

XII-045 – DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DE ALTERNATIVAS DE SISTEMAS INDIVIDUAIS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Alex Cardoso Pereira⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental e Sanitário pelo Centro Universitário de Caratinga. Mestre em Engenharia Civil (Saneamento Básico) pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutorando em Engenharia Civil (Saneamento Básico) na UFV.

Bianca Barros Maragon⁽²⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestranda em Engenharia Civil pela UFV.

Tarcísio Couto Carneiro Santos⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Ana Augusta Passos Rezende⁽⁴⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Master of Engineering - University of Toronto. Doutora em Eng. Agrícola (Recursos Hídricos e Ambientais) pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Pós-doutorado na Universidade de Concepcion, Chile.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Peter Henry Rolfs, s/n – Campus Universitário - Viçosa - MG - CEP: 36570-000 - Brasil
- Tel: (31) 3899-2749 - e-mail: alex.c.pereira@ufv.br

RESUMO

O emprego de sistemas individuais de tratamento de esgoto mostra-se como a principal alternativa para a adequação da disposição de efluentes domésticos em localidades rurais e isoladas. Com base nisso, para a implantação destas tecnologias nas áreas rurais, foram consideradas, objetivando atender às demandas da população, oito opções de tecnologias de tratamento: tanque séptico associada ao filtro anaeróbio de fluxo ascendente, à vala de infiltração, ao sumidouro, ao canteiro de infiltração de evapotranspiração ou ao círculo de bananeiras, a fossa séptica biodigestora, fossa séptica econômica e o tanque de evapotranspiração. Elaborou-se uma revisão de literatura contendo um levantamento das principais características dos sistemas individuais de tratamento considerados, a qual serviu de base para a posterior avaliação e comparação das alternativas para o esgotamento sanitário. Para a definição do peso dos critérios de avaliação quanto a escolha de uma alternativa de tratamento de esgoto doméstico, foi realizada uma análise multicritério de tomada de decisão utilizado o método denominado *Analytic Hierarchy Process* (AHP). O estudo constitui um instrumento básico de referência na escolha de sistemas individuais de tratamento de esgoto doméstico.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento Rural, Análise Multicritério, Tratamento de esgoto doméstico, Tomada de Decisão, Propriedade Rural.

INTRODUÇÃO

A precariedade dos serviços de saneamento representa uma grave ameaça à saúde humana, afetando principalmente a população de baixa renda, residente fora dos centros urbanos e de maior vulnerabilidade social, devido à subnutrição e, muitas vezes, pela higiene inadequada.

No Brasil, o saneamento rural está em segundo plano, com total prioridade ao saneamento ambiental urbano. Segundo os dados do Atlas Esgoto da Agência Nacional de Águas - ANA (BRASIL, 2018), 43% da população possui esgoto coletado e tratado e 12% utilizam-se de fossa séptica (solução individual), ou seja, 55% possuem tratamento considerado adequado; 18% têm seu esgoto coletado e não tratado, o que pode ser considerado como um atendimento precário; e 27% não possuem coleta nem tratamento, isto é, sem atendimento por serviço de coleta sanitário.

Conforme dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD/2015 (IBGE, 2015) apenas 5,45% dos domicílios estão ligados à rede de coleta de esgotos, 4,47% utilizam a fossa séptica ligada à rede coletora e 28,78% fossa séptica não ligada a rede coletora e os demais domicílios (61,27%) depositam os dejetos em fossas rudimentares, lançam em cursos d'água ou diretamente no solo a céu aberto.

Considerando a situação econômica de grande parte dos pequenos produtores rurais, a questão ambiental atual exige alternativas de tratamento de esgotos com baixos custos, porém, com uma elevada eficiência. Conforme Andrade *et al.*, (2018) as regiões periféricas urbanas e zonas rurais precisam assim de soluções viáveis e eficientes para a coleta e tratamento do esgoto doméstico, levando em consideração as peculiaridades locais de cada território. A escolha do tratamento depende de critérios mínimos estabelecidos para que o sistema opere com eficiência, alcançando os objetivos propostos.

