



Referencial Técnico para Definição de Soluções de Esgotamento Sanitário Descentralizado e Baseados no Manejo do Lodo Fecal

Caminhos para o Saneamento
Inclusivo no Brasil





VERSÃO BETA

Esta publicação traz conceitos e estudos que colaboram para a atuação do Instituto Água e Saneamento com saneamento inclusivo. Trata-se de um documento com fluxo de desenvolvimento contínuo, com a previsão de aprimoramento a partir de experiências com novos projetos, análises e discussões. Esta constitui uma versão inicial do documento, que deverá ser complementada e revisada periodicamente.

Referencial Técnico para Definição de Soluções de Esgotamento Sanitário Descentralizado e Baseados no Manejo do Lodo Fecal

Caminhos para o Saneamento
Inclusivo no Brasil

TOMAZ GREGORI KIPNIS
PAULO BERNARDO NEVES E CASTRO

SÃO PAULO
OUTUBRO 2020



SUMÁRIO

1	p. 6
Apresentação	
2	p. 10
Etapas e possíveis arranjos para o atendimento de esgoto por meio de sistemas descentralizados e baseados no manejo do lodo fecal	
3	p. 16
Soluções para contenção e/ou tratamento local do esgoto	
4	p. 20
Soluções para coleta do lodo fecal	
5	p. 30
Soluções para transporte do lodo fecal	
6	p. 40
Soluções de tratamento	
7	p. 60
Disposição final e reuso	
8	p. 70
Modelos de serviço coletivos para a operação e manutenção dos sistemas	
FICHA TÉCNICA	p. 86
Referências	
Lista de figuras e tabelas	
Lista de siglas	

1

APRESENTAÇÃO



Muitos dos atrasos e dificuldades do atendimento de esgotamento sanitário no Brasil estão intimamente relacionados a como se aborda a questão e como se resolve o problema. A situação é mais acentuada naqueles contextos que escapam a lógica dos sistemas convencionais centralizados, sejam eles inadequados a implementação das redes de coleta e transporte dos esgotos, sejam outros fatores de inviabilidade como pequenas economias de escala e economias de densidade ou regularidade da ocupação territorial. Destacam-se nesse sentido os pequenos municípios e localidades com população dispersa, como as zonas rurais e periurbanas; ocupações territoriais com gabarito inadequado a implementação de redes de coleta, muito comum em ocupações altamente adensadas e sem planejamento, como comunidades de grandes centros urbanos; e ainda assentamentos e ocupações precários e não regularizados.

Diante desse panorama e com um olhar técnico, fica evidente a desvantagem econômica do atendimento às populações dispersas por redes convencionais de coleta e transporte de esgotos, onde o custo de implementação por ligação/economia esperada torna o sistema inviável; também se destaca a nítida dificuldade executiva que esses sistemas encontram em locais com ocupação não planejada devido a complexidade das intervenções estruturais e sua demanda por espaço, diversas vezes não disponível; e os entraves jurídicos advindos das questões fundiárias e/em locais de ocupação irregular, (O’Keefe et al., 2015; Eggimann, Truffer

e Maurer, 2016; Guimarães, Malheiros e Marques, 2016; Moss, 2016).

É importante entender nesse momento que os sistemas adaptam-se, cada um, a uma realidade que vá de encontro a seus parâmetros intrínsecos de concepção. Deve-se compreender que a universalização do atendimento do esgotamento sanitário passa pelo entendimento e aceitação de que diferentes contextos demandam diferentes soluções. Ou, pelo outro lado, diferentes soluções apresentam contextos específicos de atendimento com base nos princípios técnicos de sua concepção, nenhum formato de sistema é adaptado e adequado a todo e qualquer contexto.

Enquanto em condições regulares de ocupação em centros urbanos adensados os sistemas convencionais mostram-se a melhor solução de atendimento, do ponto de vista técnico e econômico, a ampla dispersão territorial da ocupação nas áreas rurais irão apontar para os sistemas individuais como o melhor caminho para atendimento do serviço de esgotamento sanitário. Já outros contextos urbanos apresentados, como o presente em diversas comunidades no país, podem ser alcançados por redes condominiais, desenvolvidas na década de 1980 olhando para esses locais. Assim, é central compreender que num contexto de universalização, soluções centralizadas, semi-centralizadas, simplificadas e individuais coexistem em harmonia e sincronia, cada uma aplicada diante de uma lógica que busque explorar o seu potencial ótimo (Obermann e Sattler, 2013; Eggimann, Truffer e Maurer, 2015; Ivar et al., 2017).



O Japão é um excelente exemplo da coexistência e inter-relação de sistemas centralizados e descentralizados. A presença concomitante de ambos sistemas é tão ampla que aproximadamente 38% da população é atendida por soluções não ligadas à rede pública de coleta. Ainda mais interessante, em alguns casos, os sistemas descentralizados são implementados com a função de desafogar as redes públicas de coleta já em uso ao permitir que em grandes centros urbanos ainda em expansão seja possível o aporte de novas populações ligadas a rede pela regulação planejada do regime de lançamento de efluentes na rede; isso se dá pela instalação de soluções individuais que permitam o controle de aporte de efluente nas redes em horários pré-determinados assim como o lançamento de efluente com menor carga de sólidos, o que aumenta a capacidade de transporte da rede receptora. Busca-se assim um melhor aproveitamento das estruturas já implementadas, evitando os elevados custos com a ampliação da capacidade de ramais coletores e interceptores (Yang et al., 2010; Harada, Strande e Fujii, 2016). Nesse sentido é interessante também notar um prolema recorrente em países que vivem um esvaziamento dos centros urbanos, como a Alemanha, onde a super-dimensão das redes, diante de uma população que encolhe, leva a um aumento significativo nos custos de operação e manutenção. Assim, ampliar esse repertório de soluções para o esgotamento sanitário, tornando-o mais adaptável às condições locais (socioculturais, econômicas e ambientais), mostra-se um passo fundamental a ser dado nas políticas e práticas do Brasil.

Diante desse quadro situacional, e em diferentes graus de adequabilidade, as soluções isoladas já se espalham pelo território nacional. Esses sistemas atendem cerca de 63 milhões de habitantes, um terço da população Brasileira, de acordo com os dados apre-

sentados pelo Plansab de 2019. Neste retrato, 15,6% dos domicílios do país encaminham seus efluentes para fossas sépticas e 14,9% para fossas rudimentares (Brasil, 2019a). Em ambos os casos são escassas as políticas de gestão dos efluentes destes sistemas, o que implica na elevada recorrência de instalações inadequadas (sistemas que não propiciam tratamento suficiente), e sem o manejo adequado do lodo retidos nas soluções individuais. Sobre este segundo aspecto a situação é bastante crítica, especialmente considerando a dimensão do passivo: com base na metodologia proposta em Andreoli, 2009, pode-se estimar a produção de lodo fresco no país por esses sistemas em aproxima 63 milhões de litros por dia. Esse panorama mostra a necessidade de medidas de estruturação e gestão adequadas e voltadas aos sistemas simplificados e/ou descentralizados e ao manejo do lodo fecal.

O destino dos lodos gerados, retidos e acumulados em soluções individuais através de todo o país é uma realidade ainda pouco discutida, mas de graves consequências ambientais e sociais. Ainda não existe no Brasil um levantamento sistemático do destino destes materiais, mas estima-se que apenas uma parte diminuta seja coletada e receba destinação final considerada adequada, como o envio à estações de tratamento de esgoto (Andreoli, 2009), restando uma grande quantidade depositada dentro das próprias soluções descentralizadas, onde se acumulam e ocupam espaço, impedindo os equipamentos operem de forma adequada. A situação torna-se ainda mais crítica uma vez que o lodo coletado não chega às ETEs, e mesmo quando chega, não necessariamente a configuração da estação de tratamento é adequada para receber e tratar esse tipo de efluente, já que muitos dos sistemas convencionais de tratamento de esgoto implementados no Brasil não foram projetados para absorver

efluentes com as características dos lodos fecais. Para além da carga orgânica e de sólidos, que são cerca de quatro vezes maiores nos lodos do que em esgotos brutos, outros dois aspectos parecem centrais na problemática: os altos teores de óleos e graxas, até 10 vezes maiores, decorrentes das práticas de esvaziamento dos sistemas (o prestador de serviço costuma esvaziar conjuntamente aos sistemas isolados as caixas de gordura), que levam à geração excessiva de espuma e até entupimento de tubulações nas estações; e os elevados níveis de nitrogênio amoniacal em relação à carga orgânica, característico de efluente dos sistemas anaeróbios predominantes nos contextos isolados (Andreoli, 2009; Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde., 2014; Sperling, 2014; Monayna, Vasconcelos e Carvalho, 2016; Odey et al., 2017; Chernicharo et al., 2018).

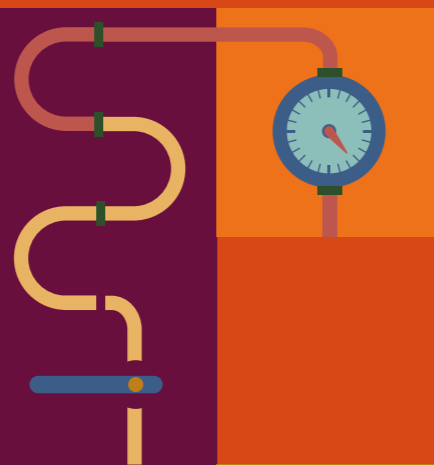
Diante da evidente necessidade de ampliar o repertório de soluções para lidar com o esgoto no Brasil, este documento constitui um esforço inicial para promover um maior entendimento sobre as cadeias de serviço baseadas em sistemas simplificado, descentralizados e baseados no manejo do lodo fecal (MLF). O ponto de partida é introduzir de forma consistente as diferentes etapas inerentes a esses modelos, explorando seus possíveis arranjos e tornando claros seu propósito e função. Na sequência, para cada etapa, são apresentados fatores determinantes e aspectos relevantes para a seleção de soluções e tecnologias, junto com a compilação de algumas das principais alternativas apresentadas na literatura. Por fim, são apresentados possíveis caminhos para a definição dos modelos de serviço. Espera-se com este estudo contribuir para que o planejamento do saneamento (pelos indivíduos, comunidade, gestão pública e/ou prestadoras de serviços) considere soluções cada vez mais viáveis e adequadas aos contextos locais.



2

ETAPAS E ARRANJOS

PARA O ATENDIMENTO DE
ESGOTO POR MEIO DE SISTEMAS
DESCENTRALIZADOS E BASEADOS
NO MANEJO DO LODO FECAL



Um dos grandes diferenciais de sistemas descentralizados é sua adaptabilidade às condições locais, envolvendo técnicas e custos de implementação e operação normalmente mais acessíveis do que sistemas convencionais centralizados. Sua fragmentação em etapas distintas, independente de complexas redes de coleta, permitem um arranjo maleável diante da realidade local, podendo absorver diferentes soluções e tecnologias. A configuração pode ser definida considerando dinâmicas de manutenção proporcionais às capacidades de cada contexto, além de apresentar maior flexibilidade para lidar com mudanças não planejadas nas condições de ocupação do território ao longo do tempo; e num segundo momento, a maior flexibilidade de cada etapa em absorver novas e diferentes tecnologias, uma vez que essas são centradas em sua função ao invés de uma técnica específica (Kvarnström et al., 2011; Bassan et al., 2014; Blackett et al., 2014; Tilley et al., 2014).

As etapas (funções) envolvidas no esgotamento sanitário, a partir dos estudos apresentados anteriormente, podem ser distribuídas da seguinte maneira:

1. PONTO DE GERAÇÃO

Se refere aos pontos a partir dos quais os efluentes domésticos são gerados nos domicílios, estabelecimentos comerciais, banheiros públicos, etc. Estes podem se referir a todo o esgoto gerado nestes locais, como também a fluxos específicos, como a segregação na fonte de águas cinzas e águas das escuras. A con-

figuração da etapa é determinante para a caracterização das linhas de efluentes gerados, além de estar intimamente relacionada à qualidade de vida e hábitos dos usuários. Quando é necessário ampliar ou prover novos pontos de geração, como banheiros, deve-se considerar, entre outros fatores, os hábitos culturais e a disponibilidade hídrica local. Nessa etapa a garantia de medidas de higiene é essencial para a proteção do usuário e muito se discute a questão de gênero nesse momento, uma vez que garantia ao acesso seguro dessas instalações deve ser um fator predominante.

2. CONTENÇÃO

Tem a função de receber os efluentes dos pontos de geração, evitando o contato dos mesmos com a população e o meio ambiente, por meio da conexão segura do esgoto com os sistemas de transporte, ou constituindo por si só uma parte do tratamento dos efluentes. Em sistemas que utilizam rede de coleta essa etapa é representada pela tubulação hidrossanitária predial. Em sistemas descentralizados ela é representada pela solução individual empregada, que prevê o tratamento local dos efluentes gerados. Esses sistemas, se adequados, propiciam o tratamento do esgoto, retendo a fração sólida de seus constituintes; essa fração sólida retida, no caso dos esgotos sanitários, é denominada de lodo fecal (LF). A medida que o sistema recebe o esgoto, a quantidade de lodo acumulado aumenta, e deve ser removida periodicamente para garantir o funcionamento adequado do sistema. Os elementos de contenção podem

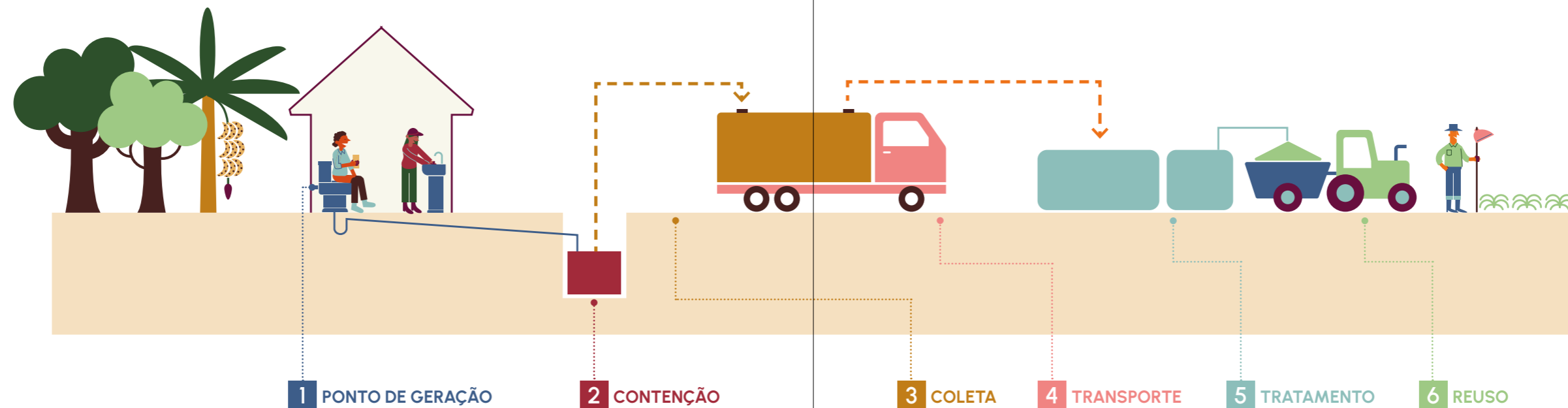


Figura 1: Etapas da rede de esgotamento sanitário no MLF

prever um pré-tratamento do lodo (com a estabilização da matéria orgânica), no entanto, o lodo removido ainda demanda etapas posteriores de tratamento para que possa ser reutilizado ou disposto de forma ambientalmente adequada.

3. COLETA

Essa etapa, específica e crucial nos sistemas de Manejo do Lodo Fecal (MLF), se refere à atividade e/ou sistema de remoção do lodo fecal dos sistemas de contenção. Trata-se de uma etapa de grande relevância, e frequentemente negligenciada, onde há grande risco de exposição de usuários e operadores; também se apresenta como oportunidade, muitas vezes única, de inspeção dos sistemas de acesso (ponto de geração) e de contenção. A falta de sistemas adequados de coleta não só expõe as pessoas a riscos de saúde devido ao manuseio inadequado dos lodos fecais, mas pode levar até mesmo à opção de não rea-

lização da coleta. Além disso, o método de remoção do lodo pode influenciar a forma de transporte e a tecnologia de tratamento, uma vez que irá resultar em lodos mais ou menos úmidos. Em sistemas que utilizam redes de coleta essa etapa é representada pela ligação predial à rede de coleta.

4. TRANSPORTE

É central na viabilização da cadeia de serviço de esgotamento sanitário como um todo, podendo apresentar diferentes níveis de complexidade logística. Sua função primária é o transporte seguro e higiênico do esgoto ou do LF até o local de tratamento. A etapa pode ser constituída por redes de coleta (constituída de tubulações) em sistemas centralizados e semi-descentralizados, e por veículos com recipientes adequados de armazenamento do esgoto ou do LF.

5. TRATAMENTO

Deve propiciar o processamento do esgoto ou do LF a fim de diminuir seu potencial poluidor e de impacto no meio ambiente e na saúde. Nesse sentido os sistemas de tratamento devem garantir atendimento às exigências locais, para disposição final ou reuso dos efluentes, com relação aos níveis de patógenos, material orgânico, nutrientes e outros parâmetros. Além destes aspectos, a determinação de soluções e tecnologias apropriadas deve considerar também quais configurações são mais adaptadas e viáveis aos contextos locais, considerando as capacidades, interesses e potencialidades para implementar e operar o sistema diante de distintos aspectos, em especial as expectativas comunitárias em relação ao manejo dos efluentes.

6. REUSO/ DISPOSIÇÃO FINAL

É o elo final da cadeia de esgotamento sanitário e refere-se ao retorno dos efluentes

domésticos, devidamente tratados, ao ambiente, por meio da disposição final segura e adequada, ou do aproveitamento dos mesmos em processos produtivos ou de manutenção - como geração de energia, agricultura, limpeza, construção civil, entre outros. A etapa pressupõe o encaminhamento dos subprodutos do tratamento e aplicação nos processos, podendo contemplar tratamento adicional.

Cada uma das etapas discutidas permite uma miríade de configurações de implementação e operação. Como apresentado e defendido anteriormente As diferentes possibilidades de arranjo constituem um dos principais potenciais dos sistemas simplificados e baseados no manejo dos lodos fecais para alavancar o atendimento adequado do esgotamento sanitário e sua universalização no Brasil. O diagrama apresentado na Figura 1 aponta de forma sintética a estruturação da cadeia de serviço do esgotamento por modelos descentralizados ou semi-centralizados.

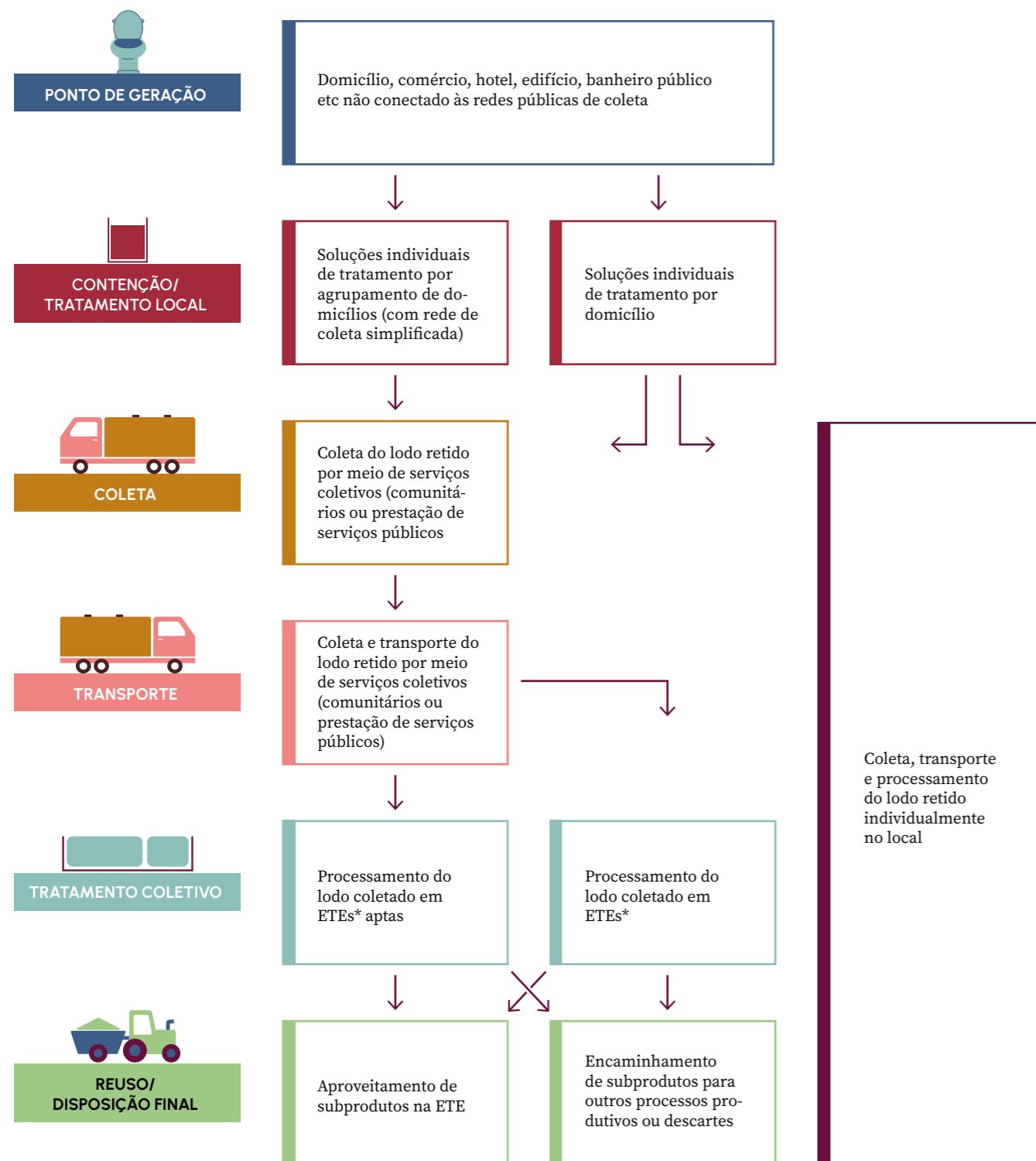


Figura 2: Cadeia de serviço do esgotamento sanitário por modelos descentralizados ou semi-centralizados. *Estações de Tratamento de Esgoto.

Apresentada a cadeia do esgotamento sanitário é importante salientar a importância de se considerar a sua integralidade sempre que um projeto de implementação de sistemas de esgotamento sanitário for concebido, isso porque a não observação, ou cumprimento integral da mesma irá levar inexoravelmente a uma mazela no sistema que terá por consequência impacto sobre a saúde e o meio ambiente.

Inicialmente a inadequação dos pontos de geração, ponto de acesso ao sistema de esgotamento sanitário, pode implicar na sua rejeição pelos usuários e o consequente risco de retorno a hábitos sanitários precários. Condena-se ainda ao desuso todo o restante da rede. Nesse sentido considerar aspectos culturais ao pensar nos pontos de geração é essencial.

As estruturas de contenção e, talvez principalmente, a relação de entendimento, uso e operação das mesmas, é também uma etapa central a ser ponderada no planejamento de sistemas de esgotamento sanitário. O mau uso e operação dessas unidades, bastante recorrente no Brasil, é decorrente principalmente de uma falta de compreensão sobre seus objetivos e princípios de funcionamento, esses sistemas demandam, sempre, manutenção adequada, sendo a principal etapa a remoção periódica dos sólidos retidos em seu interior. O acúmulo excessivo desse material leva a perda de volume efetivo destinado ao tratamento dos efluentes domésticos o que prejudica sua habilidade de efetivar o tratamento adequado dos mesmos.

No âmbito da coleta dois aspectos centrais a serem observados, para sua integralização de forma plena, é sua recorrência periódica e de forma planejada, garantindo as condições necessárias ao bom funcionamento da solução de contenção; e a higiene no processo de

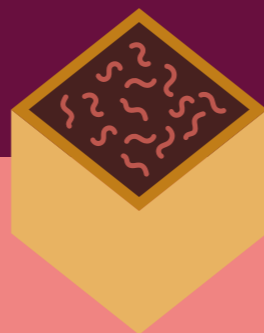
coleta em si, evitando tanto o contato do operador na sua execução, quanto garantindo a limpeza de respingos no local.

O transporte se constitui a etapa de maior complexidade de implementação de sistemas descentralizados e baseados no manejo do lodo fecal, isso porque a sua viabilidade está intimamente associada ao bom planejamento logístico, que deve levar a diminuição substancial de custos pelo ganho de eficiência no transporte, ou seja, garantindo que uma operação alcance o maior número de usuários possível para que haja uma diluição do seu custo.

E por fim, as etapas interrelacionadas de tratamento e reuso/ disposição são centrais a efetivação de uma cadeia de esgotamento sanitário adequada. São intimamente relacionadas pois o tratamento deve ser determinado a partir da compreensão de uso ou forma de disposição pretendidos; e fundamentais a efetivação do esgotamento sanitário pois dessas etapas finais depende a garantia de uma devolução adequada dos efluentes ao meio ambiente.

3

SOLUÇÕES PARA CONTENÇÃO E/OU TRATAMENTO LOCAL DO ESGOTO



Uma vez gerados os esgotos, é necessária sua coleta e encaminhamento adequado para tratamento. Em sistemas servidos por redes de coleta e transporte, a retenção no local é mínima, normalmente representada pela conexão entre o sistema hidráulico predial e a rede de coleta. Já sistemas isolados da rede pública demandam maior atenção, uma vez que necessitam de um dispositivo que consiga conter, e geralmente tratar adequadamente, o efluente gerado até o momento de sua coleta. Nos pontos de geração há diferentes tipos de efluentes sendo produzidos: o esgoto de bacias sanitárias (também comumente referido como águas negras) e as águas cinzas, provenientes de outras fontes, como pias e chuveiros. Dependendo do arranjo das instalações hidrossanitárias nos domicílios é possível tratar os efluentes conjunta ou separadamente. Em muitos casos tratar os efluentes de forma separada possibilita eficiências mais elevadas de tratamento além de aumentar as possibilidades de recuperação de recursos e simplificar as estruturas necessárias (Bassan et al., 2014).

A definição destes sistemas depende de uma série de fatores, envolvendo as condições ambientais e climáticas locais, interesses locais pela utilização de subprodutos do esgoto, condições das estruturas prediais existentes e disponibilidade de espaço, disposição para operação e manutenção, entre outros. Além da definição das soluções em si e o arranjo entre diferentes sistemas, o dimensionamento das estruturas deve considerar as condições locais - como população contribuinte, periodicidade pretendida para a remoção de lodo,

clima etc. O Quadro 1 elenca alguns dos pontos importantes a serem considerados.

A eficiência de tratamento dos sistemas está relacionado tanto aos mecanismos de retenção e/ou remoção de poluentes (físicos e bio-químicos) e o dimensionamento dos sistemas, que deve ser condizente com tempo de detenção hidráulica adequada para os processos ocorrerem satisfatoriamente. A dimensão e configuração dos sistemas também determina as condições para a detenção de sólidos no sistema (lodo), sendo que o período de armazenamento do material no sistema tem impacto sobre a qualidade do lodo fecal a ser removido periodicamente. A caracterização e qualidade deste material (teor de sólidos, nível de estabilização de matéria orgânica etc) é importante para o tratamento adequado do lodo, no local ou em estação semi-centralizada de tratamento de esgoto ou específica para lodo fecal.

Assim, a concepção, implementação e manutenção das soluções individuais devem ser condizentes com as condições locais para o manejo de lodo fecal (seja com o tratamento no local ou em estação afastada). Além disso, a instalação dos sistemas e verificação das condições operacionais das soluções individuais deve seguir orientações e rotinas específicas aos sistemas implementados, a fim de garantir a integridade e funcionalidade dos equipamentos (Andreoli, 2009; Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014). Ainda que a responsabilidade por pela implementação e operação destes sistemas geralmente seja dos proprietários dos domicílios, estes sistemas, de acordo com a Lei 11.445/2007 (e Decreto 7.217/2010 que a regulamenta), indica que serviços públicos podem ser efetivados

ESTRUTURAS EXISTENTES	Possui instalações sanitárias suficientes	Isso indicará a necessidade de implementar a etapa de interface com o usuário
	Separação das águas de vaso sanitário (águas negras)	A segregação dos efluentes na fonte permite uma simplificação dos sistemas de tratamento, além de maior flexibilização no reaproveitamento de recursos
	Proximidade de outros domicílios	Permite o tratamento conjunto dos efluentes, além de influenciar na acessibilidade dos sistemas para manutenção e operação
CONDIÇÕES DO TERRENO	Desnível no terreno	Implica no tipo de solução e na distribuição e complexidade de equipamentos auxiliares no terreno (como tubulações e unidades complementares)
	Tipo de solo	Influencia principalmente a dificuldade de escavação
	Nível d'água	Tem impacto direto sobre a solução e o método construtivo
	Disponibilidade de espaço	Repercute na escolha da solução, que exija mais ou menos área para implementação, além das condições para operação e manutenção
CONDIÇÕES CLIMÁTICAS	Chuvas	Tem impacto direto na disponibilidade hídrica e em fatores como o interesse pelo reuso dos efluentes tratados. Além disso, sistemas que dependem de evaporação ou evapotranspiração tem de levar em conta o regime de precipitação e umidade local.
	Temperatura	É determinante no dimensionamento de etapas biológicas
	Insolação	Influencia principalmente a dificuldade de escavação
CONDIÇÕES E INTERESSES LOCAIS	Questões culturais	Forma prevalecte de uso/acesso do sistema sanitário (tipo de equipamento, forma de higienização, uso de água, etc.)
	Disponibilidade para manutenção e operação	Determinante para a seleção das soluções e tecnologias, sendo que as alternativas apresentam diferentes níveis de complexidade
	Materiais construtivos	Afeta a viabilidade dos sistemas e é crucial aos métodos construtivos empregados
	Acesso a rede de água	Influência direta sobre hábitos culturais em relação à água
	Interesse em recuperação de recursos	Determinante para a seleção das soluções e tecnologias, cada alternativa leva a diferentes produtos de quantidades e qualidades distintas

Quadro 1: fatores que influenciam na determinação de soluções e tecnologias de contenção de lodo fecal

por meio de operação, controle ou disciplina de fossa séptica e outras soluções individuais. A realização de serviços municipais ou comunitários, ao menos para a verificação da adequabilidade e performance dos sistemas, além da organização da rotina de remoção e manejo do lodo destes sistemas, podem trazer importantes benefícios para o atendimento adequado e eficiente do esgoto em determinada localidade. (Bassan et al., 2014; Rao et al., 2016; Chary, Reddy e Ahmad, 2017)

Em termos de viabilidade de implementação das soluções individuais, existe um amplo repertório de soluções de baixo custo e complexidade com alternativas acessíveis aos diferentes contextos. Olhando para a escala do déficit de atendimento de esgoto pelo Brasil, especialmente em contextos com baixo poder aquisitivo, há de se destacar a importância de programas de estímulo para a implementação de soluções individuais adequadas, por meio de assessoria técnica, financiamento ou subsídio, seja pelo poder público ou pelas prestadoras de serviço.

Diversas são as tecnologias de contenção disponíveis, algumas amplamente replicadas e outras em processo de amadurecimento. Alguns sistemas, a exemplo dos tanques sépticos e seus órgãos acessórios, são mais conhecidos e contam inclusive com normatizações específicas para seu dimensionamento. No entanto, muitas soluções já consolidadas, como o tanque de evapotranspiração (TEvap), vermifiltro, zonas de raízes ou o círculo de bananeiras, ainda não possuem normas técnicas específicas (Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde., 2018; Tonetti et al., 2018). Estes amadurecimentos são essenciais para que as soluções descentralizadas possam contribuir mais eficientemente para a universalização do saneamento pelo país, com a replicação sistêmica e em escala. Este capítulo apresenta algumas das soluções

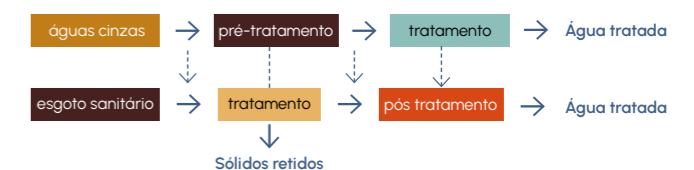
potenciais para replicação pelos contextos brasileiros, com base em diferentes compêndios tecnológicos de relevância (Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014; Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde., 2018; Tonetti et al., 2018). As soluções apresentadas possuem diferentes funções e podem ser aplicadas em conjunto (como caixa de gordura, fossas sépticas, círculo de bananeiras etc).

Antes de apresentar as soluções de contenção, é importante elencar os diferentes fluxos de efluente gerado nos domicílios. De forma simplificada, os esgotos domésticos são compostos comumente por 2 tipos de efluente:

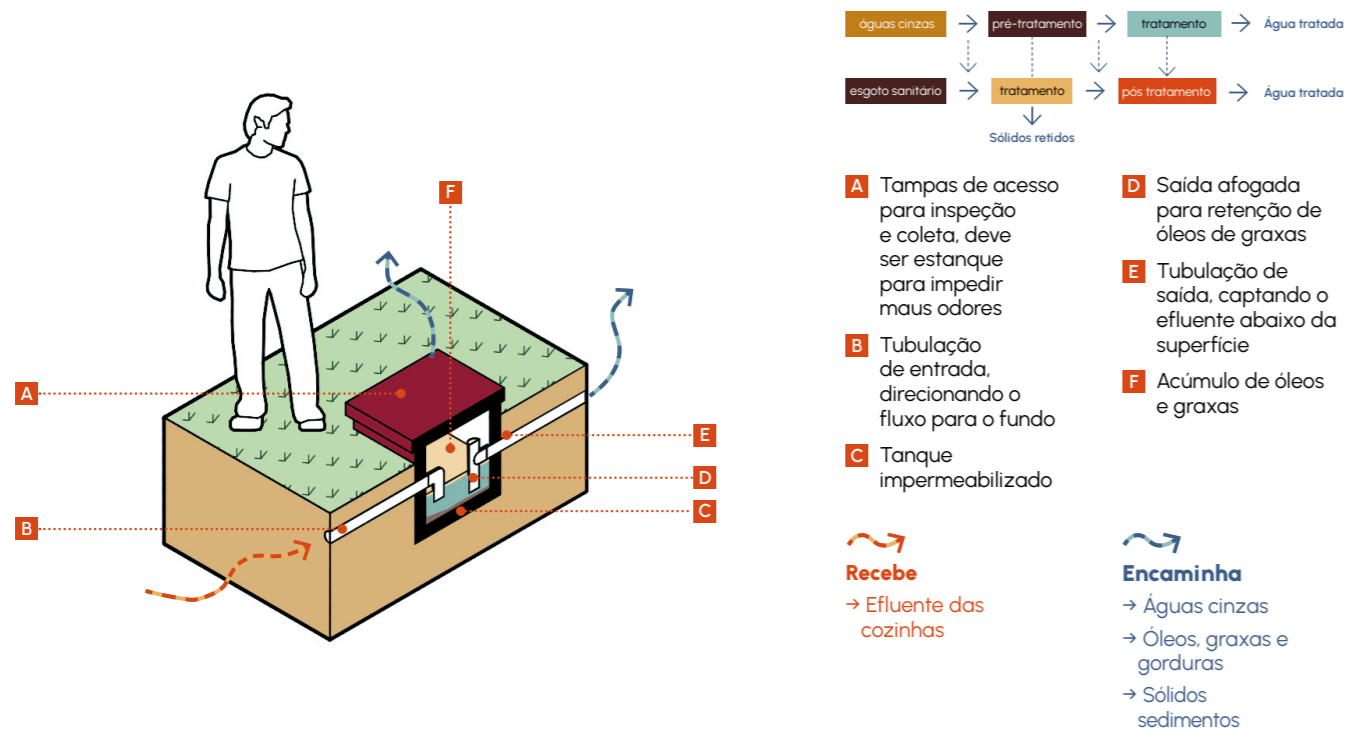
- Águas escuras, proveniente das bacias sanitárias
 - Águas cinzas, provenientes dos chuveiros e pias dos banheiros
- * Quando águas cinzas são misturadas com águas escuras, viram águas escuras

Cada tipo de efluente tem uma caracterização diferente, e em muitos casos, trata-los separados envolve sistemas mais simples (menores) e eficientes. No entanto, nem sempre é possível fazer a separação das tubulações de cada tipo de esgoto, especialmente em casas existentes.

