

AREIA DE BRITAGEM: CARACTERÍSTICAS E DESEMPENHO NA FILTRAÇÃO RÁPIDA NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Bruno Moreno Ramos da Silva⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental (UFV), Mestre em Engenharia Civil (UFV), Doutorando em Engenharia Civil (UFV).

Rafael Kopschitz Xavier Bastos

Engenheiro Civil (UFJF), Especialização em Engenharia de Saúde Pública (ENSP/FIOCRUZ), PhD em Engenharia Sanitária (University of Leeds, UK), Professor Titular - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Pedro Kopschitz Xavier Bastos

Engenheiro Civil (UFJF), Mestre em Engenharia Civil (UFF), Doutor em Engenharia Civil (USP), Professor Associado - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

Endereço⁽¹⁾: Av. P.H. Rolfs, s/n, Departamento de Engenharia Civil - UFV, Campus Universitário, Viçosa - Minas Gerais - CEP: 36570-900 - Brasil - Tel: +55 (31) 3612-1536 - e-mail: bruno.moreno@ufv.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de areia de britagem como leito filtrante de filtros rápidos para tratamento de água. Os experimentos foram realizados em unidades piloto de filtração: uma com leito de areia de britagem e outra com areia natural de rio. Ambos os leitos foram preparados de acordo com padrões de norma para filtração rápida em areia (granulometria e profundidade do leito de filtro), sendo ainda caracterizados em termos de composição química e características físicas. Ao longo de quatro meses, 14 carreiras usando taxas de filtração de 90, 180, 270 e 360 m³ m⁻² d⁻¹, foram monitoradas e caracterizadas com base no incremento da perda de carga e na remoção de turbidez ao longo da profundidade do filtro, além da duração da carreira. O desempenho do filtro de areia de britagem foi semelhante ao do filtro de areia natural, tanto em termos de incremento da perda de carga e duração da carreiras, quanto em relação à qualidade da água filtrada turbidez menor que 0,50 UT ao longo de todas as carreiras. Conclui-se que a areia de britagem apresenta potencial para uso como meio filtrante para filtração rápida no tratamento de água, sem desvantagens técnicas ou operacionais.

PALAVRAS-CHAVE: areia de britagem, filtração rápida, tratamento de água.

INTRODUÇÃO

O tratamento da água para consumo humano consiste, fundamentalmente, no emprego de processos físicos e químicos para clarificação e desinfecção da água. No caso de mananciais superficiais, envolve, portanto, técnicas de filtração - filtração lenta, filtração rápida em ciclo completo ou por filtração direta – cuja escolha dependerá, essencialmente, da qualidade da água bruta e da vazão demandada. Na realidade, a filtração constitui etapa crucial não somente para a clarificação da água, mas também para a remoção de organismos patogênicos, principalmente de cistos e oocistos de protozoários (LIBÂNIO, 2016).

Tradicionalmente utiliza-se areia natural de rio como leito filtrante de filtros de estações de tratamento de água (ETA). Porém, as jazidas de areia natural vêm sofrendo esgotamento progressivo (BARBOSA *et al.*, 2008), além do que, muito frequentemente, a areia de rio é extraída de forma irregular e predatória, com agressão às calhas e margens dos rios (ALVES, 2002). Portanto, desde os pontos de vista ambiental e econômico, destaca-se a importância de realização de estudos que empreguem outros materiais como leito filtrante. Há exemplos de experiências de sucesso na filtração rápida para o tratamento de água para consumo humano com o uso de leito filtrante de perlita (ULUATAM, 1992), pedra pomes (FARIZOGLU *et al.*, 2003) e vidro moído (SOYER *et al.*, 2010).

A areia de britagem, também denominada areia industrial ou areia artificial, é um agregado miúdo resultante da britagem de rochas, produzida em equipamento específico nas mesmas plantas de mineração para produção de agregados maiores para construção civil, como a brita. Na área de construção civil, alguns estudos empregando areia

de origem gnáissica como substituto da areia natural de rio na produção de argamassa e concreto têm sido realizados com sucesso (BASTOS *et al.*, 2006). Esse material é proveniente da atividade mineradora, em geral licenciada, e se apresenta como um material mais uniforme e isento de impurezas, com custo de produção bem mais baixos (BASTOS *et al.*, 2006). Devido às características granulares do material e à similaridade com a areia natural de rio, é possível que a areia de britagem possa também ser empregada em filtros rápidos descendentes de ETA. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho do tratamento de água por filtração rápida empregando areia de britagem como leito filtrante.

