



Filtração Lenta Domiciliar Com Meios Filtrantes Reciclados Provenientes De Resíduos Da Construção Civil

Household Slow Filtration With Recycled Filter From Civil Construction Waste

Valter Martins Junior¹, Simone Mendonça dos Santos², Beatriz Cruz Gonzalez³, Lia Lorena Pimentel⁴, Regina Márcia Longo⁵

¹Eng. Sanitarista e Ambiental – valtermartinsjr94@gmail.com

²Bióloga – sms@usp.br

³Eng^a Química – beatrizcgonzalez@ufscar.br

⁴Eng^a Civil – lialorenapimentel@gmail.com

⁵Eng^a Agrônoma – rmlongo@uol.com.br

Info

Recebido: 03/04/2019

Publicado: 31/05/2019

DOI: 10.29247/2358-260X.2019v6i1.p87-103

ISSN: 2358-260X

Palavras-Chave

filtro lento domiciliar; meios filtrantes reciclados; resíduos da construção civil.

Keywords:

slow household filter; recycled filter media; alternative water treatment; construction waste.

Resumo

Um sistema de tratamento de água apto para utilização em comunidades isoladas é o filtro lento domiciliar. Este trabalho comparou a eficiência de um filtro lento domiciliar com meios filtrantes oriundos de resíduos da construção civil (FLD reciclado), com um filtro lento domiciliar convencional, avaliando características físico-químicas e microbiológicas da água filtrada, segundo critérios estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 5/2017 que consolidou a Portaria nº 2914/2011 sobre procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Os resultados sinalizam que o FLD reciclado pode atender todos os parâmetros analisados, destacando-se a turbidez e os coliformes totais. Sugere-se, portanto, a realização de estudos para determinação do tempo de maturação e da redução do tempo de repouso necessário para que a água filtrada esteja apta para o consumo, tendo em vista

a promoção do FLD reciclado como alternativa atrativa em localidades com baixo adensamento populacional.

Abstract

A system of water treatment that is able for use in remote community is the Slow Household Filter. This study compares the efficiency of a slow household filter made with construction waste (SHF recycled), with a conventional slow household filter (natural aggregates). This comparison was made by assessing physical-chemical and microbiological characteristics of filtered water according to criteria established by Ministerial Order No. 5/2017, which consolidated Ordinance No 2914/2011 on the procedures of control and monitor the water quality for human consumptions and its potability standard. The results suggest that SHF recycled can fulfill all the parameters analyzed, standing out the turbidity and total coliforms. Thus, future studies should be done in order to determine the maturation time and the reduction of the resting time, aiming to promote the use of the filter media made with construction waste as an attractive technological alternative for places with low population density.

INTRODUÇÃO

Atualmente, apesar dos enormes avanços nas tecnologias de tratamento de água, que se desenvolveram em muito nos últimos 100 anos, ainda há muito o que se fazer na busca de água potável para as populações (MENDES, 2006). Dos atuais habitantes do planeta, que estima-se estar próximo a 7,6 bilhões de pessoas, 1,8 bilhão não tem acesso à água em condições mínimas de segurança para o consumo humano, soma-se a isso a falta de instalações sanitárias de qualidade: cerca de 2,4 bilhões de pessoas, mais de um terço da população mundial encontra-se nessa condição, sendo que desse total, 1 bilhão de pessoas ainda defecam a céu aberto, contaminando águas superficiais e subterrâneas (OMS; UNICEF, 2015).

A população que não tem acesso a condições mínimas de saneamento encontra-se, em sua maioria, em países subdesenvolvidos, comumente dentro de pequenas comunidades isoladas. Apesar da filtração lenta convencional ser reconhecida como uma tecnologia de baixo custo, esta exige o mínimo de infraestrutura para sua instalação, fator esse que inviabiliza a sua adoção nas referidas comunidades, e expõe a sua população a diversas doenças de veiculação hídrica.

Na década de 1990 o Dr. David Manz desenvolveu o *Biosand Filter* ou filtro lento domiciliar (FLD), um tipo de filtro convencional de tamanho reduzido, sendo geralmente projetado para atender um pequeno grupo de pessoas. O FLD tem como uma de suas características principais a eficiência na purificação de água, especialmente na remoção de microrganismos.

Ademais, a sua implantação requer baixo orçamento, facilitando a sua adoção em países em desenvolvimento. Esta tecnologia não exige infraestrutura de redes de distribuição de água, tornando-se assim uma solução viável para comunidades isoladas (MANZ, 2004).

Jenkins *et al.* (2011) construíram 18 dispositivos de FLD, sendo eles divididos em três blocos. Os blocos foram distribuídos e configurados de modo a variar três fatores: tamanho efetivo do meio filtrante (d₁₀ de 0,17 e 0,52 mm), altura da água em relação a areia (*hydraulic head* de 10, 20 e 30 cm) e modos de operação, divididos em dois, operação longa (média de 16h de residência da água) e curta (média de 5h de residência). A turbidez média obtida na água filtrada considerando todas as configurações foi de 1,24 uT, o que representou uma remoção de 89%. O FLD com meio filtrante de tamanho efetivo 0,17 mm, 10 cm de *hydraulic head* e operação longa, foi o que demonstrou os melhores resultados de remoção microbiológica, apresentando 98,5% de remoção dos coliformes termotolerantes.

Sharma e Sood (2016) objetivaram a construção de um FLD com estrutura em aço inox, sendo que o peso do corpo do filtro proposto era de 4,5 kg, enquanto os FLDs convencionais, geralmente construídos de moldes pré-moldados de concreto pesam em torno de 75 kg. Essa substituição de matéria prima visou minimizar as dificuldades encontradas para transportar os FLDs a comunidades remotas. Os autores avaliaram a eficiência do filtro na remoção de coliformes totais,

Escherichia coli e ferro. Os parâmetros *Escherichia coli* e ferro apresentaram remoção de 100% em todos os testes. Já a remoção de coliformes totais apresentou valores inferiores, sendo de 98,5% a remoção máxima e de 69%, a remoção mínima. Para atingir a remoção total de coliformes, foram inseridas folhas de cobre com área de 6 cm² na saída do filtro, visto que o cobre possui propriedades antimicrobianas, fazendo com que os íons sejam isolados ou resultem na formação de complexos que são capazes de combater várias bactérias.