Os sistemas aqui apresentados tem diferentes funções diante dos efluentes gerados, entre pré-tratamento, tratamento e pós-tratamento. Alguns dos sistemas são focados em um tipo de efluente águas cinzas ou escuras, e alguns são capazes de lidar com os dois tipos de efluente. Há ainda casos em que idealmente se lida com apenas um tipo de efluente, mas pode ser adaptado para lidar com os dois tipos de efluente.



3.1 Caixa de gordura



Função
Estrutura de pré-tratamento destinada a retenção gorduras, graxas e óleos contidos no efluente doméstico, em especial no que sai das pias das cozinhas. Esse dispositivo evita o entupimento de tubulações e diminui o acúmulo de espuma no sistema de tratamento.

Potenciais e Aplicabilidade
A instalação desse mecanismo melhora a operação dos sistemas de tratamento de esgoto e deve ser considerada na saída da tubulação de pia de cozinha. Deve ser instalada também sempre que houver uma linha de efluente com elevado teor de óleos e gorduras (por exemplo, efluentes de abatedouro).

Variações
As caixas de gordura podem ser prismáticas ou retangulares, de câmara única ou dupla, pré-fabricadas ou construídas no local. Há variações com ou sem barreira interna, e com diferentes alturas da tubulação de aporte do esgoto no sistema, e de captação do efluente.

Operação e Manutenção
Solução de baixa manutenção, o dispositivo requer remoção periódica dos óleos, graxas e gorduras acumulados, além de algum material sedimentado. A frequência de remoção varia de acordo com a taxa de uso do sistema e hábitos alimentares no domicílio, mas uma referência genérica para esta atividade é a cada 6 meses.

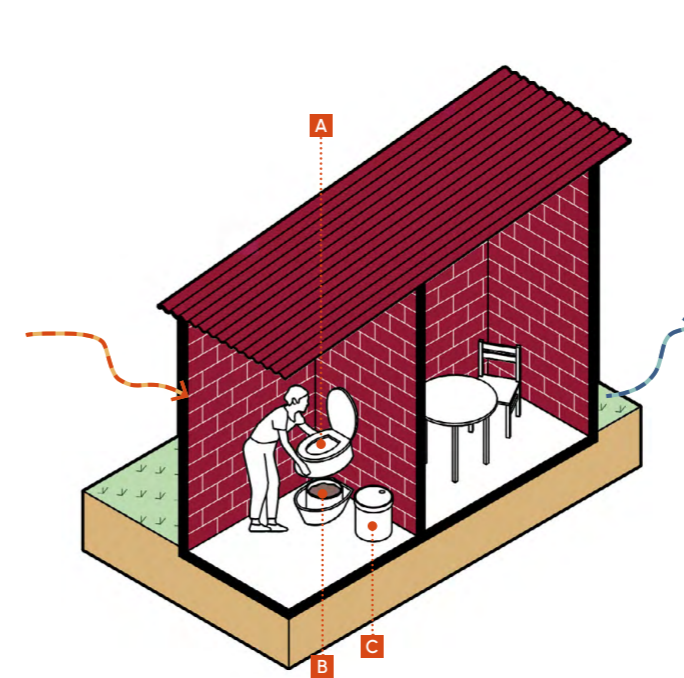
Dimensionamento
Para cozinhas é feito com base no número de refeições servidas pela cozinha, devendo ter ao menos 18 L para atender uma residência com 5 habitantes. Buscar as referências para dimensionamento de sistemas maiores.

Eficiência
Quando projetados conforme a normativa NBR 8160, costuma remover cerca de 60% das partículas de gordura no efluente. Esta performance pode ser afetada pela temperatura do efluente, que se elevadas ocasionam a dissolução da gordura na água, restringindo a retenção deste componente na caixa de gordura.

Fatores Determinantes
Distribuição das tubulações de efluentes, disponibilidade de espaço, acessibilidade para coleta dos materiais retidos.

Referências
ABNT, 1999; Gnipper, 2008; Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde., 2018

3.2 Container



Função
Bacia sanitária, recebimento e contenção de fezes e urina

Potenciais e Aplicabilidade
Sistemas aplicáveis a escala unifamiliar. Trata-se de uma solução simples e modular, com alta flexibilidade e adaptabilidade; além de poder ser rapidamente implementada. No entanto, depende da aceitabilidade local, estando vulnerável à perspectivas culturais que muitas vezes podem se opor a retenção dos dejetos no domicílio. Depende também de uma dinâmica segura de manejo dos materiais retidos no container. De qualquer forma, constitui uma importante alternativa para locais com infraestrutura precária, indisponibilidade hídrica e/ou casos de emergência.

Variações
Além do tamanho, variável, de acordo com o volume a ser armazenado entre trocas, podem ser feitos para o recebimento e armazenamento separado ou conjunto de fezes e urina. O formato pode ser adaptado, construído no local, já existindo diferentes sistemas pré-fabricados de bacia e container.

Operação e Manutenção
Embora seja uma solução de rápida implementação, apresenta elevada demanda operacional, devido a necessidade de substituição frequente (normalmente ao menos semanal) dos containers. Fora este aspecto, a manutenção dessa solução é baixa.



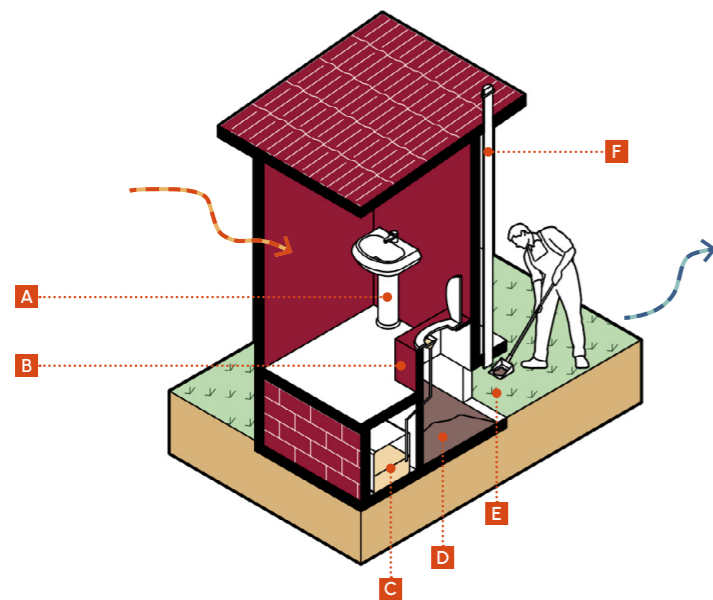
Dimensionamento
De acordo com o volume a ser armazenado entre trocas. A produção média por usuário varia consideravelmente, mas uma referência inicial é de 1.200 mL/dia de urina e 150 a 450 ml/dia de fezes. Deve ser ponderado ainda o volume de material seco utilizado para recobrir as fezes a cada utilização.

Eficiência
-

Fatores Determinantes
Aceitabilidade local, disponibilidade de material seco para aplicação no container, disponibilidade para coleta periódica e processamento do material fecal retido.

Referências
Mels et al., 2009; Tilley et al., 2014; Russel et al., 2015, 2019; Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde., 2018

3.3 Fossa seca compostável



- A** Lavatório com encaminhamento para tratamento separado
- B** Vaso sanitário seco
- C** Tanque para urina
- D** Câmara de compostagem
- E** Mecanismo de acesso a câmara para coleta de compostagem
- F** Sistema de ventilação da câmara de compostagem

Recebe

- Fezes (com papel higiênico e serragem)
- Urina

Encaminha

- Composto
- Urina (em sistema com separação de urina)

Função

Recebimento, contenção e compostagem de fezes e urina. Por meio do processo de compostagem essa solução permite o reuso dos dejetos como condicionante de solo e pode também contemplar o uso da urina separadamente como fertilizante, caso essa seja separada na fonte de geração.

Potenciais e Aplicabilidade

Além da produção de composto orgânico, essa solução leva a uma redução significativa de patógenos; Não apresenta problemas reais com moscas ou odores se usada e mantida corretamente; Vida útil longa; Baixos custos operacionais dependendo do acesso a câmara de compostagem. Trata-se de um sistema com grande potencial de replicação, com relevância ainda maior em contextos com baixa disponibilidade hídrica.

Variações

Existem muitas possíveis configurações para este sistema, que podem ser adaptados diante das condições e interesses locais. A retenção das excretas pode ser feita em câmara construída no local ou pré-fabricada (como bombonas e barris). O sistema pode ou não fazer a separação de urina, e quando feita envolve uma bacia sanitária adaptada para esta separação e um compartimento dedicado a urina. A compostagem do material pode ser feita no próprio sistema, se forem previstas câmaras de uso alternado, ou ser feita em local distinto. Devem incluir sistemas de ventilação com diferentes configurações e níveis de eficiência.

Operação e Manutenção

Essa solução requer usuários ou pessoal de serviço treinados para monitoramento e manutenção; Composto pode necessitar de tratamento adicional antes do uso; Necessidade de remoção periódica do composto; Demanda de material secante a cada uso (e.g.: serragem). Sistemas que recebem urina não devem ser feitos em material metálico.

Dimensionamento

O volume útil da câmara de compostagem deve ser de 300 L/usuário.ano; ou prever local para compostagem das fezes, por no mínimo 6 meses; caso haja separação de urina, considerar uma média de 1,2 L/dia por usuário para o recipiente de contenção do líquido.

Eficiência

Com o manejo adequado, tem elevada eficiência na retenção e estabilização do material retido, evitando o contato de contaminantes com o ambiente sem o devido tratamento.

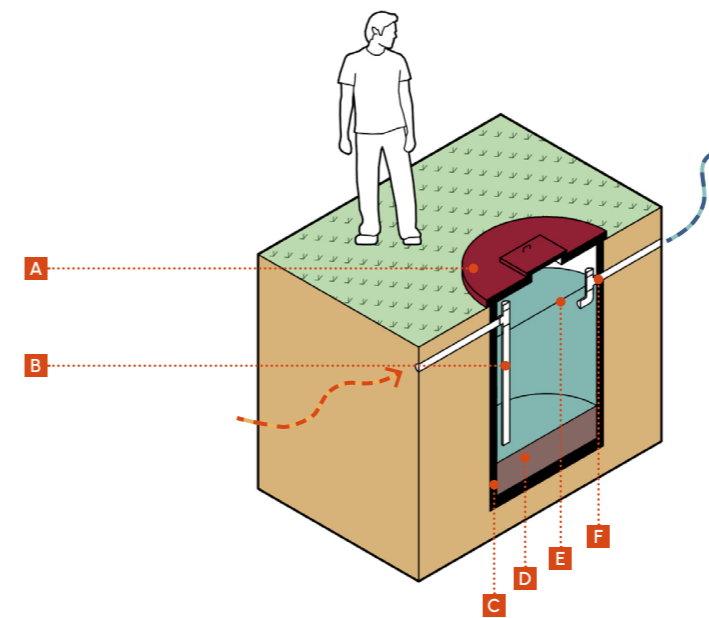
Fatores Determinantes

Aceitabilidade local, disponibilidade de material seco para aplicação no container, disponibilidade para coleta periódica e processamento do material fecal retido.

Referências

Tilley et al., 2014; Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde., 2018; Tonetti et al., 2018

3.3 Tanque | Fossa séptica



- A** Tampa de acesso para inspeção e coleta de lodo e espuma
- B** Tubulação de entrada, direcionando o fluxo para o fundo
- C** Tanque impermeabilizado
- D** Acúmulo de lodo
- E** Acúmulo de espuma
- F** Tubulação de saída, captando o efluente abaixo da superfície

Recebe

- Esgoto doméstico

Encaminha

- Efluente tratado
- Biogás
- Lodo
- Espuma

Função

Remoção de sólidos e matéria orgânica por meio de processos físicos e microbiológicos, além de retenção de óleos e graxas. Pode receber todos os efluentes domiciliares e tem como saídas o sobrenadante líquido tratado, biogás, lodo e espuma, esses dois últimos demandam remoção periodicamente. Requer sistema de pós-tratamento.

Potenciais e Aplicabilidade

Sistemas aplicáveis às escalas unifamiliar, conjuntos de domicílios ou instalações públicas. Trata-se de uma solução simples e robusta, podendo receber todos os efluentes domésticos. Possui baixo custo e complexidade de construção e operação.

Variações

Tanques / fossas sépticas podem ter implantação circular ou prismática, ser constituídos de materiais pré-fabricados (com tanques plásticos ou de fibra de vidro) ou localmente (alvenaria, concreto, ferro-cimento, etc.). Há variações com ou sem barreira interna, e com diferentes alturas da tubulação de aporte do esgoto no sistema, e de captação do efluente. Há atualmente sistemas compactos pré-fabricados, que incorporam inclusive soluções de pós-tratamento.

Operação e Manutenção

Solução de baixa manutenção, demanda remoção periódica do lodo e da espuma retidos. Pelo acúmulo de gases nocivos (como o sulfeto de hidrogênio) e inflamável (metano), é importante tomar cuidado no manuseio de tampas e mecanismos de inspeção do sistema.

Dimensionamento

Deve seguir a norma técnica brasileira específica (NBR 7229), que estipula tempo de detenção e taxa de acúmulo de lodo por região climática; mas podendo ser balizado com referências complementares, como o tempo de detenção hidráulica mais elevados, como 48 horas.

Eficiência

Solução de eficiência moderada na remoção de sólidos suspensos (por volta de 50%) e baixa na remoção de matéria orgânica (geralmente de 30 a 40%). Sistemas pré-fabricados que incorporam filtro anaeróbio podem alcançar até 80% de remoção.

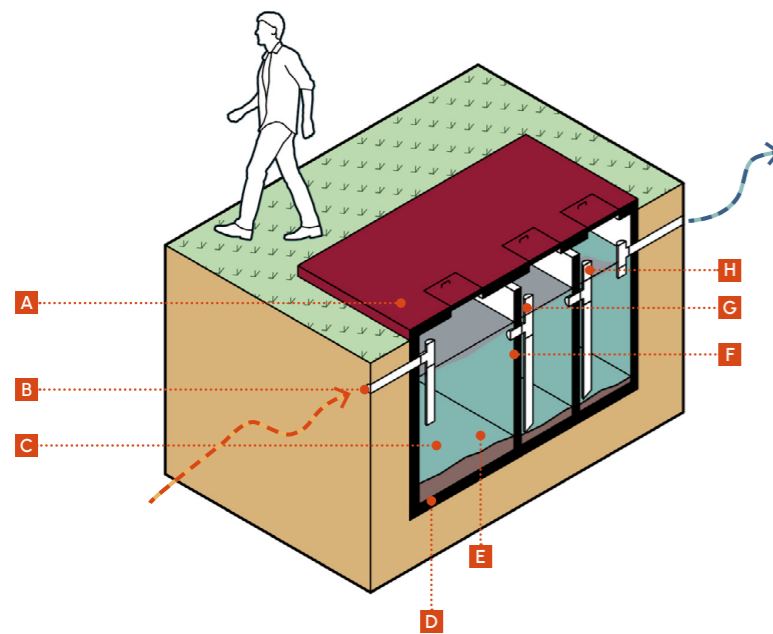
Fatores Determinantes

Disponibilidade de espaço (embora aterrado, necessita entre 1 a 4 m2 em uma residência unifamiliar padrão); perfil do solo e nível d'água; disponibilidade para efetuar seguramente ou contratar serviço para o manejo do lodo retido.

Referências

ABNT, 1993, 1997; Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014; Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde., 2018; Tonetti et al., 2018

3.5 Tanque | Fossa séptica compartimentada



- A** Tampa de acesso para inspeção e coleta de lodo e espuma
- B** Tubulação de entrada, direciona o fluxo para o fundo
- C** A primeira câmara funciona como zona de sedimentação
- D** Tanque impermeabilizado
- E** Acúmulo de lodo
- F** Barreira interna para retenção de lodo e espuma
- G** Acúmulo de espuma
- Tubulação de saída, capta o efluente abaixo da superfície

Recebe
→ Esgoto doméstico

Encaminha
→ Efluente tratado
→ Biogás
→ Lodo
→ Escuma

Função

Remoção de sólidos e matéria orgânica por meio de processos físicos e microbiológicos, além de retenção de óleos e graxas. Pode receber todos os efluentes domiciliares e tem como saídas o sobrenadante líquido tratado, algum biogás, lodo e espuma, esses dois últimos demandam remoção periodicamente. Trata-se de uma configuração mais elaborada das fossas sépticas tradicionais, que podem apresentar maior remoção de sólidos e matéria orgânica.

Potenciais e Aplicabilidade

Sistemas aplicáveis às escalas unifamiliar, conjuntos de domicílios ou instalações públicas, podendo receber todos os efluentes domésticos. Trata-se de uma solução robusta e mais eficiente que os tanques sépticos convencionais. Possui moderados custo e complexidade de construção e operação.

Variações

Essas soluções são comumente de formato prismático e construídas em material resistente (alvenaria, concreto, ferro-cimento, etc.); também é comum seu projeto utilizando tanques pré-fabricados em série, como bombonas. O sistema apresenta entre 3 e 6 câmaras em sequência.

Operação e Manutenção

Solução de baixa manutenção, demanda remoção periódica do lodo e da espuma retidos. Pelo acúmulo de gases nocivos (como o sulfeto de hidrogênio) e inflamável (metano), é importante tomar cuidado no manuseio de tampas e mecanismos de inspeção do sistema.

Dimensionamento

Tempo de detenção hidráulica entre 48 e 72 horas; velocidade de fluxo ascendente na primeira câmara abaixo de 0,6m/h; entre 3 e 6 câmaras de fluxo ascendente.

Eficiência

Solução de eficiência elevada na remoção de sólidos e matéria orgânica, variando de 60% até 90%, em função principalmente do projeto; de forma geral, quanto mais câmaras melhor a eficiência.

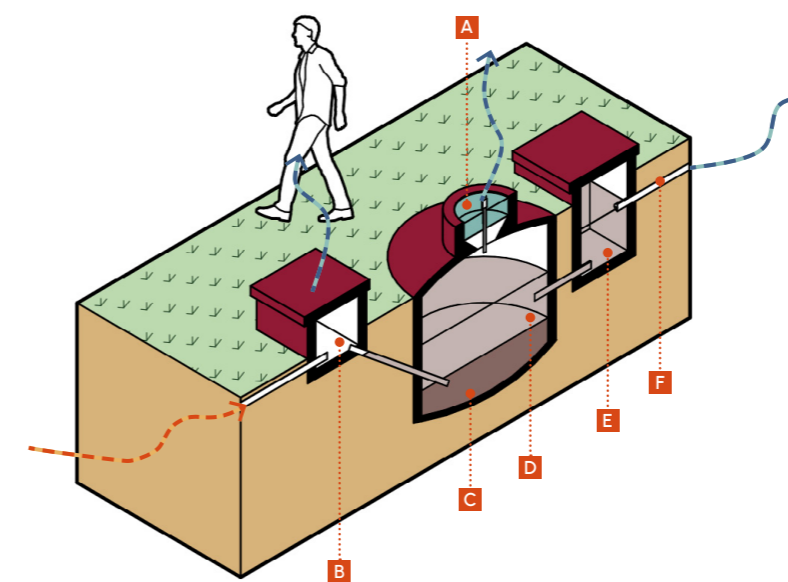
Fatores Determinantes

Disponibilidade de área; perfil do solo e nível da água subterrânea; disponibilidade para efetuar seguramente ou contratar serviço para o manejo do lodo retido.

Referências

ABNT, 1993; Tilley et al., 2014; Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde., 2018

3.6 Biodigestor



- A** Mecanismo de acesso para inspeção e coleta do biogás
- B** Antecâmara de equalização, permite a introdução de resíduos orgânicos
- C** Acúmulo de lodo
- D** Biodigestor
- E** Câmara de compensação
- F** Tubulação de saída, capta efluente abaixo da superfície

Recebe
→ Esgoto doméstico
→ Resíduos sólidos orgânicos

Encaminha
→ Efluente tratado
→ Biogás
→ Escuma
→ Lodo

Função

Remoção de matéria orgânica e produção de biogás. Biodigestores podem receber todos os efluentes domésticos, inclusive resíduos sólidos orgânicos para aumentar a produção de gás. Têm como saídas o sobrenadante líquido tratado, biogás, lodo e espuma, esses dois últimos demandam remoção periódica.

Potenciais e Aplicabilidade

Sistema aplicável às escalas unifamiliar, conjuntos de domicílios ou instalações públicas, com potencial de aproveitamento energético do biogás gerado. Esses sistemas são bastante robustos e têm elevada vida útil, sendo também muito utilizados no tratamento de excremento de animais. Apresenta custos de construção moderado a elevado e demanda mão de obra especializada para projeto e instalação.

Variações

As principais variações dos biodigestores estão associadas ao sistema de regulação da pressão interna, sendo domo flutuante (modelo indiano); domo fixo com câmara de compensação (modelo chinês, ou sistema autônomo de armazenamento do gás); e domo tipo balão. Podem ser constituídos de materiais pré-fabricados (em blendas poliméricas, como cisternas, mantas ou lonas) ou localmente (alvenaria, concreto, ferro-cimento, etc.).

Operação e Manutenção

Solução de operação delicada devido a produção e acúmulo do biogás, no entanto é robusto e demanda pouca manutenção; requer a remoção periódica de lodo e espuma acumulados na câmara principal, porém com intervalo de remoção maior do que tanques sépticos, normalmente entre 5 e 10 anos.

Dimensionamento

É feito principalmente pelo tempo de detenção hidráulica, valores típicos na literatura são 15 dias em clima quente; 25 dias em clima temperado; e para temperaturas abaixo de 15 °C, pela inibição da atividade microbiana em menores temperaturas, o sistema requer maiores dimensões, sendo menos vantajoso. Para detalhes construtivos consultar as referências.

Eficiência

Remoção de matéria orgânica varia entre 50% e 80%, remoção de sólidos abaixo de 40%. Quando operado em temperaturas entre 50 e 57 °C pode apresentar uma boa remoção de patógenos. O efluente do biodigestor pode ser usado em fertirrigação quando não tratar águas de vaso sanitário; ou ser disposto em sumidouro ou vala de infiltração.

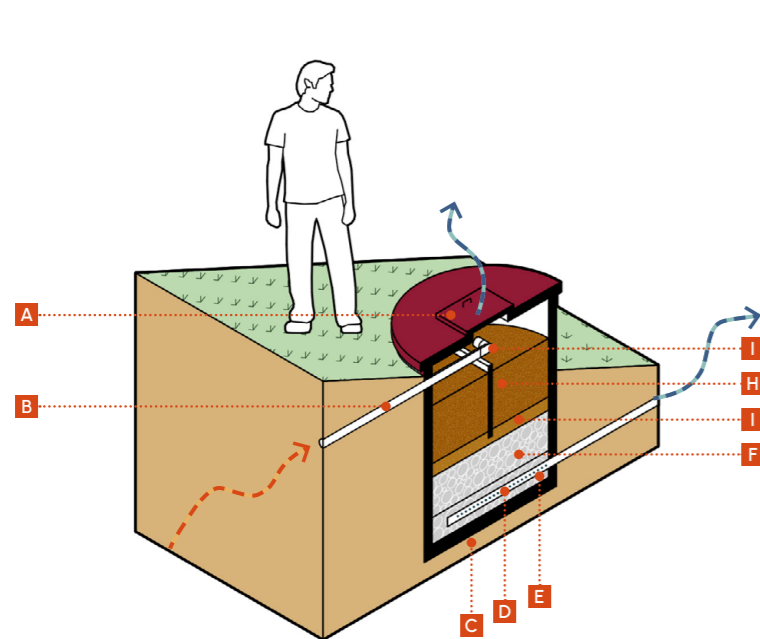
Fatores Determinantes

Tipo de efluentes a serem encaminhados para o sistema; disponibilidade de área; perfil do solo e nível da água subterrânea; disponibilidade para efetuar seguramente ou contratar serviço para o manejo do lodo retido.

Referências

FAO, 1996; Mattos e Júnior, 2011; Tilley et al., 2014; Tonetti et al., 2018

3.7 Vermifiltro



- A** Tampa de acesso para inspeção e coleta de composto
- B** Tubulação de entrada direciona o fluxo para o fundo (pode ter articulação para alternar o fluxo entre as duas câmaras)
- C** Tanque impermeabilizado
- D** Tubulação perfurada para captação do efluente
- E** Camada de brita 2 ou outros materiais para meio drenante
- F** Camada de brita 0-1
- G** Camada de areia grossa
- H** Camada de serragem/folhagem e composto
- I** Possível barreira interna para operar o sistema com duas câmaras de compostagem

Recebe

- Idealmente esgoto das bacias sanitárias
- Esgoto doméstico

Encaminha

- Efluente líquido

Função

Remoção de sólidos e matéria orgânica por meio de retenção física e decomposição biológica. Os vermes presentes nas camadas superiores iniciam o processo que é refinado pela comunidade microbiana presente nos meios filtrantes do sistema. Pode receber todos os efluentes domiciliares, embora seja recomendado receber apenas o efluente dos vasos sanitários.

Potenciais e Aplicabilidade

Sistemas aplicáveis às escalas unifamiliar, conjuntos de domicílios ou instalações públicas. Trata-se de um sistema de baixo custo e complexidade de construção e operação, embora requeira manutenção periódica para remoção do composto acumulado. Como não deve operar alagado, e a saída é na parte inferior do sistema, é um sistema bastante propício a locais com topografia acentuada.

Variações

Pode ser constituído de materiais pré-fabricados (com tanques plásticos ou de fibra de vidro) ou localmente (alvenaria, concreto, ferro-cimento, etc.). Há variações com ou sem a compartimentação do sistema em dois (para intercalar períodos de compostagem e operação no próprio sistema), além de diferentes tipos de mídia filtrante, e dimensão das camadas de preenchimento. As minhocas mais comumente utilizadas são as californianas, das espécies *Eisenia andrei* e *Eisenia fetida*.

Operação e Manutenção

Não devem ser utilizados alvejantes e outros produtos químicos agressivos na limpeza dos sistemas sanitários atendidos. Demanda a remoção de húmus a cada 6 meses, que deve ser realizada com o uso de EPI devido a carga patogênica presente no material. O efluente tratado pode ser reutilizado ou disposto. Se o sistema operar sem intercalar câmaras ativas, pode ser necessário um local para compostagem adicional do composto.

Dimensionamento

Taxa de aplicação de esgoto variando de 400 a 1000 L/m².dia. Para a inoculação, considerar aproximadamente 2,5 L de minhocas por m². As dimensões de cada camada de preenchimento variam, mas como referência, considerar entre 40 e 60 cm para a camada de vermicompostagem (de serragem/ folhagem) e para os meios filtrantes considerar um total aproximado de 50 cm (ex: 10 cm areia, 20 cm brita 0 ou 1, 20 cm brita 2).

Eficiência

Solução de eficiência moderada a elevada na remoção de matéria orgânica, variando de 50 a 80%.

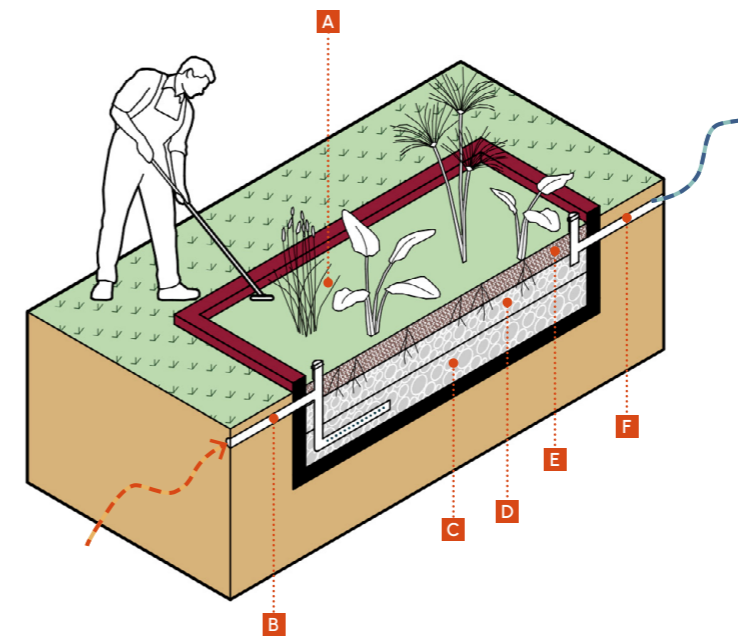
Fatores Determinantes

Caimento do terreno, perfil do solo e nível d'água; Disponibilidade de espaço construtivo; disponibilidade para manejo e aplicação do composto

Referências

Pureza et al., 2015; Santiago et al., 2015; Tonetti et al., 2018

3.8 Zona de raízes



- A** Leito plantado
- B** Tubulação de entrada com Tê para permitir a inspeção, também contribui com a entrada de ar no sistema
- C** Meio filtrante de alta granulometria
- D** Meio filtrante de baixa granulometria
- E** Meio suporte da zona de raízes
- F** Tubulação de saída com Tê para permitir a inspeção

Recebe

- Efluente de tratamento primário (fossa séptica, vermifiltro, etc.)
- Água cinza

Encaminha

- Efluente líquido
- Biomassa das plantas

Função

Utilizado no pós-tratamento de esgotos, pode também receber águas cinzas diretamente. São sistemas muito eficientes na remoção de matéria orgânica e outros poluentes, por associarem processos microbiológicos, filtragem e fitorremediação. Tem como saídas o efluente tratado que pode ser reutilizado ou disposto e restos vegetais decorrentes de sua manutenção.

Potenciais e Aplicabilidade

Sistemas aplicáveis às escalas unifamiliar, conjuntos de domicílios ou instalações públicas. Trata-se de uma solução robusta, que recebe bem flutuações na qualidade dos efluentes recebidos. É um sistema complexo que demanda projeto, construção e operação cuidadosos e adaptados às condições locais.

Variações

Esses sistemas apresentam grandes variações construtivas, sendo os principais tipos o de fluxo subsuperficial horizontal, fluxo subsuperficial vertical e o sistema de fluxo superficial, onde a água está exposta a atmosfera. Pode possuir diferentes geometrias, mas o comprimento e largura devem ser adequados ao tipo de sistema e forma de distribuição do afluente. Deve ter paredes e fundo impermeabilizados, que podem ser feitos com alvenaria, ferro cimento ou mantas geotêxteis (como camada dupla de lona 200 micra). As espécies vegetais aplicadas também variam expressivamente, devendo ser adaptadas às condições e disponibilidade local, tendo como exemplo taboa, papiro, lírio, capim tifton, bananeiras.

Operação e Manutenção

De forma geral esses sistemas apresentam pouca demanda de manutenção, sendo comum sistemas com mais de 20 anos de operação contínua. Sua cobertura vegetal, no entanto, demanda manutenção periódica de poda.

Dimensionamento

Comumente apresenta áreas de 1,5 a 3 m²/usuário. O dimensionamento do volume deve considerar o volume útil (livre dos meios de preenchimento), e não o total do sistema. Recomenda-se a leitura das referências para maiores detalhes construtivos sobre a composição das camadas e configuração das tubulações.

Eficiência

Remoção global de matéria orgânica e sólidos suspensos superior a 80%; remoção de nitrogênio inferior a 50% e de fósforo menor que 20%.

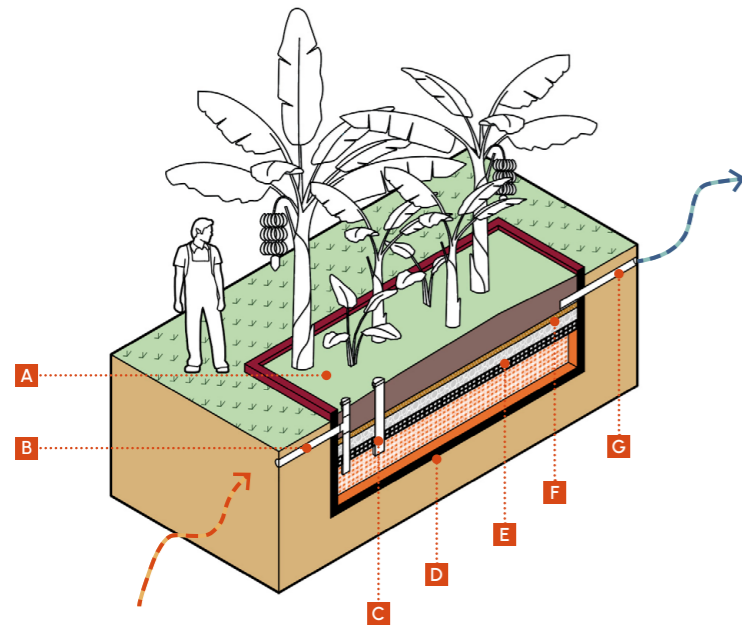
Fatores Determinantes

Condições climáticas; Disponibilidade de área; e a necessidade de uma etapa para remoção de óleos, gorduras e sólidos grosseiros, uma vez que esses materiais podem levar a colmatação do leito.

Referências

de Queiroz et al., 2012; Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014; Dotro et al., 2017; Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde., 2018; Sperling e Sezerino, 2018; Tonetti et al., 2018

3.9 Tanque de evapotranspiração | TEvap



- A** Meio suporte da vegetação
- B** Tubo de entrada conduzindo para câmara de digestão
- C** Tubo de inspeção
- D** Tanque impermeabilizado
- E** Câmara de digestão
- F** Meio filtrante
- G** Tubulação de saída, captando o efluente abaixo da superfície



Recebe

- Idealmente esgoto das bacias sanitárias
- Esgoto doméstico



Encaminha

- Biomassa das plantas
- Efluente líquido (eventualmente)

Função

Pode receber diretamente todos os efluentes domésticos, ainda que idealmente apenas o esgoto das bacias sanitárias. Apresenta elevada eficiência na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos, uma vez que em condições normais de operação não propicia efluente líquido, sendo este liberado ao ambiente por meio do processo de evapotranspiração. É composto pela adaptação de uma câmara de digestão anaeróbica sob um leito filtrante e uma zona de raízes. Robusto e de baixa manutenção, esses sistemas demandam construção cuidadosa para boa operação.

Potenciais e Aplicabilidade

Sistemas aplicáveis às escalas unifamiliar, conjuntos de domicílios ou instalações públicas. Trata-se de uma solução com grande potencial quando há disponibilidade de área, condições topográficas e perfil do solo favoráveis a escavação.

Variações

Normalmente de formato prismático, suas principais variações construtivas se referem: ao material de impermeabilização (alvenaria, ferrocimento, manta geotextil); à composição do fundo falso (câmara de tijolos vazados ou túnel de pneus); aos materiais de preenchimento (entulho, brita etc.); à vegetação aplicada. Esse sistema pode ser adaptado para receber águas cinza, envolvendo um estrutura complementar com linha de efluente líquido, e não apenas evapotranspiração. Mesmo sem esta previsão, é sempre importante considerar um sistema de extravasão de efluente líquido.