OBJETIVOS

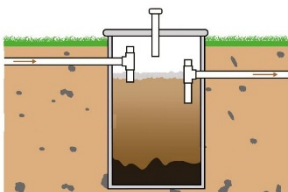



Definir, avaliar e comparar critérios para a escolha dentre alternativas de sistemas individuais de esgotamento sanitário visando nortear programas de elaboração e execução dos mesmos em comunidades rurais isoladas, comunidades tradicionais e assentamentos.

METODOLOGIA

Avaliação e seleção das alternativas

Para esse estudo foram consideradas, oito opções de tecnologias de tratamento (Quadro 1): tanque séptico (TS) associado ao filtro anaeróbico de fluxo ascendente (FAN), à vala de infiltração (VI), ao sumidouro (SU), ao canteiro de infiltração de evapotranspiração (CIE) ou ao círculo de bananeiras (CB), fossa séptica biodigestora (FSB), fossa séptica biodigestora econômica (FBE) e tanque de evapotranspiração (TEvap).

Quadro 1: Concepção dos sistemas individuais de esgotamento doméstico

Sistema	Imagem	Concepção
Tanque Séptico (TS)		É uma unidade que realiza as funções de sedimentação e de remoção de materiais flutuantes, além de atuar como um digestor de baixa carga sem mistura e sem aquecimento.
Filtro anaeróbico (FAN)		É um reator biológico preenchido por material filtrante no qual a biomassa anaeróbia e facultativa se fixa e se desenvolve promovendo a estabilização da matéria orgânica. A submersão do material no efluente provoca a entrada em estado anaeróbico por meio da inexistência de sistema de aeração constante.
Vala de infiltração (VI)		Técnica de depuração e disposição final do esgoto pré-tratado em uma vala escavada no solo, na qual é instalado um tubo perfurado envolvido por pedra britada ou outro material suporte. Após passar pelo tubo e leito de pedra, o esgoto é distribuído para infiltração no próprio solo.
Sumidouro (SU)		Poço escavado no solo, de formato cilíndrico ou prismático, que tem como objetivo a depuração e disposição final do esgoto previamente tratado por outros sistemas.

Sistema	Imagem	Concepção
Canteiro de infiltração e evapotranspiração (CIE)		Canteiro artificial de solo, destinado ao tratamento e à disposição final de esgoto, onde se permite a infiltração e evapotranspiração da parte líquida do esgoto.
Círculo de Bananeira (CB)		É um sistema para tratamento e disposição final de águas cinza ou de esgotos previamente tratados (por exemplo, efluentes de tanques sépticos) no qual o efluente é despejado em uma vala circular com britas no fundo e preenchida com pedaços de madeira e restos vegetais, ao redor da qual são plantadas bananeiras ou outras plantas que tenham a capacidade de evaporar grandes quantidades de água.
Fossa séptica biodigestora (FSB)		É uma tecnologia criada em 2001 pela Embrapa para o tratamento de água de vaso sanitário. É composta por três caixas d'água conectadas onde ocorrem a degradação da matéria orgânica do esgoto e a transformação deste em um biofertilizante que pode ser aplicado em algumas culturas. O sistema é capaz de atender a uma casa de até 5 pessoas, mas adaptações podem ser feitas caso o número de habitantes seja maior.
Fossa séptica econômica (FSE)		O sistema de FBE é constituído por três (ou mais) tambores de polietileno de 250L, popularmente chamados de bombonas, ligados em sequência. Há também variações deste sistema como, por exemplo, o uso de manilhas de concreto com 1m de diâmetro. Este sistema foi desenvolvido para tratar o esgoto proveniente do vaso sanitário. Este sistema é uma adaptação da FSB.
Tanque de evapotranspiração (TEvap)		A fossa evapotranspiradora (ou tanque de evapotranspiração) é constituída de um tanque impermeabilizado de fluxo ascendente preenchido por um meio filtrante de granulometria decrescente (no sentido do fluxo), que funciona como substrato para o cultivo de espécies vegetais de crescimento rápido e alta demanda hídrica, usualmente bananeiras, taiobas ou outras plantas similares que possuam de folhas largas.

