

Revisão sistemática de literatura sobre a tratabilidade e avaliação do potencial de reúso da água residuária proveniente da autoclavação de resíduos de serviços de saúde

Os resíduos de serviços de saúde (RSS) devem ser tratados antes do seu destino final devido às características de periculosidade que apresentam. A autoclavação é um exemplo de tecnologia que utiliza a esterilização a vapor para tratar estes RSS, garantindo que, posteriormente, esses possam ser destinados ao aterro sanitário classe II para disposição final no mesmo local que os resíduos sólidos urbanos (RSU). A geração de água residuária durante o processo de autoclavação é inevitável, sendo essa uma razão para o estudo de alternativas que sejam capazes de tratar os efluentes gerados neste processo. Neste cenário, um dos objetivos desta revisão sistemática da literatura (RSL), é responder se a água residuária proveniente da autoclavação dos RSS é passível de tratamento para posterior reúso. Além disso, também busca investigar a característica dos RSS e do processo de autoclavação. Dessa forma, quatro plataformas foram consideradas para a busca de artigos científicos que contribuíram para o tema desta RSL, sendo: Google Acadêmico, CAPES, PubMed e ScieELO. Foram selecionados 19 trabalhos que abrangem o período dos últimos 20 anos. Estes foram sustentados pela metodologia de PRISMA, a qual levou em consideração três linhas de pesquisas: resíduos de saúde (LE1); tecnologia de autoclavação que trata os RSS (LE2) e água residuária e reúso (LE3). Por meio desta RSL, foi possível constatar a deficiência na quantidade de artigos encontrados que falam sobre o tema, conduzindo para a idealização de um campo promissor voltado para a tratabilidade deste efluente para reúso. Apesar disso, foi possível atestar que a falta de gestão nos estabelecimentos geradores é um problema evidente em vários municípios brasileiros, e que esta ineficiência pode interferir a eficácia do tratamento por autoclavação e até a possibilidade de reúso do efluente.

Palavras-chave: Tratamento em autoclave; Tratamento efluente de saúde; Resíduos saúde e autoclavagem; Resíduos sólidos de serviços de saúde; Água residuária reúso.

Systematic literature review on the treatability and evaluation of the reuse potential of wastewater from the autoclaving of healthcare waste

Health services waste (RSS) must be treated before its destination due to its hazardous characteristics. Autoclaving is an example of technology that uses steam sterilization to treat these RSS, ensuring that, later, they can be sent to a class II landfill for final disposal in the same place as urban solid waste (USW). The generation of wastewater during the autoclaving process is inevitable, which is a reason to study alternatives that can treat the effluents generated in this process. In this scenario, one of the objectives of this systematic literature review (RSL) is to answer whether the wastewater from the autoclaving of the RSS can be treated for subsequent reuse. In addition, it also seeks to investigate the characteristics of RSS and the autoclaving process. Thus, four platforms were considered for the search of scientific articles that contributed to the theme of this RSL, namely: Academic Google, CAPES, PubMed and ScieELO. Nineteen works were selected covering the period of the last 20 years. These were supported by the PRISMA methodology, which considered three lines of research: health waste (LE1); autoclaving technology that treats RSS (LE2) and wastewater and reuse (LE3). Through this RSL, it was possible to verify the deficiency in the number of articles found that talk about the topic, leading to the idealization of a promising field aimed at the treatability of this effluent for reuse. Despite this, it was possible to attest that the lack of management in generating establishments is an evident problem in several Brazilian municipalities, and that this inefficiency can interfere with the effectiveness of the treatment by autoclaving and even the possibility of reusing the effluent.

Keywords: Autoclave treatment; Effluent health treatment; Health waste and autoclaving; Solid waste from health services; Wastewater reused.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **04/08/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Approved: **27/08/2021**

Camila Flávia Pereira Silva 
Instituto Federal de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6012073689798633>
<http://orcid.org/0000-0001-8905-2277>
camila fla@gmail.com

Hygor Aristides Victor Rossoni 
Universidade Federal de Florestal, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5963315112031411>
<http://orcid.org/0000-0002-6088-6144>
rossoni@ufv.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0033

Referencing this:

SILVA, C. F. P.; ROSSONI, H. A. V.. Revisão sistemática de literatura sobre a tratabilidade e avaliação do potencial de reúso da água residuária proveniente da autoclavação de resíduos de serviços de saúde. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.8, p.387-398, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0033>

INTRODUÇÃO

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em sua Resolução nº 358/2005 (BRASIL, 2005), e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) em sua Resolução nº 222 de 2018 (BRASIL, 2018) estabelecem que os resíduos dos serviços de saúde necessitam de tratamento antes da disposição final, com exceção ao subgrupo A4 que, por não apresentar relevância epidemiológica, pode ser disposto em local licenciado sem o tratamento prévio. Mol et al. (2017) abordam em seus estudos que, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), cerca de 85% dos resíduos gerados em atividades de saúde possuem semelhança com os resíduos domiciliares (Grupo D) e, os 15% restantes apresentam algum tipo de periculosidade. Ou seja, estes resíduos que apresentam uma maior porcentagem referem-se aos do subgrupo A4.

