



Estudo Hidrogeológico Preliminar para a Avaliação do Potencial de Colmatção do Sedimento das Margens da Lagoa do Peri e do Canal Sangradouro – Florianópolis – Santa Catarina – para a Implantação da Técnica da Filtração em Margem
Preliminary Hydrogeological Study to Evaluate Sediment Clogging Potential at Peri Lake and Sangradouro Channel – Florianópolis – Santa Catarina – to Implementation of Bank Filtration Technic

Marcus Soares¹; Bruno Segalla Pizzolatti² & Maurício Luiz Sens²

¹Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia e Tecnologia Ambiental,
Linha Sete de Setembro s/n, 98400-000, Frederico Westphalen, RS, Brasil

²Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental,
Campus Reitor João D. F. Lima s/n, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil

E-mail: marcus.soares@ufsm.br; brunosegalla@me.com; mauricio.sens@ufsc.br

Recebido em: 21/05/2019 Aprovado em: 18/07/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_4_46_55

Resumo

A filtração em margem é uma técnica de tratamento de água que utiliza poços de captação instalados nas margens de rios e lagos. Durante o processo de filtração, o sedimento do manancial está sujeito ao processo de colmatção. Este estudo tem como objetivo a avaliação da Lagoa do Peri como local potencial de implantação da técnica da filtração em margem em escala real. Através de estudos hidrogeológicos de campo foi possível caracterizar o sedimento da lagoa, bem como do seu rio tributário (rio Sangradouro), de granulometria uniforme e mal graduada. A maioria dos pontos de amostragem apresentaram uma massa percentual de sedimentos finos de até 0,1% na lagoa, e 0,5% no rio Sangradouro. A concentração de matéria orgânica apresentou uma média de 0,3% nos primeiros 10 cm de sedimento da lagoa, chegando a 0,5% a 50 cm de profundidade. Medições com infiltrômetros submersos confirmaram através de perda de massa líquida para o aquífero, que a lagoa, em época de cheia, tem como função a recarga do aquífero adjacente, com taxas de infiltração média de $1,4E-6 \text{ m s}^{-1}$. Foram também estimadas as principais características hidráulicas do rio Sangradouro tais como vazão, tensão de cisalhamento do fundo do canal e regime de escoamento.

Palavras-chave: Lagoa do Peri; filtração em margem de lago; colmatção

Abstract

Bank filtration is a water treatment technique, which uses water wells located at the embankment of rivers or lakes. Because of the filtration process, sediment clogging might be developed. This study has the aim of evaluating the Peri Lake as a potential bank filtration site. Hydrogeological field investigations in the area characterized the lake sediment and its tributary as uniform and poorly graded. Most of the sampling points in the lake presented a fine sediment concentration up to 0.1% in the lake and 0.5% in the channel. Organic matter content presented a mean concentration of 0.3% in the first 10cm of sediment. It increases with depth and reaches around 0.5% at 50 cm. Infiltration measurements confirmed the lake as a losing water body at high water level in the lake, with mean infiltration rates of $1.4E-6 \text{ m s}^{-1}$. The main hydraulic properties of the Sangradouro channel such as flow rate, shear stress and turbulence were also estimated.

Keywords: Peri Lake, lake bank filtration, clogging

1 Introdução

A filtração em margem (FM) tem provado ser uma técnica alternativa de tratamento de água de baixo custo e sustentável. Esta técnica tem sido utilizada por mais de 140 anos na Europa, principalmente ao longo dos rios alemães Danúbio (Maloszewski *et al.*, 1990) e Elba (Griseck *et al.*, 2010), bem como nos lagos alemães Tegel (Gunkel *et al.*, 2009) e Wannsee (Massmann *et al.*, 2008). Outros países tais como Índia (Dash *et al.*, 2008), Egito (Shamrukh & Abdel-Wahab, 2008), Tailândia (Pholkern *et al.*, 2015) e Brasil (Romero, 2012) estão considerando também a utilização desta técnica com o objetivo de melhorar a qualidade e quantidade da água servida à população.

Esta técnica consiste basicamente na captação de água subterrânea através de um poço ou uma galeria de poços instalada ao longo de um rio ou lago. Como consequência há o rebaixamento do lençol freático, a formação de um cone de depressão e, por fim, a água do lago ou rio infiltra no solo por indução em direção a galeria de poços. O principal objetivo desta técnica é utilizar os sedimentos do aquífero para remover contaminantes físicos, químicos e microbiológicos. Uma limitação desta técnica de tratamento é a colmatação dos sedimentos das margens dos rios/lagos. A colmatação é causada pela percolação contínua da água superficial contendo partículas orgânicas e inorgânicas em suspensão, precipitação química (Schubert, 2006a), além de processos biológicos que promovem a liberação de gases (Soares, 2015).