Operação e Manutenção

Sua elevada robustez confere ao sistema uma pequena demanda por manutenção; a exceção da necessidade de poda periódica da cobertura vegetal. Embora ainda não reportado um intervalo específico, há necessidade de coleta de lodo acumulado na câmara de digestão.

Dimensionamento

área de 1,4 m²/usuário em climas quentes a 2,0 m²/usuário em clima temperado. O tanque tem profundidade entre 1,00 m e 1,20 m. Recomenda-se a leitura das referências para mais detalhes construtivos.

Eficiência

Elevada remoção de sólidos, matéria orgânica e nutrientes. Mesmo considerando a saída esporádica de efluente líquido, pode-se observar remoção de matéria orgânica superior a 80%.

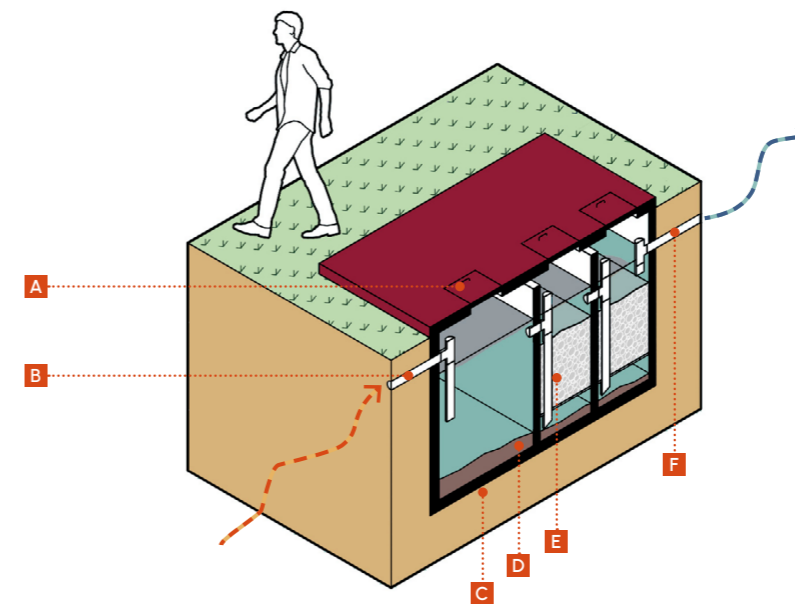
Fatores Determinantes

Disponibilidade de área (elevado requisito); condições topográficas e perfil do solo; condições climáticas; espécies de planta disponíveis e de interesse (não sendo recomendadas espécies com fins alimentícios que tenham contato direto com o solo).

Referências

Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde., 2018; Tonetti et al., 2018.

3.10 Filtro anaeróbico de fluxo ascendente



- A** Tampas de acesso para inspeção e coleta de lodo e espuma
- B** Tubulação de entrada, direcionando o fluxo para o fundo
- C** Tanque impermeabilizado
- D** Acúmulo de lodo
- E** Meio suporte
- F** Tubulação de saída, captando o efluente abaixo da superfície



Recebe

- Esgoto doméstico



Encaminha

- Efluente tratado
- Lodo
- Biogás (pouco)

Função

Comumente empregado na complementação do tratamento de tanques sépticos, esses sistemas, anaeróbios, também podem receber águas de vaso sanitário diretamente, desde que prevista uma câmara de sedimentação anterior a zona do filtro. Apresenta um desempenho robusto e estável, com eficiência na remoção de sólidos e matéria orgânica.

Potenciais e Aplicabilidade

Sistemas aplicáveis às escalas unifamiliar, conjuntos de domicílios ou instalações públicas, esses sistemas têm pouca manutenção, embora demande um longo tempo de inicialização e requer mão de obra especializada para sua construção (especialmente na estruturação do fundo falso).

Variações

Operando em regime afogado esses sistemas normalmente apresentam fluxo ascendente. Suas principais variações são em relação ao seu formato, cilíndrico ou prismático; e o material de preenchimento do filtro, comumente de brita ou seixo, há relatos de sistemas preenchidos com bambu e cascas de coco operando a mais de 10 anos. Esses sistemas podem ser construídos localmente (alvenaria, ferro cimento, etc.) ou adquiridos pré-fabricados (normalmente em blenda polimérica).

Operação e Manutenção

De forma geral o sistema demanda pouca manutenção. No entanto, havendo colmatagem do meio filtrante, sua remoção e limpeza é complicada.

Dimensionamento

Altura do material de enchimento 1,20 m; nível da calha vertedora e fundo falso 0,30 m. O volume útil médio do filtro é de 250 L/usuário (para seu detalhamento consultar a norma referenciada). Como referência também, recomenda-se um tempo de detenção hidráulico de 12 a 36 horas.

Eficiência

Apresenta eficiência de remoção de matéria orgânica moderado, entre 50 a 80%.

Fatores Determinantes

Tipo de efluente entrando no sistema; disponibilidade de área; perfil do solo e nível da água subterrânea; disponibilidade para efetuar seguramente ou contratar serviço para o manejo do lodo retido.

Referências

ABNT, 1997; Tilley et al., 2014; Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde., 2018; Tonetti et al., 2018

4.

SOLUÇÕES
PARA COLETA

A etapa de coleta do LF é, de forma geral, a mais delicada nos sistemas de esgotamento sanitário baseados no manejo de lodo fecal, devido ao risco de exposição e contato humano direto com o lodo. Seu objetivo principal é a remoção do lodo acumulado nos sistemas isolados para que as estruturas de contenção possam continuar a serem utilizadas de forma apropriada. A maior preocupação neste momento deve ser a realização da operação e pós-operação (fechamento do sistema e limpeza do local) de forma higiênica (Bassan et al., 2014). Alguns autores associam essa etapa à de transporte, no entanto, sua execução não necessariamente ocorre em conjunto, prática comumente reportada em outros países (Bassan et al., 2014; Simiyu, 2017; Murthy, 2018). Esta possível dissociação é bastante importante, uma vez que dependendo das condições locais pode ser feito por equipamentos e atores diferentes dos equipamentos e atores envolvidos com o transporte do lodo. Esta situação é bastante plausível na realidade brasileira, especialmente quando consideramos sistemas modernos que apresentam sistema de remoção de lodo autônomo, como as descargas por diferencial hidrostático, que permitem a fácil retirada do lodo de dentro dos sistemas para tratamento e disposição local. Por essas razões optou-se por abordar as etapas de remoção e transporte do lodo separadamente.

Sistemas de coleta, com a função básica de remover o lodo fecal de dentro das soluções individuais, são bastante diversos e podem ser genericamente divididos entre manuais e motorizados. Sistemas manuais apresentam,

de forma ampla, menor performance e capacidade, mas são simples, mais acessíveis e móveis, possibilitando a operação em locais de difícil acesso, além de apresentarem baixo custo de aquisição/ confecção, operação e manutenção. Já os sistemas motorizados, embora com custos mais elevados de aquisição, operação e manutenção, se destacam por uma elevada performance (maiores volumes removidos em menos tempo). Diante dessas características básicas fica evidente a tendência à coexistência de mecanismos manuais e mecânicos em um sistema, cada um mais apto para contextos distintos. A seleção da solução, ou tecnologia, de coleta a ser empregada é determinada basicamente por três aspectos: a qualidade do lodo em relação ao seu estado de liquefação; a condição de acesso ao sistema (que é determinante quanto ao porte e mobilidade do equipamento); e acessibilidade das tecnologias, no que se refere a custo e existência de materiais e serviços na região. O diagrama a seguir exemplifica o processo de tomada de decisão para seleção de soluções para remoção do lodo. (Thye, Templeton e Ali, 2011; Bassan et al., 2014; GOAL, 2016)

O momento da coleta do LF é ainda uma excelente oportunidade para inspeção dos sistemas isolados, permitindo a identificação de problemas estruturais e/ ou operacionais. Nos casos em que o serviço é realizado localmente, pelos próprios usuários ou proprietários do sistema, é importante considerar formas de compartilhamento das informações de status do sistemas aos responsáveis pelo esgotamento sanitário no município. Por ou-

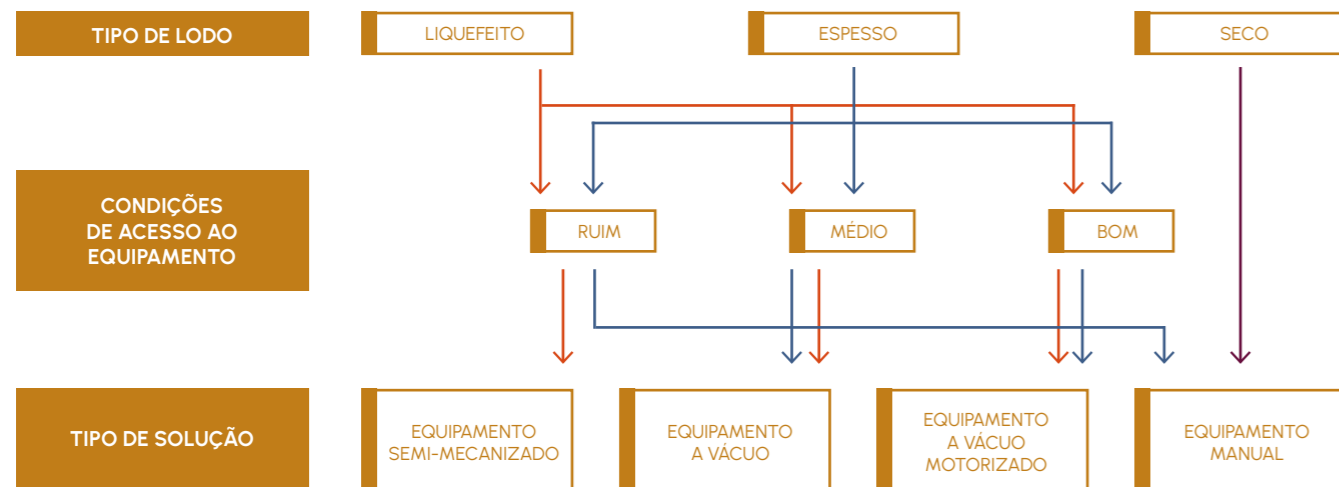


Figura 3: Diagrama de auxílio à decisão do tipo de solução a ser utilizado na coleta de lodo fecal

tro lado, se a remoção do lodo for realizada por prestadores de serviço, normalmente a mesma equipe de transporte de lodo (como é o caso com serviços limpa fossa), é fundamental ressaltar a importância da incrementar o escopo das atividades para incluir a inspeção das soluções de contenção (Bassan et al., 2014)

No momento de esvaziamento dos sistemas muitos fatores devem ser levados em consideração e diversas são as atividades a serem cumpridas. Inicialmente é importante conciliar o tipo de solução adotada localmente aos mecanismos de remoção de lodo, isso porque cada tecnologia de armazenamento irá produzir um lodo com características específicas; por exemplo, lodos armazenados por longos períodos de tempo tendem a apresentar maior viscosidade além de uma camada sedimentada de remoção mais complicada, demandando maior esforço ou até mesmo o uso de jatos de água pressurizada para sua remoção (Bassan et al., 2014; Septien et al., 2018). De forma ampla, e como adaptação dos processos indicados pelo IWA (International Water Associa-

tion), as seguintes atividades devem ser percorridas no processo de coleta do lodo:

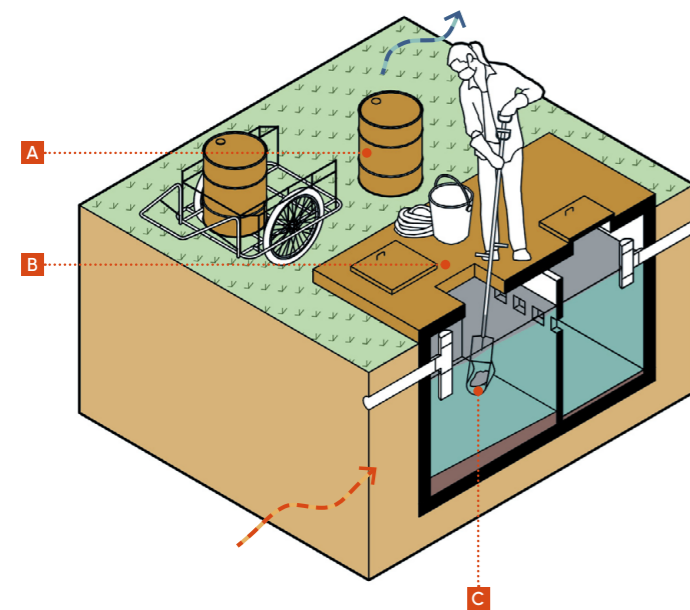
- a) Elaboração, manutenção e difusão de calendário de remoção do lodo;
 - Caso seja realizado por equipe externa, fazer prévia comunicação com o usuário para agendamento;
 - Negociar a cobrança da taxa de coleta, caso seja o modelo adotado;
- b) Identificar e localizar os sistemas que necessitam ser esvaziados;
- c) Avaliar a acessibilidade do sistema;
- d) Acionar a abertura de acesso ao sistema;
- e) Coletar o lodo;
 - Fazer a avaliação do sistema de armazenamento e contenção;
- f) Executar o fechamento do sistema;
- g) Fazer a limpeza após coleta;
- h) Garantir inspeção final e anotação/comunicação de deficiências ao administrador e ao usuário.

Existem diferentes sistemas para efetivar a remoção segura do lodo. A seguir são apresentadas as principais soluções de esvaziamento consolidadas com aplicações pelo mundo, e potenciais para os contextos brasileiros. As soluções são apresentadas aqui de acordo com o grau de mecanização.

Apesar de sua aparência rudimentar, sistemas manuais de coleta mostram-se essenciais em localidades de difícil acesso para equipamentos mecanizados, normalmente de maior porte, como em vielas, locais com trânsito impedido a veículos (por exemplo, fundos de terrenos em áreas urbanas) e comunidades remotas/ isoladas. São sistemas comuns devido ao seu baixo custo de aquisição/ confecção, operação e manutenção. Além disso permitem também a coleta de lodos muito densos, como os de sistemas secos (O'Keefe et al., 2015; Harada, Strande e Fujii, 2016; Simiyu, 2017). Os sistemas mecanizados são mais práticos e eficientes, permitindo um atendimento de maior número de domicílios em um mesmo espaço de tempo, além de menor esforço físico pelos operadores. No entanto envolvem custos mais elevados e não são viáveis a qualquer contexto de ocupação.



4.1 Coleta direta | Pás e baldes



- A** Tanque para armazenamento e transporte
B Balde com corda
C Pá adaptada

Recebe
→ Lodo

Encaminha
→ Lodo

Função

Remoção do lodo retido nas soluções individuais de esgoto, adequada para pequena e média escala. Ainda que envolva trabalho manual e maior exposição contêudo da fossa, se feito com equipamentos de proteção individual e pás e recipientes adequados, trata-se de uma solução relevante para muitos contextos, por ser mais acessível e não depender de sistemas motorizados nem vias de acesso muito estruturadas. Além disso, constitui uma solução versátil, capaz de coletar qualquer tipo de lodo, além de n especialmente lodos solidificados que não podem ser bombeados, como em fossas sépticas com lodo de muitos anos ou no caso da fossa seca compostável.

Potenciais e Aplicabilidade

aplicável a qualquer contexto, considerando sistemas unifamiliares ou de um conjunto de domicílios. A coleta direta permite acesso a qualquer sistema individual, mesmo aqueles no interior das casas ou em local de acesso impossibilitado a sistemas de bombeamento. Não apresenta problemas com a presença de materiais grosseiros e utiliza mão de obra local sem demanda por especialização.

Variações

Os elementos básicos para a coleta direta podem variar, tanto no caso da pá como no do recipiente de coleta. As pás adaptadas devem ser resistentes possuir dispositivo para abrir e fechar o compartimento de coleta (para remover o lodo de forma dedicada). Baldes com cordas podem ser práticos para coletar materiais sobrenadantes. Para o armazenamento pode ser feito o uso de bombonas de plástico ou tonéis, desde que permitam a vedação segura do recipiente quando fechados.

Operação e Manutenção

A coleta direta é pouco complexa, mas requer muito cuidado para garantir a segurança do operador e a higienização do local após a coleta. EPIs como máscara, óculos e luvas são essenciais para este trabalho, além de instrumentos para coleta e armazenamento do lodo em bom estado.

Dimensionamento

-

Eficiência

Baixa, o esvaziamento de um sistema individual pode levar de um a diversos dias, dependendo do volume de condição do lodo.

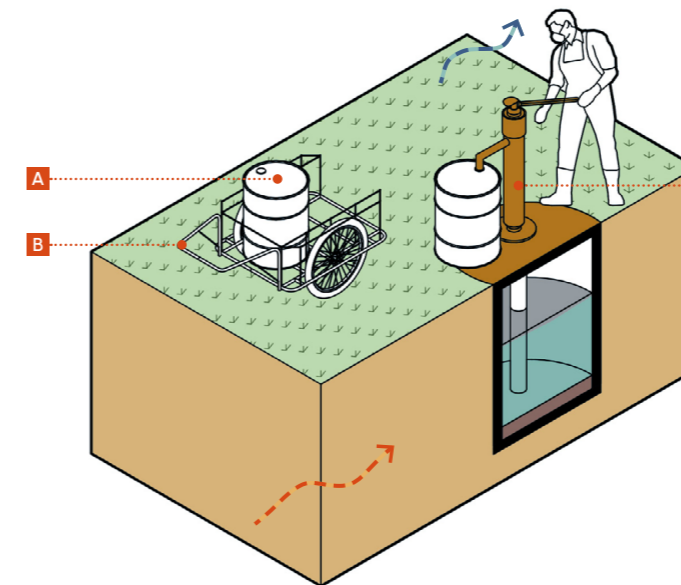
Fatores Determinantes

Condições de acessibilidade ao local da solução individual; disponibilidade e viabilidade local de serviços mecanizados de coleta.

Referências

Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014; GOAL, 2016

4.2 Bomba de deslocamento positivo



- A** Tanque para armazenamento e transporte
B Carrinho para transporte
C Bomba de deslocamento positivo

Recebe
→ Lodo

Encaminha
→ Lodo

Função

Remoção do lodo retido nas soluções individuais de esgoto, adequada para pequena e média escala. Trata-se de uma solução bastante interessante por oferecer maior segurança e eficiência do que a coleta direta e ainda não depender de sistema mecanizado para operar. O bombeamento neste caso é feito pela movimentação manual da alavanca. Este sistema é apropriado também para coleta de lodos de baixa densidade (mas não liquefeitos).

Potenciais e Aplicabilidade

Sistema bastante acessível, com baixo custo de fabricação e manutenção, podendo ser construídos e mantidos localmente. Apresentam também uma elevada mobilidade e reduzem o risco de contato do operador com o lodo coletado. Assim, em contextos isolados, ou de elevados custos de serviços mecanizados de coleta, constitui uma importante alternativa para a remoção do lodo.

Variações

Diversos esquemas construtivos podem ser encontrados nas referências, mas as duas principais variedades construtivas são o uso de êmbolo ou pistão. Esse equipamento pode ser construído localmente com materiais como cano de aço ou PVC (alguns materiais, como o PVC, podem tornar o equipamento mais frágil). Os recipientes de armazenamento também são variados, podendo utilizados baldes, bombonas de plástico ou tonéis, desde que impermeáveis, com estrutura resistente e fechamento seguro.

Operação e Manutenção

Durante a operação dois aspectos centrais são o cuidado com o entupimento por material grosseiro depositados no sistema individual; e atenção aos respingos na transferência para o recipiente de transporte. A limpeza do material após cada utilização é essencial para evitar entupimentos por acúmulo de material seco e a quebra de componentes macios, como borrachas. O uso de EPIs (máscara, óculos e luvas de segurança são recomendados em todas as etapas do manejo do lodo).

Dimensionamento

Deve ser projetado para coleta até 3 m de profundidade. A FUNASA propõe uma bomba de sucção construída em cano de PVC de 40 mm de diâmetro, 2,30 m de comprimento e com um êmbolo (20 mm) contendo uma borracha de formato esférico na parte interna (inferior).

Eficiência

A eficiência coleta varia de 30 a 60 L/min.

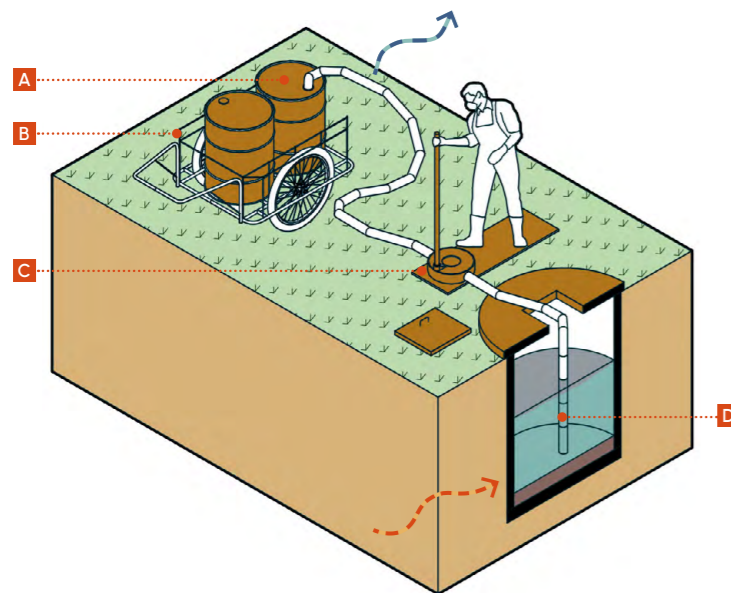
Fatores Determinantes

Condições de acessibilidade ao local da solução individual; disponibilidade e viabilidade local de serviços mecanizados de coleta; acesso a peças de reposição.

Referências

Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014; GOAL, 2016; Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde., 2018

4.3 Bomba diafragma



- A** Tanque para armazenamento e transporte
- B** Carrinho para transporte
- C** Bomba diafragma
- D** Tubulação de sucção

 **Recebe**
→ Lodo

 **Encaminha**
→ Lodo

Função

Remoção do lodo retido nas soluções individuais de esgoto, adequada para qualquer escala. trata-se de uma solução bastante interessante por oferecer maior segurança e eficiência do que a coleta direta e ainda não depender necessariamente de sistema mecanizado para operar. O bombeamento neste caso pode ser feito de forma manual (pela movimentação da alavanca) ou motorizada. Este sistema é utilizado na coleta de lodos fluidizados e semi-fluidizados.

Potenciais e Aplicabilidade

Essa solução restringe consideravelmente o contato do operador com o lodo, tornando a operação de coleta mais segura. Por apresentarem maior eficiência de coleta de lodo também melhoram as condições de trabalho dos operadores. Esses equipamentos conseguem acessar locais de difícil acesso devido ao pequeno porte, permitindo a passagem por vias estreitas e instalação e em locais com área restrita.

Variações

As principais variações dessas bombas estão relacionadas a motorização do sistema de bombeamento. Assim, o sistema pode funcionar com alavanca para bombeamento manual ou mecanizado. Os recipientes de armazenamento também são variados, podendo utilizados baldes, bombonas de plástico ou tonéis, desde que impermeáveis, com estrutura resistente e fechamento seguro (se possível vedado).

Operação e Manutenção

Esses sistemas são de operação simples, mas podem ter problemas de entupimento por materiais grosseiros depositados nos sistemas individuais. Problemas com o selo da bomba também são comumente reportados, sendo importante considerar seu estoque. O uso de EPIs (máscara, óculos e luvas de segurança são recomendado em todas as etapas do manejo do lodo).

Dimensionamento

Eficiência

Sistemas manuais coletam até 100 L/min; motorizados podem coletar até 330 L/min. A profundidade máxima de operação é de 3,5 m (manual); e até 15m (mecanizada).

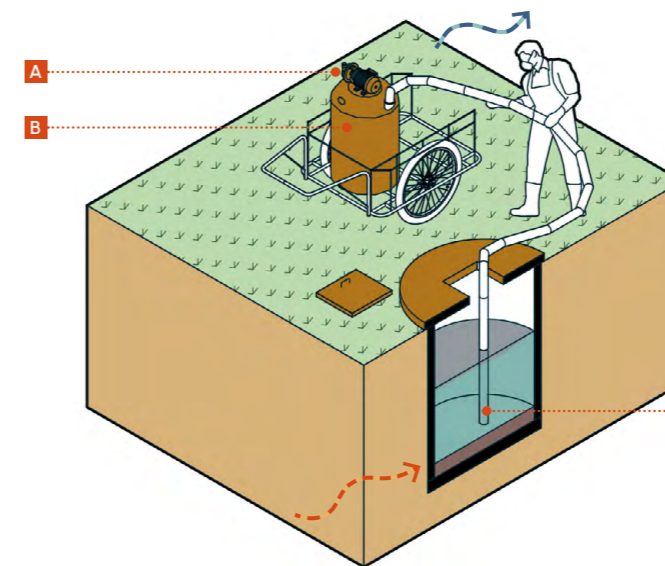
Fatores Determinantes

Condições de acessibilidade ao local da solução individual; disponibilidade e viabilidade local de serviços mecanizados de coleta; acesso a peças de reposição.

Referências

Bassan et al., 2014; Rogers et al., 2015

4.4 Bomba a vácuo



- A** Bomba a vácuo
- B** Tanque para armazenamento e transporte
- C** Tubulação de sucção

 **Recebe**
→ Lodo

 **Encaminha**
→ Lodo

Função

Remoção do lodo retido nas soluções individuais de esgoto, adequada para qualquer escala. em locais Este sistema é utilizado na coleta mecanizada de lodos fluidizados e semi-fluidizados que envolve equipamentos de maior porte, como por exemplo o utilizado em caminhão limpa fossa. Por serem sistemas mais caros, e de maiores dimensões, apresenta menor acessibilidade, tanto para locais de mais difícil acesso (condições viárias, distância a ser percorrida, condições de acesso à solução individual) e com menos recursos disponíveis para viabilizar este serviço.

Potenciais e Aplicabilidade

Trata-se de uma tecnologia consolidada na coleta de lodos fecais de alta eficiência e segurança operacional, interessante para contextos em que o acesso dos equipamentos não é restritivo ou impeditivo (em termos de distância e condições do sistema viário).

Variações

Disponível em diversos modelos e configurações, esses equipamentos podem ser facilmente adaptados a veículos diversos para o transporte, com ou sem tanque de transporte do lodo fecal coletadas. Sistemas a vácuo estão disponível em diferentes modelos e configurações, normalmente de acordo com sua potência. Vale notar o desenvolvimento de algumas tecnologias de operação manual não motorizada, como o MAPET. os sistemas de armazenamento destes sistemas costumam ser mais elaborados para este uso em específico, mas podem ser adaptados com recipientes como bombonas ou tonéis com fechamento apropriado.

Operação e Manutenção

Equipamentos a vácuo requerem mão de obra especializada na sua operação e manutenção. Se bem operados e mantidos limpos, apresentem pouca demanda por intervenções. Como esta solução não é adequada para lodos muito densos ou secos, requer procedimentos prévios para fluidização.

Dimensionamento

Alguns parâmetros de dimensionamento são a vazão de lodo fecal pretendida; a capacidade do tanque de recebimento; e a estrutura onde será montada.

Eficiência

Sistemas mecanizados têm vazões variando de 76 a 9.000 L/min. (Possíveis modelos manuais operam com uma vazão de até 40 L/min e conseguem elevar o lodo de uma profundidade de até 3 m).

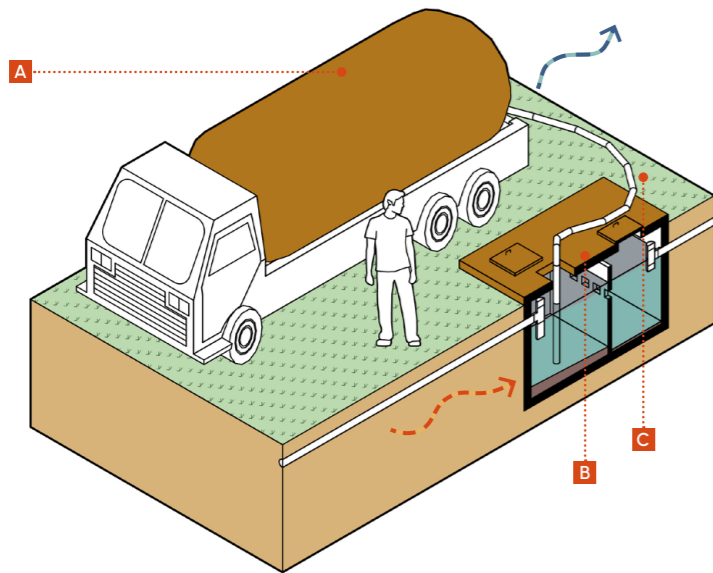
Fatores Determinantes

Condições de acessibilidade ao local da solução individual; disponibilidade e viabilidade local de serviços mecanizados de coleta; acesso a peças de reposição.

Referências

O'Riordan, 2009; Thye, Templeton e Ali, 2011; Still e O'Riordan, 2012; Sugden, 2012; Bassan et al., 2014

4.5 Caminhões limpa fossa



- A** Tanque de armazenamento e transporte
- B** Sistema de acesso e sucção

- C** Bomba a vácuo integrada

 **Recebe**
→ Lodo

 **Encaminha**
→ Lodo

Função

Remoção do lodo retido nas soluções individuais de esgoto, adequada para localidades com boas condições de acesso dos caminhões e distâncias que viabilizem financeiramente a contratação do serviço. Este sistema faz a coleta mecanizada de lodos fluidizados e semi-fluidizados.

Dimensionamento

Bombeamento vai depender capacidade da bomba e motorização do caminhão. A extensão da mangueira deve levar em conta que muitos dos domicílios não permitem aproximação dos caminhões até a solução individual, de forma que o dispositivo deve ser extenso o suficiente para cobrir essas distâncias.

Potenciais e Aplicabilidade

Considerando que são sistemas mais caros, tendem a ser menos acessíveis em escala comunitária. Sendo mais viável em escala municipal, costuma ter custo operacional pouco acessível para atender localidades distantes e com condições de acesso dificultadas (condições viárias, distância a ser percorrida, condições de acesso à solução individual) e com menos recursos disponíveis para viabilizar este serviço.

Eficiência

Sistemas mecanizados têm vazões variando de 76 a 9.000 L/min.

Variações

A variação desta solução é referente principalmente ao mecanismo e capacidade de bombeamento, tipo e extensão da mangueira e instalação ou não de mecanismos de retenção de sólidos na abertura da mangueira.

Fatores Determinantes

Taxa de geração de lodo no local; distâncias a serem percorridas; disponibilidade de mão de obra especializada; disponibilidade de peças para manutenção.

Operação e Manutenção

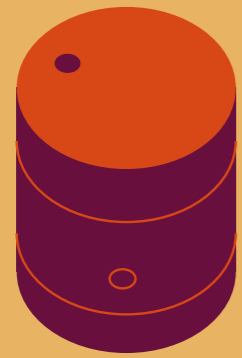
São sistemas de operação e manutenção complexos, sendo necessário serviço especializado para manusear o sistema de acionamento e controle da bomba, alocação da mangueira e aporte do lodo (além da condução do caminhão, descarga do lodo e atividades de manutenção dos equipamentos).

Referências

Sugden, 2012; Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014

SOLUÇÕES PARA TRANSPORTE

5.



A etapa de transporte, tanto em sistemas que contam com redes de coleta quanto naqueles baseados no manejo do lodo fecal, é a de maior custo e complexidade operacional (Além Sobrinho e Tsutiya, 1999; Dodane, Sow e Strande, 2012; Schoebitz et al., 2017). Assim, a sua concepção detalhada e da maneira mais eficiente possível é essencial tanto para viabilização de implantação do sistema, quanto para sua manutenção. Nos sistemas que contam com redes de coleta, essa etapa é realizada pelas tubulações e órgãos acessórios da rede (Além Sobrinho e Tsutiya, 1999). Já nos sistemas baseados no MLF, em que o transporte é efetivado por veículos com recipientes próprios de armazenamento do lodo, as soluções os podem ser divididas entre aqueles com tração manual ou mecanizada. Soluções não-mecanizadas são altamente manobráveis, podendo acessar localidades restritas, no entanto possuem reduzida capacidade de armazenamento, baixa velocidade de deslocamento e percorrem pequenas distâncias. Equipamentos motorizados, por outro lado, têm elevada capacidade de transporte e velocidade, com grande autonomia de deslocamento; porém, encontram dificuldades de acessar determinados locais devido ao seu tamanho e baixa manobrabilidade. A Tabela 1 aponta características gerais dos principais mecanismos de transporte de lodos fecais (Sugden, 2012; Bassan et al., 2014).

Quando se opta pelo esgotamento sanitário baseado no manejo dos lodos fecais, à medida que área de cobertura do sistema aumenta, caso opte-se pela centralização da unidade de

tratamento, pode ocorrer uma complicação na estruturação de uma logística eficiente de coleta do lodo, devido às grandes distâncias a serem percorridas entre coleta e tratamento do lodo. Quanto maior o percurso a ser feito, mais caro o serviço e maior o risco de disposição inadequada do material coletado (em terrenos, córregos ou lagos). Nesse momento é essencial fazer um planejamento integrado entre a forma de transporte, a área de cobertura, localização da estação de tratamento e pontos de reuso do lodo. Além da distribuição estratégica de centrais para tratamento do material, Estações de Transferência (ET) constituem uma importante solução para otimizar a logística do material.

As ETs, posicionadas estrategicamente entre a área de cobertura e estação de tratamento, têm a função de acumular o lodo coletado, até atingir volumes que justifiquem o transporte do lodo por veículos de maior capacidade e velocidade até estações de tratamento distantes. São caracterizadas por capacidades elevadas de armazenamento de lodo, podendo ser fixas ou móveis e, ainda, possuir ou não alguma forma de tratamento preliminar, como remoção de sólidos grosseiros ou sedimentação do lodo. Ressalta-se a importância do correto planejamento quando da instalação ou alocação de ETs, devido a problemas com o aceite por parte da população local, similar ao enfrentado na alocação de ETEs e estações elevatórias de esgoto em sistemas convencionais. A oferta de serviços na estação, como banheiros públicos, ajudam a amenizar tais problemas de rejeição da vizinhança.