Uma das formas utilizadas para o tratamento desses resíduos é por meio da autoclave. Segundo Capoor et al. (2017), esse equipamento é conhecido por sua capacidade de resistir a repetidos processos que envolvem a liberação de pressão de vapor em alta temperatura e por tratar toneladas de resíduos sólidos de serviços de saúde por dia. Como o tratamento necessita de água em sua operação, também são gerados milhares de litros de águas residuárias diariamente (YAP et al., 2013).

Conforme o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), em sua Resolução nº 54 de 2005 (BRASIL, 2005), o termo água residuária é definido como qualquer tipo de esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não.

Souza et al. (2016), descrevem que grande parte da água potável consumida no mundo é utilizada para fins não potáveis, conduzindo à necessidade de criar estratégias para reutilizar as águas residuárias em atividades menos nobres como descarga de vaso sanitário, lavagem de pisos ou até mesmo em irrigação de parques e jardins. Quando os padrões e critérios para reúso são atendidos, baseando nas legislações vigentes, a possibilidade de reúso dessa água se torna possível (MORAIS et al., 2019). Nesse caso, a água residuária é definida como água de reúso (BRASIL, 2005). Nesse contexto, os resíduos de serviços de saúde por serem considerados perigosos por seu grau de periculosidade, seus efluentes também necessitam de atenção visto que apresentam uma considerável concentração de contaminantes, devendo ser tratados antes do seu descarte final (AREND et al., 2013). Muitas vezes, a concentração de contaminantes remanescente no efluente após o seu tratamento, é considerado uma das principais preocupações dos estabelecimentos geradores, visto que a possibilidade de reúso da água residuária tratada dependerá diretamente do nível de tratabilidade atingido (MIERZWA, 2002).

O sistema de lodos ativados, por exemplo, é visto como uma tecnologia eficiente no tratamento da água residuária provenientes do esgoto doméstico e industriais. O reator biológico presente neste tipo de tratamento é responsável pela remoção da matéria orgânica podendo também, em algumas condições específicas, remover matéria nitrogenada. Inclusive, o clima tropical do Brasil, é considerado uma vantagem nesse tipo de tratamento por favorecer uma maior atividade microbológica no reator (KLAUS, 2012).

Estabelecimentos que possuam atividades que envolva a geração de efluentes domésticos e

industriais por exemplo, se faz necessário conhecer bem as características de cada água residuária para, somente depois, definir quais os parâmetros que serão necessários avaliar, a fim de controlar e garantir a tratabilidade do sistema (SANDRI et al., 2006). Não há um melhor modelo de tratamento para promover o reúso de águas residuária. O ideal é desenvolver um planejamento e operação bem estruturados com o objetivo de sempre garantir a manutenção da salubridade e da proteção do trabalhador ou manipulador deste efluente (CUNHA et al., 2011).

Neste contexto, o presente trabalho busca investigar, por meio da revisão sistemática de literatura, a característica dos resíduos de serviços de saúde e da autoclavação, bem como responder se a água residuária proveniente do tratamento em autoclave dos RSS, é passível de tratamento para posterior reúso, mesmo que em atividades menos nobres.

MATERIAIS E MÉTODOS

A coleta de dados para a presente revisão sistemática, foi realizada a partir do levantamento de estudos em publicações na literatura acadêmica, relacionadas ao tema “efluentes gerados do tratamento por autoclavação de resíduos de serviços de saúde”. O critério adotado para a escolha foi estar associado ao tema nos idiomas português e inglês. Devido à dificuldade em encontrar referências bibliográficas específicas a respeito do tema e observando que algumas das publicações encontradas, possuíam mais de dez anos, foi definido um intervalo temporal que abrange o período dos últimos 20 anos.

Como sustentação para o trabalho, foi adotado a metodologia de Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que busca a compilação de produtos acadêmicos, elaborados por uma variedade de pesquisadores, em situações e locais diversos, possibilitando a compreensão das evidências científicas presentes na área (MUÑOZ et al., 2002). Neste contexto, foram definidas cinco palavras-chave em português e as respectivas palavras na língua inglesa para dar início à busca (Tabela 1).

Tabela 1: Resumo das palavras-chave escolhidas.

Nº	Palavras-Chave	
	Português	Inglês
1	“resíduos sólidos de serviços de saúde”	“solid waste from health services”
2	“resíduos de saúde e autoclavagem”	“health waste and autoclaving”
3	“tratamento em autoclave”	“autoclave treatment”
4	“tratamento efluente de saúde”	“effluent health treatment”
5	“água residuária reúso”	“wastewater reused”

Os conectores de busca obedeceram ao seguinte critério: foi considerado a união de uma palavra a outra para dar sentido e resultar na similaridade com a proposta nesta pesquisa. Por exemplo: “resíduos de serviços de saúde” foi considerada como uma única palavra chave pois, a opção em usar apenas a palavra “resíduos” ou “saúde” resultou em uma quantidade excessiva de artigos que, por esse motivo, dificultaria a seleção de pesquisas que pudessem apresentar maior referência ao trabalho.

