

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E SOCIO-AMBIENTAL DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM PROPRIEDADES RURAIS.

Martins, Marcia Viana Lisboa ⁽¹⁾

Doutora em Aproveitamento da Energia pela UNESP (2012), mestre em Recursos Hídricos pela UNICAMP (1997) e graduação em Engenharia Civil pela FEPI (1992). Atualmente é professora da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI e atua na área de Saneamento no Instituto de Recursos Naturais - IRN. Possui experiência em desenvolvimento de estudos e projetos na área de saneamento, com ênfase em reúso de água, sistema de esgotamento sanitário urbano e rural.

Laís Gomes de Oliveira ⁽²⁾

Engenheira Civil pela UNIFEI (2019)

Endereço (1): Av. BPS, 1303 - Campus Prof. José Rodrigues Seabra – Bairro Pinheirinho - Itajubá - MG - CEP: 37500-903 - País - Tel: +55 (35) 3629-1479 - e-mail: marciaviana@unifei.edu.br.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a análise de viabilidade técnica, econômica e socioambiental do sistema de tratamento de efluentes domésticos de propriedades localizadas em um bairro rural no município de Itajubá (MG). Foram estudadas as alternativas para o tratamento da água negra e para água cinza, sendo que para o tratamento de água negra os sistemas considerados foram a Fossa séptica biodigestora e o Tanque de evapotranspiração, e para as águas cinza, foram o Jardim filtrante e o Círculo de bananeiras. Para cada uma das opções de tratamento foi dimensionado o projeto e determinado o custo de implantação. Também foram determinados a área ocupada e o volume de escavação. Por fim, observou-se a complexidade de manutenção e a geração de efluentes resultantes dos sistemas de tratamento. Com os dados levantados, foi escolhido o conjunto de sistemas que melhor atendia as necessidades das propriedades, considerando o menor custo de implantação, menor dificuldade de manutenção, menor área ocupada e volume escavado e a geração de efluentes. O Tanque de evapotranspiração e o Círculo de bananeiras foram os sistemas de tratamento de esgoto selecionados por apresentarem menor custo de implantação e não apresentarem problemas de disposição do efluente final.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento rural, Tratamento de água cinza, Tratamento de água negra.

INTRODUÇÃO

Segundo a OMS (Organização Mundial de Saúde) “Saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social”. Desta maneira, a falta de acesso ao esgotamento sanitário pela população, com descarte de esgoto em locais inapropriados e sem tratamento, traz consequências diretas a saúde dos cidadãos e ao desgaste do meio ambiente.

No Brasil, o acesso ao tratamento de esgoto é um direito assegurado aos cidadãos conforme determinado pela Lei do Saneamento Básico (Lei Federal n.11.445, de 5 de janeiro de 2007), a qual prevê Esgotamento sanitário como o conjunto de atividades constituídas pela disponibilização e pela manutenção de infraestrutura e das instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até a sua destinação final para a produção de água de reúso ou o seu lançamento final no meio ambiente. Contudo, segundo o estudo realizado pelo Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), até o ano de 2017, apenas 53,36 % da população brasileira possuía acesso a rede de esgoto, o que corresponde a aproximadamente 100 milhões de pessoas. Na região sudeste do país, o índice é um pouco mais alto, 78,56% do esgoto é coletado, mas apenas 50,39% do esgoto coletado passa por algum tipo de tratamento (SNIS, 2017).

Segundo o Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2010 cerca de 29,8 milhões de pessoas habitavam áreas do país consideradas rurais. Em Minas Gerais, especificamente, a população que ocupava a zona rural do estado era igual a 2,8 milhões de pessoas. Em análise feita pelo Departamento de Engenharia de Saúde Pública da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2017), tendo como base os dados levantados pelo Censo de 2010, na área rural do Brasil apenas 17,1 % da população tem acesso ao esgotamento sanitário adequado. Os domicílios com atendimento precário correspondem a 54,2% do sistema ofertado, e 28,6% da população não dispõe de nenhum tipo de atendimento. Segundo Heller (1998) a persistência da problemática da falta de saneamento encontra-se fortemente associada ao modelo socioeconômico praticado e que a população mais vulnerável corresponde justamente àquela excluída dos benefícios do desenvolvimento. Desta maneira, o não atendimento ao sistema de esgotamento sanitário, mostra-se como indicador da dificuldade encontrada pelos habitantes localizados em porções mais distantes e carentes dos municípios.

No município de Itajubá, Minas Gerais, de acordo com os dados do SNIS (2017), o índice de coleta de esgoto é igual a 73,2%, dos quais 85,41% são tratados. A maior parte da população não atendida pela coleta de esgoto localiza-se nas regiões rurais nos limites da cidade, como é caso do bairro rural Pessegueiro. O bairro foi escolhido como estudo de caso, devido a região não ser abrangida pelo sistema de esgotamento sanitário do município. O esgoto gerado nas propriedades rurais é lançado em vala a céu aberto até atingir o corpo hídrico e os efeitos dos efluentes despejados sem tratamento nos cursos d'água são facilmente observados pela aparência adquirida pelos córregos que atravessam a região. A matéria orgânica presente nos efluentes descartados propicia o crescimento anormal de plantas aquáticas e a proliferação de microrganismos, além do mau cheiro e aspecto desagradável. Assim, a elaboração de um projeto que seja capaz de minimizar os efeitos trazidos pelo descarte do esgoto *in natura* é urgente e necessária. Contudo, é importante também que o projeto seja economicamente viável em pequena escala e de execução facilitada, para que seja coerente com a realidade econômica da população.

Este artigo teve como objetivo o estudo de alternativas de tratamento de esgoto em propriedades rurais. Foram estudadas alternativas compostas por Fossa Séptica Biodigestora, Bacia de evapotranspiração para o tratamento de águas negras e Jardim filtrante e círculo de bananeiras e águas cinza. Para estas alternativas foi analisada a viabilidade técnica, econômica, ambiental e social através da comparação destes sistemas, em fatores como custo, área ocupada, manutenção e geração de efluentes.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Implantação de sistemas descentralizados de esgotamento sanitário

Uma comunidade isolada é definida como núcleos habitacionais que não estão conectados aos serviços públicos de saneamento básico (ABES, apud Brasil, 2018). Assim, esse isolamento pode ocorrer por conta de inviabilidade técnica, econômica e/ou política, sendo fruto de diversos fatores, tais como a grande distância em relação à sede do município, difícil acesso, baixa densidade populacional, grande dispersão entre os domicílios ou situação de irregularidade fundiária. Nessas localidades, as redes de distribuição de água e de coleta de esgoto não existem ou não são insuficientes, levando à adoção de soluções locais, unifamiliares ou semicoletivas.

Em comunidades isoladas a falta de uma rede coletora unificada traz à tona a necessidade de aplicação de um sistema descentralizado de tratamento de esgoto. Em geral, sistemas descentralizados são aqueles que coletam, tratam e fazem a disposição final ou reuso do esgoto em local próximo à sua geração, diferentemente do que ocorre nos sistemas centralizados tradicionais, nos quais existe apenas um sistema de tratamento de esgoto, situado longe do ponto de coleta (Brasil, et al. 2018). Em sistemas centralizados, o transporte e o tratamento do esgoto aumentam os custos, o que inviabiliza sua aplicação em regiões afastadas e rurais (Santos et al., 2015).

Assim, sistemas de esgoto descentralizados apresentam-se como soluções mais confiáveis e de custo mais condizente com a realidade de pequenas comunidades (Massoud, 2008 apud Santos et al., 2015). Em tratamentos de esgoto descentralizados a responsabilidade pela construção e manutenção dos sistemas se estende a própria comunidade usuária, diferentemente dos sistemas centralizados (Ortuste, 2012 apud Santos et al., 2015).

Segundo Martinetti (2015), os seguintes fatores devem ser considerados na escolha de um sistema particular de tratamento de esgoto.

- Presença de água nos banheiros (Encanada);
- Tipo de esgoto gerado;
- Área disponível para a implantação do sistema;
- Tipo de solo do local;
- Profundidade do lençol freático;
- Presença de nascentes e cursos d'água superficiais;
- Clima.