A colmatação é governada pela dinâmica hidráulica e a qualidade das águas superficiais, tão bem como pela localização e taxas de captação dos poços de produção (Hubbs, 2006; Schubert, 2006b), que influenciam diretamente o processo de infiltração da água no leito do manancial.

Segundo Schälchli (1993) o entupimento dos poros ou colmatação pode ocorrer através de três processos distintos: (1) colmatação física (filtração de partículas de silte, argila ou pequenos grãos de areia em suspensão); (2) colmatação biológica (acumulação de substâncias orgânicas e bactérias); (3) colmatação química (reações químicas de precipi-

tação). Rinck-Pfeiffer *et al.* (2000) mencionam um quarto tipo: colmatação mecânica (refere à formação e acúmulo de gás entre os poros).

A colmatação causada por sedimentos finos em suspensão (colmatação física) é especialmente importante, devido a sua agressividade na redução da condutividade hidráulica do meio poroso (Soares, 2015; Rosenberry & Pitlick, 2009). Na colmatação biológica os microrganismos mais abundantes são organismos eucarióticos, fungos, algas, protozoários, ciliados, além de diversos tipos de bactérias. Tais organismos são encontrados a poucos centímetros da superfície do sedimento do manancial superficial (Hoffmann & Gunkel, 2010; Baveye *et al.*, 1998). A colmatação química é um fenômeno causado pelas mudanças das condições redox, pH e temperatura nas áreas de infiltração, assim como ocorre na filtração em margem quando a água superficial infiltra no sedimento do leito do manancial (Hoffmann & Gunkel, 2010; Soares, 2015). A colmatação mecânica, conhecida pela redução da condutividade hidráulica do sedimento devido ao aprisionamento de ar/gás no espaço poroso, também foi identificada por diversos autores (Cuthbert *et al.*, 2010; Rinck-Pfeiffer *et al.*, 2000). Além das quatro formas de entupimento dos poros citados, a distribuição granulométrica das partículas em suspensão e do sedimento do leito do manancial superficial definirão se o processo de colmatação se desenvolverá na superfície do sedimento (colmatação externa), ou entre os poros do material filtrante (colmatação interna) (Herzig *et al.*, 1970), para o que a análise criteriosa do coeficiente de uniformidade e formato da curva de distribuição granulométrica são fundamentais.

O objetivo deste estudo foi avaliar a Lagoa do Peri como potencial local de implantação de um sistema de filtração em margem. Estudos hidrogeológicos de campo foram conduzidos para caracterizar os sedimentos da margem da lagoa e do canal Sangradouro. Foi estimada também a quantidade de matéria orgânica (colmatação biológica) e de sedimentos finos (colmatação física) dos sedimentos mencionados, bem como realizados testes de infiltração. Este estudo servirá de apoio para uma futura modelagem matemática do fluxo subterrâneo na área de estudo, envolvendo a técnica da filtração em margem.

2 Área de Estudo

A Lagoa do Peri situa-se na costa sudeste da parte insular de Florianópolis - SC. A lagoa está inserida em um parque municipal, e sua latitude está entre 27°42'59"O e 27°46'45"O, e a longitude entre 48°30'33"S e 48°31'59"S. Sua bacia hidrográfica possui uma área de aproximadamente 20,3 km², e a lagoa uma área de 5,07 km². A lagoa possui dois tributários principais: Ribeirão Grande e Cachoeira Grande (Laudares-Silva, 1999) (Fig. 1). Ela possui ainda um volume de água de 21,2 milhões de m³, aproximadamente, com uma profundidade média de 4,2 m, e sua parte mais profunda atinge 11 m de profundidade (Simonassi, 2001). NEMAR (1999) apontou que o nível da água da lagoa está a 3 m acima do nível do mar. A parte leste da bacia hidrográfica é formada por depósitos marinhos, e a parte oeste é constituída por embasamento cristalino, composta por rochas graníticas intrusivas (Oliveira, 2002; Santos *et al.*, 1989). Zanini *et al.* (1997) *apud* Oliveira (2002) descreveu a zona de depósitos marinhos como formação de duas épocas diferentes, o Holoceno e o Pleistoceno. O canal Sangradouro é responsável pela conexão entre o lago e o oceano. Suas dimensões são de 3,5 km de comprimento, 6,7 m de largura e 0,90 m de profundidade, aproximadamente (NEMAR, 1999). Marimon (1994) *apud* Simonassi (2001) registrou uma vazão média de 106 L s⁻¹, com um máximo de 250,2 L s⁻¹ e mínimo de 58,6 L s⁻¹.