Devido à quantidade de artigos científicos encontrados nesta seleção inicial, optou-se por utilizar a

recomendação de PRISMA (Systematic Reviews and meta-analyses of studies¹) proposta por Galvão et al. (2015).

Também foi considerado um guia intitulado como Teste de Relevância (TR) para realizar uma seleção de artigos, baseando-se nas palavras-chave. Segundo Munhoz et al. (2002), o TR é um instrumento que auxilia no direcionamento para inclusão e exclusão de artigos, devendo seguir as seguintes recomendações:

No Teste de Relevância devem ser definidos critérios de inclusão tais como: data de realização da pesquisa, tipo de estudo, apresentação de resultados originais, exposição ou intervenção, definição específica dos participantes da pesquisa, dentre outros (HEDGES, 1994). Também, devem ser definidos critérios de exclusão, tais como: ambiguidade dos resultados, apresentação insuficiente de resultados, dentre outros. (MUNHOZ et al., 2002)

O critério utilizado para a inclusão e exclusão dos artigos permanentes foram fundamentadas no Teste de Relevância (TR). As inclusões consideradas no TR foram baseadas em 03 Linhas de Estudo (LE) distintas que apresentaram os conteúdos conforme tabela 2.

Tabela 2: Tabela por assunto das Linhas de Estudo (LE).

Linhas de Estudos	
LE 1	Assuntos correlatos a caracterização e segregação de resíduos de saúde
LE 2	Assuntos correlatos às tecnologias de tratamento de resíduos de saúde
LE 3	Assuntos correlatos a tratabilidade e reúso de águas residuárias

Foram utilizadas 4 plataformas de pesquisa para a coleta dos dados: Google Acadêmico, com amplo número de produções científicas, a biblioteca virtual do Portal de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a plataforma PubMed e a Biblioteca Eletrônica Científica Online ScieELO².

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a coleta de dados nas plataformas e, conforme demonstrado na tabela 3, foram encontrados um total de 76.974 resultados, levantados durante o período de dezembro de 2019 a fevereiro de 2021.

Tabela 3: Tabela resumo das pesquisas de trabalhos acadêmicos

Pesquisas de trabalhos acadêmicos durante os últimos 20 anos	
Total por Plataforma	
Google Acadêmico	75.779
CAPES	1.105
PubMed	86
SciELO	04
Total geral de trabalhos encontrados a partir das palavras-chave	76.974

A figura 1 demonstra o fluxograma de PRISMA proposto por Galvão et al. (2015), o qual proporcionou à esta revisão sistemática, um melhor direcionamento na seleção dos trabalhos encontrados de acordo com as palavras-chave identificadas.

Durante a análise quantitativa, 86,5% dos estudos foram eliminados por apresentarem informações muito abrangentes e não terem relação específica com o tema, reduzindo para 13,5% a quantidade a ser rastreada.

¹ Tradução em português: Revisões sistemáticas e meta-análises de estudos.

² Disponíveis em sites eletrônicos: <https://scholar.google.com.br/>; <https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/index.php?>; <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>.

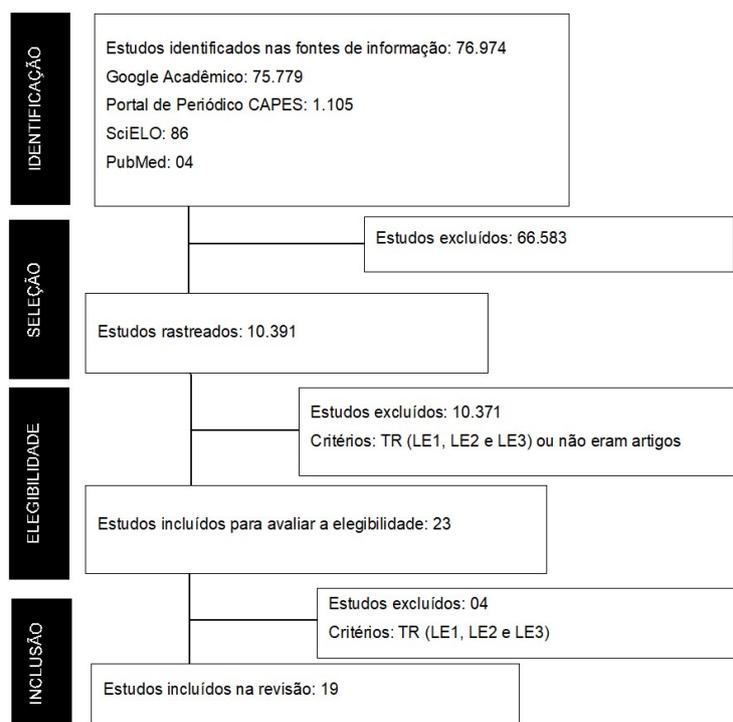


Figura 1: Fluxograma de PRISMA com informações das diferentes etapas da revisão sistemática.

