

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Vinicius Restori Soares

**TANQUES BIOSÉPTICOS PARA O TRATAMENTO DE
ESGOTOS DOMÉSTICOS EM ZONAS RURAIS**

Porto Alegre
Dezembro de 2016

VINICIUS RESTORI SOARES

**TANQUES BIOSÉPTICOS PARA O TRATAMENTO DE
ESGOTOS DOMÉSTICOS EM ZONAS RURAIS**

Projeto de Pesquisa do Trabalho de Diplomação a ser apresentado
ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Miguel Aloysio Sattler

Porto Alegre
Dezembro de 2016

VINICIUS RESTORI SOARES

**TANQUES BIOSÉPTICOS PARA O TRATAMENTO DE
ESGOTOS DOMÉSTICOS EM ZONAS RURAIS**

Porto Alegre, 8 de dezembro de 2016

Prof. Miguel Aloysio Sattler
PhD pela Sheffield University, UK
Orientador

Prof. Luis Carlos Bonin
Mestre pela UFRGS
Relator

BANCA EXAMINADORA

Prof. Luis Carlos Bonin (UFRGS)
Mestre pela UFRGS

Luiz Augusto dos Santos Ercole
Mestre pela UFRGS

Prof. Miguel Aloysio Sattler
PhD pela Sheffield University, UK

Dedico este trabalho a meus pais, Maurício e Jacqueline, e
a minha esposa, Alice, que estiveram ao meu lado durante
toda esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Miguel Sattler, orientador deste trabalho, pelos ensinamentos, pela dedicação e, principalmente, por acreditar na idealização deste trabalho. Obrigado pela oportunidade de trabalhar com uma pessoa incrível e um profissional irretocável.

Agradeço a toda minha família pelo carinho nos momentos de celebração e pela compreensão nos momentos difíceis. Obrigado pela força que nos levou a esta conquista.

Agradeço aos meus tios, André e Fernando, cujo trabalho, caráter e competência são fontes de inspiração para mim todos os dias.

Agradeço a todos os profissionais, arquitetos, biólogos e engenheiros, que disponibilizaram parte do seu tempo e me ajudaram na elaboração desta pesquisa.

Agradeço aos meus amigos, pelas sábias conversas, pelos divertidos encontros e por compartilhar esta vida de aprendizados comigo.

O processo de atender às necessidades das pessoas de
maneiras mais sustentáveis requer uma revolução cultural.

David Holmgren

RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta de tratamento de resíduos líquidos domésticos, direcionada para o meio rural, como alternativa aos métodos convencionais. Os métodos centralizados de tratamento de esgotos são ineficientes e possuem um elevado consumo de energia, inviabilizando sua implantação em municípios rurais, que normalmente são menos populosos. Baseado nisto, foram analisados e caracterizados os principais sistemas de disposição local de efluentes, que apresentam vantagens significativas, em termos econômicos e técnicos, para municípios rurais. O tanque de evapotranspiração (TEvap), também chamado de fossa bioséptica, foi desenvolvido por praticantes de permacultura e busca a eliminação completa de efluentes através da aplicação de processos naturais de purificação da água, visando uma prática cíclica e sustentável. No início desta pesquisa são apresentados dados que representam o atual panorama do tratamento de esgotos em zonas rurais do Brasil, especialmente no município de Feliz/RS, justificando a busca por soluções alternativas para o destino dos efluentes domésticos. No capítulo seguinte, foram abordados conceitos teóricos sobre as características físicas e químicas dos esgotos domésticos, para o melhor entendimento do tema. Com base nisto, foram detalhados os processos de purificação que ocorrem no interior do TEvap, suas características construtivas e seus principais aspectos negativos e positivos. A partir das conclusões desta revisão bibliográfica, foi desenvolvido um modelo de TEvap adaptado a um sistema preliminar de tratamento de esgotos para o Centro de Estudos Regenerativos e Sustentabilidade (CERES), no município de Feliz. Ao final desta pesquisa consta o projeto deste tanque de evapotranspiração.

Palavras-chave: Tanque de Evapotranspiração. Tratamento de Esgotos. Zonas Rurais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esgotamento sanitário por região	13
Figura 2 – Distribuição da população rural por estado	14
Figura 3 – População rural com acesso ao esgotamento sanitário	14
Figura 4 – Sistema de câmara única com mistura de fezes e urina	26
Figura 5 – Sistema com duas câmaras de uso alternado	26
Figura 6 – Modelo indiano de biodigestor	27
Figura 7 – Modelo chinês de biodigestor	28
Figura 8 – Fossa séptica de polietileno	29
Figura 9 – Tanque séptico seguido de filtro anaeróbio	30
Figura 10 – Sumidouro ou poço absorvente	31
Figura 11 – Fossa negra de alvenaria	32
Figura 12 – Fossa negra sem revestimento	32
Figura 13 – Conjunto das unidades do sistema modular de separação das águas	33
Figura 14 – Tanque bioséptico com canteiro de bananeiras	36
Figura 15 – Resumo esquemático da digestão anaeróbia	37
Figura 16 – Câmara de recepção com pneus	39
Figura 17 – Conexões para mangueira de silicone	41
Figura 18 – Plantio de bananeiras em alta densidade	44
Figura 19 – Localização do município de Feliz	52
Figura 20 – Representação tridimensional do CERES	54
Figura 21 – Volume médio de águas cinzas produzidas durante o dia	58
Figura 22 – Malha ortogonal da tampa da câmara de recepção	63
Figura 23 – Planta baixa da câmara de recepção	63
Figura 24 – Seção transversal da câmara de recepção	64
Figura 25 – Tubos de distribuição perfurados	65
Figura 26 – Seção transversal do substrato	65
Figura 27 – Malha ortogonal da laje de fundo	67
Figura 28 – Aplicação da impermeabilização	68
Figura 29 – Planta baixa do tanque bioséptico	68
Figura 30 – Seção transversal do tanque bioséptico	69
Figura 31 – Seção de escavação	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Esgotamento sanitário do município de Feliz	15
Quadro 2 – Abastecimento de água do município de Feliz	16
Quadro 3 – Número de ocupantes por domicílio no município de Feliz	17
Quadro 4 – Parâmetros físicos do esgoto	20
Quadro 5 – Parâmetros químicos do esgoto	21
Quadro 6 – Relação entre taxa de percolação e taxa de aplicação superficial	42
Quadro 7 – Taxa de evapotranspiração em função das temperaturas médias	45
Quadro 8 – Volume da câmara de recepção em função do número de contribuintes	49
Quadro 9 – Percentual esperado para remoção de poluentes em diferentes sistemas de tratamento	51

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável

CERES – Centro de Estudos Regenerativos e Sustentabilidade

COT – Carbono Orgânico Total

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DBO₅ – Demanda Bioquímica de Oxigênio, medida a 5 dias

DQO – Demanda Química de Oxigênio

FEE – Fundação de Economia e Estatística

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LETI – Leito de Evapotranspiração e Infiltração

NBR – Norma Brasileira

NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl

OMS – Organização Mundial da Saúde

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

TEvap – Tanque de Evapotranspiração

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	8
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	8
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	8
2.2.1 Objetivo Principal	8
2.2.2 Objetivos Secundários	8
2.3 PRESSUPOSTO	9
2.4 PREMISA	9
2.5 DELIMITAÇÕES	9
2.6 LIMITAÇÕES	9
2.7 DELINEAMENTO	10
3 TRATAMENTO DE ESGOTOS NO MEIO RURAL	12
3.1 PANORAMA ATUAL DO BRASIL	12
3.2 PANORAMA ATUAL DO MUNICÍPIO DE FELIZ	15
4 CARACTERIZAÇÃO DOS ESGOTOS DOMÉSTICOS	18
4.1 ÁGUAS CINZAS E ÁGUAS NEGRAS	18
4.2 PARÂMETROS FÍSICOS DO ESGOTO	19
4.3 PARÂMETROS QUÍMICOS DO ESGOTO	20
4.3.1 Sólidos	20
4.3.2 Matéria Orgânica	21
4.3.3 Nitrogênio	22
4.3.4 Fósforo	23
4.4 PARÂMETROS BIOLÓGICOS DO ESGOTO	23
5 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS COM DISPOSIÇÃO LOCAL	25
5.1 PRIVADA SECA	26
5.2 BIODIGESTORES	27
5.3 SISTEMAS COMBINADOS COM TANQUES SÉPTICOS	28
5.3.1 Fossa Séptica	28
5.3.2 Filtro Anaeróbio	29
5.3.3 Sumidouro	30
5.4 FOSSA NEGRA	31
5.5 SISTEMA MODULAR COM SEPARAÇÃO DAS ÁGUAS (SMSA)	33
5.6 TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO (TEVAP)	34

5.6.1 Conceito da técnica	34
5.6.2 Processos químicos	36
5.6.2.1 Digestão Anaeróbia	36
5.6.2.2 Processos Aeróbios	37
5.6.2.3 Evapotranspiração	38
5.6.3 Considerações	38
5.6.4 Dimensionamento	46
5.6.4.1 Câmara de recepção	46
5.6.4.2 Filtro anaeróbio	49
5.6.4.3 Canteiro de evapotranspiração	49
5.6.5 Resultados esperados	50
6 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	52
6.1 MUNICÍPIO DE FELIZ	52
6.1.1 Geografia	52
6.1.2 Demografia	53
6.1.3 Economia	54
6.1.4 Conquistas sociais	54
6.2 CENTRO DE ESTUDOS REGENERATIVOS E SUSTENTABILIDADE (CERES)	55
7 PROJETO DO TANQUE BIOSÉPTICO – CERES	57
7.1 CONDIÇÕES DE CONTORNO	57
7.2 MEMORIAL DE CÁLCULO	58
7.2.1 Câmara de recepção	58
7.2.2 Filtro anaeróbio	60
7.2.3 Canteiro de evapotranspiração	60
7.3 MEMORIAL DESCRITIVO	61
7.3.1 Câmara de recepção	61
7.3.2 Substrato	65
7.3.3 Estrutura e fechamento	67
7.3.4 Escavação	70
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
8.1 CONCLUSÕES	72
8.2 RECOMENDAÇÕES	73
REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

O tratamento dos esgotos e a manutenção da qualidade da água estão entre os grandes desafios da humanidade nas próximas décadas. Ambos os problemas estão presentes nas zonas rurais brasileiras, que, em sua grande maioria, contam com uma infraestrutura inadequada, devido à falta de recursos e a uma fiscalização precária. Como consequência disso, a qualidade dos alimentos produzidos e a saúde da população é afetada de maneira direta.

Segundo o CEBDS (2014, p. 11), 70% dos alimentos presentes nas mesas brasileiras são produzidos por pequenos produtores e 90% das propriedades rurais têm menos de 100 hectares. Estes dados reforçam a importância do setor e a necessidade de investimentos na área. É imprescindível que o solo não seja contaminado e que a água de irrigação esteja limpa para que o alimento produzido seja saudável.

De acordo com dados do IBGE/PNAD (2009), 48,9% das propriedades rurais possuem, como forma de tratamento de esgotos, a fossa negra e 17,7% não possui tratamento algum. Via de regra, a fossa negra é constituída apenas por um depósito de efluentes, resultando na contaminação do solo, já que não incorpora nenhum processo de purificação destes efluentes. Portanto, 65% das propriedades rurais, aproximadamente, por não contarem com um sistema de tratamento adequado, são fontes potenciais de enfermidades com origem hídrica.

Diante desse panorama, é inegável a necessidade de propor soluções mais eficazes para o tratamento dos esgotos, de forma descentralizada, atendendo às pequenas propriedades, e que tenham como característica a facilidade de execução e a acessibilidade aos materiais empregados. Estas características são fundamentais para que se tenha uma adesão significativa ao sistema, por parte dos proprietários rurais.

Ercole (2003) cita que a separação das águas em cinzas (resultantes do uso de chuveiro, banheira, lavatório, pia de cozinha, máquinas de lavar louças e roupas, ou proveniente da limpeza de pátios e ferramentas) e negras (descargas dos vasos sanitários) oferece duas vantagens imediatas: os tratamentos se tornam mais eficientes, com o uso de equipamentos menores, sendo, por consequência, mais econômicos. Portanto, soluções que ofereçam esta

possibilidade com certeza serão mais eficientes e se tornam prioritárias no momento da definição do projeto.

Levando-se em conta que, na maioria dos casos, as águas negras são as principais responsáveis pelos efeitos negativos da falta de tratamento de esgotos, o tanque bioséptico surge como alternativa importante para este problema. O tanque bioséptico, ou tanque de evapotranspiração (TEvap), é uma técnica criada e disseminada por produtores rurais, de diversas nacionalidades, que praticam a Permacultura, com potencial para o tratamento de águas negras domiciliares (PAMPLONA & VENTURI¹, 2004 apud GALBIATI, 2009). Segundo Galbiati (2009), a técnica consiste em um tanque impermeabilizado, composto por diversas camadas de substrato, onde a camada superficial recebe o plantio de espécies vegetais de crescimento rápido, que possuam alta demanda por água.

O presente trabalho apresenta algumas das formas de tratamento descentralizado de esgotos mais comuns disponíveis no mercado e apresenta um projeto de tanque bioséptico com canteiro de bananeiras, como alternativa aos sistemas convencionais. Baseado em conceitos teóricos de engenharia e ecologia, o projeto tem o intuito de utilizar materiais de baixo impacto ambiental, com um baixo investimento financeiro, com a adoção de um padrão estético aceitável, e que atenda às normas técnicas vigentes.

Ao final da pesquisa será apresentado o projeto do tanque bioséptico, direcionado para o Centro de Estudos Regenerativos e Sustentabilidade, no município de Feliz, com objetivo de ilustrar a implantação do sistema de tratamento sendo proposto.

¹ PAMPLONA, S.; VENTURI, M. **Esgoto à flor da terra**. Permacultura Brasil. Soluções Ecológicas. V. 16. 2004

2 DIRETRIZES DE PESQUISA

As diretrizes para o desenvolvimento do trabalho estão subdivididas em questão de pesquisa, objetivos, pressupostos, premissas, delimitações, limitações e delineamento, sendo descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: quais os critérios de dimensionamento e os métodos construtivos que podem ser adotados para elaboração de um projeto de um tanque bioséptico que possa ser empregado no meio rural do município de Feliz?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

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

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é elaborar o projeto de um tanque bioséptico, para o tratamento de esgotos domésticos das propriedades rurais do município de Feliz, com a finalidade de minimizar a contaminação do solo e da água, provocada pelo uso de fossas negras.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) apresentação da situação atual do tratamento de esgotos nas zonas rurais do Brasil, tomando como referência o município de Feliz;

- b) fazer uma avaliação crítica do modelo de tanque bioséptico usualmente construído por praticantes de permacultura, com vistas ao melhoramento da técnica;
- c) atribuir um conceito cíclico de desenvolvimento ao projeto, em que os resíduos líquidos se tornem subsídios para produção de novos alimentos.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que todos os critérios de dimensionamento apresentados nas normas técnicas NBR 7229/1993 e NBR 13969/1997 estão corretos e que todos os conceitos contidos nas referências bibliográficas estudadas sejam válidos.

2.4 PREMISSA

O trabalho de pesquisa é realizado com a premissa de que propriedades rurais sem tratamento de esgotos adequado possam contaminar o solo, a água e, conseqüentemente, os alimentos ali produzidos. Também se parte da premissa de que o projeto apresentado tenha condições de contribuir, de maneira significativa, para a redução dessa contaminação.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho de diplomação está delimitado ao estudo e proposição de um projeto de tanque bioséptico de evapotranspiração, como alternativa ao tratamento de esgotos domésticos empregado em propriedades rurais do município de Feliz.

2.6 LIMITAÇÕES

As limitações do trabalho são descritas a seguir:

- a) o tanque bioséptico não é capaz de receber águas cinzas e negras misturadas, sem que haja um tratamento prévio;
- b) a topografia do terreno foi considerada adequada para implantação do sistema proposto e o nível do lençol freático foi considerado profundo. Admite-se,

ainda, que o tipo de solo permita a construção de um leito de evapotranspiração, com o emprego de bananeiras;

- c) Não está prevista a materialização do projeto dentro do prazo de realização deste TCC, não podendo assim, serem verificadas as condições de seu funcionamento.

2.7 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

O **terceiro capítulo** da pesquisa apresenta uma série de dados estatísticos que expressam o panorama atual do tratamento de esgotos em zonas rurais brasileiras. Estes dados serviram como subsídio para a justificativa da escolha do tema da pesquisa.

O **quarto capítulo** apresenta conceitos teóricos sobre os principais parâmetros relacionados à qualidade dos esgotos. A elaboração deste capítulo permitiu o melhor entendimento dos métodos usuais de tratamento de efluentes e, conseqüentemente, do sistema proposto como alternativa.

No **quinto capítulo** foram descritos os principais sistemas descentralizados de tratamento de esgotos, assim como o método realizado com tanque bioséptico. Desta forma, pode-se traçar um paralelo entre as técnicas já aplicadas no mercado e a técnica proposta. Também, foi feita uma análise sobre os princípios de funcionamento do tanque bioséptico, indicando as suas vantagens e desvantagens, e fazendo sugestões relacionadas aos métodos de dimensionamento e construção da unidade de tratamento.

O **capítulo seis** apresenta uma contextualização da área de estudo, em que são descritos os principais aspectos geográficos, econômicos e culturais do município de Feliz e do Centro de Estudos Regenerativos e Sustentabilidade.

No **capítulo sete** está descrito o projeto básico que foi elaborado para o tanque bioséptico. Nesta etapa foi desenvolvido o memorial descritivo, o memorial de cálculo e a representação gráfica do projeto. Os principais referenciais técnicos utilizados foram as normas NBR 7229/1993 e NBR 13969/1997, que regulam a execução de projetos de sistemas de tanques sépticos.

Finalmente, no **capítulo oito**, foram feitas as considerações finais sobre a pesquisa e as recomendações para futuros estudos relacionados ao tema.

3 TRATAMENTO DE ESGOTOS NO MEIO RURAL

A seguir, serão apresentados dados que caracterizam a situação atual do tratamento de esgotos no Brasil, especialmente no meio rural. Serão apontadas informações e dados estatísticos à respeito do panorama brasileiro e, posteriormente, uma análise local do município de Feliz, no estado do Rio Grande do Sul.

3.1 PANORAMA ATUAL DO BRASIL

Ao longo do último século, a prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário apresentou diferentes configurações no Brasil, de acordo com o momento político e econômico do país. É possível sintetizar esta evolução em seis etapas: (a) o uso privado e desregulado da água, até meados de 1930; (b) maior regulação e participação do Estado, com a prestação do serviço público durante o processo de industrialização, que seguiu durante as décadas de 1940 a 1970; (c) maior centralização das políticas e transferência de grande parte da prestação dos serviços municipais para as Companhias Estaduais de Saneamento Básico (Cesbs), durante o regime militar; (d) descentralização e maior participação social, com o processo de redemocratização; (e) tentativa de privatização dos serviços públicos, durante os anos de 1990; e (f) retomada do planejamento setorial descentralizado, com o recente Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab). O Plansab, em linhas gerais, é um planejamento integrado do saneamento básico, incluindo o Ministério das Cidades, o Conselho Nacional da Saúde (CNS), o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) e o Conselho das Cidades (Concidades), com vistas à universalização destes serviços (DIEESE, 2016).

Diante deste contexto histórico Martinetti et al. (2007, p. 997) afirmam:

A evolução dos sistemas de coleta de esgoto no Brasil levou a uma população que privilegia o afastamento do efluente das residências, sem preocupação com sua destinação e análise dos impactos que causam, como a poluição dos corpos hídricos, necessidade de construção de grandes estações de tratamento de esgoto e construção de redes coletoras cada vez mais extensas, que causam danos e prejuízos ao meio ambiente e no uso do solo.

Um estudo feito pelo Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (2016) retrata a evolução da prestação dos serviços de esgotamento sanitário ao longo dos

últimos anos. No Brasil, houve um crescimento de 10%, passando dos 46%, em 2004, para 56%, em 2014, no número de moradores em domicílios particulares com cobertura dos serviços de esgotamento sanitário. Na figura 1, este crescimento está discretizado por regiões.