Uma barragem foi construída na lagoa para controlar a vazão no canal, bem como para manter o nível da mesma acima do nível do mar, e assim evitar a possibilidade de intrusão de água salina na lagoa. A Lagoa do Peri é uma das principais fontes de água no sul e leste da ilha. No verão o consumo de água aumenta devido ao turismo. Como resultado a lagoa, através da estação de tratamento de água local, chega a abastecer 113.000 habitantes (Romero, 2012). A Lagoa do Peri sempre teve bons padrões de qualidade da água. Entretanto, um ano após a construção da estação de tratamento de água foi observado um crescimento na concentração de algas na lagoa de aproximadamente 10.000 células ml⁻¹ para 270.000 células ml⁻¹ (Mondardo, 2004). Devido às altas concentrações de algas (cianobactérias) na lagoa, uma rápida colmatação ocorre nos filtros da estação de tratamento de água, o que reduz as carreiras de filtração. Assim, a utilização da técnica da filtração em margem pode vir a auxiliar no processo de tratamento de água existente no local.

3 Materiais & Métodos

3.1 Amostragem e Análise Física e Orgânica de Sedimentos

Amostras de sedimento foram retiradas de 10 pontos diferentes na margem da lagoa, até uma profundidade de 0,35 m de água, para que os efeitos hi-

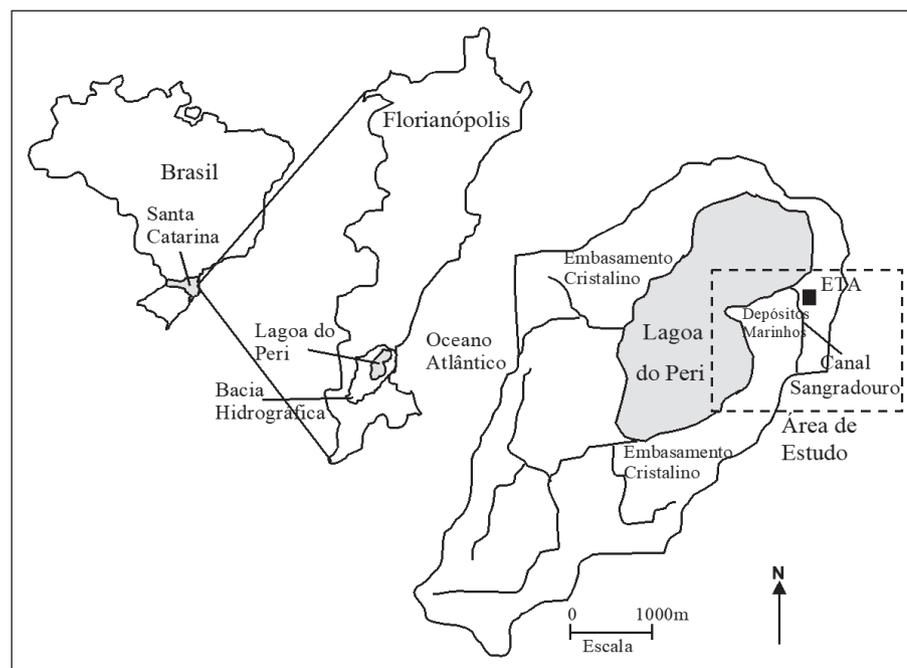


Figura 1 Localização da Lagoa do Peri, Santa Catarina, Brasil.

dráulicos de revolvimento do sedimento superficial seja o mais semelhante possível entre as amostras.. No canal Sangradouro foram retiradas 4 amostras ao longo do mesmo, a uma distância de 1,0 m da margem (Fig. 2). As distâncias entre os pontos de amostragem variaram de acordo com a acessibilidade devido à vegetação densa e áreas inundadas (Tabela 1).

Para a retirada das amostras de sedimento, tubos de PVC foram inseridos até uma profundidade de 50 cm. Retiradas as amostras, as mesmas foram fatiadas em campo a cada 10 cm e inseridas em sacos plásticos identificados, para que o grau de colmatação física e biológica ao longo do perfil do sedimento pudesse ser investigado. A colmatação biológica foi estimada pela queima das amostras em mufla à 550 °C de acordo com a norma alemã DIN 18128-2002. Para a avaliação distribuição granulométrica e da colmatação física (partículas menores que 0,075 mm – silte e argila) do sedimento foi utilizada a análise de peneiramento (ABNT, 2003).

3.2 Avaliação Hidráulica nos Mananciais de Estudo

No mesmo local onde foram retiradas as amostras de sedimentos (Fig. 2), foram realizadas análises de taxas de infiltração/exfiltração natural, através do uso de infiltrômetros submersíveis de 20 cm de diâmetro fabricados em Plexiglas (Soares *et al.*, 2012). Este procedimento foi repetido três vezes em cada ponto de medição.

