

Perspectivas sobre o uso de materiais alternativos no tratamento de água: revisão sistemática desenvolvida em filtros lentos

Samara Tavares dos Santos ¹, Anderson de Jesus Lima ² &
Denise Conceição de Gois Santos Michelan ^{3*}

¹Graduanda e pesquisadora em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, Brasil.

²Mestre e pesquisador em Engenharia civil, Universidade Federal de Sergipe, Brasil.

³Docente em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, Brasil. Doutora em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. (*Autor correspondente: denise_gois@yahoo.com.br)

Histórico do Artigo: Submetido em: 06/04/2021 – Revisado em: 30/05/2021 – Aceito em: 28/06/2021

RESUMO

A filtração lenta é de fácil construção, manutenção e operação, sendo assim a tecnologia mais adequada para o tratamento de água em pequenas comunidades. Os filtros lentos ditos convencionais utilizam camada filtrante de areia, contudo, já foram realizados diversos estudos direcionados ao uso de outros materiais para substituição integral ou parcial da areia comumente utilizada. Diante disso, esta pesquisa consistiu em uma revisão sistemática da literatura buscando identificar e analisar as produções científicas acerca do emprego de materiais não convencionais em meios filtrantes de filtros lentos. O levantamento dos artigos deu-se a partir da busca em bases de dados internacionais e o portfólio bibliográfico dessa revisão foi formado por 32 trabalhos, a partir da aplicação dos critérios de seleção estabelecidos. Foi possível identificar quais os materiais mais utilizados nos estudos, suas taxas de filtração e parâmetros de eficiência monitorados. Com os resultados obtidos, pode-se ampliar a visão do emprego do tratamento de água em filtração lenta e trazer a utilização dos materiais não convencionais como alternativa viável, garantindo a eficiência no tratamento e o aproveitamento desses materiais.

Palavras-Chaves: filtros modificados, meio filtrante, materiais não convencionais.

Perspectives on the use of alternative materials in water treatment: systematic review developed on slow filters

ABSTRACT

Slow filtration is easy to build, maintain and operate, making it the most suitable technology for water treatment in small communities. The so-called conventional slow filters use a sand filter layer, however, several studies have already been conducted out aimed at the use of other materials for integral or partial replacement of the commonly used sand. Therefore, this research consisted in a systematic review of the literature, seeking to identify and analyze scientific productions about the use of unconventional materials in slow filter layer. The articles were surveyed from the search in international databases and the bibliographic portfolio of this review was formed by 32 papers, based the application of the selection criteria established. It was possible to identify which materials are most used in the studies, their filtration rates and monitored efficiency parameters. With the results obtained, it is possible to broaden the vision of the use of water treatment in slow filtration and bring the use of unconventional materials as a viable alternative, ensuring the efficiency in the treatment and utilization of these materials.

Keywords: modified filters, filter media, unconventional material.

Santos, S. T., Lima, A. J., & Michelan, D. C. G. S. (2021). Perspectivas sobre o uso de materiais alternativos no tratamento de água: revisão sistemática desenvolvida em filtros lentos. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.9, n.2, p.121-139.



1. Introdução

O primeiro registro da utilização da filtração lenta foi na Escócia em 1804 quando John Gibb construiu um filtro lento de areia para o tratamento de água para consumo humano. Apenas em 1828, construído por James Simpson na cidade de Londres, os filtros de areia foram usados pela primeira vez para abastecimento público. Os primeiros filtros tinham como finalidade somente a redução da turbidez através dos mecanismos físicos de retenção de partículas, mas foi em 1892, durante uma epidemia de cólera, que se descobriu que a filtração lenta poderia auxiliar na remoção de bactérias patogênicas. As cidades de Altona e Hamburgo, na Alemanha, tiveram comportamentos distintos quanto aos casos de cólera. Hamburgo, que não utilizava tais filtros, foi afetada pela epidemia, enquanto Altona, que possuía os filtros lentos, não foi atingida por essa doença (Richter, 2009; Costa, 1980; Huisman, 1982). Diante desse breve relato do surgimento e implantação da filtração lenta, observa-se que a utilização da técnica de tratamento de água não é incipiente e que a sua aplicação é relevante.

Como definição, a filtração lenta convencional consiste na tecnologia de tratamento que promove a passagem da água por um meio filtrante granular, geralmente areia, deixando retido nos poros desse filtrante o material em suspensão presente na água bruta (Souza, 2017). De acordo com Di Bernardo (2003), a remoção de partículas durante a filtração ocorre por meio de mecanismos de transporte, adesão e pelas atividades biológicas. A filtração lenta é reconhecida como a tecnologia mais apropriada para o tratamento de água voltada para o abastecimento de pequenas comunidades por ser de simples construção, operação, manutenção e não necessita de mão de obra qualificada, representando assim custos geralmente acessíveis (Nascimento, 2012). Além disso, essas pequenas comunidades costumam dispor de áreas significativas para a implantação do sistema de tratamento, viabilizando o seu uso.

A concepção inicial de filtros lentos, ditos convencionais, possuem leitos filtrantes de areia. Contudo, para se contornar as exigências de qualidade da água bruta exigida para aplicação filtros convencionais, bem como para se obter melhores resultados no tratamento ou até mesmo remoção de contaminantes específicos, foram realizados diversos estudos voltados a essa tecnologia de tratamento e novos modelos de filtros foram desenvolvidos modificando o modo de operação ou mesmo as características dos filtros. Segundo Lima (2020), os avanços nos estudos voltados à filtração lenta não se limitam às características da areia. Existem pesquisas que utilizam meio filtrante modificado com materiais não convencionais buscando a substituição integral ou parcial da areia comumente utilizada, mas que não reflita em perdas de eficiência do tratamento.

O uso desses materiais costuma representar efeitos positivos quando comparados ao filtro convencional. A exemplo têm-se Letshwenyo e Lebogang (2019) que utilizaram escória entre a camada filtrante de areia e a camada suporte de cascalho e obtiveram eficiências de remoção para os coliformes totais e termo tolerantes de até 100%. Jayalath, Miguntanna e Perera (2016) operaram dois filtros, um com meio filtrante em areia misturada com pedrisco e outro em areia misturada com tijolo queimado e, ao comparar a eficiência na remoção da turbidez destes filtros com a água bruta, obtiveram eficiências de 79% e 90%, respectivamente. Mutemi, Hoko e Makurira (2020) trabalharam com meio filtrante composto por uma mistura de areia com ferro e observaram que a introdução de ferro misturado com areia pode melhorar o desempenho do filtro significativamente, especialmente para a remoção de coliformes.