Figura 1 – Esgotamento sanitário por região

Moradores em domicílios particulares com esgotamento sanitário, por região - 2003-2009 e 2011-2014 (em %)											
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2011	2012	2013	2014
Norte	4,08	3,64	3,78	4,48	9,34	8,52	7,64	12,46	12,68	13,39	12,24
Nordeste	24,22	25,84	25,2	26,46	27,84	30,39	29,28	33,4	35,11	35,11	36,09
Sudeste	74,58	76,1	75,91	75,65	78,1	79,77	80,98	81,71	83,45	85,14	84,91
Sul	24,98	23,01	25,5	25,84	31,7	32,6	33,23	35,01	41,42	42,66	41,82
Centro-Oeste	32,05	30,93	32,09	32,6	33,56	36,63	35,92	41,84	41,61	44,04	42,05

(fonte: DIEESE, 2016, p. 6)

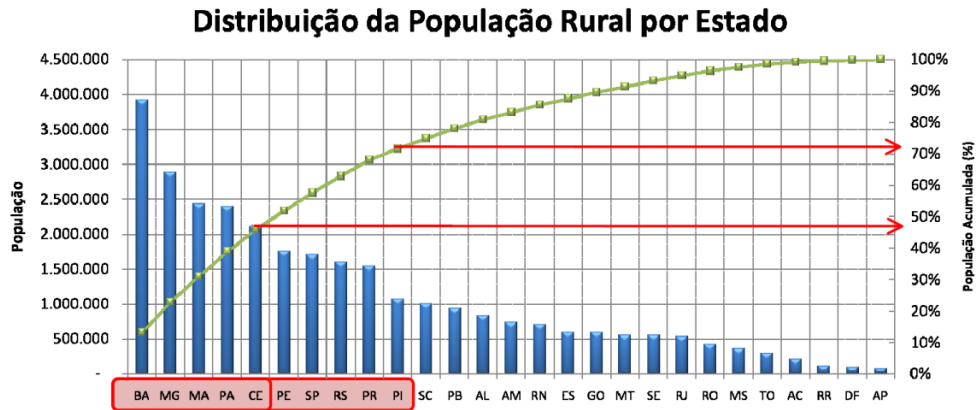
Nas localidades rurais, especificamente, a situação é ainda mais grave. Como citado anteriormente, cerca de 65% das propriedades rurais brasileiras não possuem um sistema de tratamento de resíduos líquidos adequado. Silva e Nour (2005) afirmam que se dá pouca atenção ao tratamento de efluentes líquidos gerados em propriedades rurais que, individualmente, não produzem quantidades elevadas de compostos poluidores, mas que, ao se considerar a sua totalidade, apresentam um montante significativo, e são lançados de forma dispersa.

A inexistência de sistemas de tratamento e disposição adequada dos esgotos é responsável direta pela dificuldade no acesso a uma fonte de água segura. De acordo com cartilha publicada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e pela Fundação Banco do Brasil (2010), a proporção da população rural com acesso a uma fonte de água segura, no ano da publicação, era de 58%, com crescimento de apenas 3% nos 15 anos anteriores à pesquisa. Como consequência disto, o número de casos de doenças com origem hídrica aumenta de forma expressiva. Segundo dados da mesma cartilha, 75% das internações hospitalares estão relacionadas à falta de saneamento básico.

Conforme dados do último censo IBGE (2010), 30 milhões de pessoas residem em localidades rurais no Brasil, representando aproximadamente 16% da população brasileira. Destes, 20 milhões, aproximadamente, vivem em ambientes provavelmente contaminados pelos esgotos domésticos. Segundo o PNAD (2009), há no país 8,8 milhões de domicílios

rurais. Bahia é o estado brasileiro que tem o maior número de pessoas vivendo na zona rural, como mostra o gráfico (figura 2), elaborado por Villar (2010). As linhas vermelhas representam o percentual acumulado pelos estados brasileiros com maior população rural.

Figura 2 – Distribuição da população rural por estado



(fonte: VILLAR, 2010, p. 8)

O percentual da população rural brasileira com acesso a uma forma adequada de esgotamento sanitário é semelhante aos percentuais da população rural em países como a Nigéria e Senegal, como mostra a demarcação vermelha da figura adaptada do estudo apresentado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) (WHO/UNICEF, 2010).

Figura 3 – População rural com acesso ao esgotamento sanitário

Country, area or territory	Year	Population (thousand)	Percentage urban population	USE OF SANITATION FACILITIES (PERCENTAGE OF POPULATION)											
				Urban				Rural				Total			
				Unimproved		Improved		Unimproved		Improved		Unimproved			
				Shared	Open Defecation	Shared	Open Defecation	Shared	Open Defecation	Shared	Open Defecation				
Brazil	1990	149 570	75	81	-	15	4	35	-	25	40	69	-	18	13
	2000	174 174	81	84	-	12	4	36	-	30	34	75	-	15	10
	2008	191 972	86	87	-	10	3	37	-	33	30	80	-	13	7
Nigeria	1990	97 338	35	39	42	11	8	36	18	12	34	37	26	12	25
	2000	124 842	43	37	40	13	10	32	16	20	32	34	26	17	23
	2008	151 212	48	36	38	14	12	28	14	27	31	32	26	20	22
Senegal	1990	7 538	39	62	17	12	9	22	6	14	58	38	10	13	39
	2000	9 902	41	66	18	11	5	31	8	18	43	45	12	15	28
	2008	12 211	42	69	19	10	2	38	10	21	31	51	14	16	19

(fonte: adaptado de WHO/UNICEF, 2010)

Estes dados, quando comparados aos de um país com alto grau de desenvolvimento econômico, tornam-se ainda mais contrastantes. A população rural dos Estados Unidos,

segundo dados do Banco Mundial (2016), é de 18,6%, o que representa 60 milhões de pessoas, aproximadamente. O percentual da população residente nas zonas rurais estadunidenses é bastante similar ao brasileiro; no entanto, no país norte-americano, 100% desta população tem acesso ao saneamento básico, de acordo com a mesma fonte.

3.2 PANORAMA ATUAL DO MUNICÍPIO DE FELIZ

De acordo com o último censo do IBGE (2010), 23,8% da população do município de Feliz reside na área rural. Isto representa, em números absolutos, 2.943 habitantes. A estimativa da população total, ainda segundo o IBGE, para o ano de 2015, foi de 13.140 habitantes. Destes, se mantida a proporção, 3.128 residiriam na zona rural.

Os dados relativos ao tratamento de esgotos, levantados através do censo do IBGE (2010), não fazem distinção entre a zona rural e urbana. Apesar disto, é expressivo o número de habitações com esgotamento sanitário inadequado. No quadro 1 está apresentada uma síntese destas informações.

Quadro 1 – Esgotamento sanitário do município de Feliz

Esgotamento sanitário de domicílios particulares permanentes		
Destino	Nº (domicílios)	%
Rede geral de esgoto	576	13,80%
Fossa séptica	2209	52,91%
Fossa rudimentar	1353	32,41%
Vala	27	0,65%
Rio, lago ou mar	3	0,07%
Outro	5	0,12%
Sem banheiro ou sanitário	2	0,05%
TOTAL	4175	100,00%

(fonte: IBGE, 2010)

Segundo os dados apresentados, aproximadamente 33% dos domicílios não possuem uma forma adequada de tratamento dos esgotos. O sistema predominante nestes domicílios, a fossa rudimentar ou fossa negra, pode levar à contaminação das águas e do solo no local de despejo.

Segundo Ercole (2003, p. 44):

Existe, basicamente, duas formas de poluição, em relação à extensão de área em que pode se manifestar:

a) Poluição pontual: os poluentes atingem o corpo d'água de forma concentrada no espaço, como, por exemplo, a descarga em um rio, a partir de um emissário transportando os esgotos de uma comunidade ou de um emissário transportando os resíduos de uma indústria.

b) Poluição difusa: os poluentes adentram o corpo d'água, distribuídos em vários pontos, como, por exemplo, a drenagem pluvial natural, que é descarregada no corpo d'água de uma forma distribuída e não concentrada em um único ponto.

Ercole (2003, p. 45) ainda comenta sobre a poluição difusa que: “A principal preocupação é a carga contaminante no subsolo, associada a um saneamento sem rede de esgoto, como fossas, tanques sépticos e latrinas, em áreas residenciais com ligação de rede incompleta ou inexistente”. As fossas negras, portanto, são grandes responsáveis pela poluição difusa das águas no município de Feliz.

Conforme dados do IBGE (2010), o volume de água diário distribuído através da rede de abastecimento, em Feliz, é de 4.842 metros cúbicos. Destes, 2.769 metros cúbicos recebem um tratamento de simples desinfecção e 2.073 metros cúbicos não recebem tratamento nenhum. O quadro 2 apresenta os dados levantados, no município de Feliz, sobre as fontes de água domiciliares. Estes dados reforçam a necessidade de implantação de sistemas de tratamento de esgotos mais eficazes, a fim de evitar a contaminação das águas.

Quadro 2 – Abastecimento de água do município de Feliz

Abastecimento de água		
Origem	Nº (domicílios)	%
Rede geral de abastecimento	3346	80,14%
Poço ou nascente na propriedade	764	18,30%
Poço ou nascente fora da propriedade	45	1,08%
Carro-pipa	1	0,02%
Água da chuva armazenada	6	0,14%
Rio, açude, lago ou igarapé	1	0,02%
Outra	12	0,29%
TOTAL	4175	100,00%

(fonte: IBGE, 2010)

Outro aspecto importante a ser levantado é sobre a ocupação média dos domicílios da municipalidade de Feliz. O quadro 3 apresenta a densidade de ocupação dos domicílios rurais do município. Este dado é importante para definição de sistemas descentralizados de esgoto mais eficazes, pois a operacionalidade, a área demandada e os custos de implantação dependem da população da residência.

Quadro 3 – Número de ocupantes por domicílio no município de Feliz

Nº de moradores	Nº de domicílios	Percentual acumulado
1	536	12,84%
2	1128	39,86%
3	1154	67,50%
4	894	88,91%
5	328	96,77%
6	91	98,95%
7	32	99,71%
8	10	99,95%
9	1	99,98%
10	1	100,00%
TOTAL	4175	100,00%

(fonte: IBGE, 2010)

4 CARACTERIZAÇÃO DOS ESGOTOS DOMÉSTICOS

Von Sperling (1996) afirma que os esgotos domésticos são constituídos, aproximadamente, por 99,9% de água e 0,1% de sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos ou dissolvidos, além de microrganismos. O autor cita que a característica dos esgotos é dependente dos usos à qual a água foi submetida, que variam com o clima, a situação social e econômica, e com os hábitos da população.

A determinação dos diversos compostos presentes nas águas residuárias é complexa e necessita ser realizada em laboratório. Além disso, os resultados não são, usualmente, aplicados em projeto e na operação dos sistemas de tratamento de esgotos. Para tais fins, é preferível a utilização de parâmetros indiretos, que expressam o caráter e o potencial poluidor dos despejos. Esses parâmetros podem ser classificados em três categorias: físicos, químicos e biológicos (VON SPERLING, 1996).

4.1 ÁGUAS CINZAS E ÁGUAS NEGRAS

As águas residuárias residenciais podem ser classificadas, quanto à sua origem, em: claras, cinzas ou negras. As **águas claras** são provenientes das chuvas e, na maioria dos casos, possuem apenas sólidos em suspensão e sólidos grosseiros, que são facilmente removidos por processos simples de decantação e gradeamento (ERCOLE, 2003).

As **águas cinzas**, como já foi mencionado, são águas resultantes dos usos do chuveiro, banheira, lavatório, pia de cozinha, máquinas de lavar roupa ou louça. Estas águas possuem contaminantes químicos, derivados dos produtos utilizados para limpeza. Sólidos em suspensão, como terra, fibras de tecidos, fios de cabelo e outros, também são encontrados, sendo resultantes do efluente da máquina e do tanque de lavar roupas. Óleos e gorduras, provenientes da pia de cozinha, também compõem as águas cinzas (ERCOLE, 2003). Elas são as responsáveis pela maior fração de volume das águas residuárias domésticas (RIDDERSTOLPE², 2004 apud GALBIATI, 2009).

² RIDDERSTOLPE, P. **Introduction of greywater management**. Stockholm Environment Institute – SEI, Uppsala. 2004.

Legan (2007) e Ercole (2003) concordam que o despejo das águas cinzas pode ser realizado em jardins ou leitos de evapotranspiração, contanto que seja feito um tratamento preliminar de decantação adequado, para separação das graxas e gorduras. Outra prática bastante adotada entre os praticantes da permacultura é a reutilização destas águas em descargas de vasos sanitários. No entanto, Legan (2007) afirma que o fluxo do sistema deve garantir que não haja o armazenamento das águas cinzas por muito tempo, para que não provoque o mau cheiro e nem a reprodução de patógenos. Segundo Ludwig³ (2001 apud ERCOLE, 2003) o tempo de armazenamento não deve exceder 24 horas e o volume armazenado não pode ser maior que 200 litros.

As **águas negras** são as águas provenientes das descargas do vaso sanitário e possuem elevada contaminação orgânica, originada das fezes e da urina. O volume de águas negras gerados em uma residência é bastante inferior ao de águas cinzas; entretanto, são as responsáveis pela maior parte dos patógenos e dos nutrientes presentes nos esgotos, e o seu tratamento é bem mais complexo (GALBIATI, 2009). A concentração de matéria orgânica nas águas negras permanece alta quando não ocorre a diluição provocada pela sua mistura às águas cinzas. É desejável que o sistema de tratamento opere com volumes menores, para garantir uma eficiência superior (ERCOLE, 2003).

Otterpohl⁴ (2002 apud GALBIATI, 2009) analisou composições de esgoto doméstico, e observou que uma pessoa adulta gera de 25 a 100 mil litros de água cinza por ano, em adição a 500 litros de urina e 50 litros de fezes. A partir destes dados, é possível afirmar que a mistura das águas negras e cinzas, além de reduzir a eficácia do tratamento, gera a contaminação fecal da maior parcela de volume do efluente líquido.

4.2 PARÂMETROS FÍSICOS DO ESGOTO

Os aspectos físicos interferem de maneira direta nos aspectos químicos e biológicos do esgoto, que são necessários para a determinação dos processos de tratamento e do destino final dos efluentes. O quadro 4 expressa os principais parâmetros físicos do esgoto e suas descrições.

³ LUDWIG, A. **A compendium of greywater mistakes and misinformation on the web**. Obtido via Internet. www.oasisdesign.net, 2001

⁴ OTTERPOHL, R.U. **Innovative technologies for decentralized wastewater management in urban and peri-urban areas**. Keynote presentation at IWA Small 2002, Istanbul.

Quadro 4 – Parâmetros físicos do esgoto

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO
TEMPERATURA	Ligeiramente superior à da água de abastecimento
	Variação conforme as estações do ano
	Influência na atividade microbiana
	Influência na solubilidade dos gases
	Influência na viscosidade do líquido
COR	Esgoto fresco: ligeiramente cinza
	Esgoto séptico: cinza escuro ou preto
ODOR	Esgoto fresco: odor oleoso, relativamente desagradável
	Esgoto séptico: odor fétido (desagradável), devido ao gás sulfídrico e a outros produtos da decomposição
TURBIDEZ	Causada por uma grande variedade de sólidos em suspensão
	Esgotos mais frescos ou mais concentrados: geralmente, maior turbidez

(fonte: adaptado de Qasim⁵, 1985 apud Von Sperling, 1996)

4.3 PARÂMETROS QUÍMICOS DO ESGOTO

A seguir, uma abordagem simplificada dos aspectos químicos mais relevantes para a determinação da qualidade do esgoto e para a escolha do sistema de tratamento a ser adotado. O quadro 5 apresenta, de forma geral, as principais características químicas do esgoto.

4.3.1 Sólidos

Segundo Von Sperling (1996), todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos. Estes sólidos podem ser classificados de acordo com: (a) tamanho e estado, (b) suas características químicas e (c) sua decantabilidade.

- a) *Tamanho e estado*: Sólidos dissolvidos ou sólidos em suspensão. Para o caso de esgotos, pode-se adotar esta classificação mais simplificada;
- b) *Características químicas*: Ao submeter os sólidos a uma temperatura de 550°C, a fração orgânica é volatilizada. Portanto, os sólidos distinguem-se em voláteis (matéria orgânica) e fixos (matéria inorgânica);

⁵ QASIM, S. R. **Wastewater treatment plants: planning, design and operation**. New York: Holt, Rinehart e Winston, 1985.

- c) *Decantabilidade*: Sólidos sedimentáveis são aqueles que são capazes de sedimentar no período de 1 hora, em um recipiente denominado cone Imhoff. A fração que não sedimenta neste ensaio é considerada não sedimentável.

Quadro 5 – Parâmetros químicos do esgoto

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO
SÓLIDOS TOTAIS	
Em suspensão	Sólidos orgânicos e inorgânicos que não são filtráveis
Dissolvidos	Sólidos orgânicos e inorgânicos que são filtráveis
Sedimentáveis	Sólidos orgânicos e inorgânicos que sedimentam em 1 hora no cone Imhoff
MATÉRIA ORGÂNICA	
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio, medida a 5 dias, a 20°C
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DBO última	Demanda Última de Oxigênio
COT	Carbono Orgânico Total
NITROGÊNIO TOTAL	
Orgânico	Proteínas, aminoácidos e ureia
Amônia	Primeiro estágio da decomposição do nitrogênio orgânico
Nitrito	Estágio intermediário da oxidação da amônia
Nitrato	Produto final da oxidação da amônia
FÓSFORO	
Orgânico	Combinado à matéria orgânica
Inorgânico	Ortofosfato e polifosfato
pH	Os processos de oxidação biológica tendem a reduzir o pH
ALCALINIDADE	Indicador de resistência às variações de pH
CLORETOS	Provenientes da água de abastecimento e dos dejetos humanos
ÓLEOS E GRAXAS	Fração da matéria orgânica solúvel em hexanos

(fonte: adaptado de Qasim⁶, 1985 apud Von Sperling, 1996)

4.3.2 Matéria Orgânica

De acordo com Von Sperling (1996, p. 64):

A matéria orgânica presente nos esgotos é uma característica de primordial importância, sendo a causadora do principal problema de poluição das águas: o consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos, nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica.

⁶ QASIM, S. R. **Wastewater treatment plants: planning, design and operation**. New York: Holt, Rinehart e Winston, 1985.

As substâncias orgânicas presentes nos esgotos são constituídas, principalmente, por compostos de proteínas (~ 40%), carboidratos (~ 25 a ~50%), gordura e óleos (~10%), além de outras substâncias como ureia, surfactantes, fenóis e pesticidas, presentes em menor quantidade (PESSOA e JORDÃO⁷, 1982 apud VON SPERLING, 1996).

Como citado anteriormente, há grande dificuldade na determinação laboratorial dos diversos componentes da matéria orgânica nas águas residuárias. Neste sentido, são adotados métodos diretos e indiretos para a determinação da matéria orgânica:

- a) *DBO₅*: Oxigênio consumido por microrganismos, após 5 dias, para estabilizar a matéria orgânica carbonácea, a 20°C. É considerada a DBO padrão;
- b) *DBO_{ii}*: Oxigênio total consumido até o tempo em que este consumo seja insignificante (estabilização). Para esgotos domésticos este tempo é considerado como sendo de 20 dias;
- c) *DQO*: Oxigênio consumido durante a oxidação química da matéria orgânica, provocada por um oxidante (dicromato de potássio) em meio ácido;
- d) *COT*: Método direto para determinação do carbono orgânico presente no esgoto. O teste mede todo o carbono liberado na forma de CO₂.

4.3.3 Nitrogênio

Segundo Ercole (2003), o nitrogênio é um nutriente indispensável para o desenvolvimento dos microrganismos no tratamento biológico. Sobre as formas de nitrogênio presentes nos esgotos domésticos, Von Sperling (1996, p. 72) afirma, “Nos esgotos domésticos brutos, as formas predominantes são o nitrogênio orgânico e a amônia. Estes dois, conjuntamente, são determinados em laboratório pelo método Kjeldahl, constituindo o assim denominado Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)”.

O nitrogênio, segundo Von Sperling (1996), também tem influência relevante no consumo de oxigênio dissolvido dos esgotos domésticos, devido ao processo de nitrificação (conversão de amônia em nitrito e este em nitrato).

⁷ PESSOA, C.A.; JORDÃO, E.P. **Tratamento de esgotos domésticos: concepções clássicas de tratamento de esgotos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental: BNH, 1982.

4.3.4 Fósforo

Assim como o nitrogênio, o fósforo é um nutriente fundamental para o crescimento dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. O teor de fósforo em esgotos domésticos é usualmente suficiente, mas pode estar deficiente em certos despejos industriais (VON SPERLING, 1996).