A vazão no canal Sangradouro foi calculada através do desenho de uma seção transversal nos pontos de medição estabelecidos. Uma linha foi esticada de uma margem a outra no canal, e a espessura da lâmina de água foi medida a cada 10 cm. Baseado nessas informações o perímetro molhado, a

área molhada e o raio hidráulico da seção transversal foram calculados. Devido a dificuldade de acesso, a declividade do canal foi calculada somente entre os pontos 13 e 14, com o auxílio de uma mangueira transparente de 12 metros de comprimento preenchida com água, observado o desnível de água dentro dela entre os pontos. Assim, a declividade do canal foi considerada uniforme ao longo do seu curso. A vazão do canal foi calculada utilizando a equação de Chezy. Um coeficiente de rugosidade de 0,125 (canal com alta densidade de plantas na margem e paredes em condições regulares) foi utilizado no cálculo mencionado. A tensão de cisalhamento no fundo do canal foi calculada para cada ponto de medição. O parâmetro de Shields (tensão de cisalhamento adimensional) e o número de Reynolds na interface água/sedimento (*boundary* Reynolds number) foram calculados com base no d_{95} do resultado da análise granulométrica (tamanho do grão do qual 95% dos grãos do sedimento é menor), dos primeiros 10 cm de profundidade de sedimento. A viscosidade cinemática da água utilizada para os cálculos mencionados foi de $1,004 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, a densidade da areia de 2650 kg m^{-3} , a densidade da água de 1000 kg m^{-3} , e a gravidade de $9,806 \text{ m.s}^{-2}$.

4 Resultados e Discussão

4.1 Caracterização Física do Sedimento

A análise granulométrica do sedimento da Lagoa do Peri ($n = 10$ por camada) mostrou que o mesmo apresenta um diâmetro efetivo dos grãos (d_{10}) similar ao longo dos 50 cm de profundidade (Tabela 2). Devido ao baixo valor do coeficiente de uniformidade (C_u) o sedimento é caracterizado como uniforme, e a curva de distribuição granulométrica ilustra um sedimento mal graduado, devido ao baixo valor do coeficiente de curvatura (C_c). A camada su-

Tabela 1 Localização dos pontos de amostragem/medição na Lagoa do Peri e no canal Sangradouro.

Posição	b*-1	b*-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	b*-11	11-12	12-13	13-14
Distância (m)	15	15	100	100	150	50	75	400	350	670	41	950	182	31

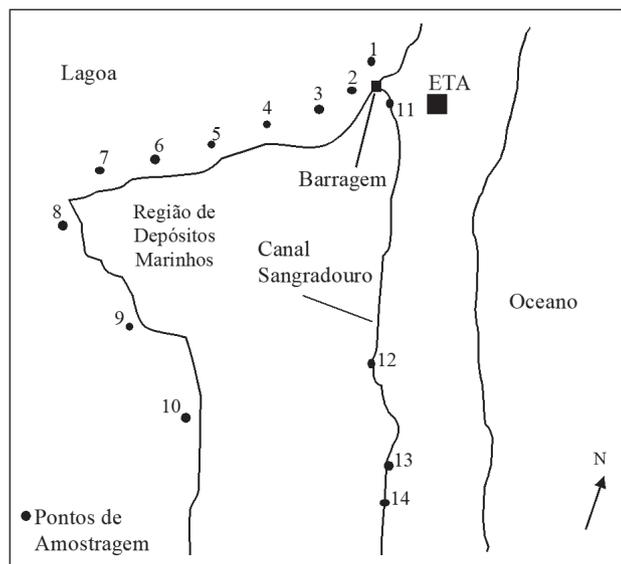


Figura 2 Área de estudo e pontos de amostragem/medição.

perficial possui ainda uma forte assimetria em direção à fração grosseira (coeficiente de assimetria - $S_k = -2,75$). Este comportamento é modificado com a profundidade, onde o sedimento é enriquecido com material de granulometria menor. Entretanto, na profundidade de 40 cm o sedimento apresentou novamente assimetria em direção à fração grosseira ($S_k = -1,02$), que pode representar uma estratificação devido ao processo de sedimentação local. Resultados similares foram observados por Oliveira (2002) em local de amostragem similar. Em termos gerais, a

zona litoral da Lagoa do Peri pode ser descrita como a composição de areia de granulometria fina e média.

Assim como o sedimento da lagoa, a distribuição granulométrica das amostras do canal Sangradouro ($n = 4$) mostrou um diâmetro efetivo (d_{10}) similar ao longo dos 50 cm de profundidade, embora ainda seja levemente superior ao sedimento da lagoa. O sedimento também é composto por grãos uniformes, e uma curva de distribuição granulométrica mal graduada. Os valores do coeficiente de assimetria (S_k) mostram ainda uma forte assimetria em direção à fração fina ao longo de toda a profundidade estudada (Tabela 3).

Diante de sua uniformidade e má seleção, de acordo com a curva granulométrica, é esperado que tanto o sedimento da lagoa como o do canal favoreçam a intrusão de partículas em suspensão, se os mesmos forem submetidos à altas taxas de infiltração. Estudos apontados por Alem *et al.* (2013) e Soares (2015) demonstraram que, sob meios filtrantes de características físicas similares, partículas finas em suspensão podem chegar a até 50 cm de profundidade, ocasionando a colmatação interna do mesmo.

