



MÉTODOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Renata Cornelli¹, Fernando Gonçalves Amaral², Ângela de Moura Ferreira Danilevicz³ e Lia Buarque de Macedo Guimarães⁴

Resumo: O objetivo deste estudo foi levantar e identificar na literatura os métodos mais utilizados no tratamento de esgotos domésticos e classificá-los segundo critérios técnicos, econômicos, sociais e ambientais. Para tanto, foi utilizado o método de revisão sistemática da literatura nas bases de dados Scielo, ASCE, BVS e Science Direct entre os anos de 2002 e 2012. Os sistemas de tratamento foram classificados pela definição (aeróbio, anaeróbio e outros), operação (física, química, biológica e outras) e nível de tratamento (pré-tratamento, primário, secundário, terciário e outros). O sistema de tratamento anaeróbio/UASB foi o mais citado nos artigos consultados, enquanto que a operação e o tratamento mais utilizados foram, respectivamente, a biológica e o tratamento secundário. Levando-se em consideração critérios técnicos e de sustentabilidade, a análise apontou que os melhores métodos são as lagoas de estabilização e os biorreatores de membrana (MBR).

Palavras-chave: Análise. Tipos de tratamento. Esgoto doméstico. Critérios de sustentabilidade.

1 Introdução

A consciência pública sobre os problemas de poluição da água tem crescido consideravelmente nas últimas décadas, aumentando, assim, o número de regulamentações cada vez mais rigorosas quanto à descarga de águas residuais (ZENG et al., 2007). No Brasil, a resolução do CONAMA n° 357 (BRASIL, 2005) dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e enquadramento e ainda estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. No ano de 2011, esta resolução foi alterada e complementada pela n° 430 (BRASIL, 2011), a qual dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. No Rio Grande do Sul, a resolução do CONSEMA n° 128 (RIO GRANDE DO SUL, 2006) fixa padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais.

A instalação de um sistema de coleta e tratamento de esgotos de confiança promove a melhoria da saúde global e do saneamento, e por consequência, a redução da propagação de doenças de veiculação

hídrica, o que ajuda aliviar o sistema de saúde (MUGA et al., 2009). Grande parte das doenças que se alastram nos países em desenvolvimento é proveniente da água de má qualidade (BRASIL, 2006). Muitas dessas doenças que surgem do contato com as águas residuais são causadas por agentes patogênicos e os mais comuns nos esgotos são as bactérias, parasitas e vírus. Estes agentes causam desde diarreias até infecções e em longo prazo podem causar doenças graves e levar até a morte. A Figura 1 apresenta um resumo por meio de uma adaptação com as principais doenças citadas no site do Governo da Índia (2013) e por Barros (1995).

Para enfrentar o problema, a literatura menciona diferentes formas de tratamento ou meios de reduzir a carga de poluentes e patógenos das águas residuais (NAVARRO; PALLADITO, 2006). Considerando as diferentes formas de tratamento uma questão de pesquisa se impõe, considerando critérios técnicos, econômicos, sociais e ambientais que tipos de tratamento utilizados são os mais indicados para tratar esgotos domésticos?

¹ E-mail: rcornelli@producao.ufrgs.br

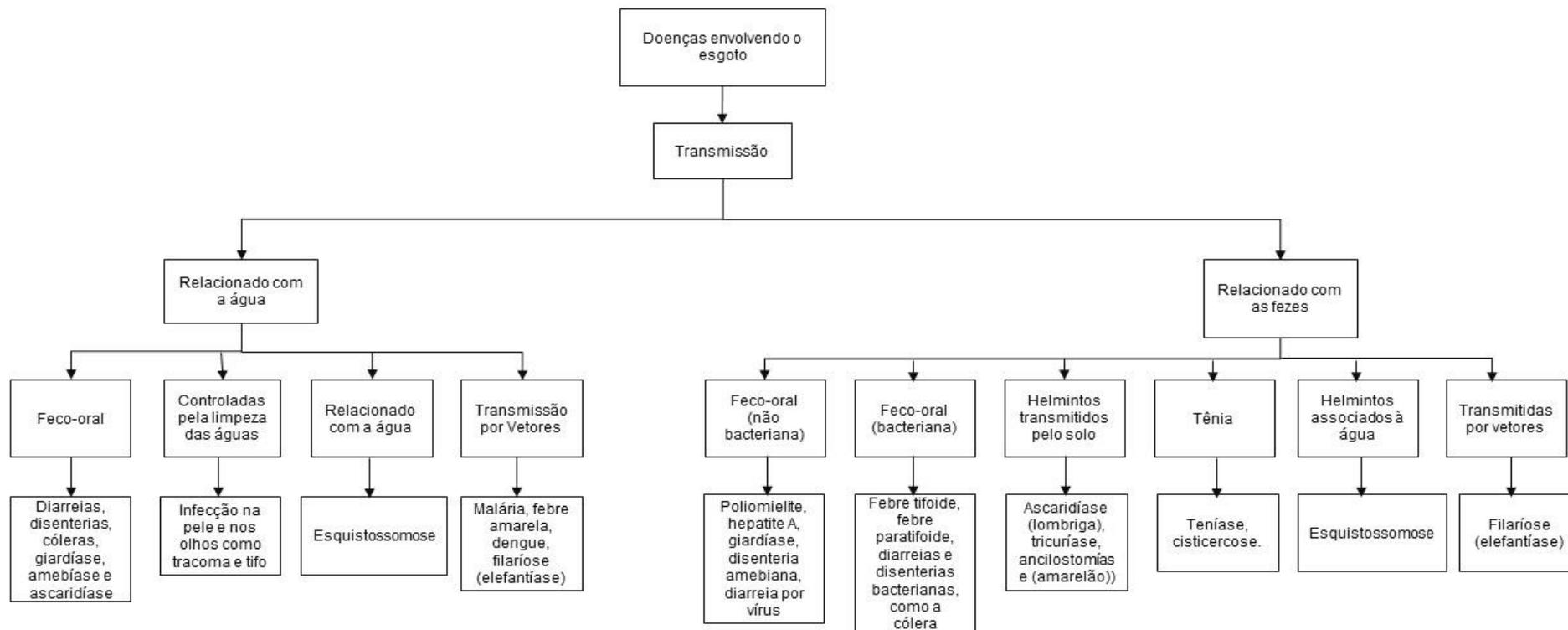
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP/UFRGS). Av. Osvaldo Aranha, n° 99, 5° Andar- Bairro Bom Fim. Porto Alegre-Rio Grande do Sul. CEP: 90035-190

² E-mail: amaral@producao.ufrgs.br

³ E-mail: angelamfd@producao.ufrgs.br

⁴ E-mail: liabmg@gmail.com

Figura 1- Doenças relacionadas ao esgoto



REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p.20-36, jul./dez. 2014

Para responder esta questão com base na literatura existente utilizou-se o método de revisão sistemática de literatura, sendo este um meio de identificar, interpretar e avaliar as questões de pesquisa, de revisar as tendências sobre um determinado tema, identificar as lacunas/falhas existentes na pesquisa, e propor/fornecer uma estrutura de modo a orientar novas investigações (KITCHENHAM, 2004).

