, a medida de coliformes feciais em uma amostra de um ano e dois meses foi de 77,1 NMP/100ml, enquanto o material fresco obteve 435,2 NMP/100ml.

Visto que o composto produzido das excretas será utilizado como fertilizante, é importante a revisão da Instrução Normativa 25, de 23 de setembro de 2009 (MAPA, 2009). Esta aprova as normas sobre as especificações, as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. A mesma traz as seguintes definições quanto à classificação dos fertilizantes orgânicos, de acordo com a matéria prima utilizada em sua produção:

Classe A: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados, no processo, metais pesados tóxicos ou elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

Classe B: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

Classe C: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura; e

Classe D: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

Segundo esta classificação, o composto proveniente dos banheiros secos se enquadraria na Classe D. Esta classe apresenta algumas restrições de uso como fertilizantes, são estas:

-Aplicação somente através de equipamentos mecanizados;

-Durante o manuseio e aplicação, deverão ser utilizados equipamentos de proteção individual (EPI);

-Uso proibido em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo.

8. DISCUSSÃO

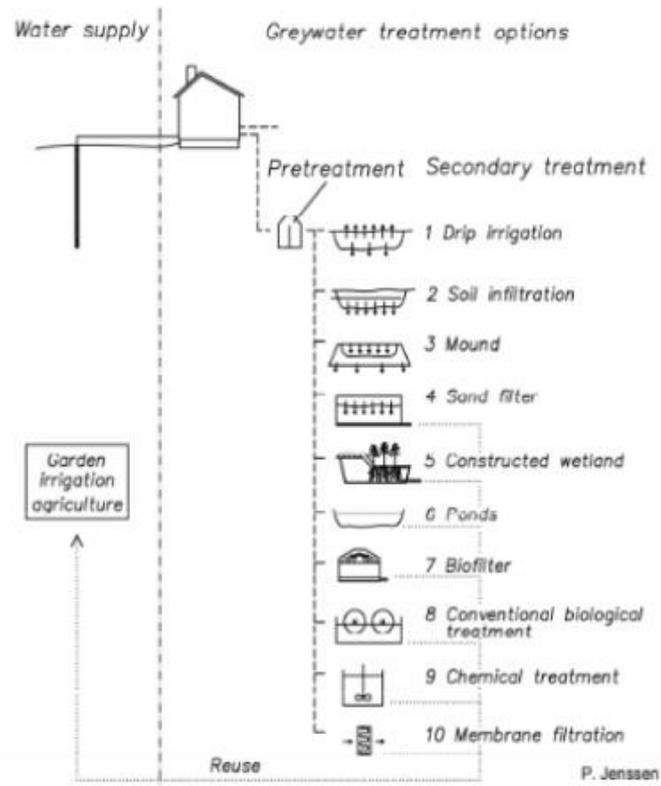
As vantagens do uso de sistemas descentralizados abrangem as áreas social, econômica, ambiental e operacional. A menor demanda por recursos financeiros, a contribuição com a sustentabilidade local e a oportunidade de reúso de água e nutrientes são benefícios que, cada vez mais, vêm ganhando destaque (METCALF & EDDY, 2002).

A escolha dos três sistemas realizou-se com o intuito de propor métodos simples que possam ser implementados e mantidos em áreas rurais com certa facilidade, sem necessitar muitos recursos e visando a possibilidade de aproveitamento de nutrientes. Em muitos casos, a separação das águas dos vasos sanitários das águas cinzas da casa pode se tornar um impeditivo para a adoção destes sistemas. Uma das limitações deste trabalho é, portanto, a proposta de tratamento somente para águas negras.

As águas cinzas da residência também devem possuir um destino adequado. Apesar de possuírem menores quantidades de patógenos e nitrogênio, podem ter altos níveis de fósforo, derivado de sabões e detergentes, bem como materiais orgânicos de fácil degradação, como gorduras e óleos (JENSSEN, 2008). O tratamento da água cinza é relativamente simples, dependendo do objetivo do reúso, podendo ser realizado nas próprias residências, inclusive com aplicação direta no solo para irrigação de árvores e jardins, desde que sejam seguidos alguns critérios de ordem sanitária (GABIALTI, 2009).