4.2 Avaliação da Colmatação Física do Sedimento

A Figura 3a mostra uma análise da quantidade de sedimentos finos (diâmetro do grão $\phi < 0,075$

Profundidade (cm)	d_{10} (mm)	d_{25} (mm)	d_{30} (mm)	d_{50} (mm)	d_{60} (mm)	d_{75} (mm)	$C_u^{\#}$	$C_c^{\#}$	$M^{\#}$	$M_d^{\#}$	$S_k^{\#}$
0 – 10*	0,14	0,18	0,20	0,24	0,27	0,33	1,9	1,1	0,26	0,24	-2,75
10 – 20*	0,14	0,21	0,24	0,38	0,44	0,55	3,1	0,9	0,38	0,38	0,44
20 – 30*	0,13	0,18	0,20	0,26	0,31	0,40	2,4	1,0	0,29	0,26	0,13
30 – 40*	0,16	0,21	0,23	0,29	0,32	0,40	2,0	1,0	0,46	0,29	-1,02
40 – 50*	0,12	0,17	0,20	0,27	0,31	0,40	2,6	1,1	0,29	0,27	0,37

Tabela 2 Características físicas do sedimento da zona litoral da Lagoa do Peri.

* $n=10$; #Coef. de Uniformidade (C_u), Coef. de Curvatura(C_c), Média (M), Mediana (M_d) e Assimetria (S_k)

Profundidade (cm)	d_{10} (mm)	d_{25} (mm)	d_{30} (mm)	d_{50} (mm)	d_{60} (mm)	d_{75} (mm)	$C_u^{\#}$	$C_c^{\#}$	$M^{\#}$	$M_d^{\#}$	$S_k^{\#}$
0 – 10*	0,20	0,27	0,30	0,40	0,49	0,71	2,4	0,9	0,49	0,40	0,78
10 – 20*	0,21	0,31	0,34	0,48	0,58	0,81	2,8	0,9	0,56	0,48	0,84
20 – 30*	0,18	0,27	0,31	0,48	0,65	1,01	3,6	0,8	0,64	0,48	0,90
30 – 40*	0,19	0,29	0,29	0,40	0,47	0,64	2,5	0,9	0,46	0,40	0,76
40 – 50*	0,19	0,27	0,29	0,40	0,47	0,66	2,5	0,9	0,46	0,40	0,77

Tabela 3 Características físicas do sedimento do canal Sangradouro.

* $n=4$; #Coef. de Uniformidade (C_u), Coef. de Curvatura(C_c), Média (M), Mediana (M_d) e Assimetria (S_k)

mm) de todas as amostras da Lagoa do Peri ao longo da profundidade de coleta. Em geral foi observada uma concentração de até 0,1% de finos em aproximadamente 60% dos pontos de coleta, ao longo de todas as profundidades. Uma concentração maior que 2,1% de finos foi observada em apenas um ponto de amostragem, à uma profundidade de 50 cm.

O sedimento do canal Sangradouro apresentou uma concentração de materiais finos menor que o da lagoa. A maioria dos pontos de amostragem e das profundidades estudadas apresentaram uma concentração de até 0,1% de finos. Alguns pontos de amostragem, entretanto, apresentaram uma concentração de 0,1% a 0,5% de finos. Uma quantidade superior à 0,5% de finos não foi observada em nenhum ponto de amostragem (Fig. 3b)

É comum ocorrerem altas concentrações de sedimentos finos em países tropicais de clima úmido, onde o argilomineral caulinita é o mais abundante (Thiry, 2000; Griffin *et al.* 1968). De acordo com Zanini *et al.* (1997) *apud* Oliveira, (2002), na região de estudo os minerais clorita e sericita são normalmente encontrados.

Concentrações de até 3,1% de finos foram observadas na zona litoral do Lago Tegel (Berlim, Alemanha), onde a técnica da filtração em margem é utilizada há anos, e onde a colmatação do sedimento local é inexpressiva (Gunkel *et al.*, 2009). Estudos desenvolvidos por Soares (2015) mostraram ainda que alterações dos principais parâmetros hidráulicos, devido às alterações no regime de vazões, aca-

bam evitando a deposição de material finos no leito de rios e canais, assim, os mesmos são transportados para regiões de baixa vazão.

4.3 Avaliação da Colmatação Biológica do Sedimento

De modo geral é observado um aumento na quantidade de matéria orgânica no sedimento na zona litoral da Lagoa do Peri, ao longo da profundidade do mesmo (Fig. 4a). Esta quantidade, entretanto, não excede 0,4% em muitos dos pontos de coleta em todas as profundidades estudadas, segundo o gráfico de frequência relativa (Fig. 4b).