Nesse contexto, o presente artigo teve como objetivo analisar as produções científicas acerca do emprego de materiais não convencionais em meios filtrantes de filtros lentos a partir de uma revisão sistemática da literatura.

2. Desenvolvimento

A revisão sistemática da literatura apresentada baseou-se na sequência de ações: 1) criação de um protocolo de pesquisa; 2) levantamento dos artigos nas bases de dados; 3) seleção dos artigos; e 4) extração e síntese dos dados.

A importância de se criar um protocolo de pesquisa fundamenta-se nas informações a serem analisadas no decorrer da revisão, como as questões a serem discutidas, os tipos de estudo e em quais bases de dados estes seriam buscados, critérios de inclusão, exclusão e qualidade dos artigos e nas estratégias de extração das informações.

Counsell (1997) destaca que uma boa revisão sistemática requer uma pergunta clara e bem elaborada, pois a mesma é responsável por guiar a realização das outras etapas da revisão. A pergunta define quais estudos serão incluídos, qual deve ser a estratégia de busca para identificar os estudos relevantes e quais dados precisam ser extraídos de cada estudo identificado. Assim, as questões elaboradas para esta revisão buscam não só o que já foi proposto com relação à aplicação de materiais alternativos no meio filtrante, mas também quão eficiente foi a utilização destes materiais no contexto dos estudos realizados.

Para alcançar esse resultado, foram elencadas as questões da pesquisa:

1. Quais materiais alternativos estão sendo utilizados para compor o meio filtrante?
2. Como estão sendo aplicados, isolados ou misturados?
3. Quais são os principais parâmetros norteadores da eficiência do sistema?
4. Quais as eficiências dos sistemas?

A procura dos estudos na literatura é uma fase fundamental na condução da revisão sistemática. Uma procura eficaz abrange não só uma estratégia que inclua termos apropriados, mas também delimitar quais bases de dados se adequam ao tema (Sampaio e Mancini, 2007). Desse modo, como critério para seleção das fontes, foi definido que as mesmas deveriam estar disponíveis via web e deu-se preferência a bases de dados científicas da área. Podendo ainda ser selecionados trabalhos disponíveis em outros meios, desde que atendam aos requisitos da revisão.

As buscas pelos artigos foram realizadas nas bases de dados internacionais *Scopus*, *Web of Science* e *ScienceDirect*. O estudo teve como limitação da pesquisa artigos primários escritos em inglês, espanhol ou português. Quanto ao período dos artigos publicados não houve restrições, por entender que essas informações temporais poderiam enriquecer a busca por informações.

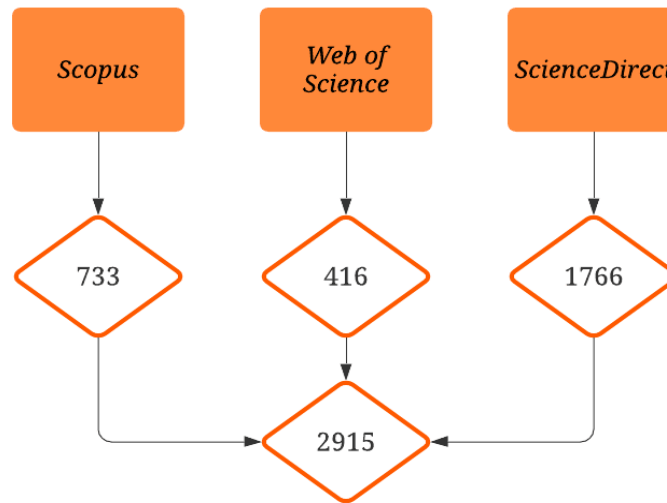
Foram elaboradas *strings* de busca relacionando as palavras-chave “*slow sand filter*”, “*slow sand filtration*”, “*slow filter*” e “*slow filtration*”. As buscas utilizando as *strings* foram realizadas nos títulos, resumos e palavras-chave dos estudos, sendo utilizada a mesma *string* para as bases *Scopus* e *Web of Science* e uma diferente para a base *ScienceDirect*. Para as duas primeiras bases supracitadas foi utilizado o asterisco (*) para auxiliar na busca de palavras no singular, plural e variantes e, como há restrições quanto ao uso desse recurso na base *ScienceDirect*, foi criada uma nova *string* para garantir que a mesma se adeque às restrições de busca desta base. As *strings* de busca configuradas para cada uma das bases de dados estão ilustradas na Tabela 1.

O levantamento resultou em 2915 publicações localizadas e o número referente a cada base de dados é dado na Figura 1. A seleção dos estudos foi realizada após a retirada de duplicatas, que totalizaram 542 trabalhos, e teve início a partir da leitura dos títulos, palavras-chave e resumos. Quando apenas a leitura inicial não foi suficiente para aceitar um estudo, foi realizada a leitura na íntegra do mesmo. Nesta fase inicial 51 trabalhos foram selecionados e 2322 foram rejeitados mediante aplicação dos critérios de inclusão e exclusão.

Tabela 1 – Strings de busca

Base	String
<i>Scopus e Web of Science</i>	("slow sand filt*" OR "slow filt*")
<i>ScienceDirect</i>	("slow sand filter" OR "slow filter" OR "slow sand filtration" OR "slow filtration")

Figura 1 – Número de publicações por base de dados



Foram incluídos estudos publicados e disponíveis integralmente em bases de dados científicas, desenvolvidos a partir de instalações piloto ou reais e aqueles aprovados pela comunidade científica. Em contrapartida, foram excluídos os trabalhos que não possuíam título alinhado ao tema, que não eram relevantes para a pesquisa após a leitura do resumo e os trabalhos que não avaliavam a eficiência do sistema. A luz do exposto, a Figura 2 resume o processo de seleção dos trabalhos com a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão.