Existem alternativas de sistemas naturais de baixo custo que não utilizam químicos e necessitam de pouca energia. No entanto, geralmente requerem uma maior área. São apresentadas na figura 17 algumas metodologias de tratamento de águas cinzas.

Figura 18: Métodos de tratamento de águas cinzas



(Fonte: Jønsen, 2008)

O estudo de tratamentos de águas cinzas, alinhado com tratamentos de águas negras, para sistemas rurais, é uma proposta para trabalhos futuros, visto que a possibilidade de reúso das águas cinzas e a utilização de nutrientes de águas negras pode propiciar um gerenciamento de efluentes inteligente e sustentável.

Apesar da necessidade de viabilizar a separação dos efluentes e dois sistemas de tratamento, a possibilidade de tratar as águas negras em separado agrega benefícios. Primeiramente, o menor volume de efluente com alta carga orgânica e patógenos a ser tratado necessita de sistemas menos robustos e eficientes. Além disso, a geração de fertilizantes provenientes da digestão das excretas tem apresentado retorno financeiro as famílias e propicia o fechamento do ciclo de utilização de nutrientes e, ainda, a quebra do ciclo de contaminação por patógenos. A possibilidade de reutilização de águas cinzas é também uma prerrogativa importante, sobretudo para áreas que sofrem com escassez.

De acordo com a pesquisa realizada pelo Ecooideia - Cooperativa de Serviços e Ideias Ambientais, no assentamento Che Guevara, em Cristalina, Goiás, o uso do biofertilizante

produzido pelas fossas sépticas biodigestoras gerou uma economia mensal entre R\$ 30 e R\$ 90 reais, resultado da substituição da compra de adubos químicos. Neste assentamento, as famílias utilizam o biofertilizante no solo de pomares e em hortaliças (EMBRAPA, 2010).

A utilização do composto do banheiro seco e da urina, pode, da mesma forma, agregar benefícios financeiros. A composição química das fezes e da urina apresenta elementos que são encontrados em fertilizantes químicos utilizados amplamente na agricultura. A urina possui nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio (ESREY, 1998). O composto produzido com as fezes, apesar de possuir menores teores de nutrientes do que a urina é uma ótima alternativa para uso como condicionadores de solo (SÁ, 2011).

O tanque de evapotranspiração não viabiliza a reutilização de nutrientes no solo, visto que estes são aproveitados pelas plantas utilizadas na área do tanque.

É relevante destacar que foram constatadas inconsistências de dimensionamento, especialmente para o tanque de evapotranspiração. Pode-se atribuí-las ao fato de não haver uma norma que norteie o dimensionamento destes sistemas. É importante ratificar a pesquisa de sistemas alternativos de saneamento, dado que podem ser a garantia da qualidade ambiental e da saúde pública. Ademais, são alternativas sustentáveis econômica, ambiental e socialmente.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A problemática que tange às condições de saneamento básico, principalmente o tratamento de esgotos, já é de conhecimento da sociedade. O cenário de bem-estar da sociedade está intimamente ligado aos níveis de saneamento da região. As populações da área rural, bem como populações marginalizadas de áreas urbanas, geralmente são menos favorecidas e mais impactadas pela ineficiência do Estado em prover inúmeros serviços básicos, entre os quais o fornecimento de água e a coleta de esgoto. Apresentar à população alternativas de gestão seguras das excretas que possuam baixo custo e que possam agregar renda deve se tornar prioridade a fim de romper o ciclo de contaminação principalmente por patógenos.

Os sistemas de tratamento fossa séptica biodigestora, tanque de evapotranspiração e banheiro seco, abordados no trabalho, são alternativas de tratamento de efluente simples e eficientes e são propostas com o intuito de mudar o cenário apresentado, que é muito mais adverso nas áreas rurais.