O fósforo apresenta-se na água, principalmente, em três formas: ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico. Os ortofosfatos são provenientes, na sua maior parte, do solo, de detergentes, de fertilizantes e da degradação da matéria orgânica. Sua forma predominante em esgotos domésticos típicos é o HPO_4^{2-} . Os polifosfatos são moléculas mais complexas e se convertem lentamente em ortofosfatos, pelo mecanismo de hidrólise. O fósforo orgânico não tem grande importância em esgotos domésticos, mas pode ser relevante em lodos oriundos do tratamento de esgotos (VON SPERLING, 1996).

4.4 PARÂMETROS BIOLÓGICOS DO ESGOTO

A detecção dos agentes patogênicos, especialmente bactérias, protozoários e vírus, em uma amostra de água, é extremamente complicada, por causa de suas baixas concentrações. Para determinar se a água apresenta potencialidade para transmitir doenças, são quantificados os organismos indicadores de contaminação fecal, que podem ser detectados com técnicas rápidas e de baixo custo (VON SPERLING, 1996).

Para Von Sperling (1996), os principais indicadores de contaminação fecal são:

- a) *Coliformes Totais (CT)*: Grande grupo de bactérias isoladas de amostras de água, solos poluídos e não poluídos. Apesar de ainda ser usada em algumas áreas, não há relação quantificável entre CT e microrganismos patogênicos;
- b) *Coliformes Fecais (CF)*: Grupo de bactérias indicadoras de organismos originários do trato intestinal humano e outros animais. A *Escherichia coli* (causadora da infecção urinária) é uma bactéria pertencente a este grupo;
- c) *Streptococos Fecais (EF)*: Incluem várias espécies ou variedades de estreptococos, cujo habitat usual é o intestino de seres humanos e outros

animais. A presença de *Streptococcus faecalis* representa a contaminação fecal humana, por exemplo.

5 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS COM DISPOSIÇÃO LOCAL

Estes sistemas têm como conceitos fundamentais a disposição e o tratamento dos esgotos, junto aos locais onde são produzidos. São, na maioria das vezes, sistemas com baixo ou nenhum consumo de energia elétrica e requerem pouca manutenção (ERCOLE, 2003). A principal vantagem destes sistemas é a descentralização do tratamento de esgotos, o que permite uma eficiência maior dos processos e a redução dos investimentos públicos em saneamento básico.

A seguir, são caracterizados os principais sistemas de tratamento de esgotos com disposição local.

5.1 PRIVADA SECA

As privadas secas, como o nome sugere, são bacias sanitárias que não utilizam descargas hídricas. Em vez disto, as excretas são depositadas em compartimentos, para que ocorra sua compostagem. Compostagem é a decomposição biológica de substratos orgânicos, de forma aeróbia, cujo produto final é estável, livre de patógenos e um potente fertilizante de solos (JENKINS, 2005).

Segundo Jenkins (2005), entre os objetivos de um banheiro compostável estão o tratamento sanitário das excretas humanas, a conservação de água, o funcionamento com baixo consumo energético e o aproveitamento do composto para fertilização dos solos.

Para uma melhor aplicação do sistema é importante que haja duas câmaras independentes. Isto permite que o seu funcionamento não seja interrompido quando a primeira câmara estiver completa. Enquanto isso, os microrganismos realizam a compostagem na câmara que não estiver em operação. Jenkins (2005) cita que, em alguns casos, pode-se separar a urina das fezes, evitando que o composto fique muito úmido e com mau odor. Como alternativa ao problema do mau odor, pode-se adicionar matéria orgânica rica em carbono, como serragem, por exemplo, para ocorrer o equilíbrio com o nitrogênio, presente em abundância na urina.

As principais desvantagens deste sistema são a ausência de tratamento das águas cinzas e a necessidade de manutenção periódica do composto gerado, diferentemente da praticidade das descargas hídricas (ERCOLE, 2003).

Nas figuras abaixo estão representadas algumas configurações de sistemas com privada seca.

Figura 4 – Sistema de câmara única com mistura de fezes e urina



(fonte: foto do autor)

Figura 5 – Sistema com duas câmaras de uso alternado



(fonte: OLIVEIRA, 2013, p. 60)

5.2 BIODIGESTORES

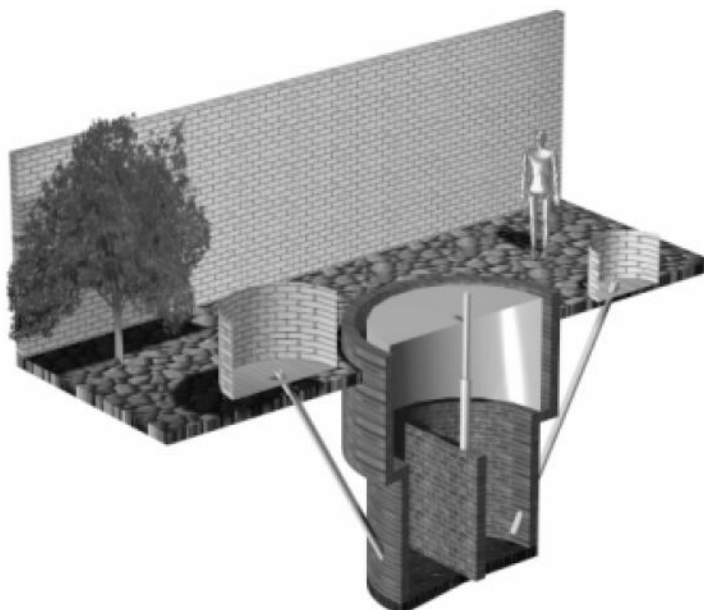
De acordo com Deganutti et al. (2002), “O biodigestor é constituído por uma câmara fechada, onde é colocado o material orgânico, em solução aquosa, que sofre decomposição, gerando o biogás que irá acumular na parte superior da referida câmara”. A decomposição que ocorre no interior do biodigestor é anaeróbia.

As principais partes que compõem um biodigestor são: o tanque digester (que contém a biomassa) e o armazenador (onde é armazenado o biogás produzido) (MACINTYRE⁸, 1996 apud ERCOLE, 2003). Os modelos mais utilizados em pequenas propriedades rurais são o modelo indiano e o modelo chinês, ambos com alimentação contínua (DEGANUTTI et al., 2002).

As principais vantagens deste sistema são a produção de biogás (fonte de energia) e a utilização do composto (lodo) gerado para fertilização de solos. Como desvantagens, é importante citar que necessita de cuidados operacionais permanentes e não pode receber águas cinzas.

Nas figuras abaixo estão representados os modelos indiano (figura 6) e chinês (figura 7).

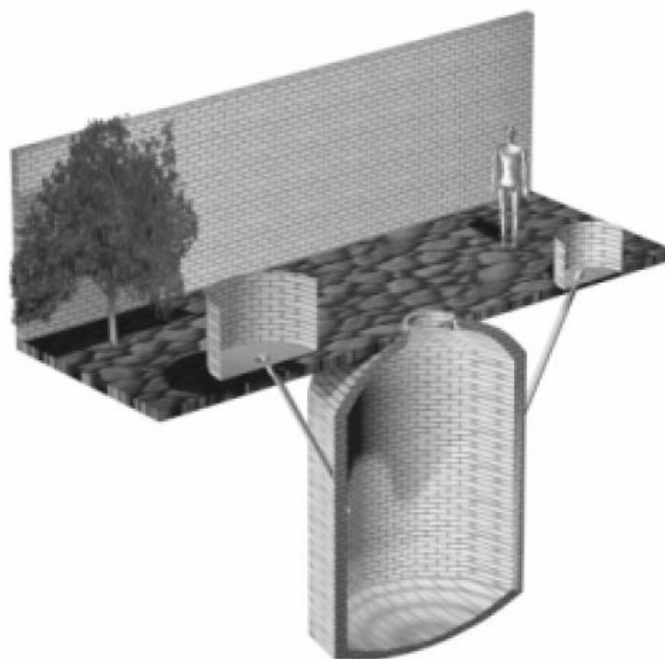
Figura 6 – Modelo indiano de biodigestor



(fonte: DEGANUTTI et al., 2002, p. 3)

⁸ MACINTYRE, A .J. **Instalações hidráulicas**. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

Figura 7 – Modelo chinês de biodigestor



(fonte: DEGANUTTI et al., 2002, p. 4)

5.3 SISTEMAS COMBINADOS COM TANQUES SÉPTICOS

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993, p. 2), por meio da NBR 7229, define sistemas com tanques sépticos, como: “Conjunto de unidades destinadas ao tratamento e à disposição de esgotos, mediante utilização de tanque séptico e unidades complementares de tratamento e/ou disposição final de efluentes e lodo”.

Este sistema é visto como alternativa importante para unidades residenciais que não são beneficiadas pela coleta municipal de esgotos.

5.3.1 Fossa Séptica

A fossa séptica, ou tanque séptico, é uma configuração de decanto-digestor que precede o tratamento anaeróbio do esgoto. Pode ser de câmara única, de câmaras em série, ou de câmaras sobrepostas e podem ter forma cilíndrica ou prismática retangular (ERCOLE, 2003).

A NBR 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993) refere que o tanque séptico é uma unidade de fluxo horizontal, que realiza processos de digestão,

sedimentação e flotação. A digestão é a decomposição da matéria orgânica em substâncias mais simples e estáveis. A sedimentação é a deposição dos sólidos por ação da gravidade. E a flotação é o processo que acelera a ascensão das partículas sólidas, devido à formação de pequenas bolhas durante a fase de digestão (ERCOLE, 2003).

Esta etapa do sistema atinge o nível de tratamento primário, em que são removidos os sólidos em suspensão e flutuantes, que têm contribuição significativa na carga de DBO. Na figura 8 está representado um modelo comercial de tanque séptico.

Figura 8 – Fossa séptica de polietileno



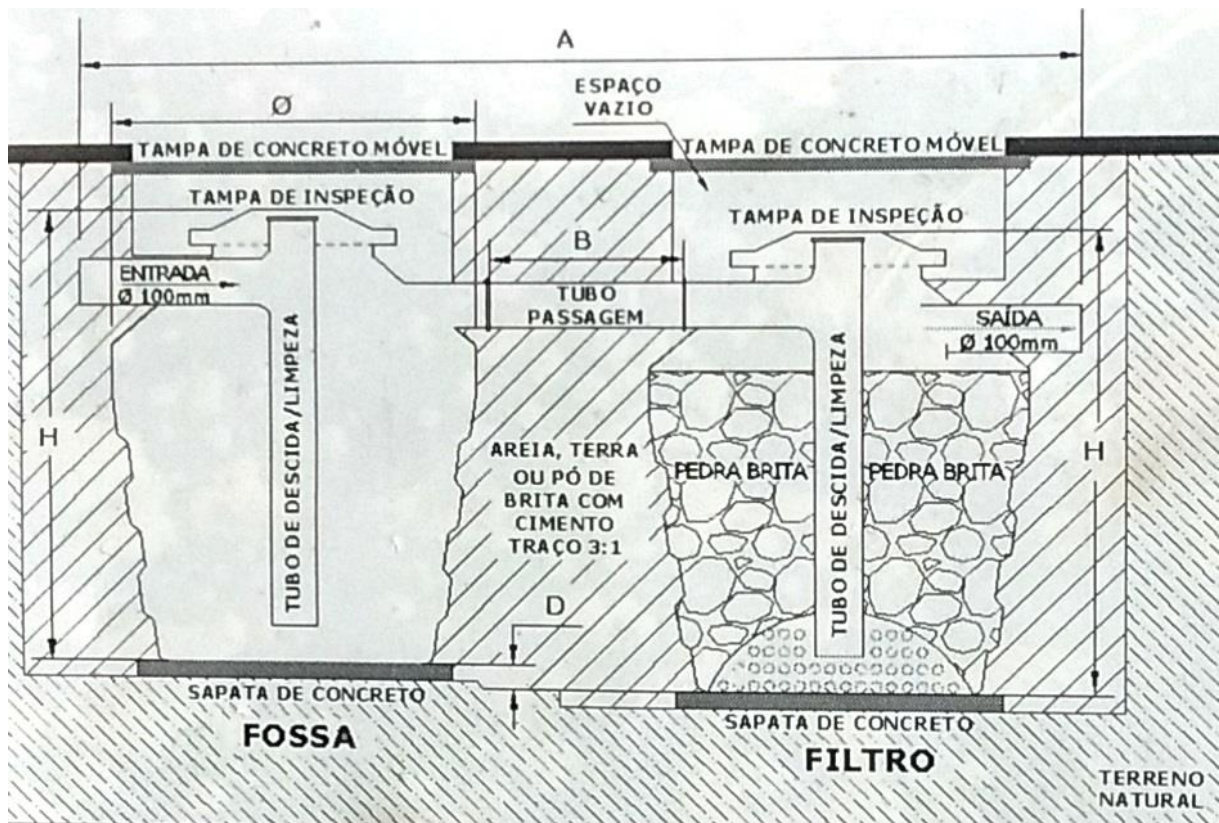
(fonte: foto do autor)

5.3.2 Filtro Anaeróbio

O filtro anaeróbio recebe o efluente do tanque séptico e é responsável pela estabilização da matéria orgânica. Na configuração mais comum, o fluxo é ascendente e o filtro é constituído por um leito fixo de camadas de pedras britadas, ou algum material drenante e inerte, que serve de suporte para o desenvolvimento de microrganismos responsáveis pela digestão da matéria orgânica (ERCOLE, 2003). O nível de tratamento atingido nos filtros anaeróbios é primário.

Na figura 9 está representada uma configuração comum de tanque séptico, seguido de filtro anaeróbio. Em alguns casos, o sistema de tratamento possui apenas estas duas unidades. O efluente deste sistema é, então, coletado pela rede municipal de drenagem.

Figura 9 – Tanque séptico, seguido de filtro anaeróbio



(fonte: figura do autor)

5.3.3 Sumidouro

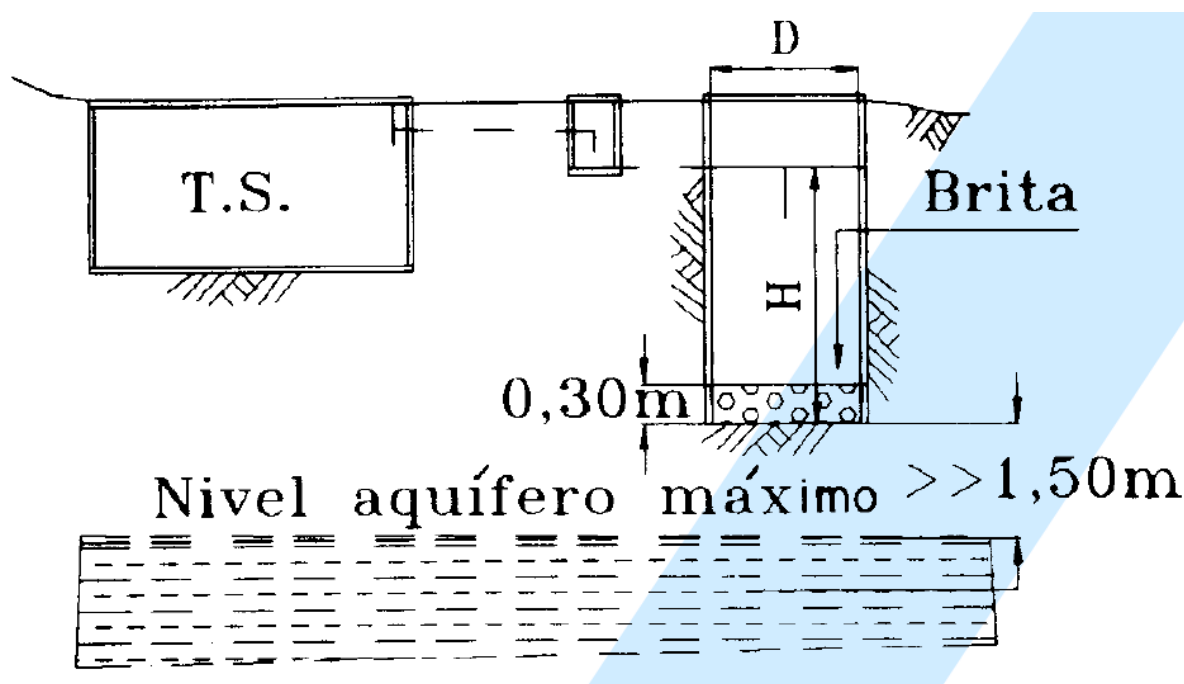
O sumidouro, ou poço absorvente, é a unidade de disposição final do efluente. Na NBR 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 2) define sumidouro como: “Poço seco escavado no chão e não impermeabilizado, que orienta a infiltração de água residuária no solo”. É recomendado apenas para situações em que o nível do lençol freático esteja a 1,50 m abaixo do fundo do poço.

Esta unidade é definida como um sistema de infiltração subsuperficial, pois o esgoto é aplicado abaixo do nível do solo, onde ocorre o tratamento complementar. O nível de tratamento atingido nesta etapa é secundário; ou seja, as reações bioquímicas realizadas por

bactérias, fungos e protozoários fazem a remoção da matéria orgânica dissolvida e em suspensão, remanescente das etapas anteriores (ERCOLE, 2003).

Na figura 10 está representado, em corte, um sumidouro, conforme recomendação da NBR 13969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997).

Figura 10 – Sumidouro ou poço absorvente



(fonte: ABNT, 1997, p. 45)

5.4 FOSSA NEGRA

A fossa negra, ou fossa rudimentar, consiste em uma vala vertical escavada, onde são depositados os esgotos provenientes de uma residência. Seu aspecto construtivo é similar ao de um sumidouro; no entanto, a disposição final do efluente ocorre sem o tratamento prévio realizado pelos tanques sépticos.

Como já foi citado, a fossa negra é o destino mais comum dos esgotos em zonas rurais no Brasil. No município de Feliz, 1.353 domicílios possuem a fossa negra como sistema de tratamento e disposição de esgotos, conforme dados já apresentados do censo do IBGE (2010). Este sistema é ineficiente na remoção de matéria orgânica e na depuração do esgoto, o que provoca a contaminação do solo e do lençol freático.

A fossa é construída com alvenaria, ou simplesmente escavada, sem nenhum revestimento interno. Abaixo, são apresentadas figuras que ilustram a técnica.

Figura 11 – Fossa negra de alvenaria



(fonte: www.hydrojet.com.br⁹)

Figura 12 – Fossa negra, sem revestimento



(fonte: www.colegioweb.com.br¹⁰)

⁹ Disponível em: <<http://www.hydrojet.com.br/flog/album/limpa-fossa-na-zona-leste-limpa-fossa-em-ermelino-matarazzo>> Acesso em maio de 2016.

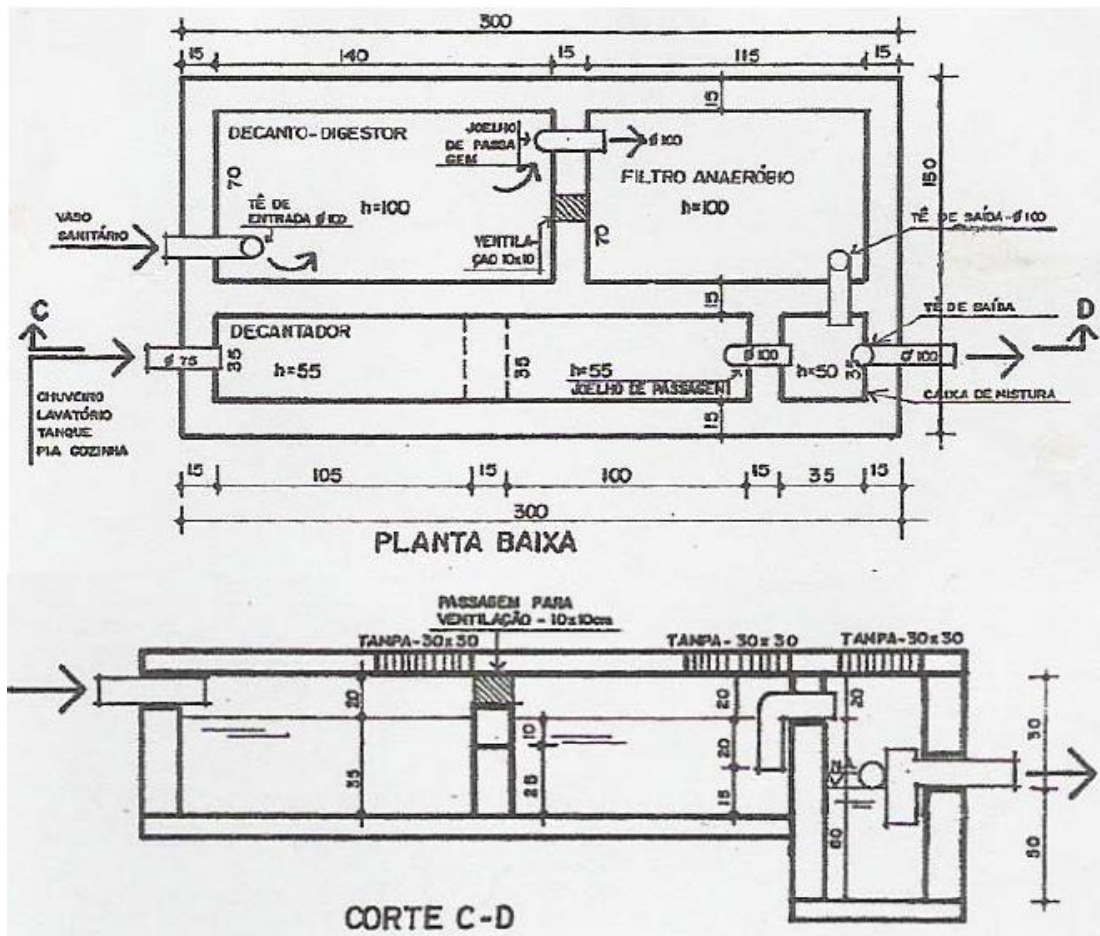
¹⁰ Disponível em: <<http://www.colegioweb.com.br/biologia/fossa-e-poco-definicao-e-utilizacao-dia-dia.html>> Acesso em maio de 2016.