Após a primeira verificação com base no TR, foi apresentada uma exclusão de 99,7% dos artigos por não se enquadravam nesses conteúdos, permanecendo então 23 estudos que seriam incluídos para avaliar sua elegibilidade.

Mediante o resultado, após nova verificação com base no TR, foram excluídos 4 artigos, permanecendo 19. Esses, conforme demonstrado no Quadro 1, foram selecionados para integrar o processo de estudo aprofundado e detalhado que contribuiu na construção do conhecimento multidisciplinar para compor esta revisão sistemática.

Quadro 1: Artigos resultantes da procura por artigos relacionados ao tema por meio da revisão sistemática.

LINHA DE ESTUDO	NOME	AUTOR (ES)/ANO	PERIÓDICO DE PUBLICAÇÃO	CLASSIFICADO NO QUALIS/CAPES	Nº DE CITAÇÕES
LE1	Safe Management of Wastes from Health Care Activities	CHARTIER et al. 2014	World Health Organization, 2nd ed.	A1**	461
LE1	Avaliação do gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde em municípios da região metropolitana de Belo Horizonte (Brasil)	SILVA et al. 2014	Engenharia Sanitária e Ambiental, v.19, n.3	A2*	24
LE1	Destinação de resíduos de serviços de saúde do subgrupo A4: política baseada em evidência ou em intuição?	MOL et al. 2017	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES	A2*	02
LE1	Profile of highly infected wastes generated by hospitals: A case in Belo Horizonte, Brazil	COSTA et al. 2019	Sage Journals - Waste Management & Research 1–8	A2*	01
LE1	Gestão Integrada e Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde na UGRHI-PP	FERREIRA 2014	Revista Geográfica Acadêmica, v.8, n.1, p.81-93	B4*	08
LE1	Management of Waste from the Health-Care Sector. In: Health Care and Environmental Contamination	WOLFF 2018	Elsevier, pp.167–197	C*	02
LE2	Application countermeasures of non-incineration technologies for medical waste treatment in China	CHEN et al. 2013	Sage Journals - Waste Management & Research 0(0) 1–8	A2*	23
LE2	Conventional and alternative technologies for the treatment of infectious waste	SALKIN 2003	Journal of Material Cycles and Waste Management	B1*	31

LE2	Integrity of bacterial genomic DNA after autoclaving: possible implications for horizontal gene transfer and clinical waste management	YAP et al. 2013	Journal of Hospital Infection 83	B1**	11
LE2	Eficácia da descontaminação de resíduos biológicos infectantes de laboratórios de microbiologia após tratamento térmico por autoclavagem	GALVÃO et al. 2013	Engenharia Sanitária e Ambiental, v.18, n.4, p.323-331	A2*	04
LE3	Estudo de um Sistema Compacto de Tratamento de Efluentes Sanitários do Tipo Lodos Ativados	KLAUS 2012	Enciclopédia biosfera, v.7, n.13, p.1225-1248	-	01
LE3	O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país	CUNHA et al. 2011	Enciclopédia biosfera, v.7, n.13, p.1225-1248	B3*	39
LE3	Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil	MORAIS et al. 2019	Revista DAE, Núm. 215, vol. 67, janeiro a março de 2019	B2*	08
LE3	Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil	MOURA et al. 2020	Engenharia Sanitária e Ambiental vol.25 no.6 Rio de Janeiro Nov./Dec. 2020	A2*	01
LE3	Reúso de água na lavagem de veículos	MORELLI 2005	Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.	-	46
LE3	Reúso de água em indústria de reciclagem de plástico tipo PEAD	BORDONALLI et al. 2009	Engenharia Sanitária e Ambiental v.14 n.2 abr/jun 2009 235-244	A2*	17
LE3	Teores de nutrientes na alfaca irrigada com água residuária aplicada por sistemas de irrigação	SADRI et al. 2006	Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.26, n.1, p.45-57, jan./abr. 2006	B1	34
LE3	Água potável, água residuária e saneamento no Brasil e na Holanda no âmbito do Programa de Visitação Holandês – DVP: Dutch Visitors Programme	SOUZA et al. 2016	Engenharia Sanitária e Ambiental, v.21 n.2	A2*	09
LE 3	Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos	HESPANHOL 2002	Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 7 n.4 Out/Dez 2002, 75-95	A2*	469

*Área de avaliação Qualis/Capes: Ciências ambientais.