Fonte: Adaptado de Von Sperling, 2005; Pinto e Paiva, 2014; Tonetti, 2018.

Estudo das características dos sistemas de tratamento

O estudo das características dos sistemas individuais de esgotamento sanitário compreendeu a realização uma ampla revisão de literatura sobre a implantação dos sistemas, assim como nas recomendações das normas técnicas NBR 7229/1993 e NBR 13969/1997 da ABNT. Este estudo visou entender os principais aspectos do funcionamento e da utilização dos sistemas de tratamento considerados, e assim construir uma base teórica para servir de subsídio para a comparação e escolha das tecnologias a serem empregadas nas áreas de estudo.

Escolha dos critérios de avaliação

Para a avaliação e seleção das alternativas, os resultados do levantamento das características das áreas de estudo, assim como as conclusões obtidas, são resumidos, confrontados e agrupados por meio de critérios de avaliação, proposto por Pinto e Paiva (2014), de forma a permitir uma fácil comparação entre sistemas de tratamento propostos e verificar a adequação dos mesmos às demandas do projeto.

Ponderação dos critérios: Análise multicritério

O método utilizado para ponderação dos critérios foi o método Processo Analítico Hierárquico – AHP (*Analytic Hierarchy Process*) desenvolvido por Saaty em 1980 (REBELATO *et al.*, 2016). Segundo Mattos *et al.* (2018), o método AHP é um método versátil que teve várias aplicações, incluindo a alocação de energia para indústrias, planejamento de transporte, processo de avaliação de candidatos para eleição e a escolha de prioridades para promover professores e pesquisadores, entre outros.

Na solução do modelo AHP foram observados sete passos: (a) construção da matriz de comparação par a par, matriz A; (b) cálculo do autovetor principal, matriz W; (c) cálculo do máximo autovalor (λ_{max}); (d) cálculo do índice de consistência (IC); (e) cálculo do índice de aleatoriedade ou randômico (IR) e, (f) cálculo da razão de consistência (RC) (SANTOS *et al.*, 2018).

Determinação e análise dos critérios: Definição das notas

Uma vez definidos os critérios a serem utilizados e sua respectiva ponderação, cada uma das alternativas de esgotamento sanitário foi valorada de acordo com as características dos sistemas individuais de tratamento, sendo que, quanto maior o valor dado, maior é grau de adequabilidade para determinado critério. Esses valores vão de 3 (três) pontos para aqueles mais adequados, até 0 (zero) pontos para aqueles inexistentes ou desprezíveis. Uma vez tida a valoração de cada sistema individual, dentro de cada critério, os mesmos foram totalizados para formar um *score* por sistema, sendo que quanto maior o *score*, maior a adequabilidade teve o sistema em relação ao critério.

RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos por meio da análise multicritério e da comparação entre os sistemas de tratamento, possibilitando uma análise rápida e eficaz dos aspectos positivos e negativos dessas tecnologias, além da verificação das restrições de utilização.

Tabela 1: Pontuação e pesos atribuídos a cada um dos sistemas avaliados em relação aos critérios considerados.