Neste caso, a revisão sistemática tem como objetivo de levantar, identificar, classificar e analisar os métodos mais utilizados e sua importância no tratamento de esgotos domésticos no período de 2002 a 2012. Esta análise pode permitir a tomada de decisão quanto ao tratamento mais indicado considerando o ponto de vista técnico e de sustentabilidade.

2 Material e métodos

Quanto aos seus objetivos, a pesquisa é classificada como exploratória, uma vez que foi realizado um levantamento qualitativo e quantitativo das publicações acerca do tema 'tratamento de esgotos domésticos'. Do ponto de vista de procedimentos técnicos, é classificada como pesquisa bibliográfica.

Para o levantamento e análise das publicações, utilizou-se o método de revisão sistemática de literatura que é um meio de identificar, interpretar e avaliar as questões de pesquisa, de revisar as tendências evidentes sobre um determinado tema (KITCHENHAM, 2004), identificar as lacunas/falhas existentes na pesquisa, e propor/fornecer uma estrutura de modo a orientar novas investigações.

Foi utilizado o método de revisão proposto por Sampaio e Mancini (2007) e adaptado de Domholdt (2005), Law e Philp (2002) e Magee (1998), tendo sido consideradas as bases de dados Scielo, ASCE, BVS (Biblioteca de Vigilância Sanitária) e Science Direct entre os anos de 2002 e 2012. A escolha deste período pode ser justificada tendo em vista que no ano de 2002 aconteceu a Conferência da ONU- Rio +10 na cidade de Johannesburgo (África do Sul) e, em 2012, a Rio +20 na cidade do Rio de Janeiro (Brasil), mostrando assim como se comportaram as pesquisas em tratamento de esgotos. A busca, conduzida em julho de 2012, selecionou os artigos mediante o emprego da palavra-chave 'sewage treatment'. O Quadro 1 apresenta as etapas que compuseram a revisão sistemática.

Quadro 1 - Etapas da revisão sistemática

Passos	Aplicação no estudo
1 - Definir a pergunta científica	Quais tipos de tratamento são utilizados em esgotos domésticos/municipais?
2 - Buscando as evidências	As bases de dados consultadas foram: <i>ScienceDirect</i> , Scielo, Asce e BVS buscando publicações com as seguintes palavras-chave "sewage treatment".
3 - Revisando e selecionando estudos	Para refinar a busca, limitou-se ao período de 2002 a 2012. Excluindo ainda tratamento de efluente industrial, tratamento e disposição de lodo. A seleção dos estudos ocorreu pela avaliação dos títulos e dos resumos.
4 - Analisando a qualidade metodológica dos estudos	Os artigos que apresentavam propostas de método de tratamento de esgotos domésticos foram comparados e organizados em três critérios: definição (aeróbio, anaeróbio e outros), operação (física, química, biológica e outras) e por nível (pré-tratamento, primário, secundário, terciário e outros).
5 - Apresentando os resultados	Os artigos dos métodos incluídos na revisão sistemática foram sintetizados e os métodos foram agrupados nos três critérios, tendo sido realizada uma correlação entre os métodos e os critérios analisados. São apresentadas, também, as vantagens e desvantagens dos principais métodos de acordo com nível técnico, econômico, social e ambiental.

Considerando os métodos de tratamento, quanto à definição, foram elencados o método anaeróbio (microrganismos anaeróbios), aeróbio (microrganismos aeróbios) e outros (utiliza tanto o anaeróbio como o aeróbio ou não se

enquadra em nenhuma das outras duas definições).

Quanto aos aspectos de operação: física (aplicação de forças físicas, como, gradeamento, mistura, floculação, sedimentação), química (por reações químicas, precipitação, adsorção,

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p.20-36, jul./dez. 2014

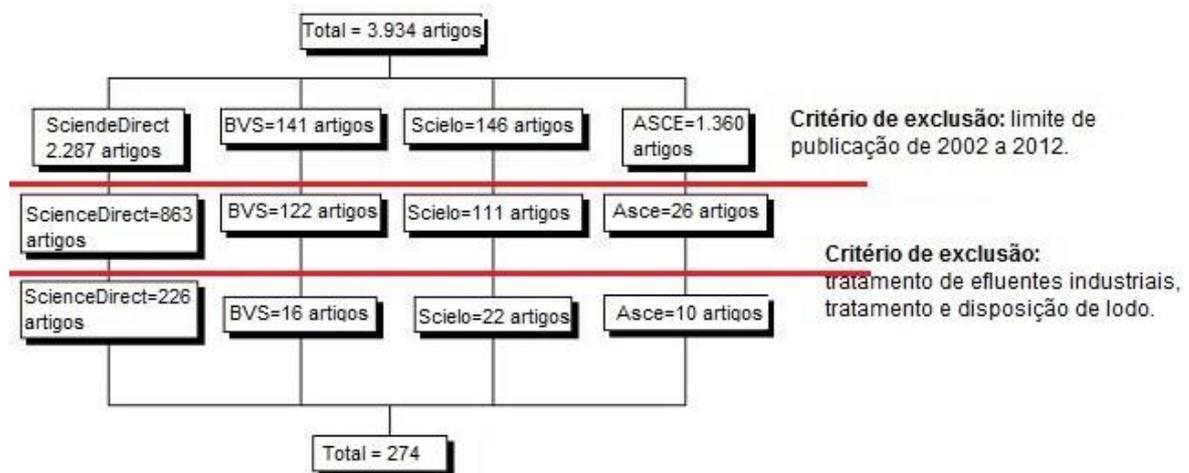
desinfecção), biológica (atividade biológica resultando em remoção de matéria orgânica carbonácea, nitrificação e desnitrificação) e outras (neste caso podem ser utilizadas uma ou mais características juntas). No que concerne à característica 'nível': preliminar (remoção de sólidos grosseiros como areia e gordura); primário (remoção de sólidos sedimentáveis e, em decorrência, parte da matéria orgânica); secundário (predominam mecanismos biológicos com o objetivo de remover a matéria orgânica e eventualmente nutrientes como nitrogênio e fósforo); terciário (remoção de poluentes específicos - usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis - ou ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento

secundário); e outros (que não se encaixam em apenas uma ou em nenhuma das outras características).

3 Resultados

Foram identificados 3.934 artigos, dos quais 274 estudos atendiam a todos os critérios de inclusão estabelecidos (226 da *Science Direct*, 22 da Scielo, 16 da BVS e 10 na ASCE). O primeiro critério de exclusão foi pelo período limite de publicação (entre os anos de 2002 a 2012). O segundo critério foi pela leitura do título e do resumo, excluindo os artigos que tratavam de efluentes industriais, tratamento e disposição de lodo, restando os 274 utilizados (Figura 2).