5.5 SISTEMA MODULAR COM SEPARAÇÃO DAS ÁGUAS (SMSA)

O princípio básico deste sistema consiste em separar as águas conforme suas origens: claras, cinzas e negras. A partir disto, cada grupo é direcionado a um tratamento específico, de forma modular. Desta forma, o sistema, ilustrado na figura 13, se torna mais eficiente e os equipamentos requeridos são menores e mais econômicos (ERCOLE, 2003).

As águas cinzas e negras foram apresentadas de forma sucinta no item 4.1. As águas claras são provenientes das chuvas e, normalmente, necessitam apenas de uma remoção dos sólidos grosseiros, que pode ser feita por um gradeamento; e uma remoção de sólidos em suspensão, que pode ser feita por decantação. Estas águas podem ser utilizadas em descargas sanitárias, lavagem de veículos e ferramentas ou até mesmo na lavagem de roupas (ERCOLE, 2003).

Figura 13 – Conjunto das unidades do sistema modular de separação das águas



(fonte: ERCOLE, 2003)

Neste sistema, as águas cinzas passam por um decantador, onde são removidos os elementos em suspensão (óleos, gorduras, sólidos). As águas negras são destinadas a um reator anaeróbio, composto de um tanque séptico e um filtro anaeróbio, onde ocorrem os mesmos processos descritos nos itens 5.3.1 e 5.3.2, respectivamente. Posteriormente, os efluentes são encaminhados ao leito de evapotranspiração e infiltração (LETI), onde ocorrem os processos finais de depuração e de disposição local do esgoto, disponibilizando os nutrientes (basicamente nitrogênio e fósforo) aos vegetais e propiciando uma irrigação permanente.

O efluente do reator anaeróbio tende a ser mais ácido, ao passo que o efluente do decantador tende a ser mais alcalino. Portanto, após a realização destas etapas de tratamento, estas águas são misturadas, promovendo o equilíbrio do pH. Esta mistura é importante para que alguns vegetais não sejam prejudicados pelas variações de pH (ERCOLE, 2003).

De acordo com Ercole (2003), o nível de tratamento de efluentes atingido por esse sistema é equivalente ao nível terciário. Neste nível de tratamento de esgotos, segundo o mesmo autor, ocorre a remoção dos poluentes (N e P), microrganismos patogênicos, compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescentes.

5.6 TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO (TEVAP)

Nos capítulos seguintes são apresentadas as principais características construtivas e operacionais do tanque bioséptico. A partir das informações revisadas na bibliografia, faz-se uma análise crítica dos métodos empregados, propondo soluções para as limitações em seu desempenho. Também, são definidos critérios de dimensionamento que sejam adequados aos conceitos teóricos e às normas técnicas vigentes.

5.6.1 Conceito da técnica

O tanque de evapotranspiração (TEvap), também chamado de fossa bioséptica ou fossa de bananeiras por alguns praticantes de permacultura, consiste em uma caixa impermeabilizada, preenchida por camadas de substrato e plantas. Esta unidade recebe as águas negras de uma residência e realiza os processos de digestão anaeróbia, mineralização dos nutrientes,

absorção e evapotranspiração pelas plantas, sem a necessidade de tratamento prévio (GALBIATI, 2009).

Sobre os princípios de funcionamento da fossa bioséptica, Legan (2007, p. 55) afirma: “Ela funciona como um sistema híbrido, que associa digestão anaeróbia a um infiltrador séptico, que digere toda a matéria orgânica em um sistema de raízes de plantas, em conjunto com microrganismos aeróbios”.

Ercole (2003, p.124) faz a seguinte colocação sobre a disposição controlada dos efluentes no solo:

Nos processos de infiltração e percolação, o solo e os microrganismos que nele vivem, atuam na retenção e transformação dos sólidos orgânicos, e a vegetação retira do solo os nutrientes transformados, evitando a concentração cumulativa ao longo do tempo; é um verdadeiro “filtro vivo”.

Legan (2007) recomenda que sejam construídas duas fossas independentes, para que seja possível realizar a manutenção, sem interromper o funcionamento do sistema. Outra vantagem importante da construção de duas fossas é a possibilidade de destinar as águas cinzas para uma delas, já que a mistura destas águas com as águas negras inibe o desenvolvimento dos microrganismos e, conseqüentemente, prejudica a digestão do efluente. Caso as águas cinzas sejam destinadas para o tanque bioséptico, Gallo et al. (2015) sugere que elas passem por uma caixa de gordura, primeiramente.

Este sistema difere dos leitos de evapotranspiração e infiltração (LETI), em alguns aspectos. O tanque bioséptico mantém enclausurada toda a água residuária, liberando-a apenas através da evapotranspiração. Seu dimensionamento deve ser feito para que não haja efluentes, de modo que toda matéria orgânica seja consumida e toda água retorne à atmosfera (GALBIATI, 2009).

Na figura 14 está representada a configuração característica do TEvap, mais adotada entre os permacultores. O efluente entra no sistema pela câmara de recepção, localizada na parte inferior do tanque. Em seguida, este efluente percola através da primeira camada de substrato, usualmente composta por resíduos de construção. Nesta camada inferior do tanque ocorre a sedimentação, a flotação e a digestão anaeróbia do esgoto. Posteriormente, as águas residuárias se movem em fluxo ascendente, através das camadas de brita, areia e solo fértil,

onde o tratamento é complementado e os nutrientes são disponibilizados às raízes das plantas (ALCOCER et al., 2015).

Figura 14 – Tanque bioséptico, com canteiro de bananeiras



(fonte: RUPRECHT, 2014)

As espécies vegetais que possuem alta demanda por água são as mais recomendadas para cobertura do tanque. Mandai (2006, apud GALBIATI, 2009) recomenda o plantio de: bananeiras (*Musa spp.*), inhames e taiobas (*Colacasia sp.*) e mamoeiros (*Carica papaya*).

5.6.2 Processos químicos

A seguir, são descritos os processos de purificação do efluente, que ocorrem dentro do tanque bioséptico.

5.6.2.1 Digestão anaeróbia

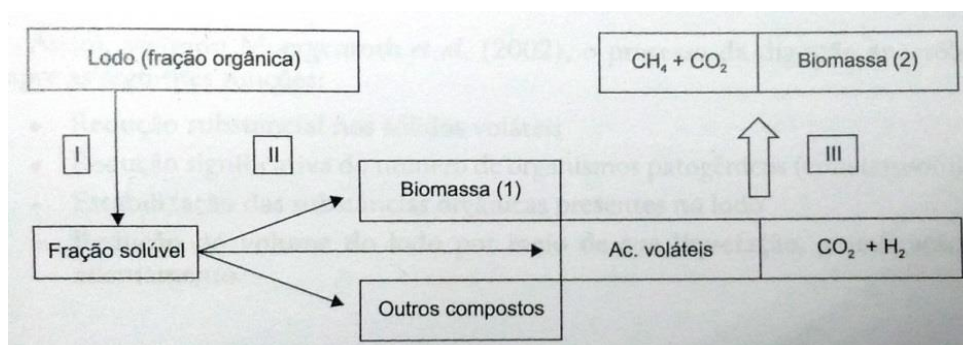
A digestão anaeróbia é um processo bioquímico complexo, realizado de forma sequencial, por diversas populações bacterianas, sem a presença de oxigênio (ERCOLE, 2003). Para Cassini

(2003), este processo de conversão da matéria orgânica é constituído por três etapas principais: I) hidrólise; II) acidogênese e acetogênese; e III) metanogênese, como pode ser visto na figura 16. Os produtos finais, resultantes da última etapa, são o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e a biomassa (microrganismos metanogênicos).

De acordo com Moergenroth et al. (2002, apud CASSINI, 2003), o processo de digestão anaeróbia cumpre as seguintes funções:

- a) Redução substancial dos sólidos voláteis;
- b) Redução significativa do número de organismos patogênicos;
- c) Estabilização das substâncias orgânicas;
- d) Redução do volume de lodo.

Figura 15 – Resumo esquemático da digestão anaeróbia



(fonte: CASSINI, 2003)

5.6.2.2 Processos aeróbios

À medida que o efluente ascende dentro do tanque bioséptico, em direção à superfície, a presença de oxigênio aumenta e os processos anaeróbios facultativos diminuem, dando início aos processos aeróbios de degradação da matéria orgânica. As reações de conversão da matéria carbonácea, realizadas por bactérias e protozoários, consomem oxigênio do meio, gerando água, dióxido de carbono e energia (GALBIATI, 2009). Em ambientes aeróbios, os compostos orgânicos nitrogenados passam pelo processo de nitrificação, no qual a amônia é convertida em nitrito e, em seguida, em nitrato (VON SPERLING, 1996). O nitrogênio, quando na forma de nitrato, é facilmente absorvido pelas raízes das plantas (GALBIATI, 2009).

De acordo com Ercole (2003, p. 62), a equação que expressa o processo aeróbio de decomposição da matéria orgânica é a seguinte:



Esta equação, segundo o autor, representa, de maneira simplificada, a conversão da matéria orgânica e não expressa processos ocorridos em etapas intermediárias.

5.6.2.3 Evapotranspiração

Ercole (2003, p. 44) define evapotranspiração como:

[...] é o fenômeno onde estão presentes, simultaneamente, a evaporação e a transpiração, que é o processo pelo qual as plantas eliminam água, principalmente através dos estômatos. Pela transpiração a planta carrega água e nutrientes do solo e mantém a planta túrgida.

Ferri¹¹ (1985, apud GALBIATI, 2009, p. 9) define evapotranspiração como a translocação da água dentro da planta, em direção às folhas, passando dessas para a atmosfera, devido ao potencial da água, inferior na parte aérea da planta, em relação às suas raízes.

O grau de intensidade da evapotranspiração depende, entre outros fatores, da umidade do ar, da radiação solar, do vento e da atividade do estágio de desenvolvimento da planta (ERCOLE, 2003). Para quantificar a evapotranspiração de determinada cultura são usados equipamentos como lisímetros ou evapotranspirômetros, que levam em consideração a entrada de água por irrigação, precipitação pluviométrica e a água drenada do equipamento (BARROSO et al., 2010).

5.6.3 Considerações

Durante a **primeira etapa de tratamento**, dentro da câmara de recepção, o efluente passa por processos de sedimentação, flotação e digestão. A unidade de tratamento responsável por estes processos é o decanto-digestor ou tanque séptico, descrito no item 5.3.1. Desta forma, é pertinente afirmar que o volume da câmara de recepção pode ser dimensionado conforme a recomendação técnica referente para esta unidade. A NBR 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA, 1993) recomenda que a altura útil do decanto-

¹¹ FERRI, M. G. **Fisiologia Vegetal**. Editora Pedagógica e Universitária Ltda. São Paulo. 1985

digestor não seja inferior a 1,20 m, pois comprometeria os processos de sedimentação dos sólidos. Segundo Cardão¹² (1972, apud ERCOLE, 2003), a altura útil do decanto-digestor pode ter um valor mínimo de 0,95 m, quando a unidade for destinada a águas negras apenas. Portanto, é recomendável que esta câmara não seja construída com o uso de pneus ou em qualquer outra configuração que não atenda a esta exigência (figura 16).

Figura 16 – Câmara de recepção com pneus



(fonte: www.setelombas.com.br¹³)

A impermeabilização do tanque séptico é importante para evitar infiltrações e contaminações do solo e das águas subterrâneas. Para escolha do sistema de impermeabilização pode-se considerar o TEvap como um reservatório enterrado. Nakamura (2013) afirma que reservatórios nestas condições podem ser impermeabilizados com argamassa polimérica, pois estão menos sujeitos às variações térmicas. A NBR 9575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE

¹² CARDÃO, C. **Instalações domiciliares**. Belo Horizonte: Edições Arquitetura e Engenharia, 1972.

¹³ Disponível em: <<http://www.setelombas.com.br/2010/10/bacia-de-epapotranspiracao-bet/>> Acesso em novembro de 2016.

NORMAS TÉCNICAS, 2010, p. 2) define este sistema da seguinte forma: “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”.

Na **segunda etapa de tratamento** o esgoto permeia, em fluxo ascendente, por duas camadas de leito filtrante. A *primeira camada do leito*, preenchida com brita, tem a mesma função do filtro anaeróbio, citado no item 5.3.2, permitindo que sua espessura seja dimensionada conforme referencial normativo desta unidade de tratamento. A NBR 13969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997) recomenda que, em caso de utilização de brita no filtro anaeróbio, o material filtrante seja de brita #4 ou brita #5 (agregado com diâmetro superior a 32 mm), com dimensões o mais uniformes possíveis. A utilização de pedaços de bambu, eletrodutos corrugados cortados, tijolos cerâmicos vazados ou resíduos de demolição podem ser alternativas interessantes para a composição do meio filtrante, pois permitem a reciclagem de materiais e agregam sustentabilidade ao projeto. É necessário, no entanto, que se faça o monitoramento frequente do desempenho destes materiais e a devida manutenção.

Uma patologia comum em leitos filtrantes é a colmatção, definida por Remígio (2006) como a redução transversal dos espaços vazios de um determinado meio poroso. A colmatção pode ser física, química ou biológica, sendo esta última a mais comum em filtros aplicados a esgotos, devido à formação de colônias bacterianas no leito. A NBR 13969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997) recomenda a limpeza do filtro anaeróbio quando for observada a redução de sua eficiência. Esta medida de manutenção não é prevista na configuração usual do TEvap. A fim de solucionar este possível problema, propõe-se a instalação de uma mangueira flexível de silicone de ¾" 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. O silicone é derivado do quartzo e tem impacto ambiental inferior ao do PVC. Atende-se, assim, a instrução da alínea (b), do item 4.1.4, da NBR 13969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 8). As conexões para estas mangueiras (figura 17) podem ser de aço ou latão, que possuem impacto ambiental inferior ao do plástico e podem ser reciclados. A mangueira deve possuir pequenos furos, que permitam a distribuição homogênea da água sobre o leito.

Figura 17 – Conexões para mangueira de silicone



(fonte: www.bvncomercio.com.br¹⁴)

A *segunda camada do leito filtrante* é composta por areia, onde se processa a depuração por meio, tanto físico (retenção), quanto bioquímico (oxidação), devido aos microorganismos fixos nas superfícies dos grãos do agregado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997). O filtro de areia necessita de manutenção periódica, pelos mesmos motivos do requeridos para o filtro anaeróbico. Sobre a manutenção do filtro de areia, Testezlaf (2008, p. 610) afirma:

Pela retenção das partículas suspensas no meio filtrante, os filtros sujam com o passar do tempo, causando aumento na perda de carga, sendo necessário proceder à limpeza para retirar todas as impurezas retidas e retornar a eficiência de limpeza à condição original. Essa limpeza, que é realizada mediante a mudança na direção de fluxo a partir da tubulação de saída, é denominada de *retrolavagem*.

Gupta e Sathiyamoorthy¹⁵ (1999, apud TESTEZLAF, 2008) definem a *retrolavagem* como:

[...] o fenômeno de dar propriedades de um fluido a um leito de partículas sólidas, pela ação ou efeito de passar um fluido através deste, a uma velocidade tal que consiga levá-lo até uma determinada altura, evitando possíveis perdas de material do leito utilizado.

O formato convencional do TEvap desconsidera procedimentos para execução da *retrolavagem* e seu método construtivo não permite que o líquido seja fluidizado, pois o substrato é confinado e o fluxo é ascendente. Desta maneira, a vida útil do tanque bioséptico é reduzida de forma significativa. Pitaluga (2011) conclui que a vida útil de filtros de areia, aplicados em sistemas de tratamento de esgotos domésticos, varia de 16 a 20 meses, quando precedidos de um sistema combinado com tanque séptico e filtro anaeróbico.

¹⁴ Disponível em: < <http://www.bvncomercio.com.br/produtos/categoria/Conexoes/7> > Acesso em novembro de 2016.

¹⁵ GUPTA, C.K.; SATHIYAMOORTHY, D. **Fluid bed technology in materials processing**. New York: CRC Press, 1999. p.1-125.

Como solução para este problema, pode-se adotar um filtro de areia externo e posterior ao tanque bioséptico, desta forma a limpeza é viabilizada. Também, pode-se adotar como solução a remoção da etapa de filtragem em areia. Ercole (2003) afirma que o nível de tratamento das águas, após estas passarem por um tanque séptico, um filtro anaeróbio e um leito de evapotranspiração, é equivalente ao nível terciário, se for bem operado. Sendo assim, a remoção do filtro de areia não comprometeria a qualidade do sistema de purificação e aceleraria a percolação do efluente dentro do tanque.

Na **última etapa de tratamento do tanque bioséptico**, o efluente percola por um filtro de solo rico em material orgânico e é, posteriormente, disponibilizado às bananeiras. Esta camada de substrato é dimensionada com o intuito de promover a filtração final do efluente e acomodar as raízes dos vegetais.

Timm (2015) destaca que os materiais comumente empregados em filtros vegetados são brita e areia. Contudo, o autor faz ressalva sobre a importância da escolha da granulometria do agregado, a fim de evitar os problemas já mencionados. Para a estimativa da taxa de percolação K (min/m) do solo, pode-se seguir os procedimentos recomendados pelo item 1, do Anexo A, da NBR 13969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997). No quadro 6 é apresentado uma correlação entre a taxa de percolação do solo e a taxa de aplicação superficial diária, esta última determinada pela contribuição diária de esgoto dos residentes. O material empregado no substrato deve, preferencialmente, ser originário do local da implantação do tanque séptico, o que reduz o custo ambiental e financeiro do transporte e contribui para a sustentabilidade do projeto.

Quadro 6 – Relação entre taxa de percolação e taxa de aplicação superficial

Taxa de percolação (min/m)	Taxa máxima de aplicação diária (m³/m².dia)
40	0,200
80	0,140
120	0,120
160	0,100
200	0,090
400	0,065
600	0,053
1200	0,037
1400	0,032
2400	0,024

(fonte: adaptado de ABNT, 1997)

A matéria orgânica presente nesta camada de substrato pode ser derivada de processos de compostagem. Wangen e Freitas (2010) definem a compostagem como o processo biológico de transformação de resíduos orgânicos, como restos de alimentos, folhas secas e esterco, em um adubo homogêneo e estável, pronto para ser usado em qualquer cultura, sem causar danos e proporcionando uma melhoria nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo.

Lohmann¹⁶ (2011, apud TIMM, 2015) afirma que substratos vegetados devem apresentar, simultaneamente, permeabilidade elevada e alta atividade microbiológica. Para assegurar a permeabilidade do leito é necessário que se evite o processo de compactação direta (processo construtivo) e indireta (tráfego sobre o leito). A utilização de minhocas no substrato também pode trazer inúmeras vantagens. As minhocas têm papel de destaque na formação do solo: na decomposição de resíduos de plantas e ciclagem de nutrientes da matéria orgânica; na formação do húmus e de agregados do solo, onde a atividade biológica é mais intensa; no melhoramento da estrutura, fertilidade, porosidade e capacidade de infiltração, drenagem e retenção de água; e também no transporte de microrganismos e nutrientes do solo, por meio dos canais formados por sua escavação e seus deslocamentos no solo (ANDRÉA, 2010).