Além disso, outros aspectos a serem avaliados, são o custo de implantação, que acarreta na escolha de insumos de baixo custo, e o modo de operação e manutenção. Também deve-se atentar se o esgoto da residência em estudo possui a separação entre as águas cinza e águas negras, que segundo Fonseca (2018), é um importante aspecto a ser considerado para o desenvolvimento de um tratamento mais simplificado e eficiente. Segundo Gonçalves (2006), águas negras são classificadas como as águas residuárias provenientes dos vasos sanitários, tendo em sua composição grande quantidade de material fecal. Água cinza, por sua vez, é definida como a água proveniente dos outros pontos de esgoto presente nas edificações, como lavatórios, chuveiros, banheiras, tanques e pias de cozinha.

Segundo Brasil et al. (2018), residências atendidas por um sistema particular de tratamento de esgoto não necessitam de grades e peneira para a remoção de objetos sólidos do esgoto descartado (desde que não sejam descartados na tubulação objetos que possam ocasionar o entupimento do sistema, como fraldas descartáveis e absorventes). A única unidade que deve ser obrigatoriamente instalada é a caixa de gordura para o efluente da pia da cozinha.

Fossa Séptica Biodigestora

Segundo a EMBRAPA (2017) a fossa séptica biodigestora está presente em mais de 11.500 residências por todo o país, e tem como finalidade o tratamento do esgoto do vaso sanitário das residências rurais, que, se lançados sem tratamento, causam impactos ambientais e a disseminação de doenças de veiculação hídrica.

De acordo com EMPRAPA (2017), a fossa séptica biodigestora é descrita como um conjunto de no mínimo 3 caixas d'águas de fibra de vidro, com capacidade mínima de 1000 L, conectadas por tubulações ligadas ao vaso sanitário, recebendo os efluentes provenientes exclusivamente das descargas sanitárias. O princípio do funcionamento do sistema é a fermentação anaeróbica realizada por microrganismos já existentes no esgoto que, ao final do tratamento, torna o efluente adequado para a utilização como fertilizante. Para a potencialização do tratamento, deve ser aplicado, uma vez ao mês, uma mistura de 5 L de esterco bovino e 5 L de água, já que as fezes do animal fornecem uma seleção de bactérias que aumentam a eficiência e reduzem os odores.

As duas primeiras caixas são os módulos de fermentação, onde a biodigestão anaeróbica realizada pelas bactérias ocorre mais intensamente. A terceira caixa é chamada de caixa coletora, onde o efluente já estabilizado é armazenado, e pode ser retirado para utilização posterior. A quantidade e o volume das caixas devem ser definidos segundo o número de moradores, sendo o número mínimo de 3 caixas para famílias de até 5 moradores, onde uma caixa de 1000L deve ser adicionada para cada 2,5 integrantes a mais na residência. O esquema da montagem do sistema pode ser observado na Figura 1.

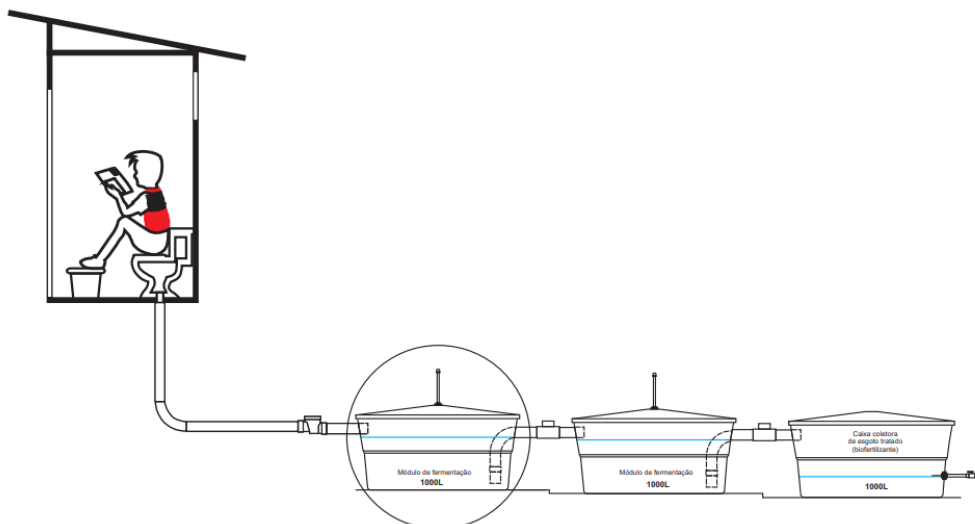


Figura 1 - Esquema da fossa séptica Biodigestora. Fonte: EMBRAPA (2017).

O local de instalação do sistema deve ser preferencialmente seco, com lençol freático não muito raso, mais baixo que a residência, evitando áreas de preservação permanente (APP). A distância entre o vaso sanitário e a fossa deve ser de no máximo 30 m para evitar que a fermentação ocorra ainda na tubulação.

O processo instalação da fossa se inicia com a escavação das 3 valas, onde serão instalados os reatores, a qual deve ser realizada com o perímetro de uma circunferência, 15 cm maior que o diâmetro da caixa, e 10 cm mais raso que a profundidade da caixa. A escavação deve ser feita de modo manual, deixando o fundo nivelado e uma diferença de 1 a 2% entre os níveis dos reatores (1 a 2 cm).

Após a escavação, o fundo deve ser compactado. Se disponível, areia grossa pode ser utilizada para a aplicação de uma camada de aproximadamente 5 cm no fundo do buraco, para a acomodação da caixa. A seguir, os reatores deverão ser instalados, seguindo as seguintes recomendações de dimensionamento:

- Distância de 50 cm entre as caixas;
- Bordas superiores da caixa 10 cm acima do nível do solo.

A conexão entre os reatores é realizada utilizando tubos de PVC de 100 mm. O esquema de montagem dos tubos é mostrado nas Figuras 2 e 3.

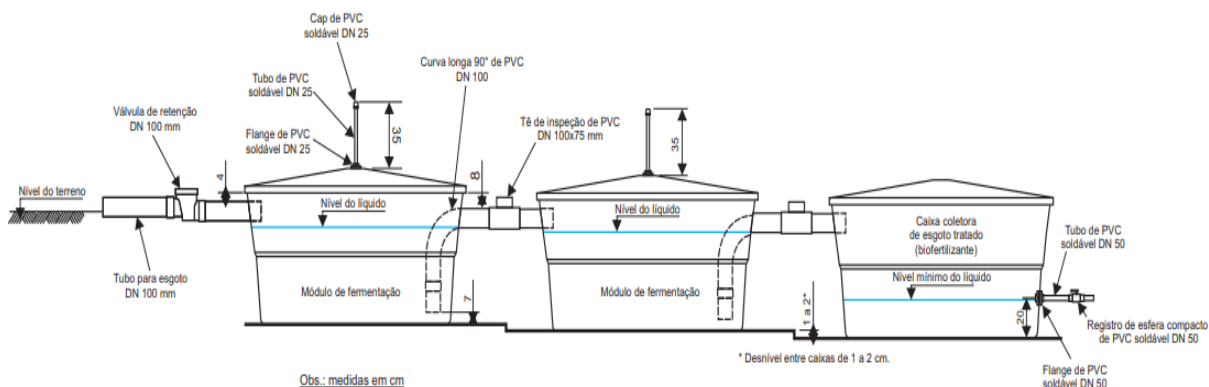


Figura 2 - Esquema de montagem da tubulação de uma Fossa Séptica Biodigestora (Lateral). Fonte: EMBRAPA (2017).

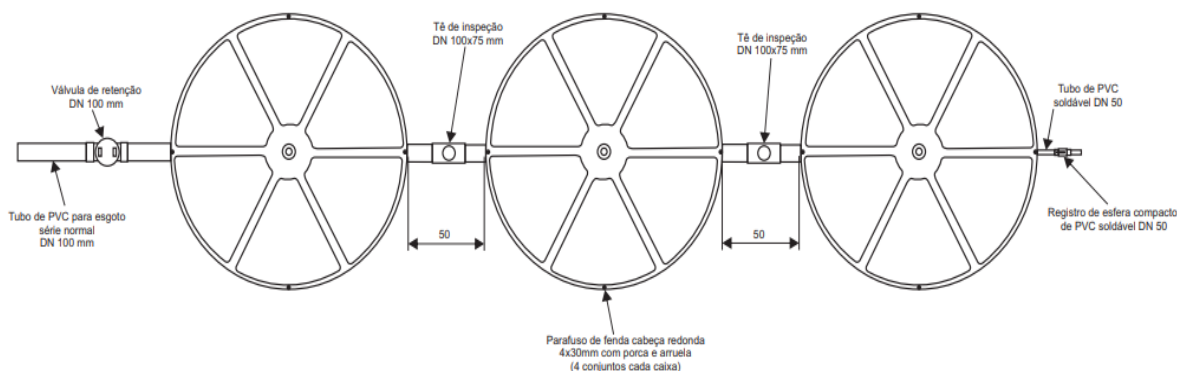


Figura 3 - Esquema de montagem de tubulação de uma Fossa Séptica Biodigestora (Superior).
Fonte: EMBRAPA (2017)

O lado superior das tampas deve ser pintado de preto, com tinta do tipo Neutrol, para facilitar a absorção dos raios solares e propiciar a temperatura ideal para o processo de biodigestão. Após instalada, o tempo de retenção hídrica do último reator deve ser de no mínimo 20 dias.