Figura 2 - Processo de seleção dos artigos



Fonte: Autores (2014)

Em seguida, os métodos de tratamento apresentados nos 274 artigos selecionados foram classificados de três formas: por definição (aeróbio, anaeróbio e outros), por operação (física, química, biológica e outras) e por nível (pré-tratamento, primário, secundário, terciário e outros). Além de terem sido classificados, foram analisadas as vantagens e desvantagens dos métodos segundo critérios técnicos, econômicos, sociais e ambientais.

Os critérios técnicos abarcam a tecnologia utilizada para o desenvolvimento de determinada atividade, no caso deste estudo, o tratamento de esgoto doméstico; os econômicos tratam da eficiência econômica em uma "alocação e gestão mais eficientes dos recursos e por um fluxo regular do investimento público e privado"; os sociais buscam reduzir substancialmente as

diferenças sociais, construindo uma sociedade com maior equidade na distribuição de renda e bens, reduzindo a distância entre ricos e pobres; os critérios ambientais visam a manutenção da capacidade de sustentação dos ecossistemas, o que implica a capacidade de absorção e recomposição dos ecossistemas em face das agressões antrópicas.

Os três últimos critérios compõem o conceito de desenvolvimento sustentável, definido pela ONU, no relatório 'Nosso futuro Comum' (UNITED NATIONS, 2014) como a observância dos aspectos econômicos, sociais, espaciais, culturais e ambientais da sociedade, para que sejam preenchidas tanto as necessidades individuais quanto as coletivas, mas ao mesmo tempo preservando a biodiversidade e os ecossistemas naturais.

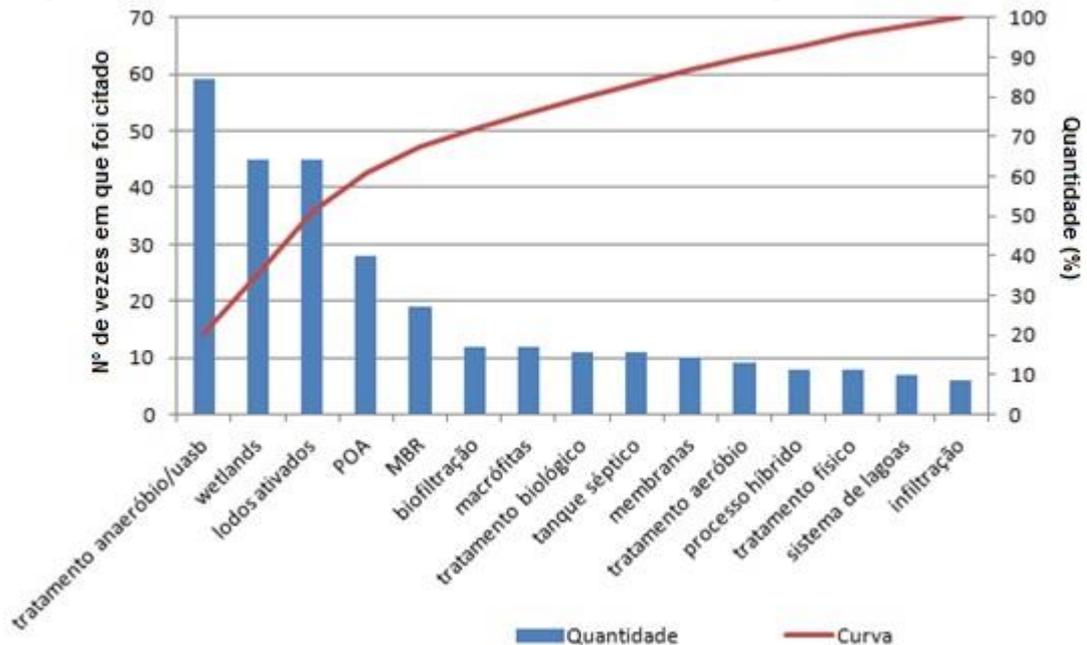
REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p.20-36, jul./dez. 2014

Na Figura 3 são apresentados os métodos de tratamento de esgotos que foram citados mais de seis vezes na literatura revisada, ou seja, totalizando 78% das ocorrências. Deste valor, 80% englobam

os tratamentos que vão desde o anaeróbio/UASB até o tanque séptico.

Outros métodos menos discutidos pelos autores são o filtro trickling, filtro anaeróbio e anaeróbio, osmose inversa, outros reatores anaeróbios e aeróbios.

Figura 3 - Gráfico de Pareto com os métodos de tratamento de esgoto doméstico levantados



Fonte: Autores (2014)

Quanto à definição, os métodos classificados utilizando tanto processos anaeróbios como aeróbios (ou não se enquadra em nenhuma das definições) são em maior número (36,5%), seguidos dos métodos unicamente anaeróbios (com 34,6%) (Figura 4). Isto pode estar relacionado ao alto desempenho, tecnologia simples, ser eficaz e ter baixa produção de lodo (Quadro 2).

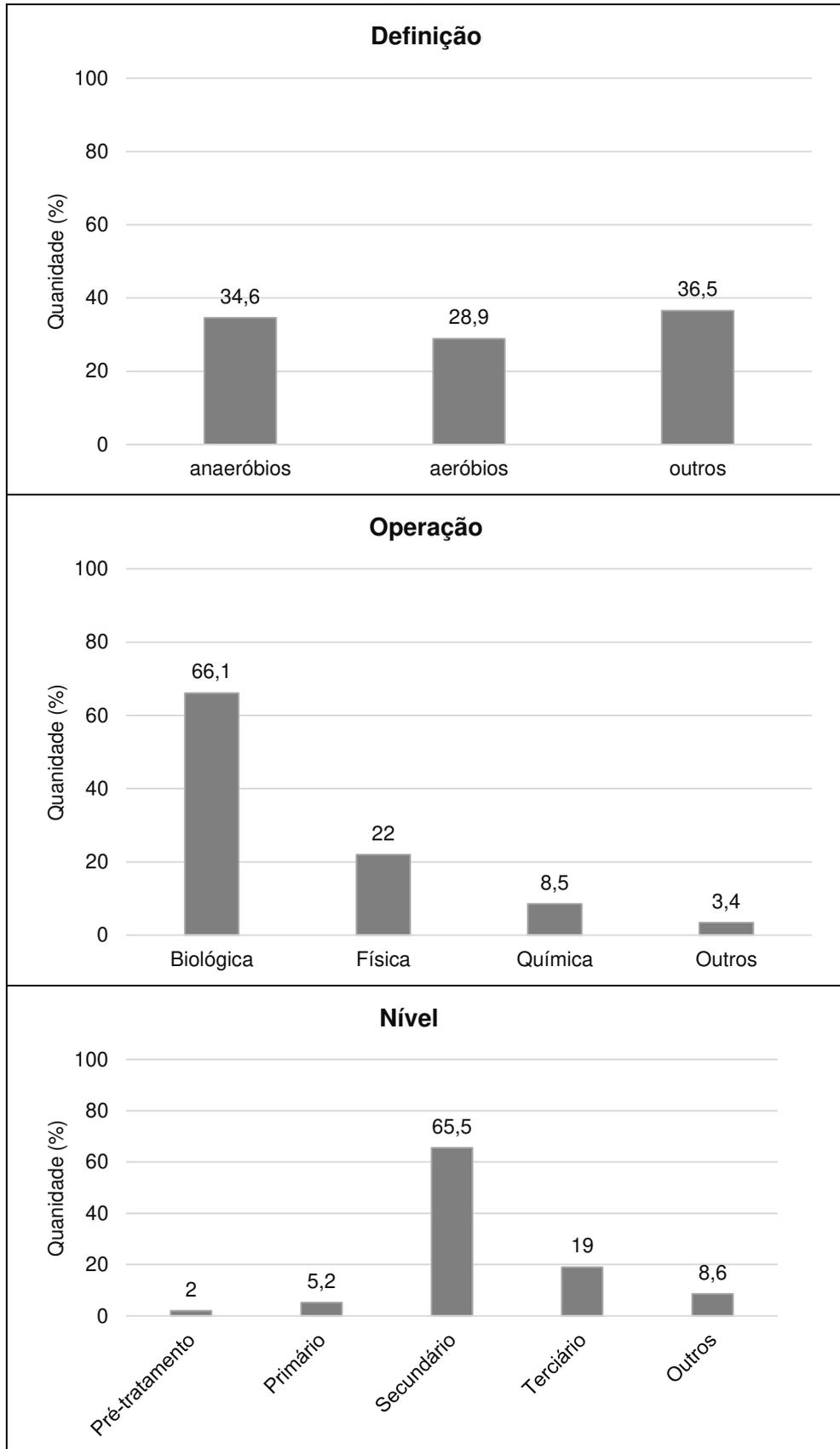
A operação que prepondera nos artigos é a biológica (66,1%) que sendo similar ao processo que ocorre nos sistemas naturais, poder ser utilizada na maioria dos efluentes gerados (seja de origem doméstica ou até mesmo industrial) com a ação de microrganismos (aeróbios e anaeróbios) permitindo também a tratabilidade de altos volumes de efluentes com custos relativamente baixos (CORDI et al., 1997). A base do processo biológico é o contato efetivo entre esses microrganismos e o material orgânico contido no líquido,