Para reduzir a possibilidade de colmatção do filtro orgânico, recomenda-se que sejam construídos dois tanques biosépticos independentes. Desta maneira, pode-se fazer o uso intermitente das unidades, através da instalação de registros nas tubulações hidráulicas que precedem o tanque. Sobre a aplicação de esgotos de forma alternada, Platzer et al. (2007, p. 2) afirmam: “A alimentação em intervalos possibilita a entrada de certas quantidades de ar (oxigênio) e, entre os intervalos, ocorre alguma secagem da área de entrada, fatores esses que aumentam a eficiência dos processos aeróbios e diminuem o perigo de colmatção do filtro”.

A espessura da camada de solo orgânico responsável pela filtração é determinada com base na sua capacidade de remoção de poluentes. Estudo realizado por Tonetti et al. (2004) mostra que os filtros de areia não apresentam aumento significativo na redução da carga orgânica, acima dos 50 cm de espessura. Ercole (2003) afirma que os leitos filtrantes apresentam maior eficiência nos primeiros 60 cm. Pode-se considerar, portanto, que um filtro orgânico com 50 cm deve apresentar resultados satisfatórios na remoção dos poluentes. Ao final desta camada se encerra a purificação do efluente e se define a cota da geratriz inferior dos extravasores.

¹⁶ LOHMANN, G. **Caracterização microbiológica de estação de tratamento de esgoto por zona de raízes de fluxo vertical**. Curitiba, Dissertação de Mestrado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2011.

A última camada do solo orgânico deve ser dimensionada com base na demanda de espaço das raízes da espécie que será cultivada. Caso sejam plantadas apenas bananeiras (*Musa spp.*), Borges e Souza (2004) afirmam que 30% das raízes desta espécie estão localizadas a até 10 cm de profundidade, 82% das raízes estão localizadas a até 50 cm de profundidade e, em alguns casos, o sistema radicular atinge até 2 metros de profundidade. De acordo com Sant'ana et al. (2012), a distância efetiva do sistema radicular das bananeiras situa-se entre 0,60 m e 0,70 m da superfície. Desta forma, pode-se considerar que 70 cm de solo orgânico é uma espessura recomendável para o plantio de bananeiras, pois a altura dos extravasores não permite a inundação das raízes e, ao mesmo tempo, garante que o efluente seja disponibilizado de forma adequada ao vegetal.

Borges e Souza (2004) citam que a ocupação horizontal do sistema radicular das bananeiras varia de 1 a 2 m, e que a densidade adequada para produção da cultura não deve ser inferior a 0,5 planta/m². No entanto, o objetivo do TEvap não é otimizar a produção de bananas, e sim, eliminar o maior volume possível de água, através da evapotranspiração. Resultados práticos mostram que o vegetal se desenvolve bem em plantios de alta densidade (figura 18).

Figura 18 – Plantio de bananeiras em alta densidade



(fonte: próprio autor)

Um dos princípios do TEvap é a eliminação completa do efluente, através da evapotranspiração das plantas. Portanto, o número de bananeiras depende exclusivamente da capacidade de evapotranspiração da cultura. Borges e Souza (2004) comentam que as reservas hídricas da bananeira são mínimas, e as plantas são obrigadas a equilibrar constantemente, pela absorção radicular, as perdas de água por transpiração. Ruprecht (2016) afirma que uma bananeira, durante seu processo de crescimento, é capaz de evapotranspirar de 50 a 100 litros de água por dia, dependendo das condições climáticas. A partir de dados obtidos por Ercole (2003), foi desenvolvida uma tabela para determinação da taxa de evapotranspiração, em função da temperatura média, em °C, conforme o quadro 7.

Quadro 7 – Taxa de evapotranspiração em função das temperaturas médias

Temperaturas (°C)	Taxa de evapotranspiração (litros/m².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)

Visto que os critérios de dimensionamento ainda não são validados cientificamente, é recomendável que se adote um valor conservador para a taxa de evapotranspiração dos vegetais.

Com relação ao funcionamento geral do tanque bioséptico, pode-se citar alguns aspectos:

- Andrade Neto et al. (1999) afirma que o desempenho do decanto-digestor melhora à medida que a área de sua base aumenta;
- Segundo a NBR 13969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), os filtros anaeróbios funcionam de maneira mais eficiente quando há a distribuição equitativa da vazão de esgoto entre os bocais de saída da câmara;
- A área de implantação do TEvap deve ser otimizada, a fim de causar o mínimo de impacto nas condições naturais do ambiente.

Diante destas assertivas, faz-se uma análise crítica sobre o formato prismático retangular do tanque bioséptico e sugere-se a adoção de um formato cilíndrico. O formato circular da seção promove o melhor aproveitamento das áreas, estabelece infinitos eixos de simetria e possui aspecto mais orgânico e agradável.

5.6.4 Dimensionamento

Com base nas considerações feitas acerca do sistema de tratamento de esgotos domésticos proposto, parte-se para o processo de dimensionamento do TEvap.

5.6.4.1 Câmara de recepção

De acordo com Andrade Neto et al. (1999), o volume útil do decanto-digestor é obtido pela soma dos volumes necessários para decantação e acumulação de lodo, conforme a equação 1:

$$V_{DD} = V_D + V_L \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

V_{DD} = volume total do decanto-digestor;

V_D = volume para decantação;

V_L = volume para a acumulação de lodo.

O volume para decantação é obtido através da equação 2:

$$V_D = N \times C \times TDH \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

V_D = volume para decantação;

N = número de pessoas contribuintes;

C = contribuição de despejos (litros/pessoa x dia);

TDH = tempo de detenção hidráulica (dias);

A contribuição diária de despejos é obtida pela soma dos volumes das descargas hídricas do vaso sanitário efetuadas por uma pessoa, durante um dia, uma vez que os despejos encaminhados ao tanque bioséptico são apenas águas negras. As bacias sanitárias com caixa acoplada operam plenamente com 6 litros de água por fluxo e pode-se considerar que uma pessoa efetue 3 descargas por dia, resultando em um volume diário de 18 litros por pessoa. O período de detenção de despejos pode ser definido conforme a tabela 2, da NBR 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 5).

O volume para acumulação de lodo é obtido através da soma do volume destinado à digestão do lodo e do volume de armazenamento do lodo digerido, conforme equação 3:

$$V_L = V_{DIG} + V_{ARM} \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

V_L = volume para acumulação de lodo;

V_{DIG} = volume destinado à digestão do lodo;

V_{ARM} = volume destinado à acumulação do lodo digerido.

O volume necessário para digestão do lodo é obtido através da equação 4:

$$V_{DIG} = N \times L_f \times R_{DIG} \times T_{DIG} \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

V_{DIG} = volume destinado à digestão do lodo;

N = número de pessoas contribuintes;

L_f = contribuição de lodo fresco (litros/pessoa x dia);

R_{DIG} = coeficiente de redução do volume de lodo por adensamento e destruição dos sólidos na zona de digestão;

T_{DIG} = tempo de digestão do lodo (dias).

A contribuição de lodo fresco é obtida na tabela 1, da NBR 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 4). Como o afluente são somente águas negras, o valor de L_f que melhor representa suas características é 0,2 litro/pessoa x dia. O R_{DIG} , segundo a mesma norma técnica, é de 0,50. O T_{DIG} adotado, segundo Andrade Neto et al. (1999), é de 50 dias.

O volume necessário para acumulação do lodo digerido é dado pela equação 5:

$$V_{ARM} = N \times L_f \times R_{ARM} \times T_{ARM} \quad (\text{equação 5})$$

Onde:

V_{ARM} = volume destinado à acumulação do lodo digerido;

N = número de pessoas contribuintes;

L_f = contribuição de lodo fresco (litros/pessoa x dia);

R_{ARM} = coeficiente de redução do volume de lodo devido à digestão;

T_{ARM} = tempo de armazenamento do lodo digerido (dias).

O R_{ARM} , recomendado pela NBR 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993), é de 0,25. Andrade Neto et al. (1999) recomendam valores menores do que os sugeridos pela norma, sendo que, para regiões quentes, este valor pode ser considerado 0,15, evitando, assim, superdimensionamentos. Para reatores deste tipo, Ercole (2003) recomenda que o T_{ARM} seja de 10 anos. Andrade Neto et al. (1999) afirmam que o tempo de armazenamento do lodo digerido é o tempo previsto para remoção do lodo, menos o tempo destinado à digestão. Portanto, o valor de T_{ARM} é de 3600 dias.

A equação 6 expressa, de forma simplificada, o cálculo do volume útil do decanto-digestor, segundo a NBR 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 4). A norma recomenda que o volume útil mínimo adotado não seja inferior a 1.000 litros para o decanto-digestor.

$$V_{DD} = 1000 + N \times (C.T + K.L_f) \quad \text{(equação 6)}$$

Onde:

V_{DD} = volume do decanto-digestor;

N = número de pessoas contribuintes;

C = contribuição de despejos (litros/pessoa x dia);

T = período de detenção (dias);

K = taxa de acumulação de lodo digerido (dias);

L_f = contribuição de lodo fresco (litros/pessoa x dia).

A taxa de acumulação de lodo digerido, K , pode ser obtida na tabela 3, da NBR 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 5), e varia conforme a temperatura média do mês mais frio, em °C, e o intervalo de limpezas do decanto-digestor, em anos.

Ercole (2003) concluiu, através de uma revisão bibliográfica sobre o tema, que o procedimento de cálculo da NBR 7229 é conservador e que se pode adotar, com segurança, um volume útil mínimo de 700 litros para um decanto-digestor responsável, apenas, pelo tratamento de águas negras. No quadro 8 são apresentados os valores de volume útil para a câmara de recepção, em função do número de pessoas contribuintes, calculados conforme o roteiro de cálculo sugerido por Andrade Neto et al. (1999), considerando o volume útil mínimo apontado por Ercole (2003).

Quadro 8 – 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 pelo autor)

5.6.4.2 Filtro anaeróbio

A NBR 13969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997) recomenda que o volume útil do leito filtrante seja dimensionado conforme a equação 7, abaixo:

$$V_{FA} = 1,6 \times N \times C \times T \quad (\text{equação 7})$$

Onde:

V_{FA} = volume do meio filtrante (litros);

N = número de pessoas contribuintes;

C = contribuição de despejos (litros/pessoa x dia);

T = período de detenção hidráulica (dias).

A contribuição diária de despejos, por pessoa, é de 18 litros, como citado anteriormente. O período de detenção hidráulica é dado em função da temperatura média do mês mais frio e da contribuição diária total. Este valor pode ser obtido na tabela 4, da NBR 13969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 7). Dado que a contribuição de despejos considera apenas as águas negras, o volume do leito filtrante, para residências unifamiliares, dificilmente supera o valor mínimo exigido pela norma técnica, que é de 1000 litros. Ercole (2003) afirma que o volume mínimo do meio filtrante, destinado ao tratamento de águas negras, pode ser reduzido a 700 litros, com embasamento teórico nos mesmos estudos que levaram à conclusão similar sobre o decanto-digestor.

5.6.4.3 Canteiro de evapotranspiração

A espessura da camada de substrato orgânico pode ser de, aproximadamente, 1,30 m, como já foi mencionado. Destes, 50 cm são responsáveis pela filtração final do efluente e 70 cm são responsáveis pelo abrigo das raízes das bananeiras.

Visto que o TEvap deve ser dimensionado para eliminar todo o efluente através da evapotranspiração, Ercole (2003) sugere a seguinte equação para o cálculo da área necessária do canteiro

$$A = V_C / V_E \quad (\text{equação 8})$$

Onde:

A = área necessária para o canteiro (m²);

V_C = volume total de contribuição diária (litros/dia);

V_E = volume de evapotranspiração (litros/m².dia).

Todos os autores referenciados neste trabalho concordam que o volume de água evapotranspirado por uma bananeira depende diretamente das condições climáticas da localidade onde será implantado o TEvap. Devido à inexistência de resultados experimentais sobre a técnica proposta, é recomendável que se adote um valor conservador para este volume. O quadro 7 (p. 45) apresenta valores razoáveis para o volume de evapotranspiração, em função da temperatura média local. O volume total de contribuição diária é resultante do produto entre o número de pessoas contribuintes e o volume de despejos previsto para cada pessoa, que é de 18 litros/dia.

5.6.5 Resultados esperados

O sistema de tratamento de efluentes proposto reúne algumas técnicas já consagradas no meio técnico, em uma única unidade de purificação,

A configuração indicada para o tanque bioséptico esta apta a receber, tanto águas negras, como águas cinzas, desde que sejam em unidades distintas. Para conduzir as águas cinzas ao TEvap, estas devem ser tratadas previamente em um decantador, a fim de remover alguns elementos em suspensão (graxas, óleos, sólidos, gorduras) (ERCOLE, 2003).

Considerando o tratamento prévio destinado às águas cinzas, o tanque bioséptico deve apresentar resultados semelhantes, em termos de qualidade do efluente, ao do sistema modular com separação das águas. O quadro 9 mostra, de forma simplificada, os valores esperados para a remoção de poluentes dos principais sistemas abordados nesta pesquisa.

Quadro 9 – Percentual esperado para remoção de poluentes em diferentes sistemas de tratamento

Sistema de tratamento de esgotos	DBO	Nitrogênio	Fósforo	Coliformes Totais	Sólidos Suspensos Totais (SST)
Privadas Secas	95	80	-	90-100	95
Biodigestores	40-60	8	40	55	50-70
Tanque séptico e poços absorventes	30-50	8-10	40	50-60	45-50
Tanque séptico e filtro anaeróbio	70-90	10-25	10-20	60-90	60-90
Sistema modular com separação das águas	90-98	50-80	85-95	> 99	> 99
Tanque bioséptico	90-98	50-80	85-95	> 99	> 99

(fonte: adaptado de ERCOLE, 2003)

6 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O projeto do tanque de evapotranspiração é destinado para o Centro de Estudos Regenerativos e Sustentabilidade, a ser implantado na municipalidade de Feliz, no Rio Grande do Sul. A seguir são apresentadas algumas informações sobre o município e o CERES, com o objetivo de caracterizar a área de estudo.

6.1 MUNICÍPIO DE FELIZ

A história do município iniciou-se em 1846, com a chegada dos colonizadores alemães na região. Durante o período de imigração os novos colonizadores se viram obrigados a ocupar os Vales do Sinos, do Caí e do Taquari, pois as regiões da campanha já haviam sido colonizadas por fazendeiros gaúchos e portugueses. Em dezembro de 1888, Feliz foi elevada à condição de Vila e, somente em 1959, se emancipou de São Sebastião do Caí e se tornou município. Portanto, quem nasce em Feliz hoje pode ser denominado um felizense (IBGE, 2010).

6.1.1 Geografia

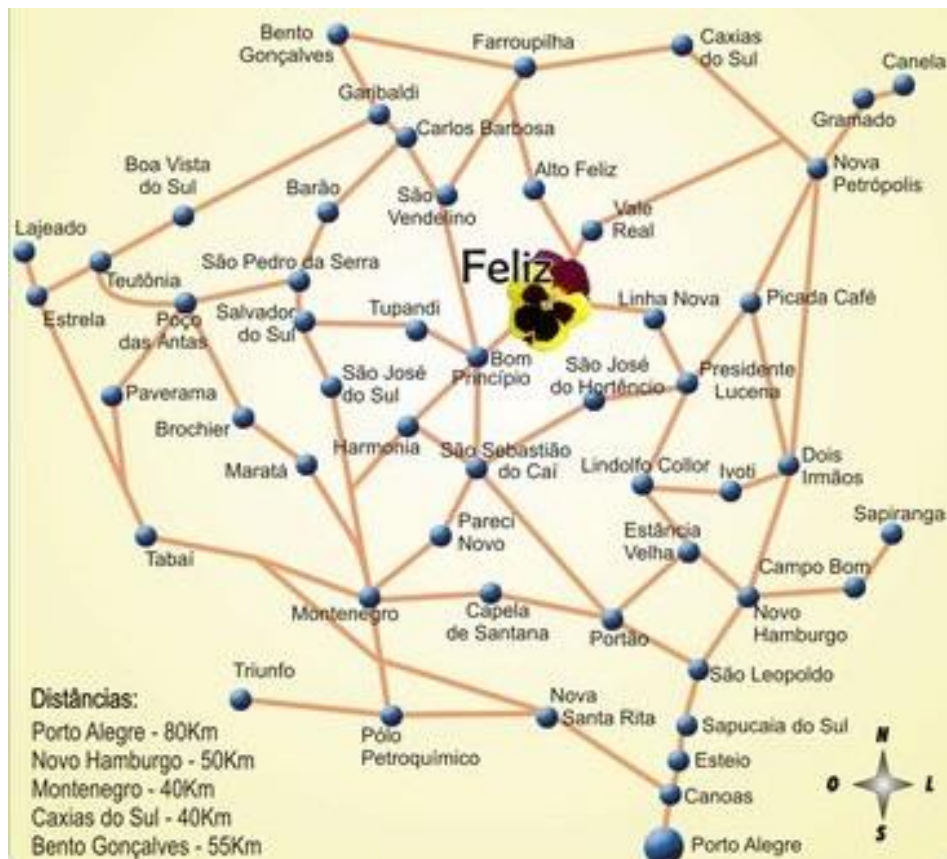
O município situa-se entre os dois principais polos econômicos do Rio Grande do Sul, a região metropolitana e a região serrana. Está a 80 km da capital, Porto Alegre, e a 40 km da principal cidade da serra gaúcha, Caxias do Sul. A cidade é cortada pela rodovia RS-452 e está, em quase sua totalidade, ao norte da margem do rio Caí.

A área da municipalidade é de 95,37 km², e divide-se, aproximadamente, em 30% de zona rural e 70% de zona urbana. Limita-se, ao norte, com os municípios de Alto Feliz e Vale Real; ao sul, com os municípios de São Sebastião do Caí e São José do Hortêncio; a leste, com os municípios de Nova Petrópolis e Linha Nova; e a oeste, com o município de Bom Princípio. Na figura 19 é apresentado um mapa que representa esta posição geográfica de Feliz, dentro do estado do Rio Grande do Sul.

Possui relevo diversificado, com área de morros, vales e planícies. Os morros mais altos são o Morro das Batatas e o Morro Seidel. O sistema hidrográfico é formado pelo rio Caí e seus

principais afluentes. O clima de Feliz é considerado subtropical, com temperaturas que oscilam entre 5°C e 39°C. A média anual é de 20°C. No mês mais frio, a média das temperaturas fica abaixo dos 15°C.

Figura 19 – Localização do município de Feliz



(fonte: www.feliz.rs.gov.br¹⁷)

6.1.2 Demografia

Como foi mencionado anteriormente, de acordo com a estimativa populacional do IBGE, a população do município, no ano de 2015, era de 13.140 habitantes. Destes, cerca de 70% possui descendência alemã, 15% possui descendência italiana e outros 15% descendem de outras origens. A predominância alemã influencia de forma contundente na cultura, na culinária e na arquitetura da cidade. Feliz ocupa a 138ª posição no ranking dos municípios estaduais com maior população.

¹⁷ Disponível em: <<http://www.feliz.rs.gov.br/municipio/localizacao>> Acesso em novembro de 2016.

A densidade demográfica registrada no município, no ano de 2010, era de 129,59 habitantes por km². Para efeitos de comparação, São Sebastião do Caí registrou uma densidade demográfica de 196,81 habitantes por km², Caxias do Sul, de 264,89 habitantes por km² e Porto Alegre, 2.837,53 habitantes por km² (IBGE, 2010).

6.1.3 Economia

O Produto Interno Bruto de Feliz, que representa a soma dos valores de todos os bens e serviços produzidos na municipalidade, registrado em 2013, foi de R\$ 313.072.000,00, resultando em um PIB per capita de R\$ 24.097,00. Este último valor é inferior à média nacional, que é de R\$ 26.445,72, e inferior à média estadual, que é de R\$ 29.657,28, tendo como referência o mesmo ano (FEE, 2013).

Da produção total de Feliz, ainda com base em dados do ano de 2013, 25,5% está associada ao setor agrícola e 37,5% ao setor industrial (IBGE, 2013). As indústrias que se destacam são as do setor metal-mecânico, calçadista e moveleiro. No setor primário, as principais atividades são o cultivo de hortigranjeiros, a avicultura e a suinocultura.

No setor agrícola destacam-se as produções de mandioca e figo, com volume anual de 1.920 e 1.500 toneladas, respectivamente. A produção de bananas é modesta, ocupando apenas 5 hectares de terra e com volume anual de 31 toneladas.