	MANOBRABILIDADE	CAPACIDADE (L)	VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO (KM/H)	AUTONOMIA (KM)
CAMINHÃO TANQUE - GRANDE	Muito pequena	10 000 OU MAIS	60	100
CAMINHÃO TANQUE - MÉDIO	Pequena	3 000	60	100
CAMINHÃO TANQUE - PEQUENO	Média	1 500	50	50
TRICICLOS MOTORIZADOS	Alta	400	50	10
CARRINHO DE MÃO	Muito alta	130	2,5	1

Tabela 1: Características de manobrabilidade, capacidade, velocidade e autonomia de deslocamento para diferentes soluções de transporte de LF. Adaptado de Bassan et al. (2014) e Sugden (2012)

Ainda que não específicos às atividades de transporte, seguem alguns aspectos centrais na determinação da localização estratégica de centrais de tratamento de lodo e Estações de Transferência com base em Bassan et al., 2014:

1. LOCALIZAÇÃO OTIMIZADA em proximidade da área atendida, permitindo tanto o alcance rápido pelos equipamentos de menor autonomia atuantes na coleta direta do LF, como também para o acesso de equipamentos de grande porte, que irão realizar seu esvaziamento;

2. DISPONIBILIDADE DE ÁREA, especialmente para estações fixas que podem apresentar uma maior dimensão, inclusive para implementação de etapas preliminares de tratamento;

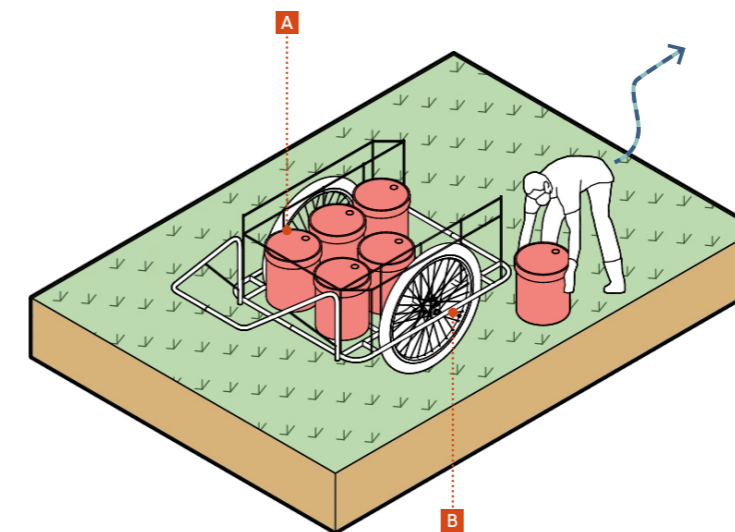
3. ACEITAÇÃO COMUNITÁRIA, já que os equipamentos, assim como ocorre com a instalação de estações de tratamento de esgoto, podem gerar preocupações locais

com relação a problemas com odor, presença de vetores e circulação de veículos pesados ;

4. ADEQUABILIDADE AOS REQUISITOS DE LICENÇAS pertinentes à sua instalação.

Existem diferentes soluções para o transporte, seja por meio de redes de coleta simplificadas de esgotos sanitários, seja por veículos de transporte de lodo fecal (que podem ser divididos entre as variadas formas de tração. É importante ressaltar, contudo, que cada caso deve ser avaliado de acordo com suas peculiaridades, abrindo-se, sempre, espaço para inovações que melhor se adaptem ao contexto atendido.

5.1 Carreta manual



A Carreta manual

B Tambores de armazenamento

Encaminha

→Lodo

→Composto de sistemas de container

→Urina de sistemas de container com separação

Dimensionamento

Devem ser projetados para transporte não mais do que 200 L.

Eficiência

Esses sistemas apresentam normalmente volume de transporte entre 130 a 200 L. Com velocidade média de deslocamento de 2,5 km/h, carretas manuais têm autonomia variando de 1 a 3 km/dia.

Fatores Determinantes

Topografia local; qualidade do arruamento; distância a ser percorrida entre soluções individuais e local de tratamento do lodo; disposição local para o serviço manual.

Referências

Sugden, 2012; Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014

Função

Transporte de lodos coletados em domicílios e estabelecimentos comerciais em contextos que envolvam curtas distâncias e com cargas diárias de transporte moderadas.

Potenciais e Aplicabilidade

Por apresentarem uma elevada manobrabilidade esses sistemas são ideais para locais onde há dificuldade de acesso a veículos motorizados. Também se configuram uma boa solução no transporte de pequenas massas por curtas distâncias, como sistemas individuais isolados. Com baixos custos capitais e de operação e manutenção, trata-se de uma solução potencial para contextos com baixa disponibilidade de recursos para esta finalidade.

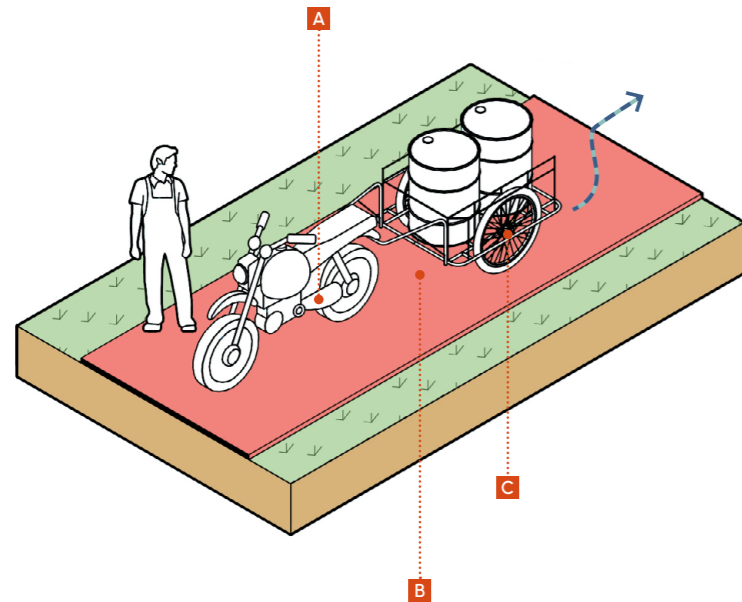
Variações

Esses sistemas variam em relação a sua capacidade de transporte e a forma de tração, podendo ser adaptados em triciclos com pedais e tração animal. Qualquer carreta, comumente utilizadas para outros propósitos, podem ser utilizadas, a depender da disponibilidade local.

Operação e Manutenção

Trata-se uma solução de com baixa complexidade operacional e de fácil manutenção. Envolve, no entanto, a disposição local para carregar e movimentar a carreta de forma manual.

5.2 Carreta movida a motocicleta ou triciclo



- A Ciclomotor para tração
- B Carreta manual

- C Tambores de armazenamento

Encaminha

- Lodo
- Composto de sistemas de container
- Urina de sistemas de container com separação

Função

Transporte de pequenos volumes de lodo coletado, a ser transportado por distâncias moderadas, com razoável velocidade de deslocamento.

Potenciais e Aplicabilidade

Por ser um veículo de pequeno porte pode acessar alguns espaços que são restritos a caminhões e caminhonetes. Apresenta uma melhor capacidade de transporte em relação às carretas manuais e representa uma melhora nas condições de trabalho do operador, além de melhorar a eficiência de transporte do lodo por se deslocar a velocidades mais elevadas.

Variações

A principal variação se dá em relação a propulsão, podendo ser manual ou motorizada, alternado a capacidade de transporte, velocidade de deslocamento e autonomia de viagem. Sistemas de bombeamento do lodo podem ser adaptados.

Operação e Manutenção

Trata-se uma solução de com baixa complexidade operacional e de fácil manutenção, envolvendo materiais e equipamentos comumente encontrados localmente.

Dimensionamento

Capacidade de transporte de acordo com a propulsão, até 200 L para sistemas manuais e até 400 L para sistemas motorizados.

Eficiência

Com capacidade de transportar até 400 l (1.000 kg), esses sistemas se deslocam a até 50 km/h e tem autonomia média de 10 km.

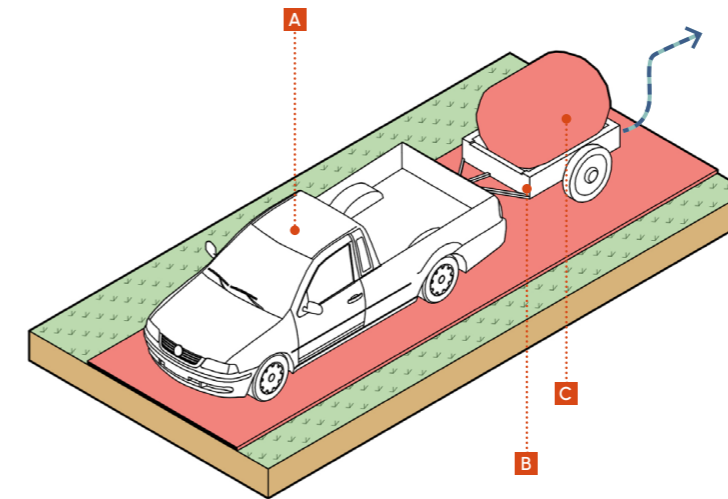
Fatores Determinantes

Qualidade do arruamento; distância a ser percorrida entre soluções individuais e local de tratamento do lodo; disposição local para o serviço manual (caso o transporte não seja mecanizado).

Referências

Sugden, 2012; Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014

5.3 Carreta para veículo de quatro rodas



- A Tração motorizada por veículo de médio porte
- B Carreta de transporte

- C Tanque de armazenamento

Encaminha

- Lodo
- Composto de sistemas de container
- Urina de sistemas de container com separação

Função

Transporte de lodos coletados em volume, velocidade e distância medianas.

Potenciais e Aplicabilidade

Com manobrabilidade média e capacidade de transporte e autonomia consideráveis, esses veículos são mais rápidos e ágeis do que caminhões de grande porte, sendo adequados para atender comunidades com número moderado de domicílios. Constitui uma importante alternativa quando sistemas convencionais de limpeza fossa são inexistentes ou pouco viáveis financeiramente, envolvendo apenas um tanque adaptado, a ser rebocado por carros, caminhonetes, tratores etc.

Variações

As variações são referentes a capacidade de tração dos veículos utilizados; o volume, formato e material dos tanques, bem como do sistema de rodagem e engate da carreta. Alguns equipamentos de armazenamento podem vir com bombas para coleta de lodo adaptadas.

Operação e Manutenção

São sistemas de operação e manutenção mais complexos, sendo necessário considerar a acessibilidade a serviços com treinamento para o carregamento, transporte e descarga dos lodos coletados.

Dimensionamento

De acordo com a capacidade de transporte da motorização utilizada.

Eficiência

Com capacidade de transporte de até 1.500 a 3.000 L, esses veículos se deslocam a velocidades médias de 60 km/h e costuma-se considerar estes sistemas para distâncias de até 100 km.

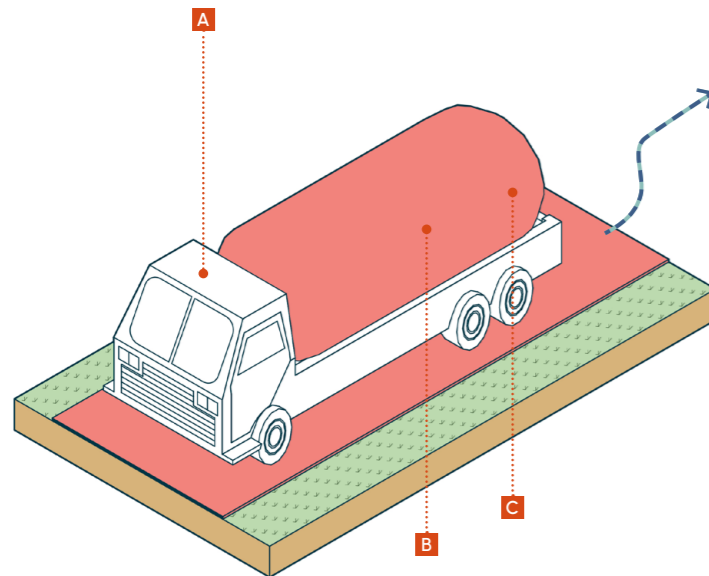
Fatores Determinantes

Taxa de geração de lodo no local; distâncias a serem percorridas; disponibilidade de peças para manutenção devem ser considerados, especialmente se tiverem sistemas de bombeamento acoplados.

Referências

Sugden, 2012; Bassan et al., 2014

5.4 Caminhões limpa fossa



- A** Tração motorizada por veículo de grande porte
- B** Tanque de armazenamento e transporte
- C** Sistema de sucção a vácuo

Encaminha
→ Lodo

Função

Transporte de grandes volumes lodo coletado a longas distâncias.

Potenciais e Aplicabilidade

Com grande capacidade de transporte e elevada autonomia, caminhões tanque são adequados a contextos de atendimento onde se esperam grandes volumes de lodo por dia, embora dependa de condições apropriadas para a acessibilidade ao local de coleta a esses veículos de grande porte (condições do sistema viário, manobrabilidade etc.) Considerando que são sistemas mais caros, tendem a ser menos acessíveis em escala comunitária. Sendo mais viável em escala municipal, costuma ter custo operacional pouco acessível para atender localidades distantes e com condições de acesso dificultadas (qualidade de estradas e/ou arruamento)

Variações

A variação desta solução é referente principalmente à motorização do veículo, volume do sistema de armazenamento e mecanismo de bombeamento. Muitos desses veículos vem com bombas para coleta do lodo acopladas (comumente bombas a vácuo). Pode haver um tanque exclusivo para recebimento de efluente de caixa de gordura, sendo essa opção muito recomendável.

Operação e Manutenção

São sistemas de operação e manutenção complexos, sendo necessário serviço especializado para manusear o sistema de aporte do lodo, condução do caminhão e descarga do lodo, além das atividades de manutenção dos equipamentos.

Dimensionamento

De acordo com a capacidade da motorização escolhida.

Eficiência

Com capacidade de transporte entre 3.000 e 20.000 L, caminhões tanque se deslocam a uma velocidade média de 60 km/h e costuma-se considerar estes sistemas para distâncias de até 100 km.

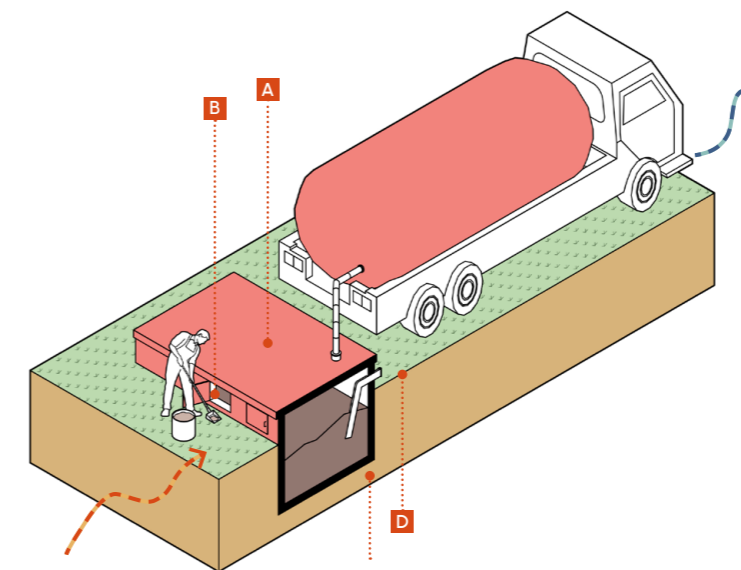
Fatores Determinantes

Taxa de geração de lodo no local; distâncias a serem percorridas; disponibilidade de mão de obra especializada; disponibilidade de peças para manutenção.

Referências

Sugden, 2012; Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014

5.5 Estação de transferência



- A** Estação de transferência fixa
- B** Pontos de acesso para recebimento
- C** Tanque impermeabilizado
- D** Ponto de acesso para coleta de lodo armazenado

Recebe
→ Lodo

Encaminha
→ Lodo
→ Efluente líquido (eventualmente)
→ Resíduos sólidos (eventualmente)

Função

Otimizar a logística de transporte do lodo coletado, entre os pontos de geração e a estação de tratamento. Permite também que uma mesma estação de tratamento de lodo tenha uma área de cobertura mais extensa. A estação de transferência é composta basicamente por um recipiente de armazenamento intermediário do lodo, capaz de reter o material proveniente a um conjunto de domicílios por determinado período de tempo, até o encaminhamento do material para tratamento. As estações servem para dividir a etapa de transporte em duas fases: das soluções individuais até a estação de transferência; e da estação de transferência até a local de tratamento. Para cada uma delas pode haver diferentes tipos de transporte, bem como diferentes frequências de coleta.

Potenciais e Aplicabilidade

Estes sistemas podem tornar os processos de transporte mais eficientes e viáveis, distribuindo soluções de forma estratégica entre a coleta do lodo nos domicílios e o direcionamento deste material a uma estação de tratamento mais distante. Assim, é uma solução de grande relevância para locais que demandem sistemas de menor porte para circulação entre domicílios (coleta do lodo) ao mesmo tempo que requer veículos de grande porte (capacidade de carga e autonomia) para levar o lodo até estação de tratamento.

Variações

As estações podem ser móveis ou fixas. Estações móveis permitem a ampliação da área de atendimento por meio do seu deslocamento planejado. Estações fixas podem comportar grandes volumes de lodo, além de permitir a implementação de etapas preliminares de tratamento (como remoção de resíduos sólidos grosseiros e adensamento do lodo), e pode ser considerada a ligação à rede coletora de esgoto para encaminhamento da fração líquida quando há etapa de deságue.

Operação e Manutenção

Com operação e manutenção simples, a principal preocupação com esses sistemas deve ser seu assoreamento, sendo importante a previsão de mecanismo de limpeza de todo o fundo do sistema.

Dimensionamento

Feito a partir do planejamento do volume de coleta local e do intervalo de encaminhamento para a estação de tratamento.

Eficiência

Com capacidade de transporte de até 1.500 a 3.000 L, esses veículos se deslocam a velocidades médias de 60 km/h e costuma-se considerar estes sistemas para distâncias de até 100 km.

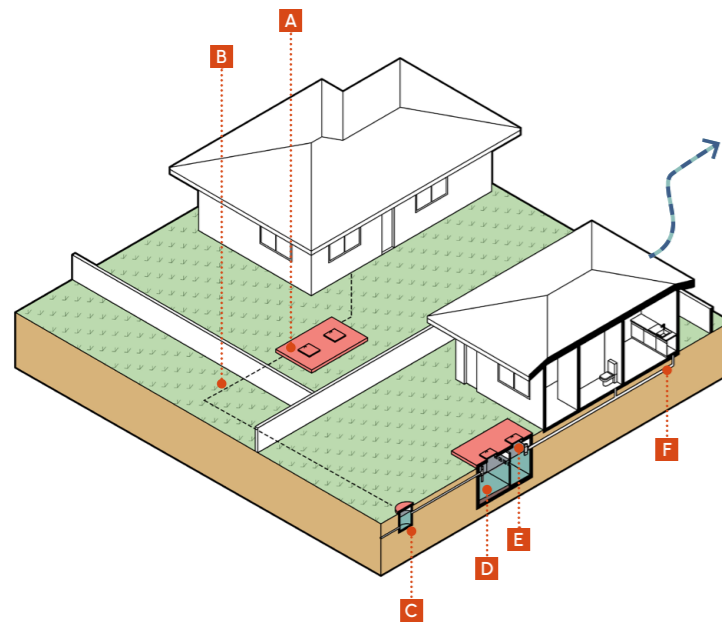
Fatores Determinantes

Distância entre a comunidade e a estação de tratamento de lodo; condições do sistema viário na comunidade; recursos e equipamentos disponíveis no local.

Referências

Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014

5.6 Rede de Coleta com retenção de sólidos



- A** Solução para retenção de sólido (ex: tanque séptico)
- B** Rede local do efluente líquido
- C** Ponto de ligação à rede
- D** Acúmulo de lodo
- E** Tampa de acesso para coleta de lodo
- F** Rede predial

Encaminha
 → Lodo
 → Efluente líquido com baixo teor de sólidos

Função

Transporte dos efluentes domésticos por meio rede de coleta com diâmetro de menor diâmetro do que os sistemas convencionais. Para tanto, antes da conexão na rede de coleta, é instalado um sistema de retenção de sólidos do efluente dos domicílios (que pode inclusive ser uma fossa séptica ou similar). Pode ser aplicado também para possibilitar a ampliação das vazões a serem transportadas em uma linha de esgoto existente.

Potenciais e Aplicabilidade

Esses sistemas representam uma economia nos custos da rede de coleta, permitindo: substituição de poços de visitas por tubos de inspeção e limpeza; tubulação de menor diâmetro e materiais mais econômicos; tubulações com menor caimento e portanto reduz demanda por escavação (sistemas menos profundos). São aplicáveis em contexto onde é possível instalação de sistemas de retenção de sólidos e rede de coleta. São sistemas relevantes também para locais onde a infiltração do efluente tratado em soluções individuais é pouco viável.

Variações

As variações desse sistema estão no mecanismo de retenção de sólidos, que podem considerar ainda o tratamento e estabilização inicial do lodo.

Operação e Manutenção

Há uma diminuição da demanda de manutenção de rede de coleta por apresentar menos eventos de acúmulo de sólidos e consequente entupimento. Por outro lado será necessário remover os sólidos retidos nos sistemas individuais periodicamente, e encaminhá-los adequadamente.

Dimensionamento

O dimensionamento do mecanismo de retenção de sólidos depende da quantidade de usuários servida e se considera ou não um tratamento preliminar do lodo. Já a rede de coleta passa a ser dimensionada para o transporte somente da fração líquida do esgoto gerado pela população servida.

Eficiência

Dependente do mecanismo de retenção de sólidos.

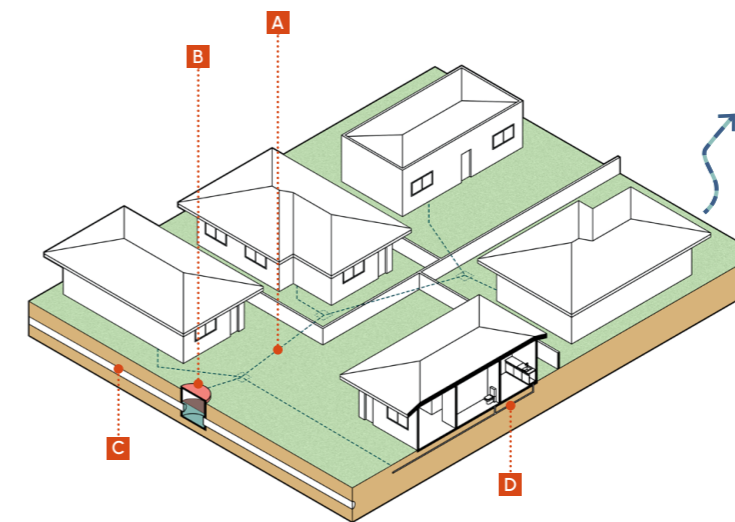
Fatores Determinantes

Densidade de ocupação; disponibilidade de espaço para redes de coleta e sistemas de retenção de sólidos; disponibilidade de dinâmicas de manejo adequado dos lodos retidos; possibilidade de implementação de rede de coleta; necessidade de aumento da capacidade de transporte de redes de coleta já implementadas.

Referências

Além Sobrinho e Tsutiya, 1999; Mara, 2013; Tilley et al., 2014

5.7 Rede de coleta condominial



- A** Rede condominial
- B** Ponto de ligação à rede pública
- C** Rede pública
- D** Rede predial

Encaminha
 → Esgoto doméstico

Função

Transporte dos efluentes domésticos por meio rede de coleta mais adaptada às condições de ocupação no território, com menores custos de implementação e maior engajamento local. O sistema condominial facilita a ampliação da cobertura da coleta de esgoto, mesmo em localidades às quais os sistemas convencionais são menos viáveis (devido a aspectos como: disponibilidade de recursos; condições das vias públicas; disponibilidade de espaço para as redes; etc). As redes condominiais permitem extensões menores de tubulação para atender uma mesma área, conduítes de menor diâmetro do que sistemas convencionais, além de menores profundidades e gradientes de inclinação das redes.

Potenciais e Aplicabilidade

Com custos de implementação expressivamente mais baixos do que sistemas convencionais (até 58% menores) e maior flexibilidade para adaptação às condições de ocupação do território, o sistema condominial tem grande potencial para o atendimento de contextos urbanos precários e sistemas comunitário em aglomerados rurais, dentre outros contextos comumente desassistidos por sistemas convencionais de coleta.

Variações

Os ramais condominiais são amplamente divididos em ramal de fundo de lote, ramal de jardim e ramal de passeio. O traçado do sistema deverá ser adaptado ao contexto local, de forma que cada localização terá um arranjo próprio. O arranjo das tubulações e conexões, por sua vez, também varia consideravelmente.

Operação e Manutenção

Demanda envolvimento ativo da comunidade atendida na definição do sistema e participação na operação e manutenção (ao menos vigilância) do ramal condominial

Dimensionamento

A rede pública de coleta é dimensionada pelo método convencional. A rede condominial é feita para atender aos usuário do condomínio.

Eficiência

-

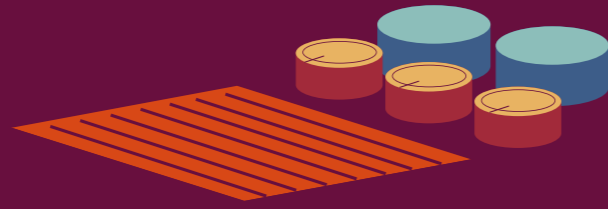
Fatores Determinantes

Forma de ocupação do território; nível de engajamento na comunidade atendida.

Referências

Além Sobrinho e Tsutiya, 1999; Mara, 2013; Tilley et al., 2014

6. SOLUÇÕES DE TRATAMENTO



O propósito básico desta etapa é o tratamento de esgotos domésticos e/ ou do lodo fecal, a fim de garantir condições seguras e apropriadas de destinação final ou reuso dos subprodutos (fração líquida, sólida e gasosa), de acordo com as legislações locais vigentes ou melhores práticas. O tratamento pode ser realizado em escala centralizada, semi-centralizadas ou descentralizada, cada um com diferentes escopos de tratamento e tipos de processos. Em disposições descentralizadas esta etapa se refere geralmente ao processamento do lodo fecal retido na etapa de contenção, enquanto a fração líquida é tratada nas próprias soluções individuais. Nas demais escalas é comum a previsão tanto de uma linha para o tratamento do esgoto como para o tratamento do lodo gerado na própria estação de tratamento (que pode ou não ser integrado com o processamento de lodo fecal coletado em soluções individuais). O foco aqui é dado para processos de tratamento de lodo fecal, seja em escala descentralizada ou semi (centralizada), não abrangendo alternativas dedicadas exclusivamente para linhas de tratamento de esgoto.

Quanto à constituição dos processos de tratamento de lodo, geralmente são previstos diferentes estágios: tratamento preliminar; sedimentação/ adensamento; estabilização da matéria orgânica; e tratamento complementar/ polimento. Cada um possui funções distintas, muitas vezes essenciais para as fases seguintes. O tratamento preliminar, por exemplo, além de

ser um momento propício para medição de volume e massa de entrada no sistema, é responsável pela remoção de sólidos grosseiros e possivelmente óleos e graxas, o que é importante para o pleno funcionamento das etapas seguintes. A presença de etapa de adensamento, por sua vez, pode viabilizar menores dimensões e maior eficiência dos sistemas de estabilização e polimento do efluente. (Andreoli, 2009; Bassan et al., 2014).

TRATAMENTO PRELIMINAR

Fatores culturais têm grande influência sobre as características dos esgotos e lodos fecais, sendo bastante comum a presença de sólidos grosseiros. No caso de lados, a prática de esvaziamento de caixas de gordura conjuntamente com as soluções isoladas de contenção, costuma agregar ainda elevados teores de óleos, gorduras e graxas. A remoção desses materiais é essencial para a integridade e manutenção de condições adequadas de operação dos sistemas de tratamento e devem ser contempladas no projeto das estações. A essas unidades iniciais, deve-se incluir mecanismos adequados de recepção dos efluentes e de medição dos volumes (cargas) recebidos, sendo tais dados centrais na operação da estação, assim como no levantamento do perfil do efluente recebido e, conseqüentemente, na melhora contínua da gestão das estações e do sistema como um todo.

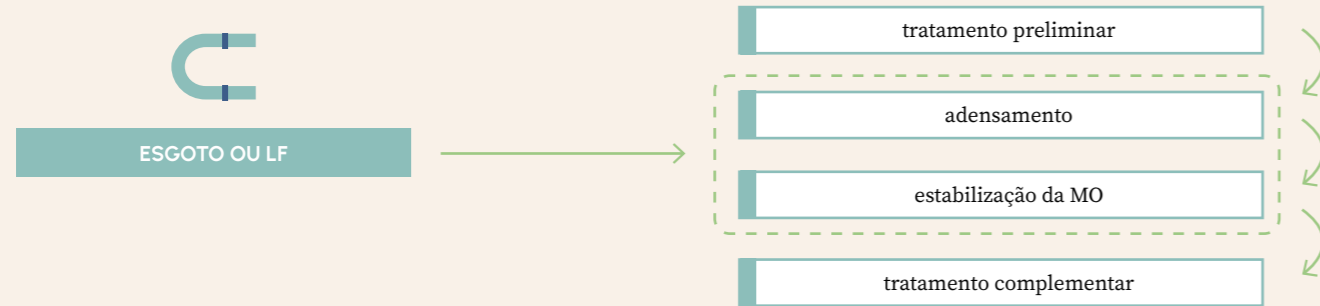


Figura 4: Etapas comumente compreendidas no processo de tratamento de lodos fecais

SEDIMENTAÇÃO/ADENSAMENTO

Tanto os esgotos domésticos como o lodo fecal possuem uma fração líquida expressiva. As excretas humanas são majoritariamente compostas por água, 75% das fezes e 96% da urina (Rose et al., 2015). Considerando ainda a água utilizada nas descargas e outros dispositivos de lavagem nos domicílios, tanto o esgoto como lodo fecal coletado em soluções individuais, apresentam elevados teores de diluição - os lodos fecais tem uma umidade média superior a 96% e os esgotos de 99,9% (Bassan et al., 2014; Sperling, 2014). Em muitos dos processos de tratamento, para elevar a performance e viabilizar estruturas mais eficientes (especialmente no que se refere a dimensionamento) é conveniente prever uma etapa de sedimentação ou adensamento do conteúdo afluente antes ou conjuntamente com sistemas de estabilização. A partir desta etapa tem-se duas linhas distintas: a do lodo adensado (com maior teor de sólidos) e uma líquida. A previsão e definição destes sistemas deve considerar a caracterização do afluente (esgoto ou lodo fecal), nível de tratamento pretendido, potenciais sistemas de tratamento (estabilização e remoção de poluentes) e condições locais para operação, a fim de identificar soluções mais assertivas.

ESTABILIZAÇÃO

Os efluentes domésticos possuem elevados teores de matéria orgânica demandando um processo de estabilização, que visa diminuir o potencial poluidor desse resíduo. Essa etapa do tratamento é direcionada à redução da parcela de matéria orgânica que é biodegradável, sendo os indicadores utilizados para a sua magnitude principalmente os sólidos voláteis (SV) e a DBO. Quando abordamos essa etapa do ponto de vista dos lodos, a sua idade (tempo no qual o lodo ficou retido na solução individual) é um fator determinante, já que lodos frescos demandam mais tratamento do que lodos mais antigos, que já se encontram parcialmente estabilizados. A estabilização também garante que carbono e nutrientes presentes nos produtos finais possam ser utilizados com maior segurança e que ocorra uma menor formação de espuma no manejo do efluente, melhorando a etapa de separação sólido-líquido (Bassan et al., 2014). Os processos de estabilização são determinantes também nas linhas de subprodutos indiretos a serem produzidos, como biogás, fertilizantes e outros. Assim, uma análise voltada às demandas locais por insumos torna-se crucial nesse momento, garantindo tanto a adequabilidade

dos efluentes do tratamento a uma demanda local, quanto o nível tecnológico a ser empregado em sua produção (O’Keefe et al., 2015).

DESÁGUE/SECAGEM

Independente da presença ou não de uma etapa anterior de adensamento, após a estabilização da matéria orgânica o lodo processado ainda possui um teor elevado de água. Para tornar mais viáveis e eficientes as etapas de tratamento avançado, reuso ou descarte final, é importante a previsão de etapas de deságue e secagem, que dissociam linha sólida e líquida para processamento e encaminhamento mais eficiente (no caso dos sólidos inclusive, menor volume para ser transportado).

A água contida nos lodos se distribui em duas parcelas distintas, uma que podemos chamar de água ligada, que é aquela no interstício das partículas sólidas; essa água é dificilmente retirada dos lodos, sendo encontrada em maior quantidade nos lodos frescos. A outra, denominada água livre, pode ser facilmente retirada, normalmente por processos físicos simplificados que não demandam energia ou adição de compostos químicos; a água livre representa a maior massa de água dos lodos, sendo sua proporção ainda maior em lodos antigos (Bassan et al., 2014; Semiyaga et al., 2018; Septien et al., 2018).

A característica do lodo, especialmente sua idade, é fundamental na determinação do processo de separação sólido-líquido a ser empregado. No caso dos esgotos domésticos, os processos são aplicados ao lodo decorrente do tratamento biológico. Diversas são as soluções para deságue, desde processos simples que se utilizam da força da gravidade, até tecnologias complexas que fazem uso

de equipamentos industriais ou da adição de produtos específicos, como polímeros. Dessa forma, a escolha da solução deve ser criteriosa e embasada no levantamento compreensivo das características do lodo. A linha líquida de efluente gerada nesse processo também deve receber atenção, uma vez que essa ainda pode conter elevados teores de matéria orgânica, nutrientes, sais dissolvidos e patógenos (Bassan et al., 2014).

A determinação da solução adequada a cada uma dessas etapas, assim como o cumprimento ou exclusão da mesma, depende da qualidade do esgoto ou lodo recebido e das intenções de reuso ou disposição dos efluentes do tratamento. Andreoli, 2009, na publicação do PROSAB, “Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final”, aborda este aspecto em relação ao LF, indicando que a origem dos resíduos (unifamiliar, comercial, rural, etc) e o tipo de solução individual empregado localmente, têm grandes influência sobre sua qualidade. O autor destaca ainda que a grande variabilidade dos resultados encontrados faz com que não seja recomendado o uso de valores médios na avaliação de lodos fecais. Bassan et al., 2014, também salienta a importância de caracterização dos lodos a serem manejados, indicando esse processo como essencial ao sucesso do sistema e à determinação das etapas e tecnologias adequadas de tratamento.

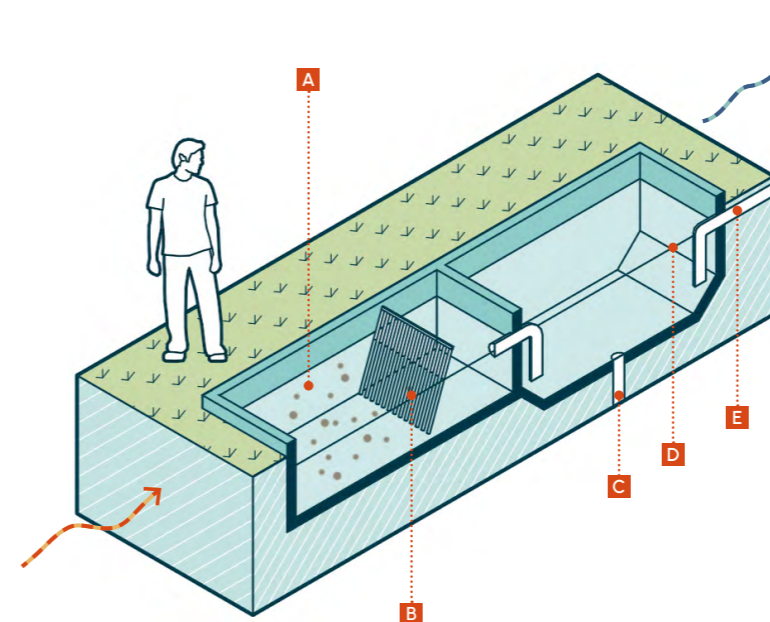
Tonetti et al., 2018, abordando o tratamento de esgotos em comunidades isoladas, traz observações semelhantes, principalmente na determinação da intenção de reuso ou disposição dos efluentes do tratamento, embora para esgotos valores médios sejam bem embasados na literatura.

