

II-190 - MÉTODOS DE TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ESGOTO DOMÉSTICO: UMA ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA

Nora Katia Saavedra del Aguila Hoffmann⁽¹⁾

Bióloga, Doutora em Hidráulica e Saneamento (EESC-USP). Professora Associada da Universidade Federal de Goiás (EECA-UFG).

Marco Antônio da Silva Oliveira⁽²⁾

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA/UFG).

Endereço⁽¹⁾: Avenida Universitária, Quadra 86, Lote Área 1488 - Setor Leste Universitário - Goiânia - GO - CEP: 74605-220 - Brasil – Tel: (62) 32096263 - e-mail: katia.saavedra@gmail.com

RESUMO

Os sistemas de tratamento de esgotos são essenciais para a preservação do meio ambiente e proteção da saúde pública. Sua ausência ou ineficiência contribui para a contaminação de corpos d'água e, conseqüentemente, para a propagação de diversas doenças parasitárias e infecciosas. Assim, este estudo objetivou explorar os métodos mais utilizados no tratamento biológico de esgotos domésticos no Brasil, a fim de gerar um panorama das publicações sobre a temática entre os anos de 2012 e 2021. Para tal, utilizou-se da análise cienciométrica a partir da base de dados Web of Science, acessível no portal dos Periódicos CAPES. Os resultados do diagnóstico apontam que as wetlands vêm se destacando e compreendendo grande parte das publicações nos últimos anos, bem como as lagoas de estabilização formam o segundo maior conjunto de sistemas instalados (1.291 unidades). Contudo, o método mais discutido e implantado foi o reator anaeróbio, com 262 artigos e 1.373 ETes pelo país. De modo geral, todos os sistemas discutidos apresentaram vantagens e desvantagens, que os tornam satisfatórios para diferentes realidades locais.

PALAVRAS-CHAVE: Análise cienciométrica, Esgoto doméstico, Tratamento biológico.

INTRODUÇÃO

O novo Marco Legal do Saneamento Básico, aprovado em 2020, definiu mudanças significativas no setor brasileiro desde o Plano Nacional de Saneamento – Planasa, em 1970. Com a abertura de licitação e novos contratos de concessão disputados por prestadores de serviço públicos e privados espera-se atingir 90% de coleta e tratamento de esgotos para a população até 31 de dezembro de 2033 (BRASIL, 2020).

Para cumprir esse prazo o caminho é longo, pois segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, em 2020, o índice de cobertura de rede de esgotos no país foi em média 54%, enquanto o índice de tratamento dos esgotos coletados foi 78,5%, ou seja, a grande demanda ainda é coletar o esgoto gerado. Todavia, percebe-se também que mais de 20% do esgoto coletado ainda não é tratado, assim, é possível afirmar de acordo com Cornelli et al. (2014), que a melhoria do saneamento e da saúde global dependem da presença de um sistema completo, isto é, de coleta e tratamento de esgoto de confiança.

Von Sperling (2014) esclarece que o tratamento de esgoto é classificado em 4 etapas de tratamento: preliminar, o qual visa a retirada de sólidos grosseiros em suspensão; primário - responsável pela remoção de sólidos sedimentáveis e parte da demanda bioquímica de oxigênio (DBO); secundário - incumbido pela retirada de matéria orgânica remanescente e na forma de sólidos dissolvidos; e finalmente terciário, encarregado pela eliminação de compostos não-biodegradáveis e organismos patogênicos.

Em nível secundário, há uma diversidade de métodos de tratamento, sendo que os mais comuns, segundo aponta Von Sperling (2014), são as lagoas de estabilização, processos de disposição no solo, sistemas alagados construídos, reatores anaeróbios, lodos ativados e reatores aeróbios com biofilmes. Diante disso, o autor afirma que a essência do tratamento secundário de esgotos domésticos é a inclusão de uma etapa biológica, efetuada por reações bioquímicas desempenhadas por microrganismos.