**Área de avaliação Qualis/Capes: Interdisciplinar

Linha de Estudo 1 - Caracterização e segregação de resíduos de saúde

É sabido que os RSS são gerados por meio do consumo de atendimentos médicos, odontológicos, laboratoriais, de acupuntura, estética, tatuagens, entre outros (FERREIRA, 2014). Costa et al. (2019) descrevem sobre a classificação destes resíduos, segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), por meio da Resolução da Diretoria Colegiada - RDC ANVISA nº 222/2018, citando os grupos: A (risco biológico); B (químicos); C (radioativos); D (comuns/domésticos) e E (perfurocortantes). Conforme RDC ANVISA nº 222/2018 os resíduos do subgrupo a A1, A4 e E podem ser tratados por meio da autoclavagem, visto que a tecnologia atende à exigência da legislação que determina a capacidade de redução da carga microbiana a 4Log10. Nesse contexto, a autoclave das empresas de tratamento de resíduos de saúde é um equipamento compatível com a exigência normativa por garantir esta inativação.

A partir dos dados da Organização Mundial de Saúde (OMS), Mol et al. (2017) declaram que 85% dos resíduos, representados pelo subgrupo A4, são destinados para tratamento antes da disposição final por não possuir uma segregação correta, acarretando então, em uma gestão ineficiente e comprometedora. Wolff (2018) relata de uma forma geral, sobre a fragilidade que os sistemas de gestão dos RSS possuem, tornando necessário a implantação e/ou aperfeiçoamento de uma administração mais eficiente

Nos estudos de Silva et al. (2014), é realizada uma avaliação deste gerenciamento nos municípios da região metropolitana de Belo Horizonte, na qual o município de Betim é contemplado.

Alguns estabelecimentos de saúde foram selecionados para participar do levantamento que envolve a observação de como é executada a gestão dos RSS, desde a coleta até a destinação final. Durante o levantamento foi possível identificar várias irregularidades nos abrigos que armazenam esse tipo de resíduo. A precariedade de estrutura física para armazená-los até o momento da coleta, ou até mesmo a ausência deste local, é uma das situações que agravam o risco por permitir que catadores e/ou transeuntes tenham acesso a esses resíduos (SILVA et al., 2014).

Fica evidente que que as empresas que tratam os RSS por autoclavação podem ser diretamente impactadas por esta problemática apresentada pelos autores da LE1. Entretanto, a fim de mitigar que tal situação impacte negativamente a operação de tratamento por autoclavação, algumas exigências e controles são considerados para uma gestão mais eficiente durante o recebimento dos resíduos de serviços de saúde. Uma dessas exigências está descrita na Lei 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a qual determina que o estabelecimento gerador de resíduos perigosos deve, além de implementar o Plano de Gerenciamento de Resíduos (PGR), deve também, acompanhar cada etapa que envolve o mesmo (BRASIL, 2010). Dessa forma é possível que cada estabelecimento garanta uma gestão efetiva e apropriada dos resíduos que são encaminhados para o tratamento, evitando desvios e possíveis interferências na eficácia do tratamento.

Nesse cenário, cada estabelecimento gerador consegue distinguir os tipos de resíduos gerados e qual a tecnologia de tratamento será eficiente para cada resíduo (CHARTIER et al., 2014) tornando possível que as empresas responsáveis pela autoclavação dos RSS, atuem em conjunto e conheça as particularidades de cada empreendimento (COSTA et al., 2019).

Linha de Estudo 2 - Tecnologias de tratamento de resíduos de saúde

No momento em que os estabelecimentos geradores de resíduos de serviços de saúde, definem a tipologia dos RSS gerados, baseando-se nas legislações aplicáveis, a possibilidade de impactos negativos à saúde e ao meio ambiente é minimizada e/ou eliminada, evitando prejuízos inclusive, para o processo de tratamento (GALVÃO et al., 2013).

Salkin (2003) relata que dentre as tecnologias disponíveis para o tratamento dos RSS, a incineração era o método mais conhecido e usado mundialmente por fornecer um resultado final onde convertia os resíduos em cinzas e gases residuais. Entretanto, com os novos padrões de controles para emissão de poluentes na atmosfera, o aumento do custo operacional para a incineração passou a não ser tão vantajoso, fazendo com que as empresas buscassem novas alternativas de tratamento, como a autoclavação.

Dessa forma, quando a tecnologia de autoclavação for escolhida, devido a mesma apresentar restrições quanto ao tratamento de alguns tipos de resíduos, fica evidente a importância da segregação correta dos RSS. Por esse motivo, para o tratamento ser efetivo, se faz necessário a adoção de medidas de

controle operacional para se garantir a eficiência do tratamento (CHEN et al., 2013; GALVÃO et al., 2013). A ausência de um processo de autoclavação eficaz, pode, inclusive, tornar-se um potencial risco para futuras transformações genéticas em aterros sanitários³(YAP et al., 2013).