Voltando a literatura sobre lodos, fica evidente a grande diferença entre esses e os esgotos domésticos (Andreoli, 2009; Bassan et al., 2014). Esse fato é de extrema relevância uma vez que o entendimento atual, inclusive preconizado em norma, sobre a adequabilidade do lançamento dos lodos fecais na rede convencional de coleta ou diretamente em ETEs pode trazer adversidades às estruturas e processo de tratamento. Os LF apresentam teores e características de sólidos e mate-

rial orgânico muito distintos daqueles encontrados em esgotos brutos; podem conter altos teores de óleos e gorduras, decorrente da prática de limpeza conjunta das soluções individuais e caixas de gordura; além de altas concentrações de nitrogênio amoniacal. **ETEs convencionais, em geral, não são projetadas para aportar efluentes com essas características, podendo haver consequências severas na sua operação, como o aumento na produção de espuma, entupimento de tubulações e até mesmo inibição dos processos biológicos essenciais (Andreoli, 2009; Bassan et al., 2014; Chernicharo et al., 2018). Assim, o co-tratamento de LF com esgotos em ETEs convencionais, quando tomado como opção tecnológica, deve contar com uma operação bem planejada e estruturada, como explorado adiante neste capítulo, de forma a garantir a própria integridade operacional da ETE.**

Neste contexto, a introdução de estações dedicadas ou com linhas aptas ao tratamento de lodo focal constituiria um importante avanço em direção à universalização do saneamento no Brasil. Ainda que já existam diversas iniciativas no mundo com estações dedicadas para o lodo fecal, este conceito ainda é pouco explorado no Brasil. Assim, este estudo busca compilar algumas das principais soluções voltadas para a constituição destes sistemas. A seguir são apresentadas algumas das principais tecnologias com potencial de aplicação no país, em escala individual, comunitária, municipal e/ou regional. Uma tecnologia pode cumprir mais de uma função no tratamento, no entanto, pensando na estrutura do tratamento como apresentado no início da seção, as mesmas serão agrupadas seguindo esse formato.

6.1 Pré-Tratamento



- A** Canal de admissão e aproximação
- B** Gradeamento
- C** Saída de areia e outros sólidos sedimentares
- D** Retenção superficial de óleos e graxas
- E** Tomada de efluente pré-tratado

Recebe
→ Esgoto doméstico
→ Lodo

Encaminha
→ Esgoto ou lodo
→ Resíduos sólidos grosseiros
→ Óleos e graxas
→ Areia

Função

Remoção de sólidos grosseiros, óleos, graxas e gorduras, e areia.

Potenciais e Aplicabilidade

Além de apresentar baixos custos de implementação e operação, essa etapa promove um aumento da vida útil da ETL, evita danos a outros equipamentos, como entupimentos de tubulações e assoreamento de reatores, e melhora a tratabilidade do lodo pela remoção de materiais inertes ou de difícil decomposição. Aplicável a toda estação de tratamento de lodo.

Variações

As etapas de pré-tratamento e a configuração do processo podem variar consideravelmente, bem como as estruturas do sistema e forma de operação e manutenção. Em termos de arranjo, há sistemas que contemplam apenas gradeamento e outros que incluem também remoção de óleos, graxas, gorduras e sedimentos. O gradeamento é uma etapa essencial e que deve ser prevista na entrada de toda ETL. A inclusão da remoção de sedimentos e gorduras que traz melhorias na operação da estação e aumento da sua vida útil.

Operação e Manutenção

A operação desses mecanismos consiste na coleta dos resíduos depositados e seu encaminhamento junto dos resíduos sólidos. Caso não haja manejo dos resíduos sólidos na localidade, esse material deve ser aterrado. A manutenção dos dispositivos é simples e consiste na remoção periódica e destinação dos resíduos e limpeza dos equipamentos de forma mecanizada ou manual.

Dimensionamento

A velocidade de escoamento no canal de gradeamento deve ser entre 0,3 e 1,0 m/s; as grades podem ter espaçamento entre 1,5 e 4,0 cm. A remoção de óleos, gorduras e graxas, assim como de areia, irá depender da avaliação da caracterização do lodo fecal recebido.

Eficiência

-

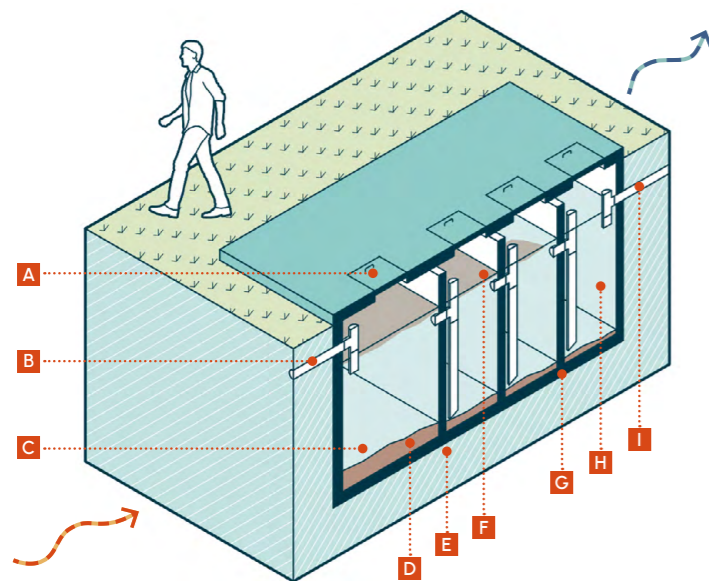
Fatores Determinantes

Caracterização do material aportado na estação; configuração e dimensionamento do sistema de tratamento.

Referências

ABNT, 1992; Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014

6.2 Reator anaeróbio compartimentado



- A** Tampa de acesso para inspeção e coleta de lodo e espuma
- B** Tubulação de entrada, direcionando o fluxo para o fundo
- C** Câmara de sedimentação
- D** Acúmulo de lodo
- E** Tanque impermeabilizado
- F** Acúmulo de espuma
- G** Barreiras internas
- H** Câmaras de digestão
- I** Tubulação de saída, captando o efluente abaixo da superfície

Recebe
→ Esgoto doméstico
→ Lodo

Encaminha
→ Efluente líquido
→ Lodo estabilizado
→ Biogás

Função

Remoção de sólidos e matéria orgânica. Trata-se de um sistema anaeróbio simples e robusto, amplamente utilizado no tratamento de lodos. Ao forçar o deslocamento em ascensão e exposição do fluxo ao lodo ativo entre as câmaras, repetidamente, o desempenho de remoção da matéria orgânica e a retenção de sólidos é potencializado.

Potenciais e Aplicabilidade

Pode tratar esgotos domésticos e lodos fecais, desde que respeitadas as cargas orgânicas apropriadas. Seus principais potenciais são a simplicidade operacional, elevada eficiência na remoção de sólidos e matéria orgânica e robustez com relação ao afluente recebido.

Variações

A principal variação desse mecanismo está na quantidade de câmaras de digestão em sequência, variando entre 3 e 6. Um maior número de câmaras, pode propiciar maior eficiência de tratamento. Sistemas de maior porte podem prever um processo de sedimentação separado do corpo principal do reator. Pode ser construído em alvenaria comum, ou utilizando outras técnicas construtivas (como tanques pré-fabricados), desde que seja mantida a separação entre câmaras. As proporções geométricas do reator e o material aplicado também podem variar, desde que respeitando uma velocidade de ascensão máxima nas câmaras.

Operação e Manutenção

Sua operação é simples após o período de ativação biológica (3 a 6 meses), consistindo na remoção mensal de materiais sólidos flutuantes e de lodo a cada 6 meses; o processo de remoção de lodo deve deixar material suficiente para que o tratamento biológico seja mantido.

Dimensionamento

deve possuir entre 3 a 6 câmaras, tempo de detenção hidráulica entre 8 e 72 horas; a carga orgânica deve ser limitada a 6 kg-DBO/m³/dia; a velocidade de fluxo ascendente na câmara de sedimentação abaixo de 0,6m/h e variando entre 0,9 e 1,2 m/h nas demais. É crucial a previsão de mecanismos para exaustão dos gases produzidos.

Eficiência

Pode alcançar remoção de matéria orgânica acima de 90%, além de uma boa retenção de sólidos suspensos.

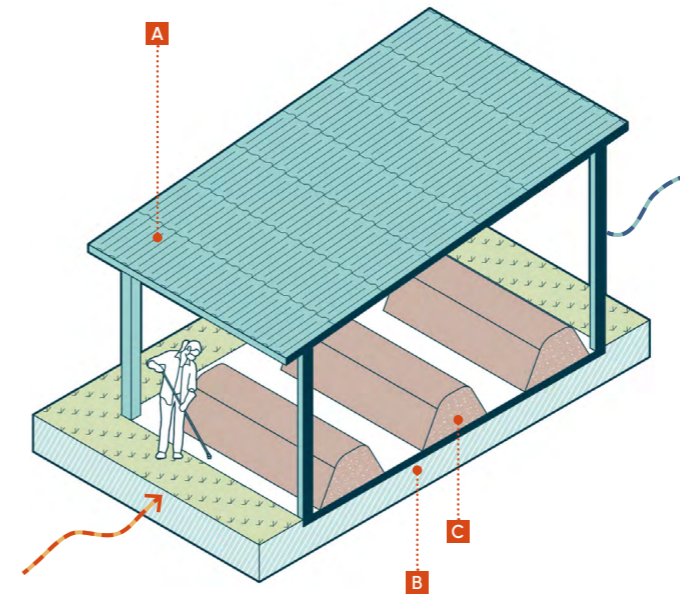
Fatores Determinantes

Caracterização do afluente aportado; configuração das etapas seguintes de processamento do lodo; taxa de aporte de lodo na estação; condições climáticas; disponibilidade de operadores para a supervisão e remoção periódica de lodo e espuma.

Referências

Gutterer et al., 2009; Tilley et al., 2014; Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde., 2018

6.3 Co-compostagem



- A** Área coberta, dependendo do regime de chuva
- B** Laje impermeável com eventual sistema de coleta de percolato

- C** Pilha de compostagem do lodo desaguado, com ou sem resíduos sólidos orgânicos

Recebe
→ Lodo estabilizado e desaguado
→ Conteúdo de fossa seca/ sistema de container
→ Resíduos sólidos orgânicos

Encaminha
→ Composto

Função

Tratamento (compostagem) conjunto de lodo estabilizado e resíduos orgânicos.

Potenciais e Aplicabilidade

Com baixo custo de implementação e operação, essa solução produz um composto orgânico de elevada qualidade. A etapa termofílica da compostagem tem o potencial de inativar microrganismos patogênicos. Aplicável em contextos onde exista uma fonte segura de resíduos sólidos orgânicos e demanda pelo composto produzido.

Variações

Este processo pode também ser feito sem co-compostagem, processando apenas o lodo estabilizado, sem resíduos sólidos orgânicos. As condições operacionais deste sistema podem variar bastante, no tempo de compostagem, proporção dos resíduos sólidos utilizados, temperatura cultivada, forma de cobertura das pilhas, proteção ou não de chuva (em localidades com elevada precipitação o local de compostagem deve ser coberto), entre outros aspectos.

Operação e Manutenção

Durante o processo de compostagem a umidade e oxigenação das leiras deve ser garantidas. Para a oxigenação podem ser usados mecanismos de ventilação passiva, como tubos de ventilação, ou ativa com sopradores ou aspiradores; o revolvimento periódico da pilha pode garantir os níveis de oxigênio e distribuir melhor o composto ao longo de todo o processo.

Dimensionamento

Os principais critérios a serem considerados são uma relação carbono: nitrogênio entre 20-30:1, manutenção da umidade na leira entre 40-60% e concentração de oxigênio na pilha de compostagem entre 5-10%. Para pilhas estáticas, o diâmetro das partículas deve ser menos que 5 cm. O processo de compostagem deve durar ao menos 3 meses e as leiras devem ter cerca de 1 m de altura por 2 m de raio.

Eficiência

Redução de 50% no volume e boa estabilização de microrganismos patogênicos.

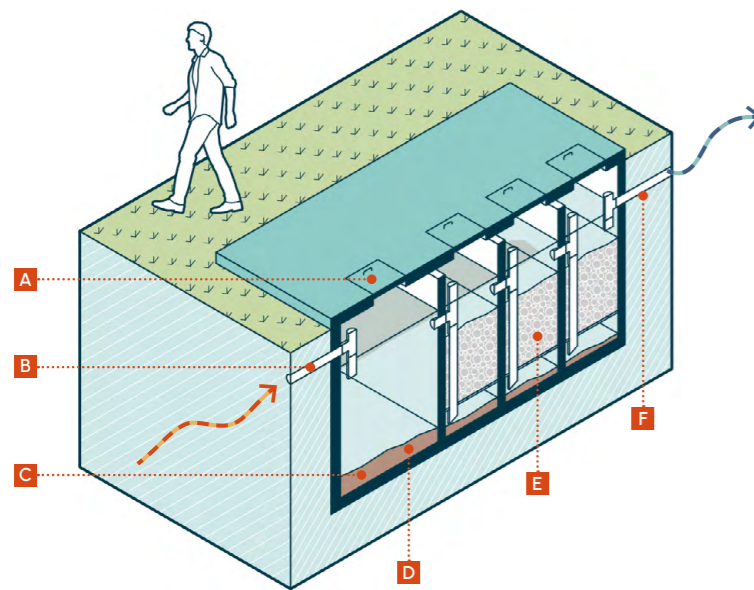
Fatores Determinantes

Área disponibilidade e fonte de resíduos sólidos orgânicos; área para implementação do sistema; unidade de tratamento para o lixiviado; e condições climáticas locais.

Referências

Koanda, Koné e Strauss, 2006; Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014

6.4 Filtro anaeróbio de fluxo ascendente



- A** Tampa de acesso para inspeção e coleta de lodo e espuma
- B** Tubulação de entrada, direcionando o fluxo para o fundo
- C** Tanque impermeabilizado
- D** Acúmulo de lodo
- E** Meio filtrante
- F** Tubulação de saída, captando o efluente abaixo da superfície

Recebe
→ Esgoto doméstico
→ Lodo fecal

Encaminha
→ Efluente líquido
→ Lodo
→ Biogás (pouco)

Função

Comumente empregado após etapas de separação sólido líquido (reatores anaeróbios compartimentados, tanques Imhoff, biodigestores) esses sistemas propiciam maior remoção de sólidos suspensos e matéria orgânica.

Potenciais e Aplicabilidade

Pode tratar esgotos domésticos e lodos fecais, desde que respeitadas as cargas orgânicas apropriadas. Seus principais potenciais são a simplicidade operacional, elevada eficiência na remoção de sólidos e matéria orgânica e robustez com relação ao afluente recebido.

Variações

Operando em regime afogado esses sistemas normalmente apresentam fluxo ascendente. Suas principais variações são em relação ao número de câmara de filtração, velocidade ascensional nas câmaras, o formato do sistema (cilíndrico ou prismático), materiais de construção do reator, e, o material de preenchimento do filtro - comumente de brita ou seixo, há relatos de sistemas preenchidos com bambu e cascas de coco operando a mais de 10 anos.

Operação e Manutenção

De forma geral o sistema demanda pouca manutenção. No entanto, havendo colmatação do meio filtrante, sua remoção e limpeza envolve a substituição do meio filtrante ou a desativação do sistema para retrolavagem com fluxo com pressão.

Dimensionamento

Altura do material de enchimento pode variar, considerando uma altura mínima de 1,20 m; nível da calha vertedora e fundo falso com altura mínima de 0,30 m. O volume útil médio do filtro é de 250 L/usuário (para seu detalhamento consultar a norma referenciada). Como referência também, recomenda-se um tempo de detenção hidráulico de 12 a 36 horas.

Eficiência

Apresenta eficiência de remoção de matéria orgânica moderado, entre 50 a 80%.

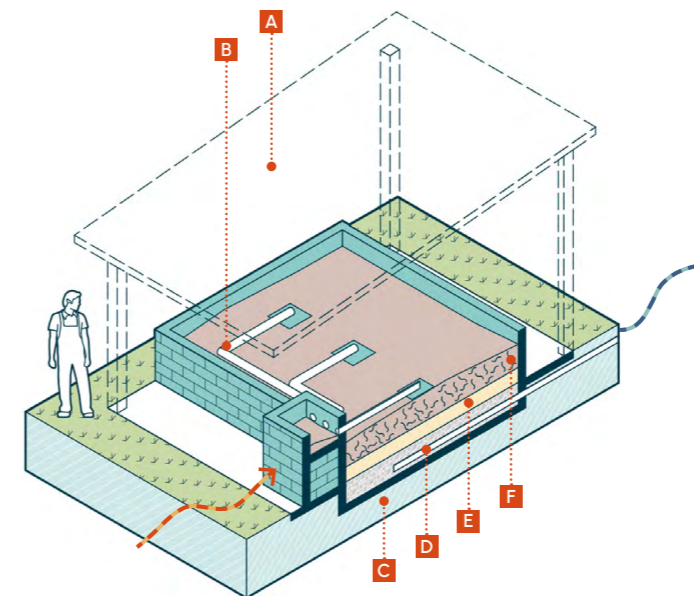
Fatores Determinantes

Tipo de efluente entrando no sistema; disponibilidade de área; perfil do solo e nível da água subterrânea; disponibilidade para efetuar seguramente ou contratar serviço para o manejo do lodo retido.

Referências

ABNT, 1997; Tilley et al., 2014; Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde., 2018; Tonetti et al., 2018

6.5 Vermicompostagem



- A** Galpão coberto
- B** Sistema de distribuição/aplicação do lodo
- C** Tanque impermeabilizado
- D** Drenagem de percolado quando do sistema tipo vermifiltro
- E** Meio filtrante
- F** Meio suporte e vermes

Recebe
→ Lodo
→ Resíduos sólidos orgânicos

Encaminha
→ Composto (húmus)
→ Efluente líquido (vermifiltro)

Função

Sistema aeróbio com boa capacidade de estabilização da matéria orgânica e retenção de sólidos.

Potenciais e Aplicabilidade

Com baixos custos de implementação e operação, esses sistemas robustos alcançam uma boa estabilização da matéria orgânica, além de reduzir consideravelmente o volume do lodo. Em relação aos sistemas de co-compostagem, a vermicompostagem tem a vantagem de operar 4 a 5 vezes mais rápido.

Variações

A vermicompostagem pode ser projetada em diferentes tipos de reator, pré-fabricados ou construídos no local (com alvenaria, tanques de fibra de vidro ou plásticos). A geometria do sistema (largura, comprimento e altura) pode variar também, sendo que os mecanismos de distribuição do afluente no leito devem ser proporcionais a estas condições. Além disso, há sistemas que dispensam o dreno de coleta do efluente no fundo da estrutura, quando o lodo recebido apresenta condições mais secas.

Operação e Manutenção

Uma inspeção das cargas orgânicas antes de sua aplicação nas vermicomposteiras é importante para garantir a ausência de materiais sólidos, como plásticos, além disso, a manutenção de uma correta relação carbono:nitrogênio e níveis adequados de oxigenação do sistema são essenciais a uma boa operação. A manutenção é simples e focada na boa operação das estruturas de aeração e drenagem de efluentes, caso existentes. O composto processado deve ser removido periodicamente.

Dimensionamento

O tempo de vermicompostagem é de 60 dias, com umidade virando entre 35 e 40%. Uma relação ótima carbono:nitrogênio de 25:1 deve ser buscada, um traço indicado para essa é a mistura 3:1 resíduos-orgânicos:lodo-fecal. Para dimensionamento de sistemas a receberem lodos mais úmidos buscar vermicompostagem nas referências. Aproximadamente 5 kg de minhocas por m².

Eficiência

Redução volumétrica de 90%; o material orgânico e nutrientes são incorporados ao composto.

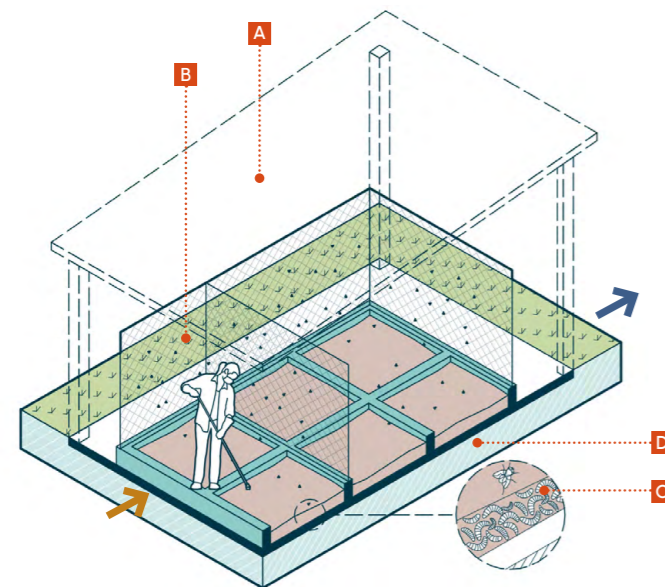
Fatores Determinantes

Área disponível para implementação do sistema; unidade de tratamento para o lixiviado; e condições climáticas locais; disponibilidade de resíduos orgânicos de baixa umidade e elevado teor de carbono.

Referências

Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014; Cofie et al., 2016

6.6 Mosca Soldado



A Galpão para criação das larvas, armazenamento de materiais, etc.

B Tela para contenção das moscas

C Larvas responsáveis pelo tratamento dos lodos e resíduos sólidos orgânicos

D Leito de tratamento impermeável



Recebe

→ Lodo
→ Resíduos sólidos orgânicos



Encaminha

→ Composto (húmus)
→ Proteína animal

Função

Estabilização e degradação do lodo fecal e produção de proteína.

Potenciais e Aplicabilidade

Com custos de implementação e operação relativamente baixos, essa solução alcança uma boa redução de volume no tratamento de lodos fecais, além de gerar composto orgânico e material proteico como produtos do tratamento. Assim, além de alcançar a reciclagem de nutrientes, há a possibilidade de comercialização de proteína.

Variações

Métodos construtivos dos módulos de processamento do lodo, incluindo a base de atividade das larvas, as telas de retenção das moscas e a cobertura do sistema. Para aproveitamento da proteína das larvas, podem ser necessárias etapas adicionais de tratamento para inativação de microrganismos patogênicos.

Operação e Manutenção

Operação e manutenção complexas, demandam treinamento cuidadoso da equipe. Consultar as referências para mais detalhes, especialmente Dortmans, 2017.

Dimensionamento

Partículas devem ter menos de 1-2 cm de diâmetro; a umidade deve ser ajustada para 70 - 80% (adição de resíduo sólido orgânico ou água); aproximadamente 10.000 larvas para 15 kg de resíduos; tratamento dura 12 dias; uma unidade tratando 2 Ton/dia de resíduos demanda 424 m².

Eficiência

redução volumétrica de 75%; matéria orgânica e nutrientes são incorporados ao composto ou a massa protéica.

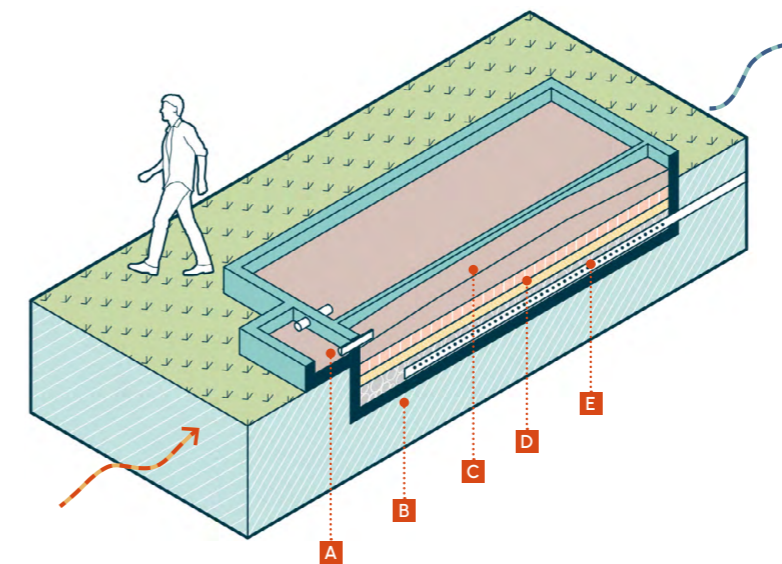
Fatores Determinantes

Área disponível para implementação; fonte acessível de resíduos sólidos orgânicos para ajuste de umidade; demanda local pelos produtos gerados.

Referências

Lalander et al., 2013; Bassan et al., 2014; Dortmans et al., 2017

6.7 Leito de Secagem



A Tubulação de entrada

B Leito impermeável

C Camada de lodo

D Camadas filtrantes

E Tubulação de coleta e saída do percolado



Recebe

→ Lodo úmido



Encaminha

→ Lodo seco ou desaguado
→ Efluente líquido a ser tratado

Função

Secagem, retenção de sólidos e redução volumétrica.

Potenciais e Aplicabilidade

São sistemas robustos com longa vida útil e não demandam energia. Apresentam ótimo desempenho no deságue dos lodos, especialmente em climas quentes e secos. Apresenta baixos custos de implementação, operação e manutenção.

Variações

Uma variação desse sistema é a secagem térmica solar, que se constitui de um leito de secagem coberto por uma estufa com ventilação controlada, esse sistema é adequado a regiões com alto índice pluviométricos.

Operação e Manutenção

Consiste na aplicação de taxas adequadas de lodo nos leitos, eventual controle de roedores e vetores. O lodo pode ser removido do leito após 10 - 15 dias, dependendo das condições climáticas. A camada superficial dos leitos deve ser refeita após remoção do lodo.

Dimensionamento

Taxa de aplicação 100-200 kg TS/m²/ano (0,08 m²/hab); relação de aplicação lodo-fresco:lodo-estabilizado de 1:2; altura da camada de lodo por aplicação 30cm.

Eficiência

97% de retenção de sólidos suspensos; até 90% de redução na demanda química de oxigênio; 90% de redução volumétrica.

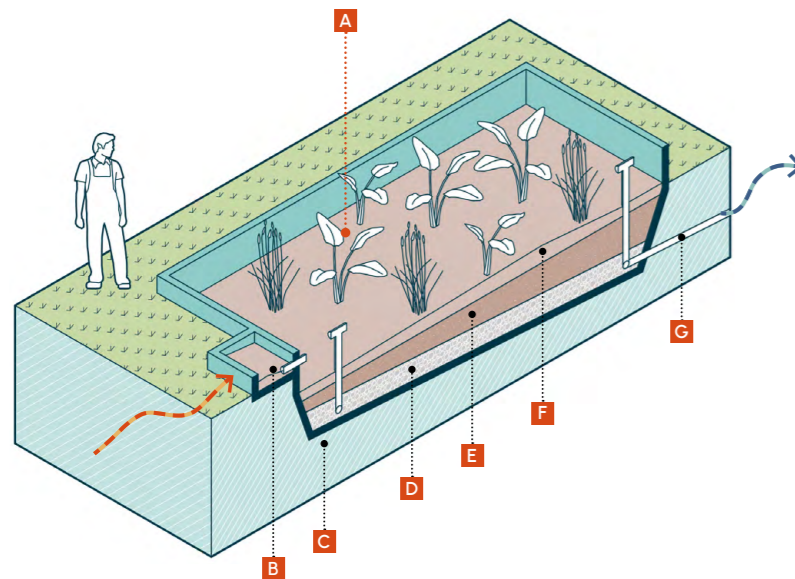
Fatores Determinantes

Área disponível para implementação; proximidade de domicílios; condições climáticas; disponibilidade para sistema de tratamento do efluente líquido drenado.

Referências

ABNT, 1992; Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014

6.8 Leito de secagem plantado



- A Plantas
- B Sistema de recebimento e aplicação do lodo
- C Tanque impermeabilizado
- D Leito filtrante

Recebe
→ Lodo

- E Camada de lodo acumulado e estabilizado
- F Camada de lodo aplicada
- G Tubulação de drenagem, saída e sistema para inspeção

Encaminha
→ Lodo seco ou desaguado
→ Efluente líquido
→ Biomassa das plantas

Função

Secagem, retenção de sólidos, estabilização da matéria orgânica e redução volumétrica.

Potenciais e Aplicabilidade

Com custos baixos, esses sistemas são robustos e tem uma longa vida útil. Apresentam melhor tratamento do lodo do que os leitos de secagem e se adaptam melhor em climas úmidos. Além de não consumirem energia em sua operação, esses sistemas produzem composto (60% teor de umidade) e biomassa, que pode ser utilizada como forragem. Em relação aos leitos não plantados, estes sistemas permitem maiores intervalos entre remoção do lodo.

Variações

A impermeabilização pode ser feita por meio de mantas geotêxteis ou alvenaria. As espécies utilizadas também podem variar, de acordo com disponibilidade, condições e interesses locais (taboa, diferentes tipos de capim, bananeira, bambu etc.).

Operação e Manutenção

Requer treinamento cuidadoso dos operadores. O lodo deve ser espalhado de forma uniforme pelos leitos e somente quando as plantas tiverem atingido o estágio adequado; e a biomassa deve ser podada ou colhida a intervalos regulares. A remoção do lodo é feita a intervalos de 3 a 5 anos, quando a cama superficial do leito deve ser reconstituída.

Dimensionamento

Taxas de aplicação de 100 a 200 Kg TS/ano. As aplicações devem ser feitas a intervalos de 3-7 dias e em camadas de 7-10 cm. As plantas devem ser de crescimento rápido e se adaptarem a meios úmidos e com elevada salinidade.

Eficiência

Retenção de 99% dos sólidos suspensos; 70 a 90% de redução na demanda química de oxigênio; remoção de 99% de NTK (nitrogênio total Kjeldahl) e de 97% do fosfato; além de 100% de retenção de ovos de helmintos.

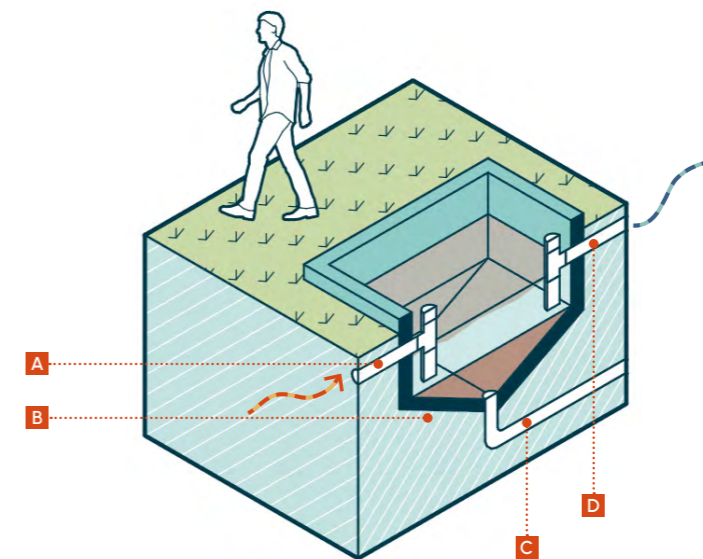
Fatores Determinantes

Área disponível para implementação; proximidade de domicílios; condições climáticas; disponibilidade para sistema de tratamento do efluente líquido drenado; disponibilidade e interesses para destinação da biomassa cultivada.

Referências

Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014

6.9 Tanque de sedimentação



- A Tubulação de entrada, direcionando o fluxo para o fundo
- B Tanque impermeabilizado

Recebe
→ Lodo

- C Tubulação de saída do lodo
- D Tubulação de saída do efluente líquido

Encaminha
→ Lodo adensado
→ Efluente líquido

Função

Essa etapa primária de tratamento visa a remoção de partículas sedimentáveis e flutuantes do efluente após o pré-tratamento, sendo utilizado em muitos casos para adensamento do lodo antes de etapas de estabilização de matéria orgânica mais intensivas.

Potenciais e Aplicabilidade

Solução simples e robusta, com custos de implementação e operação baixos, que apresentar boa remoção de sólidos suspensos e separação do excesso de água do lodo. Comumente empregado no adensamento do lodo, propiciando a separação do afluente em duas linhas efluentes: linha do lodo e linha líquida. Cada uma dessas linhas então é encaminhada para tratamento específico.

Variações

O mecanismo de coleta de lodo sedimentado e espuma flutuante podem ser manuais, mecanizados ou operar por gravidade, sendo essas as principais variações desse dispositivo. Uma variação expressiva desse sistema são os tanques de espessamento, que buscam um adensamento do lodo por processo gravitacional.

Operação e Manutenção

Esses sistemas demandam a remoção periódica do lodo e espuma acumulados e seu encaminhamento para tratamento e/ou disposição adequados.

Dimensionamento

Para a sedimentação, um tempo de detenção hidráulica entre 1,5 e 2,5 horas em vazão de pico.

Eficiência

Remoção de 50 a 70% dos sólidos suspensos e redução de 20 a 40% na demanda biológica de oxigênio (DBO).

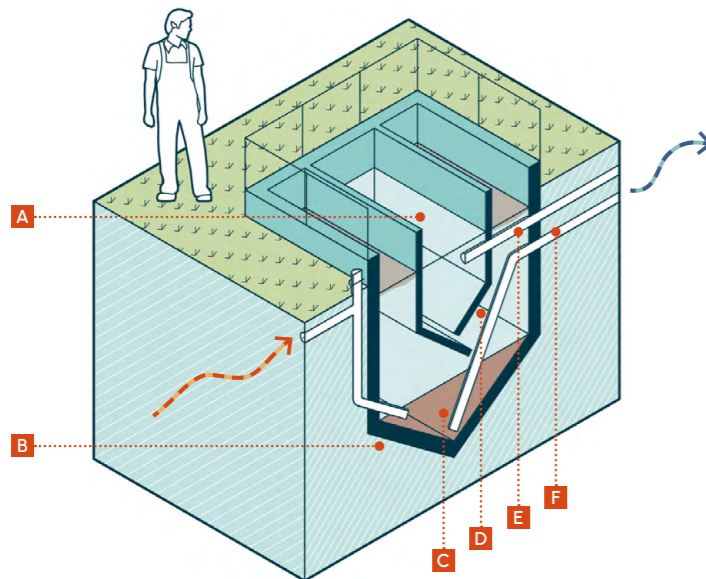
Fatores Determinantes

Caracterização do afluente aportado; configuração das etapas seguintes de processamento do lodo; taxa de aporte de lodo na estação; disponibilidade de operadores para a supervisão e remoção periódica de lodo e espuma.

Referências

Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014

6.10 Tanque Imhoff



- A** Acúmulo de espuma
- B** Tanque impermeabilizado
- C** Acúmulo de lodo
- D** Barreira interna para separação trifásica
- E** Efluente líquido
- F** Saída de lodo

Recebe
→ Esgoto doméstico
→ Lodo

Encaminha
→ Lodo adensado
→ Efluente líquido
→ Biogás

Função

Remoção de sólidos suspensos e estabilização parcial da matéria orgânica, além de ser utilizado em muitos casos para adensamento do lodo.

Potenciais e Aplicabilidade

Baseado em processo anaeróbio, a solução produz relativamente pouco lodo. Trata-se de uma tecnologia robusta e que demanda pouca área para sua implementação.

Variações

A configuração dos tanques varia entre sistemas circulares ou retangulares, sempre com fundo inclinado. Podem ser construídos com alvenaria no local, mas existem também sistemas pré-fabricados de fibra de vidro e plástico.

Operação e Manutenção

Desobstrução dos canais de escoamento, remoção de espuma e ventilação dos gases devem ser feitos sempre que necessários. De forma mais esparsa é importante remover acúmulos nas paredes do tanque de sedimentação, a cada 2 meses; e fazer a retirada de lodo da câmara de digestão, seguindo os intervalos de design (ou sempre que a manta de lodo ficar a menos de 50 cm da abertura do compartimento de sedimentação).

Dimensionamento

Tem tempo de detenção hidráulica variando entre 2 a 4 horas e o lodo é acumulado entre 4 e 12 meses. Profundidade total entre 7,5 e 9m. A inclinação do fundo do compartimento de sedimentação deve ser de 1,25-1,75:1; e a do fundo da câmara de digestão de 45°.