Critério/ Sistema	Pesos	Sistemas individuais de esgotamento sanitário							
		TS + FAN	TS + VI	TS + SU	TS + CIE	TS + CB	FSB	FBE	TEvap
Demanda de área	0,08	3	1	3	2	1	2	3	2
Custo de implantação	0,12	1	2	2	2	3	2	3	2
Custo de operação e manutenção	0,03	1	1	1	1	1	3	2	3
Regulamentação normativa	0,01	3	3	3	3	0	0	0	0
Metodologia construtiva da estrutura do sistema	0,07	1	2	2	2	2	3	3	1
Detalhamento do sistema	0,04	1	2	2	2	2	2	2	2
Movimentação de terra	0,12	3	3	1	2	3	2	3	2
Operação do sistema	0,05	3	3	3	2	2	1	3	2
Manutenção do sistema	0,05	1	1	1	1	1	3	1	3
Geração de efluente	0,01	1	3	3	3	3	1	1	3
Dependência de fatores climáticos	0,01	3	1	3	1	1	3	3	1
Dependência das características do solo	0,01	3	1	1	1	1	3	3	3
Reuso do efluente na produção de alimentos	0,02	0	0	0	0	3	3	0	3
Indicado para locais de uso intermitente	0,19	3	3	3	3	3	0	0	0
Observação do nível do lençol freático	0,19	3	1	1	1	3	1	1	3

TS - tanque séptico; FAN - filtro anaeróbio de fluxo ascendente; VI - vala de infiltração; SU - sumidouro; CIE - canteiro de infiltração e evapotranspiração; CB - círculo de bananeiras; FSB - fossa séptica biodigestora; FBE - fossa biodigestora econômica; TEvap - tanque de evapotranspiração.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para verificar a consistência dos valores da ponderação dos critérios, foram calculados os índices de consistência (IC) e a respectiva razão de consistência (RC). A razão de consistência foi verificada, pois, se este valor for menor que 10% ($RC < 10\%$), deve ser reajustada a comparação entre os critérios. O valor obtido da razão de consistência foi de 9,86%, sendo considerado aceitável, de acordo com a literatura.

Os resultados obtidos com a análise multicritério permite que diferentes variáveis sejam avaliadas de forma conjunta sem uma especial relevância na matriz dominante. Ao observar os resultados na AHP, as ponderações tendem a considerar um dos fatores de análise preponderante em relação aos demais, uso intermitente, nível do lençol freático e custo de implantação. Esses critérios se mostraram de maior importância em relação aos demais

devido a influência dos mesmos sobre o processo de implantação, operação e manutenção dos sistemas individuais de tratamento de esgoto.

A seguir, são descritos os critérios de avaliação adotados e detalhadas as considerações feitas em cada caso, visando justificar as ponderações acerca das alternativas de tratamento reunidas na Tabela 1. As escalas de graduação empregadas em cada critério foram definidas visando permitir uma comparação direta entre as alternativas, de maneira a evidenciar as diferenças entre suas características.

A Demanda de área dos sistemas de tratamento, apesar da disponibilidade de área em residências rurais não ser, geralmente, tão limitada quanto nas áreas urbanas, em casos mais restritivos pode vir a se tornar um empecilho para a utilização de alguns sistemas individuais de tratamento. As notas foram atribuídas da seguinte forma: 3 - para sistemas que demandem até 5 m² de área superficial; 2 - para demandas de 5 a 10 m²; 1 - para sistemas que necessitem de área maior que 10 m².

O Custo de implantação é, na prática, a principal característica dos sistemas de tratamento considerada nos processos de decisão. Tal fato se justifica pelo frequente orçamento limitado disponibilizado para as soluções de saneamento, principalmente quando se trata de localidades rurais e isoladas. As notas foram atribuídas da seguinte forma: 3 - para sistemas que requeiram até 200,00 R\$/hab; 2 - para gasto de até 300,00 R\$/hab; 1 - quando o gasto necessário for acima de 300,00 R\$/hab.

Da mesma forma que Custos de implantação, o critério Custos de operação e manutenção também são parâmetros fundamentais para estudos de viabilidade de utilização de sistemas individuais de tratamento de esgoto para a população rural. As notas foram atribuídas de forma que: 3 - representa sistemas em que não se aplica este tipo de demanda; 2 - quando a demanda for de até 9,00 R\$/hab; 1 - quando for necessário mais de 9,00 R\$/hab para a operação e manutenção do sistema.