MATERIAL E MÉTODOS

Preparo e caracterização da areia de britagem

A areia de britagem utilizada nos experimentos foi fornecida pela empresa Petra Agregados (MG). A partir do produto “Areia Industrial Média”, funcionários da empresa separaram as frações granulométricas adequadas à filtração rápida descendente (0,42 a 1,7 mm), correspondentes a 25% em peso do material bruto. Essa fração foi submetida ao peneiramento de forma a obter o volume de leito filtrante necessário e características granulométricas similares às da areia natural de rio (tamanho efetivo = 0,45 mm e coeficiente de desuniformidade = 1,44), típicas da filtração rápida descendente em camada simples para tratamento de água (ABNT, 1992). O leito de areia de britagem obtido foi então caracterizado em termos das seguintes variáveis: massa específica dos grãos, massa específica aparente, porosidade, solubilidade em ácido (HCl 1:1 (v/v)) e coeficiente de esfericidade (com base na equação de Ergun (1952)). A composição química foi determinada por fluorescência de raio X, utilizando um instrumento Shimadzu EDX-700.

Instalação piloto e experimentos de filtração

O sistema piloto foi composto por dois filtros rápidos de escoamento descendente, sendo um com leito filtrante de areia de britagem e, como unidade de controle, um com areia natural de rio. As duas unidades foram construídas em tubulação de acrílico com 19 cm de diâmetro interno e comprimento total de 267 cm. Na parte inferior, os filtros contavam com estrutura para injeção de água tratada em sentido ascendente para realização da retrolavagem. Para fins de leitura do nível da água e determinação das perdas de carga no leito filtrante, bem como para coleta de amostras em diferentes profundidades do leito, mangueiras de silicone foram conectadas ao longo da profundidade do leito filtrante e fixadas a um quadro graduado. Os filtros foram preenchidos com 30 cm de camada suporte de pedregulho e leito filtrante com espessura de 45 cm, tamanho efetivo de 0,45 mm e coeficiente de desuniformidade de 1,44. A parte superior continha apenas uma entrada de 32 mm, conectada a uma canaleta no interior do filtro, 20 cm acima do flange de conexão com a parte inferior.

Os filtros piloto foram instalados nas dependências da Divisão de Água e Esgoto (DAG) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e alimentados com água decantada da ETA UFV, que opera em ciclo completo com as seguintes características pré-filtração: mistura rápida em medidor Parshall e coagulação com sulfato de alumínio, floculação hidráulica e decantação convencional. Os dois filtros piloto foram operados simultaneamente ao longo de quatro meses, com taxas de filtração de 90, 180, 270 e 360 m³ m⁻² d⁻¹, sendo que a recomendação de norma para filtração rápida descendente para filtro de camada simples é 180 m³ m⁻² d⁻¹ (ABNT, 1992). Uma representação esquemática do arranjo experimental das unidades piloto de filtração é apresentada na Figura 1.

As carreiras de filtração foram consideradas finalizadas quando da ocorrência de trespasse que provocasse turbidez da água filtrada superior a 0,50 UT (padrão de potabilidade brasileiro - BRASIL, 2017), ou quando ocorresse o esgotamento da carga hidráulica disponível (180 cm), sendo então realizada a retrolavagem dos filtros. A retrolavagem foi realizada de forma padronizada ao fim de todas as carreiras de filtração: duração de 10 minutos, expansão do leito de 33%, velocidade ascensional de 94 cm min⁻¹ para a areia natural de rio e 106 cm min⁻¹ para areia de britagem.

Durante as carreiras de filtração foram monitoradas a perda de carga e a turbidez ao longo da profundidade dos leitos filtrantes, por meio, respectivamente, do registro da altura da coluna d’água nos piezômetros e da coleta e análise de amostras de água nas mesmas mangueiras utilizadas como piezômetros. As coletas para as análises foram realizadas em intervalos de duas horas.

A eficiência da filtração nos filtros de areia natural e de areia de britagem foi avaliada, comparativamente, com base na duração das carreiras de filtração e na caracterização das carreiras de filtração em termos da evolução da turbidez da água filtrada e da perda de carga.

As análises de turbidez das águas decantada (ETA UFV) e filtrada (instalação piloto) foram realizadas utilizando turbidímetro de bancada marca HACH modelo 2100 AN, calibrado semanalmente.