Com o fim do processo, o efluente gerado pela Fossa Biodigestora deve ter destinação final condizente com seus parâmetros bioquímicos apresentados após a passagem pelos 3 tanques que compõem o conjunto. Para Silva et. al (2007), os valores de coliformes totais e termotolerantes ou fecais, em função do tipo de inoculante utilizado, que deverão ser encontrados no fim do processo, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Número de Coliformes em função do tipo de inoculante

TIPO DE INOCULANTE	COLIFORMES TOTAIS	COLIFORMES TERMOTOLERANTES
Esterco Bovino	8,8E+05	1,4E+04
Esterco Ovino	1,8E+06	3,6E+05

Fonte: Silva (2007)

Outras características a serem observadas no momento de decidir a disposição final do efluente, são os índices de pH, Oxigênio dissolvido (OD), Demanda bioquímica de oxigênio (DBO), Demanda química de oxigênio (DQO) e Nitrogênio amoniacal presente na água. Segundo Oliveira (2018), os valores médios destes indicadores no produto final do processo da fossa biodigestora são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros do efluente gerado por uma Fossa Séptica Biodigestora

PARÂMETRO	ÁGUA FECAL BRUTA	REATOR 1	REATOR 3
PH	6,95	7,74	8,08
OD (mg/L)	Entre 0,99 < 2,4		
DBO (mg/L)	2667±3229	444±260	575±978
DBO (mg/L) (Oliveira, 2018)	-	132±46	34±50
DQO (mg/L)	2667±5079	1459±612	1199±1743
DQO (mg/L) (Oliveira, 2018)	-	530±220	495±219
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	283,24	314,5	361,8±158

Fonte: Adaptada (Oliveira, 2018)

O aumento do pH, segundo Silva et al. (2007), de neutro para alcalino entre a passagem pelos reatores, se deve a provável degradação de proteínas e aminoácidos no processo anaeróbico, que tem como produto a produção de amônia, a qual, em contato com o ácido carbônico presente na água, reage, e transforma-se em hidróxido de amônio. O intervalo de oxigênio dissolvido no efluente encontra-se próximo ao valor esperado para um sistema anaeróbico, que é de 1mg/L (Pereira et al., 2018). Os índices de nitrogênio amoniacal se mostram maiores no fim do processo, o que confirma a produção de amônia dentro do sistema.

Os valores de DBO e DQO apresentados são referentes ao sistema de execução de uma fossa séptica biodigestora segundo modelo proposto pela EMBRAPA (2017). Entretanto, Oliveira (2018) propõe que este parâmetro pode ser reduzido com uma simples mudança na configuração de entrada do efluente no primeiro reator. Enquanto o modelo tradicional realiza o furo para a entrada da tubulação a 4 cm a partir da borda superior da primeira caixa, o modelo propõe que esta tubulação tenha saída apenas a aproximadamente 15 cm acima do fundo do reator. Isto feito, a entrada do efluente se dará no nível da manta de lodo acumulado, possibilitando o maior contato do efluente com a biomassa, aumentando a eficiência do processo. Outro fator que poderia ter influência na maior capacidade no modelo proposto por Oliveira (2018) se deve ao tempo de retenção hidráulica, que foi igual a três vezes mais que o mínimo recomendado pela EMBRAPA (2017).

Bacia de evapotranspiração

Bacia de evapotranspiração (BET) ou Tanque de evapotranspiração (TEvap) é um sistema de tratamento de esgoto desenvolvido pelo permacultor norte-americano Tom Watson, que se difundiu pelo Brasil a partir dos anos 2000, principalmente nas regiões Sul e Sudeste do país (Figueiredo, 2018). A TEvap consiste em um tanque devidamente impermeabilizado, preenchido com substratos variados e na plantação de vegetação de crescimento rápido e alta demanda por água. Este sistema é projetado para o recebimento exclusivo de águas negras devido ao grande volume de matéria orgânica presente, a qual é essencial para o princípio de funcionamento do conjunto. A técnica se fundamenta no processo natural de degradação microbiana, mineralização dos nutrientes e a consequente absorção e evapotranspiração pelas plantas (GALBIATI, 2009). Assim, a TEvap funciona como uma câmara de digestão anaeróbica em sua parte inferior, sem a necessidade de pós-tratamento do afluente já que este, em condições normais de funcionamento, é totalmente absorvido pela vegetação (Figura 4).

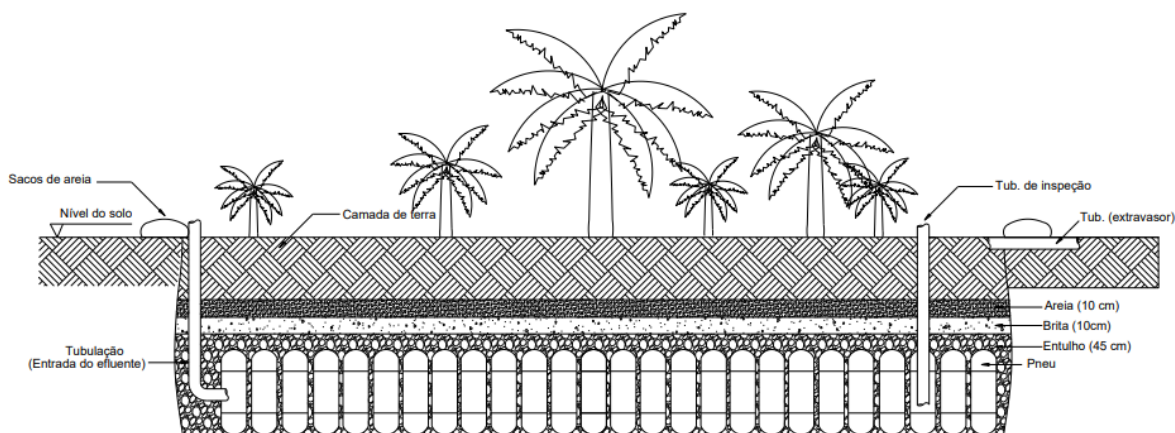


Figura 4 - Esquema em corte de uma Tévap. Fonte: Costa (2018)

A primeira etapa do processo de funcionamento de uma TEvap é a entrada do efluente na câmara de recepção, que consiste na estrutura de pneus na parte mais inferior do tanque. O esgoto então permeia a camada de entulho, onde ocorre a digestão anaeróbica do efluente, já que os materiais presentes são porosos e naturalmente colonizados por bactérias. Com o aumento do volume de esgoto, o efluente preenche as camadas superiores de brita e a areia até atingir, por capilaridade, a superfície do solo, onde através da evapotranspiração a água é eliminada do sistema. Durante o trajeto percorrido no tanque, o efluente é mineralizado e filtrado, assim, os nutrientes são incorporados à biomassa das plantas, absorvidos pelas raízes desenvolvidas pela vegetação em busca de água. A manutenção do sistema é completa pela colheita dos frutos, retirada do acesso de mudas e podas (Galbiati, 2009).

Para o dimensionamento de uma TEvap (Figueiredo, 2018), tem-se que área superficial é obtida multiplicando o número de moradores por 2 m², exceto para regiões secas, onde esse fator é igual a 1,5m². A profundidade por sua vez deve estar entre 1,2 a 1,5 m, e seu formato deve ser retangular ou ovalado. O tanque deverá ser localizado em região plana, que receba luz solar abundante e com boa ventilação, de preferência voltada para o Norte. Outras construções devem estar a uma distância mínima de 1,5 m e ao menos 15 m de distância de poços.