Para o critério Regulamentação normativa, classificou os sistemas de tratamento quanto à existência de normas técnicas da ABNT que os regulamentem. Em geral, pode-se dizer que o fato de uma determinada tecnologia ter seu uso previsto em normas oficiais indica que ela é mais tradicional e difundida, além de as particularidades de seu funcionamento serem conhecidas e existirem recomendações de projeto consolidadas, propiciando mais segurança à sua utilização. As notas foram atribuídas sendo: 3 - para sistemas que possuem regulamentação; 0 - para sistemas que não possuem regulamentação.

Metodologia construtiva do sistema (estrutura do sistema) é um dos principais parâmetros a serem considerados na seleção de sistemas de tratamento para utilização no saneamento rural, visto que possíveis dificuldades na execução criteriosa do projeto concebido, aliadas à falta de mão de obra qualificada, podem resultar em construções que destoam excessivamente daquilo que foi previsto no projeto, gerando, em alguns casos, graves problemas no funcionamento, de maneira que a eficiência do tratamento fica comprometida. As notas foram atribuídas da seguinte forma: 3 - para os sistemas com baixa dificuldade construtiva; 2 - sistemas com média dificuldade; 1 - sistemas de alta dificuldade construtiva.

O Detalhamento do sistema avalia o nível de detalhamento das informações a serem consideradas (ou demasiado número de recomendações) na montagem do sistema e a complexidade assim gerada, como o as cotas a serem consideradas nas tubulações e preenchimento com meio filtrante, por exemplo. As notas foram atribuídas da seguinte forma: 3 - nos casos de sistemas com baixo detalhamento; 2 - para médio detalhamento; 1 - para sistemas com alto detalhamento.

O critério Movimentação de terra foi definido como o conjunto de operações de escavação, carga, transporte, descarga, compactação e acabamento executados a fim de passar-se um terreno em seu estado natural para uma nova configuração para implantação do sistema de tratamento. As notas foram atribuídas da seguinte forma: 3 - quando é necessário baixa movimentação, 2 - para média movimentação, 1 - para a necessidade de alta movimentação de terra.

No critério Operação do sistema, avaliou-se a frequência e dificuldade dos procedimentos necessários para a utilização dos sistemas, ou seja, o comprometimento requerido dos usuários para com a operação do sistema individual de tratamento de esgoto. As notas foram atribuídas da seguinte forma: 3 - para os sistemas de baixa demanda de tempo; 2 - para média demanda de tempo; 1 - quando o sistema requer alta demanda de tempo.

Em relação à Manutenção dos sistemas, foram consideradas características como necessidade de limpeza ou remoção de lodo, substituição de materiais filtrantes devido ao acúmulo de sólidos (colmatação), reposição de componentes que são consumidos (ou degradados) e controle e replantio de vegetação. As notas foram atribuídas da seguinte forma: 3 – para sistemas de baixa dificuldade; 2 – para média dificuldade; 1 – para alta dificuldade na manutenção do sistema.

No critério Geração de efluente foi avaliado a quantidade de efluente líquido gerado após o processo de tratamento. Vale ressaltar que alguns sistemas não produzem efluentes quando trabalhando em condições normais, de forma que esse quesito não se aplica. As notas foram atribuídas da seguinte forma: 3 – para sistemas que não gerem efluente; 1 – quando o sistema gera efluente.

A Dependência de fatores climáticos visou medir em que intensidade a eficiência e o adequado funcionamento dos sistemas de tratamento de esgoto são dependentes da existência de condições climáticas propícias nos locais de instalação. As notas foram atribuídas da seguinte forma: 3 – para os sistemas que não dependem; 1 – para sistemas que dependem das condições climáticas do local.

Nos sistemas de tratamento que envolvem a disposição de efluentes no solo, o funcionamento é dependente da taxa de percolação do mesmo, que é função de atributos tais como: granulometria (em solos arenosos a infiltração é rápida e em argilosos, lenta), presença de camadas com características variadas, existência de rochas fissuradas ou fraturadas no subsolo, etc. No critério Dependência das características do solo, foi avaliado da seguinte forma: 3 – para os sistemas que não dependem das características do solo; 1 – quando o sistema depende.