Nesse cenário, o método de esterilização a vapor por meio da autoclavação, utilizado pelas empresas que tratam os RSS, atuam na eliminação de micro-organismos impedindo que cresçam e se reproduzam, mesmo estando em estado de latência. O tratamento por autoclavação é revelado por meio da morte microbiana até que a probabilidade do agente contaminante seja menor ou igual a que 4Log_{10} , ou seja, que a esterilização alcance a redução de nível III da carga microbiana⁴. Segundo Galvão et al. (2013) esta redução está diretamente relacionada à temperatura e ao tempo de contato com os resíduos durante o tratamento que, posteriormente, podem ser destinados para um aterro sanitário para serem dispostos no mesmo local que os resíduos comuns.

É conhecido que a autoclavação necessita de água em seu tratamento e, como consequência, ocorre a geração de água residuária ao final do processo. Neste sentido, Chartier et al. (2014) consideram importante que os estabelecimentos de saúde disponham de tecnologia capaz de garantir o tratamento desta água residuária.

Linha de Estudo 3 - Tratabilidade e reúso de águas residuárias

Segundo Klaus (2012), um exemplo de tratamento de efluente que utiliza o processo de lodos ativados, são formados, basicamente, por tanque aerador, decantador secundário e bomba para promover a recirculação do lodo. Este tipo de tratamento é considerado um dos métodos mais eficientes para remoção de matéria orgânica, podendo, inclusive, segundo Morelli (2005) reutilizar este efluente tratado para uso em atividades que demandam menos restrição, como na lavagem de ruas e veículos.

Nesse cenário, uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) que contempla o reúso em lavagem de piso, pátio, logradouros e de veículos, deve considerar os seguintes parâmetros para a avaliação da qualidade da água residuária: cloro residual total, Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), sólidos em suspensão total, coliformes fecais, turbidez, pH, ovos de helmintos, estreptococos fecais e óleos e graxas (MORELLI, 2005).

A tecnologia para tratamento de efluentes deve ser capaz de reduzir e/ou eliminar impactos ambientais por meio de práticas de reúso, reciclagem e uso consciente (CUNHA et al., 2011). Um exemplo são estabelecimentos que realizam a lavagens de embalagens plásticas para reúso no processo de reciclagem de plástico tipo PEAD. Bordonalli et al. (2009) mencionam que, para a comprovação do desempenho da estação de tratamento desse caso, os parâmetros a serem analisados são: pH, turbidez, DBO, óleo e graxas e sólidos em suspensão total. Contudo os autores não fazem menção de qual legislação se referem para a

³ Aterro Sanitário: local onde se realiza a disposição final dos RSS após o tratamento.

⁴ Nível III de inativação microbiana: processo físico ou outros processos para a redução ou eliminação da carga microbiana, tendo como resultado a inativação de bactérias vegetativas, fungos, vírus lipofílicos e hidrofílicos, parasitas e microbactérias com redução igual ou maior que 6Log_{10} , e inativação de esporos do *B. stearothermophilus* ou de esporos do *B. subtilis* com redução igual ou maior que 4Log_{10} (BRASIL, 2018).

análise dos resultados da ETE.

Os parâmetros citados por Morelli (2005) e Bordonalli et al. (2009), com exceção de helmintos e estreptococos fecais, contemplam alguns dos atuais parâmetros definidos pelas empresas de tratamento de RSS por autoclavagem, ficando evidente que a escolha das análises físico-química e microbiológica da água residuária, está de acordo com o preconizado pela literatura

A prática pelo reúso de efluente de origem sanitária ou industrial, torna-se importante para minimizar o uso abusivo de mananciais e a redução no consumo de água potável, sendo essa, substituída por uma água de característica inferior (MORAIS et al., 2019). Nesse contexto, quando se tem a intenção de praticar o reúso, Sandri et al. (2006) relatam que, pensando em um mesmo estabelecimento que produza efluentes com características distintas, ou seja, originadas de diferentes atividades como laboratórios, esgoto sanitário, cozinha, água de lavagem de oficina mecânica), torna-se necessário conhecer bem as especificidades de cada setor, levantando previamente os riscos associados ao tratamento e às características que estes efluentes apresentam para uma definição específica dos parâmetros. Esta avaliação é indispensável para garantir a tratabilidade do sistema de tratamento.

Segundo Cunha et al. (2011), não há um melhor modelo a ser seguido para promover o reúso, o ideal para esta prática, está diretamente relacionada à proteção da saúde pública e do meio ambiente, os quais são garantidos por meio de um planejamento e de uma implantação e operação bem estruturados.

Conforme Hespanhol (2002), o Brasil é um país que necessita se institucionalizar de forma que garanta a preservação ambiental, a viabilidade econômica e a aceitação social e segura quanto ao reúso de suas águas. É fundamental desenvolver uma legislação a nível federal que seja a base orientadora para estados e municípios, padronizando os parâmetros para o reúso de água, respeitando a singularidade de cada local (MORAIS et al., 2019).