Vale observar que, embora os FLDs de Jenkins *et al.*(2011) tenham apresentado bons resultados no que diz respeito à redução da turbidez, esses seriam incapazes de atender a legislação brasileira vigente, mais especificamente a portaria de potabilidade do Ministério da Saúde nº5/2017, que exige uma turbidez mínima de 1 uT. Além disso, nos estudos supracitados, a remoção total do parâmetro coliformes totais só foi possível por meio da adoção de procedimentos adicionais de desinfecção pós-filtração.

No presente trabalho substituiu-se e verificou-se a eficiência dos meios filtrantes convencionais (areias e pedregulhos) por agregados reciclados (AR), que segundo a resolução CONAMA nº 307/2002 definem-se como “material granular proveniente do beneficiamento de resíduos da construção e demolição civil (RCD), que apresentam características técnicas para a aplicação em obras de edificação e infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia”), a fim de propor

um FLD mais eficiente, já que os AR possuem características físicas úteis na filtração, como a alta porosidade.

Martins e Pimentel (2017) avaliaram as características de amostras de AR como miúdos e grãos, para determinar se as mesmas atendiam os requisitos necessários para aplicação na produção de concreto sem função estrutural. Os autores observaram que os AR possuem como características a alta porosidade e capacidade de absorção de água, sendo esta até 6 vezes maior quando comparada ao agregado natural, fator este que interfere diretamente na resistência do concreto.

Limbanchiya *et al.* (2000) observaram que os agregados de RCD são mais porosos que os naturais, oriundos de rochas calcárias e ígneas, sendo que essa porosidade, que reflete diretamente em maior absorção de água, está associada a presença de pasta de cimento endurecida que compõe grande parcela dos RCD. Quando o AR é utilizado para fabricação de concreto, valores elevados de porosidade interferem na qualidade final do concreto: quanto maior a porosidade, menor a resistência e durabilidade do mesmo (ANGULO, 2005).

Evidencia-se que a porosidade característica do AR é uma objeção quando analisa-se a possibilidade de utilização em concretos, porém, essa característica, pode ser encarada como vantajosa quando se trata do emprego do AR como meio filtrante para filtros lentos, já que a maior porosidade indica maiores índices de vazios no meio filtrante, o que repercute em um maior

número de caminhos filtrantes para obstruir a passagem de partículas sólidas, matéria orgânica e microrganismos.

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi o de comparar a eficiência de um filtro lento domiciliar construído com meios filtrantes inteiramente reciclados de resíduos da construção e demolição (FLD reciclado), com um filtro lento domiciliar convencional (FLD natural), avaliando características físico-químicas e microbiológicas da água filtrada.

MATERIAL E MÉTODOS

Estruturação dos Filtros Lentos Domiciliares

Construiu-se dois filtros lentos domiciliares (FLD), idênticos, porém em um foi adicionado meio filtrante natural (convencional) e no outro material inteiramente reciclado de RCD. Os corpos dos FLD foram construídos com base no modelo proposto CAWST (2009), que admite filtros feitos de concreto, plástico ou qualquer material que seja impermeável, não tóxico e que não enferruje. Os FLD aqui propostos foram estruturados em corpos de galões de 20L de água mineral, cortados, encaixados e colados, conforme esquema apresentado na figura 1.

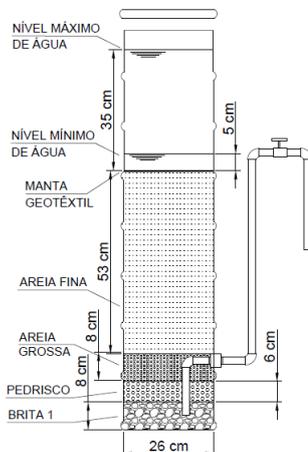


Figura 1. Dimensões (em cm) dos FLD avaliados

Para cada filtro foram utilizados quatro galões de água mineral, mantendo-se o fundo de um dos galões, sendo que este serviu como base para os outros três cujos fundos e topos foram cortados, utilizando-se de serra elétrica de disco. Em seguida as peças foram lixadas e coladas com adesivo plástico para PVC® (TIGRE), encaixando-se uma na outra, de forma a estruturar um corpo de 115 cm de altura. Por fim, como última etapa da montagem do corpo, passou-se silicone de vedação nas junções de todas as peças, por dentro e por fora, visando-se máxima estanqueidade.

Quanto às tubulações de saída de água, para cada FLD utilizou-se os seguintes materiais: 1 – adaptador soldável com flange 1”; 7 – adaptadores roscáveis 1”; 4 – joelhos roscáveis 1”; 1 – nipel roscável 1”; 1 – registro soldável 1” e cerca de 140 cm de tubulação de PVC 1”. Optou-se na escolha de peças roscáveis ao invés de soldáveis por proporcionar maior facilidade na montagem e transporte dos filtros. Todas as conexões entre as tubulações e o corpo dos FLD foram realizadas, novamente, utilizando-se de adesivo plástico para PVC e silicone para vedação. A figura 2 traz uma visão geral dos FLD ao final da estruturação. Ressalta-se que, após a montagem dos filtros e a secagem total do adesivo plástico para PVC e do silicone de vedação, realizou-se o teste de estanqueidade: encheu-se os FLD com água até o nível máximo atestando-se a ausência de vazamento no período de 24 horas.