A concepção de alguns sistemas permite que, durante ou após o tratamento do esgoto, o líquido (desde que sejam garantidas as condições sanitárias necessárias) seja empregado na irrigação de espécies vegetais alimentícias e/ou na adubação do solo. Considerando esses potenciais benefícios, o critério Reuso do efluente na produção de alimento avaliou os sistemas de tratamento quanto à possibilidade de reuso agrícola dos efluentes na produção de alimentos. Esse critério foi avaliado da seguinte forma: 3 – se o sistema permite o reuso do efluente; 0 – se o reuso não é possível.

A ausência de geração de esgoto por longos períodos de tempo pode comprometer o funcionamento de sistemas que exigem, para que seja mantida a eficiência, condições tais como: constante presença de substrato para a manutenção de populações bacterianas envolvidas no tratamento, irrigação contínua de plantas etc. O critério Indicado para residências de uso intermitente foi avaliado da seguinte forma: 3 – se o sistema é indicado em locais de uso intermitente; 0 – se o sistema não é indicado para estes casos.

O critério Observação do nível do lençol freático avaliou a necessidade de observação, entre o fundo dos dispositivos e o nível máximo do lençol freático, para que não haja riscos de contaminação do aquífero ou de interferências prejudiciais ao funcionamento dos sistemas. As notas foram atribuídas da seguinte forma: 3 – quando não é necessário avaliar a altura do lençol freático; 1 – se for necessário essa avaliação.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

A escolha definitiva das tecnologias a serem empregadas em cada caso deve, compreender um julgamento das opções pelos executores do projeto e, principalmente, pela comunidade, cuja participação efetiva no processo é de fundamental importância para seu sucesso. Em todo caso, é necessário considerar as desvantagens e fatores de inadequação inerentes à utilização dos sistemas de tratamento selecionados, de maneira que devem ser buscadas formas de contornar essas dificuldades e assim propiciar a obtenção dos resultados desejados.

Como recomendações importantes, destacam-se a necessidade da realização de novos trabalhos que abordem temáticas semelhantes, suprimindo parte da carência de informações técnicas sobre o saneamento rural e os sistemas individuais de tratamento de esgoto. Por fim, espera-se que, com esse estudo, que possa gerar contribuições significativas para concretização das propostas apresentadas, melhorando a qualidade de vida da população abrangida e a proteção dos recursos naturais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo desenvolvimento deste trabalho à Universidade Federal de Viçosa - UFV, ao Programa de Extensão Universitária - PROEXT do Ministério da Educação e Ministério das Cidades, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, A. O.; RESENDE, A. A. P.; CRUZ, A. F. Construção participativa de sistemas individuais de esgotamento sanitário em comunidades rurais de Viçosa e região- MG. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/sistemas-individuais-esgotamento-mg/>. Acesso em 30 out. 2018.
2. MATOS, P. V., CARDADEIRO, E., SILVA, J. A. MUYLDER, C. F. *The use of multi-criteria analysis in the recovery of abandoned mines: a study of intervention in Portugal*. *RAUSP Manag. J.*, São Paulo, v. 53, n. 2, p. 214-224, jun. 2018.
3. PINTO, A. G, PAIVA, S. M. B. Uso de sistemas individuais para tratamento de esgoto sanitário em microrregiões de Araponga-MG. Viçosa, 2014. Projeto Final de Curso - Graduação em Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Viçosa.
4. REBELATO, M. G., MADALENO, L. L., RODRIGUES, A. M. *Análise do desempenho ambiental das usinas sucroenergéticas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu*. *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 579-591, sept. 2016.
5. SANTOS, L. A., CARVALHO JUNIOR, O. A., GUIMARAES, R. F., GOMES, R. A. T. *Áreas prioritárias para regularização fundiária no estado da Bahia (Brasil)*. *Finisterra*, Lisboa, n. 107, p. 27-50, abr. 2018.
6. TONETTI, A. L. *Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isolados: referencial para escolha de soluções*. Biblioteca Unicamp: Campinas, 2018.