Dessa forma, a presente pesquisa realizou um levantamento, entre bases de dados científicos, dos métodos mais utilizados no tratamento biológico de esgotos domésticos no Brasil, de modo a identificá-los e analisá-los considerando critérios técnicos, econômicos, sociais e ambientais. Diante disso, objetivou gerar um panorama das publicações sobre a temática nos últimos 10 anos, podendo, inclusive, auxiliar pesquisas futuras na área.

MATERIAIS E MÉTODOS

Como metodologia de estudo utilizou-se a cienciometria, realizando uma revisão sistemática no portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), um dos maiores acervos científicos virtuais do país, que reúne mais de 49 mil periódicos e 455 bases de dados, das quais optou-se pela Web of Science. Essa plataforma promove uma pesquisa a partir de quase 1,9 bilhão de referências citadas em mais de 171 milhões de registros e, no Brasil, está disponível no portal dos Periódicos CAPES, que fornece o conteúdo para 420 universidades públicas e privadas.

Assim, a busca levantou a quantidade de publicações por ano, autores, afiliações e sistemas de tratamento mediante o emprego de palavras-chave (Figura 1). Baseado no estudo de Cornelli et al. (2014), considerou os métodos anaeróbio (microrganismos anaeróbios) e aeróbio (microrganismos aeróbios), os aspectos de operação biológica (atividade biológica resultando em remoção de matéria orgânica carbonácea, nitrificação e desnitrificação) e o nível de tratamento secundário (focado na remoção da matéria orgânica e eventualmente nutrientes como nitrogênio e fósforo).

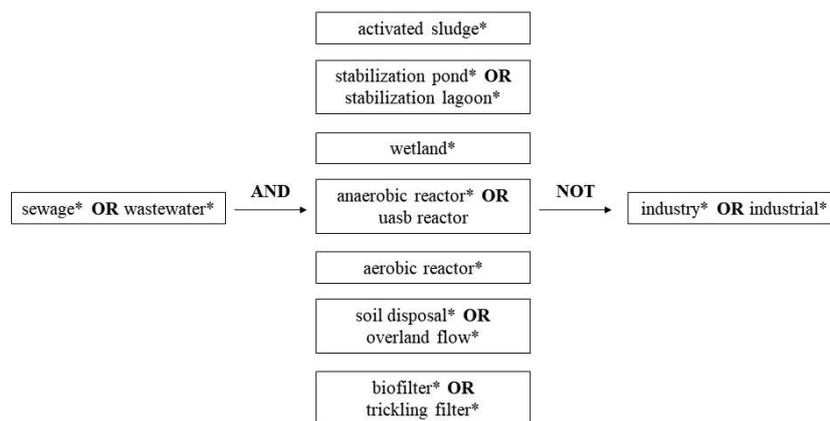


Figura 1: Método de pesquisa avançada por palavras-chave utilizando operadores booleanos.

Buscou-se associar os termos mais comuns das tipologias de tratamento, inclusive sinônimos, com o assunto abordado. Avaliou-se cada seguimento nos campos títulos, palavras-chave e resumos, excluindo ainda aqueles artigos relacionados com o tratamento de efluente industrial. Filtrou-se, também, as publicações pelo país de origem (Brasil), ano de publicação (2012 a 2021) e área de pesquisa (engenharia ambiental, ciências ambientais e recursos hídricos). Desse modo, ao final juntou-se todos os seguimentos por meio do operador booleano “OR”, a fim de eliminar eventuais repetições de documentos que pudessem acontecer.

Posteriormente, todos os dados foram organizados e expostos graficamente em colunas, relacionando o número de publicações com cada informação coletada. Permitiu-se, então, visualizar os métodos mais referenciados e uma consequente comparação com as tipologias mais instaladas no país, indicando também as vantagens e desvantagens de cada sistema.

RESULTADOS

Realizada as buscas, foram identificados 26.964 artigos (Figura 2), os quais foram filtrados de acordo com os critérios de seleção estabelecidos: o primeiro critério foi o país de origem (Brasil), resultando em 1.297 publicações; adiante, selecionou-se 803 artigos acrescentando à análise o período de 2012 a 2021; e, finalmente 667, restringindo pela área de pesquisa (Engenharia Ambiental, Ciências Ambientais e Recursos Hídricos).