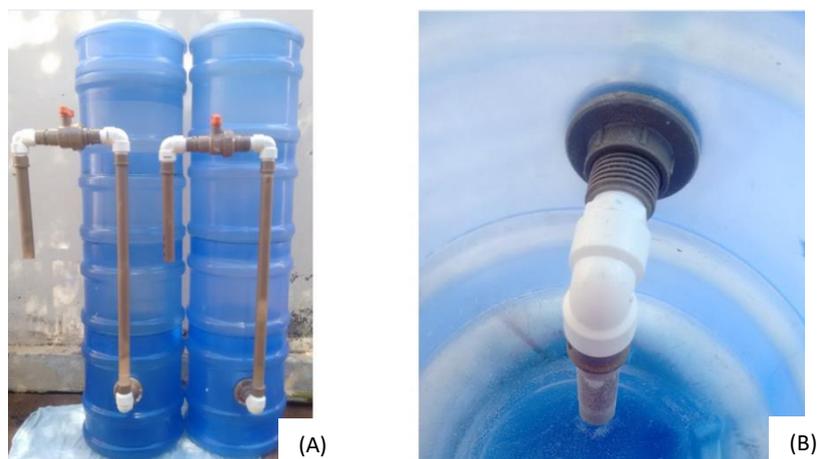


Figura 2. Visão geral dos FLD - (A) Parte externa e (B) Parte interna.

Coleta e Preparo dos Meios Filtrantes e das Amostras de Água

Adquiriu-se em um depósito de materiais de construção cerca de 140 kg de areia fina extraída em porto, 30 kg de areia grossa de cava, 30 kg de pedrisco normatizado de granito e basalto e, 30 kg de brita nº 1 de diabásio. Os meios filtrantes reciclados foram coletados em uma usina recicladora de resíduos da construção civil. Coletou-se aproximadamente 200 kg de agregado reciclado miúdo (areia), 30 kg de brita nº 1 reciclada e 30 kg de pedrisco reciclado.

As areias foram peneiradas em agitador mecânico a fim de restringi-las dentro de limites granulométricos conhecidos. Padronizou-se dois limites: areia fina (1,20 a 0,30 mm) e areia grossa (4,75 a 1,20 mm). Coletou-se agregado reciclado miúdo e de sua totalidade separou-se areia grossa e fina. Quanto à areia extraída em porto, aproveitou-se sua fração de 1,20 a 0,30 mm e a de cava a porção retida entre 4,75 a 1,20 mm. Não se peneirou os pedriscos e as britas visto que seus limites são conhecidos e padronizados.

Tais materiais foram lavados conforme ABNT NBR 11799:1996 (Material filtrante – Areia, antracito e pedregulho) antes de serem colocados dentro de seus respectivos FLD (ABNT,2016). Os agregados graúdos (brita 1 e pedrisco) e as areias grossas, foram lavados até que a água de lavagem apresentasse turbidez baixa, sendo classificada grosseiramente como límpida. Esse mesmo tratamento não foi possível de ser reproduzido para a areia fina natural e reciclada, que depois de repetidas lavagens, a água resultante apresentou turbidez mais elevada que a inicial.

Após terem sido separados granulometricamente e lavados, os meios filtrantes foram adicionados aos FLD. Contudo, visando-se evitar a ocorrência de caminhos preferenciais na areia fina (AHMMED, 2011; YOUNG-ROJANCHI, 2014 *apud* SHIGEOKA, 2016), antes de alocar os meios filtrantes nos filtros, os corpos dos FLD foram preenchidos com água tratada e distribuída pela Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento de Campinas-SP (SANASA). Só então, os meios filtrantes foram adicionados

obedecendo-se a seguinte sequência: brita nº1, seguida de pedrisco, areia grossa e por fim, a areia fina. Quanto à espessura das camadas, utilizou-se como referência o modelo proposto por Magalhães e Sabogal (2013). Além disso, em ambos os filtros foi adicionada uma manta geotêxtil acima da camada de areia fina, para que durante a alimentação dos filtros não houvesse suspensão de sólidos na água.

Após total drenagem da água tratada adicionada previamente, os FLD foram postos em operação por bateladas, sendo alimentados com água destilada, por um período de uma semana. Tal procedimento fez-se necessário para a total remoção da água tratada, que contém cloro, flúor e substâncias que poderiam interferir na formação da camada microbiana (*Schummutzdecke*) dos FLD e consequentemente falsear os testes de remoção de coliformes.

Posteriormente, adicionou-se em cada FLD cerca de 30L de água coletada de um lago, localizado no Parque Ecológico Prof. Hermógenes de Freitas Leitão em Campinas-SP, onde havia a suspeita de lançamentos clandestinos de esgoto, o que se evidenciou pela presença de certa quantidade de algas. A água adicionada foi mantida por um período de uma semana dentro dos FLD, para a possível ativação da camada microbiana dos FLD.

O lago em questão também serviu de local de coleta de água para os ensaios físico-

químicos e biológico, porém para esses ensaios foram utilizadas amostras de água preparadas da seguinte forma: para cada 20L de água oriunda do lago eram adicionados 60L de água destilada propositalmente contaminada com finos (partículas menores que 75µm), visando a indução de turbidez por adição de material particulado. Os filtros eram alimentados manualmente até o nível máximo de água (figura 1) e postos em operação pelo período de 1 mês. As coletas eram sempre realizadas no dia anterior aos ensaios.

Caracterização dos Meios Filtrantes

Os ensaios empregados na caracterização dos meios filtrantes são comumente utilizados para caracterizar agregados miúdos (<4,75 mm) e graúdos (>4,75 mm) da construção civil. Para as areias (natural e reciclada) realizou-se a determinação das seguintes propriedades: curva granulométrica, tamanho efetivo, coeficiente de uniformidade, absorção de água, teor de material passante na malha 75 µm (finos), massa específica e massa específica aparente. Enquanto que para os materiais graúdos (pedriscos e britas nº1) e também para as areias grossas, ensaiou-se: absorção de água, teor de material passante na malha 75 µm (finos), massa específica e massa específica aparente. As características dos agregados foram obtidas conforme as normas técnicas apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Propriedades ensaiadas e normas técnicas

Propriedades	Areia Fina e Grossa	Pedrisco e Brita 1
Curva granulométrica	NBR NM 248*	N.E
Tamanho efetivo	NBR 11799*	N.E
Coefficiente de uniformidade	NBR 11799*	N.E
Capacidade de absorção de água	NBR NM 30	NBR NM 53
Teor de finos	NBR NM 46	NBR NM 46
Massa específica	NBR NM 52	NBR NM 53
Massa específica aparente	NBR NM 52	NBR NM 53

N.E – Propriedade não ensaiada,
* – Apenas ensaiado para areias finas.