Por fim, foi realizada a leitura na íntegra dos 51 trabalhos restantes e, após avaliação mais detalhada, 29 foram selecionados. A partir dos trabalhos selecionados foi realizada a amostragem “bola de neve”, que consiste em uma técnica de encontrar novos trabalhos a partir das referências pelos trabalhos aceitos. Com esse procedimento mais três artigos foram incluídos. Assim, o portfólio bibliográfico dessa revisão foi formado por 32 trabalhos. A Tabela 2 apresenta estes trabalhos classificados por autor, ano de publicação e periódico de origem.

Figura 2 – Fluxograma com os critérios de inclusão e exclusão dos trabalhos

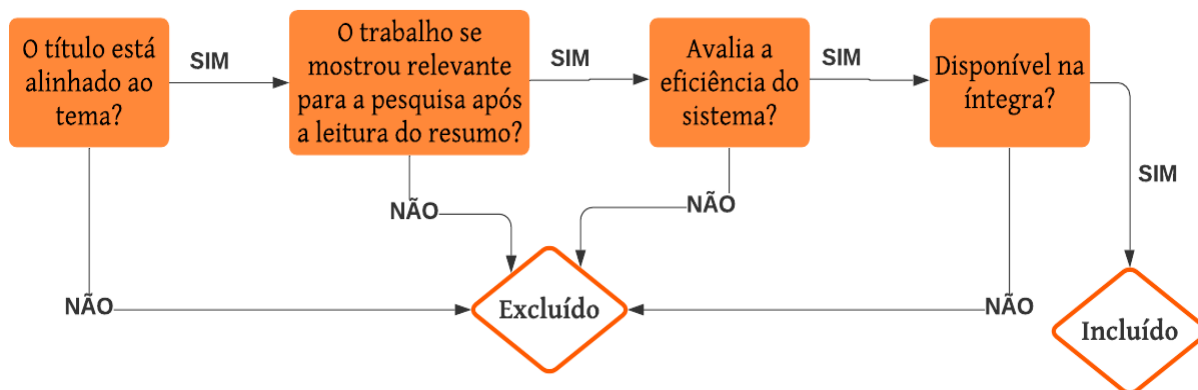
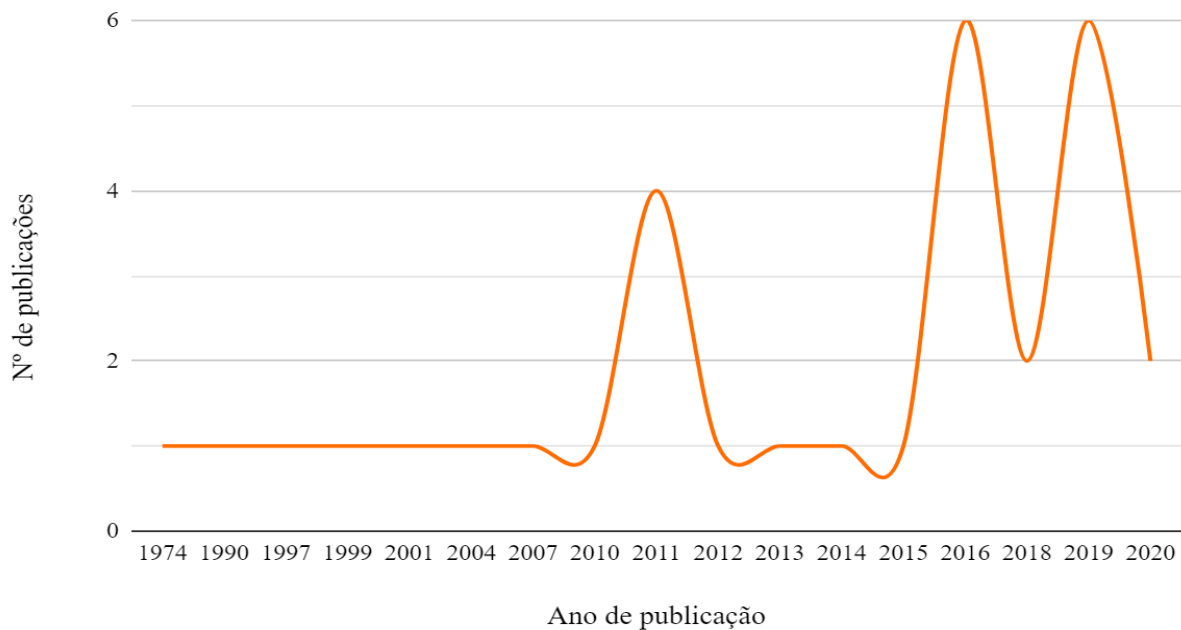


Tabela 2 – Trabalhos selecionados para compor o portfólio bibliográfico

	Título	Autor(es)	Ano	Periódico
1	Application of Iranian natural zeolite and blast furnace slag as slow sand filters media for water softening.	Abdolahnejad, A., Ebrahimi, A. e Jafari, N.	2014	International Journal of Environmental Health Engineering
2	Assessment of roughing and slow sand filter modified with slag and clinker ash for removal of microorganisms from secondary effluent.	Letshwenyo, M. W. e Lebogang, L.	2019	Environmental Technology
3	Burnt clay bricks as an alternative filter media for pebble matrix filters (PMF).	Jayalath, C. P. G., Miguntanna, N. S. e Perera, H. A. K. C.	2016	Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka
4	Comparing mixed-media and conventional slow-sand filters for arsenic removal from groundwater.	Śmiech, K. M. et al.	2018	Water
5	Contaminants removal by bentonite amended slow sand filter.	Rao, S. M. et al.	2013	Journal of Water Chemistry and Technology
6	Corrosion control enhancement from a dolomite-amended slow sand filter.	Rooklidge, S. J.	2001	Water Research
7	Development of slow sponge sand filter (SpSF) as a post-treatment of UASB-DHS reactor effluent treating municipal wastewater.	Maharjan, N. et al.	2016	Water Science & Technology