A execução do sistema se inicia com a escavação da vala, a qual pode ser realizada manualmente ou com o auxílio de máquinas. Após a escavação, o fundo deve ser compactado para facilitar a aplicação do impermeabilizante a ser executado em seguida. A impermeabilização deve consistir na aplicação de uma camada de concreto (5 a 10 cm de espessura) sobre uma tela de laje, no fundo do tanque. As paredes podem ser compostas ainda, por blocos ou tijolos assentados com argamassa de cimento e areia (1:4), podendo existir a necessidade da utilização de colunas ou cintas de amarração. A estrutura deve receber uma camada de 1cm de argamassa impermeável (1:3) com aditivo impermeabilizante.

A próxima etapa da construção é a instalação do tubo de entrada de PVC, com diâmetro igual a 100 mm. Esta tubulação deve se encontrar diretamente com os pneus, os quais devem ser alinhados no fundo do tanque de maneira a formar um túnel. Entre os pneus devem ser deixados vãos que possibilitem a percolação do esgoto, o que pode ser facilitado com a instalação de pequenos pedaços de entulho. A camada seguinte do sistema é o preenchimento de entulho limpo (Telhas, cacos de blocos ou tijolos e pedaços de concreto) com uma espessura igual a 45 a 60 cm. A seguir, deve ser depositado uma camada de brita 1 ou 2, com espessura igual a 10 a 30 cm, uma camada de areia grossa com espessura igual a 10 a 20cm e, por fim, uma camada de terra com 10 a 30cm de espessura, onde deve ser instalado ainda um tubo extravasor. Este tubo consiste em um cano de PVC de 50 mm de diâmetro, furado, e envolto em sombrite (Tela de sombreamento).

A vegetação a ser plantada no sistema deve absorver grandes volumes de água, como é o caso das bananeiras, amplamente utilizadas na implantação de Tanques de Evapotranspiração, mas podem ser utilizadas ainda outras plantas, como o mamoeiro, a taioba e o lírio do brejo. Para bananeiras, a proporção de mudas é igual a uma por metro quadrado de sistema (Figueiredo, 2018).

Jardim Filtrante

O Jardim Filtrante é a proposta da EMBRAPA (2014) para o tratamento das águas cinza, as quais não são contempladas no tratamento por Fossa Séptica Biodigestora. O jardim é composto por um pequeno lago com pedras, areia e plantas aquáticas onde, plantas selecionadas, absorvem da água, nutrientes e contaminantes, através do processo de Fitorremediação. O esquema de montagem do sistema, proposto pela EMBRAPA (2014), pode ser observado na Figura 5.

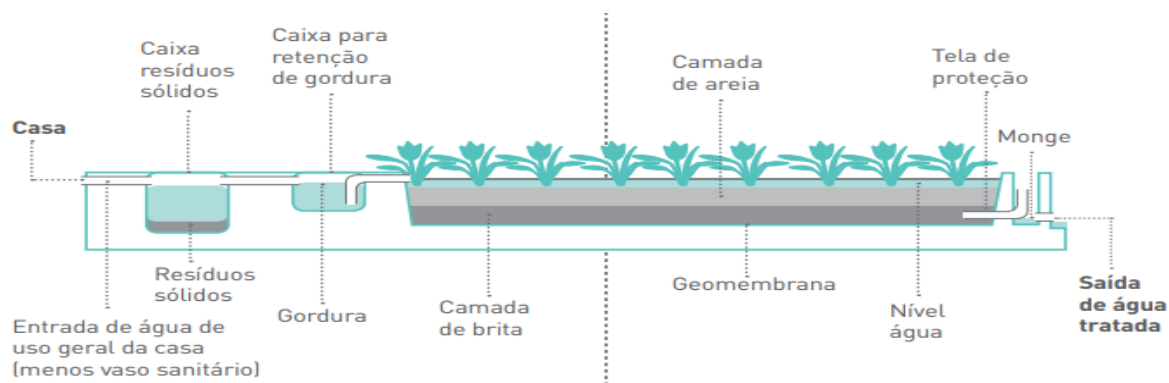


Figura 5 - Jardim Filtrante. Fonte: EMBRAPA (2014)

As orientações de instalação do sistema são de que este deve estar localizado em local mais baixo que o restante da casa, para facilitar o fluxo, e a ele devem estar conectados todos os esgotos da residência (exceto o esgoto proveniente do vaso sanitário, que deverá ser direcionado a outro tipo de tratamento). O jardim deverá ter dimensões iguais a 50 cm de profundidade e 2m² de área superficial para cada morador, e ter o fundo impermeabilizado. Imediatamente antes do jardim deverá ser instalado um decantador para remoção de sólidos sedimentáveis. Depois de impermeabilizado, o jardim deve ser preenchido com brita, tela de nylon e areia grossa e, em seguida, saturado de água, a qual terá seu nível controlado por um monge. O monge consiste em uma estrutura feita de concreto ou alvenaria, onde a água entra pela frente do conjunto, e sai apenas quando a altura do nível é ultrapassada (Andrade, 2018). As plantas inseridas deverão ser macrófitas aquáticas (que suportam um ambiente com muita água) como taboa, papirus, inhame, copo-de-leite ou lírio-do-brejo que durante o seu crescimento retirarão nutrientes da água, limpando-a.

O efluente, após passagem pelo jardim, apresenta parâmetros biológicos, como coliformes totais e termotolerantes bem menores que os encontrados no esgoto em seu estado bruto. Bresolin (2013) apresenta os valores médios encontrados na saída de um sistema de jardim filtrante (Tabela 3).

Tabela 3 - Coliformes encontrados no Jardim Filtrante

PARÂMETRO	ANTES DO TRATAMENTO	DEPOIS DO TRATAMENTO
Coliformes totais	3,6E+06	5,6E+05
Coliformes Termotolerantes	1,3 E+02	0

Fonte: Bresolin (2013)

Círculo de bananeiras

O círculo de bananeiras (Figura 6) é um sistema de esgoto voltado exclusivamente para o tratamento de água cinza, e baseia-se na grande absorção de água promovida por vegetações de folhas largas, como a bananeira e o mamoeiro.

A técnica foi desenvolvida a partir da observação do crescimento de coqueiros, e em como seu crescimento era afetado pela disposição das mudas. Coqueiros isolados eram menos favorecidos que as árvores que se encontravam em conjunto, pois devido à proximidade, o centro dos círculos recebia um maior volume de material orgânico originário das próprias plantas, como ramos, folhas e frutos, que retinham a umidade e propiciavam a concentração de nutrientes. Assim, combinaram-se as propriedades filtrantes das bananeiras, as quais seriam capazes de absorver os efluentes depositados no solo e elimina-los por meio da transpiração de suas folhas, e a técnica de plantio dos coqueiros, como forma de desenvolver um sistema de tratamento de águas cinza (Vieira, 2006).

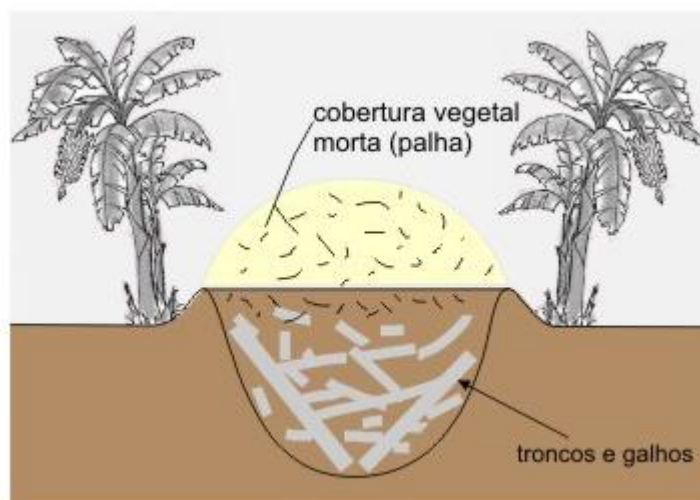


Figura 6 - Círculo de bananeiras. Fonte: Vieira (2006)

A construção do círculo de bananeiras se inicia com a escavação de um buraco em forma de concha, com aproximadamente 1 m de profundidade e 1,4 m de diâmetro, dimensões suficientes para atender uma unidade familiar de até 5 pessoas (Vieira, 2006). A seguir, deve ser instalada a tubulação de entrada de esgoto, a qual consiste em um cano de PVC de 100 mm, posicionado na borda superior do círculo, contendo ainda um joelho na saída, como forma de evitar entupimentos. O próximo passo é o preenchimento do buraco escavado. O fundo deve receber troncos e toras de madeira, seguidos por galhos e gravetos, e por fim palha, composta por aparas de capim e folhas. O preenchimento deve ser realizado até que a superfície do círculo se encontre abaulada. O plantio das bananeiras é realizado a uma distância igual a 60 cm da borda do círculo, onde de 4 a 6 mudas deverão ser instaladas. Para isso, escavam-se pequenas valas de 30x30x30 cm, que são preenchidas de solo com alta concentração de matéria orgânica para fomentar o desenvolvimento das mudas.