possibilitando que a matéria orgânica seja utilizada como alimento pelos microrganismos. Seu largo emprego pode ser explicado por este processo ser o mais econômico (Quadro 2) em meio aos aplicáveis na remoção de matéria orgânica, podendo ser amplamente utilizado no tratamento de efluentes, visto que promove, também, a redução de compostos como o nitrogênio amoniacal, sulfetos, sulfatos e nitratos.

O nível de tratamento mais utilizado é o secundário (65,5%) cujo principal objetivo é a remoção da matéria-orgânica dissolvida e em suspensão (a qual é em grande parte removida no tratamento primário). Após esta etapa de tratamento, o esgoto já apresenta características que permitem o seu lançamento no meio ambiente (VON SPERLING, 2005). Cabe ao tratamento secundário a remoção dos sólidos de decantabilidade mais lenta que persistem na massa líquida (Figura 4).

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p.20-36, jul./dez. 2014

Figura 4 - Ocorrência dos métodos de tratamento de esgoto doméstico por definição, operação e nível de tratamento



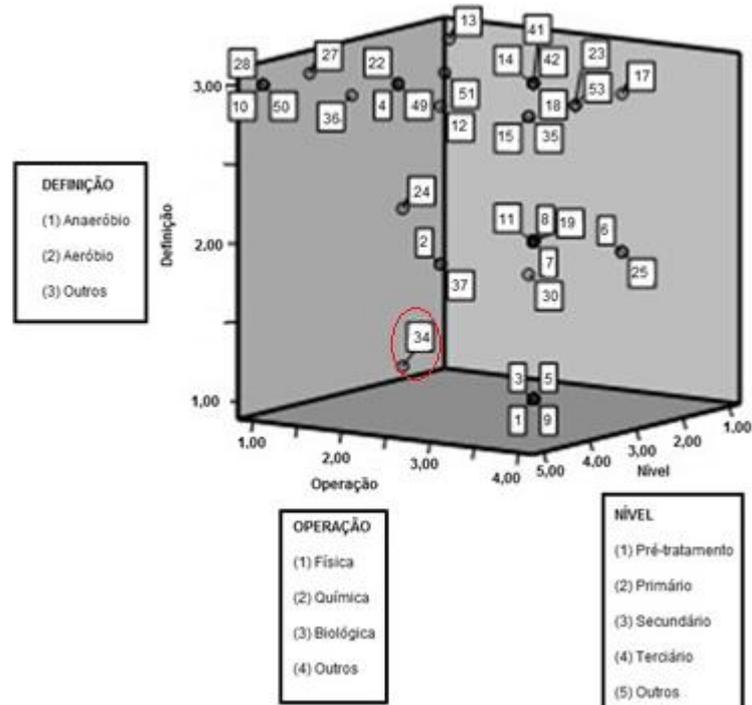
Fonte: Autores (2014)

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p.20-36, jul./dez. 2014

Um resumo dos 274 artigos analisados e correlacionados está apresentado na Figura 5. No eixo 'definição', número 1 (anaeróbico), 2 (aeróbico) e 3 (outros). No eixo 'operação', número 1

(física), 2 (química), 3 (biológica) e 4 (outros). No eixo 'nível', 1 (pré-tratamento), 2 (primário), 3 (secundário), 4 (terciário) e 5 (outros).

Figura 2 - Correlação entre os parâmetros (definição, operação e nível) e a quantidade de vezes em que cada combinação foi citada



Fonte: Autores (2014)

Cada um dos quadrados que aparecem no gráfico representa uma combinação composta pelos parâmetros: definição, operação e nível (Figura 5). Por exemplo, a combinação 34 (destacada na Figura) representa (1, 1, 2) significa respectivamente, anaeróbico, física, primário. Como algumas dessas combinações se repetem, no gráfico são inseridos números que correspondem quantas vezes a referida combinação apareceu.

Por ser uma quantidade expressiva de dados, muita das combinações não puderam estar representadas no gráfico. Contudo, após a análise dos dados tabulados, o que se pode concluir é que as combinações que mais se repetem são: (1,3,3), (2,3,3) e (3,3,3), ou seja, anaeróbio-

biológica-secundário (26,4%), aeróbio-biológica-secundário (20,8%) e outros-biológica-secundário com 7,6%.

As vantagens e desvantagens dos principais métodos de tratamento de esgotos citados na literatura revisada estão apresentadas no quadro 2.