Os altos índices de saúde e educação das pessoas favorecem o sucesso dos empreendimentos instalados no município.

6.1.4 Conquistas sociais

Em 1998, o município figurou na primeira colocação do ranking brasileiro das cidades, com o maior Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), de acordo com relatório divulgado pela ONU, e ganhou a fama de “Cidade de Melhor Qualidade de Vida do Brasil”.

Em 2006, a cidade recebeu o título de “Município Alfabetizado”, por apresentar índice de analfabetismo inferior a 2%. Em 2010, foi apontado pelo IBGE como “Município Mais Alfabetizado do Brasil”.

Em 2015, de acordo com o Atlas da Exclusão Social no Brasil, Feliz foi considerada a 11ª cidade mais igualitária do Brasil.

6.2 CENTRO DE ESTUDOS REGENERATIVOS E SUSTENTABILIDADE (CERES)

Uma proposta inicial para o Centro de Estudos Regenerativos e Sustentabilidade foi desenvolvido pela arquiteta e urbanista Vivian Dall’Igna Ecker, enquanto bolsista de iniciação científica do engenheiro e professor Miguel Aloysio Sattler. O Centro tem sido objeto de vários estudos, envolvendo a alunos de pós-graduação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da UFRGS, sendo que uma ex-aluna (Arquiteta Cristiane Kaiser) atualmente está elaborando o projeto executivo para a primeira edificação a ser implantada, no local destinado ao CERES, em área localizada no município de Feliz.

Figura 20 – Representação tridimensional do CERES



(fonte: KAISER, 2016)

Dentre os objetivos do Centro destacam-se a educação e formação, através de pesquisas e práticas sustentáveis, dentro das esferas social, cultural, econômica, ambiental e política; a preservação e regeneração do ambiente, construindo sistemas cíclicos que sirvam de modelo para a população local e de outras regiões similares; estimular a diversificação da economia, priorizando os produtos locais e fortalecer a identidade e a perpetuação da cultura local.

Conforme já referido, últimos anos vários estudos foram realizados com o intuito de elaborar um projeto para implantação do Centro, visando atender aos objetivos idealizados. A figura

20 ilustra a proposta que se pretende implantar, que busca aproveitar e reusar, da maneira mais ampla possível, a estrutura e alguns materiais construtivos constituintes de um antigo estábulo.

Todos os processos construtivos estabelecidos foram orientados para minimizar impactos ambientais e, ao mesmo tempo, otimizar o conforto e o bem estar aos habitantes e frequentadores do Centro. Para o tratamento dos efluentes líquidos, por exemplo, foi adotada proposta de um sistema modular com separação de águas, projetado pelo engenheiro Luiz Ercole. Esta pesquisa tem, como um de seus objetivos, elaborar um projeto complementar para o tratamento dos esgotos do CERES.

7 PROJETO DO TANQUE BIOSÉPTICO - CERES

A fim de ilustrar o sistema de tratamento de efluentes domésticos proposto, é apresentado neste capítulo um projeto de tanque bioséptico destinado ao Centro de Estudos Regenerativos e Sustentabilidade, como unidade complementar de purificação. O sistema de tratamento que será adotado para o CERES é o sistema modular com separação das águas. Este sistema possui uma unidade de disposição final do efluente, denominada leito de evapotranspiração e infiltração (LETI). O tanque bioséptico será projetado com o intuito de substituir esta unidade, realizando: a filtração orgânica do efluente; liberando um volume considerável de água à atmosfera, através da evapotranspiração; e destinando o excedente a um espelho d'água com macrófitas (plantas aquáticas).

7.1 CONDIÇÕES DE CONTORNO

Como foi mencionado no item 5.5, no SMSA os efluentes do reator anaeróbio e do decantador são destinados a uma caixa de mistura. Após a passagem pela caixa de mistura, os esgotos serão encaminhados ao TEvap. Portanto, a unidade receberá o conjunto das águas cinzas e negras produzidas no CERES. O projeto para o prédio inicial do CERES prevê que, nos períodos de maior ocupação, uma população de até 30 pessoas poderá fazer uso de suas instalações.

Devido ao fato de os esgotos passarem por um sistema de tratamento qualificado, antes de ingressarem no TEvap, o dimensionamento da unidade possui algumas particularidades, em relação ao método proposto no item 5.6.4, e algumas considerações devem ser feitas, antes da elaboração de seu projeto. Assim, a qualidade dos efluentes provenientes do sistema modular com separação das águas pode ser estimada com base no quadro 9, apresentado no item 5.6.5.

A câmara de recepção funcionará, basicamente, como um reservatório de passagem, pois os processos de acumulação e digestão do lodo ocorrerão de maneira muito reduzida. Sendo assim, seu volume pode ser diminuído de forma significativa, reduzindo o período de detenção hidráulica e excluindo a parcela do volume destinada ao tratamento anaeróbio do efluente. A colmatação do filtro anaeróbio, se existente, será provavelmente mínima, uma vez

que a quantidade de matéria orgânica nesta etapa do sistema mínima é muito reduzida. Desta forma, a instalação de mangueiras para limpeza do filtro é dispensável.

Dada a qualidade do efluente, em caso de ocorrência de infiltrações e vazamentos, não há o risco de contaminação do solo ou das águas subterrâneas e, por este motivo, poder-se-ia eliminar o procedimento de impermeabilização. No entanto, a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 20) requer que:

Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

Isto requer que a laje de fundo, construída em concreto armado, deva ser protegida, a fim de evitar a corrosão da armadura e a redução da vida útil de projeto. Portanto, o sistema de impermeabilização deverá ser mantido.

O volume elevado de contribuição diária demandaria uma área muito extensa para o canteiro de evapotranspiração, tornando sua implantação praticamente inviável. Baseado nisso, a área do canteiro será reduzida, conforme diretrizes de implantação, e o excedente do efluente, que não for evapotranspirado, será destinado a um espelho d'água, onde ocorrerá o seu polimento final.

Não se tem, até a presente etapa de projeto, a caracterização do solo onde será enterrado o tanque bioséptico. Assim, assumiu-se que este seja adequado para realização das escavações necessárias e capaz de resistir à pressão exercida pelo tanque. O lençol freático foi considerado profundo, viabilizando esta escavação e desconsiderada a ocorrência de eventuais esforços de empuxo provocados pela água.

7.2 MEMORIAL DE CÁLCULO

Neste capítulo são realizados os procedimentos de cálculo, para a determinação das dimensões das unidades de tratamento do tanque bioséptico.

7.2.1 Câmara de recepção

O volume útil da câmara de recepção é definido a partir da soma do volume de águas negras e cinzas, produzidas diariamente. O tempo de detenção hidráulica será considerado unitário, para ambas as águas, pois o efluente admitido na câmara já terá passado pelo reator anaeróbio.

Para a definição da parcela de volume da câmara destinada às águas negras, aplica-se a equação 2 (p. 46). Estimou-se que a produção diária de águas negras, por pessoa, seja de 18 litros, como já foi mencionado anteriormente. O tempo de detenção hidráulica dos despejos será de 1 dia. Para uma população de 30 pessoas, resulta um volume 540 litros.

Para definição da parcela de volume da câmara destinada às águas cinzas, aplica-se a equação 9, sugerida por Ercole (2003):

$$V_{AC} = N \times \left(\frac{C}{T_{MP}} \right) \times TDH \quad (\text{equação 9})$$

Onde:

V_{AC} = volume destinado às águas cinzas (litros);

N = número de contribuintes;

C = contribuição, por pessoa, de águas cinzas, no período de maior produção (litros/pessoa);

T_{MP} = duração do período de maior contribuição (horas);

TDH = tempo de detenção hidráulica (horas);

Esta equação foi originalmente aplicada para determinação do volume do decantador de águas cinzas, que precede o TEvap. O número de pessoas contribuintes é 30. O volume e o período de maior contribuição são apresentados na figura 21.

Figura 21 – Volume médio de águas cinzas produzidas durante o dia

HORAS	0	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ATIVIDADES E QUANTIDADES (L/P)		HIGIENE = 43				COZINHA = 20			HIGIENE = 15 **			HIGIENE = 43				COZINHA = 20				
					LAVANDERIA = 20						LIMPEZAS = 50									
MÉDIAS ACUMULADAS (L/p)	0	43		63 *		40		15		50		43		63 *		43				

l/p = litros por pessoa

* horários de maior produção de águas cinzas

** sem banho

(fonte: ERCOLE, 2003)

Estimou-se que período de maior contribuição ocorra à noite, das 19 às 22 horas, quando as atividades de higiene e limpeza ocorrem em maior intensidade, com um volume médio produzido de 63 litros, por pessoa. Segundo Ercole (2003), o tempo de detenção hidráulica para decantadores de águas cinzas é de 2 horas. No entanto, como estas águas já passaram por esta etapa de tratamento, este tempo será reduzido para 1 hora. Aplicando-se tais valores à equação 9, resulta um total de 630 litros.

O volume útil total da câmara de recepção, resultante da soma das parcelas de águas cinzas e negras (540 + 630), resulta em 1.170 litros, ou 1,17 m³.

7.2.2 Filtro anaeróbio

O volume do filtro anaeróbio é calculado através da equação 7 (p. 49), considerando as contribuições de 30 pessoas, totalizando 1.170 litros. O tempo de detenção hidráulica será unitário, com base nas mesmas justificativas apresentadas no item 7.1.1. Portanto, o volume do leito filtrante será de 1.872 litros.

7.2.3 Canteiro de evapotranspiração

A área necessária para o canteiro de evapotranspiração é calculada de acordo com a equação 8 (p. 50), também considerando uma contribuição diária é de 1.170 litros. A taxa de evapotranspiração pode ser obtida através do quadro 7 (p. 45). Considerando a temperatura média na faixa entre 15°C e 25°C, para o município de Feliz, a taxa de evapotranspiração é de 35 litros/m². Com isto, a área necessária para evapotranspiração seria 33,43 m².

A fim de reduzir as dimensões do tanque bioséptico, conforme orientação do projeto arquitetônico e paisagístico, esta área será limitada a 8 m². Assumindo que o canteiro terá um formato circular, o diâmetro correspondente é 3,20 metros. O volume de água previsto evapotranspirar, considerando os 8 m² de área do canteiro, é de 280 litros. Desta forma, a vazão de saída do efluente, por meio dos extravasores, será de 890 litros/dia ou 0,62 litros/minuto.

Com base nas considerações feitas no item 5.6.3, a densidade de plantio das bananeiras será de 1 planta/m². Sendo assim, 8 bananeiras devem ser plantadas no canteiro de evapotranspiração.

A razão entre a contribuição diária e a área de canteiro estabelece a taxa de aplicação superficial na camada de solo orgânico, que é 146,25 litros/m².dia. De acordo com os valores apresentados no quadro 6 (p. 42), esta taxa de aplicação exige que o solo adotado para o leito orgânico tenha uma taxa de percolação de 75 minutos/metro.

7.3 MEMORIAL DESCRITIVO

Este memorial tem o objetivo de descrever, de forma detalhada, as técnicas e os procedimentos de construção recomendados para elaboração do tanque bioséptico, bem como definir os materiais empregados.

7.3.1 Câmara de recepção

A câmara de recepção possuirá formato cilíndrico. A NBR 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993) recomenda que o diâmetro interno mínimo para decanto-digestores deste tipo não seja inferior a 1,10 m. Considerando o volume obtido no item 7.2.1 e a altura útil mínima de 0,95 m, sugerida por Cardão¹⁸ (1972, apud ERCOLE, 2003), o diâmetro interno da câmara de recepção será de 1,25 m. Segundo a NBR 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993), a distância mínima entre o nível d'água e a parte inferior da tampa de concreto deve ser de 0,25m. Esta câmara cilíndrica será construída no Centro, sobre a laje de fundo do tanque bioséptico.

Suas paredes serão executadas com alvenaria de tijolos, seguindo os procedimentos recomendados pela NBR 8545 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984). Os tijolos empregados serão de 6 furos (9 x 14 x 24 cm) e o assentamento será feito com os componentes deitados (parede de meio tijolo). A área de alvenaria estimada para construção da câmara de recepção é de 5,92 m², em 12 fiadas.

O sistema de assentamento dos componentes deve ser executado com juntas de amarração, no qual as juntas verticais são descontínuas. Estas juntas devem ser ausentes de vazios; portanto, devem-se preencher com argamassa as frestas decorrentes do assentamento circular, especialmente no lado externo da câmara. Recomenda-se o uso de ferramentas adequadas para que o prumo e a horizontalidade das fiadas sejam garantidos. O Departamento de Engenharia

¹⁸ CARDÃO, C. **Instalações domiciliares**. Belo Horizonte: Edições Arquitetura e Engenharia, 1972.

e Construção Civil da USP (2002) recomenda, para ambientes agressivos, uma argamassa de assentamento com boa resistência e durabilidade, com traço de 1 : 0,5 : 5 (cimento: cal: areia), em massa, de materiais secos. Silva (2006) afirma que, usualmente, utiliza-se, para confecção de argamassas, Cimento Portland CP II Z (com adição de material pozolânico), cal hidratada e areia média lavada.

Para elaboração do revestimento, interno e externo à câmara, Zulian et al. (2002) recomendam os seguintes procedimentos:

- Preparação da superfície com chapisco na proporção 1 : 3 (cimento: areia grossa), em massa de materiais secos;
- Após 3 dias, aplicação de emboço desempenado, na proporção 1 : 1 : 6 (cimento: cal: areia média), em massa, de materiais secos, com espessura máxima de 1,5 cm;

A laje da tampa da câmara será executada conforme os procedimentos de cálculo sugeridos por Guimarães (1995), que fez estudos acerca do dimensionamento estrutural de reservatórios cilíndricos enterrados. As equações sugeridas pelo autor foram adaptadas ao raio da tampa deste projeto, que é de 0,785 m e foram acrescentadas as solicitações decorrentes do peso de solo acima da tampa. O peso específico do solo adotado foi de 13 kN/m³, adequado para solos moles úmidos (GODOY, 1972) e a altura considerada de solo, acima da tampa, é de 70 cm. A espessura da tampa deve ser de 0,10 m, a resistência característica do concreto à compressão deve ser de 30 MPa e o aço utilizado para confecção da armadura deve ser o CA-50, com montagem de malha ortogonal.

A partir disto, define-se o momento atuante na laje da tampa, que é de 4,52 kN.m/m. A área de aço exigida, portanto, é de 4,30 cm²/m. Sugere-se a montagem de uma malha com barras de 8 mm e com espaçamento de 10 cm, conforme detalhe na figura 22. O ambiente foi definido com classe de agressividade IV, conforme a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014). O cobrimento de armadura, para esta classe de agressividade, é de 50 mm, no entanto, como a tampa não está em contato direto com o esgoto, o cobrimento adotado será de 30 mm. A área de forma necessária para confecção da tampa é de 2,53 m². Para o gancho das barras, foi considerado o mesmo valor adotado por Guimarães (1995).

Barboza e Bastos (2008) fizeram testes com o traço de 1 : 2,85 : 2,90 (cimento: areia: brita) e $a/c = 0,58$, utilizando Cimento Portland CP-II E (com escória de alto-forno), areia grossa e brita 1, e obtiveram um f_{ck} de 30 MPa. Os autores ainda verificaram um consumo menor do cimento CP-II E, em relação aos outros testados. Portanto, recomenda-se o uso deste traço.

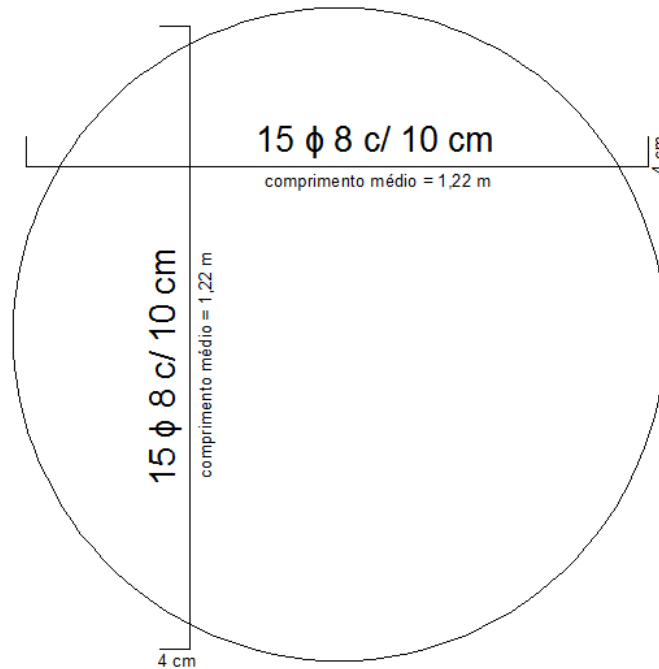
Esta tampa terá um acesso concêntrico, para limpeza do lodo, com tubo de 100 mm, e um acesso excêntrico, para saída dos gases, também com tubo de 100 mm, conforme detalhe nas figuras 23 e 24. O tubo de limpeza deve ser tamponado, para evitar a entrada de água e insetos, e o tubo para evacuação dos gases deve possuir cobertura no formato chapéu, ou similar, a fim de evitar a entrada de águas pluviais. Esta tampa deverá ser assentada com argamassa sobre a alvenaria. É recomendável que seja feita a vedação das juntas formadas entre os tubos e a laje da tampa, a fim de evitar a entrada de partículas de solo orgânico na câmara.

As tubulações devem ser executadas com tubos cerâmicos. Os tubos cerâmicos possuem um impacto ambiental inferior aos tubos de PVC e, segundo Bevilacqua (2006), apresentam o custo mais baixo, entre todos os tipos de tubos existentes no mercado. O mesmo autor afirma que as juntas das tubulações cerâmicas podem ser feitas com argamassa de cimento e areia fina, com vedação elástica, com betume ou com solo-cimento, denominada tabatinga. A tabatinga é uma mistura de solo e argila, no traço 1:1, em volume, recomendada para valas com água, onde pode ocorrer a “lavagem do cimento” (BEVILACQUA, 2006). Portanto, recomenda-se adotar este procedimento para vedação das juntas.

O afluente acessará a câmara através de um tubo cerâmico de 100 mm, com 1% de declividade, conforme determinação da NBR 8160 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999), que orienta a execução de ramais de esgoto prediais. Para Gasi (1988), o esgoto deve ser lançado a 0,35 m do fundo do equipamento, utilizando um prolongador, pois a concentração das bactérias é maior nessa região, favorecendo a homogeneização do líquido e aumentando a velocidade de digestão do esgoto. A saída do efluente ocorrerá através de 4 tubos cerâmicos de 100 mm, dispostos de forma equidistante ao longo do perímetro da alvenaria, conforme detalhe na figura 23. De acordo com a NBR 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993), estes tubos devem possuir prolongador de 10 cm, evitando a passagem da espuma, e sua geratriz inferior deve estar 0,95 m acima do fundo da câmara e, pelo menos, 5 cm abaixo da geratriz inferior do tubo de entrada. A mesma norma ainda recomenda que distância mínima entre o fundo da

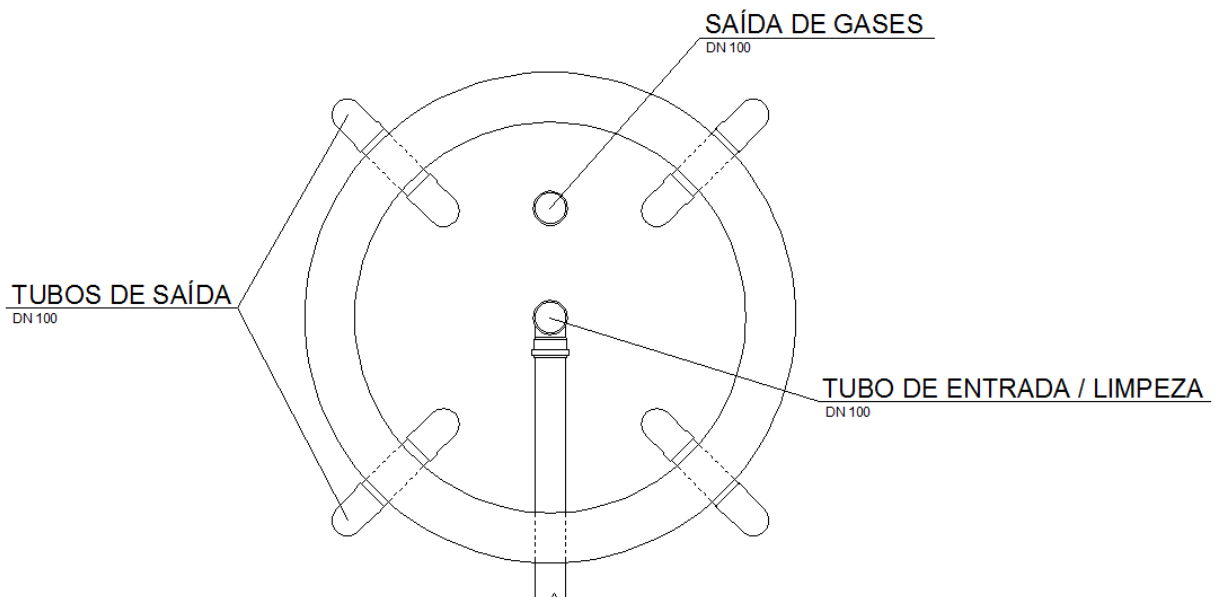
tampa e o nível d'água seja de 0,25 m. Feitas estas considerações, define-se a altura interna total da câmara de recepção, que é de 1,20 m.