A manutenção do sistema é simples, já que não existirão efluentes a serem descartados após a passagem do esgoto pelo conjunto. Desta maneira, o único fator a ser monitorado é a altura em que se encontram as camadas de compostos orgânicos que preenchem o círculo, que deve ser constantemente complementado, a fim de que o nível necessário seja mantido (Vieira, 2006).

Avaliação dos parâmetros qualitativos do efluente

A norma NBR 13969 – Tanques Sépticos: Unidades de tratamento complementar e disposição final dos afluentes líquidos, Projeto, construção e operação (ABNT, 1997), foi elaborada com a finalidade de oferecer soluções técnicas para usuários que dependem de sistemas locais de tratamento de esgoto.

A norma NBR13969 (ABNT, 1997) fornece ainda, instruções para a disposição final dos efluentes tratados. Para o lançamento de efluentes em corpos d'água superficiais, a seguinte classificação deve ser considerada:

- Classe a: na represa destinada ao abastecimento público, ou nos rios formadores da represa até 10 km a montante dela.
- Classe b: nos corpos receptores com captação a jusante para abastecimento público;
- Classe c: nas águas litorâneas, praias e nos rios que desaguam nas praias frequentadas por pessoas para recreação.
- Classe d: nos demais corpos receptores.

Para cada uma das classes, são apresentados os parâmetros a serem atendidos definidos pela norma (Tabela 4).

Tabela 4 - Parâmetros e seus valores limites de efluentes tratados de acordo com as classes de lançamento das águas superficiais.

PARÂMETRO	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C	CLASSE D
pH	Entre 6 e 9	Entre 6 e 9	Entre 6 e 9	Entre 6 e 9
DBO _{5, 20} (mg/L)	<20	<30	<50	<60
DQO (mg/L)	<50	<75	<125	<150

Fonte: Adaptada da NBR 13969 (ABNT, 1997)

Além do descarte do efluente gerado por um sistema descentralizado de tratamento em corpos d'água, é possível que este seja utilizado na irrigação, principalmente em ambientes rurais, desde que os parâmetros apresentados pelo efluente sejam compatíveis com os necessários para tal fim. Para reuso local de esgoto de origem essencialmente doméstica, o efluente após tratamento, pode ser reutilizado para fins que não exijam qualidade potável, como irrigação de campos agrícolas e pastagens. Para o reuso em pomares, cereais, forragens, pastagem e outros cultivos, através de escoamento superficial ou por sistemas de irrigação pontual, os níveis de coliformes fecais no efluente deve ser inferior a 5000 NMP/100ml, e oxigênio dissolvido deve ser acima de 2 mg/L (NBR 13969,1997). Entretanto, existem ainda outros documentos normativos que sugerem parâmetros a serem atendidos no descarte de efluentes após passagem pelo tratamento particular. Oliveira (2018) sugere a adoção das diretrizes estabelecidas pela USEPA (*United States Environmental Protection Agency*) para o uso de água proveniente de esgoto sanitário, em uso agrícola (Tabela 5).

Tabela 5 - Diretrizes da USEPA para o uso agrícola de esgotos sanitários

TIPO DE IRRIGAÇÃO E CULTURA	PROCESSO DE TRATAMENTO	QUALIDADE DO EFLUENTE
Culturas alimentícias não processadas comercialmente Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura, incluindo culturas a serem consumidas cruas.	Secundário + filtração + desinfecção	pH 6 a 9 DBO ≤ 10 mg/L Turbidez ≤ 2UNT
Culturas alimentícias processadas comercialmente Irrigação superficial de pomares e vinhedos Silvicultura e irrigação de áreas com acesso restrito ao público.	Secundário + desinfecção	pH 6 a 9 DBO ≤ 30 mg/L
Culturas não alimentícias Pastagens para rebanhos de leite, forrageiras, cereais, fibras e grãos.	Secundário + desinfecção	pH 6 a 9 DBO ≤ 30 mg/L

Fonte: Adaptado de USEPA, 2004 apud Oliveira (2018)

O PROSAB - Programa de pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB, 2008), também propõe critérios de qualidade microbiológica para a utilização de esgoto sanitário no uso agrícola, (Tabela 6).

Tabela 6 - Diretrizes para o uso agrícola de esgotos sanitários (PROSAB, 2008)

CATEGORIA	COLIFORMES TERMOTOLERANTES/100 ML	OBSERVAÇÕES
Irrigação irrestrita	$\leq 1E+03$	$\leq 1 \times 10^4$ CTer / 100mL no caso de irrigação por gotejamento de culturas que se desenvolvem distantes do nível do solo ou técnicas hidropônicas em que o contato com a parte comestível da planta seja minimizado
Irrigação restrita	$\leq 1E+04$	$\leq 1 \times 10^5$ CTer / 100mL no caso da existência de barreiras adicionais de proteção ao trabalhador. É facultado o uso de efluentes (primários e secundários) de técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos, desde que associado à irrigação subsuperficial.

Fonte: Adaptada de Bastos et al. (2008)

Segundo a resolução Nº357 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) de 2005, a qual dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, a disposição de efluentes em corpos de água doce, é dividido por classes, segundo a sua disposição final. A classe II de águas doces se refere a águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto, à aquicultura e à atividade de pesca. Para esta classe, o índice de DBO do efluente deve ser de até 5mg/L e 1000 coliformes termotolerantes por 100 ml de água.

MATERIAIS E MÉTODOS

Reconhecimento da área e definição dos parâmetros do projeto

Primeiramente foram realizadas visitas a campo para a caracterização das propriedades em estudo, determinação das demandas de água e do volume de efluentes gerados, do local e das características do terreno onde serão instalados os sistemas de tratamento de esgoto, e levantamento das condições das edificações. Também foram coletadas informações acerca dos residentes da edificação, como o número de habitantes, consumo médio de água e fontes de abastecimento.

Com auxílio dos moradores da casa, foram localizadas as tubulações das instalações hidráulicas de esgoto sanitário, as caixas de passagem e de gordura e o ponto de descarte do efluente, e elaborado projeto hidráulico da edificação.

Dimensionamento dos sistemas de tratamento de efluentes

Quatros sistemas de tratamento de efluentes foram dimensionados: Tanque de evapotranspiração, Fossa Séptica biodigestora, Jardim filtrante e Círculo de bananeiras (Tabela 7).

Tabela 7 – Sistemas de tratamento considerados por tipo de efluente.

ÁGUA NEGRA	ÁGUA CINZA
Tanque de Evapotranspiração	Círculo de Bananeiras
Tanque Séptico Biodigestor	Jardim Filtrante

Fonte: Autor

Para a construção do Tanque de evapotranspiração foi escolhido a técnica de execução utilizando paredes de alvenaria, com tijolos de cerâmica com dimensões iguais a 9x14x24cm, e junção argamassada de espessura igual a 1 cm. A camada impermeabilizante de argamassa com aditivo foi dimensionada com espessura igual a

1cm. Para a localização do sistema observou-se as distâncias entre construções e poços a serem respeitadas. Os parâmetros de dimensionamento (Tabela 8) foram obtidos de Figueiredo (2018).

Tabela 8- Parâmetros de Dimensionamento do Tanque de evapotranspiração

VARIÁVEIS	DIMENSÃO
Área superficial	2m ² por morador
Profundidade	1,2 a 1,5 m
Distância de outras construções	1,5 m
Distância de poços	15 m

Fonte: autor

As espessuras adotadas para as camadas de preenchimento (Tabela 9) estão dentro dos limites estabelecidos por Figueiredo (2018)

Tabela 9- Camadas do Tanque de Evapotranspiração

CAMADA	LIMITES DA ESPESSURA
Entulho	45 a 60 cm
Brita	10 a 30 cm
Areia	10 a 20 cm
Terra	10 a 30 cm

Fonte: Figueiredo (2018)

O Tanque Séptico Biodigestor também foi dimensionado para tratamento de água negra. Para isso, foram utilizadas as instruções oferecidas pela EMBRAPA (2016), conforme item 1.2. Contudo, algumas alterações foram realizadas, a fim de potencializar a eficiência do sistema. Conforme apresentado por Oliveira (2018), a tubulação de entrada foi dimensionada para que o efluente tenha acesso direto a camada de lodo existente no fundo tanque, potencializando o efeito do reator. Além disso, a tubulação de passagem entre os reatores também foi alterada, para que o tempo de retenção do efluente não fosse prejudicado pela modificação no sistema (Figura 7).