Com a análise do Quadro 2 é possível perceber que a maioria dos métodos apresentam vantagens e desvantagens e todos os critérios (técnicos, econômicos, sociais e ambientais) exceto o tratamento por biofilmes, o qual, segundo a literatura consultada, não apresenta vantagens no critério econômico, no critério social não apresenta vantagem ou desvantagem e no critério ambiental não apresentou desvantagem.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p.20-36, jul./dez. 2014

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens dos principais métodos de tratamento de esgoto resultantes deste estudo (Continua)

TIPO DE TRATAMENTO	DESCRIÇÃO	TÉCNICO		ECONÔMICO		SOCIAL		AMBIENTAL	
		Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
Lodos Ativados	Constituído por reator e decantadores primário e secundário. O decantador primário serve para que a matéria orgânica em suspensão sedimentável seja retirada antes do tanque de aeração gerando, assim, uma economia no consumo de energia.	- necessita de pouca área; - método eficaz; - pode ser utilizado tanto para pequenas quanto para grandes comunidades;	- necessita de controle laboral diário; - a operação é delicada; - requer mão de obra qualificada; - requer área para descarte de lodo.	- menor custo da área	- elevado custo operacional; - custo adicional da área para descarte de lodo; - maior custo da mão de obra qualificada.	- pouca área utilizada, esta poderá ficar disponível para uso da comunidade - pode atender tanto pequenas quanto grandes comunidades.	- Dificuldade de encontrar mão de obra qualificada	- método altamente eficaz; - requer pouca área; - aplicável para pequenas e grandes comunidades.	- necessita de área para descarte de lodo
Wetlands	São banhados artificiais ou terras úmidas construídas para a remoção de poluentes através da filtração e da depuração da matéria orgânica por microrganismos formadores do biofilme aderido ao substrato presente no sistema	-baixa produção de odores; - tolerância a variações de cargas residuais; -fornece habitat para animais selvagens; - método eficaz na remoção de DBO e coliformes; - baixo consumo de energia; - construção, operação e manutenção simples; - não há lodo a ser tratado; - considerável redução de patógenos.	- requer maior quantidade de área; -requer um fornecimento de “água” contínuo; - é afetado pelas condições climáticas; - necessidade de tratamento prévio do esgoto; - necessidade de substrato; - susceptível a entupimentos; - necessidade de manejo das macrófitas.	- menor custo de energia; - menor custo de construção, implantação, operação e manutenção; - não há custo de tratamento de lodo; - possibilidade de ganho com a utilização da biomassa produzida.	- maior custo com a aquisição de área; -área do local ocupado teria uso limitado; - custo do tratamento prévio do esgoto; - custo de substratos; - custo de manutenção (entupimentos); - custo de manejo das macrófitas.	- odores (poucos) não afetam a comunidade; -fornece habitat para animais selvagens; - possibilidade da utilização da biomassa produzida.	- ocupação de maior quantidade de área; - área do local ocupado teria uso limitado; - há produção de odores - necessidade de manejo das macrófitas; - possibilidade de mosquitos, nos sistemas de águas superficiais.	- baixa produção de odores; -fornece habitat para animais selvagens; - baixo consumo de energia; - não há lodo a ser tratado; - possibilidade da utilização da biomassa produzida.	-necessita de fornecimento contínuo de “água”; - área do local ocupado teria uso limitado; -requer maior quantidade de área; - necessidade de tratamento prévio do esgoto; - necessidade de manejo das macrófitas; - possibilidade de mosquitos, nos sistemas de águas superficiais;

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p.20-36, jul./dez. 2014

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens dos principais métodos de tratamento de esgoto resultantes deste estudo (Continuação)

TIPO DE TRATAMENTO	DESCRIÇÃO	TÉCNICO		ECONÔMICO		SOCIAL		AMBIENTAL	
		Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
Processos Anaeróbios	O processo anaeróbio converte parte da matéria orgânica em gás carbônico e metano, por isso também é recomendada a existência de queimadores de gases, Entre os sistemas de tratamento anaeróbio, existem as lagoas anaeróbias, os tanques sépticos, os filtros anaeróbios e os reatores de alta taxa, capazes de receber maiores quantidades de carga orgânica por unidade volumétrica, como os reatores UASB (<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>) ou RAFAs (Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente).	<ul style="list-style-type: none"> - baixa produção de sólidos; - baixo consumo de energia; - preservação da biomassa contida no reator; - tolerância a elevadas cargas orgânicas; - aplicável em pequena e grande escala; - baixo consumo de nutrientes; - requer pouca área; - alto desempenho; - tecnologia simples; - método eficaz; - baixa geração de lodo; - possibilidade de recuperação dos nutrientes. 	<ul style="list-style-type: none"> - as bactérias anaeróbias são susceptíveis à inibição por um grande número de compostos; - partida do processo é lenta; - necessita de pós-tratamento; - bioquímica e microbiologia da digestão anaeróbia são complexas e requerem maiores estudos; - produção de maus odores; - possibilidade da geração de efluente com aspecto desagradável; - remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória. 	<ul style="list-style-type: none"> - menor custo de energia; - menor custo de área; - baixo custo de implantação e operação; - ganhos com a produção de metano; - como há preservação da biomassa contida no reator (menor custo de substituição); - possibilidade de recuperação dos nutrientes (utilização em outros processos). 	<ul style="list-style-type: none"> - gastos com pós-tratamento; - gastos pois a bioquímica e microbiologia da digestão anaeróbia são complexas; - perdas monetárias se o metano não for utilizado como energia e lançado para atmosfera. 	<ul style="list-style-type: none"> - pouca área utilizada, esta poderá ficar disponível para uso da comunidade - pode atender tanto pequenas quanto grandes comunidades - Pode utilizar o metano como biogás. 	<ul style="list-style-type: none"> - complexidade da digestão anaeróbia o que pode influenciar no atendimento aos parâmetros da legislação; - existe a possibilidade de produção de maus odores; - possibilidade da geração de efluente com aspecto desagradável; - remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória; - metano não utilizado como energia é lançado para atmosfera. 	<ul style="list-style-type: none"> - baixo consumo de energia; - baixa utilização de área; - pode ser utilizado tanto em grande quando em pequena escala; - baixo consumo de nutrientes; - há pouco lodo a ser tratado; - possibilidade de recuperação dos nutrientes. 	<ul style="list-style-type: none"> - contaminação dos recursos hídricos pois remove de forma insatisfatória remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos - metano não utilizado como energia é lançado para atmosfera.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p.20-36, jul./dez. 2014

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens dos principais métodos de tratamento de esgoto resultantes deste estudo (Continuação)