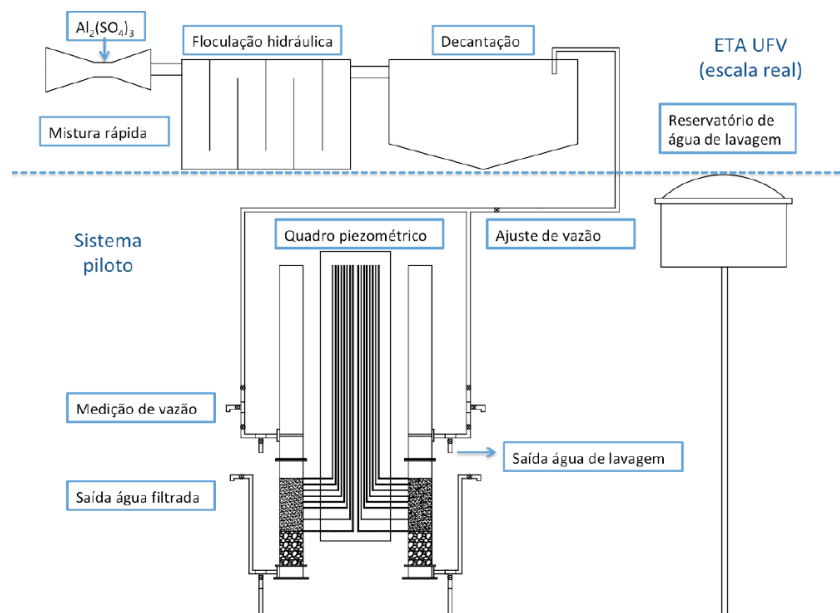


Figura 1: Representação esquemática do arranjo experimental para os ensaios com o sistema piloto de filtração

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 e na Tabela 2 são apresentadas a composição química e as características físicas da areia de britagem, respectivamente.

Tabela 1: Composição química da areia de britagem

Componente	Areia de Britagem (%)
SiO ₂	62,48
Al ₂ O ₃	18,46
CaO	6,97
K ₂ O	4,96
Fe ₂ O ₃	4,77
SO ₃	1,46
TiO ₂	0,72
Outros	0,18

A areia de britagem apresentou pouco mais de 60% de sílica em sua composição, diferentemente da areia natural de rio que geralmente contém teores acima de 90%; apresentou também maiores concentrações de óxidos de alumínio, cálcio, potássio e ferro (III). Não foram identificados elementos tóxicos (como, por exemplo, metais pesados) na composição da areia de britagem.

Tabela 2: Características físicas da areia de britagem

Característica	Areia de britagem
Massa específica dos grãos (g cm^{-3})	2,72
Massa específica aparente (g cm^{-3})	1,28
Porosidade	0,53
Coefficiente de esfericidade	0,77
Solubilidade em ácido (%)	1,16

A massa específica dos grãos de areia de britagem apresentou valor pouco maior do que os usualmente apresentados pela areia natural de rio ($2,65 - 2,67 \text{ g cm}^{-3}$). O leito de areia de britagem apresentou porosidade elevada e coeficiente de esfericidade característico de grão mais angulares. A composição da areia de britagem (óxidos de cálcio, potássio e ferro) favoreceu a maior solubilidade em ácido apresentada pelo material, no entanto, o valor obtido (1,16%) é inferior a 5%, sendo caracterizado como adequado para filtração segundo a NBR 11799 (ABNT, 1990).

Ao longo da duração dos experimentos em escala piloto, foram monitoradas 14 carreiras de filtração, com diferentes taxas de filtração e qualidade da água afluente aos filtros. Os resultados apresentados a seguir são referentes a duas carreiras realizadas com taxa de filtração de $360 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (o dobro da recomendação de norma para filtração rápida descendente em filtro de camada simples), uma durante o período de estiagem (Carreira 7) e outra durante o período chuvoso (Carreira 13). Ambas as carreiras foram encerradas pelo esgotamento da carga hidráulica disponível. Na Figura 2 são apresentadas a evolução da perda de carga e da turbidez da água filtrada pelos filtros de areia de britagem e de areia natural de rio ao longo da Carreira 7, que teve duração de 14 horas, e na Figura 3 são apresentados os resultados da Carreira 13, que teve duração de 20 horas.