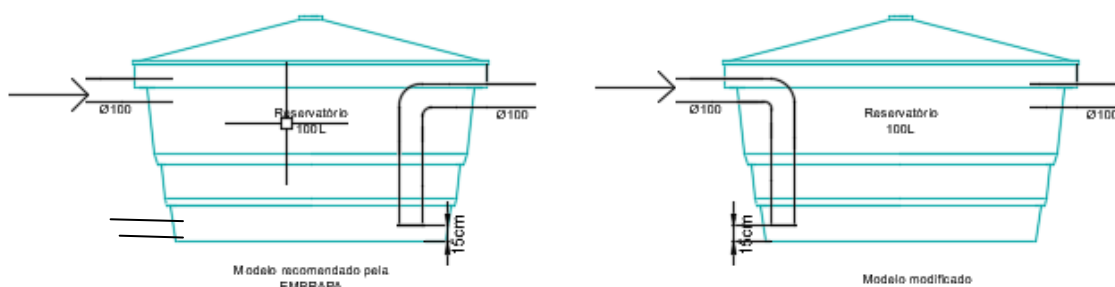


Figura 7 - Modificação na Fossa Séptica Biodigestora

Fonte: Autor

O modelo de Tanque Séptico Biodigestor proposto pela EMBRAPA (2016) considera 1 (uma) caixa de 1000L 3 para até 5 moradores e 1 (uma) Caixa de 1000L para cada 2,5 moradores adicionais.

O Jardim Filtrante, utilizado para tratamento de águas cinza, foi dimensionado de acordo com parâmetros propostos pela EMBRAPA (2014), vistos anteriormente, sendo considerado 2m² área superficial por morador e profundidade de 50 cm.

O Círculo das Bananeiras para o atendimento à demanda de um núcleo familiar de até 5 pessoas, deve ter 1,4m de diâmetro e 1m de profundidade (EMBRAPA, 2014). Desta maneira, para satisfazer números maiores de moradores, mais de uma unidade do sistema deve ser utilizada.

Dimensionamento das instalações hidráulicas de esgoto sanitário

O dimensionamento das tubulações das instalações hidráulicas de coleta de esgoto foram de acordo com norma NBR 8160 – Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução (ABNT, 1999).

Análise econômica, social e ambiental

Para cada uma das opções de tratamento dimensionado foi determinado o custo de implantação, com base na listagem e precificação do material necessário para sua realização. Também foram determinados a área ocupada e o volume de escavação demandado por cada um dos sistemas. Por fim, observou-se a complexidade de manutenção e a geração de efluentes resultantes dos sistemas de tratamento.

Com os dados levantados, foi escolhido o conjunto de sistemas que melhor atendia as necessidades das residências, considerando o menor custo de implantação, menor dificuldade de manutenção, menor área ocupada e volume escavado e menor geração de efluentes.

Enfim, após a escolha dos sistemas mais vantajosos para cada um dos tipos de água (Negra e Cinza), foi desenvolvido o projeto final, apresentando a ligação entre a atual tubulação de esgoto da habitação e os possíveis sistemas a serem implementados.

RESULTADOS

Caracterização das propriedades rurais

As propriedades em estudo fazem parte das cerca de 200 famílias residentes no bairro Pessegueiro, localizado na área rural, pertencente ao município de Itajubá, Minas Gerais. Os moradores, em sua maioria, possuem criação de animais bovinos e a suínos e alguns trabalham na área urbana do município. As duas propriedades estudadas são vizinhas e foram escolhidas, visto que nestas propriedades foram encontrados os maiores índices de contaminação fecal levantado no projeto Águas do Pessegueiro (MONTEIRO et al., 2018).

O esgoto produzido pelo bairro não recebe nenhum tipo de tratamento, já que o esgotamento sanitário municipal não atende a região. Desta maneira, todo o efluente é despejado em corpos d'água adjacentes as construções, muitas das vezes por tubulações danificadas, ou em valas com o contato direto de seres humanos e animais. Assim, devido à alta concentração de matéria orgânica presente, os corpos d'água receptores destes efluentes sofrem com a proliferação de algas e a eutrofização (Figura 8).



Figura 8 – Imagem da situação do córrego no bairro Pessegueiro. Fonte: Autor

As instalações prediais de esgoto das duas propriedades encontram-se propícias a instalação de sistemas independentes para águas negras e cinzas, visto que os efluentes dos vasos sanitários possuem tubulações independentes das pias e chuveiros. Assim, não serão necessárias modificações nas instalações hidráulicas prediais facilitando a ligação com os sistemas de tratamento e poupança recursos financeiros.

Atualmente o esgoto total gerado pelas duas residências são unificados em uma única tubulação (100 mm) para um ponto de despejo, que se encontra a alguns metros da residência, em um córrego que corta os fundos do terreno de uma das residências. Deste ponto em diante, o esgoto escoo por uma vala a céu aberto. O córrego recebe o esgoto sem nenhum tipo de tratamento prévio (Figura 9).



Figura 9 – lançamento do esgoto em valas a céu aberto na propriedade em estudo. Fonte: Autor

Para o dimensionamento de um sistema de tratamento particular, considera-se o núcleo de habitantes que gerarão o volume de esgoto a ser processado (NBR 13969, 1997). Desta forma, foram coletadas informações referentes as duas habitações (Tabela 10).

Tabela 10 - Contribuição em função do número de moradores

RESIDÊNCIA	NUM. HAB	CONTRIBUIÇÃO DE ESGOTO PRODUZIDO POR HAB. NBR 13969 (L/dia. Hab.)	CONTRIBUIÇÃO TOTAL DE ESGOTO (L/DIA)	CONTRIBUIÇÃO DE CARGA ORGÂNICA (gDBO _{5,20} /dia)
1	4	100	400	120
2	5	100	500	150
Total	9		900	270

Fonte: Autor

Dimensionamento dos sistemas de tratamento de efluentes

a) Fossa Séptica Biodigestora

A Fossa Séptica Biodigestora foi dimensionada para tratar a água negra gerada pelas duas casas 1 e 2, a principal e a vizinha. O número de habitantes resultou em 9 ultrapassando o limite máximo de 5 pessoas para a utilização de 3 reatores, sendo necessário 1 reator (caixa de 1000L) para cada 2,5 morador a mais (EMBRAPA,2017). Portanto, foram considerados 5 reatores de 1000L.

Para o projeto foram consideradas como reatores caixas d'água de polietileno com capacidade de 1000L. A tubulação de entrada, assim como as de conexão entre os reatores, as quais possuem comprimento igual a 50cm, tiveram diâmetro adotado de 100mm. Entre as caixas foram previstas ainda, a instalação de Tê de inspeção (100 x 75mm). A ventilação, que deve existir nos 4 primeiros reatores, foi dimensionada com um diâmetro igual 75mm e comprimento igual a 35cm. Considerando um espaço de 15 cm de folga, entre a borda enterrada das caixas e o solo, e um desnível de 2 cm, determinou-se as dimensões da vala de escavação (Tabela 11).

Tabela 11 – Dimensões da vala de escavação e área ocupada do T.S.B.

VARIÁVEIS	VALOR
Comprimento	9,8 m
Largura	1,7 m
Profundidade	0,7m
Área superficial	16,66 m ²
Volume de escavação	11,66 m ³

Fonte: Autor.

b) Tanque de evapotranspiração

O tanque de evapotranspiração foi dimensionado para tratar em um único sistema, a água negra gerada pelas duas casas. Foi considerado a área de 2m²/hab, resultando numa área de 18m² para 9 moradores. As dimensões considerando a execução em alvenaria são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Dimensões da vala de escavação e área ocupada do T.S.B.