Figura 22 – Malha ortogonal da tampa da câmara de recepção



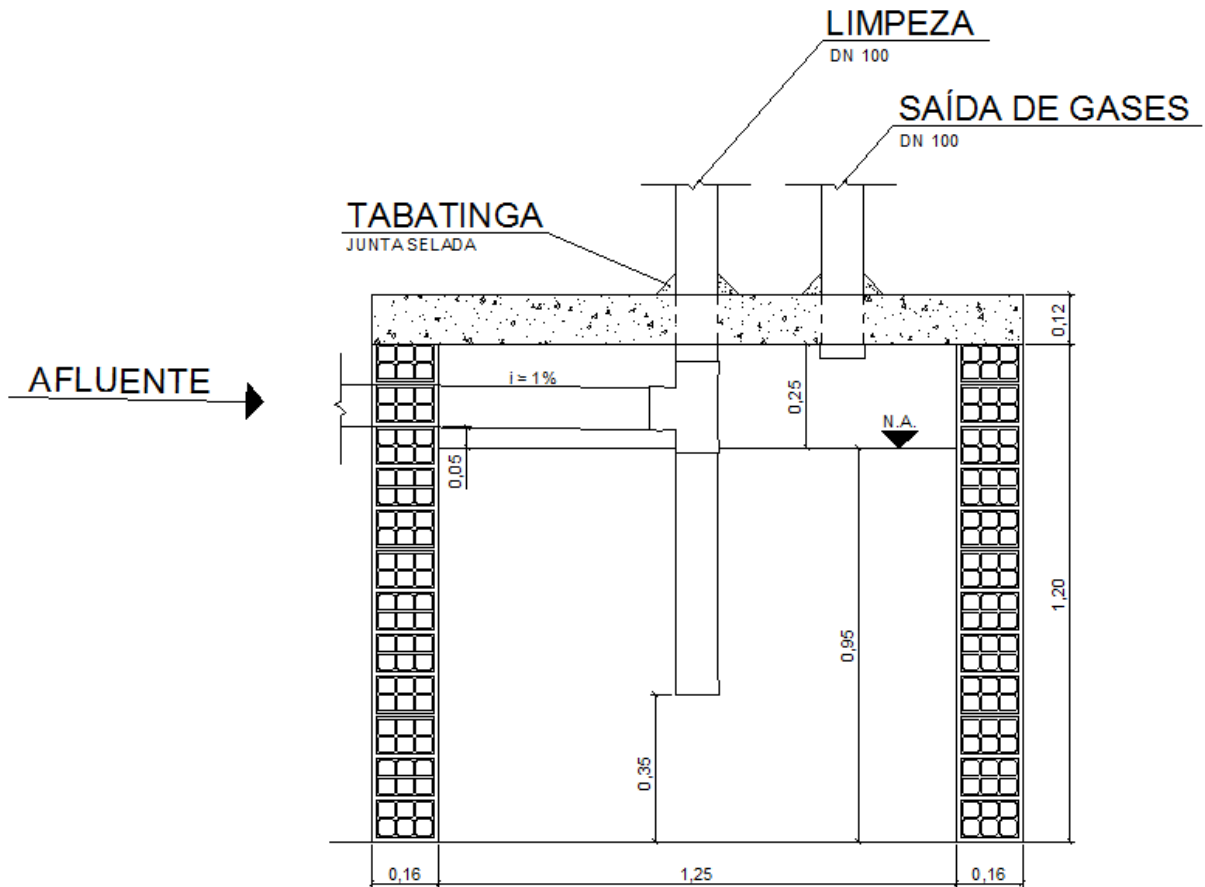
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 23 – Planta baixa da câmara de recepção



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 24 – Seção transversal da câmara de recepção



(fonte: elaborado pelo autor)

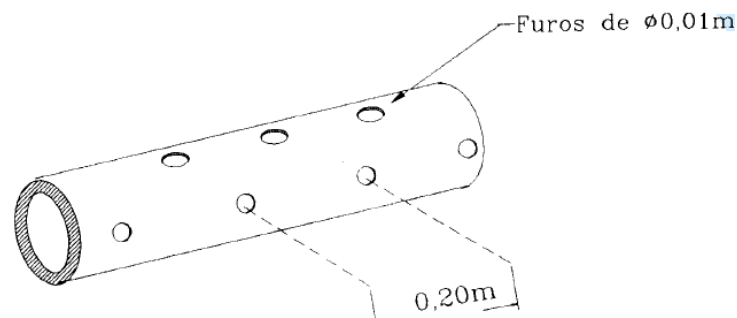
7.3.2 Substrato

A altura da camada de substrato do filtro anaeróbio depende da área do disco ao redor da câmara de recepção e do volume demandado, de $1,872 \text{ m}^3$, definido no item 7.2.2. O diâmetro total da câmara é de 1,57 metros e, conseqüentemente, sua área é de $1,93 \text{ m}^2$. A área do canteiro, já definida previamente, é de 8 m^2 . Portanto, a área do disco, ao redor da câmara de recepção, é $6,07 \text{ m}^2$. Com a razão do volume demandado, pela área do disco, obtém-se a altura da camada de filtro anaeróbio, que é de 0,30 m. A entrada do efluente no filtro anaeróbio ocorrerá através de tubos cerâmicos, de 100 mm, perfurados (figura 25); portanto, a camada de leito filtrante deve ter 10 cm além do necessário, visando a disposição destas tubulações.

A camada de substrato orgânico deve ter, pelo menos, 70 cm de altura, em relação à tampa de concreto da câmara, e 50 cm de altura, em relação ao topo da camada de filtro anaeróbio,

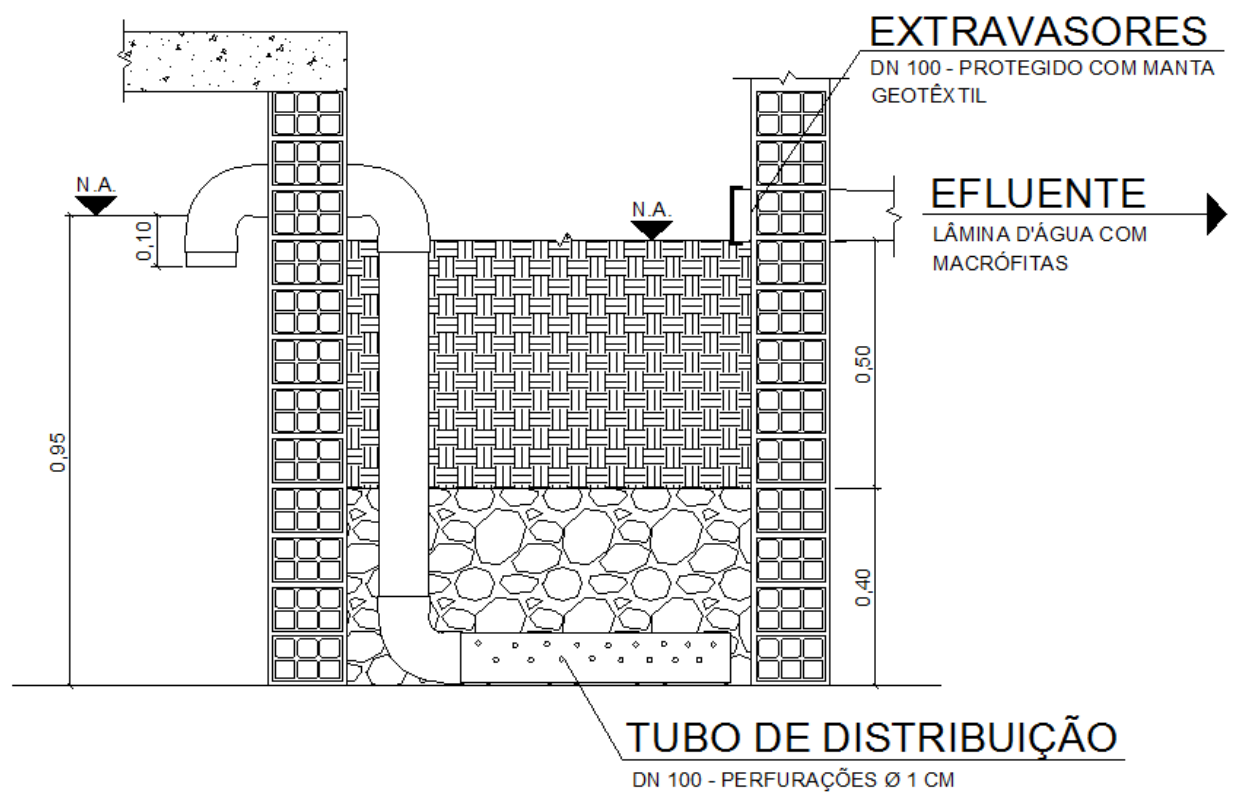
conforme conclusões feitas no item 5.6.3. Desta forma, o leito orgânico a ser elaborado no tanque bioséptico terá espessura de 1,62 m e volume de 11,21 m³. Ao final da camada de filtragem devem ser instalados 2 extravasores, diametralmente opostos, feitos com tubos cerâmicos de 100 mm e protegidos em sua saída com manta geotêxtil, a fim de evitar que ocorra a erosão do leito. Detalhes são apresentados na figura 26.

Figura 25 – Tubos de distribuição perforados



(fonte: ABNT, 1997, p. 28)

Figura 26 – Seção transversal do substrato



(fonte: elaborado pelo autor)

Recomenda-se que os materiais empregados do filtro anaeróbio e do substrato orgânico sejam provenientes do CERES, ou de região próxima, evitando os custos de transporte e de impacto ambiental, e sejam, preferencialmente, aqueles indicados no item 5.6.3. Para efeitos de dimensionamento, o substrato do filtro anaeróbio será considerado como executado com brita #4. Estes materiais devem, também, atender às solicitações da NBR 13969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), mencionadas no item 5.6.3.

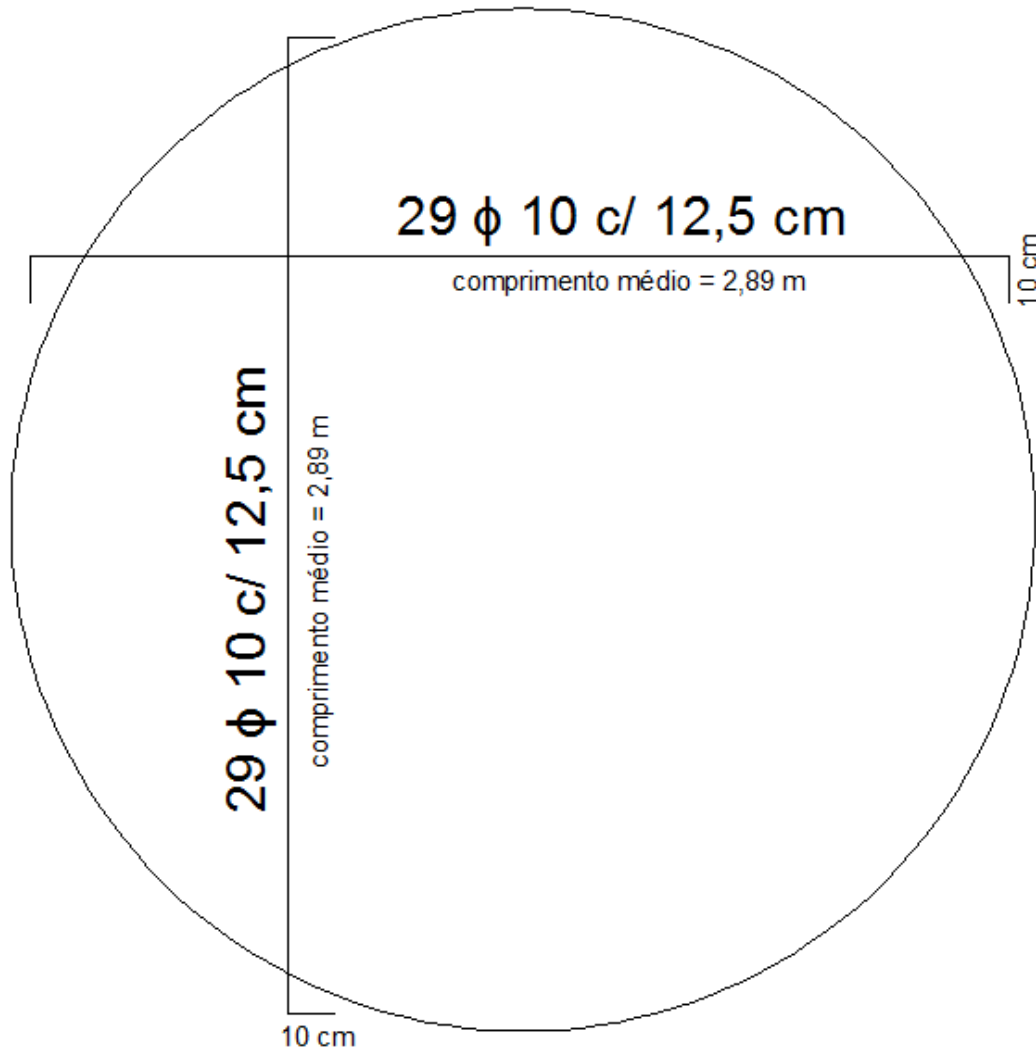
7.3.3 Estrutura e fechamento

A laje de fundo do tanque bioséptico será dimensionada conforme os procedimentos de cálculo adotados por Guimarães (1995). A espessura desta laje deve ser de 0,20 m, e o concreto e aço utilizados serão os mesmos empregados para execução da tampa da câmara de recepção. Segundo a NBR 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993), deve-se executar um aumento de diâmetro para a laje de fundo, externamente ao tanque, a fim de evitar sua flutuação, devido ao empuxo de água. Visto que o lençol freático foi considerado profundo, o risco de flutuação é admitido como nulo. De qualquer forma, será projetado um aumento de 10 cm, no raio da laje de fundo, e uma elevação de 5 cm, na base da alvenaria, com o objetivo de evitar fissuras e diminuir o risco de infiltrações. O diâmetro total da laje, portanto será de 3,72 m. A ação uniformemente distribuída sobre a laje de fundo é equivalente à reação exercida pelo solo na base do tanque.

Os pesos específicos dos materiais do tanque são: solo orgânico (13 kN/m^3), brita #4 (17 kN/m^3) e concreto (25 kN/m^3). Considerando as alturas de cada camada e seu respectivo peso específico, calcula-se o módulo da reação do solo sobre o tanque. A carga uniformemente distribuída na base do tanque é de $-32,76 \text{ kN/m}^2$. Consequentemente, o momento fletor atuante $-31,55 \text{ kN.m/m}$ e a área de aço necessária é $6,32 \text{ cm}^2/\text{m}$. Sugere-se a elaboração de uma malha ortogonal, com barras negativas de 10 mm e espaçamento de 12,5 cm, conforme detalhe na figura 27. O cobrimento de armadura é 50 mm e a área de forma necessária para confecção da laje é $3,39 \text{ m}^2$. Para o gancho das barras, foi considerado o mesmo valor adotado por Guimarães (1995).

A alvenaria de fechamento externo do tanque bioséptico será executada conforme os mesmos procedimentos indicados no item 7.3.1, assim como o seu revestimento. A área de alvenaria estimada para o fechamento do tanque é de $22,11 \text{ m}^2$, em 20 fiadas.

Figura 27 – Malha ortogonal da laje de fundo



(fonte: elaborado pelo autor)

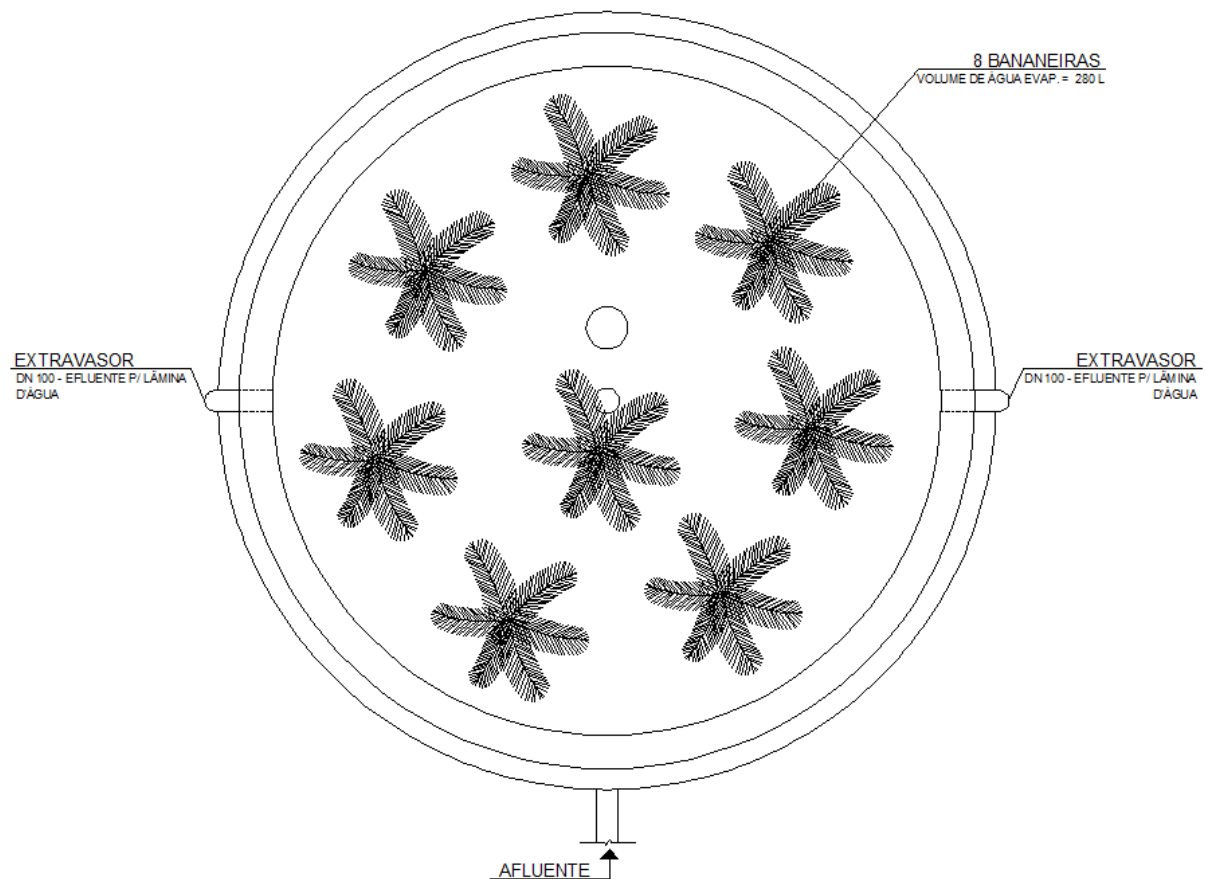
O fundo do tanque, a face interna da alvenaria de fechamento e a face externa da câmara de recepção devem ser impermeabilizados com argamassa polimérica, como foi referido no item 5.6.3. Segundo Oliveira (2015), este sistema é usualmente formado pela mistura de dois componentes e aplicado em duas ou mais demãos, alternando as direções de aplicação, de forma cruzada. É aconselhável, também, a colocação de tela de poliéster nos cantos, sendo empregada a partir da segunda demão. Os fabricantes ainda recomendam que o intervalo entre as demãos não seja inferior a 6 horas e que o consumo médio do produto é de 3 kg/m² para sistemas executados com 3 demãos (SIKA[®], 2011). Na figura 28 é possível visualizar a execução do procedimento, que deve ser feito sobre superfície regularizada. A área de impermeabilização prevista é de 37,18 m².