As propriedades ensaiadas foram determinadas após o preparo granulométrico de peneiramento e da lavagem dos materiais, a fim de retratar da forma mais realista possível as características dos meios filtrantes dentro do FLD. Além dos ensaios descritos anteriormente, foram realizadas três medições da taxa de filtração dos FLD estudados: uma logo após a colocação dos meios filtrante e as outras duas nos dois períodos de ensaios físico-químicos e biológico. O procedimento para tanto resumiu-se em medir através do uso de uma proveta graduada o volume de água filtrada em um espaço de tempo e área

conhecido. Ressalta-se que as medições ocorreram sempre com os FLD em nível máximo de água (35 cm), conforme feito por Chan *et al.* (2015). Este nível pode ser visualizado no esquema da figura 1.

Ensaio de Qualidade da Água

Os ensaios realizados para verificar a qualidade da água consistiram na mensuração das concentrações de alguns dos padrões incluídos na Portaria de potabilidade da água nº 5/2017. Dividiram-se os parâmetros de ensaio em dois grupos, físico-químicos e biológico, conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2. Ensaio físico-químicos e biológicos

Ensaio Físico-químicos	Método
pH	Eletrométrico – pHmetro APHA (2012) – 4500B
Sólidos dissolvidos totais	APHA (2012) - 2540 C
Turbidez	Turbidímetro – APHA (2012) - 2130 B
Ensaio Biológico	Método
Coliformes totais	APHA (2012) – 9223 B

As análises de qualidade de água foram realizadas em dois períodos, com um espaço de tempo de uma semana entre uma medição e outra. Para cada análise coletou-se e preparou-se água bruta (AB) a ser filtrada, conforme exposto no item “Coleta e Preparo dos Meios Filtrantes e das Amostras de Água”. Antes de se iniciar a operação

de filtragem, coletava-se AB e já se realizava os seus ensaios de qualidade.

Após esse processo iniciava-se a operação de filtração. O FLD natural e o reciclado eram alimentados com a água preparada, porém as amostras só eram coletadas quando se verificava que a AB adicionada no topo dos filtros já havia

percolado toda extensão dos mesmos. Para tanto, adicionava-se a água por etapas: cerca de 60L de AB em cada FLD, valor suficiente para percolação total nos filtros. Este procedimento se fez necessário para garantir que a água coletada na saída fosse de fato a água preparada para o ensaio submetida à filtração.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características dos Meios Filtrantes

Composição Granulométrica

A determinação da composição granulométrica foi realizada apenas para as areias finas, visto que tais materiais apresentam grande influência nas características das águas filtradas, e os que oferecem maior variação. Os resultados são referentes à curva granulométrica, exposta na figura 3, tamanho efetivo e coeficiente de uniformidade, que foram apresentados na tabela 3.

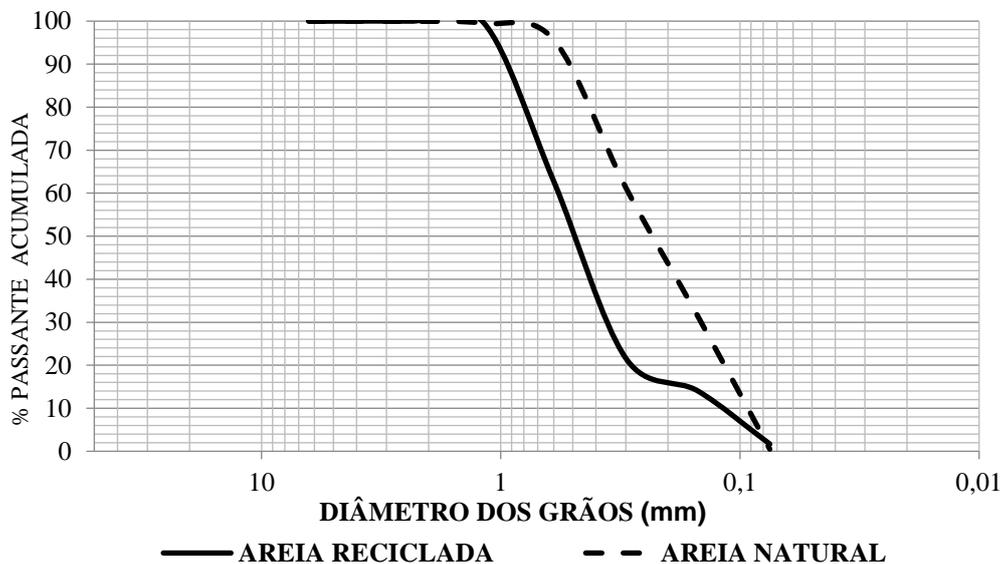


Figura 3. Curva granulométrica das areias finas

Por meio da análise da curva granulométrica, nota-se que a areia fina natural apresenta grãos de diâmetro menor, em relação à areia fina reciclada. A curva também demonstra que apesar da areia reciclada possuir na sua composição grãos maiores, a mesma, apresentou

maior variabilidade de grãos, evidenciando que quando se analisa a faixa de 10 a 20% de material passante, nota-se uma descontinuidade granulométrica, com excesso de material de diâmetro entre 0,2 e 0,3mm.