Eficiência

Redução dos sólidos suspensos de 50 a 70% e de demanda química de oxigênio de 25 a 50%.

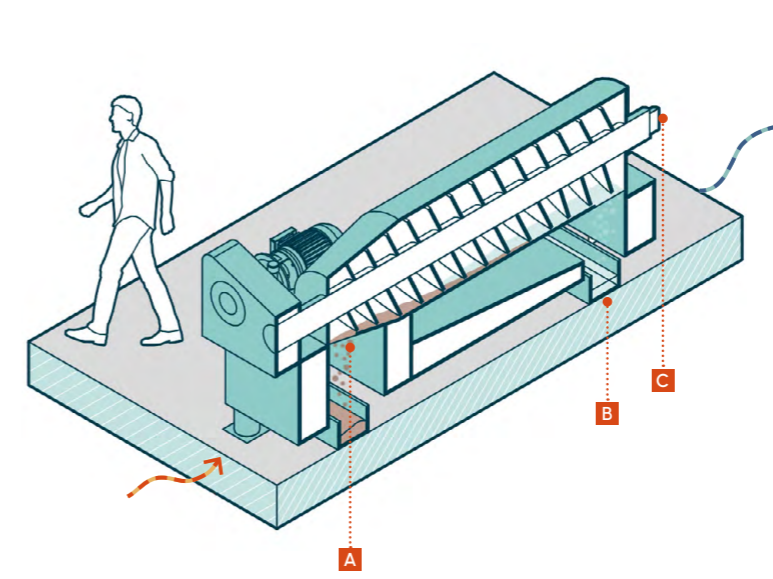
Fatores Determinantes

Caracterização do afluente aportado; configuração das etapas seguintes de processamento do lodo; taxa de aporte de lodo na estação; disponibilidade de operadores para a supervisão e remoção periódica de lodo e espuma.

Referências

Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014

6.11 Tanque de sedimentação



- A** Saída de lodo desaguado
- B** Saída do efluente líquido
- C** Entrada do lodo

Recebe
→ Lodo estabilizado

Encaminha
→ Lodo desaguado
→ Efluente líquido

Função

Remoção de água livre do lodo de forma rápida e compacta.

Potenciais e Aplicabilidade

Processos mecânicos demandam equipamentos especializados e demanda energia para operar, mas são extremamente rápidos e compactos.

Variações

Os principais processos mecânicos de deságue de lodo são a centrífuga, o filtro-prensa e a prensa parafuso.

Operação e Manutenção

Sistemas mecânicos demandam mão de obra especializada e treinada para operação e manutenção dos equipamentos utilizados.

Dimensionamento

É feito de acordo com as características do lodo, objetivo de deságue e mecanismo mecânico escolhido.

Eficiência

Varia de acordo com o projeto e sistema aplicado.

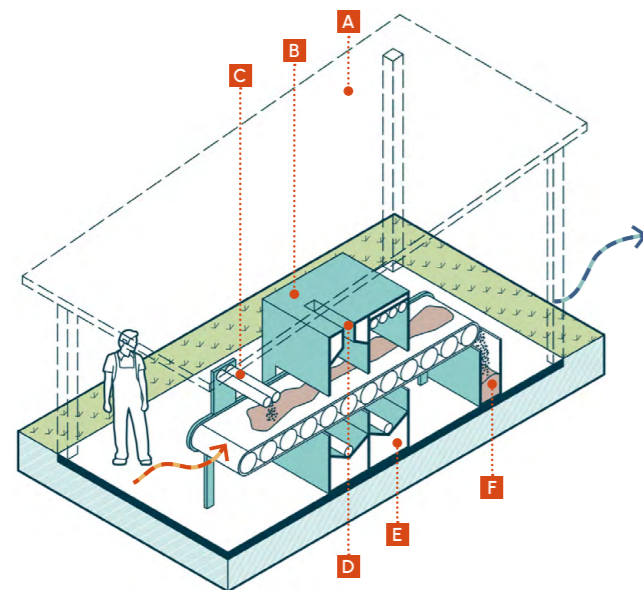
Fatores Determinantes

Taxa de recebimento de lodo; disponibilidade de área; disponibilidade de mão de obra especializada.

Referências


ABNT, 1992; Bassan et al., 2014

6.12 Secagem térmica e peletização



- A** Tampas de acesso para inspeção e coleta de lodo e espuma
- B** Sistema de secagem térmica
- C** Entrada do lodo
- D** Saída de gases e vapores
- E** Captação do efluente líquido
- F** Saída do lodo desidratado

 **Recebe**
→ Lodo

 **Encaminha**
→ Lodo desidratado
→ Efluente líquido
→ Gases e vapores

Função

Secagem do lodo e remoção de patógenos; pode também peletizar o produto final.

Potenciais e Aplicabilidade

Muito compacta e robusta, essa solução alcança uma elevada redução de volume e da carga patogênica. O lodo a ser tratado deve ter umidade de 45 e 90%; lodo de sistemas secos pode ser adicionado a lodos de fossas sépticas para alcançar esses valores (a literatura reporta um traço de 1:2, lodo-seco:lodo-fresco). O produto final apresenta praticidade para aproveitamento energético e possui um aspecto de fácil aceitação para os usuários. Aplicável em contextos onde há limitações severas na área disponível para implementação do tratamento dos lodos por sistemas naturais.

Variações

Este sistema pode possuir diferentes configurações mecânicas, sendo que uma variação em destaque é o processo LaDePa. Este sistema pode ou não incluir a peletização como beneficiamento do subproduto, encaminhando o material resultante para disposição final ou reuso como condicionante de solo.

Operação e Manutenção

Envolve maquinário específico que demanda mão-de-obra especializada para operação e manutenção. O consumo de energia pelo processo é um fator central a ser considerado. A disponibilidade de peças para reposição também deve ser planejada.

Dimensionamento

Específico para o volume e qualidade do lodo. O sistema LaDePa, por exemplo, processa 1.000 kg/hora.

Eficiência

Variável de acordo com a tecnologia, mas pode entregar lodos com umidade variando entre 10 e 20%.

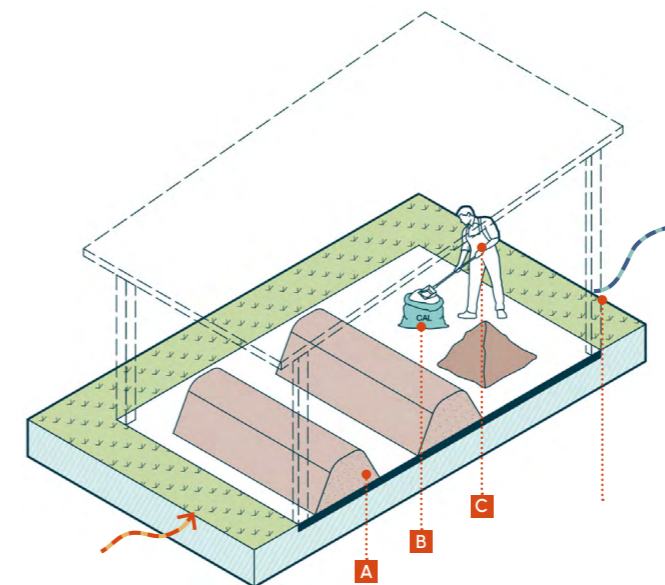
Fatores Determinantes

Taxa de recebimento de lodo; disponibilidade de área; disponibilidade de mão de obra especializada; interesse por aproveitamento dos subprodutos do sistema de tratamento.


Referências

Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014; S. Septien et al., 2018

6.13 Adição de Cal



- A** Lodo
- B** Cal
- C** Equipamento de proteção para manejo da cal

 **Recebe**
→ Lodo úmido ou desaguado
→ Composto

 **Encaminha**
→ Lodo esterilizado

Função

Tratamento químico do lodo alcançando bons resultados na inativação de patógenos e podendo ser usado como mecanismo de secagem química.

Potenciais e Aplicabilidade

A cal é um método consolidado de inativação de patógenos. Material normalmente disponível localmente, pode também ser usada no processo de secagem química do lodo e o uso de lodo seco com cal na produção de cimento, em substituição a própria cal, reduz em até 40% a emissão de NOx dos fornos, devido a presença de amônia no lodo.

Variações

Comercializada virgem ou hidratada a aplicação da cal pode ser feita de forma manual ou mecanizada e na etapa final ou inicial do tratamento, de acordo com o projeto. O uso na etapa inicial deve ser ponderado, uma vez que a elevação do pH pode impactar nos processos biológicos de estabilização da matéria orgânica.

Operação e Manutenção

Por se tratar de um produto químico corrosivo a pele é fundamental o treinamento da equipe e uso de equipamento de proteção. O manuseio e aplicação do material deve ser feita com o uso de equipamentos de proteção individual e ferramentas que minimizem o contato do operador com a Cal. Demanda inspeção e reposição periódica dos equipamentos pode ser necessária, devido ao elevado pH das soluções concentradas de cal, que pode desgastar ferramentas, materiais e tubulações, demandando inspeção periódica e manutenção sempre que necessária, das mesmas. Requer local adequado e seguro para estocagem do insumo.

Dimensionamento

Na inativação de patógenos a aplicação é feita de maneira a alcançar e manter, por no mínimo 2 horas, o pH de 12; nesse caso a dose recomendada é de 10 a 17% em massa. Para a secagem térmica, a adição de 100% em massa reduz a umidade de 80 para 5%.

Eficiência

Elevada na inativação de patógenos. Redução de 75% da umidade na dose indicada.

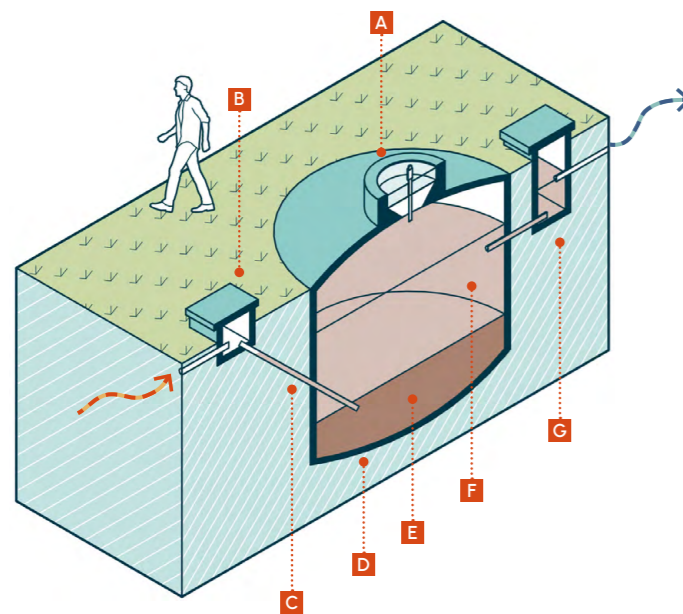
Fatores Determinantes

Taxa de recebimento de lodo; disponibilidade de área para estocar a cal; disponibilidade de mão de obra treinada e equipamentos de proteção individual; interesse por aproveitamento dos subprodutos do sistema de tratamento.

Referências

Taruya, Okuno e Kanaya, 2002; CONAMA, 2006b; Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014

6.14 Biodigestor



- A** Tomada de gás
- B** Câmara de recebimento
- C** Tubulação de entrada
- D** Paredes impermeáveis
- E** Acúmulo de lodo
- F** Acúmulo de espuma
- G** Câmara de compensação e saída do efluente

Recebe
 → Esgoto doméstico
 → Lodo
 → Resíduos sólidos orgânicos

Encaminha
 → Efluente tratado
 → Biogás
 → Lodo e espuma

Função

Esses sistemas promovem a remoção de matéria orgânica por meio da digestão anaeróbia e propicia o acúmulo do biogás produzido para aproveitamento energético. O efluente líquido, sai do sistema em fluxo contínuo e pode ser encaminhado para fertirrigação, mas pode demandar ainda tratamento complementar antes do lançamento ou uso. O lodo e a espuma retidos no sistema devem ser removidos periodicamente.

Potenciais e Aplicabilidade

Dentro outros sistemas anaeróbios, seu maior potencial é relacionado produção de biogás (quanto à performance de tratamento, não apresenta um diferencial - podendo inclusive ter menor eficiência do que sistemas como fossas compartimentadas). O biogás, pode ser utilizado cocção até produção de eletricidade dependendo da escala do sistema. Esta solução pode receber esgotos domésticos, lodos e outros resíduos orgânicos (de preferência já triturados ou em pequenas dimensões), no entanto pode ser pouco recomendável se for específico para efluentes muito diluídos (como apenas águas cinzas).

Variações

As principais variações dos biodigestores estão associadas ao sistema de regulação da pressão interna, sendo domo flutuante (modelo indiano); domo fixo com câmara de compensação (modelo chinês, ou sistema autônomo de armazenamento do gás); e domo tipo balão. Pode ser implementado no local com alvenaria ou peças pré-moldadas. Há também diferentes opções de produtos pré-fabricados.

Operação e Manutenção

A operação desses sistemas é delicada e deve considerar uma rotina de inspeção diária, principalmente a integridade das tubulações de gás, a funcionalidade dos dispositivos de regulação da pressão interna e o estado das câmaras de recebimento e saída. A remoção de lodo e limpeza depende do regime de alimentação, sendo normalmente projetada para cada 5 a 10 anos.

Dimensionamento

Tempos de detenção típicos são 15 dias em clima quente; 25 dias em clima temperado; e 60 dias devem ser considerados em sistemas recebendo efluente com elevados teores de patógenos. Maiores detalhes construtivos devem ser buscados nas referências.

Eficiência

Remoção de matéria orgânica entre 50% e 80% e de sólidos comumente abaixo de 40%. Seu efluente demanda tratamento complementar antes do lançamento.

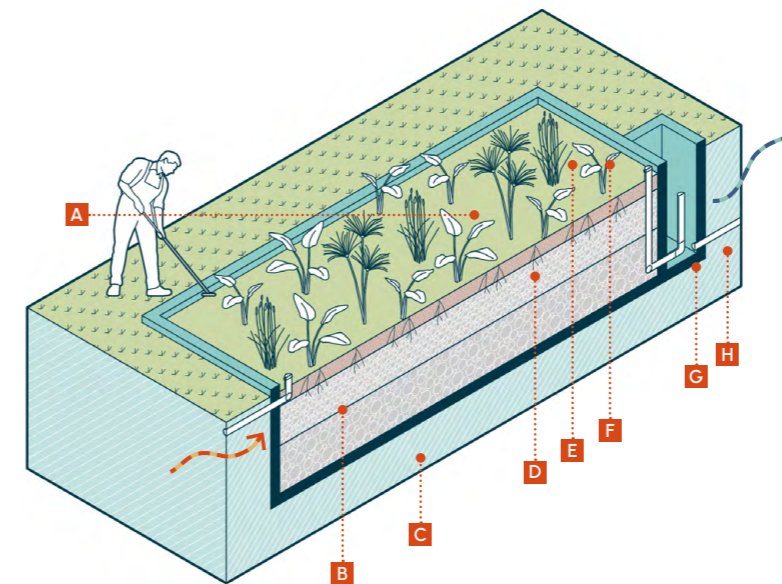
Fatores Determinantes

Taxa de recebimento de lodo ou esgoto; disponibilidade de área; disponibilidade de mão de obra especializada; interesse por aproveitamento dos subprodutos do sistema de tratamento.

Referências

FAO, 1996; Tilley et al., 2014; Vögeli et al., 2014

6.15 Zona de raízes



- A** Leito plantado
- B** Tubulação de entrada com dispositivo de inspeção
- C** Paredes impermeabilizadas
- D** Meio suporte da vegetação
- E** Meio filtrante de baixa granulometria
- F** Meio filtrante de alta granulometria
- G** Tubulação de saída com dispositivo de inspeção
- H** Dispositivo de controle do nível interno da água

Recebe
 → Esgoto doméstico após tratamento primário
 → Lodo pré-tratado
 → Parte líquida drenada dos sistemas de adensamento e desidratação

Encaminha
 → Efluente tratado
 → Biomassa vegetal
 → Lodo estabilizado (no caso do tratamento de lodo)

Função

Utilizado no pós-tratamento de esgotos domésticos, no tratamento do lodo ou da parte líquida drenada dos sistemas de adensamento, deságue e desidratação do lodo. São sistemas eficientes na remoção de sólidos suspensos, matéria orgânica e com capacidade de remoção moderada de nitrogênio e fósforo. Tem como saídas o efluente tratado que pode ser reutilizado ou disposto e biomassa vegetal desenvolvida no sistema.

Potenciais e Aplicabilidade

Aplicável a todas as escalas, desde que se disponha de área suficiente. Trata-se de uma solução robusta, que recebe bem flutuações na qualidade dos efluentes recebidos. Requer projeto especializado, execução qualificada e manutenção periódica da cobertura vegetada

Variações

Esses sistemas apresentam grandes variações construtivas, sendo os principais tipos o de fluxo subsuperficial horizontal, fluxo subsuperficial vertical e o sistema de fluxo superficial, onde a água está exposta a atmosfera. Pode possuir diferentes geometrias, mas o comprimento e largura devem ser adequados ao tipo de sistema e forma de distribuição do afluente. Deve ter paredes e fundo impermeabilizados, que podem ser feitos com alvenaria, ferro cimento ou mantas geotêxteis (como camada dupla de lona 200 micra). As espécies vegetais aplicadas também variam expressivamente, devendo ser adaptadas às condições e disponibilidade local, tendo como exemplo taboa, papiro, lírio, capim tifton, bananeiras.) Os sistemas podem ser feitos para operar em fluxo contínuo ou batelada (como o modelo francês).

Operação e Manutenção

De forma geral esses sistemas apresentam pouca demanda de manutenção, sendo comum sistemas com mais de 20 anos de operação contínua. Sua cobertura vegetal, no entanto, demanda manutenção periódica de poda.

Dimensionamento

Comumente apresenta áreas de 1,5 a 3 m²/usuário. O dimensionamento do volume deve considerar o volume útil (livre dos meios de preenchimento), e não o total do sistema. Recomenda-se a leitura das referências para maiores detalhes construtivos sobre a composição das camadas e configuração das tubulações, de acordo com o tipo de efluente a ser aportado.

Eficiência

Remoção global de matéria orgânica e sólidos suspensos superior a 80%; remoção de nitrogênio inferior a 50% e de fósforo menor que 20%.

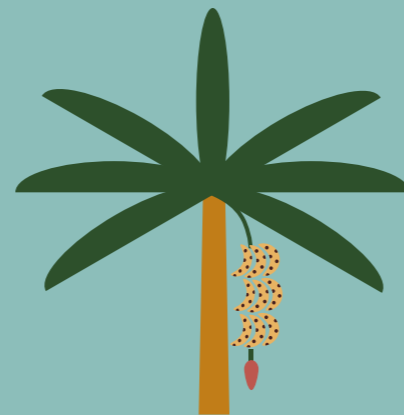
Fatores Determinantes

disponibilidade de área; condições climáticas locais; tipo de efluente a ser aportado; disponibilidade de etapa preliminar para remoção de óleos, gorduras e sólidos grosseiros; disponibilidade para rotina de supervisão, podas e reposição vegetal.

Referências

Tilley et al., 2014; Sperling e Sezerino, 2018

7.

DISPOSIÇÃO FINAL
E REUSO

Ao longo das diferentes etapas de processamento do lodo, diferentes subprodutos são obtidos, seja sólido, líquido ou gasoso. Estes efluentes apresentam um grande potencial de uso, na geração de energia, irrigação, condicionamento e fertilização do solo. No entanto, se dispostos de forma inadequada ou utilizados de maneira incorreta, especialmente dependendo do nível de tratamento ao qual foram submetidos, os mesmos podem causar impacto significativo ao meio ambiente e à saúde pública. Dessa forma, é fundamental o planejamento e monitoramento da disposição final e/ ou do reuso dos produtos gerados no processo de tratamento de esgotos e lodos. Complementando o diagrama do capítulo anterior, Figura 5, podemos representar as principais linhas de efluente/ sub-produtos decorrentes do tratamento dos lodos fecais e esgotos domésticos, sendo elas: sólidos grosseiros; fração líquida; gases decorrentes dos processos de estabilização da MO; e o biossólido (lodo estabilizado e eventualmente adequado para uma demanda específica).

Diversas são as possibilidades de uso dos efluentes finais de sistemas de esgotamento sanitário. Como abordado no conceito de economia circular, a reincorporação desses produtos na cadeia produtiva, traz muito mais do que um benefício econômico, mas uma melhora significativa no desempenho ambiental e na sustentabilidade dos processos de tratamento de esgotos domésticos. Os

sistemas baseados no MLF tem se estruturado amplamente sobre esse conceito, sendo sua flexibilidade e adaptabilidade às realidades locais uma vantagem (Moya, Sakrabani e Parker, 2019). Podem ser destacados da literatura o uso dos biossólidos como composto ou condicionante de solo (Cofie e Drechsel, 2005; Bassan et al., 2014); a produção de proteína (Lalander et al., 2013; Dortmans et al., 2017); o biogás proveniente de processos anaeróbios (Jordão e Pêsoa, 2011; Dangol e Rajbhandari, 2017); além do reuso planejado da água tratada, especialmente em regiões com escassez hídrica (Andreoli, 2009; Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014). Ainda, o reuso do lodo e efluentes líquidos tratados como fertilizante possui um elevado potencial, diante da quantidade de macronutrientes presentes nas excretas humanas. A Tabela 3, correlaciona a oferta destes componentes com a demanda dos mesmos no cultivo de cereais.

Essa seção se dedica a algumas possíveis formas de reuso ou disposição final dos diferentes efluentes decorrentes dos processos de tratamento de esgotos domésticos e dos lodos fecais.

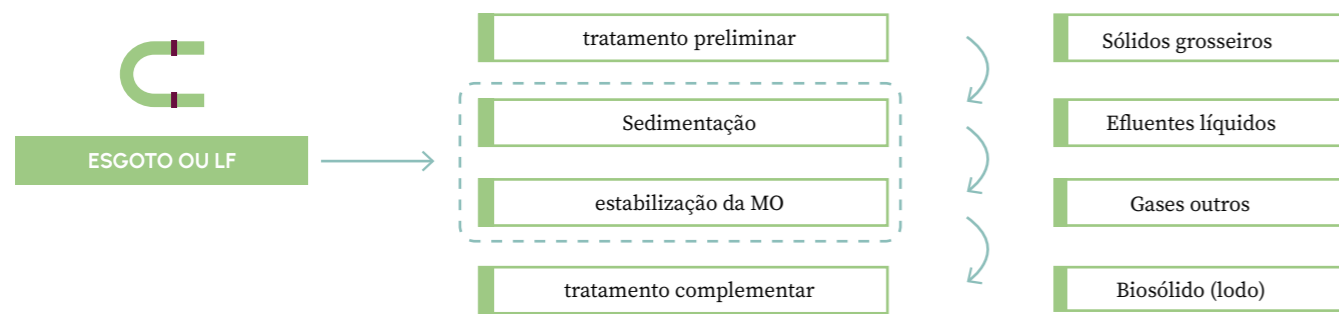


Figura 5: Linhas de efluente provenientes das diferentes etapas de tratamento dos lodos fecais

NUTRIENTE	URINA ¹	FEZES ²	TOTAL	DEMANDA PARA O CULTIVO DE 250KG DE GRÃOS ³	%
NITROGÊNIO (N)	4,0	0,5	4,5	5,6	80
FÓSFORO (P)	0,4	0,2	0,6	0,7	86
POTÁSSIO (K)	0,9	0,3	1,2	1,2	100
TOTAL (N-P-K)	5,3	1,0	6,3	7,5	84

¹50L/CAPITA.ANO; ²500L/CAPITA.ANO; ³Drangert,1998, apud Bassan et al., 2014

Tabela 3: Nutrientes disponíveis nas excretas humanas e demanda nutricional para a produção de 250kg de grãos

RESÍDUOS SÓLIDOS



Os resíduos sólidos gerados do processo de tratamento de esgotos domésticos e do MLF podem ser divididos em duas categorias amplas, os sólidos grosseiros e sedimentáveis e os lodos em si. Os primeiros, derivam da etapa de pré-tratamento e representam uma pequena parcela dos sólidos totais oriundos do tratamento como um todo; no entanto, dada sua natureza, bastante heterogênea e seu difícil tratamento, têm como destino mais comum o aterro sanitário. Os lodos, também chamados de biosólidos, representam a maior parte dos sólidos que deixam os

sistemas de tratamento; apresentam características mais homogênea, embora variada de acordo com o tipo de tratamento do qual derivam, e suas propriedades o tornam, de forma geral, um produto com grande potencial para inserção no mercado agrícola. Tratamento alternativos, como a vermicompostagem ou o processamento de lodo pela mosca soldado, produzem ainda outros subprodutos sólidos, como húmus e proteína (Andreoli, Sperling e Fernandes, 2007; Bassan et al., 2014; Tonetti et al., 2018). A seguir são apresentadas algumas soluções consolidadas, ou de grande potencial, para o aproveitamento dos biosólidos ou para sua disposição adequada.

EFLUENTES LÍQUIDOS



Como já abordado anteriormente, os esgotos domésticos e os lodos fecais (em grande parte) são compostos majoritariamente por água. Durante o processo de tratamento dos mesmos, após a separação da fração sólida, o lodo do tratamento, há uma linha de efluente líquido; essa, inclusive, representa a maior massa saindo de qualquer sistema de tratamento. Essa água, já tratada, pode ser reutilizada ou deve receber uma encaminhamento ambientalmente adequado, como a disposição em corpos superficiais ou a infiltração no solo, para recarga de aquíferos. A forma de se proceder com esses efluentes deve ser estudada criteriosamente, considerando sempre sua qualidade, os padrões estipulados pela legislação ambiental pertinente e de acordo com as características ambientais locais (Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014; Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde., 2018; Tonetti et al., 2018). Esse documento apresenta nessa seção algumas soluções para lidar com o reuso ou a destinação final dos efluentes líquidos derivados do tratamento de esgotos sanitário e do lodo fecal.

EFLUENTES GASOSOS



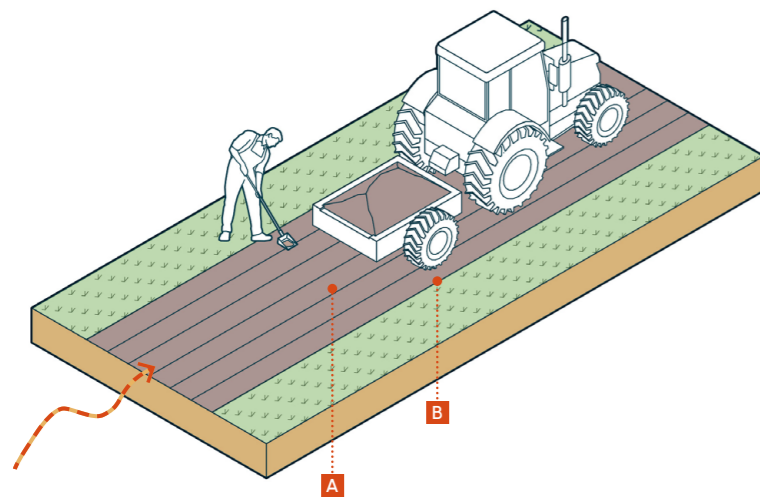
Uma das principais linhas de sub-produtos do tratamento do esgoto ou lodo fecal é aquela composta pelos gases decorrentes do metabolismo dos microrganismos envolvidos nesse tratamento. Em especial, soluções de tratamento que se beneficiam de processos anaeróbios de estabilização da matéria orgânica, uma vez que esses transformam cerca de 75% do material orgânico biodegradável em gás (Jordão and Pêsoa, 2011; Sperling, 2014). Esse gás, proveniente da decomposição anaeróbica da matéria orgânica, também é chamado biogás e é composto por metano, dióxido de carbono e alguns outros gases traço. O metano, além de ser um gás de preocupação no agravamento do efeito estufa, e que portanto demanda tratamento adequado, tem elevado poder calorífico, o que permite seu reaproveitamento energético (Sperling 2014). As possibilidades de aproveitamento do biogás são bastante atrativas sempre, tanto que sistemas de biodigestor foram projetados justamente para fazer o melhor proveito possível dessa substância; no entanto deve sempre ser avaliada de forma detalhada a capacidade de produção de gás, sendo comum a necessidade de co-processamento de outros resíduos orgânicos, ou de fezes de animais, para que o sistema torne-se viável (Vögeli et al., 2014; Rao e Doshi, 2018).

Quadro 2: Quantidade de combustível requerida e demanda equivalente suprida em diferentes usos do LF

TIPO DE REUSO	QUANTIDADE FINAL A SER ENTREGUE	DEMANDA SUPRIDA DO USUÁRIO FINAL
recuperação do biogás a partir do LF em contexto doméstico	$\geq 1,2 \text{ m}^3 \text{ biogás/dia}$	$\geq 1200 \text{ m}^3 \text{ biogás/dia, ou}$
recuperação do biogás a partir do LF em comunidades densas	$\geq 1200 \text{ m}^3 \text{ biogás/dia, ou}$	$\geq 1200 \text{ m}^3 \text{ biogás/dia, ou}$
LF seco para combustível	$3,7 \times 10^5 \text{ MJ/dia de combustível}$	$\geq 1200 \text{ m}^3 \text{ biogás/dia, ou}$

* clínquer é o cimento em suas etapas iniciais de fabricação

7.1 Condicionamento de solos



A Aplicação do composto

B Carreta para transporte

Recebe

→ Lodo úmido ou desaguado
→ Composto

Função

Tratamento químico do lodo alcançando bons resultados na inativação de patógenos e podendo ser usado como mecanismo de secagem química.

Potenciais e Aplicabilidade

O composto derivado de lodos biológicos possuem um elevado teor de carbono e outros nutrientes importantes, como nitrogênio e fósforo. Sua aplicação no solo diminui a demanda por fertilizantes industrializados, melhora a sua aeração e aumenta a sua capacidade de receber e reter água e íons. Essa forma de reuso, além de aumentar a produtividade agrícola, pode fortalecer a relação com os usuários e autoridades locais. Aplicável em contextos onde há proximidade das áreas de aplicação, já que o transporte a grandes distâncias pode inviabilizar esse uso.

Variações

O lodo pode ser utilizado diretamente como um composto ou aplicado em trincheiras profundas, nesse último caso estudos da aplicação de lodo bruto na silvicultura.

Operação e Manutenção

O tratamento adequado do composto (lodo) é fundamental; nesse caso o composto pode ser utilizado normalmente. O uso de equipamentos de proteção individual é importante.

Dimensionamento

A forma de aplicação e dosagem de lodo dependem das características do mesmo e do solo, e da cultura a ser implementada no local.

Eficiência

A forma de aplicação e dosagem de lodo dependem das características do mesmo e do solo, e da cultura a ser implementada no local.

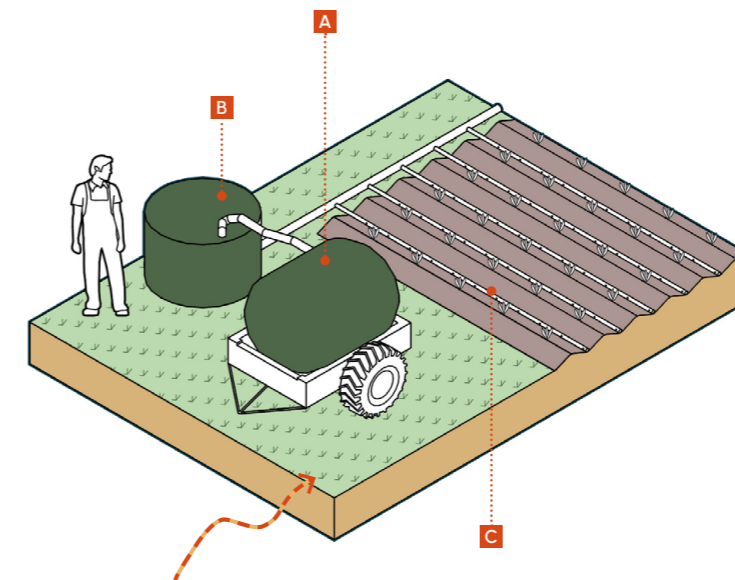
Fatores Determinantes

Proximidade entre estação de tratamento; disponibilidade e custo dos meios de transporte; áreas de aplicação; interesse e aceitação local para uso na agricultura.

Referências

CONAMA, 2006b, 2006a; Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014; Tonetti et al., 2018

7.2 Fertirrigação



A Tanque de transporte e armazenamento

C Aplicação em vala ou por sistema de gotejamento

B Tanque de equalização/distribuição

Recebe

→ Efluente líquido tratado

Função

Encaminhamento da fração líquida do lodo tratado. Desde que corretamente tratada e manejada a aplicação no solo, tanto na agricultura quanto no reflorestamento, traz importantes benefícios, com a irrigação, recuperação de nutrientes e a recarga de mananciais subterrâneos.

Potenciais e Aplicabilidade

Redução da demanda hídrica pela atividade agrícola e da dependência de fertilizantes químicos e/ou minerais, além da recarga das águas subterrâneas. Melhoria significativa na produtividade da cultura a um baixo custo. Aplicável em contextos onde há proximidade das áreas de aplicação, já que o transporte a grandes distâncias inviabiliza esse uso.

Variações

Águas residuais podem ser aplicadas por escoamento superficial, em tubulações ou em valas; ou com fluxo subsuperficial, por meio de tubulações ou veios com preenchimento vazado. Métodos que favorecem a dispersão aérea ou o contato humano com a água devem ser evitados. O transporte do efluente tratado aos locais de aplicação pode ser feito por meio de tubulações (em casos mais específicos) ou caminhões pipa (mais comum).

Operação e Manutenção

Cuidados operacionais devem ser tomados para a aplicação das doses corretas de efluentes tratados. Nos sistemas por gotejamento atenção deve ser dada pressão adequada e limpeza periódica das tubulações, de forma a evitar entupimentos. A manutenção desses sistemas consiste na checagem dos sistemas de distribuição, como tanques, tubulações e eventuais sistemas de bombeamento. O uso de equipamentos de proteção individual é importante.

Dimensionamento

Varia de acordo com as características do efluente, do solo e da cultura. Tubulações e valas devem ser dimensionadas diante da capacidade hidráulica necessária, atendendo a velocidades mínimas e máximas indicadas. O sistema de armazenamento deve levar em conta a dinâmica de irrigação e recebimento da água. Atenção especial deve ser dada aos níveis salinos desse efluente.

Eficiência

Varia de acordo com as características do efluente, do solo e da cultura.

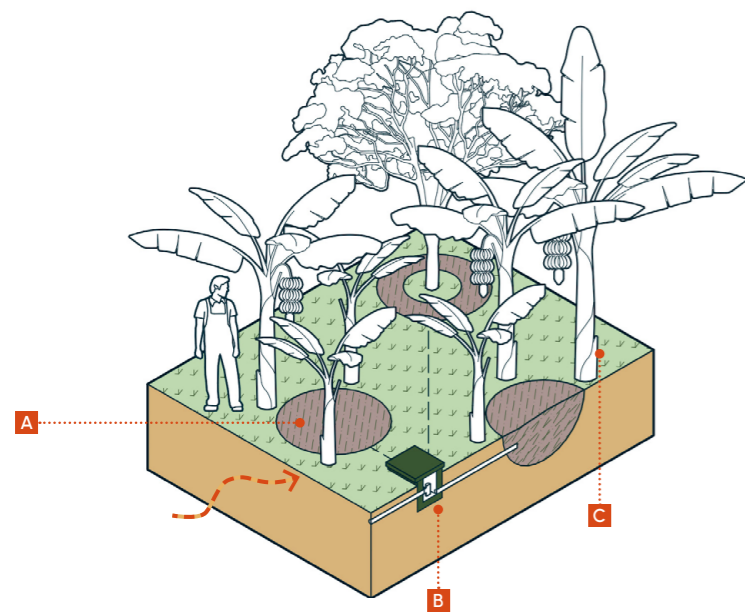
Fatores Determinantes

Proximidade entre estação de tratamento; disponibilidade e custo dos meios de transporte; áreas de aplicação; interesse e aceitação local para uso na agricultura.