8	Experimental studies of slag filter for drinking water treatment.	Anjali, M. S., Shrihari, S. e Sunil, B. M.	2019	Environmental Technology & Innovation
9	Filtração lenta para o tratamento de água para pequenas comunidades rurais.	Nascimento, A. P., Pelegrini, R. T. e Brito, N. N.	2012	REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil
10	Improved filtration technology for pathogen reduction in rural water supplies.	Tellen, V., Nkeng, G. e Dentel, S.	2010	Water
11	Improvement of drinking water quality by using plant biomass through household biosand filter – A decentralized approach.	Baig, S. A. et al.	2011	Ecological Engineering
12	Influence of operation time, hydraulic load and drying on phosphate retention capacity of mineral filters treating natural swimming pool water.	Karczmarczyk, A., Bus, A. e Baryła, A.	2019	Ecological Engineering
13	Investigating feasibility of use of bio-sand filters for household water treatment in Epworth, Zimbabwe.	Mutemi, S., Hoko, Z. e Makurira, H.	2020	Physics and Chemistry of the Earth
14	Investigation of E. coli and virus reductions using replicate, bench-scale biosand filter columns and two filter media.	Elliott, M. et al.	2015	International Journal of Environmental Research and Public Health
15	Iron oxide amended biosand filters for virus removal.	Bradley, I. et al.	2011	Water Research
16	Modified biosand filters enriched with iron oxide coated gravel to remove chemical, organic and bacteriological contaminants.	Sizirici, B. et al.	2019	Journal of Water Process Engineering
17	Multi-stage filtration for developing world surface water treatment.	Clarke, B. A. et al.	2004	Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management
18	NOM removal by slow sand filtration through iron oxide-coated olivine.	McMeen, C. R. e Benjamin, M. M.	1997	American Water Works Association - AWWA

- | | | | | |
|----|--|--|------|--|
| 19 | Optimization of slow filtration as a means for disinfecting nutrient solutions. | Wohanka, W. et al. | 1999 | Acta Horticulturae |
| 20 | Performance and surface clogging in intermittently loaded and slow sand filters containing novel media | Grace, M. A., Healy, M. G. e Clifford, E. | 2016 | Journal of Environmental Management |
| 21 | Performance evaluation of biosand filter modified with iron oxide-coated sand for household treatment of drinking water. | Ahammed, M. M. e Davra, K. | 2011 | Desalination |
| 22 | Performance evaluation of fabric aided slow sand filter in drinking water treatment. | Mondal, P. K., Seth, R. e Biswas, N. | 2007 | Journal of Environmental Engineering and Science |
| 23 | Performance of fabric-protected slow sand filters treating a lowland surface water. | Mbwette, T. S. A., Steitieh, M. A. R. e Graham, N. J. D. | 1990 | Water and Environment Journal |
| 24 | Pré-filtração em pedregulho e filtração lenta com areia, manta não tecida e carvão ativado para polimento de efluentes domésticos tratados em leitos cultivados. | Paterniani, J. E. S. et al. | 2011 | Engenharia Agrícola |
| 25 | Purification of harvested rainwater using slow sand filters with low-cost materials: Bacterial community structure and purifying effect. | Zhao. Y. et al. | 2019 | Science of the Total Environment |
| 26 | Removal of arsenic and coliform bacteria by modified sand filter with slag and zeolite from drinking water. | Abdolahnejad, A. et al. | 2016 | Health Scope |
| 27 | Removal of Escherichia coli from lake water in a biochar-amended biosand filtering system | Guan, P. et al. | 2020 | Ecological Engineering |
| 28 | Series filtration using local filter media. | Frankel, R. J. | 1974 | Journal (American Water Works Association) |
| 29 | Simplified greywater treatment systems: Slow filters of sand and slate waste followed by granular activated carbon. | Zipf, M. S., Pinheiro, I. G. e Conegero, M. G. | 2016 | Journal of Environmental Management |
| 30 | Streptophyta and acetic acid bacteria succession promoted by brass in slow sand filter system schmutzdeckes. | Delgado-Gardea, M. C. E. et al. | 2019 | Scientific Reports |

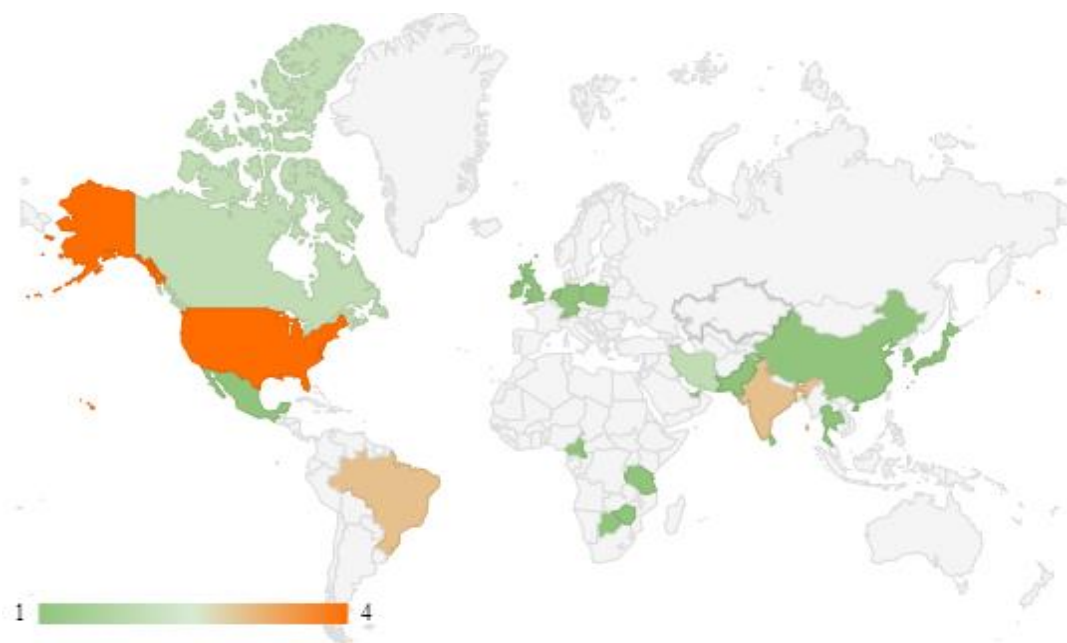
Figura 4 – Número de publicações por período

Quanto às localizações geográficas destes trabalhos, a Figura 5 localiza essas publicações. Pode-se notar a grande variedade das citações nos países, pois foi observado que 23 países realizaram estudos quanto à utilização de materiais não convencionais nos filtros lentos. O continente asiático concentra o maior número de estudos publicados, sendo 37,50% das publicações no período em estudo, seguido pelo continente americano com 31,25%. Na América, as publicações estão concentradas em poucos países, a exemplo dos Estados Unidos, Brasil e Canadá com 4, 3 e 2 artigos publicados, respectivamente. Na Ásia há distribuição geográfica mais significativa destes trabalhos, com destaque para Índia e Irã que somam 3 e 2 artigos publicados respectivamente. Os demais países possuem apenas uma publicação sobre o tema.