TIPO DE TRATAMENTO	DESCRIÇÃO	TÉCNICO		ECONÔMICO		SOCIAL		AMBIENTAL	
		Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
UASB	Baseada na decomposição anaeróbia da matéria orgânica. Consiste em uma coluna de escoamento ascendente, composta de uma zona de digestão, uma zona de sedimentação, e o dispositivo separador de fases gás-sólido-líquido.	<ul style="list-style-type: none"> - método pouco eficaz na remoção de DBO; - tolerância a elevadas cargas orgânicas; -baixo consumo de energia; -não necessita de meio suporte; - construção, operação e manutenção simples; - baixíssima produção de lodo; - estabilização do lodo no próprio reator; - lodo com ótima desidratabilidade; - rápido reinício após período de paralisação. 	<ul style="list-style-type: none"> - dificuldade em satisfazer padrões mínimos restritivos; - pouco eficaz na remoção de coliformes; - remoção de nitrogênio e fósforo praticamente nula; - possibilidade da geração de efluente com aspecto desagradável; - produção de maus odores; - a partida do processo é lenta; - sensível a variação de carga e compostos orgânicos; - necessita pós-tratamento. 	<ul style="list-style-type: none"> - menor custo com área de implantação e operação; -baixo custo com energia; -possibilidade de ganhos econômicos com uso energético do biogás; - ganhos econômicos com construção, operação e manutenção simples; - não há gastos para estabilização do lodo pois isso é feito no próprio reator; - necessita de disposição final de lodo. 	<ul style="list-style-type: none"> - gastos com pós tratamento. 	<ul style="list-style-type: none"> - por se de simples construção, operação e manutenção, pode ser utilizada a mão de obra local. - pouca área utilizada, esta poderá ficar disponível para uso da comunidade - Pode utilizar o biogás. 	<ul style="list-style-type: none"> - dificuldade em satisfazer padrões mínimos restritivos para a segurança da comunidade; - possibilidade da geração de efluente com aspecto desagradável; - produz maus odores. 	<ul style="list-style-type: none"> - baixa utilização de área -baixo consumo de energia; -possibilidade do uso energético do biogás; - baixíssima produção de lodo; - estabilização do lodo no próprio reator; - lodo com ótima desidratabilidade; 	<ul style="list-style-type: none"> - dificuldade em satisfazer padrões mínimos restritivos para segurança da comunidade e do meio ambiente; - produção de maus odores; - remoção de nitrogênio e fósforo praticamente nula. - necessita de disposição final de lodo.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p.20-36, jul./dez. 2014

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens dos principais métodos de tratamento de esgoto resultantes deste estudo (Continuação)

TIPO DE TRATAMENTO	DESCRIÇÃO	TÉCNICO		ECONÔMICO		SOCIAL		AMBIENTAL	
		Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
MBR (biorreator de membrana)	Neste sistema, as membranas micro porosas realizam um processo de ultra filtração, permitindo apenas a passagem através dela de água, alguns íons e moléculas de baixo peso molecular, barrando os sólidos e bactérias.	<ul style="list-style-type: none"> - requer pouca área; - eficaz na separação sólido-líquido; - alta qualidade do efluente tratado; - tolerância a variações de carga; - baixa produção de lodo; - possibilidade de projeto modular (menor espaço ocupado); - eficaz na remoção de poluentes; - opera em temperatura ambiente; - combina-se com outros tratamentos; - remove nitrogênio; - menor volume de lodo gerador; - operação sem adição de produtos químicos; - fácil operação; - substituí o sistema de decantação e tratamento terciário. 	<ul style="list-style-type: none"> - tecnologia importada aumentando a dificuldade em conseguir material de reposição; - geração de ruído em operações de alta pressão; - sistema MBR não elimina o contaminante, só o transfere de fase; - necessita de limpeza química para remoção de substâncias aderidas na membrana; - alto consumo de energia. 	<ul style="list-style-type: none"> - menor custo com área pois ocupa pouco espaço; - não necessita de gastos com produtos químicos para operar; 	<ul style="list-style-type: none"> - alto custo de implantação e operação; - tecnologia importada; - necessita de limpeza química para remoção de substâncias aderidas na membrana; - alto custo com energia. 	<ul style="list-style-type: none"> - requer pouca área; - eficaz na remoção de poluentes; - operação sem adição de produtos químicos; - fácil operação. 	<ul style="list-style-type: none"> - geração de ruído em operações de alta pressão; - necessita de limpeza química para remoção de substâncias aderidas na membrana. 	<ul style="list-style-type: none"> - alta qualidade do efluente tratado; - utiliza pouca área; - produção pouco lodo; - eficaz na remoção de poluentes; - remove nitrogênio; - operação sem adição de produtos químicos. 	<ul style="list-style-type: none"> - geração de ruído em operações de alta pressão; - sistema MBR não elimina o contaminante, só o transfere de fase; - necessita de limpeza química para remoção de substâncias que ficam aderidas na membrana; - alto consumo de energia.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p.20-36, jul./dez. 2014

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens dos principais métodos de tratamento de esgoto resultantes deste estudo (Continuação)

TIPO DE TRATAMENTO	DESCRIÇÃO	TÉCNICO		ECONÔMICO		SOCIAL		AMBIENTAL	
		Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
Tanque séptico	O princípio do processo consiste, basicamente, em uma unidade onde se realizam, simultaneamente, várias funções: decantação, flotação, desagregação e digestão parcial dos sólidos sedimentáveis (lodo) e da crosta constituída pelo material flotante (escuma). O principal fenômeno que ocorre sobre o efluente é de ação física, através de decantação.	<ul style="list-style-type: none"> - necessita de meio suporte; - tolerância a diferentes tipos e concentrações de esgoto; - fornece tratamento preliminar e reduz a carga de resíduos de sistema de tratamento à jusante; - pode ser usado por famílias individuais; - fácil operação e manutenção. 	<ul style="list-style-type: none"> - dificuldade em satisfazer padrões de lançamentos restritivos; - pouco eficaz na remoção de coliformes; - remoção de N e P praticamente nula; - possibilidade da geração de efluente com aspecto desagradável; - produção de maus odores, porém, controláveis; - riscos de entupimento; - não tolera efluentes com baixas concentrações de sólidos; - sistema de bombeamento exige inspeção e manutenção periódica; - deve ser verificado e limpo conforme a necessidade; - tratamento pouco eficaz. 	<ul style="list-style-type: none"> - gastos com meio suporte; - baixo custo se construído por gravidade; - é fácil de operar e reparar e, por isso tem baixo custo; 	<ul style="list-style-type: none"> - gastos com pós-tratamento - gastos com energia para operar bomba; - sistema de bombeamento exige inspeção e manutenção periódica (fazendo com que haja custo); - gastos com limpeza e manutenção - gastos com disposição final de lodo. 	<ul style="list-style-type: none"> - pode ser usado por famílias individuais; - mão de obra não necessita de muita qualificação pois é de fácil operação e manutenção; - pode ser construído em áreas rurais. 	<ul style="list-style-type: none"> - Por ser um tratamento pouco eficaz, pode contaminar o recurso hídrico no qual é lançado e conseqüentemente a população que tem acesso - há geração de odores porém controláveis 	<ul style="list-style-type: none"> - fornece tratamento preliminar e reduz a carga de resíduos de sistema de tratamento à jusante; - pode ser usado por famílias individuais; - pode ser construído em áreas rurais. 	<ul style="list-style-type: none"> - Por ser um tratamento pouco eficaz, pode contaminar o recurso hídrico no qual é lançado e conseqüentemente a população que tem acesso - possibilidade da geração de maus odores, porém controláveis; - consumo de energia para operar bomba; - necessita área para disposição final de lodo.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p.20-36, jul./dez. 2014

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens dos principais métodos de tratamento de esgoto resultantes deste estudo (Continuação)