Referências

Pescod, 1992; ABNT, 1997; CETESB, 1999; World Health Organization, 2006; Drechsel et al., 2010; Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014

7.3 Círculo de bananeiras



- A** Local de disposição
B Caixa de distribuição

- C** Vegetação com alta taxa de evapotranspiração



Recebe

→ Esgoto tratado

→ Águas cinzas

Função

Aplicação do efluente tratado no solo, propiciando irrigação e/ou infiltração da água.

Potenciais e Aplicabilidade

De baixo custo para implementação e operação, esses sistemas simples além de recarregar o aquífero local permitem o reuso da água pelas culturas que circundam. Por serem sistemas superficiais, conseguem operar em terrenos com o nível subterrâneo mais raso do que sumidouros, além de propiciar aproveitamento da biomassa cultivada.

Variações

Uma variação desse sistema são os filtros de mulche, que possuem dimensionamento e estrutura similar, no entanto são plantadas espécies frutíferas no centro do círculo. São estruturas de confecção simples e local, sendo preenchido com galhos secos e palha. Estes sistemas podem ser implementados em formato circular ou prismático. Em locais com solo muito arenoso é recomendada a aplicação de uma camada de argila nas paredes e fundo do sistema.

Operação e Manutenção

Manutenção bastante simples, consiste basicamente na remoção e reposição periódica do substrato e manutenção do nível dos materiais de preenchimento. Alimentos produzidos em contato com o substrato devem ser consumidos cozidos por pelo menos 3 minutos em água fervente.

Dimensionamento

Profundidade entre 0,5 e 0,8m e raio de aproximadamente 1,4m, devem ser usadas espécies que gostem de elevados níveis de umidade em seu centro e/ou margens (eg: bananeiras, taiobas etc.).

Eficiência

-

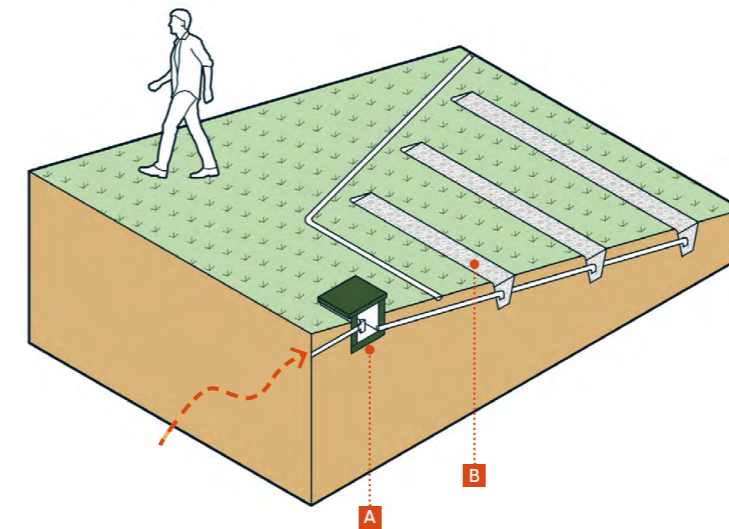
Fatores Determinantes

Disponibilidade de área; nível da água subterrânea; permeabilidade do solo; nível de tratamento do efluente.

Referências

Tilley et al., 2014; Pureza et al., 2015; Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde., 2018; Tonetti et al., 2018

7.4 Vala de infiltração



- A** Caixa de distribuição

- B** Valas posicionadas em nível



Recebe

→ Esgoto tratado

→ Águas cinzas

Função

Disposição final das águas residuais, por meio de infiltração no solo.

Potenciais e Aplicabilidade

Aplicados em localidades com disposição de área e solo adequado a infiltração. Esses sistemas podem ser operados em locais com nível da água subterrânea mais superficiais do que nos casos de sumidouros.

Variações

A configuração das valas pode variar tanto da largura, profundidade e extensão, como no material de preenchimento utilizado (brita, entulho, rachão etc.). A distribuição do fluxo entre as linhas de infiltração pode ser feito por meio de caixas de passagem ou por conexões específicas junto às tubulações. O sumidouro pode ser considerado uma variação desse sistema, sendo aplicável em locais com o nível da água subterrânea mais profundo; sua vantagem é ocupar menos espaço.

Operação e Manutenção

Cuidados devem ser tomados para a distribuição homogênea do efluente por todas as valas do sistema. Limpeza eventuais das tubulações e valas, ou até substituição do material de preenchimento, podem ser necessárias, mas sistemas bem mantidos podem operar por até 20 anos sem muita manutenção.

Dimensionamento

Área determinada de acordo com as características do solo, consultar referências. As valas têm largura variando de 0,3 a 1,0 m; e profundidade entre 0,3 e 1,5 m. Devem ser preenchidas com material de preenchimento que garanta uma boa taxa de espaço vazio. O espaçamento entre valas deve ser de 2 m. Para sumidouro consultar a NBR da referência.

Eficiência

Varia de acordo com a permeabilidade do solo.

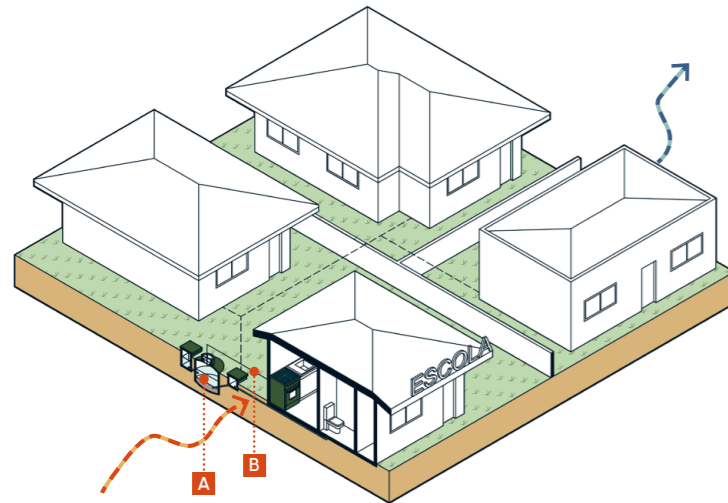
Fatores Determinantes

Disponibilidade de área; nível da água subterrânea; permeabilidade do solo; nível de tratamento do efluente.

Referências

ABNT, 1997; Tilley et al., 2014; Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde., 2018; Tonetti et al., 2018

7.5 Aproveitamento energético



A Produção de biogás

B Rede de biogás:
canalização,
purificação e
armazenamento

Recebe
→ Biogás

Encaminha
→ Energia térmica
→ Energia elétrica

Função

Aproveitamento do biogás oriundo dos processos anaeróbios de tratamento de efluentes.

Potenciais e Aplicabilidade

Além de representar uma fonte econômica de energia, com possibilidade de aproveitamento térmico ou até conversão em eletricidade, esses sistemas de manutenção relativamente simples, reduzem os impactos climáticos do sistema de tratamento pela combustão do metano.

Variações

As principais formas de aproveitamos energético do biogás são a recuperação calorífica, seja para cocção ou para aquecimento; e a conversão em energia elétrica. No entanto, desde de que adequadamente tratado, o gás pode ser utilizado também em motores de combustão e ter outros fins.

Operação e Manutenção

Depende do sistema implementado, mas limpeza e atenção as tubulações de transporte e tanques de armazenamento do biogás para detectar vazamento e/ ou entupimentos.

Dimensionamento

A produção de biogás varia amplamente de acordo com o sistema implementado e qualidade do efluente tratado. Para ponderações de uso, considerar o consumo de biogás como sendo de 300 – 400 L/hora por boca de fogão.

Eficiência

A eficiência de recuperação energética do biogás é de 3% em lâmpadas, 24% em motores, 55% em fogões e 88% em sistemas de conversão para energia elétrica.

Fatores Determinantes

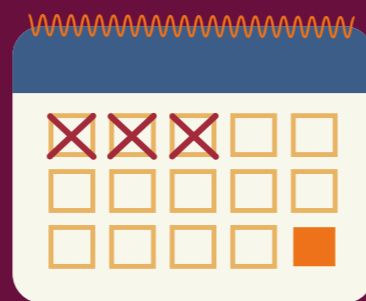
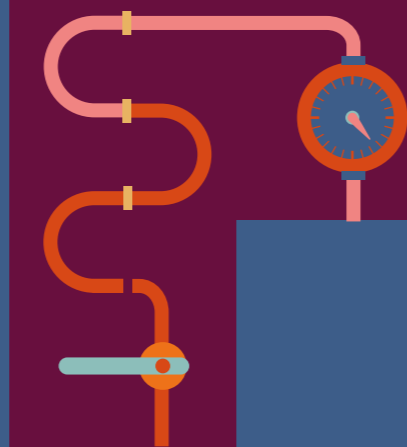
Quantidade e caracterização do efluente (para verificar se justificam o investimento no sistema de aproveitamento); demanda e interesse pelo recurso.

Referências

Bassan et al., 2014; Tilley et al., 2014; Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2015

8

MODELOS DE SERVIÇO COLETIVOS PARA A OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS



Após abordar as diferentes etapas básicas de manejo de esgotos e lodo fecal, e exemplificar soluções para cada etapa, é importante ressaltar que, além do arranjo de sistemas estruturais, existem diferentes modelos de serviço para a implementação e operação destes sistemas. A definição destes arranjos deve, assim como as tecnologias empregadas, levar em conta as condições e potencialidades locais para propiciar mecanismos de atendimento efetivos e sustentáveis.

Mesmo que grande parte dos serviços de esgoto centralizados sejam efetuados por uma única prestadora (seja ela pública, privada ou a própria gestão municipal), existem arranjos que distribuem funções complementares entre diferentes atores. Mesmo nos sistemas centralizados, além de eventuais divisões de escopo entre as etapas de transporte e tratamento de esgoto, a responsabilidade pela etapa de contenção (conexão da tubulação predial de esgoto à rede de coleta de esgoto) é comumente dos proprietários dos estabelecimentos. Tratando de sistemas descentralizados, baseados no manejo de lodo fecal, é comum a participação de uma série de atores na cadeia de serviço - com responsabilidade distintas entre a contenção e o reuso. A configuração desta forma de atendimento de esgoto propicia uma fragmentação mais nítida e distinta entre as etapas, de forma que usuários, gestão comunitária, profissionais locais de limpeza de fossa, gestão pública municipal e/ou prestadores de serviço de saneamento recorrentemente fazem parte de uma mesma cadeia de serviço. Essa

característica permite um leque de arranjos institucionais maior e mais flexível do que o encontrado em sistemas de esgotamento sanitário convencionais.

Para além das diferentes estruturas de governança em torno do saneamento, que varia entre as localidades e países, é possível categorizar os atores envolvidos na cadeia de serviço do saneamento em três grupos-chaves de atores: os usuários do sistema (população atendida); as autoridades públicas ou organizações responsáveis pela legislação e regulação dos sistemas, geralmente voltados à saúde pública e meio ambiente; e organizações públicas ou privadas que prestam algum serviço na cadeia de valor do esgoto, e/ou que se beneficiam da recuperação de recursos e/ou aproveitamento de subprodutos (Bassan et al. 2014). A Figura 6 apresenta uma distribuição destas categorias entre as diferentes etapas da cadeia de serviço de esgoto.

Outra forma de representar a cadeia de valor do esgotamento sanitário é apresentada de forma resumida na Figura 7 (Jayathilake et al. 2019). Avaliar e estruturar os sistemas de esgotamento sanitário baseados no manejo do lodo fecal a partir dessa perspectiva, da proposição de valores entre componentes da cadeia de valor, tem sido recorrente na literatura e se mostrado uma técnica contundente para a implementação de diversos projetos piloto e em escala (Rao et al. 2016; Kennedy-Walker et al. 2016). Observa-se ainda que a concepção baseada em princípios de economia circular, com forte atenção à valoração dos subprodutos do tratamento dos lodos fecais, é um elemento chave em operações economicamen-

CADEIA DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO

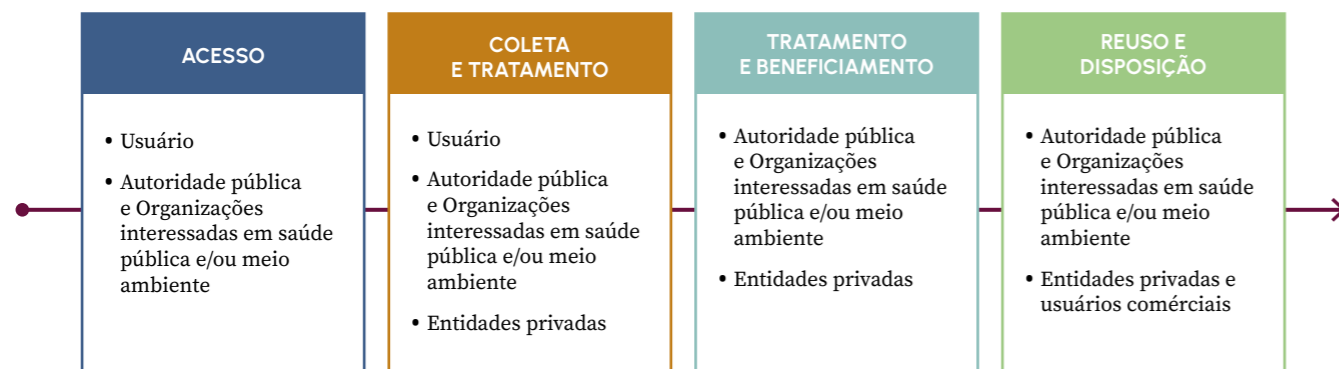


Figura 6: Principais atores envolvidos nas diferentes etapas do MLF. Adaptado de Rao et al., 2016

te sustentáveis, que além de possibilitarem a recuperação de valor levam a um maior engajamento de atores, o que é essencial à permanência dos sistemas (Moya, Sakrabani, and Parker 2019; Jayathilake et al. 2019). Rao et al. (2016) destaca que sistemas que valorizam o reuso de produtos derivados dos lodos têm metade do custo operacional anual daqueles que apenas tratam o lodo para envio à disposição final. Essa seção se propõe a apresentar alguns modelos que têm se demonstrado efetivos, embora, claro, seja fundamental reforçar que a determinação do tipo mais adequado depende de ponderação sobre as particularidades locais.

Alguns aspectos gerais sobre as possibilidades referentes às diferentes etapas da cadeia de serviço são descritos a seguir.

CONTENÇÃO: Comumente de responsabilidade dos usuários, seja pela instalação de soluções individuais (nas configurações descentralizadas), ou pela conexão da tubulação predial de esgoto na rede de coleta (nas configurações centralizadas). No entanto, tratando de con-

textos de atendimento em situação precária ou com baixo poder aquisitivo, a implementação adequada destes pode ser restrita, sem alguma forma de estímulo ou apoio por parte do poder público ou prestadora de serviço responsável. Nestes casos, estruturar programas de difusão de tecnologias sociais, financiamento ou subsídio para a instalação destes sistemas constituem importantes estratégias para a universalização do acesso aos serviços de esgoto.

COLETA e TRANSPORTE: No caso dos sistemas descentralizados, quando os usuários não têm interesse ou disponibilidade para gerir o lodo fecal (retido na solução individual) por conta própria e/ou no próprio local, essas atividades costumam ser terceirizadas para prestadores de serviço voltados para a remoção do lodo e transporte do mesmo. Estas atividades são recorrentemente desempenhadas por serviços privados de limpa fossa (regulares ou irregulares), mas podem que podem ser oferecidos por associações comunitárias, ou pela prestadora municipal de saneamento (seja uma companhia estadual,

empresa privada, autarquia ou pela própria gestão pública municipal). O planejamento adequado desta etapa é de grande relevância para a ampliação do atendimento adequado do esgotamento sanitário no Brasil. A consideração de modelos descentralizados e baseados no manejo de lodo fecal como forma de atendimento, envolve garantir que o lodo gerado e não processado no local seja encaminhado adequadamente. E assim, as atividades de coleta e transporte, dependendo do arranjo local para os serviços, podem ser efetuadas de forma comunitária ou pela prestadora de serviço, seja pela assimilação desta atividade no escopo da prestadora de serviço, ou pela organização dos serviços existentes de limpa fossa. Neste sentido, a previsão da coleta programada do lodo é uma estratégia que permite a formulação de modelos de prestação condizentes com os serviços convencionais de esgoto (com base em taxas ou tarifas contínuas pela coleta de esgoto).

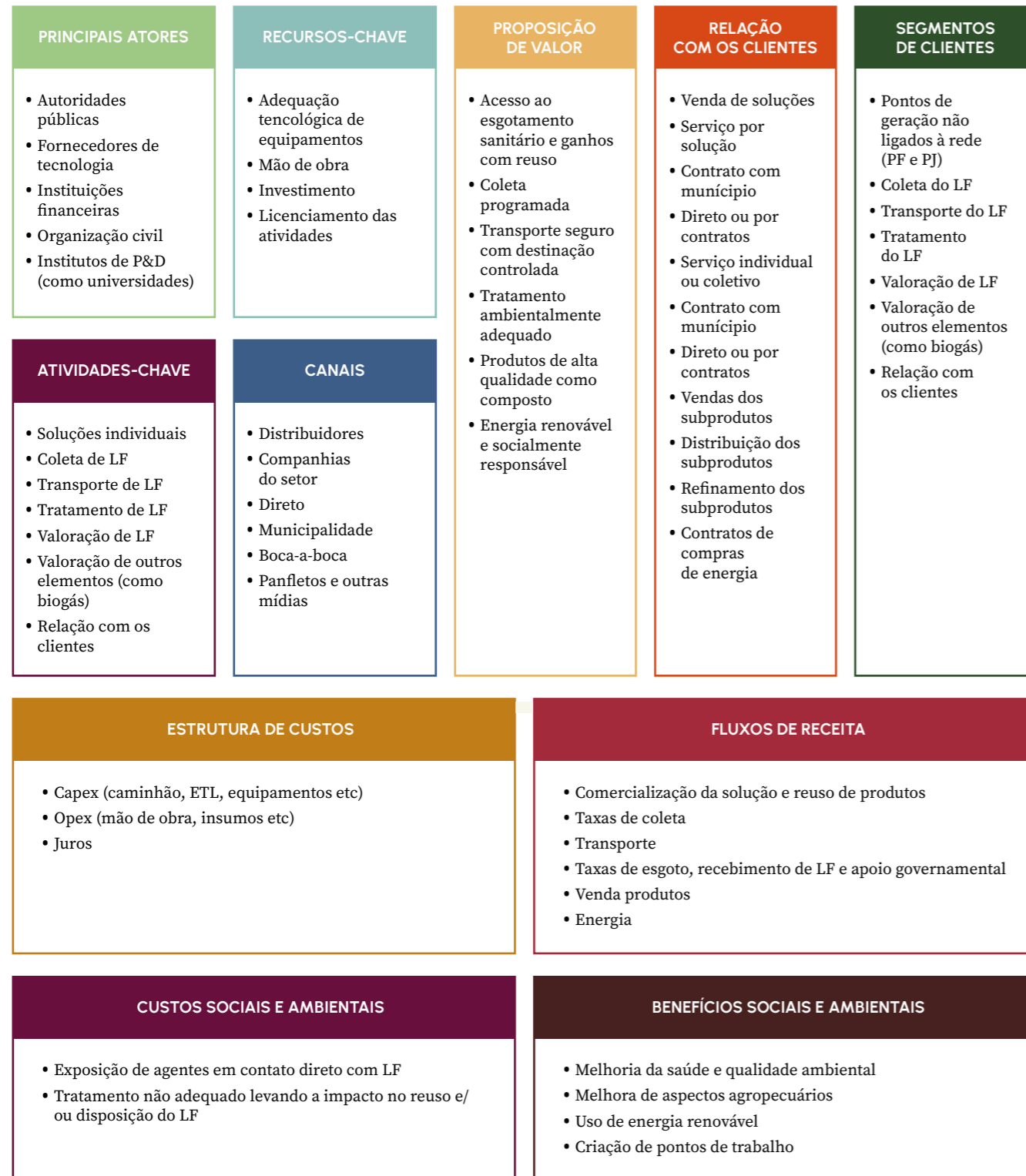
TRATAMENTO: Assim como na etapa anterior, quando os usuários não têm interesse ou disponibilidade para gerir o lodo fecal (retido na solução individual) por conta própria e/ou no próprio local, o tratamento deve ser feito de forma semi-centralizada ou centralizada. A operação dos sistemas de tratamento pode ser efetivada pela própria prestadora de serviços de esgoto do município ou, dependendo do escopo territorial de atendimento da prestadora, por outras instâncias como associações comunitárias, gestão pública municipal ou outras organizações.

REUSO OU DISPOSIÇÃO FINAL: Após o tratamento, os subprodutos podem ser descartados adequadamente ou aproveitados para processos produtivos. No caso dos biossólidos isso envolve o encaminhamento do material para

locais apropriados para a disposição final como resíduo sólido em aterros sanitários ou para reuso em propriedades agrícolas ou industriais - que envolvem empresas, pequenos produtores ou organizações públicas.

Antes de apresentar os modelos em si, é importante abordar as formas como comumente se dão as relações entre os atores da cadeia de valor. A literatura destaca duas maneiras principais, a “coopetição”, que é a emergência de negócios independentes para suprir demandas específicas e aparentes na cadeia de valor do esgotamento sanitário e que, mesmo competindo entre si, se beneficiam da cooperação e/ou eventual associação. Esse modelo surge de forma espontânea em contextos informais ou não regulamentados. Já os modelos envolvendo organizações públicas, privadas e/ou as parcerias público privadas (PPP) têm como base uma estruturação e divisão clara entre os papéis das diferentes esferas envolvidas, públicas e privadas, buscando sempre mediar da melhor maneira possível os conflitos de interesse existentes entre elas (Anh, Koottatep, and Polprasert 2018; Murray et al. 2011; Bassan et al. 2014).

O primeiro passo na determinação do modelo de serviço a ser seguido é o levantamento do arranjo institucional já implementado, buscando identificar e/ou revisar atribuições e responsabilidades e, ao mesmo tempo, elencar carências referentes às etapas necessárias ao MLF, considerando sempre as necessidades e desdobramentos específicos ao contexto local. Rao et al. (2016) adapta o método Canvas, muito difundido na elaboração de modelos de negócios, para levantar as principais etapas e atores do MLF e associar (por cores) estudos de valor. O mapa criado,



Quadro 3: Modelo CANVAS destacando a relação entre proposições de valor atividades envolvidas no MLF

Figura 8, pode ser utilizado como pano de fundo num planejamento inicial. Esse documento irá exemplificar formatos que se demonstraram eficientes em outros países (baseando-se em estudos de caso). Com isso, pretende-se uma estruturação mais detalhada das relações institucionais, das atribuições operacionais e dos fluxos monetários.

Vale lembrar mais uma vez que uma análise crítica e aprofundada, caso-a-caso, deve ser realizada para determinar o formato localmente apropriado, seja ele um dos modelos aqui propostos, um misto entre eles ou, até mesmo, uma composição totalmente nova. Para ajudar nessa ponderação, é adaptado de Rao et al. (2016) um quadro de avaliação dos aspectos-chave dos modelos baseados no manejo do lodo fecal, levantando pontos que podem ajudar ou limitar sua implementação em uma determinada localidade, conforme o Quadro 4.

Como apontado anteriormente, a configuração institucional e de modelo de serviços é bastante variado, podendo ser distribuído entre usuários, instâncias públicas ou privadas ao longo da cadeia. Há casos em que os serviços são realizados inteiramente pelos usuários, casos em que a instâncias públicas (gestão municipal, autarquias, companhias públicas) ou a empresas privadas cobrem toda a cadeia, e há casos em que é feita uma distribuição estratégica das funções entre as diferentes instâncias. A seguir são apresentados alguns exemplos de modelo.

INSTITUCIONAL	
Setor público	
Setor privado	
Sociedade civil organizada e/ou ONG	
POLÍTICA E REGULAÇÃO	
Políticas públicas e/ou legislação	
Padronização/normatização	
Fiscalização	
ECONÔMICO	
Custo para o usuário	
Agrega valor ao LF	
Ganhos do operador	
Subsídios	
SAÚDE E MEIO AMBIENTE	
Lançamento inadequado de LF	
Saúde pública e segurança ambiental	

B - benéfico, essencial ao modelo; P - positivo, pode ajudar o modelo; N - não te influência; NA - não se aplica ao modelo

Quadro 4: Aspectos chave que podem influenciar os modelos de serviço envolvido no MLF

INSTITUCIONAL	
Setor público	P
Setor privado	N
Sociedade civil organizada e/ou ONG	B
POLÍTICA E REGULAÇÃO	
Políticas públicas e/ou legislação	B
Padronização/normatização	B
Fiscalização	N
ECONÔMICO	
Custo para o usuário	NA
Agrega valor ao LF	B
Ganhos do operador	NA
Subsídios	P
SAÚDE E MEIO AMBIENTE	
Lançamento inadequado de LF	B
Saúde pública e segurança ambiental	B

B - benéfico, essencial ao modelo; P - positivo, pode ajudar o modelo; N - não te influência; NA - não se aplica ao modelo

Quadro 5: Aspectos chave que influenciam o modelo baseado em sistemas isolados com recuperação de recursos

MODELO PARA SISTEMAS ISOLADOS INCLUINDO A RECUPERAÇÃO DE RECURSOS

Esse modelo se baseia no fato intrínseco de que o correto manejo dos efluentes, inclusive do lodo fecal, gera produtos de interesses múltiplos, como biogás, composto e água de reuso, que podem ser aproveitados localmente. O benefício para o usuário do sistema isolado provém da economia com a compra

de insumos externos, de acordo com o reaproveitamento que faz dos subprodutos do tratamento dos efluentes; ou da comercialização local desses insumos. Nesse sistema, o usuário toma papel central em toda a cadeia de valor, sendo diretamente responsável por cada etapa do processo do MLF. Nesse sentido, faz-se fundamental no modelo o apoio de gestores públicos e entidades sociais, de forma a promover tanto uma normatização dos sistemas, avalizando sua adequabilidade, quanto aporte técnico e acompanhamento do usuário/ produtor, garantindo sua segurança e de possíveis usuários de subprodutos (Rao et al. 2016).

Exemplos desse modelo podem ser encontrados em diversos locais, especialmente em propriedades rurais de pequeno porte, pelo reuso planejado ou não planejado das águas e do lodo. No entanto, outros contextos isolados (sem acesso a rede de coleta de esgoto) que apresentam maior quantidade de lodo disponível, como hotéis, universidades, grandes centros administrativos ou prisões, apresentam relevantes potenciais produtivos considerando os subprodutos gerados. Um exemplo foi a implementação de sistemas biodigestores pelo Comitê Internacional da Cruz Vermelha em prisões no Nepal, nas Filipinas e em Ruanda, o biogás gerado pelos sistemas e utilizado nas cozinhas para a produção das refeições, gerou uma economia energética nos locais de até 41%. (Rao e Doshi 2018; Rao et al. 2016; Silva 2014).

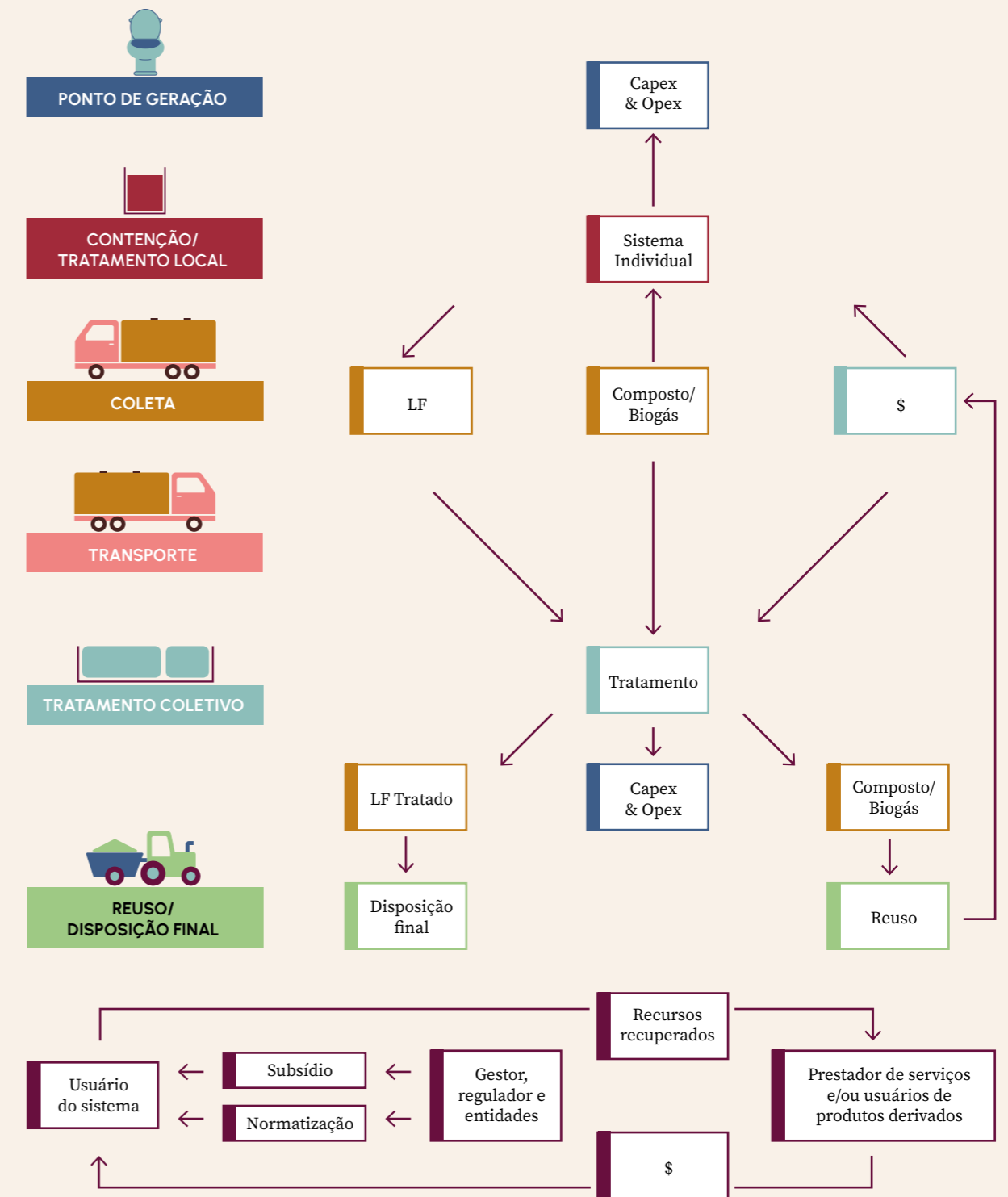


Figura 7: Diagrama de fluxos e relações no modelo de sistemas isolados com recuperação de recursos

MODELO VOLTADO PARA A GESTÃO PÚBLICA

Esse modelo é bastante recorrente e se institucionaliza, de forma geral, diante da prestação de serviço de esgoto pela gestão pública municipal, autarquia ou companhias públicas de esgotamento sanitário. Nesse modelo o foco está no controle da disposição incorreta de lodos fecais pela formalização e centralização da cadeia de esgotamento sanitário no poder público. Os serviços, geralmente voltados às etapas de coleta, transporte e tratamento, são efetuados a partir da cobrança de taxa ou tarifa fixa para sustentar o serviço. Embora o reuso possa ser levado em consideração ainda no âmbito público, é comum que esta etapa envolva atores privados. Há, no entanto, importantes potenciais para reuso pelas instâncias públicas, como na manutenção de áreas vegetadas do município (irrigação e condicionamento do solo) e aproveitamento energético nas estações para redução dos custos operacionais. (Rao et al. 2016).

Esse modelo também é bastante difundido, especialmente em locais onde a responsabilidade pelo esgotamento sanitário é depositada sobre a gestão pública, autarquias ou prestadoras de serviços públicos, como é o caso de grande parte dos municípios brasileiros. Um importante exemplo, mas que não inclui necessariamente a etapa de reuso no escopo, é a iniciativa da CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento), voltada para o atendimento de esgoto por meio da coleta programada de lodos fecais. Após um trabalho articulado com agência reguladora do estado e ministério público, foi aprovado este modelo de atendimento, com foco na universalização de áreas de ocupação com

INSTITUCIONAL	
Setor público	B
Setor privado	N
Sociedade civil organizada e/ou ONG	P
POLÍTICA E REGULAÇÃO	
Políticas públicas e/ou legislação	B
Padronização/normatização	P
Fiscalização	N
ECONÔMICO	
Custo para o usuário	N
Agrega valor ao LF	N
Ganhos do operador	N
Subsídios	B
SAÚDE E MEIO AMBIENTE	
Lançamento inadequado de LF	B
Saúde pública e segurança ambiental	B

B - benéfico, essencial ao modelo; P - positivo, pode ajudar o modelo; N - não te influência; NA - não se aplica ao modelo

Quadro 6: Aspectos chave que influenciam o modelo voltado a gestão pública

menor densidade (zonas peri-urbanas e rurais), com a previsão de aplicação em 24 municípios até o fim de 2022. Neste modelo é previsto um escopo que envolve a verificação das soluções individuais dos usuários, o controle e organização dos serviços existentes de limpa fossa e o tratamento do lodo coletado (Kipnis, Pastor E Castro 2020). Um outro exemplo, agora na Malásia, em que foram constituídas autarquias e empresas públicas para suprir essa demanda, com a criação do

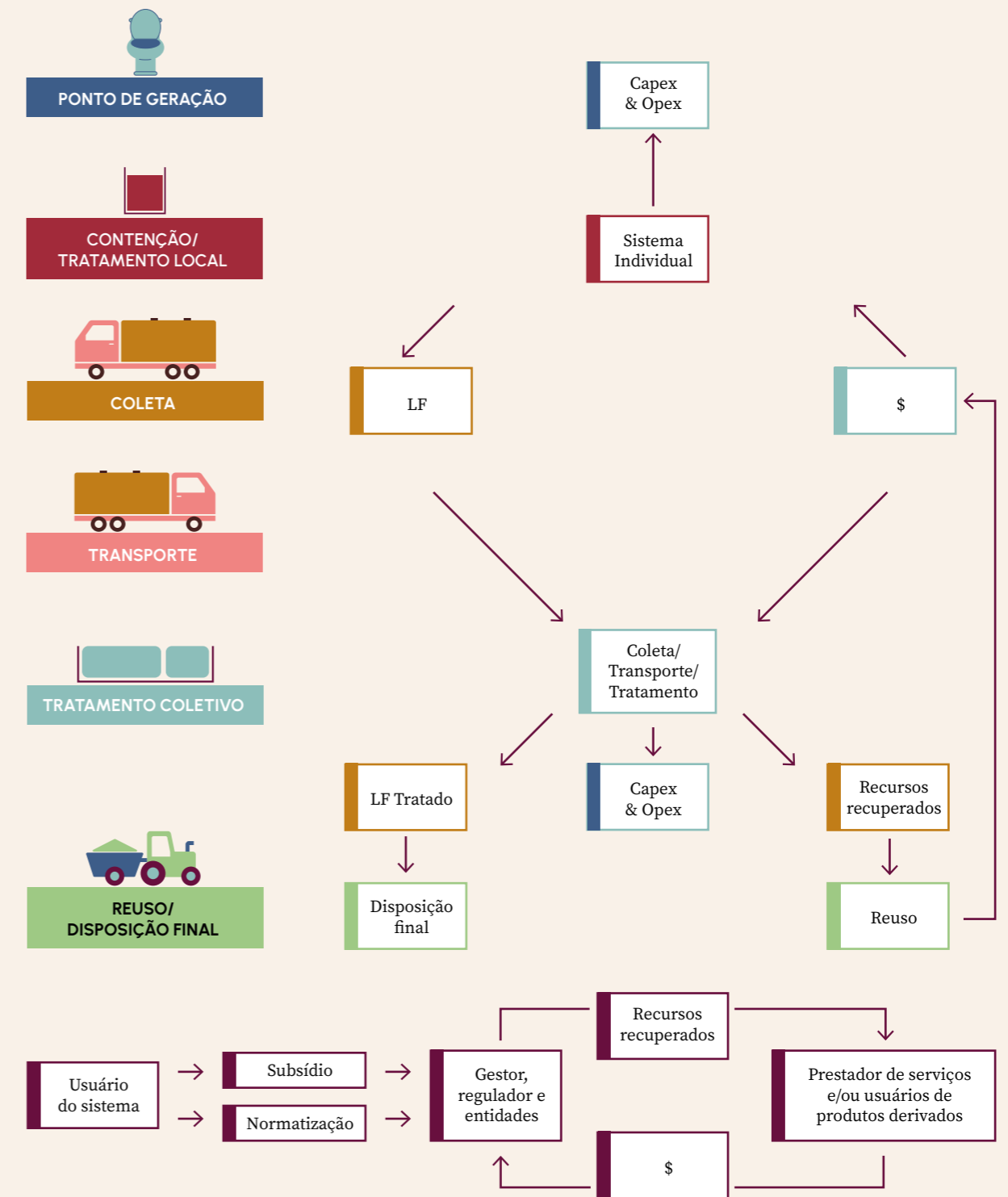


Figura 8: Diagrama de fluxos e relações no modelo voltado para a gestão pública

Consórcio de Águas Indah (IWK, do seu acrônimo em inglês). Esta instância, vinculada ao ministério das finanças, mas com modelo de operação privado, recebeu a concessão exclusiva da gestão dos lodos fecais na porção peninsular do país em 1993. O IWK foi responsável até 2006 pelo atendimento de mais de 2 milhões de sistemas isolados, quando um novo marco regulatório abriu o mercado para o setor privado (Rao et al. 2016).