VARIÁVEIS	DIMENSÃO	DIMENSÃO COM ALVENARIA
Largura	3 m	3,18 m
Comprimento	6 m	6,18 m
Profundidade	1,2 m	-
Área superficial final	-	19,7 m ²
Volume de escavação		23,6 m ³

Fonte: Autor.

Para a área dimensionada a quantidade necessária de pneus é igual a 26 unidades. A tubulação de entrada do efluente no sistema é de 100mm e o extravasor é igual a 50 mm. A distribuição das bananeiras na área também foi prevista, com uma relação igual a 1 árvore /m², um total de 18 mudas. As espessuras das camadas foram adotadas em função dos valores limites recomendados por Figueiredo (2018). Priorizou-se a camada de entulho como a de maior dimensão, visto que esta possui menor custo (Tabela 13).

Tabela 13 – Espessuras das camadas adotadas para T.S.B

CAMADA	ESPESSURA
Entulho	50 cm
Brita	20 cm
Areia	20 cm
Terra	28 cm

Fonte: Autor

c) Jardim Filtrante

O jardim filtrante foi dimensionado para tratar a água cinza gerada pelas duas residências. Como recomendado pela EMBRAPA (2014), a área superficial adotada foi igual a 2m² por morador (Tabela 14).

Tabela 14 – Dimensões da vala escavação e área ocupada do J.F.

VARIÁVEIS	VALORES
Área (adotada para 9 moradores)	18 m ²
Largura	3 m
Comprimento	6 m
Profundidade	0,6 m
Volume de escavação	11,31 m ³

Fonte: Autor.

Foram previstos, antes da entrada do efluente no sistema, a instalação da caixa de gordura e decantador. A tubulação de saída tem diâmetro igual a 100 mm, e está diretamente conectada ao monge, responsável pelo controle do nível de água no jardim.

d) Círculo das bananeiras

O círculo de bananeiras possui dimensões capazes de atender a uma unidade familiar de até 5 pessoas. Desta maneira, para que as duas residências sejam atendidas, é necessário que dois destes sistemas sejam executados. Assim, cada uma destas unidades deverá respeitar as dimensões estabelecidas (Tabela 15).

Tabela 15 – Círculo das bananeiras

VARIÁVEIS	VALORES
Diâmetro	1,4 m
Diâmetro com as bananeiras	3,2 m
Profundidade	1 m
Área superficial	3m ²
Área superficial com as bananeiras	8m ²
Área superficial com a bananeira de dois sistemas	16m ²
Volume de escavação de um sistema	4,3m ³
Volume de escavação de dois sistemas	8,6 m ³

Fonte: Autor.

As valas para plantação das bananeiras tiveram dimensões adotadas de 30x30x30 cm, e sua instalação foi projetada a uma distancia igual a 60 cm da borda do círculo. A tubulação de entrada do efluente foi de 100 mm.

Análise de viabilidade técnica, econômica, social e ambiental

• **Área ocupada e volume de escavação**

A escolha de um sistema de tratamento de esgoto deve considerar as alterações que este irá trazer ao ambiente. Sistemas que ocupem menor área representam menor perda de terreno útil aos moradores. Menores volumes de escavação, por sua vez, trazem menor dificuldade de execução, bem como uma menor modificação do relevo natural. Com o desenvolvimento dos projetos foi possível prever a área a ser ocupada por cada um dos sistemas de tratamento e o volume de solo a ser escavado para a instalação dos mesmos (Tabela 16).

Tabela 16 – Área e volume de escavação dos sistemas de tratamento de efluentes.

VARIÁVEIS	SISTEMA DE TRATAMENTO			
	ÁGUA NEGRA		ÁGUA CINZA	
	TEvap	F. S. Biodigestora	Jardim Filtrante	C. de bananeiras
Área ocupada [m ²]	19,7	16,7	18,0	16,0
Volume de escavação [m ³]	23,6	11,7	11,3	8,6

Fonte: Autor

Dentre os dois sistemas de tratamento de água negra, a TEVap apresentou a maior área ocupada e um maior volume de escavação quando comparada a Fossa Séptica. Os dois sistemas de tratamento de água cinza, no entanto, apresentaram áreas de ocupação e escavação muito próximas.

• **Efluentes gerados e manutenção**

Uma das principais motivações no desenvolvimento de um sistema de tratamento de esgoto é a necessidade de se evitar que resíduos indesejáveis gerados pela atividade humana atinja os corpos d'água. Assim, os subprodutos gerados pelos sistemas de tratamento de esgoto devem estar dentro dos padrões necessários para o descarte.

O efluente gerado pela Fossa Séptica Biodigestora possui parâmetros que não atendem os limites necessários para o descarte direto no corpo d'água presente na propriedade de estudo, enquadrada na classe d. Assim, o volume gerado pelo sistema, não deverá possuir outro fim se não a irrigação, como recomendado pela EMBRAPA (2017). A irrigação irrestrita é o único tipo de uso agrícola que possui limites compatíveis com os encontrados no efluente gerado pela Fossa Séptica Biodigestora (Tabela 17).

Tabela 17- Parâmetros da F.S.B. e NBR 13969(ABNT,1997)

PARÂMETROS	DESPEJO EM CORPO D'AGUA			USO AGRÍCOLA		
	F.S.B.	Classe d	USEPA - Não processadas comercialmente	USEPA- Processada comercialmente	PROSAB - Irrigação irrestrita	PROSAB - Irrigação restrita
pH	8,08	Entre 6 e 9	Entre 6 e 9	Entre 6 e 9	-	-
DBO (mg/L)	34±50	<60	<10	<30	-	-
DQO (mg/L)	495±219	<150	-	-	-	-
Coliformes termotolerantes	1,40E+04	-	-	-	≤ 1E+03	≤1E+04
Atende		Não	Não	Não	Não	Sim

Fonte: autor

A TEvap, por sua vez, não gera nenhum tipo de subproduto, já que a água e a matéria orgânica presente no esgoto são absorvidas pela vegetação. Além disso, a manutenção a ser realizada se refere apenas aos cuidados com as árvores, como a poda e a coleta dos frutos.

Os parâmetros de qualidade do efluente final proveniente do jardim filtrante no córrego não atendem aos parâmetros de lançamento estabelecidos na NBR 13969 (ABNT, 1997) para a classe d (Tabela 18).

Tabela 18 - Parâmetros do Jardim Filtrante. e NBR 13969(ABNT,1997)

PARÂMETRO	J.F.	CLASSE D
Coliformes totais	34±50	<60
Coliformes termotolerantes	495±219	<150
Atende		Não

Fonte: Autor

O círculo de bananeiras não gera nenhum tipo de subproduto, pois as bananeiras são capazes de absorver todo efluente encaminhado ao sistema. A manutenção é feita, como na TEvap, concentrando-se nos cuidados com a poda e o recolhimento dos frutos. Além disso, ocasionalmente, encontra-se a necessidade e complementar a última camada de palha, visto que esta, devido a ações naturais perde volume.

• Levantamento de custos

Para os projetos desenvolvidos foram levantados os materiais necessários para a realização de cada um dos sistemas e seus custos aproximados. Assim, foi possível realizar a comparação dos orçamentos de cada sistema de tratamento de esgoto (Tabela 19).

Tabela 19 – Custo de implantação dos sistemas

TIPO DE EFLUENTE	SISTEMA	CUSTO TOTAL (R\$)
Água negra	Tanque de Evapotranspiração	1151,22
	Fossa Séptica Biodigestora	1717,70
Água cinza	Jardim Filtrante	1218,80
	Círculo de bananeiras	36,60

Fonte: Autor

Para os sistemas de tratamento de águas negras, os valores de implantação demandados pela construção de uma Fossa Séptica Biodigestora são 30% maiores que os valores correspondentes a execução de um Tanque de

Evapotranspiração. O alto valor da Fossa se deve principalmente ao custo envolvido na compra dos reatores, os quais representam quase 70% dos gastos totais.

Para os sistemas de tratamento de águas cinza, a comparação de valores torna-se ainda mais discrepante. O alto valor do jardim se deve a alto volume de brita e areia utilizado, além dos acessórios específicos do projeto, como caixa de gordura e decantador. O círculo de bananeiras por sua vez, utiliza de materiais comumente encontrados na natureza, principalmente em áreas rurais, e que não acrescentam gastos, como palhas e gravetos, e se compõem de um sistema muito simples de tubos.