Tabela 3. Tamanho efetivo e coeficiente de uniformidade das areias finas

Material	Tamanho efetivo (mm)	Coefficiente de Uniformidade
Areia fina natural	0,09	3,33
Areia fina reciclada	0,13	4,46

Recomenda-se que o valor do tamanho efetivo seja de 0,15 a 0,30 mm para filtração lenta

(DI BERNARDO *et al.*, 1999). Assim sendo, nenhum dos materiais ensaiados enquadraram-se

dentro da recomendação, mas a areia fina reciclada foi a que teve valor mais próximo. Os mesmos autores apontam que quanto menor for o valor do coeficiente de uniformidade, mais uniforme é o material granular, e assim, maior será a penetração de impurezas e maior é a duração da carreira de infiltração. Os referidos autores expõem que o valor do coeficiente de uniformidade para filtros lentos deve estar entre 2 e 5, deste modo, tanto o material reciclado, quanto o natural enquadraram-se dentro do limite proposto.

Características Físicas

Para todos os agregados empregados na construção dos FLD, sejam eles reciclados ou naturais, foram ensaiadas as seguintes propriedades físicas: capacidade de absorção de água, teor de finos, massa específica e massa específica aparente. Para cada propriedade realizou-se três determinações, sendo os resultados expostos na tabela 4.

Tabela 4. Características físicas dos meios filtrantes

Material	Absorção de água (%)	Teor de finos (%)	Massa específica (g/cm³)	Massa esp. aparente (g/cm³)
Areia fina natural	1,71 ± 0,43	0,42 ± 0,09	2,69 ± 0,02	2,74 ± 0,03
Areia fina reciclada	13,97 ± 0,95	2,07 ± 0,37	2,05 ± 0,03	2,33 ± 0,06
Areia grossa natural	4,10 ± 0,56	0,59 ± 0,11	2,39 ± 0,06	2,49 ± 0,05
Areia grossa reciclada	8,95 ± 0,89	0,47 ± 0,01	2,23 ± 0,05	2,43 ± 0,03
Pedrisco natural	1,25 ± 0,20	0,00 ± 0,00	2,82 ± 0,05	2,86 ± 0,04
Pedrisco reciclado	6,01 ± 0,11	0,00 ± 0,00	2,32 ± 0,02	2,46 ± 0,02
Brita n°1 natural	1,04 ± 0,13	0,00 ± 0,00	2,97 ± 0,03	3,00 ± 0,03
Brita n°1 reciclada	5,86 ± 0,49	0,00 ± 0,00	2,39 ± 0,01	2,53 ± 0,02

Em relação à capacidade de absorção de água, nota-se que os valores obtidos para os meios filtrantes reciclados são bem maiores quando comparados aos naturais. Para a areia grossa, pedrisco e brita n°1 reciclados, esses valores são derivados dos materiais cimentícios que compõe as amostras. Já para a areia fina reciclada, além do material cimentício, uma certa porção de argila presente no material contribui para maior absorção de água.

Martins e Pimentel (2017) concluíram que os agregados reciclados possuem por característica maior absorção de água, até 6 vezes maior quando comparado aos naturais. A alta quantidade de torrões de argila e material fino também consiste

em outra característica das areias recicladas, que se deve à sua composição com alto teor de solos e tijolos.

Os teores de finos, igual às outras propriedades físicas dos meios filtrantes foram determinados apenas após peneiramento e lavagem dos materiais, assim não resultam em valores para os agregados na sua forma original. Portanto, o teor de finos neste caso, tem a função de apontar a eficiência da lavagem dos meios filtrantes. Objetiva-se na lavagem a remoção da maior quantidade de finos possível, deste modo verificasse 100% de eficiência na lavagem das britas e pedriscos, reciclados e naturais.

As areias, principalmente a reciclada fina, não se mostraram totalmente “limpas” para serem colocadas nos FLD, apesar de intensa lavagem. Essa característica pode oferecer problemas na operação dos filtros, materiais finos, ou seja, menores que 75 μm , tendem a subir para a camada mais superficial do FLD, resultando em baixas eficiências de filtração ou até mesmo entupimentos.

Taxa de Filtração

Foram executadas três medições da taxa de filtração para cada FLD. Uma logo após a colocação dos meios filtrantes, sendo essa a medição 1, e as outras duas nos dois períodos de ensaios que se procederam, representando as medições 2 e 3. O resultado de cada medição apresenta-se como sendo a média de três determinações, seguida do desvio padrão. Na tabela 5 encontram-se os valores.

Tabela 5. Taxas de filtração ao nível máximo de água (35 cm)

Filtro	Medição 1 (m³/m²dia)	Medição 2 (m³/m²dia)	Medição 3 (m³/m²dia)
FLD natural	10,77 \pm 0,28	10,32 \pm 0,25	10,02 \pm 0,13
FLD reciclado	3,76 \pm 0,16	3,23 \pm 0,15	1,87 \pm 0,03

O FLD natural, apesar de possuir a areia fina de menor granulometria, o que teoricamente proporcionaria menores taxas de filtração, apresentou resultados 2,9 a 5,4 maiores em relação ao FLD reciclado. A baixa capacidade de filtração do FLD reciclado em comparação ao natural possivelmente é consequência de certa porção de argila contida na areia fina reciclada. Verificou-se também a ocorrência de redução nas taxas de filtração ao longo das três medições para o FLD natural, porém nada acentuado como ocorreu no FLD reciclado, principalmente da medição 2 para a 3, quando se notou redução de 42% da capacidade de filtração.

No que diz respeito à queda da taxa de filtração do FLD reciclado, associa-se tal redução à parcela de argila não removida na lavagem, argila que pode ser denotada também por materiais finos. Como descrito anteriormente, “materiais finos tendem a subir para a camada mais superficial do

FLD, isso pode resultar em menores taxas de filtração ou até mesmo em entupimentos”. Manz (2004) sugere que quando as taxas de filtração comecem a diminuir seja feita a limpeza superficial do filtro. Segundo esse autor, essa limpeza é feita removendo 5,0 cm da superfície do meio filtrante, através de um processo de raspagem, que demanda o pré-esvaziamento do filtro. O material retirado é lavado para remoção do particulado e devolvido ao FLD, dessa vez com água, para evitar a formação de caminhos preferenciais de ar. Conjectura-se que esse procedimento seja suficiente para remover a argila que ascendeu para a camada superficial, e para retomar os valores iniciais da taxa de filtração do FLD reciclado.