INSTITUCIONAL	
Setor público	N
Setor privado	B
Sociedade civil organizada e/ou ONG	N
POLÍTICA E REGULAÇÃO	
Políticas públicas e/ou legislação	N
Padronização/normatização	B
Fiscalização	B
ECONÔMICO	
Custo para o usuário	P
Agrega valor ao LF	B
Ganhos do operador	P
Subsídios	N
SAÚDE E MEIO AMBIENTE	
Lançamento inadequado de LF	N
Saúde pública e segurança ambiental	P

B - benéfico, essencial ao modelo; P - positivo, pode ajudar o modelo; N - não te influência; NA - não se aplica ao modelo

Quadro 7: Aspectos chave que influenciam o modelo baseado em servidores privados

MODELO COM BASE EM SERVIDORES PRIVADOS

Nesse modelo a cadeia de esgotamento sanitário é completamente efetuada por uma ou mais entidades privadas que lucram das taxas de coleta, da cobrança pelo recebimento do lodo nas estações de tratamento e, sempre que houver demanda local, da venda de subprodutos do tratamento do lodo. Nesse modelo o grande desafio é a obtenção de lucro na etapa de tratamento dos lodos, nesse sentido, o modelo é comumente aplicável em situações onde o governo tem interesse na privatização dos serviços de esgotamento sanitário ou não possui capacidade para prestá-lo. Assim é comum haver incentivos e/ou subsídios por parte de governos e outras entidades nas etapas mais deficitárias, de forma a garantir uma atratividade de mercado. Como o quadro de aspectos chave demonstra, a implementação de regras e padrões de serviço e de fiscalização são pontos importantes a serem desempenhados pelas autoridades locais, de forma a garantir a qualidade do serviço prestado à população. (Rao et al. 2016)

Implementado em Mali e Benin, o modelo completamente privado partiu de duas iniciativas distintas. No primeiro, foi criado como uma expansão das atividades da companhia local de coleta e disposição de resíduos sólidos urbanos em Mali com apoio do Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (PNUD), prevendo o tratamento e beneficiamento do lodo para comercialização como composto. No entanto, a pouca adesão de atores locais, a longa distância da estação e a não implementação da etapa de beneficiamento do lodo levaram a uma curta duração do programa. Já em Benin a iniciativa partiu de uma companhia local que implementou o

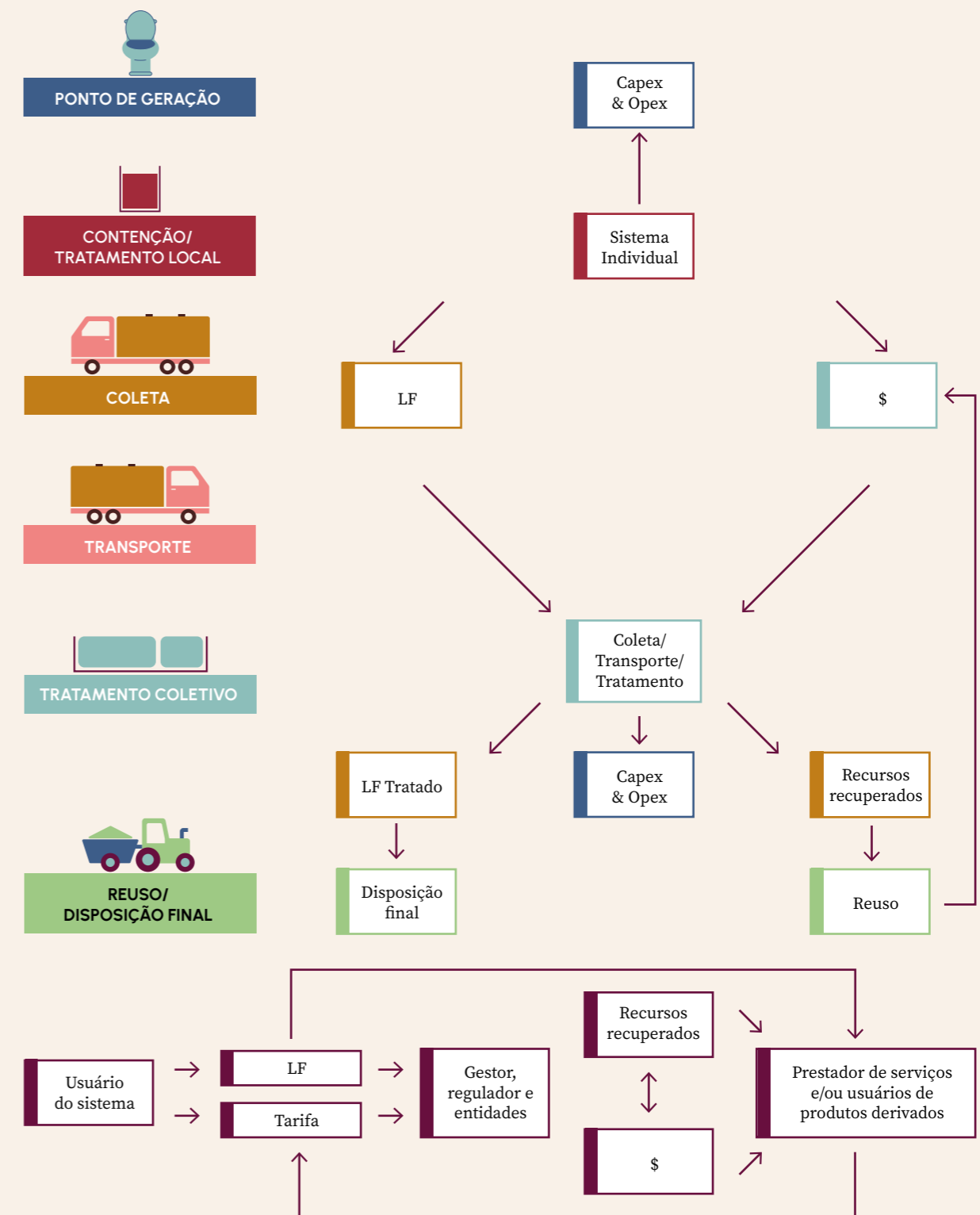


Figura 9: Diagrama de fluxos e relações no modelo baseado em servidores privados

sistema de tratamento e estimulou a formação de uma associação dos coletores de lodo, com isso o sistema é autogerido e auto fiscalizado pelos próprios agentes privados. Embora o sistema aparente uma funcionalidade prática, contemplando inclusive a venda de composto produzido a partir do lodo tratado, há indicativos de que aspectos sanitários estejam em níveis precários (Rao et al. 2016). Esses dois exemplos demonstram a forte necessidade de interação do poder público com outros atores da cadeia de esgotamento sanitário, seja pelo incentivo à manutenção dos serviços, seja pela garantia de sua qualidade.

MODELO LICENCIADOR

O modelo licenciador funciona, estruturalmente, de forma parecida ao anterior, no entanto, com uma mudança crucial que é a expedição de licenças de operação por parte das autoridades locais, dessa maneira o governo se abstém da prestação direta do serviço mantendo, por outro lado, a possibilidade de controle do mesmo. A expedição de licença, normalmente condicionada a uma taxa cobrada pelo poder público, serve como momento propício a inspeção dos serviços prestados e conscientização dos operadores. O modelo, além de prever a rescisão da licença em casos de não cumprimento de padrões mínimos de qualidade e, especialmente, no caso de lançamento inadequado do lodo, e gerar arrecadação pela emissão das licenças, também permite as autoridades locais terem um conhecimento local mais detalhado a respeito da cobertura por soluções individuais quando há acompanhamento próximo das atividades de coleta.

Diversas cidades africanas operam sobre esse modelo, em Kumasi, Gana, a assembleia

municipal é responsável pela expedição de licenças e determinação de padrões de serviço, sendo prevista a revogação da licença de operação em casos de desrespeito as regulamentações. Já em cidades no Quênia, diferentes licenças são requeridas, cada uma atrelada a um diferente órgão governamental, como a municipalidade, que regula a atividade comercial, e a autoridade ambiental nacional, que expede uma licença específica para os caminhões de coleta, que devem apresentar condições adequadas de opera-

INSTITUCIONAL	
Setor público	B
Setor privado	B
Sociedade civil organizada e/ou ONG	P
POLÍTICA E REGULAÇÃO	
Políticas públicas e/ou legislação	B
Padronização/normatização	B
Fiscalização	B
ECONÔMICO	
Custo para o usuário	P
Agrega valor ao LF	N
Ganhos do operador	N
Subsídios	P
SAÚDE E MEIO AMBIENTE	
Lançamento inadequado de LF	B
Saúde pública e segurança ambiental	P

B - benéfico, essencial ao modelo; P - positivo, pode ajudar o modelo; N - não te influência; NA - não se aplica ao modelo

Quadro 8: Diagrama de fluxos e relações no modelo licenciador

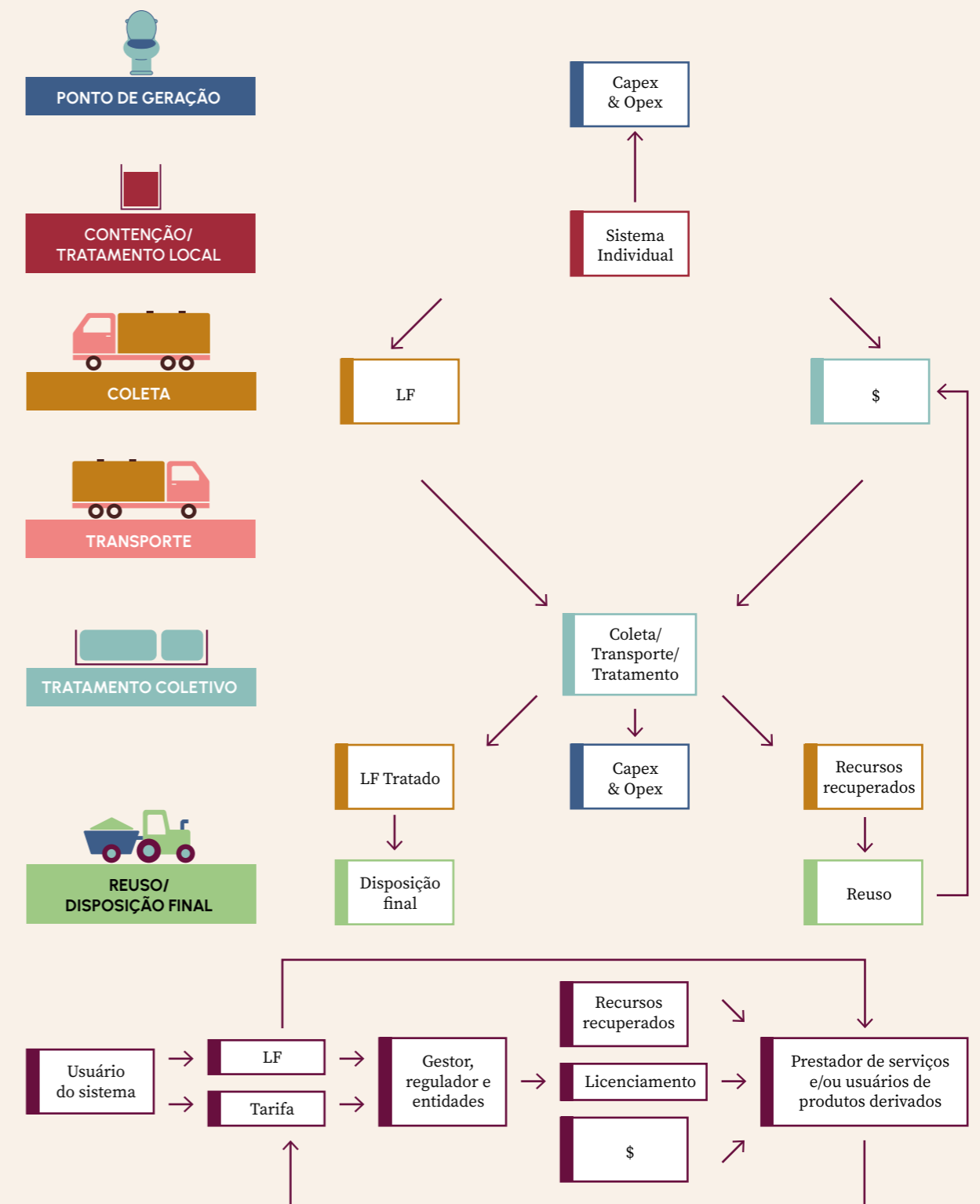


Figura 10: Diagrama de fluxos e relações no modelo licenciador

ção. Na cidade de Kampala, em Uganda, a instalação de dispositivos de rastreamento em diversos caminhões coletores de lodo, além de prevenir o lançamento inadequado de lodo, resultou num mapeamento preciso dos pontos de coleta, permitindo um entendimento mais profundo sobre a cobertura do serviço; o principal achado foi o fato de regiões de baixa renda apresentarem grau de atendimento bastante baixo, evidenciando a necessidade de um plano específico de atendimento a essas localidades. (Schoebitz et al. 2017; Rao et al. 2016).

Como apontado anteriormente, estes são apenas alguns dos exemplos dentre várias outras configurações possíveis para a efetivação dos serviços baseados no MLF. A distribuição de responsabilidades, bem como a definição dos sistemas e tecnologias a serem empregadas, dependem das condições locais, levando em conta estrutura local de governança do saneamento, existência de organizações locais interessadas e capazes para a realização dos serviços, entre outros. Contemplando as condições existentes nos diferentes contextos brasileiros, para além dos habituais prestadores de serviço (públicos ou privados), é essencial que se considere a participação de atores locais na cadeia de valores, para oficializar e garantir a viabilidade e qualidade dos serviços. Neste sentido, além dos modelos comunitários de gestão do saneamento, que apresentam um grande potencial de aplicação no país, a inclusão desta forma de atendimento de esgoto no escopo das prestadoras de serviço podem integrar atores e dinâmicas locais no desenvolvimento das diferentes etapas da cadeia.

FICHA TÉCNICA

REFERÊNCIAS

- ABNT (1992) NBR 12209 Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro.
- ABNT (1993) NBR 7229 - Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro.
- ABNT (1997) NBR 13969 - Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto, construção e operação. Rio de Janeiro.
- ABNT (1999) NBR 8160 Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução. Rio de Janeiro.
- Além Sobrinho, P. e Tsutiya, M. T. (1999) Coleta e transporte de esgoto sanitário. Epusp/PHD.
- Andreoli, C. V. et al. (2007) 'Wastewater sludge management : a Brazilian approach', in Moving Forward - Wastewater Biosolids Sustainability (ed.) WASTEWATER BIOSOLIDS SUSTAINABILITY. Moncton, pp. 117-131.
- Andreoli, C. V. (2009) Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final. 1st edn. Edited by C. V. Andreoli. Rio de Janeiro: ABES.
- Andreoli, C. V., Sperling, M. von e Fernandes, F. (2007) Sludge Treatment and Disposal. IWA Publishing. Disponível em: <https://iwaponline.com/ebooks/book/1/Sludge-Treatment-and-Disposal>.
- Bassan, M. et al. (2014) Faecal Sludge Management. Edited by L. Strande, M. Ronteltap, and D. Brdjajovic. London: IWA Publishing. Disponível em: <https://iwaponline.com/ebooks/book/384/Faecal-Sludge-Management-Systems-Approach-for>.
- Blackett, I. et al. (2014) Targeting the Urban Poor and Improving Services in Small Towns The Missing Link in Sanitation Service Delivery A Review of Faecal Sludge Management in 12 Cities. doi: 10.13140/RG.2.1.4072.7205.
- Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. (2014) 'Operação E Manutenção De Tanques Sépticos - Lodo Manual de boas práticas e disposição do lodo acumulado em filtros plantados com macrófitas e desinfecção por processo térmico', p. 32.
- Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. (2018) CataloSan: catálogo de soluções sustentáveis de saneamento - gestão de efluentes domésticos. Edited by P. L. Paulo, A. F. Galbiati, and F. J. C. M. Filho. Campo Grande: Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/estudos-e-pesquisas1/-/asset_publisher/qGiy9skHw4ar/content/catalogo-catalogo-de-solucoes-sustentaveis-de-saneamento.
- Brasil (2019a) Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB. Versão Revisada 2019. Brasília. Disponível em: https://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/plansab/Versaoatualizada07mar2019_consultapublica.pdf.
- Brasil (2019b) SNIS - Dados Desagregados (2020 03 10). Brasília. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>.
- CETESB (1999) Norma técnica P4230: Aplicação de lodos sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação: manual técnico, Norma Técnica.
- Chary, V. S., Reddy, Y. M. e Ahmad, S. (2017) Towards a Model Sanitation City: Operationalizing FSM Regulations in Warangal.
- Chernicharo, C. A. de L. et al. (2018) 'Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário - Parte 1: Tópicos de Interesse', DAE, 66(214), pp. 5-16. doi: 10.4322/dae.2018.038.
- Cofie, O. et al. (2016) Co-composting of Solid Waste and Fecal Sludge for Nutrient and Organic Matter Recovery, Internation Water Management Institute. doi: 10.5337/2016.204.

- Cofe, O. O. e Drechsel, P. (2005) 'The use of human waste for peri-urban agriculture in Northern Ghana', 20(2). doi: 10.1079/RAF200491.
- CONAMA (2006a) RESOLUÇÃO CONAMA no 380, de 31 de outubro de 2006. Brasília.
- CONAMA (2006b) RESOLUÇÃO CONAMA no 375, de 29 de agosto de 2006. Brasília.
- Dangol, B. e Rajbhandari, R. (2017) 'Faecal sludge treatment and reuse system in Mahalaxmi Municipality, Nepal', *Journal of Environment and Public Health*, 1(1), pp. 59–64. Disponível em: <http://enpho.org/wp-content/uploads/2017/07/ENPHO-Journal-V1-I1.pdf#page=67>.
- Dodane, P., Sow, O. e Strande, L. (2012) 'Capital and Operating Costs of Full-Scale Fecal Sludge Management and Wastewater Treatment Systems in Dakar, Senegal', *Environmental Science and Technology*. doi: 10.1021/es2045234.
- Dortmans, B. et al. (2017) *Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by-Step Guide*. Dübendorf: Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. Disponível em: https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF_Biowaste_Processing_LR.pdf.
- Dotro, G. et al. (2017) *Treatment Wetlands* Written. 1st edn. IWA Publishing. doi: 10.2166/9781780408774.
- Drechsel, P. et al. (2010) *Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries*. London: IWMI.
- Eggimann, S., Truffer, B. e Maurer, M. (2015) 'To connect or not to connect? Modelling the optimal degree of centralisation for wastewater infrastructures', *Water Research*. Elsevier Ltd, 84, pp. 218–231. doi: 10.1016/j.watres.2015.07.004.
- Eggimann, S., Truffer, B. e Maurer, M. (2016) 'Economies of density for on-site waste water treatment', *Water Research*. Elsevier Ltd, 101, pp. 476–489. doi: 10.1016/j.watres.2016.06.011.
- FAO (1996) *Food and Agriculture Organization of Biogas Technology: a Training Manual for Extension*. Nepal: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ae897e/ae897e00.htm>.
- Fundação Estadual do Meio Ambiente (2015) GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DE BIOGÁS NA AGROINDÚSTRIA. Belo Horizonte. Disponível em: <http://pnla.mma.gov.br/publicacoes-diversas?download=36:guia-tecnicos-ambientais-de-biogas-na-agroindustria&start=40>.
- Gnipper, S. F. (2008) 'Avaliação da eficiência das caixas retentoras de gordura prescritas pela NBR 8160:1999 como tanques de flotação natural', *Ambiente Construído*, 8(2), pp. 119–132.
- GOAL (2016) 'Review of Manual Pit Emptying Equipment Currently in Use and Available in Freetown and Globally', Freetown, Sierra Leone, (April). Disponível em: https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/resources/pubs/Desk_Study_of_MPE_Technologies_GOAL_Sierra_Leone.pdf.
- Guimarães, E. F., Malheiros, T. F. e Marques, R. C. (2016) 'Inclusive governance: New concept of water supply and sanitation services in social vulnerability areas', *Utilities Policy*. Elsevier Ltd, 43, pp. 124–129. doi: 10.1016/j.jup.2016.06.003.
- Gutterer, B. et al. (2009) 'Designing DEWATS', in Ulrich, A., Gutterer, S. R., and Gutterer, B. (eds) *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries A Practical Guide* in Developing Countries A Practical Guide. Loughborough: BORDA, pp. 230–281. Disponível em: <https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/details.html?id=10409>.
- Harada, H., Strande, L. e Fujii, S. (2016) 'Challenges and Opportunities of Faecal Sludge Management for Global Sanitation', in, pp. 81–100.
- Ivar, R. et al. (2017) 'Centralised, decentralised or hybrid sanitation systems? Economic evaluation under urban development uncertainty and phased expansion', *Water research*, 109, pp. 274–286. doi: 10.1016/J.WATRES.2016.11.051.
- Jordão, E. P. e Pêsoa, C. A. (2011) *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 6th edn. Rio de Janeiro: ABES.
- Koanda, H., Koné, D. e Strauss, M. (2006) *Stakeholder Involvement and Money Fluxes for Sustainable Faecal Sludge Management in Burkina Faso*. doi: 10.13140/RG.2.1.1291.4640.
- Kvarnström, E. et al. (2011) 'The sanitation ladder - a need for a revamp?', *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 1(1), pp. 3–12. doi: 10.2166/washdev.2011.014.
- Lalander, C. et al. (2013) 'Faecal sludge management with the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) – From a hygiene aspect', *Science of the Total Environment*, The. Elsevier B.V., 458–460, pp. 312–318. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.04.033.
- Mara, D. (2013) *Domestic wastewater treatment in developing countries*, *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. doi: 10.4324/9781849771023.
- Mattos, L. C. e Júnior, M. F. (2011) *Manual do Biodigestor Sertanejo*. Disponível em: <http://solarcities.eu/downloads/205>.
- Mels, A. et al. (2009) 'Sanitation services for the informal settlements of Cape Town, South Africa', *Desalination*. Elsevier B.V., 248(1–3), pp. 330–337. doi: 10.1016/j.desal.2008.05.072.
- Monayna, S., Vasconcelos, A. e Carvalho, E. H. (2016) 'Avaliação da disposição de lodos de fossa e tanque sépticos em lagoas de estabilização que tratam lixiviados de aterro sanitário Evaluation of septage disposal in stabilization ponds that treat landfill leachate', *Eng Sanit Ambient*, 21(1), pp. 183–196. doi: 10.1590/S1413-41520201600100136031.
- Moss, T. (2016) "Cold spots" of urban infrastructure: "Shrinking" processes in Eastern Germany and the modern', *International Journal of Urban and Regional Research*, 32(2), pp. 436–451. doi: 10.1111/j.1468-2427.2008.00790.x.
- Moya, B., Sakrabani, R. e Parker, A. (2019) 'Realizing the circular economy for sanitation: Assessing enabling conditions and barriers to the commercialization of human excreta derived fertilizer in Haiti and Kenya', *Sustainability (Switzerland)*, 11(11). doi: 10.3390/su11113154.
- Murthy, S. P. C. S. (2018) *When the pits fill up: Faecal Sludge "Management" in urban India*. University of California, Berkeley Professor. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/4hw76729> Author.
- O'Keefe, M. et al. (2015) 'Opportunities and limits to market-driven sanitation services: evidence from urban informal settlements in East Africa', *Environment and Urbanization*, 27(2), pp. 421–440. doi: <https://doi.org/10.1177/0956247815581758>.
- O'Riordan, M. (2009) 'Investigation into methods of pit latrine emptying', *Partners in Development*, WRC Project, 1745(April). Disponível em: http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/O_RIORDAN_2009_Investigation_into_Methods_of_Pit_Latrine_Emptying.pdf.
- Obermann, I. e Sattler, K. (2013) 'Comparison of centralized, semi-centralized and decentralized sanitation systems', *First International Symposium on Urban Development: Koya as a Case Study*, pp. 159–167. doi: 10.2495/isud130191.
- Odey, E. A. et al. (2017) 'Fecal sludge management in developing urban centers: a review on the collection, treatment, and composting', *Environmental Science and Pollution Research*. *Environmental Science and Pollution Research*, pp. 23441–23452. doi: 10.1007/s11356-017-0151-7.
- Pescod, M. B. (1992) *Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS* Rome. Disponível em: <http://www.fao.org/3/t0551e/t0551e00.htm>.
- Pureza, F. et al. (2015) *Como cuidar de nossas águas? São Francisco Xavier: Projeto Protegendo as Águas*. Disponível em: <http://fluxus.eco.br/wp-content/uploads/2017/10/1.-protegendo-as-aguas.pdf>.
- De Queiroz, J. et al. (2012) *Estações de Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes (ETE)*. Campo Mourão: Editora da Fecilcam. Disponível em: http://campomourao.unespar.edu.br/editora/documentos/esta-coes_tratamento_esgoto.
- Ramos, L. L. C. (2014) *Diagnóstico e avaliação de coleta e disposição de lodo de fossa e de tanque séptico em cuiabá-mt*. Universidade Federal de Mato Grosso. Disponível em: <http://ri.ufmt.br/handle/1/521>.
- Rao, K. C. et al. (2016) *Business Models for Faecal Sludge Management*. International organization. Disponível em: http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/wle/rrr/resource_recovery_and_reuse-series_6.pdf.
- Rao, K. C. e Doshi, K. (2018) 'Case: Biogas from fecal sludge and kitchen waste at prisons', pp. 93–102.

- Rogers, T. et al. (2015) 'The "excrevator" – safe and hygienic pit emptying for developing countries', 88th Annual Water Environment Federation Technical Exhibition and Conference, WEFTEC 2015, 3(January 2015), pp. 4697–4707. Disponível em: <http://toc.proceedings.com/41060webtoc.pdf>.
- Rose, C. et al. (2015) 'The characterization of feces and urine: A review of the literature to inform advanced treatment technology', *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(17), pp. 1827–1879. doi: 10.1080/10643389.2014.1000761.
- Russel, K. et al. (2015) 'User perceptions of and willingness to pay for household container-based sanitation services: experience from Cap Haitien, Haiti', *Environment and Urbanization*, 27(2), pp. 525–540. doi: 10.1177/0956247815596522.
- Russel, K. C. et al. (2019) 'Taking Container-Based Sanitation to Scale: Opportunities and Challenges', *Frontiers in Environmental Science*, 7(November), pp. 1–7. doi: 10.3389/fenvs.2019.00190.
- Santiago, F. et al. (2015) *Manejo do Sistema Bioágua Familiar*. 22nd edn. Caraúbas: ATOS. Disponível em: https://bioaguafamiliar.files.wordpress.com/2015/09/manual_bioagua_familiar_2015.pdf.
- Schoebitz, L. et al. (2017) 'GIS Analysis and Optimisation of Faecal Sludge Logistics at City-Wide Scale in Kampala, Uganda', pp. 1–16. doi: 10.3390/su9020194.
- Semiyaga, S. et al. (2018) 'Enhancing faecal sludge dewaterability and end-use by conditioning with sawdust and charcoal dust', *Environmental Technology (United Kingdom)*, 39(3), pp. 327–335. doi: 10.1080/09593330.2017.1300191.
- Septien, S. et al. (2018) "'LaDePa" process for the drying and pasteurization of faecal sludge from VIP latrines using infrared radiation', *South African Journal of Chemical Engineering*. Elsevier Ltd, 25, pp. 147–158. doi: 10.1016/j.sajce.2018.04.005.
- Septien, S et al. (2018) 'Rheological characteristics of faecal sludge from VIP latrines and implications on pit emptying', *Journal of Environmental Management*. Elsevier, 228(August), pp. 149–157. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.08.098.
- Simiyu, S. (2017) 'Preference for and characteristics of an appropriate sanitation technology for the slums of Kisumu, Kenya', *International Journal of Urban Sustainable Development*. Taylor & Francis, 9(3), pp. 300–312. doi: 10.1080/19463138.2017.1325366.
- Sperling, M. von (2014) *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4th edn. Belo Horizonte: UFMG.
- Sperling, M. von e Sezerino, P. H. (2018) *Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil*. Edição Esp. Edited by B. W. Brasil. *Boletim Wetlands Brasil*.
- Still, D. e O'Riordan, M. (2012) *Volume 3: The development of pit emptying technologies, Tackling the Challenges of full Pit Latrines*. Disponível em: <https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/1712>.
- Sugden, S. (2012) 'Reflections on business models and technology designs for pit emptying services', *Fsm2*, (May), p. 22.
- Taruya, T., Okuno, N. e Kanaya, K. (2002) 'Reuse of sewage sludge as raw material of Portland cement in Japan', *Water Science and Technology*, 46(August), pp. 255–258.
- Thye, Y. P., Templeton, M. R. e Ali, M. (2011) 'A critical review of technologies for pit latrine emptying in developing countries', *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(20), pp. 1793–1819. doi: 10.1080/10643389.2010.481593.
- Tilley, E. et al. (2014) *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. 2nd edn. Dübendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG). Disponível em: <https://www.iwa-network.org/wp-content/uploads/2016/06/Compendium-Sanitation-Systems-and-Technologies.pdf>.
- Tonetti, A. L. et al. (2018) *Tratamento De Esgotos Domesticos Em Comunidades Isoladas*. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~saneamentorural/index.php/publicacoes/livro/>.
- Vögeli, Y. et al. (2014) *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries*, Sandec: Department of Water and Sanitation in Developing Countries. Disponível em: <http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/swm/dl/biowaste.pdf>.
- World Health Organization (2006) 'WHO guideline for the safe use of wastewater, excreta and greywater', *World Health Organization*, 1, p. 204. Disponível em: http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546832_eng.pdf.
- Yang, X. M. et al. (2010) 'History and Current Situation of Night Soil Treatment Systems and Decentralized Wastewater Treatment Systems in Japan', *Water Practice & Technology*, 5(4). doi: 10.2166/WPT.2010.096.

TABELAS

TABELA 1: Características de manobrabilidade, capacidade, velocidade e autonomia de deslocamento para diferentes soluções de transporte de LF

TABELA 2: Nutrientes disponíveis nas excretas humanas e demanda nutricional para a produção de 250kg de grãos

QUADROS

QUADRO 1: fatores que influenciam na determinação de soluções e tecnologias de contenção de lodo fecal

QUADRO 2: Quantidade de combustível requerida e demanda equivalente suprida em diferentes usos do LF

QUADRO 3: Modelo CANVAS destacando a relação entre proposições de valor atividades envolvidas no MLF

QUADRO 4: Aspectos chave que podem influenciar os modelos de serviço envolvido no MLF

QUADRO 5: Aspectos chave que influenciam o modelo baseado em sistemas isolados com recuperação de recursos

QUADRO 6: Aspectos chave que influenciam o modelo voltado a gestão pública

QUADRO 7: Aspectos chave que influenciam o modelo baseado em servidores privados

QUADRO 8: Diagrama de fluxos e relações no modelo licenciador

FIGURAS

FIGURA 1: Etapas da rede de esgotamento sanitário no MLF

FIGURA 2: Cadeia de serviço do esgotamento sanitário por modelos descentralizados ou semi-centralizados

FIGURA 3: Diagrama de auxílio à decisão do tipo de solução a ser utilizado na coleta de lodo fecal

FIGURA 4: Etapas comumente compreendidas no processo de tratamento de lodos fecais

FIGURA 5: Linhas de efluente provenientes das diferentes etapas de tratamento dos lodos fecais

FIGURA 6: Principais atores envolvidos nas diferentes etapas do MLF

FIGURA 7: Diagrama de fluxos e relações no modelo de sistemas isolados com recuperação de recursos

FIGURA 8: Diagrama de fluxos e relações no modelo voltado para a gestão pública

FIGURA 9: Diagrama de fluxos e relações no modelo baseado em servidores privados

FIGURA 10: Diagrama de fluxos e relações no modelo licenciador

SIGLAS

ABES-SP - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental de São Paulo

AGERGS - Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Rio Grande do Sul

ANA - Agência Nacional de Águas

CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Ceará

CENTRAL - Central de Associações Comunitárias para Manutenção de Sistemas de Saneamento

CESB - Companhia Estadual de Saneamento Básico

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

ETL - Estação de Tratamento de Lodo Fecal

FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde

ODS - Objetivo de Desenvolvimento Sustentável

OMS - Organização Mundial da Saúde

ONU - Organização das Nações Unidas

PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PNAD-C - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua

PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico

PNSR - Programa Nacional de Saneamento Rural

PRODES - Programa Despoluição de Bacias Hidrográficas

PRORURAL - Programa de Saneamento Rural

PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SISAR - Sistema Integrado de Saneamento Rural

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas

UNICEF - Fundo das Nações Unidas para a Infância

BMFG - Bill and Melinda Gates Foundation

BORDA - Bremen Overseas Research and Development Association Organization

CDD Society - The Consortium for DEWATS Dissemination Society

ENPHO - Environment and Public Health Organization

NSSMP - National Sewerage and Septage Management Program

WHO - World Health Organization

AUTORES

Tomaz Gregori Kipnis
Paulo Bernardo Neves e Castro

REVISÃO DE TEXTO

Gisela Moreau
Rafaela Marques

DIAGRAMAÇÃO

Luisa Moritz Kon
Natália Resegue Mamblona

TIPOGRAFIA

Source Serif
Urbanist