A divulgação dos estudos selecionados ocorreu em 26 periódicos, dos quais estão distribuídos em áreas como qualidade e gerenciamento da água, saúde, engenharia civil, ambiental e agrícola, entre outras. Os periódicos com ênfase em meio ambiente e engenharia concentram 46,15% das publicações, água e saúde retêm cerca de 30,77% e 7,69%, respectivamente, e o restante dos estudos abrange áreas como física e química da Terra, horticultura e ciências naturais.

Com relação à diversidade de periódicos citados, pode-se observar na Figura 6 que o periódico *Ecological Engineering* concentra o maior número de publicações sobre o tema, com um total de três trabalhos publicados, seguido por *Water*, *Water Research*, *American Water Works Association (AWWA)* e *Journal of Environmental Management*, com dois trabalhos publicados.

Figura 5 – Distribuição geográfica dos estudos sobre o tema



Para cada um dos trabalhos selecionados foram analisadas as informações relevantes para a pesquisa, como os materiais utilizados no meio filtrante e camada suporte, a forma como estes materiais foram dispostos nos filtros, suas taxas de filtração, aspectos metodológicos, parâmetros monitorados e suas eficiências alcançadas. As informações quanto aos materiais utilizados no meio filtrante e camada suporte, taxas de filtração e parâmetros monitorados foram sintetizadas e são apresentadas na Tabela 3.

Figura 6 – Quantidade de publicações por periódico

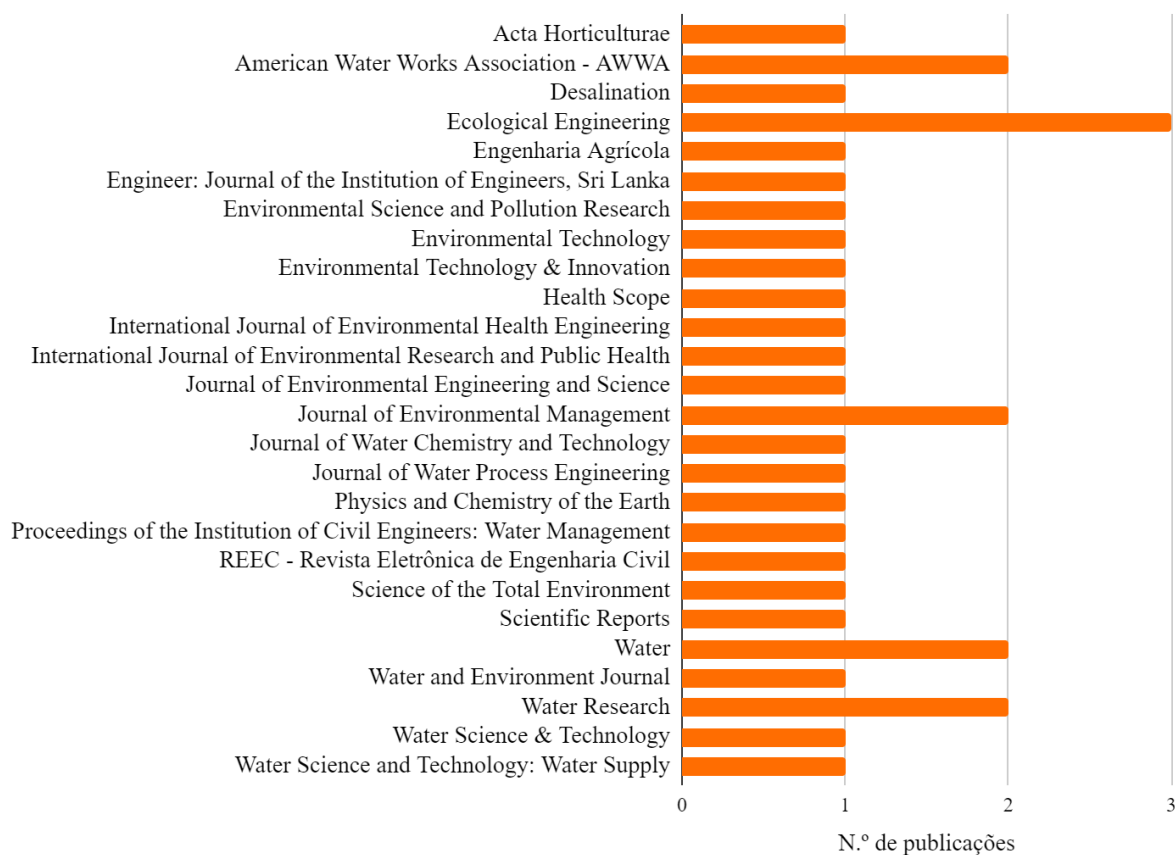


Tabela 3 – Dados dos trabalhos selecionados

	Meio filtrante	Camada suporte	Taxa de filtração (m³/m².h)	Parâmetros monitorados
1	Areia, escória de alto forno e zeólita natural iraniana	Cascalho e sílica	0,1 - 0,24	Turbidez
2	Areia e escória de fundição de cobre	Cascalho	0,004	Coliformes fecais, estreptococos fecais, E. coli e coliformes totais
3	Areia, tijolos queimados e pedrisco laminados (chips)	Pedriscos laminados (chips)	0,16	Turbidez