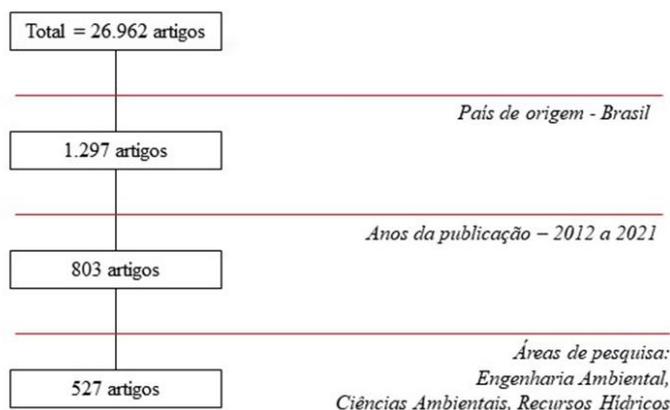


Figura 2: Processo de seleção dos artigos.

Diante dos 667 artigos, fez-se a diferenciação dos sistemas, conforme a Figura 3, verificando que o reator anaeróbio/UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanke*) foi o mais citado entre os métodos mencionados de tratamento biológico de esgoto doméstico, com 262 publicações, cerca de 39,3% do total. Na sequência, observou em ordem decrescente a tecnologia *wetlands*, seguida por lodo ativado, reator aeróbio, biofiltro, disposição no solo e, a menos referenciada, lagoas de estabilização, com apenas 30 artigos, isto é, 4,5% do conjunto.

Em concordância, Cornelli et al. (2014) em uma revisão sistemática, entre os anos de 2002 e 2012, observaram um cenário semelhante ao da Figura 3, quando identificaram em 274 artigos que o método mais discutido entre os autores foi o reator UASB, enquanto o sistema de lagoas figurou na penúltima posição.

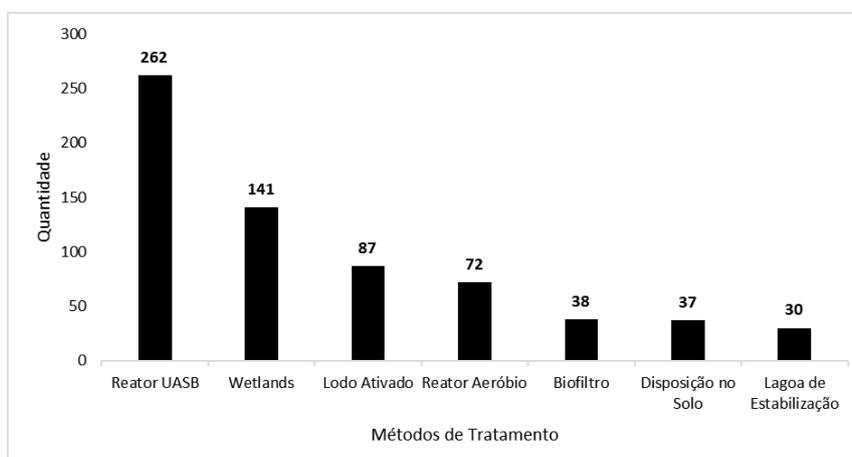


Figura 3: Ocorrência dos métodos de tratamento biológico de esgoto doméstico.

Segundo o Atlas Esgoto (ANA, 2020), a utilização de reatores anaeróbios como tratamento ou como pré-tratamento de outros processos, são os mais utilizados no país, com 1.373 unidades, informação que coincide com a sondagem da Figura 3, visto que o reator anaeróbio/UASB foi o método com maior quantidade de artigos. Contudo, apesar do sistema de lagoas não ter registrado muitas publicações, há 1.291 unidades instaladas no Brasil, correspondendo a 35,2% do total de ETEs, de acordo com a Agência Nacional de Águas (2020).