Moura et al. (2020) destaca que no Brasil a única norma de abrangência nacional que classifica a água residuária quanto às possibilidades de reúso e aproveitamento é a NBR ABNT 13.969/1997 (ABNT, 1997). A norma estabelece projetos de construção e operação de unidades de tratamento e disposição final de efluentes líquidos para futuro reúso.

Conforme pode demonstrado na Tabela 3⁵, a norma ainda define alguns parâmetros para o controle do grau de tratamento necessário para reúso do esgoto tratado.

Tabela 3: Classificação para o controle do grau de tratamento para o reúso.

CLASSIFICAÇÃO	PARÂMETROS
Classe 1 ⁶	Turbidez < 5 Coliforme fecal < a 200 NMP/100 mL Sólidos dissolvidos totais < a 200 mg/L pH entre 6,0 e 8,0 Cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L

Fonte: ABNT (1997).

⁵ Na ausência de legislação ou normativa específica para reúso de efluentes industriais, buscou-se considerar os dispositivos legais referentes aos critérios e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de estações de tratamento de esgotos sanitários.

⁶ Classe I: Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes.

No âmbito estadual, a legislação que estabelece modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE), seja de sistemas públicos e/ou privados, é a DN CERH-MG 65/2020 elaborada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2020).

Considerando as modalidades de usos urbanos e industriais, a DN CERH-MG 65/2020 (MINAS GERAIS, 2020) também define alguns parâmetros para controle da qualidade da água de reúso, os quais são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Modalidades para o controle da qualidade da água de reúso.

MODALIDADES	PARÂMETROS
Modalidade “urbano” (Categoria amplo ⁷ ou limitado ⁸)	pH, coliformes termotolerantes ou E. coli (NMP/100 mL) e, Ovos viáveis de helmintos (nº de ovos/L).
Modalidade industrial	Estabelece que o padrão de qualidade é definido pelo próprio empreendedor e que esse deve seguir todos os requisitos de qualidade e segurança do trabalho.

Fonte: MINAS GERAIS, Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais nº 65, 2020.

Além do reúso, uma outra alternativa para a gestão dos efluentes urbanos e industriais, é o lançamento em corpos d’água. A Resolução nº 430/2011, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), a qual complementa e altera a Resolução nº 357/2005 do mesmo conselho, é a legislação brasileira que define, de forma pouco restritiva, os critérios e parâmetros este tipo de lançamento provenientes de qualquer fonte poluidora. Neste sentido, alguns estados optam por definir seus próprios regimentos quanto ao lançamento destes efluentes, podendo ser ainda mais restritivos em relação à legislação federal (SOUZA et al., 2016).

CONCLUSÕES

A busca para uma solução sustentável que envolve o reúso do efluente da autoclavagem contribuirá, não somente para a redução do custo com este consumo, mas também possibilitará a disponibilidade desta água residuária para outros fins.

A presente revisão permitiu a busca de literaturas que apresentassem estudos relacionados à tratabilidade e a avaliação do potencial de reúso desta água residuária para fins menos nobres como, por exemplo, na lavagem de veículos, limpeza de pátio e/ ou jardinagem.

Conforme relatado nos estudos da LE1, esta busca evidenciou que a interferência causada pelo déficit no gerenciamento correto dos RSS pode afetar a eficiência do processo de autoclavagem bem como a tratabilidade da própria água residuária. Todas as etapas que envolvem a gestão dos RSS, desde a geração/segregação até a destinação final, devem ser rigorosamente acompanhadas e controladas para que se obtenha um processo seguro e efetivo.

⁷ Categoria amplo: Lavagem de pátios, ruas e avenidas, estacionamentos ou outros com exposição similar; lavagem de veículos comuns; uso predial comercial ou industrial (restrito a descargas sanitárias) (MINAS GERAIS, 2020).

⁸ Categoria limitado: Lavagem de veículos especiais (tais como aqueles utilizados em coleta e transporte de resíduos sólidos domésticos, coleta seletiva, construção civil, mineração), lavagem externa de trens e aviões, controle de poeira, combate a incêndio, desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgoto (MINAS GERAIS, 2020).

Ao relacionar a LE2 e LE3, também foi possível evidenciar uma perspectiva positiva e possivelmente viável ao considerar eficácia de tratamento dos resíduos de serviços de saúde bem como a caracterização e tratabilidade dos efluentes para a prática de reúso.