TIPO DE TRATAMENTO	DESCRIÇÃO	TÉCNICO		ECONÔMICO		SOCIAL		AMBIENTAL	
		Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
Lagoas de estabilização	As lagoas de estabilização são sistemas de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica (oxidação aeróbia ou fermentação anaeróbia) e/ou redução fotossintética das algas. De acordo com a forma predominante pela qual se dá a estabilização da matéria orgânica, as lagoas costumam ser classificadas em: facultativas, anaeróbias, aeradas e de maturação.	<ul style="list-style-type: none"> - baixo consumo de energia; - simples de operar e manter; - tolerância a variações de cargas; - eficaz na remoção de patógenos; - pouco eficaz em climas frios; - pode ser construído e mantido com materiais e mão-de-obra local; - não requer equipamentos caros ou importados; - lodo pode ser utilizado como condicionador de solo e efluente pode ser utilizado para irrigação. 	<ul style="list-style-type: none"> - utilizada maior quantidade de área; - pouco eficaz em climas frios; - existe produção de odores; - necessita de manutenção para evitar reprodução de mosquitos e outros insetos; - pouco eficaz na remoção de metais pesados; - requer tratamento ou polimento para atender os padrões de lançamentos locais. 	<ul style="list-style-type: none"> - baixo custo com energia; - não há necessidade de mão de obra qualificada, podendo ser construído e mantido com materiais e mão-de-obra local; - não precisa de equipamentos caros ou importados; 	<ul style="list-style-type: none"> - maior custo com área - pouco eficaz na remoção de metais pesados (gasto com pós-tratamento; - necessita gastos com manutenção para evitar reprodução de mosquitos e outros insetos; - necessidade de gastos para tratamento ou polimento para atender os padrões de lançamentos locais. 	<ul style="list-style-type: none"> - segurança na remoção de patógenos; - pode ser construído e mantido com materiais e mão-de-obra local; - pode receber criação de peixes; - lodo pode ser utilizado como condicionador de solo e efluente pode ser utilizado para irrigação. 	<ul style="list-style-type: none"> - ocupação de maior quantidade de área; - área do local ocupado teria uso limitado; - incômodo devido a produção de odores; - pouco eficaz na remoção de metais pesados; - requer tratamento ou polimento para atender os padrões de lançamentos locais; - necessita de manutenção para evitar reprodução de mosquitos e outros insetos. 	<ul style="list-style-type: none"> - tolerância a variações de cargas; -baixo consumo de energia; - eficaz na remoção de patógenos; - criação de peixes; - lodo pode ser utilizado como condicionador de solo e efluente pode ser utilizado para irrigação. 	<ul style="list-style-type: none"> - requer maior quantidade de área; - produção de odores; - pouco eficaz na remoção de metais pesados; - requer tratamento ou polimento para atender os padrões de lançamentos locais; - necessita de manutenção para evitar reprodução de mosquitos e outros insetos.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p.20-36, jul./dez. 2014

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens dos principais métodos de tratamento de esgoto resultantes deste estudo (Conclusão)

TIPO DE TRATAMENTO	DESCRIÇÃO	TÉCNICO		ECONÔMICO		SOCIAL		AMBIENTAL	
		Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
Biofilmes	A matéria orgânica é estabilizada por bactérias que crescem aderidas a um meio suporte (usualmente pedras ou material plástico).	<ul style="list-style-type: none"> - alta velocidade de sedimentação (melhorando a clarificação externa); - alta concentração de biomassa - grande área superficial para o crescimento de microrganismos; - grande transferência de massa resultando em conversão de matéria-orgânica; - reatores compactos; - alta idade do lodo e baixa formação de lodo excedente; 	<ul style="list-style-type: none"> - formação do biofilme sobre o meio suporte requer um tempo inicial longo; - controle da espessura do biofilme é difícil; - o crescimento excessivo do biofilme causa o carregamento do meio suporte para fora do reator; - os distribuidores para fluidizar o sistema podem apresentar um custo elevado e problemas de entupimento. 		<ul style="list-style-type: none"> - os distribuidores para fluidizar o sistema podem apresentar um custo elevado e problemas de entupimento. 			<ul style="list-style-type: none"> - oferece grande área superficial para o crescimento de microrganismos; - alta idade do lodo e baixa formação de lodo excedente. 	

Fonte: OAS (1997), Massoud, Tarhini e Nasr (2009), Von Sperling (2005), Couracci Filho (1999), Chemicaro (1997), Abdel-Halim e Rosenwinkel (2005), Meng et al. (2009), Nywening e Zhou (2009), Churchouse e Wildgoose (1999), Li et al. (2008), Alba et al. (2006), Engineering Concepts Inc. (2010), Alaton, Balcioglu e Bahnemann (2002), Dezotti (2008), Gernjak et al. (2003), Sanz et al. (2002), Gulyas (1997), WHO (2011), Torrades et al. (2003) e Mendonça (2004).

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p.20-36, jul./dez. 2014

4 Conclusões

Este estudo apresentou uma revisão sistemática da literatura sobre métodos de tratamento de esgotos domésticos, tendo sido selecionados 274 artigos. Foi possível explicitar as vantagens e desvantagens de cada um dos tratamentos identificados, de forma a possibilitar uma escolha balizada em diferentes casos.

Os métodos que utilizam tanto processo anaeróbio como aeróbio são em maior número do que aqueles que utilizam somente processo anaeróbio ou somente aeróbio na literatura consultada. Quanto à

operação (física, química, biológica e outros), o tratamento biológico foi o mais citado e, quanto ao nível de tratamento, o tratamento secundário (dentre o pré-tratamento, primário, secundário, terciários e outros) é o mais comumente utilizado. E, os métodos mais citados foram o tratamento anaeróbio/UASB, *wetlands* e lodos ativados.

Por fim, levando em consideração os critérios técnicos e de sustentabilidade, a análise apontou que os melhores métodos de tratamento de esgoto doméstico, os que possuem mais vantagens nos critérios apontados, são as lagoas de estabilização e os biorreatores de membrana (MBR).

5 Household sewage treatment methods: a systematic review

Abstract: *The objective of this study was to survey and identify in the literature the methods used in the treatment of household sewage and classifying them according to technical, economic, social and environmental criteria. Therefore, was used the method of systematic review of the literature in the databases Scielo, ASCE, BVS and Science Direct between the years 2002 and 2012. The treatment systems were classified according to definition (aerobic, anaerobic and other), operation (physical, chemical, biological and other) and level of treatment (pretreatment, primary, secondary, tertiary and other). The anaerobic treatment system / UASB was the one most cited in the consulted articles while the operation and treatment most used were, respectively, the biological and the secondary treatment. Taking into account technical and sustainability criteria, the analysis pointed out that the best methods are the stabilization ponds and membrane bioreactors (MBR).*

Keywords: Analysis. Types of treatment. Household sewage. Sustainability criteria.

6 Referências

ABDEL-HALIM, W.; ROSENWINKEL, K. –H. **Domestic wastewater treatment and sustainable re-use. Closing the loop. Empowers Regional Symposium: End user Ownership and Involvement in IWRM Cairo, Egypt**, November 13-17, 2005.