Para uma análise geral quanto aos anos de pesquisa (Figura 4), suprimiu-se 140 documentos, os quais foram contabilizados em mais de um método de tratamento, uma vez que abordavam duas ou mais tecnologias e sistemas em associação. Assim, liquidando as repetições, constatou-se, dentre 527 publicações restantes, um crescimento de 313,6% ao longo de todo o espaço amostral. Com exceção de 2013, em que se verificou o mesmo número de publicações do ano anterior, todos os anos seguintes registraram evolução. Cenário que demonstra não só o avanço quantitativo da ciência no país, mas também da área do saneamento, mais especificamente, esgotamento sanitário.

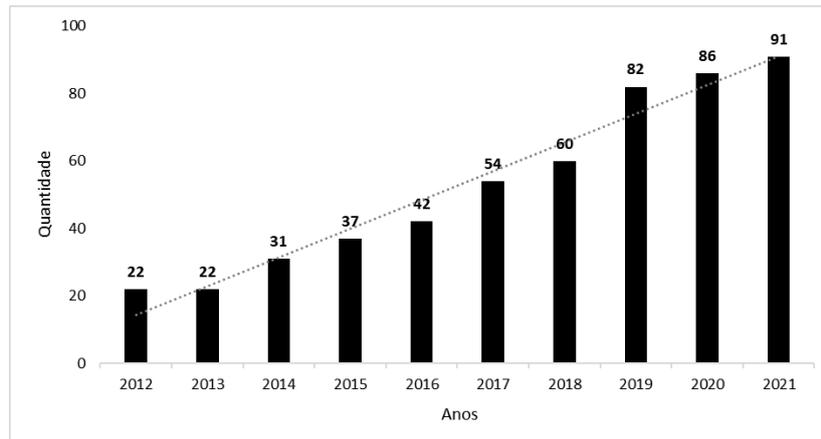


Figura 4: Número de publicações no período de 2012 a 2021.

Avaliando a conjuntura do período, salienta-se que em 2012, primeiro ano do estudo e com menor quantidade de publicações (Figura 4), aconteceu a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (CNUDS), a Rio+20. Evento, em que abordou dois temas: economia verde; e a estrutura institucional para a promoção do desenvolvimento sustentável.

De outra parte, em 2021, último ano estudado, já estava em vigor a Lei nº 14.026, sancionada em 15 de julho de 2020, que tem como principal finalidade o estabelecimento de diretrizes nacionais para o saneamento básico (BRASIL, 2020). Assim, frente as mudanças que alteraram dispositivos fundamentais de sete leis que regulavam o setor no país, 2021 foi um momento de transição e, por conseguinte, seu balanço cienciométrico é capaz de prever as tendências de publicação e o progresso da área após uma década da Rio+20. Não obstante, foi o ano que registrou a maior quantidade de artigos (Figura 4).

Tratando-se dos autores, aproximadamente 24% das publicações analisadas foram escritas por 6 pesquisadores (Figura 5). Marcos Von Sperling e Carlos Augusto de Lemos Chernicharo se sobressaíram entre os demais, com 26 e 25 obras, respectivamente. Ambos são professores do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (DESA - UFMG), com experiência em tratamento de esgotos e 84 publicações em colaboração, em diferentes temas.

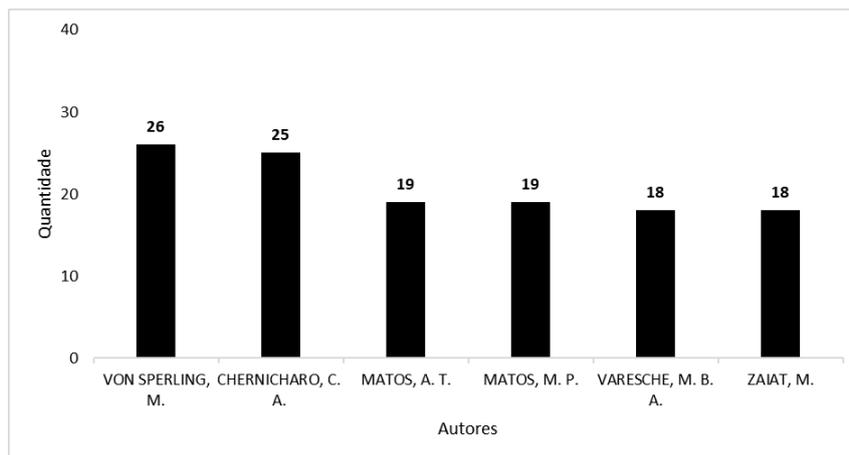


Figura 5: Quantidade de publicações realizadas pelos principais autores.