A partir do estudo de cada um dos sistemas, conclui-se que, apesar de haver deficiências em pesquisas e normas de dimensionamento e qualidade de efluente, pode-se afirmar que os sistemas agregam grandes benefícios ao saneamento básico de áreas rurais e, portanto, a qualidade de vida da população. Os benefícios da adoção destes sistemas são, principalmente, o isolamento das excretas do contato humano, a prevenção de contaminação de recursos hídricos e solo e, no caso da fossa biodigestora e do banheiro seco, a possibilidade de utilizar os resíduos tratados, diminuindo custos com fertilizantes.

Considerando a diversidade de características ambientais e socioculturais do país, é intuitivo esperar que tecnologias viáveis em alguns locais não sejam apropriadas em outros. Portanto, a elaboração da matriz de variáveis ambientais e socioculturais se mostra útil de modo a facilitar a escolha da metodologia de tratamento pertinente. Todavia, a partir da consideração de que, em alguns cenários a implementação de certa metodologia de tratamento, apesar de não ser a ideal, pode ser a melhor alternativa, cada caso deve ser analisado para que sejam propostas alterações de projeto visando a garantia da eficiência do tratamento.

A ampliação de pesquisa e divulgação de tecnologias alternativas, juntamente com um processo contínuo de educação ambiental da população se apresenta, portanto, como um dos meios de atingir a universalização do saneamento básico.

REFERÊNCIAS

ANDREOLLI, C. V. (Coord.). **Tratamento de lodo de fossa/tanque séptico**. PROSAB 5 – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

AHAMED, W. et al. **Evidence of septic system failure determined by a bacterial biochemical fingerprinting method**. *Journal of Applied Microbiology*, 910-20, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.969** Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro 1993

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.575** Impermeabilização. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.649** Projeto de redes coletoras de esgoto. Rio de Janeiro, 1986.

ALENCAR, L. et al. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o Padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**. Jaboticabal, p.39-50. V. 35. 2015

ALVES, B.S.Q., **Banheiro seco: Análise da eficiência de protótipos em funcionamento**. Dissertação-Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharel em Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009

AUSTIN, L. M. **Design and operation criteria for urine-diversion ecological sanitation systems with particular reference to public health**. University of Pretoria, 2007.

BENJAMIN, A.M., **Bacia de evapotranspiração: Tratamento de efluentes domésticos e de produção de alimentos**. 2013. 50f. Dissertação -Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013

BRADLEY, B.R. et al. **Evaluation of onsite wastewater treatment technologies using sustainable development criteria** Clean Techn Environ Policy 4: 87. 2002 Disponível em. <<https://doi.org/10.1007/s10098-001-0130-y>> Acesso em: 21 de ago. 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB**. Brasília, 2013.

BRASIL; **Lei Federal 11.445 de 2007**. Brasília: Congresso Federal, 2007

BRASIL; Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2014**. Brasília, 2016. p. 272.

BRASIL; Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2016**. Brasília, 2016.

BRASIL; Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 4 ed. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2015.

BRASIL; Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Orientações Técnicas para Elaboração de Propostas para o Programa de Melhorias Sanitárias Domiciliares – Funasa**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2014.

BRASIL; **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios PNADC**. 2017

BRASIL, **Resolução CONAMA n°430**, de 13 de maio de 2011. Condições e padrões de lançamento de efluentes.

BRASIL, **Resolução CONAMA n°357**, de 17 de março de 2005. Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

BRASIL, **Resolução CONSEMA n°355**, de 2017. Critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul.

BRASIL, **Resolução CONSEMA n°245**, de 2010. Fixação de procedimentos para o licenciamento de Sistemas de Esgotamento Sanitário.

BRISCOE, J. Abastecimiento de agua y servicios de saneamiento. Su funcion en la revolucion de la supervivencia infantil. **Bulletin of the Pan American Health Organization**, v. 21, 1987.

CAPODAGLIO, A. G. et al. **Sustainability of decentralized wastewater treatment technologies**. 2017

COELHO, V. M., DUARTE, U. **Potencial de contaminação de aquífero freático por esgoto doméstico** – Quantificação do decaimento bacteriológico. *Águas Subterrâneas*, pp.01-12. V. 22. 2008

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL CPRM **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações** 2ed .2000

CVJETANOVIC, B. **Health effects and impact of water supply and sanitation**. *World Health Statistics Quarterly*, v.39, p.105-117, 1986.