ALATON, I.A., BALCIOGLU, I.A., BAHNEMANN, D.W. Advanced oxidation of a reactive dye bath effluent: Comparison of O₃, H₂O₂/UV-C and TiO₂/UV-A processes. **Water Research**, 36 (5), p. 1143-1154, 2002.

ALBA, A. R. F. GARCIA, P. L. GARCIA, R. R. VALIÑO, M. D. FERNANDEZ, S. V. GARCIA, J.M.S. **Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales**. Madrid: Edupubli. Biblioteca virtual, 2006. Disponível em: <http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt2_tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf>. Acesso em mar. 2010.

BARROS, R. T. V. et al. **Saneamento**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios – volume 2.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. Brasília: FUNASA, 2006. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/internet/arquivos/biblioteca/eng/eng_saneam.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2013.

_____. **Resolução CONAMA Nº 430 de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União. República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 maio 2011.

_____. **Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005**. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63.

CHERNICARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias** – Volume 5: Reatores anaeróbios. Departamento de

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p.20-36, jul./dez. 2014

Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. Belo Horizonte, 245 p., 1997.

CHURCHOUSE, S., WILDGOOSE, D., 1999, Membrane Bioreactors Progress from The Laboratory to Full-Scale Use. **Membrane Technology**, n. 111, p. 04-08, 1999.

CORDI, L. et al. Montagem, partida e operação de um sistema de lodos ativados para o tratamento de efluentes: parâmetros físico-químicos e biológicos. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 5, n. 1, p. 97-115, 2008.

COURACCI FILHO, B. et al. **Bases conceituais da disposição controlada de águas residuárias no solo**. In: CAMPOS, J. R. (Coord.) Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, p. 321-356, 1999.

DEZOTTI, M. **Processos e técnicas de controle ambiental de efluentes líquidos**. E-papers serviços editoriais Ltda, 2008.

DOMHOLDT, E. **Rehabilitation research: principles and applications**. Missouri: Elsevier Saunders, 2005.

ENGINEERING CONCEPTS INC. (EDITOR) (2010): Chapter 6. Wastewater collection system alternatives. In: Engineering Concepts Inc.; Kapoho Beach Lots (Editor); Farm Lots (Editor); Vacationland Estates Wastewater Feasibility Report (Editor) (2010): Chapter 6 - Wastewater Collection System Alternatives. Hilo.

GERNJAK, W.; KRUTZLER, T.; GLASER, A.; MALATOS, S.; CACERES, J.; FÉRNANDEZ-ALBA, A.R. Photo-fenton treatment of water containing natural phenolic pollutants. **Chemosphere**, 50, p.71-78, 2003.

GULYAS, H. Process for the removal of the recalcitrant organics from industrial wastewater. **Water science and technology**, v. 36, n. 2-3, p. 9-16, 1997.

GOVERNO DA ÍNDIA. Disponível em: <<http://www.in.gov/isdh/22963.htm>>. Acesso: 20 ago. 2013.

KITCHENHAM, B.A. **Procedures for performing systematic reviews**, Keele University Technical Report TR/SE-0401 and NICTA Technical Report 0400011T.1, 2004.

LAW, M.; PHILP, I. **Systematically reviewing the evidence**. In: LAW M. Evidence-based rehabilitation: a guide to practice. Thorofare (NJ): SLACK Inc., 2002.

LI, N. N., FANE, A. G., HO, W.S. W., MATSUURA, T. **Advanced membrane technology and applications**. U.S.A.: Wiley, 2008.

MAGEE, D.J. **Systematic reviews (meta-analysis) and functional outcome measures**. Apostila, Developmental Ed: Aindow, 1998.

MASSOUD, M. A.; TARHINI, A.; NASR, J. A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. **Journal of Environmental Management**, 90, p. 652–659, 2009.

MENDONÇA, N. **Tratamento de esgoto sanitário empregando reator de leito expandido em escala plena em zonas anaeróbias e aeróbias sobrepostas. Concepção, construção e operação**. 2004. 201p. Tese (Escola de Engenharia de São Carlos) – Universidade de São Paulo - São Carlos, 2004.

MENG, F. et al. Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): Membrane fouling and membrane material. **Water Research**, v. 43, p. 1489-1512, 2009.

MUGA, H.E.; et al. **Treatment Performance of Wastewater Lagoons in South Yungas Province of Bolivia**. World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers © 2009 ASCE. Disponível em: <[http://scitation.aip.org/getpdf/servlet/GetPDFServlet?filetype=pdf&id=ASCECP000342041036000586000001&idtype=cvips&doi=10.1061/41036\(342\)586&prog=normal](http://scitation.aip.org/getpdf/servlet/GetPDFServlet?filetype=pdf&id=ASCECP000342041036000586000001&idtype=cvips&doi=10.1061/41036(342)586&prog=normal)>. Acesso: 11 nov.2011.

NAVARRO, A. F. AND PALLADITO, L.A.; **Degradación de Efluentes Líquidos mediante Lechos Fluidizados**, Actas del XXII Interamerican Congress of Chemical Engineering, 11b Pollution Remediation (106-032). Buenos Aires, Argentina 1 al 4 de Octubre, 2006.

NYWENING, J.P.; ZHOU, H. Influence of filtration conditions on membrane fouling and scouring aeration effectiveness in submerged membrane bioreactors to treat municipal wastewater. **Water Research**, v. 43, p. 3548-3558, 2009.

ORGANIZATION OF AMERICAN STATES (OAS), **Source book of alternative technologies for freshwater augmentation in Latin America and the Caribbean**, Estados Unidos, 1997.

RIO GRANDE DO SUL. **Resolução n.º 128, de 24 de novembro de 2006 do CONSEMA**. Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SAMPAIO, R.F.; MANCINI, M.C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v.11, n.1, p.83-89, 2007.

SANZ, J.; LOMBRANA, J. I.; MA. DE LUIS, A.; ORTUETA, F.; VARONA, F. **Analysis of the efficiency of three advanced oxidation processes on the generation of hydroxyl**

**REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p.20-36, jul./dez. 2014**

radicals in the treatment of phenol. Universidad del País Vasco (UPV/EHU). 15th. International Congress of Chemical and process Engineering, 2002.

TORRADES, F.; PÉREZ, M.; MANSILLA, H.D.; PERAL, J. Experimental design of fenton and photo-fenton reactions for the treatment of cellulose bleaching. **Chemosphere**, 53, p. 1211-1220, 2003.

UNITED NATIONS (2014) UN DOCUMENTS **Gathering a body of global agreements. Our Common Future, Chapter 2: Towards Sustainable Development.** Disponível em: <<http://www.un-documents.net/ocf-02.htm#1>>. Acesso: 07 abr. 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos/** Marcos Von Sperling – 3. Ed.- Belo Horizonte: Departamento

de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/emergencies/fs3_11.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2011.

ZENG, G., GIANG, R., HUANG, G., XU M., AND LI J. Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. **Journal of Environmental Management**, 82, 2, p. 250–259, 2007.

7 Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa durante o período de realização do Doutorado.