A respeito das instituições de filiação dos autores (Figura 6), todas as regiões geográficas brasileiras foram representadas, todavia entre as 5 primeiras prevaleceu as entidades localizadas no Sul e Sudeste. Somente nessas afiliações, centralizou-se mais de 60% das publicações relacionadas à área estudada, destacando que todas elas são públicas e, portanto, mantidas pelo governo federal ou governos estaduais.

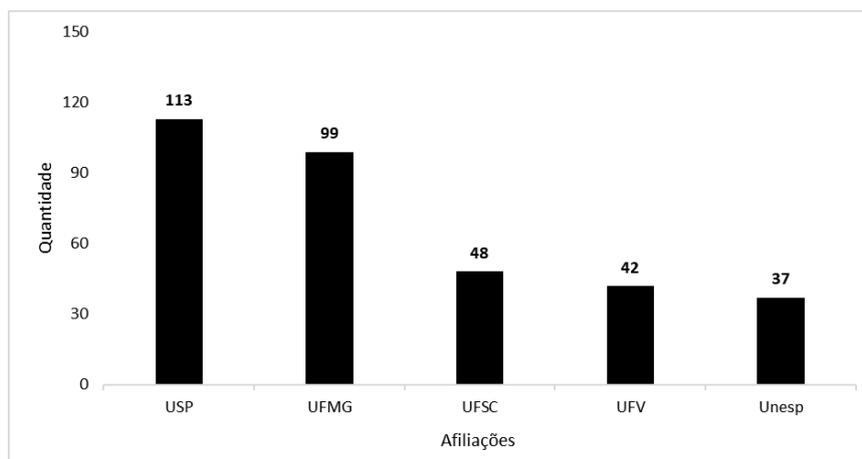


Figura 6: Número de artigos pelas principais instituições de filiação dos autores.

Nota-se a partir da Figura 6, que a Universidade de São Paulo (USP) despontou com 113 publicações, seguida pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade Federal de Viçosa (UFV) e a Universidade Estadual Paulista (Unesp). Não por acaso, com base nos resultados do Times Higher Education Latin America University Rankings de 2022, todas elas estão entre as 20 melhores universidades da América Latina, analisando ensino, pesquisa, impacto de citação, participação internacional e receita da indústria (THE, 2022).

Perante esse painel das publicações, destaca-se que, de maneira geral, nos processos anaeróbios de tratamento de efluentes emprega-se microrganismos que degradam a matéria orgânica na ausência de oxigênio molecular, tendo como resultado a produção de metano, dióxido de carbono e gás sulfídrico, o qual mesmo em pequenas concentrações gera mau odor e provoca corrosão das instalações. De outro modo, no tratamento biológico aeróbio, os microrganismos degradam as substâncias orgânicas mediante processos oxidativos, com a utilização de oxigênio, todavia a produção de lodo é mais elevada do que a decorrente de processos anaeróbios (DOS SANTOS, 2007; MARCONDES, 2012).

Vale destacar que todos os métodos apresentam vantagens e desvantagens e a seleção do melhor depende de vários fatores, como: clima e variações de temperatura da região; condições específicas do local; disponibilidade de área; características do corpo receptor, disponibilidade e grau de instrução da equipe operacional responsável pelo sistema; custos operacionais com energia elétrica; volumes diários a serem tratados e variações horárias e sazonais da vazão de esgotos (RAMOS, 2004).

No Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Águas (2020), os estados de São Paulo, Goiás e grande parte do Nordeste são os que mais utilizam sistemas de lagoas, enquanto os estados de Minas Gerais e do Paraná possuem grande número de sistemas com reatores anaeróbios. Os lodos ativados, por sua vez, têm se concentrado nas áreas urbanas mais adensadas, como as regiões metropolitanas de Porto Alegre, Florianópolis, São Paulo, Rio de Janeiro e Vitória.

CONCLUSÕES

O conhecimento do cenário científico e a identificação de temas emergentes são fundamentais para a geração de dados que deem suporte às políticas e gestões públicas no país em prol do desenvolvimento social (DE CAMARGO e BARBOSA, 2019). Dessa forma, este estudo apurou, entre 26.962 produções, 527 artigos que refletem o cenário dos sistemas de tratamento biológico de esgoto doméstico no Brasil entre os anos de 2012 e 2021.

Desse modo, ficou evidente que as publicações aumentaram gradualmente ao longo do tempo, especialmente 2021, ano com maior quantidade de artigos. Além disso, destacou-se que as universidades públicas sobressaíram entre as demais afiliações dos autores, sendo responsáveis pelo fomento de atividades de ensino, pesquisa e extensão. De outra parte, quanto aos pesquisadores, os últimos 10 anos consagraram nomes conhecidos da comunidade científica, tratando-se de esgotamento sanitário, como Von Sperling e Chernicharo.

Por fim, contatou-se que os métodos mais discutidos foram o reator UASB, wetlands e lodos ativados, enquanto o número de sistemas instalados, evidenciou uma tendência à utilização das lagoas de estabilização e, sobretudo, de reatores anaeróbios, normalmente seguidos de um processo complementar para atender às exigências da legislação e à qualidade dos corpos receptores. Tudo isso, sob a investigação das vantagens e desvantagens de cada sistema, que demonstrou que o melhor método é aquele que mais se adapta a realidade social, econômica e ambiental do local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Atlas esgotos: atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil. Brasília, 2020. 44 p.
2. BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências. Diário Oficial da União 2020; 16 jul.
3. CORNELLI, R. ; AMARAL, F. G. ; DANILEVICZ, A. M. F. ; GUIMARAES, L. B. M. . Métodos de Tratamento de Esgotos Domésticos: Uma Revisão Sistemática. Revista de Estudos Ambientais (Online) , v. 16, p. 20-36, 2014.
4. DE CAMARGO, LORENA STEPHANIE; BARBOSA, RICARDO RODRIGUES. Bibliometria, cienciometria e um possível caminho para a construção de indicadores e mapas de produção científica. Ponto de Acesso (UFBA) , v. 12, p. 109-125, 2019.
5. DOS SANTOS, ANDRÉ BEZERRA. Avaliação técnica de sistemas de tratamento de esgotos. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2007. 206 p.
6. MARCONDES, J. G. Tratamento de efluentes. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA, SP. 2012.
7. NORONHA, D. P.; POBLACIÓN, D. A.; SANTOS, C. B. Produção científica: análise cienciométrica das comunicações apresentadas nos SNBUs 1978-1998. In: XI Seminário Nacional de Bibliotecas Universitárias, 2000, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis: UFSC-BU, 2000. p. 112.
8. RAMOS, A. G. Sistemas de gestão ambiental em estações de tratamento de esgoto. O caso da ETE Remédios (Salesópolis -SP). Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos: UFSCar, 2004. 133 p.
9. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. Ministério do Desenvolvimento Regional. Painel Esgotamento Sanitário. Brasília - DF, 2022. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-esgotamento-sanitario>>. Acesso em: 10 jun. 2022.
10. SPINAK, E. Indicadores cienciométricos. Ciência da Informação, Brasília, DF, v. 27, n. 2, p. 141-148.1998.
11. TIMES HIGHER EDUCATION - THE. Best universities in Latin America: Explore the best universities in Latin America from data collected by Times Higher Education's World University Rankings. 2022. Disponível em: <<https://www.timeshighereducation.com/student/best-universities/best-universities-latin-america>>. Acesso em: 17 jul. 2022.
12. VON SPERLING, MARCOS. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. - Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 472 p.: il. – (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v. 1).