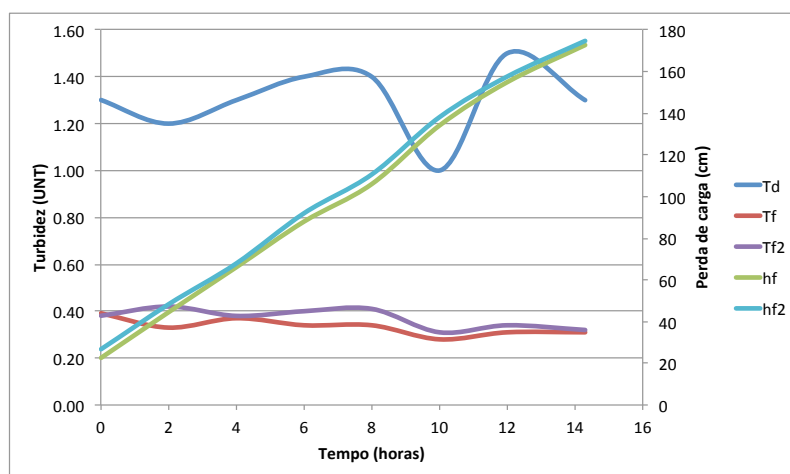


Figura 2: Perda de carga e turbidez da água decantada e da água filtrada ao longo da carreira de filtração, Carreira 7. Td = turbidez da água decantada; Tf = turbidez da água filtrada (areia de britagem); Tf2 = turbidez da água filtrada (areia natural); hf = perda de carga (areia de britagem); hf2 = perda de carga (areia natural).

Durante a Carreira 7, a turbidez da água decantada apresentou baixa variabilidade (1,0 a 1,5 UT), como também a turbidez da água filtrada pelo filtro de areia de britagem (0,28 a 0,39 UT) e pelo filtro de areia natural de rio (0,31 a 0,42 UT). A perda de carga apresentou valores e tendência similares para ambos os filtros, com valores pouco maiores para o filtro de areia natural de rio (Figura 2).

Como observado na Figura 3, a turbidez da água decantada apresentou maior variabilidade (2,4 a 5,0 UT) durante a Carreira 13, no entanto, os filtros foram capazes de produzir água filtrada com baixa turbidez ao longo de toda carreira de filtração (0,25 a 0,38 UT - filtro de areia de britagem; 0,29 a 0,49 UT - filtro de areia natural de rio). Diferentemente de todas as outras carreiras monitoradas, logo no início da operação, a turbidez da água filtrada foi superior a 0,50 UT, decaindo para 0,38 UT e 0,49 UT após duas horas de operação dos filtros de areia de britagem e areia natural de rio, respectivamente. Assim como na Carreira 7, a perda de carga apresentou comportamento similar nos dois filtros, com valores um pouco maiores para a areia natural de rio. Apesar da maior turbidez da água

decantada comparada à da Carreira 7, a maior duração da Carreira 13 parece ter sido devida ao maior aproveitamento da espessura do leito filtrante, ou seja, remoção de partículas em camadas mais profundas do leito (filtração em profundidade) e, conseqüentemente, menor incremento da perda de carga com o tempo.

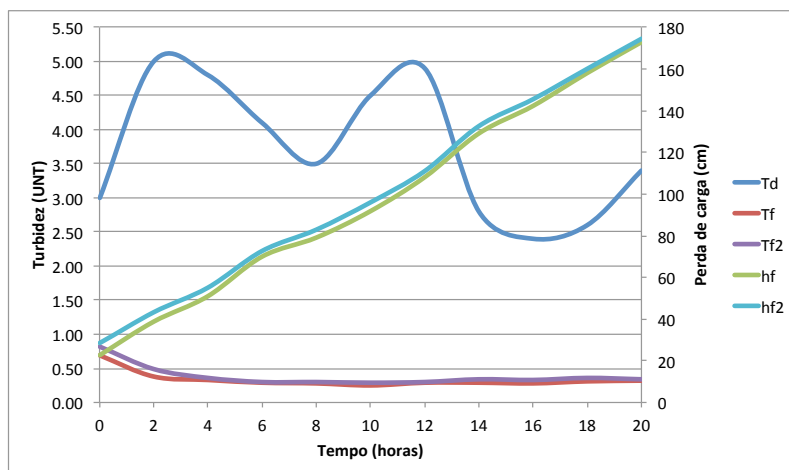


Figura 3: Perda de carga e turbidez da água decantada e da água filtrada ao longo da carreira de filtração, Carreira 13. Td = turbidez da água decantada; Tf = turbidez da água filtrada (areia de britagem); Tf2 = turbidez da água filtrada (areia natural); hf = perda de carga (areia de britagem); hf2 = perda de carga (areia natural).