Qualidade da Água Tratada

pH

Os valores observados para o pH encontram-se na tabela 6. Ressalta-se que as

medições foram feitas logo após a coleta das águas filtradas.

Tabela 6. Medições de pH logo após a filtração

Amostra	pH Período 1	pH Período 2	Recomendações de pH Portaria MS nº5/2017
Água bruta	8,88	8,35	
FLD natural	7,99	7,66	6,0 a 9,5
FLD reciclado	11,09	10,33	

Os valores de pH para as águas tratadas no FLD natural mostraram-se menos básicas do que as águas brutas. Nos dois períodos os resultados obtidos para água filtrada pelo FLD natural estão dentro das recomendações da portaria de potabilidade. O pH das águas do FLD reciclado apresentam-se com considerável basicidade, não atendendo as recomendações da referida portaria. A alta elevação do pH é decorrente da quantidade de materiais cimentícios que compõem os meios filtrantes reciclados.

Cimentos Portland apresentam pH em solução aquosa de 12 a 14 (VOTORANTIM, 2012). Richter e Azevedo Netto (2002) dissertam que em águas com pH de 11 a 9,4 geralmente há a presença de hidróxidos e carbonatos. Uma das principais matérias primas do cimento é o calcário, que pode conter em sua composição valores de Carbonato de Cálcio (CaCO_3) na faixa de 80% (SAMPAIO; ALMEIDA, 2005). Deste modo, atribui-se o elevado pH das águas do FLD reciclado a liberação de CaCO_3 pelos agregados reciclados usados como meios filtrantes.

A fim de reduzir a alcalinidade das águas filtradas do FLD reciclado, as amostras foram deixadas em repouso em recipientes abertos

expostos a temperatura ambiente, durante 15 dias. Esse tratamento foi realizado objetivando solucionar o problema, pautando-se em dois conceitos teóricos:

1. O CaCO_3 é um sal insolúvel em água, deste modo, quando as águas foram deixadas em repouso o CaCO_3 tendeu-se a ficar em suspensão, dissociando-se das águas e ficando concentrado na superfície.
2. O gás carbônico (CO_2) encontrado na atmosfera na forma livre, em contato com água, entra em dissolução e libera ácido carbônico (H_2CO_3) (FUNASA, 2014). Esta liberação de H_2CO_3 fez-se ocorrer certo grau de neutralização nas águas.

Os resultados de pH após o repouso das águas por 15 dias, encontram-se na tabela 7.

Tabela 7. Medições de pH após 15 dias de repouso

Amostra	pH Período 1 (15 dias depois)	pH Período 2 (15 dias depois)	Recomendações de pH da Portaria MS nº5/2017
Água bruta	não analisado	não analisado	
FLD natural	7,10	7,46	6,0 a 9,5
FLD reciclado	7,29	7,78	

O tratamento proposto mostrou-se eficiente, os valores de pH para o FLD reciclado saíram de 11,09 e 10,33 para 7,29 e 7,78, demonstrando uma neutralização considerável nas águas. Para o FLD natural, os valores reduziram pouco, assim pode-se dizer que o tratamento não tem a capacidade de acidificar as águas, mas sim de neutralizar. Todos os valores após 15 dias cumpriram com as recomendações da Portaria nº

05/2017. No entanto, esse tratamento demandou muito tempo, o que na prática é inviável já que o período de 15 dias é muito longo para a água ficar estagnada, possibilitando a sua re-contaminação.

Turbidez

Os valores de turbidez encontram-se na tabela 8, sendo o resultado apresentado à média de três medições, seguido do desvio padrão.

Tabela 8. Medições de turbidez

Amostra	Turbidez Período 1 (uT)	Turbidez Período 2 (uT)	Requisitos da Portaria MS nº 5/2017(uT)
Água bruta	470 ± 3,00	92,8 ± 1,14	
FLD natural	122 ± 0,00	14,15 ± 0,09	≤1
FLD reciclado	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,00	

Veras e Di Bernardo (2008) observaram que dos processos de tratamento de água que não envolvem coagulação química, a filtração lenta e a cloração são os principais tratamentos capazes de oferecer água segura para a população. Porém a eficiência da filtração lenta convencional é limitada pela turbidez, valores de água bruta acima de 10 uT comprometem a eficiência dos filtros. Para os filtros lentos oferecerem água filtrada com turbidez baixa e que apresentem carreiras de filtração razoáveis, muitos pesquisadores limitam em 10 uT a turbidez da água bruta (Di Bernardo *et al.*, 1999).

Chan *et al.* (2015) reproduziram um FLD seguindo as orientações de CAWST (2009), desde

a estrutura até a granulometria dos meios filtrantes. Ao longo de 64 dias analisou-se a turbidez da água filtrada, a qual teve uma média de 1,24 uT, sendo que a água de entrada no filtro apresentou-se com turbidez média de 6,60 uT, representando 81,21% de remoção. Jenkins *et al.* (2011) obtiveram o mesmo valor médio para a água filtrada, 1,24 uT, entretanto com uma redução mais elevada, de 89%. Apesar dos bons índices, os dois trabalhos não atingem as exigências da Portaria nº 05/2017.

Tomando-se como referência o valor de 10 uT, no presente estudo a turbidez da água bruta apresentou-se 47 vezes maior do que o recomendado no período 1 e, aproximadamente 12

vezes maior no período 2. Entretanto, em ambos os casos, os valores para a água filtrada pelo FLD reciclado foi de apenas 0,02 uT, valor idêntico ao encontrado em água destilada analisada, ou seja, a remoção de turbidez pelo FLD reciclado nos dois períodos foi de praticamente 100%, apresentando uma água final com valor de turbidez muito abaixo do requisitado.