DEMENIGHI, A. GÓMEZ, L. SOUZA, R. **Parâmetros projetuais para a implantação de sanitários secos desidratadores com desvio de urina (SSDDU)**. *Mix Sustentável, Florianópolis* v.3 n.3 p.41-52. 2017

ERCOLE, L. A. **Sistema modular de gestão de águas residuárias domiciliares: uma opção mais sustentável para a gestão de resíduos líquidos**. Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003

ESREY, S.A. et al. Effects of improved water supply and sanitation on ascariasis, diarrhea, dracunculiasis, hookworm infection, schistosomiasis, and trachoma. **Bulletin of the World Health Organization**, 69 (5): 609-621. 1991

ESREY, S.A. et al. **Ecological Sanitation**. Swedish International Development Cooperation Agency, Stockholm 1998

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro, RJ 2006.

EMBRAPA, **Saúde e Renda no Campo: Saiba como montar um sistema inovador de esgoto sanitário**. Brasília, 2010.

EMBRAPA. **Como montar e usar a fossa séptica modelo Embrapa**. Brasília, 2014

EMBRAPA. **Saneamento Básico Rural**, Brasília, 2014a

EMBRAPA. **Utilização de uma Fossa Séptica Biodigestora para Melhoria do Saneamento Rural e Desenvolvimento da Agricultura Orgânica**. Comunicado Técnico. São Carlos, 2002

EMBRAPA. **Perguntas e Respostas: Fossa Séptica Biodigestora**, São Carlos, 2010.

Fácil Engenharia. (s.d.) **Banheiros secos: vasos sanitários que dispensam uso de água**
Disponível em: <<http://www.facilengenharia.com.br>>. Acesso em: 20 de novembro de 2018

FAUSTINO, Adriana Soares. **Estudos físico-químicos do efluente produzido por fossa séptica biodigestor e o impacto do seu uso no solo**. Dissertação programa de pós-graduação em Química mestrado Universidade Federal de São Carlos 2007

FLORENCIO, L.; BASTOS. R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. PROSAB 4. Recife – PE. ABES, 2006. 427p

GABIALTI, A. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**. Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande. 2009

GAJUREL, D. R.; WENDLAND, C. **Ecological Sanitation and Associated Hygienic Risk. An overview of existing policy making guidelines and research**. Women in Europe for a Common Future. Germany, 2007.

GIVELOVE. **Santo Household Sanitation Project**. 2015. Disponível em: <<http://givelove.org/haiti/>>
Acesso em: 20 de novembro de 2018

GONÇALVES, R. F.; BAZARELLA, B. B. **Reuso de águas cinzas e gerenciamento alternativo das águas amarelas (urina) em área urbana**. In: Workshop sobre Reuso Anais., Campina Grande, 2005.

HELLER, L. Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 2, p. 73-84, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**. Brasília, 2010

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas de Saneamento 2011**. Brasília, 2011

JENKINS, J. **The Humanure Handbook: a guide to composting human manure**. 2ed, 2005

KAMRA, D. N. **Rumen microbial ecosystem**. Current Science, Bangalore, v. 89, n. 1, p. 124-134, 2005.

LEGAN, L. **Soluções Sustentáveis: uso da água na permacultura**. Mais Calango Editora: Pirenópolis, Goiás. 2007.

LEONEL, L. MARTELLI, L. SILVA, W. **Avaliação do efluente de fossa séptica biodigestora e jardim filtrante**. Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management. 2013.

LÜTHI, C. et al. **Local Solutions for Sanitation**. Evidence for Policy Series, Global edition, No. 5. Bern, Switzerland: NCCR North-South. 2011

MALISIE, A F. **Sustainability Assessment on Sanitation Systems for Low Income Urban Areas in Indonesia**. Hamburg University of Technology. Hamburg, 2008.

MASSOUD, May A. et al. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. **Journal of Environmental Management**. Elsevier, v. 90, 652-658, 2008

METCALF; EDDY, INC. **Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse**. New York, 2002. 1334 p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa N° 25**, de 23 de setembro de 2009.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa N° 27**, de 05 de junho de 2006.