4	Misturas de areia e matéria corrosiva de ferro e areia e areia revestida de ferro	Cascalho e areia grossa	0,006	Arsênio, pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica, potencial redox e concentração de ferro e manganês.
5	Mistura de areia com bentonita	-	0,003	Coliforme total, E. coli, pH, sólidos totais dissolvidos, cálcio, magnésio, sódio, íons de potássio e nitrato, sulfato, íons cloreto e bicarbonatos
6	Areia e calcário dolomítico	Rocha britada	0,2	Turbidez, cálcio, pH, condutividade, dureza total e alcalinidade
7	Carvão fino, areia fina e camada de esponja	Esferas de vidro, cascalho grosso e areia grossa	0,9	Sólidos suspensos totais (TSS), sólidos suspensos voláteis, demanda bioquímica de oxigênio (BOD), demanda química de oxigênio (COD), nitrogênio total (TN) e fósforo total (TP), coliformes e Escherichia coli
8	Escória granulada de alto forno	Cascalho	0,32	Dureza, sulfato, nitrato, cloreto e ferro
9	Areia e manta sintética não tecida	Brita	0,125	Turbidez, cor, pH, fenóis totais e oxigênio consumido (OC)
10	Areia e limalha de ferro	Cascalho e areia grossa	0,11	Patógenos, turbidez e NOM
11	Areia e biomassa de casca de pinus conífera (CPBB)	Cascalho	0,022 - 0,027	Turbidez, E. coli, coliformes totais, dureza, pH e cloreto
12	Opoka calcinada (rocha calcinada)	-	0,21	E. coli, pH e fosfato
13	Areia e mistura de areia e ferro	Cascalho	0,4	Turbidez, coliformes fecais, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, nitratos e cloreto

14	Areia e granito triturado	Cascalho	0,7 - 0,9	E. Coli e vírus
15	Areia e mistura de areia e ferro (partículas ferro zero valente, pregos de aço e lâ de aço extra fina)	Cascalho	0,7 - 1,01	Vírus, pH, OD, alcalinidade e nitrato
16	Areia fina	Cascalho, cascalho revestido com óxido de ferro e areia grossa	0,78	Matéria orgânica, turbidez, coliformes totais, E. coli e diferentes concentrações de metais (Ni, Fe, Cu, Zn)
17	Manta não tecida no topo do leito de areia	-	0,15	Turbidez e patógenos
18	Areia, olivina e olivina revestida com óxido de ferro	Cascalho	0,2	Turbidez, NOM e demanda química de oxigênio
19	Areia, granulado de lâ de rocha, pedra-pomes e antracite	Cascalho	0,2	Patógenos
20	Resíduo Bayer (lama vermelha ou resíduo de bauxita), zeólita, fly ash (cinza volante), GAC e areia	Areia grossa	0,10	Turbidez, carbono orgânico dissolvido e alumínio
21	Areia e areia revestida com óxido de ferro	Cascalho e areia grossa	0,021	Turbidez
22	Manta não tecida no topo do leito de areia	Cascalho	0,1	Turbidez, coliformes totais e E. Coli
23	Manta não tecida no topo do leito de areia	Cascalho	0,15	Turbidez e coliformes fecais
24	Areia, carvão ativado granular e mantas sintéticas não tecidas	-	0,125	Turbidez, coliformes totais, E. coli, cor aparente, oxigênio dissolvido, ferro, sólidos suspensos, manganês e demanda química de oxigênio

25	Areia, mistura de calcário triturado e argila vermelha, mistura de tijolo triturado e argila vermelha e pó de tijolo	-	0,1	Coliformes totais, coliformes termotolerantes, E. coli e demanda química de oxigênio
26	Areia, escória de alto forno e zeólita natural	Cascalho e sílica	0,1 - 0,24	Arsênio, dureza, turbidez e coliformes totais
27	Areia e carvão vegetal de palha de trigo e madeira de salgueiro	Cascalho e areia grossa	0,85	E. coli
28	Areia e cascas de arroz queimadas	Cascalho	0,1 - 2,5	Turbidez
29	Areia, resíduos de ardósia e carvão ativado granular	Pedra britada e cascalho	0,083 - 0,25	Turbidez, pH, cor aparente, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), surfactantes, coliformes totais e coliformes termotolerantes
30	Areia e os metais ferro (prego de ferro), cobre e latão	Cascalho e areia grossa	0,0001	Turbidez, pH, sólidos dissolvidos totais, coliformes totais, organismos coliformes fecais (termotolerante) e E. coli
31	Areia e bauxita natural	-	0,15	Turbidez, E. coli e Enterococcus
32	Areia e areia revestida com óxido de ferro	Cascalho e contas de vidro	0,006 - 0,011	Turbidez, sólidos suspensos totais, demanda química de oxigênio, nutrientes, coliformes totais e fecais

Observou-se a variedade de materiais sendo empregados nos filtros lentos, assim como variação para aplicação de taxas de filtração, parâmetros monitorados e taxas de remoção. Dos trabalhos analisados, 68,75% abordavam a adição dos materiais não convencionais à areia, separados ou misturados, e 31,25% propunham a substituição total da areia. Para a camada suporte, o material mais utilizado foi o cascalho. O meio filtrante mais utilizado nos filtros foi areia com adição de ferro, totalizando seis publicações, acompanhado por mantas não tecidas, escória de alto forno, zeólita (mineral com estrutura porosa) e óxido de ferro somando 5, 3, 3 e 2

publicações, na devida ordem. Os demais materiais foram empregados apenas uma vez nos trabalhos selecionados.

Dos três trabalhos desenvolvidos no Brasil, dois utilizam manta não tecida no topo da camada de areia (Nascimento, Pelegrini e Brito, 2012; Paterniani, et al., 2011). Areia revestida com óxido de ferro foi adicionada a areia em filtros de dois dos três trabalhos publicados na Índia (Verma, Daverey e Sharma, 2018; Ahammed e Davra, 2011). Já no Irã, os dois trabalhos desenvolvidos no país utilizaram escória de alto forno e zeólita natural iraniana adicionados a areia (Abdolahnejad, Ebrahimi e Jafari, 2014; Abdolahnejad et al., 2016).

Quanto a eficiência da filtração lenta usando materiais não convencionais, o foco principal dos parâmetros monitorados nos estudos esteve na remoção de turbidez, *Escherichia coli* e coliformes totais. A eficiência na remoção de turbidez apresentou resultados positivos em todos os trabalhos, com destaque para o filtro de Abdolahnejad, Ebrahimi e Jafari (2014) que, ao adicionar uma camada de escória de alto forno abaixo da camada de areia, alcançaram reduções de turbidez de até 98,98%. A redução bacteriana se destacou de forma significativa em todos os trabalhos analisados, com exemplo de Letshwenyo e Lebogang (2019) que avaliaram o desempenho do filtro de areia lento modificado com uma camada de escória de fundição de cobre abaixo da camada de areia e obtiveram eficiências de até 100% para esses parâmetros.