De forma similar, às margens da lagoa, no canal Sangradouro, a acumulação de material orgânico ao longo da profundidade também foi observada. Entretanto, este acúmulo não chegou a mais de 0,4%, aproximadamente, em profundidades maiores de 30 cm (Fig. 4c).

Segundo Oliveira (2002), estratificações do sedimento na área de estudo foram ocasionadas durante movimentos transgressivos e regressivos do oceano, que foram responsáveis pela formação geológica da área. Na Lagoa do Peri, quatro períodos de deposição de sedimento ocorreram devido a variações do nível de água oceânico e que possivelmente ocasionaram o aprisionamento de material orgânico observado.

Além do processo de formação geológica da área, a elevada uniformidade dos grãos do sedimen-

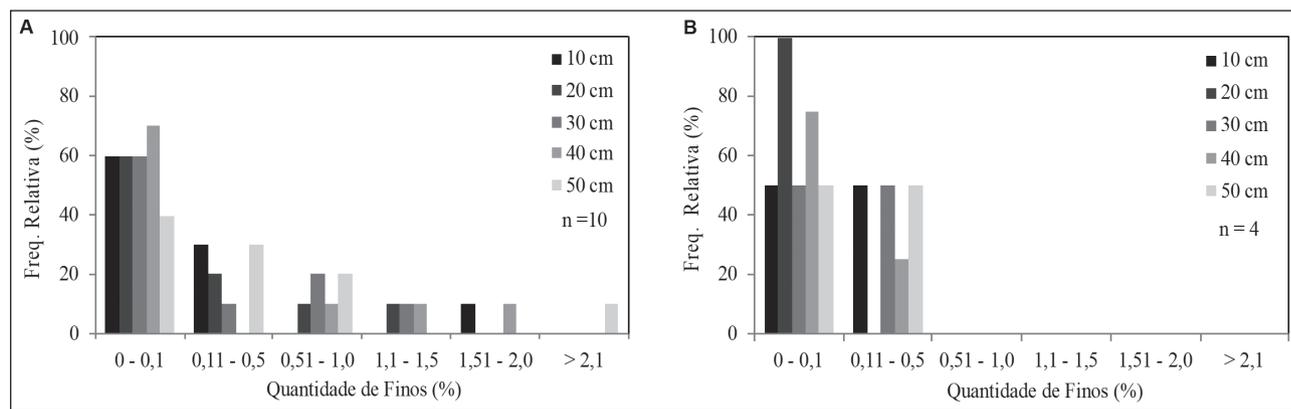


Figura 3 Gráfico da frequência relativa da concentração de finos ($\phi < 0,075$ mm), no sedimento de todos os pontos de coleta ao longo da profundidade da Lagoa do Peri (A) e o canal Sangradouro (B).

to da lagoa e do canal pode permitir o transporte de partículas pelo meio poroso, especialmente durante baixos regimes de vazão no canal, quando o mesmo permite a deposição de partículas. Na lagoa e, de forma análoga, no canal, o crescimento e morte de organismos macro e microcelulares ao longo do ano, juntamente com a deposição e decomposição de resíduos de plantas aquáticas, também podem colaborar com a formação da colmatação biológica. Em termos comparativos, no Lago Tegel, Berlim, Alemanha, onde a filtração em margem se mostra sustentável, estudos apontam que a colmatação biológica semelhante à encontrada na Lagoa do Peri é irrelevante em termos de alteração da condutividade hidráulica do sedimento e, conseqüentemente, na proporção de água filtrada em margem (Gunkel *et al.*, 2009; Hoffmann & Gunkel, 2010; Soares, 2015).

4.4 Caracterização Hidráulica da Área de Estudo

4.4.1 Lagoa do Peri

Como demonstra a Tabela 4, as medições das taxas de infiltração na zona litoral da Lagoa do Peri mostraram resultados diferentes em cada ponto de medição. Em geral, padrões de infiltração podem ser alterados de acordo com a temperatura da água no decorrer do ano, características físicas do sedimento, bem como o grau de colmatação do mesmo em cada ponto. A diferença de nível hidráulico entre a lagoa e o oceano, tem também um importante impacto nas taxas de infiltração das margens da lagoa, pois com os níveis de água elevados no verão de 2012, a Lagoa do Peri se mostrou ser um corpo hídrico influente, o qual perde água para o aquífero subjacente. Assim, uma taxa de infiltração média de $1,4E-6$ m s⁻¹ (n = 23) foi obtida de todos os 10 pontos de medição.

No Lago Tegel, Berlim, Alemanha, foram observadas taxas de infiltração de $1,8E-6$ a $7,2E-7$ m s⁻¹ (Hoffmann, 2008), ou seja, muito próximas das taxas de infiltração observadas na Lagoa do Peri. Sob es-

tas taxas de infiltração não foi observada colmatação relevante no sedimento do lago alemão (Gunkel *et al.* 2009).