MOTA, F. S., GOEDERT, C. O. **Evapotranspiração potencial no Rio Grande do Sul**. Pesquisa agropecuária brasileira 1:155-163 Seção: Ecologia. 1966

MUNKHONDIA, T. **On the road to sustainable sanitation: an overview of practices and lessons learned from a sanitation programme in Malawi**. Vol. 32, No. 1, pp. 50-57, 2013.

OLIVEIRA JÚNIOR, JL. **Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas: uma estratégia de inclusão social**. In: LIRA, WS., and CÂNDIDO, GA., orgs. Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2013.

OTTERPOHL, R. **Design of highly efficient Source Control Sanitation and practical Experiences**. In: EURO-Summer School DESAR, Wageningen, Holanda. 2000. 16p.

OTTERPOHL R.U. **Innovative technologies for decentralised wastewater management in urban and peri-urban areas**. Istanbul. 2002

PAMPLOMA, S., VENTURI, M. Esgoto á flor da terra: Sistema de evapotranspiração é solução simples, acessível e sustentável. **Permacultura Brasil: Soluções ecológicas**. n16, 18-19, 2004

PAULO, P. L.; BERNARDES, F. S. (s.d) **Estudo de taque de evapotranspiração para o tratamento domiciliar de águas negras**. Fundação Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMT. Disponível em: http://sustentavelna pratica.net/arquivos/estudo_fossa_evapotrasnpiracao.pdf. Acesso em: 20 de novembro de 2018.

PERMINIO, G. **Viabilidade do uso de biodigestor como tratamento de efluentes domésticos descentralizado**. 2013. 56f. Monografia- Programa de Pós-Graduação Latu Sensu em Formas Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013

PIRES, F. J. **Construção participativa de sistemas de tratamento de esgoto doméstico no Assentamento Rural Olga Benário - MG**. Dissertação de Mestrado – Viçosa, MG, 2012.

PLATZER, C.; HOFFMANN, H.; CARDIA, W. **O wetland como componente de Ecosan – Experiências com o uso e dimensionamento no clima subtropical**. Ecosan – Fortaleza, 2007.

PORTO, L. O.S., SIMÕES, L.G.S.R. **Banheiro seco como solução sanitária para comunidades em extrema pobreza: Um estudo de caso de Jardim Gramacho**. Dissertação- Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016

REMÍGIO, A. F. N. **Estudo da colmatação biológica de sistemas filtro-drenantes sintéticos de obras de disposição de resíduos domésticos urbanos sob condições anaeróbias**. 2006. 134p. Tese (Doutorado em Geotecnia) -Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília, 2006

SÁ, M.C. **Banheiro Compostável como Alternativa para Melhoria da Qualidade Ambiental de Pequenas Comunidades**. (Monografia de conclusão de curso). Centro Superior de Educação Tecnológica. Universidade Estadual de Campinas. 2008.

SARTORI, A. NETO, F.L., GENOVEZ, A.M. **Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 10 n.4. 2005

SCHÖNNING, C., STENSTRÖM, T.A., 2004. **Guidelines for the Safe Use of Urine and Faeces**. Ecological Sanitation. Report Ecosanres, Sweden. 2004.

SETELOMBAS. **Sanitário Compostável**. Disponível em: <<http://www.setelombas.com.br/2006/04/20/sanitario-compostavel/>>. Acesso: 20 de novembro de 2018.

SOUZA, M. E. Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. **Revista DAE**. Vol 44. 88-94. 1984

SUN-MAR. **Products: Self-Contained**. Disponível em: https://sun-mar.com/prod_self_exce_ne.html

SUGDEN, S. **One step closer to sustainable sanitation: the experience os na ecosanitation Project in Malawi**. WaterAid, Malawi. 2003

TILLEY, E. et al. **Compendium of Sanitation Systems and Technologies** 2 ed. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). 2014

TONNETI, A. L. et al. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: Referencial para escolha de soluções**. Biblioteca Unicamp. Campinas. 2018

TSAGARAKIS, K.P. et al. **Wastewater management in Greece: experience and lessons for developing countries**. Water Science and Technology Vol 44 No 6. 163–172. 2001