Tal remoção promovida pelo filtro com material reciclado relaciona-se com a argila presente na areia fina reciclada. Este material apesar de reduzir as taxas de filtração, mostrou-se muito eficiente na remoção de turbidez. Além da argila, atribui-se a elevada eficiência obtida também aos

materiais cimentícios, que são mais porosos, e conseqüentemente conseguem barrar mais partículas em seus vazios. A água filtrada no FLD natural, apesar de apresentar valores distantes dos exigidos pela Portaria 05/2017, atingiu valores razoáveis de remoção de turbidez. No período 1 a remoção foi de 74,04% e no período 2 de 84,75%.

Sólidos Dissolvidos Totais

O ensaio de Sólidos Dissolvidos Totais foi realizado em triplicata. A tabela 9 apresenta a média aritmética dos resultados obtidos, seguida do desvio padrão.

Tabela 9. Sólidos Dissolvidos Totais (STD)

Amostra	SDT Período 1 (mg/L)	STD Período 2 (mg/L)	Requisitos da Portaria MS nº 5/2017(mg/L)
Água bruta	988 ± 28,28	260 ± 11,31	
FLD natural	142 ± 2,83	37 ± 1,41	≤1000
FLD reciclado	328 ± 0,00	218 ± 19,80	

Para a água bruta do período 1 em comparação a do período 2, houve uma redução de 80,25% na turbidez, o que representou 73,68% de redução nos STD. O FLD natural removeu 85,62% de STD no período 1 e 85,76% no período 2, os resultados são praticamente idênticos, portanto observou-se uma taxa de remoção de sólidos constante. As águas filtradas no FLD reciclado, apesar de turbidez extremamente baixa, mostraram-se com valores de STD mais elevados quando comparados aos resultados do FLD natural. A maior concentração de STD nas águas filtradas do FLD reciclado pode estar relacionada à liberação, pelos meios filtrantes reciclados que contém grande porcentagem de material

cimentício, de sal insolúvel Carbonato de Cálcio (CaCO_3) ao longo do processo de filtração. Tal comportamento justificaria a redução do pH das águas filtradas do período 1 para o período 2, cujas medidas realizadas foram respectivamente 11,09 e 10,33. Com auxílio da tabela 9, observa-se que a taxa de redução de STD entre o período 1 e 2 foi de aproximadamente 33,5%, bem menor que a verificada no FLD natural no mesmo período.

Coliformes Totais

A Portaria nº 05/2017 exige que as águas destinadas ao consumo humano devam apresentar ausência de coliformes totais. Apenas o FLD reciclado foi capaz de remover 100% dos

coliformes totais nos dois períodos. O FLD natural mostrou-se ineficiente nesse parâmetro, removendo 55,10% no período 1 e apenas 30,30% no período 2, conforme exposto na tabela 10.

Tabela 10. Coliformes totais (CT)

Amostra	CT Período 1 (NMP/100 mL)	CT Período 2 (NMP/100 mL)	Requisitos da Portaria MS nº 5/2017 (NMP/100 mL)
Água bruta	4900	3300	
FLD natural	2200	2300	ausência em 100 mL
FLD reciclado	ausência em 100 mL	ausência em 100 mL	

A baixa eficiência do FLD natural possivelmente seja resultante da não formação ou problemas no desenvolvimento da camada microbiológica do filtro, dado que a remoção pode ter sido afetada pela alta taxa de filtração, e água bruta talvez não tenha ficado tempo suficiente em contato com os possíveis microrganismos. Segundo Di Bernardo *et al.* (1999) o período para a formação da camada microbiológica pode variar de alguns dias até dois meses, dependendo da qualidade da água. Os filtros em estudo operaram por um mês, dessa forma o tempo talvez não tenha sido suficiente para a ativação dos microrganismos.

O FLD reciclado, apesar de ter sido exposto as mesmas águas brutas empregada no Natural, mostrou-se com 100% de eficiência na remoção de CT nos dois períodos. Pode-se atribuir essa eficiência a alguns fatores, como:

1. Ativação da camada microbiológica, o *schumutzdecke* pode ter se consolidado no FLD reciclado, porém essa alternativa é a menos provável, já que os procedimentos de operação se realizaram da mesma forma para os dois filtros, se o *schumutzdecke* formou-se no Reciclado, a

possibilidade de formação no Natural também era esperada. Além de que, os meios filtrantes reciclados oferecem acentuada alcalinidade ao ambiente do FLD, isso pode ser limitador ao desenvolvimento de grande parcela da atividade biológica.

2. Elevado pH, da mesma forma que a alta alcalinidade pode interferir na não formação da camada microbiológica, esta característica do FLD reciclado mostra-se vantajosa na não proliferação de bactérias do grupo CT, o ambiente de caráter básico, possivelmente seja um fator de grande contribuição na remoção de CT.
3. Barreira física, o FLD reciclado apresentou-se com cerca quantidade de argila e principalmente material cimentício na composição da areia fina reciclada, materiais que são responsáveis pela remoção eficiente da turbidez. Estes dois materiais (argila e componentes cimentícios) reduzem o tamanho dos poros

filtrantes, que dependendo do tamanho atingido podem ser capazes de reter bactérias, que possuem diâmetros entre 0,1 a aproximadamente 10 µm.

Pode-se aferir indiretamente que além de remover 100% dos coliformes totais nos períodos analisados, o FLD reciclado removeu também 100% de *Escherichia coli* das águas filtradas, já que essa bactéria faz parte do grupo de coliformes que fermentam a lactose e produzem gás (FUNASA, 2013).