A eficiência da filtração rápida depende, principalmente, da qualidade da água afluyente aos filtros, da taxa de filtração e das características do leito filtrante (LIBÂNIO, 2016). Neste trabalho, os filtros piloto foram operados em paralelo com a mesma taxa de filtração e recebendo a mesma água afluyente. Além disso, os leitos foram preparados de tal forma que apresentassem características similares de espessura e granulometria; a porosidade e o coeficiente de esfericidade dos materiais também apresentaram valores muito próximos. Portanto, a similaridade no desempenho dos filtros pode ser explicada pelo controle dos fatores que afetam a eficiência da filtração.

No filtro de areia de britagem, das 14 carreiras de filtração, 13 foram encerradas pelo esgotamento da carga hidráulica disponível, sendo que em oito 100% dos valores de turbidez da água filtrada foram inferiores a 0,30 UT. Com exceção da Carreira 6 ($T_f = 360 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, turbidez afluyente = 1,1 a 1,3 UT), em que ocorreu trespasse, e da primeira hora da Carreira 13 ($T_f = 360 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, turbidez afluyente = 3,0 UT), o filtro de areia de britagem foi capaz de produzir água filtrada com valores inferiores a 0,50 uT; em nenhuma das carreiras a turbidez da água filtrada pelo filtro de areia de britagem apresentou valor superior a 0,70 UT. Isto é, o padrão estabelecido na norma brasileira de qualidade da água para consumo humano foi sempre atendido: turbidez inferior a 0,5 UT em 95% do tempo e nunca acima de 1,0 UT (BRASIL, 2017)

Em todas as carreiras monitoradas, independentemente da taxa de filtração empregada ou da qualidade da água afluyente aos filtros, foram obtidos resultados tais como na Carreira 7 e Carreira 13, ou seja, desempenho similar dos filtros de areia de britagem e areia natural de rio, tanto com relação à perda de carga quanto à turbidez da água filtrada, com duração da carreira de filtração praticamente idêntica.

CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos em escala piloto, pode-se concluir que a areia de britagem apresentou desempenho satisfatório, sendo obtidas carreiras de filtração, remoção de turbidez e desenvolvimento da perda de carga similares aos do filtro com areia natural de rio. O padrão para água filtrada estabelecido na norma brasileira de qualidade da água para consumo humano foi sempre atendido.

Os resultados apresentados evidenciam o potencial do emprego de areia de britagem como material filtrante em filtros rápidos descendentes para o tratamento de água para consumo humano. Além do desempenho de filtração similar ao da areia natural de rio, o uso da areia de britagem pode apresentar atrativos econômicos e ambientais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à empresa de mineração Petra Agregados (MG) por fornecer a areia de britagem. Agradecemos também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão de bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, A.G. *Ações poluidoras na Bacia do Rio Guandu e suas conseqüências para ETA Guandu*. In: SEMINÁRIO BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUANDU: PROBLEMAS E SOLUÇÕES, 2002, Seropédica. Anais. UFRRJ: SERLA, 2002, CDROM.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11799: *Material filtrante: areia, antracito e pedregulho: especificação*. Rio de Janeiro: ABNT 1990. 8p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12216: *Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público: procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT 1992. 18p.
4. BARBOSA, M.T.G., COURA, C.G., MENDES, L.O. *Estudo sobre a areia artificial em substituição à natural para confecção de concreto. Ambiente Construído*. Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 51-60, 2008.
5. BASTOS, P.K.X.; ALTOMAR NETO, F.; BERNARDO, D. S.; OLIVEIRA, L. N.; COUTO, M. L. *Areia de britagem para argamassas e concretos – a experiência de Juiz de Fora, MG*. In: *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, 11, 2006, Florianópolis. Anais. Porto Alegre: ANTAC, 2006. p. 3985-3993.
6. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação MS/GM nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Anexo XX - Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, Brasília, 3 out. 2017, Suplemento:360-568.
7. ERGUN, S. *Fluid Flow through Packed Columns*. Chemical Engineering Progress. v. 48, n. 2, p. 86-94, 1952.
8. FARIZOGLU, B., NUHOGLU, A., YILDIZ, E., KESKINLER, B. *The performance of pumice as a filter bed material under rapid filtration conditions*. Filtration & separation, v. 40, n. 3, p. 41-47, 2003.
9. LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 4a ed. Campinas: Editora Átomo, 2016. 638 p.
10. SOYER, E., AKGIRAY, Ö., ELDEM, N.Ö., SAATÇ, A.M. *Crushed recycled glass as a filter medium and comparison with silica sand*. Clean – Soil, Air, Water, v. 38, n. 10, p. 927-935, 2010.
11. ULUATAM, S.S. *Laboratory evaluation of perlite bed filtration in water treatment*. International Journal of Environmental Studies, v. 42, n. 1, p. 1-10, 1992.