UEHARA, M.Y. et al. **Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas**. São Paulo: CETESB, 1989.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **National Engineering Handbook** Chapter 7 Hydrologic Soil Groups, 2007

USEPA **Handbook for Managing Onsite and Clustered (Decentralized) Wastewater Treatment System**, 2005

VINNERAS B. **Comparison of composting, storage and urea treatment for sanitising of faecal matter and manure** Biores. Technol, pp.3317-3321 2007

YVYPORÃ. Tratamento de efluentes. 2008. Disponível em: <https://yvypora.wordpress.com>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Sanitation safety planning: manual for safe use and disposal of wastewater, greywater and excreta**. Geneva, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Progress on Sanitation and Drinking Water**. Geneva, 2015.

ANEXO A – TABELAS ABNT

NBR 7.229/1993

Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante

Unid.: L			
Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos (C) e lodo fresco (Lf)	
1. Ocupantes permanentes			
- residência			
padrão alto	pessoa	160	1
padrão médio	pessoa	130	1
padrão baixo	pessoa	100	1
- hotel (exceto lavanderia e cozinha)	pessoa	100	1
- alojamento provisório	pessoa	80	1
2. Ocupantes temporários			
- fábrica em geral	pessoa	70	0,30
- escritório	pessoa	50	0,20
- edifícios públicos ou comerciais	pessoa	50	0,20
- escolas (externatos) e locais de longa permanência	pessoa	50	0,20
- bares	pessoa	6	0,10
- restaurantes e similares	refeição	25	0,10
- cinemas, teatros e locais de curta permanência	lugar	2	0,02
- sanitários públicos ^(A)	bacia sanitária	480	4,0

^(A) Apenas de acesso aberto ao público (estação rodoviária, ferroviária, logradouro público, estádio esportivo, etc.).

Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária

Intervalo entre limpezas (anos)	Valores de K por faixa de temperatura ambiente (t), em °C		
	t ≤ 10	10 ≤ t ≤ 20	t > 20
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio

Contribuição diária (L)	Tempo de detenção	
	Dias	Horas
Até 1500	1,00	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	16
De 7501 a 9000	0,58	14
Mais que 9000	0,50	12

NBR 13969/1997

Contribuição diária de despejos e de carga orgânica por tipo de prédio e de ocupantes

Prédio	Unidade	Contribuição de esgoto L/d	Contribuição de carga orgânica gDBO _{5,20} /d
1. Ocupantes permanentes			
Residência			
Padrão alto	Pessoa	160	50
Padrão médio	Pessoa	130	45
Padrão baixo	Pessoa	100	40
Hotel (exceto lavanderia e cozinha)	Pessoa	100	30
Alojamento provisório	Pessoa	80	30
2. Ocupantes temporários			
Fábrica em geral	Pessoa	70	25
Escritório	Pessoa	50	25
Edifício público ou comercial	Pessoa	50	25
Escolas (externatos) e locais de longa permanência	Pessoa	50	20
Bares	Pessoa	6	6
Restaurantes e similares	Pessoa	25	25
Cinemas, teatros e locais de curta permanência	Lugar	2	1
Sanitários públicos ¹⁾	Bacia sanitária	480	120
¹⁾ Apenas de acesso aberto ao público (estação rodoviária, ferroviária, logradouro público, estádio de esportes, locais para eventos etc.).			

(Fonte: ABNT,1997)

Tempo de retenção hidráulica de esgotos (T), por faixa de temperatura do esgoto (em dias)

Vazão L/dia	Temperatura média do mês mais frio		
	Abaixo de 15°C	Entre 15 °C e 25°C	Maior que 25°C
Até 1 500	1,17	1,0	0,92
De 1 501 a 3 000	1,08	0,92	0,83
De 3 001 a 4 500	1,00	0,83	0,75
De 4 501 a 6 000	0,92	0,75	0,67
De 6 001 a 7 500	0,83	0,67	0,58
De 7 501 a 9 000	0,75	0,58	0,50
Acima de 9 000	0,75	0,50	0,50

(Fonte: ABNT,1997)