CONCLUSÃO

O FLD reciclado atendeu todos os parâmetros da Portaria MS nº 5/2017 analisados, destacando-se: a remoção de turbidez, que se apresentou com valor idêntico a uma água destilada (0,02 uT), sendo que a turbidez da água bruta chegou a ser 47 vezes maior do que o recomendado para uma remoção eficiente; e a remoção de 100% dos coliformes totais. Por sua vez, o FLD natural, apesar de certo potencial na purificação das águas, demonstrado principalmente pela remoção de aproximadamente 86% de sólidos dissolvidos totais, e até 84,75% da turbidez, não mostrou-se apto em cumprir com as exigências da legislação vigente nos parâmetros turbidez e coliformes totais, portanto, não está preparado a atender pequenas comunidades isoladas, diferentemente do FLD reciclado, que atende até os padrões microbiológicos sem desinfecção prévia.

Tal discrepância nos resultados dos filtros é consequência da diferenciação das características

dos meios filtrantes reciclados em comparação aos naturais, que possuem certa porção de argila e material cimentício, que apesar de promover uma eficiente filtração, atestada pelos ensaios realizados, causa problemas relevantes na taxa de filtração e liberação de carbonato de cálcio, conduzindo a uma elevada alcalinidade que necessita ser corrigida, por meio do simples trabalho de descanso da água em contato com o CO₂ atmosférico.

Assim, diante da possibilidade de promoção dos FLD reciclados como alternativa tecnológica em localidades com baixo adensamento populacional e, considerando-se o desenho experimental e resultados obtidos com o presente estudo, sugere-se o aprofundamento das pesquisas no sentido da identificação das melhores alternativas de alimentação dos filtros, da determinação do tempo de maturação e da redução do tempo de repouso necessário para que a água filtrada esteja apta para consumo.

REFERÊNCIAS

- Angulo SC. Caracterização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2005.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. *NBR 11799: Material filtrante – Areia, antracito e pedregulho*. Rio de Janeiro, ABNT: 2016.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. *NBR NM 30: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água*. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

- Associação Brasileira De Normas Técnicas. *NBR NM 46: Agregados – Determinação do material que passa através da peneira 75µm, por lavagem*. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. *NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. *NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. *NBR NM 248: Agregados – determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- Apha. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. 22nd ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation; 2012.
- Brasil. *Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em Etas*. 1nd ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde; 2014.
- Brasil. *Manual prático de análise de água*. 4nd ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde; 2013.
- Brasil. Portaria 2914, de 12 de novembro de 2011. Publicado no *Diário Oficial da República Federativa do Brasil* nº239, Seção 1, 14 dez. 2011, 39-46. Ministério da Saúde; 2011.
- Brasil. Resolução CONAMA n. 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil. Publicado no *Diário Oficial da União*, n. 136, Brasília, 17 jul; 2002.
- Cawst. *Biosand Filter Manual: Design, Construction, Installation, Operation and Maintenance. Training Manual*. Canadá; 2009.
- Chan CCV, Neufeld K, Cusworth D, Gavrilovic S. Investigation of the Effect of Grain Size, Flow Rate and Diffuser Design on the CAWST Biosand Filter Performance. *International Journal for Service Learning in Engineering, Humanitarian Engineering and Social Entrepreneurship*. 2015; 10: 1-23.
- Di Bernardo L, Brandão CSS, Heller L. *Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas*. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB; 1999.
- Jenkins M W, Tiwari SK, Darby J. Bacterial, viral and turbidity removal by intermittent slow sand filtration for household use in developing countries: Experimental investigation and modeling. *Water Research*. 2011; 45: 6227-6239.
- Limbachiya MC, Leelawat T, Dhir RK. Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete. *Materials and Structures*. 2000; 233: 574-580.
- Magalhães EV, Sabogal LPP. *Filtração Lenta Domiciliar como Alternativa de Tratamento de Água para comunidades Isoladas do Brasil – Desafios na Construção*. In: *Anais do Simpósio Internacional De Iniciação Científica Da Usp*; 2013; São Carlos. São Carlos: Universidade de São Paulo; 2013.
- Manz DH. New Horizons for Slow Sand Filtration. In: *The Eleventh Canadian National Conference and Second Policy Forum on Drinking Water and the Biennial Conference of the Federal-Provincial Territorial Committee on Drinking Water, Promoting Public Health Through Safe Drinking Water*; 2004; Calgary; 2004.
- Martins VJ, Pimentel LL. *Avaliação de agregados reciclados produzidos na cidade de Campinas-SP*. In: *Anais Do 1º Workshop De Tecnologia De Processos E Sistemas Construtivos*; 2017; Campinas. Campinas: Antac; 2017.
- Mendes CGN. *Tratamento de Águas para Consumo Humano – Panorama Mundial e*

- Ações do PROSAB. In: Pádua VL. Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. 1nd ed. Belo Horizonte: PROSAB; 2006.
- Oms/Unicef. 25 years Progress on Sanitation and Drinking Water [internet]. [acesso em 24 ago 2017]. Disponível em: <https://www.unicef.pt/progressos-saneamento-agua-potavel/files/progress-on-sanitation-drinking-water2015.pdf>.
- Richter CA, Azevedo Netto JM. Tratamento de água: Tecnologia atualizada. São Paulo: Edgard; 2002.
- Sampaio JA, Almeida SLM. Calcário e Dolomito. In: Luz AB, Lins FAF. Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações. Rio de Janeiro: CETEM/MCT; 2005.
- Sharma LM, Sood S. Reinventing the Biosand Filter: An Easy Solution for Safe Drinking Water. IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. 2016; 10: 43-48.
- Veras LRV, Di Bernardo L. Tratamento de água de abastecimento por meio da tecnologia de filtração em múltiplas etapas – FIME. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2008; 13: 109-116.
- Votorantim. Ficha de informações de segurando de produtos químicos – FISPQ (NBR 14725-4:2009) [internet]. [Acesso em 23 set 2017]. Disponível em: <http://votorantimcimentos.com.br/extras/pdf/CIMENTO.pdf>.