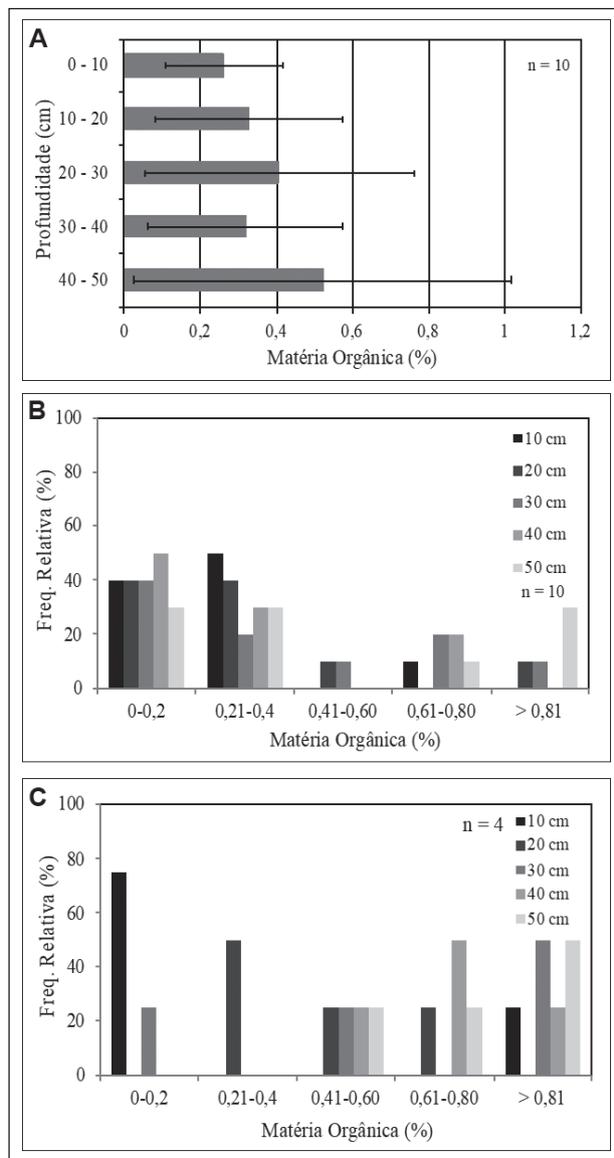


Figura 4 Gráfico da concentração de matéria orgânica ao longo da profundidade (A) e da frequência relativa da quantidade de matéria orgânica (B) de todos os pontos de coleta da Lagoa do Peri, e do canal Sangradouro (C).

Pontos de Medição									
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
1,4E-6	8,9E-7	5,7E-7	9,2E-7	1,9E-6	1,1E-6	2,9E-7	3,2E-6	5,8E-9	8,2E-7
1,3E-6	8,9E-7	7,1E-7	7,5E-7	8,3E-6	8,4E-7	6,1E-7	2,6E-6	1,2E-8	8,7E-7
1,5E-6	1,3E-6	-	7,2E-7	-	-	-	-	-	-
Média	1,4E-6								

Tabela 4 Medições das taxas de infiltração na zona litoral da Lagoa do Peri em m s⁻¹.

4.4.2 Canal Sangradouro

A Tabela 5 apresenta os principais parâmetros hidráulicos do canal Sangradouro. Este estudo mostrou que em sua cabeceira a vazão calculada foi de $0,73 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, muito superior à vazão observada por Marimon (1994) *apud* Simonassi (2001). Uma diminuição significativa da vazão pode ser observada nos pontos de medição 12 ($0,32 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), 13 ($0,38 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) e 14 ($0,30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), em comparação ao ponto de medição 11, localizado na cabeceira do canal (ver também Fig. 2). Ao longo do trecho estudado, o canal perde água superficial para o aquífero subjacente a ele, o que o caracteriza basicamente como um corpo hídrico influente.

As águas do canal Sangradouro apresentaram uma velocidade média de escoamento de $0,10 \text{ m s}^{-1}$. Esta velocidade, de acordo com o diagrama de Hjuström (Hjuström, 1938), é capaz de transportar partículas não coesivas de até 1 mm de diâmetro ao longo do leito do canal. Comportamento comum em canais naturais, ao analisar as forças que agem diretamente no fundo do canal (parâmetro de Shields e número de Reynolds sobre o leito (*boundary Reynolds number*)) é possível observar que todos os pontos analisados apresentaram regime turbulento, com números de Reynolds superiores a 100. Pequenas variações no parâmetro de Shields foram também observadas ao longo da canal. Essas variações decorrem devido a mudanças nas características do sedimento, bem como na profundidade da água no canal, que ocasionam mudanças na tensão de cisalhamento sobre o leito. De modo geral, durante o período de estudo, o comportamento hidráulico do canal não permitiu a sedimentação de partículas finas não coesivas. Evidentemente, forças hidromecânicas não agem uniformemente sobre o leito do canal, devido principalmente a variações da profundidade da água e da rugosidade sobre o mesmo. Assim, a sedimentação de partículas finas (se existir) talvez ocorra próximo às margens do canal, onde as forças mencionadas anteriormente são normalmente reduzidas.