A remoção de arsênio foi analisada nos trabalhos de Śmiech et al. (2018), que utilizaram filtros com misturas de areia, matéria corrosiva de ferro e areia revestida de ferro, e Abdolahnejad et al. (2016), que empregavam o uso dos filtros modificados com adsorventes de baixo custo, zeólita e escória de alto forno. Estes observaram que os filtros modificados com materiais não convencionais tiveram melhor eficiência na remoção de arsênio do que os filtros que utilizam apenas areia.

Normalmente, os filtros lentos operam com taxa de filtração de 2,4 a 9,6 m³/m².dia (Libânio, 2010; Souza, 2007), contudo, foram observadas taxas de até 1,01 m³/m².h operadas nos trabalhos. Em geral, foi possível notar aumento destas taxas de filtração na última década, o que indica que os autores buscam novas formas de modificar a filtração lenta, seja mudando o tipo de meio filtrante utilizado ou a taxa de filtração, mas sem perder suas eficiências.

3. Considerações Finais

Observou-se com esse estudo que o número de artigos desenvolvidos com o uso de materiais não convencionais na filtração lenta aumentou ao longo dos anos, com destaque para desenvolvimento de pesquisa em países do continente asiático que produziram onze trabalhos na última década. Além disso, foi possível notar a gama de materiais utilizados, indicando nova busca por utilizar materiais disponíveis regionalmente, que simplesmente poderiam ser descartados de forma correta em aterros sanitários ou de forma errônea no meio ambiente, dos quais estes materiais englobam não apenas aspectos ambientais, mas também, econômicos e técnicos.

Fizeram parte do estudo após os refinamentos de busca, 32 publicações sobre o tema “Utilização de materiais não convencionais em meios filtrantes de filtros lentos” enquadrados desde 1974 a 2020, com destaque para maior número de produções nos anos de 2016 e 2019. Os materiais mais utilizados para compor o meio filtrante dos filtros lentos foram ferro, manta não tecida, escória de alto forno, zeólita e óxido de ferro. Cerca de 68,75% dos trabalhos empregavam a substituição parcial da areia com a adição destes materiais e, em sua maioria, de forma isolada. Quanto aos parâmetros norteadores da eficiência dos filtros, o interesse principal nos estudos esteve na remoção de turbidez, *Escherichia coli* e coliformes totais. O uso de materiais não convencionais nos trabalhos apresentou resultados positivos se comparado ao filtro convencional, com remoções de até 100% dos principais parâmetros, indicando ser favorável o aprimoramento da filtração lenta utilizando outros materiais.

Assim, com esse estudo de revisão sistemática pode-se concluir que, apesar da tecnologia de tratamento de água em filtração lenta ser antiga, diferentemente do que muitos pesquisadores poderiam pensar em substituir a tecnologia por outras mais modernas/avançadas, a mesma continua sendo pesquisada, com resultados norteadores e aderentes, pautados na mudança e/ou alteração do meio filtrante tradicional, por materiais não convencionais, o que traz a filtração lenta como tecnologia aplicável na contemporaneidade.

4. Agradecimentos

Agradecimento ao CNPq pela bolsa de pesquisa disponibilizada.

5. Referências

Abdolahnejad, A., Ebrahimi, A. e Jafari, N. (2014). Application of Iranian natural zeolite and blast furnace slag as slow sand filters media for water softening. **International Journal of Environmental Health Engineering**, 3, 58-63.

Abdolahnejad, A., Jafari, N., Ebrahimi, A., Mohammadi, A. e Farrokhzadeh, H. (2017). Removal of arsenic and coliform bacteria by modified sand filter with slag and zeolite from drinking water. **Health Scope**, 6(3), e15170.

Ahammed, M. M. e Davra, K. (2011). Performance evaluation of biosand filter modified with iron oxide-coated sand for household treatment of drinking water. **Desalination**, 276, 287-293.

Anjali, M. S., Shrihari, S. e Sunil, B. M. (2019). Experimental studies of slag filter for drinking water treatment. **Environmental Technology & Innovation**, 15, 100418.

Baig, S. A., Mahmood, Q., Nawab, B., Shafqat, M. N. e Pervez, A. (2011). Improvement of drinking water quality by using plant biomass through household biosand filter – A decentralized approach. **Ecological Engineering**, 37, 1842-1848.

Bradley, I., Straub, A., Maraccini, P., Markazi, S. e Nguyen, T. H. (2011). Iron oxide amended biosand filters for virus removal. **Water Research**, 45(15), 4501-4510.

Clarke, B. A., Jones, C. J., Evans, H. L., Crompton, J. L., Dorea, C. C. e Bertrand, S. (2004). Multi-stage filtration for developing world surface water treatment. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management**, 157(3), 143-149.

Costa, R. H. (1980). **Estudos Comparativos da Eficiência de Filtros Lentos de Areia Convencional e de Fluxo Ascendente**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, São Paulo, Brasil.

Counsell, C. (1997). Formulating questions and locating primary studies for inclusion in systematic reviews. **Annals of Internal Medicine**, 127(5), 380-387.

Delgado-Gardea, M. C. E., Tamez-Guerra, P., Gomez-Flores, R., Garfio-Aguirre, M., Rocha-Gutiérrez, B. A., Romo-Sáenz, C. I., Zavala-Díaz de la Serna, F. J., Eroza-de la Vega, G., Sánchez-Ramírez, B., González-