Figura 28 – Aplicação da impermeabilização



(fonte: www.lojadoimpermeabilizador.com.br¹⁹)

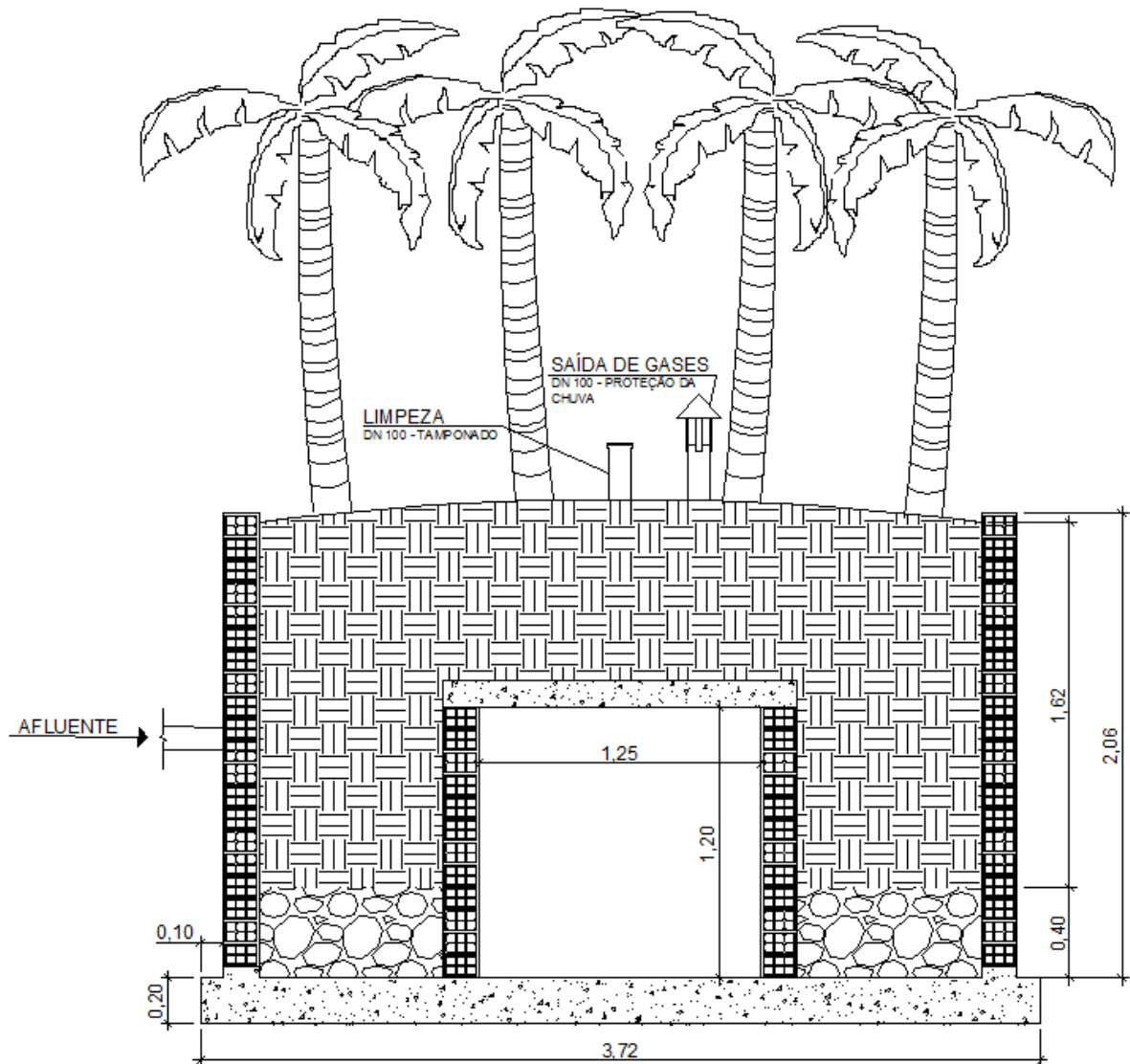
Figura 29 – Planta baixa do tanque bioséptico



(fonte: elaborado pelo autor)

¹⁹ Disponível em: < <http://lojadoimpermeabilizador.com.br/argamassas-polimericas/> > Acesso em novembro de 2016.

Figura 30 – Seção transversal do tanque bioséptico



(fonte: elaborado pelo autor)

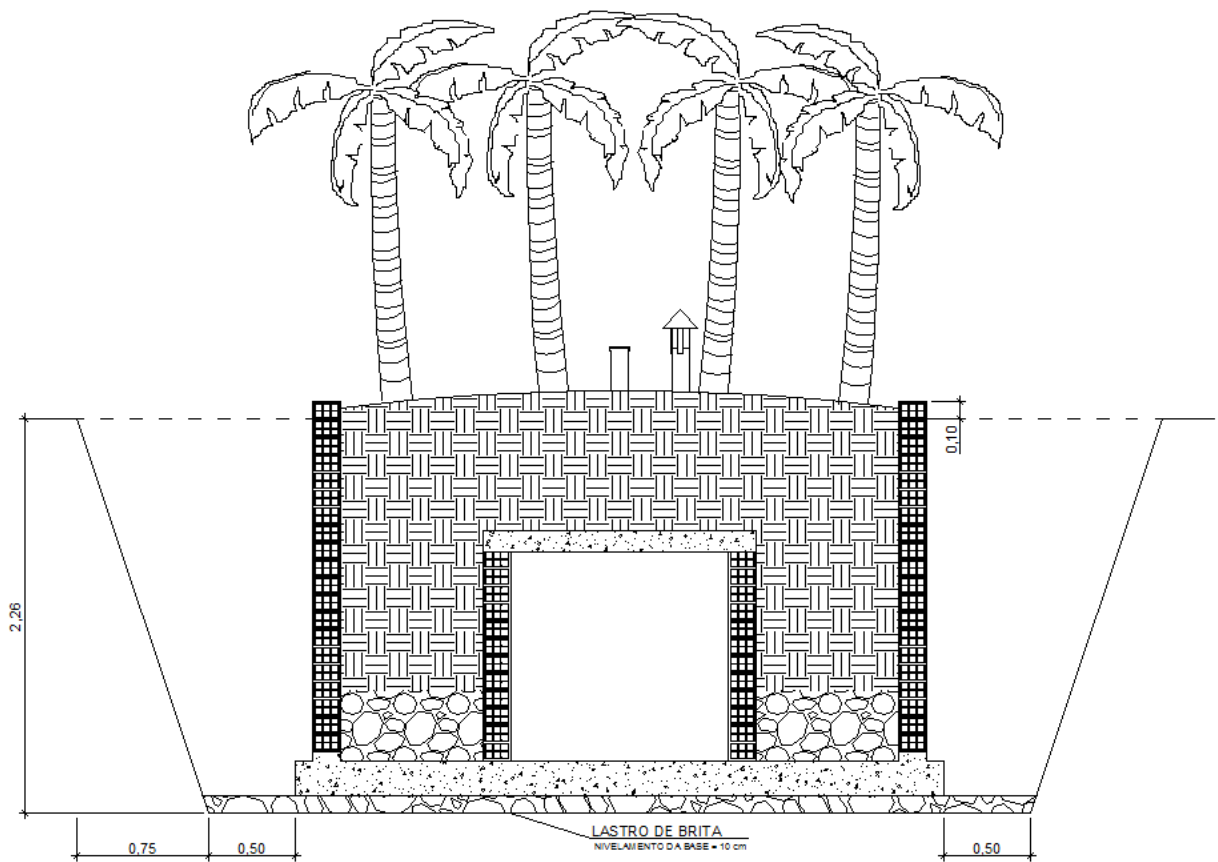
7.3.4 Escavação

Para determinação do volume de solo retirado para a execução do tanque bioséptico, considera-se que o nível do terreno seja plano. O diâmetro a ser escavado deve exceder em 1 metro o diâmetro da laje de fundo, a fim de garantir uma faixa externa de 0,5 m, que possibilite a execução dos serviços. A inclinação de corte será na proporção 3:1 (vertical : horizontal), pois o talude do corte é raso, e as condições de estabilidade em cortes resultam melhores. Diante destas considerações, o volume de terra que deve ser escavado é de 45,40 m³. Caso o acesso ao terreno seja facilitado, é pertinente que se escave este volume de forma

mecanizada, pois a produtividade de uma retroscavadeira é cerca de 50 vezes maior do que a produtividade da escavação manual (LIMA, s. d.).

No fundo da vala escavada, recomenda-se a disposição de uma camada de 10 cm de brita #2, para o nivelamento e preparação para execução da laje de fundo. Considerando o fato de não se ter informações detalhadas sobre o solo de fundação, admite-se que este solo tem tensão de pré-adensamento (memória de carregamento do solo) superior à tensão aplicada pelo TEvap.

Figura 31 – Seção de escavação



(fonte: elaborado pelo autor)

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1 CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho foi o de desenvolver um projeto para um tanque bioséptico, capaz de aliar processos biológicos de tratamento de efluentes com técnicas mais sustentáveis de construção, visando a criação de uma alternativa aos sistemas já conhecidos. Para isto, foi feita uma análise detalhada de propostas já implantadas por alguns permacultores no Brasil e se buscou compatibilizar suas ideias aos critérios técnicos de tratamento dos esgotos. O resultado pode ser considerado um avanço importante na busca pela otimização de tais sistemas de tratamento de efluentes, pois se conseguiu aprimorar as propostas existentes, com sugestões que se adequam às normas técnicas que orientam a elaboração destes sistemas. Por fim, pode-se assumir que o tanque bioséptico é vantajoso, sob todos os aspectos, quando comparado às fossas negras e tem ampla possibilidade de ser empregado no meio rural de Feliz, pois é elaborado com materiais de fácil acesso e sua concepção é de simples execução, não exigindo mão de obra especializada. Conclui-se então que o **objetivo primário** e o **segundo dos objetivos secundários** propostos foram atingidos.

No capítulo 3 foram apresentados dados estatísticos, que comprovam a necessidade de um olhar atento ao tratamento de efluentes no meio rural. Estações de tratamento de esgotos demandam consideráveis investimentos financeiros, o que não condiz com a realidade econômica das municipalidades rurais brasileiras. Além disto, tais soluções não apresentam vantagens significativas do ponto de vista técnico e ambiental, o que nos remete à uma solução viável e mais racional para as zonas rurais: sistemas descentralizados, com técnicas simples, sustentáveis e economicamente viáveis. Diante disto, pode-se assumir que o **primeiro dos objetivos secundários** foi alcançado.

A incorporação de vegetação como contribuinte nos processos de tratamento de efluentes líquidos tem se tornado uma prática de crescente interesse, em função de os esgotos domésticos serem fontes ricas em nitrogênio e fósforo, nutrientes primários para as plantas. A adoção de plantas frutíferas nestes sistemas contribui para a consolidação de um conceito fundamental da sustentabilidade: os processos devem ser cíclicos e não lineares. O resíduo

gerado contribui na produção de alimentos, completando o ciclo. As bananeiras empregadas em tal contexto são bons exemplos de aplicação deste conceito e auxiliam na difusão destas práticas. Portanto, o tanque bioséptico proposto nesta pesquisa cumpre seu papel na busca pelo desenvolvimento sustentável. Pode-se concluir assim, que o **terceiro e último dos objetivos secundários** foi atingido.

8.2 RECOMENDAÇÕES

A partir do projeto desenvolvido, pode-se concluir que o tanque bioséptico apresenta algumas limitações quando o número de contribuintes é elevado, já que requer uma área considerável para o canteiro de evapotranspiração. Nestes casos, outras técnicas apresentadas nesta pesquisa podem ser adotadas com melhores resultados. No entanto, o TEvap apresenta dimensões adequadas para residências unifamiliares, quando empregado em conjunto com um sistema de separação de águas, com possibilidade de implantação em centro urbanos, inclusive.

O critério de dimensionamento que mais gera divergências é, justamente, o volume de líquido evapotranspirado pela bananeira. Recomenda-se que se façam estudos direcionados para uma melhor definição deste parâmetro, especialmente em plantios de alta densidade.

Todas as proposições feitas neste trabalho necessitam de validação científica. Portanto, uma sugestão que se faz é a análise constante da técnica, a aplicação prática do tanque bioséptico, com instrumentação, monitoramento e ensaios específicos, visando o aperfeiçoamento do sistema proposto.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE NETO, C. O. de; ALÉM SOBRINHO, P.; MELO, H. N. de S.; AISSE, M. M. Decanto-Digestores. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 117-138.
- ANDRÉA, M. M. de. **O uso de minhocas como bioindicadores de contaminação de solos**. Acta Zoológica Mexicana (n.s.). Número especial 2. p. 95-107. Cidade do México. 2010.
- ALCOCER, J. C. A.; COSTA, J. M. F. da; RAMOS, K. M.; JUNIOR, A. D.; MOREIRA, K. da S.; COAQUIRA, C. A. C.; GUIMARÃES, A. P.; DUARTE, J. B. F. **Tratamento de esgoto doméstico de regiões rurais com tanque de evapotranspiração**. Revista SODEBRAS. v. 10. n. 112. Abril de 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **NBR 7.229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.
- _____. **NBR 8.160**: Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999.
- _____. **NBR 8.545**: Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos. Rio de Janeiro, 1999.
- _____. **NBR 9.575**: Impermeabilização – Seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. **NBR 13.969**: Tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- BANCO MUNDIAL. **Indicadores de Desenvolvimento Global**. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>> Acesso em: 08 maio 2016.
- BARBOZA, M. R.; BASTOS, P. S. **Traços de concreto para obras de pequeno porte**. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Bauru, UNESP. 2008
- BARROSO, A. de A. F.; VIANA, T. V. de A.; MARINHO, A. B.; FILHO, R. R. G.; AZEVEDO, B. M. de; COSTA, S. C. **Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da bananeira cv. “Pacovan Apodi” no terceiro ciclo de produção**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. v. 4. n. 1. p. 23-30. Fortaleza, Ceará. 2010.
- BEVILACQUA, N. **Materiais de tubulações utilizadas em sistemas de coleta e transporte de esgotos sanitários**: Estudo de caso da área norte de São Paulo. 2006. 169 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP. São Paulo, 2006.

BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S. **O cultivo da bananeira**. Embrapa: Cruz das Almas, Bahia. 2004.

CASSINI, S. T.; CHERNICHARO, C. A. L.; ANDREOLI, C. V.; FRANÇA, M.; BORGES, E. S. M.; GONÇALVES, R. F. Hidrólise e atividade anaeróbia em lodos. In: CASSINI, S. T. (Coord.). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás**. Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 11-27.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Financiamento para pequenos e médios produtores rurais**. Rio de Janeiro, 2014.

CORDÃO, P. P.; SILVA, B. B. da; MOURA, S. da S. **Evapotranspiração e coeficiente de cultura da bananeira em região do semi-árido cearense**. 2006

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. do C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. dos. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada**. UNESP. Bauru, São Paulo. 2002.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL. **Definição e dosagem de argamassas para assentamento de alvenaria**. Tecnologia de Construção de Edifícios I. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

DIEESE. **Visão geral dos serviços de água e esgotamento sanitário no Brasil**. Revista Estudos e Pesquisa. n. 82. São Paulo. Setembro, 2016.

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

ERCOLE, L. A. dos S. **Sistema modular de gestão de águas residuárias domiciliares: uma opção mais sustentável para a gestão de resíduos líquidos**. 2003. 192 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 2003.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores: PIB**. Disponível em: <<http://www.fee.rs.gov.br/indicadores/pib-rs/estadual/destaques/>>. Acesso em 26 de novembro de 2016

GALBIATI, A. F. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**. 2009. 38 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

GALLO, E.; SETTI, A. F. F.; RUPRECHT, T.; SOBRINHO, F. X.; FINAMORE, P.; MACHADO, G. C. X. M. P. Territorial solutions, governance and climate change: Ecological sanitation at Praia do Sono, Paraty, Rio de Janeiro, Brasil. In: **Sustainable and Healthy Territories: Sewage treatment system deployment in Caiçara's Community Praia do Sono, located in Paraty, Rio de Janeiro, Brazil**. Rio de Janeiro: 2015.

GASI, T. M. T. **Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades**. São Paulo: CETESB, 1988. Séries Manuais.

GUIMARÃES, A. E. P. **Indicações para projeto e execução de reservatórios cilíndricos em concreto armado**. 1995. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1995.

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

_____. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Brasília, 2008.

_____. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. Brasília, 2009.

_____. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. Brasília, 2013.

JENKINS, J. **The humanure handbook**. 3. ed. Grove City: USA. 2005.

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

LIMA, L. A. **Drenagem de terras agrícolas**. Universidade Federal de Lavras. Lavras, *sine datum*.

MARTINETTI, T. H.; SHIMBO, I.; TEIXEIRA, B. A. N. **Análise de alternativas mais sustentáveis para tratamento local de efluentes sanitários residenciais**. In: IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. p. 996-1005. Campo Grande, Mato Grosso do Sul. 2007.

NAKAMURA, J. **Impermeabilização de reservatórios**. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/34/impermeabilizacao-de-reservatorios-302637-1.aspx>>. Acesso em 26 de novembro.

OLIVEIRA, B. R. C. de. **Tratamento de esgotos: projeto de proposta mais sustentável**. 2013. 90 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2013.

OLIVEIRA, M. V. T. de. **Avaliação das causas e consequências das patologias dos sistemas impermeabilizantes: Estudo de caso**. 2015. 78 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá. Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá. 2015.

PITALUGA, D. P. da S. **Avaliação de diferentes substratos no tratamento de esgoto sanitário por zona de raízes**. 2011. 132 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2011.

PLATZER, C.; HOFFMANN, H.; CARDIA, W. **O wetland como componente de Ecosan – Experiências com o uso e dimensionamento no clima subtropical**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE SANITATION: FOOD AND WATER SECURITY FOR LATIN AMERICA. Ecosan – Fortaleza, 2007.

PREFEITURA DE FELIZ. **Município**. Disponível em: <<http://www.feliz.rs.gov.br/municipio/>> Acesso em: 28 outubro 2016.

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

RUPRECHT, T. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <tiagoruprecht@gmail.com> em 13 set. 2016.

SANT'ANA, J. A. do V.; COELHO, E. F.; FARIA, M. A. de; SILVA, E. L. da; DONATO, S. L. R. **Distribuição de raízes de bananeira 'Prata-Anã' no segundo ciclo de produção sob três sistemas de irrigação**. Revista Brasileira de Fruticultura. v. 34. n. 1. p. 124-133. Jaboticabal, São Paulo. Março, 2012.

SILVA, G. H. R.; NOUR, E. A. A. **Reator compartimentado anaeróbio/aeróbio: Sistema de baixo custo para tratamento de esgotos de pequenas comunidades**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.2, p.268-275, 2005.

SILVA, N. G. da. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. 2006. 164 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

SIKA. **SikaTop® Flex** – Revestimento impermeabilizante bicomponente flexível. Ficha técnica do produto. Edição 11/10/2011. Osasco, São Paulo.

TESTEZLAF, R. **Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática**. Revista Engenharia Agrícola. v. 28. n. 3. p. 604-613. Jaboticabal, São Paulo. Setembro, 2008.

TIMM, J. M. **Estudo de casos de wetlands construídos descentralizados na região do Vale do Sinos e Serra gaúcha**. 2015. 186 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale dos Sinos, São Leopoldo, 2015.

TONETTI, A. L.; FILHO, B. C.; STEFANUTTI, R.; FIGUEIREDO, R. F. de. **O emprego do filtro de areia no pós-tratamento de efluente de filtro anaeróbio**. Revista Sanare. v. 21. n. 21. p. 42-52. Curitiba. Junho de 2004

VILLAR, P. A. G. **Programa nacional de saneamento rural**. In: 1º Seminário franco-brasileiro sobre saúde ambiental. 2010.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 1996. v. 1.

WANGEN, D. R. B.; FREITAS, I. C. V. **Compostagem doméstica: alternativa de aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos**. Revista Brasileira de Agroecologia. v. 5. n. 2. p. 81-88. Uberlândia, Minas Gerais. Abril, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION; UNICEF. **Progress on sanitation and drinking-water: 2010 update**. WHO Press. Geneva, Switzerland. 2010.

ZULIAN, C. S.; DONÁ, E. C.; VARGAS, C. L. **Notas de aula da disciplina construção civil**: assunto alvenaria. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa. Abril de 2002.