Contudo, os resultados obtidos a partir dos trabalhos acadêmicos pesquisados, são considerados parciais devido à escassez de estudos que mencionam sobre a temática da tratabilidade da água residuária resultante, especificamente, do processo de autoclavagem de resíduos de serviços de saúde.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13.969/97**. Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- AREND, R. G.; HENKES, J. A.. Efluentes hospitalares: avaliação da forma de disposição dos efluentes hospitalares em quatro municípios da região do vale dos sinos no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.2, n.2, p.263-308, 2013.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 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. CONAMA, 2011.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011. CONAMA, 2005.
- BRASIL. **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal. **Resolução CONAMA n. 358 de 29 de abril de 2005**. CONAMA, 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC. **Resolução da Diretoria Colegiada nº 222, de 28 de março de 2018**. Regulamenta as boas práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde e dá outras providências. MS, 2018.
- BORDONALLI, A. C. O.; MENDES, C. G. N.. Reúso de água em indústria de reciclagem de plástico tipo PEAD. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.14, n.2, p.235-244, 2009.
- CAPOOR, M. R.; BHOWMIK, K. T.. Current perspectives on biomedical waste management: rules, conventions and treatment technologies. **Indian Journal of Medical Microbiology**, Nova Delhi, v.35, p.157-167, 2017.
- COSTA, C. A.; MAIA, C. C.; NEVES, A. C.; BARROS, R. T. V.; MOL, M. P.. Profile of highly infected wastes generated by hospitals: A case in Belo Horizonte, Brazil. **Waste Management & Research**, v.37, n.6, p.643-650, 2019.
- CHARTIER, Y.. **Safe management of wastes from health-care activities**. World Health Organization, 2014.
- CHEN, Y.; DING, Q.; YANG, X.; PENG, Z.; XU, D.; FENG, Q.. Application countermeasures of non-incineration technologies for medical waste treatment in China. **Waste management & research**, v.31, n.12, p.1237-1244, 2013.
- CUNHA, A. H.; OLIVEIRA, T. H.; FERREIRA, R.; MILHARDES, A. L.; SILVA, S.. O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, n.13, p.1225-1248, 2011.
- FERREIRA, A. P.; CUNHA, C. L. N.; ROQUE, O. C. C.. Avaliação da microfauna no efluente final para monitoramento da qualidade ambiental em estações de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados. **Revista Gaia Scientia**, Brasil, v.2, n.1, p.51-59, 2008.
- FERREIRA, E. R.. Gestão Integrada e Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde na UGRHI-PP. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.8, n.1, p.81-93, 2014.
- GALVÃO, M. A.; SILVA, J. C.; TEIXEIRA, M. C.. Eficácia da descontaminação de resíduos biológicos infectantes de laboratórios de microbiologia após tratamento térmico por autoclavagem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.18, n.4, p.323-331, 2013.
- GALVÃO, T. F.; PANSANI, T. S. A.; HARRAD, D.. Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v.24, p.335-342, 2015.
- HESPANHOL, I.. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7, n.4, p.75-95, 2002.
- KLAUS, G. F.. **Estudo de um Sistema Compacto de Tratamento de Efluentes Sanitários do Tipo Lodos Ativados**. 2012.
- MIERZWA, J. C.. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria: estudo de caso da KODAC Brasileira**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- MINAS GERAIS. O Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais. **Resolução n. 65, de 18 de jun. de 2020**.

Estabelece modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências. DOU, 2020.

MOL, M. P. G.; CUSSIOL, N. A. M.; HELLER, L.. Destinação de resíduos de serviços de saúde do subgrupo A4: política baseada em evidência ou em intuição? **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, n.6, p.1037-1041, 2017.

MORAIS, N. W. S.; SANTOS, A. B.. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. **Revista DAE**, n.215, 2019.

MORELLI, E. B.. **Reúso de água na lavagem de veículos**. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MOURA, P. G.; ARANHA, F. N.; HANDAM, N. B.; MARTIN, L. E.; SALLES, M. J.; CARVAJAL, E.; JARDIM, R.; SOTERO-MARTINS, A.. Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.25, n.6, p.791-808, 2020.

MUÑOZ, S. I. S.; TAKAYANAGUI, A. M. M.; SANTOS, C. B. D.. Revisão Sistemática de literatura e metanálise: desenho, interpretação e aplicação na área da saúde. In: SIMPÓSIO DE COMUNICAÇÃO EM ENFERMAGEM, 8. **Anais. SIBRACEN**, 2002.

SALKIN, I. F.. Conventional and alternative technologies for

the treatment of infectious waste. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v.5, n.1, p.0009-0012, 2003.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R.. Teores de nutrientes na alface irrigada com água residuária aplicada por sistemas de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.1, p.45-57, 2006.

SILVA, D. F.; SPERLING, E. V.; BARROS, R. T. V.. Avaliação do gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde em municípios da região metropolitana de Belo Horizonte (Brasil). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.19, n.3, p.251-262, 2014.

SOUZA, M. M.; SANTOS, A. S. P.. Água potável, água residuária e saneamento no Brasil e na Holanda no âmbito do Programa de Visitação Holandês-DVP: Dutch Visitors Programme. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21, n.2, p.387-395, 2016.

WOLFF, A.. Management of waste from the health-care sector. In: **Health Care and Environmental Contamination**. Elsevier, 2018. p.167-197.

YAP, J. M.; GOLDSMITH, C. E.; MOORE, J. E.. Integrity of bacterial genomic DNA after autoclaving: possible implications for horizontal gene transfer and clinical waste management. **Journal of Hospital Infection**, v.83, n.3, p.247-249, 2013.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.