- Horta, M. del C. e Infante-Ramírez, M. del R. (2019). Streptophyta and Acetic Acid Bacteria Succession Promoted by Brass in Slow Sand Filter System Schmutzdeckes. **Scientific Reports**, 9(1).
- Di Bernardo, L. (2003). **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. São Carlos: RiMa.
- Elliott, M., Stauber, C. E., DiGiano, F. A., Aceituno, A. F. e Sobsey, M. D. (2015). Investigation of E. coli and Virus Reductions Using Replicate, Bench-Scale Biosand Filter Columns and Two Filter Media. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 12(9), 10276-10299.
- Frankel, R. J. (1974). Series filtration using local filter media. American **Water Works Association**, 124-127.
- Grace, M. A., Healy, M. G. e Clifford, E. (2016). Performance and surface clogging in intermittently loaded and slow sand filters containing novel media. **Journal of Environmental Management**, 180, 102-110.
- Guan, P., Prasher, S. O., Afzal, M. T., George, S., Ronholm, J., Dhiman, J. e Patel, R. M. (2020). Removal of Escherichia coli from lake water in a biochar-amended biosand filtering system. **Ecological Engineering**, 150, 105819.
- Huisman, L. (1982). Research and Demonstration Project on Slow Sand Filtration. Reprinted for the AIDIS. **Congress Health in Panama**, Panamá, Panamá, 105.
- Jayalath, C. P. G., Miguntanna, N. S. e Perera, H. A. K. C. (2016). Burnt Clay Bricks as an Alternative Filter Media for Pebble Matrix Filters (PMF). **Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka**, 49(3), 1-9.
- Karczmarczyk, A., Bus, A. e Baryła, A. (2019). Influence of operation time, hydraulic load and drying on phosphate retention capacity of mineral filters treating natural swimming pool water. **Ecological Engineering**, 130, 176-183.
- Letshwenyo, M. W. e Lebogang, L. (2019). Assessment of roughing and slow sand filter modified with slag and clinker ash for removal of microorganisms from secondary effluent. **Environmental Technology**, 1-12.
- Libânio, M. (2010). **Fundamentos de qualidade e tratamento de água** (3a ed.). Campinas: Editora Átomo.
- Lima, A. J. (2020). **Análise comparativa da eficiência de filtros lentos com meios filtrantes convencional e não convencionais**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.
- Maharjan, N., Kuroda, K., Dehama, K., Hatamoto, M. e Yamaguchi, T. (2016). Development of slow sponge sand filter (SpSF) as a post-treatment of UASB-DHS reactor effluent treating municipal wastewater. **Water Science and Technology**, 74 (1), 65-72.
- Mbwette, T. S. A., Steitieh, M. A. R. e Graham, N. J. D. (1990). Performance of fabric-protected slow sand filters treating a lowland surface water. **Water and Environment Journal**, 51-61.
- McMeen, C. R. e Benjamin, M. M. (1997). NOM removal by slow sand filtration through iron oxide-coated olivine. **American Water Works Association - AWWA**, 57-71.

- Mondal, P. K., Seth, R. e Biswas, N. (2007). Performance evaluation of fabric aided slow sand filter in drinking water treatment. **Journal of Environmental Engineering and Science**, 6, 703-712.
- Mutemi, S., Hoko, Z. e Makurira, H. (2020). Investigating feasibility of use of bio-sand filters for household water treatment in Epworth, Zimbabwe. **Physics and Chemistry of the Earth**, 117, 102864.
- Nascimento, A. P., Pelegrini, R. T. e Brito, N. N. (2012). Filtração lenta para o tratamento de águas para pequenas comunidades rurais. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, 4(2), 54-58.
- Paterniani, J. E. S., Silva, M. J. M., Ribeiro, T. A. P. e Barbosa, M. (2011). Pré- filtração em pedregulho e filtração lenta com areia, manta não tecida e carvão ativado para polimento de efluentes domésticos tratados em leitos cultivados. **Engenharia Agrícola**, 31(4), 803-812.
- Rao, S. M., Malini, R., Lydia, A. e Lee, Y. (2013). Contaminants removal by bentonite amended slow sand filter. **Journal of Water Chemistry and Technology**, 35(1), 23-29.
- Richter, C. A. (2009). **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo, SP: Blucher.
- Rooklidge, S. J. e Ketchum Jr., L. H. (2002). Corrosion control enhancement from a dolomite-amended slow sand filter. **Water Research**, 36(11), 2689-2694.
- Sampaio, R. F. e Mancini, M. C. (2007). Estudos de revisão sistemática: Um guia para síntese criteriosa de evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, 11(1), 83-89.
- Sizirici, B., Yildiz, I., AlAli, A., Alkhomeiri, A., Alkhoori, A., Bufalasa, F. e Alawadi, R. (2019). Modified biosand filters enriched with iron oxide coated gravel to remove chemical, organic and bacteriological contaminants. **Journal of Water Process Engineering**, 27, 110-119.
- Śmiech, K. M., Tolsma, A., Kovács, T., Dalbosco, V., Yasadi, K., Groendijk, L. e Agostinho, L. L. F. (2018). Comparing mixed-media and conventional slow-sand filters for arsenic removal from groundwater. **Water (Switzerland)**, 10(2).
- Souza, F. H.; Toscano, B.; Carneiro, C. G.; Sens, M. L. (2017). Diagnóstico e discussão sobre uso da Filtração Lenta para abastecimento público em Santa Catarina, Brasil. **Revista DAE**, 209(66).
- Souza, W. A. (2007). **Tratamento de Água**. Natal: CEFET/RN.
- Tellen, V., Nkeng, G. e Dentel, S. (2010). Improved filtration technology for pathogen reduction in rural water supplies. **Water**, 2, 285-306.
- Urfer, D. (2016). Use of bauxite for enhanced removal of bacteria in slow sand filters. **Water Science and Technology: Water Supply**.
- Verma, S., Daverey, A. e Sharma, A. (2019). Wastewater treatment by slow sand filters using uncoated and iron-coated fine sand: impact of hydraulic loading rate and media depth. **Environmental Science and Pollution Research**, 26(33), 34148-34156.

Wohanka, W., Luedtke, H., Ahlers, H. e Luebke, M. (1999). Optimization of slow filtration as a means for disinfecting nutrient solutions. **Acta Horticulturae**, 481, 539-544.

Zhao, Y., Wang, X., Liu, C., Wang, S., Wang, X., Hou, H., Wang, J. e Li, H. (2019). Purification of harvested rainwater using slow sand filters with low-cost materials: Bacterial community structure and purifying effect. **Science of the Total Environment**, 674, 344-354.

Zipf, M. S., Pinheiro, I. G. e Conegero, M. G. (2016). Simplified greywater treatment systems: Slow filters of sand and slate waste followed by granular activated carbon. **Journal of Environmental Management**, 176, 119-127.