• **Seleção do sistema**

A população residente do bairro em estudo necessita de alternativas de tratamento de esgoto que sejam condizentes com sua realidade econômica e que seja de fácil integração a sua rotina dos moradores. Desta forma, o sistema deve possuir o menor custo possível e o modo de manutenção mais simples. O sistema deve ainda, diminuir os efeitos do lançamento de esgoto na região, como a contaminação das fontes de água e de animais.

Para o tratamento de água negra existiam duas opções, Tanque de Evapotranspiração e a Fossa Séptica Biodigestora. O volume ocupado pelo Tanque de Evapotranspiração é 50% maior que o volume demandado pela Fossa, entretanto as dimensões do sistema não é um fator limitante, pois há área disponível. Comparando os efluentes gerados pelos dois sistemas, verificou-se que o efluente gerado pela Fossa Séptica tem como único destino a irrigação restrita. A propriedade em estudo, no entanto, não possui plantação suficientemente ampla para consumir todo o volume de efluente gerado. O Tanque de Evapotranspiração apresenta neste quesito uma maior vantagem, visto que este não apresenta nenhum subproduto.

Economicamente, o Tanque de evapotranspiração também apresenta maiores vantagens, já que seu custo representa aproximadamente 70% do custo a ser desembolsado para a execução de uma Fossa Séptica Biodigestora. Assim, para o sistema de tratamento de água negra, decidiu-se a utilização do Tanque de Evapotranspiração.

Para o tratamento de água cinza, as duas opções disponíveis eram: Jardim Filtrante e Círculo de Bananeiras. A área e o volume ocupados pelos sistemas eram suficientemente próximos para que estes fossem um fator decisivo na escolha do sistema. O subproduto gerado pelo Jardim não atende aos parâmetros necessários por norma para seu descarte direto no corpo d'água que corta o terreno. Assim, outro tratamento conjunto teria de ser desenvolvido para a aplicação deste. O círculo de bananeiras, por sua vez, dos não gera efluentes. Além disso, o custo do círculo das bananeiras, mesmo quando executada duas unidades, como neste caso, ainda é muito mais baixo que o custo gerado pelo jardim. Assim, para o tratamento de águas cinza definiu-se o círculo de bananeiras como forma de tratamento.

• **Projeto final**

Os sistemas selecionados para as propriedades em estudo são o Tanque de Evapotranspiração para as águas negras e o Círculo de Bananeiras para a água cinza. Os sistemas de tratamento foram locados no terreno considerando declividade natural de modo que o esgoto gerado nas residências possa ser encaminhado para os sistemas de tratamento sem a necessidade de bombas (Anexo A). Outro fator que influenciou o posicionamento do sistema foi a existência de um poço artesiano no local, visto que o Tanque de evapotranspiração não deve ser posicionado a uma distância menor que 15 metros de um poço. Além disso, foi considerada a localização das tubulações existentes, de modo a não as alterar de lugar

As tubulações de água cinza de cada residência foram reunidas por caixas de passagem, para então serem direcionadas para os Círculos de Bananeiras, em suas respectivas propriedades. O diâmetro da tubulação resultou em 75 mm.

O tratamento de água negra deverá ser compartilhado pelas duas residências. Desta maneira, foi prevista a união das tubulações de ambas as casas, para que o esgoto seguisse de modo único até o tanque de Evapotranspiração, localizado na propriedade da residência 1. As tubulações de águas negras foram projetadas de maneira análoga a de água cinza. Contudo, decidiu-se aproveitar a caixa de passagem já existente, como

ponto de união entre os encanamentos vindos do aparelho sanitário das residências. O diâmetro dos subcoletores e coletores resultaram em 100 mm.

CONCLUSÃO

A Fossa Séptica Biodigestora, o Tanque de Evapotranspiração, o Jardim Filtrante e o Círculo de Bananeiras, são sistemas de tratamento de esgoto capazes de atender as necessidades da porção da população que não possui acesso a rede pública e centralizada de esgoto sanitário. As características construtivas, socioambientais e econômicas de cada um destes sistemas tratamento foram analisada para a escolha da melhor opção a ser implantada nas propriedades rurais. O Tanque de Evapotranspiração e o Círculo de bananeiras foram as alternativas mais viáveis de tratamento do esgoto sob o ponto de vista técnico, econômica e socioambiental para as duas residências em estudo. Espera-se que com a implantação do sistema de tratamento de efluentes reduzir o dano ambiental, social e de saúde pública causado pelo lançamento sem tratamento dos efluentes no curso d'água que corta a região. O projeto desenvolvido pode ainda, servir como base para que, com adequações referentes ao número de habitantes e espaço disponível, outras propriedades rurais da região possam implementar sistemas de tratamento descentralizados, e diminuir ainda mais os impactos da atividade humana no ambiente rural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 8160/1999 – Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário – Projeto e Execução. Rio de Janeiro. 1999
2. ANDRADE, J. L. R. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (Org.). Piscicultura: construção de viveiros escavados. Brasília (Distrito Federal): Senar, 2018. 76 p. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/209-VIVEIROS-ESCAVADOS.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2019.
3. BASTOS, R.; CHERNICHARO, C. A. L.; FLORENCIO, L. Subsídios à regulamentação do reuso da água no Brasil - Utilização de esgotos sanitários tratados para fins agrícolas, urbanos e pisciculturas. Revista DAE. ed.177, n.122. 2008.
4. BRASIL, A., et al. Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções. Campinas, SP.: Biblioteca/Unicamp, 2018.
5. CAIRNCROSS, S., 1984. Aspectos de saúde nos sistemas de saneamento básico. Engenharia Sanitária, 23:334-338.
6. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (Brasil). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. DOU nº053, 18 mar. 2005. p. 58-63.
7. EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. São Carlos (São Paulo). 2014. Disponível em: <http://www.iniciativaverde.org.br/upfiles/fckeditor/file/2014_01_31_folder_6000_jardim_filtrante_final.pdf>. Acesso em: 11 de Setembro de 2019.
8. FIGUEIREDO, I. C. S; SANTOS B. S. C. DOS; TONETTI A. L. Tratamento de esgoto na zona rural: fossa verde e círculo das bananeiras. Campinas, SP.: Biblioteca/ Unicamp, 2018.
9. FONSECA, A. R.. Tecnologias sociais e ecológicas aplicadas ao tratamento de esgotos no Brasil. 2008. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saúde Pública, Departamento de Saúde e Saneamento Ambiental, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2008.
10. Fundação Nacional de Saúde – FUNASA. Panorama do saneamento Rural no Brasil. [S. l.]: Assessoria de comunicação, 24 jul. 2017. Disponível em <<http://www.funasa.gov.br/panorama-do-saneamento-rural-no-brasil>> Acesso em: 15 ago. 2019.
11. GALBIATI, A. F. Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração. 2009. f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, 2009.
12. GONÇALVES, R. F. et al (Coord.). Uso Racional da Água em Edificações. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.
13. HELLER, L. Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento. *Ciênc. saúde coletiva* [online]. 1998, vol.3, n.2, pp.73-84. ISSN 1413-8123.

14. MARTINETTI, T. H. Análise da sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários para habitações unifamiliares. 2015. 292 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.
15. MONTEIRO, A. F. M. et al. Projeto Águas do Pessegueiro. 2018. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá.
16. OLIVEIRA, T. J. Fossa Séptica Biodigestora: limitações e potencialidade de sua aplicação para o tratamento de águas fecais em comunidades rurais. 2018. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Núcleo de Pesquisas e Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.
17. PEREIRA, M. A. B. et al. Eficiência de fossa séptica biodigestora no tratamento de esgoto doméstico no assentamento Vale Verde, Tocantins. *Tecnol. & Ciên. Agropec.*, João Pessoa, v.12, n.1, p.7-14, mar. 2018
- SILVA, W. T. L. DA; FAUSTINO, A. S.; NOVAES, A. P. Eficiência do Processo de Biodigestão em Fossa Séptica Biodigestora Inoculada com Esterco de Ovino. *Comunicado Técnico Embrapa*, 2007. ISSN 1518-7179,342007
18. SILVA, W. T. L. DA; MARMO, C. R.; LEONEL, L. F. Memorial Descritivo: Montagem e Operação da Fossa Séptica Biodigestora. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2017. ISSN 1518-7179; 592017.
19. SANTOS, R. F. DOS et al. Abordagem descentralizada para concepção de Sistemas de Tratamento de Esgoto Doméstico. In: IX WORKSHOP DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO PAULA SOUZA, 6., 2014. ISSN: 2175-1897



Anexo A