Estudos hidráulicos em simulador de canal em escala laboratorial apresentados por Soares (2015), entretanto, demonstraram que, independentemente das condições hidráulicas de rios e canais, se altas

taxas de infiltração forem aplicadas durante o processo de captação de água pela técnica da filtração em margem o processo de colmatação do leito pode se tornar inevitável. Neste estudo, reduções de até 10 vezes da condutividade hidráulica foram observadas em um curto período de 12 horas. Desta forma, mesmo que sob condições naturais o canal Sangradouro não pareça favorecer o processo de colmatação, o parâmetro taxa de infiltração deve ser cuidadosamente monitorado, se a técnica for utilizada.

Parâmetro	P11#	P12#	P13#	P14#
Profundidade Média (m)	0,84	0,46	0,63	0,45
Veloc. (Chezy) (m s^{-1})	0,13	0,08	0,10	0,09
Vazão ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	0,73	0,32	0,38	0,30
Número de Reynolds*	114	134	109	134
Parâmetro de Shields*	0,10	0,07	0,15	0,07
Tensão de Cisalhamento médio (N m^{-2})*	3,3	1,8	2,5	1,7
Declividade (%)	0,04	0,04	0,04	0,04
d_{95}^{**} (mm)	2,0	1,5	1,0	1,5

Tabela 5 Principais parâmetros hidráulicos do canal Sangradouro. *para a profundidade média (boundary Re), **tamanho onde 95% da massa de grãos é mais fina para os primeiros 0,1 m de sedimento; #pontos de medição.

5 Conclusões

Considerada uma área de depósito marinho, o sedimento do leito das margens da Lagoa do Peri é caracterizado por areia fina e muito fina. Não diferentemente, o sedimento do leito do canal Sangradouro é também constituído por areia fina, devido a sua localização geográfica. Ambos os sedimentos apresentaram grãos com alta uniformidade bem como uma curva de distribuição granulométrica mal selecionada.

Testes de infiltração, realizados quando a lagoa estava com nível de água elevado no ano de 2012, mostraram que a Lagoa do Peri era um corpo hídrico influente neste período e que, portanto, perdeu água para o aquífero subjacente e adjacente.

O fenômeno da colmatação física parece não ser relevante na área de estudo, devido a baixa quantidade de sedimentos finos ($\phi < 0,075 \text{ mm}$) na lagoa e no canal. Entretanto, processos de erosão do em-

basamento cristalino talvez adicionem sedimentos finos no longo prazo, principalmente na parte sul da margem da lagoa. Entretanto, este processo deve ser melhor estudado.

Os sedimentos da margem da lagoa e do leito do canal apresentaram baixas concentrações de matéria orgânica (colmatação biológica). O processo de formação geológica local parece ter causado estratificação do sedimento da lagoa. Como resultado, camadas com alto teor de material orgânico foram encontradas em diferentes profundidades na margem da lagoa. Nos pontos estudados, devido a taxa de infiltração média de $1,4E-6 \text{ m s}^{-1}$ obtida, a colmatação biológica não parece ter um papel relevante na obstrução do meio poroso e, conseqüentemente, para processos de infiltração. Além do mais, as características físicas do sedimento tendem a favorecer a intrusão de partículas em suspensão na água, e a deposição em grandes profundidades, causando a colmatação interna do sedimento. Experimentos de campo mostraram que o canal age como um corpo hídrico influente, durante o período de estudo. Além do mais, a deposição de sedimentos finos não é esperada devido às condições hidráulicas momentâneas do canal. Apesar disso, durante períodos de estiagem o leito do canal deve ser cuidadosamente monitorado, pois neste cenário a diminuição dos parâmetros hidrodinâmicos mencionados podem fazer com que ocorra, no curto prazo, a colmatação do sedimento do leito do canal.

Este estudo serviu de apoio à modelagem matemática do fluxo subterrâneo local, que é parte integrante da avaliação da área para a implantação da técnica da filtração em margem no local, e que será apresentada em estudos futuros. Importantes parâmetros hidráulicos e de características dos sedimentos foram obtidos para a construção do cenário de estudo, e posterior simulação de fluxo hídrico subterrâneo.

6 Referências

- Alem, A.; Elkawafi, A.; Ahfir, N-D. & Wang, H. 2013. Filtration of kaolinite particles in a saturated medium: hydrodynamics effects. *Hydrogeology Journal*, 21: 573-586.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR NM 248-2003. Agregados – Determinação da composição granulométrica.
- Baveye, P.; Vandevivere, P.; Hoyle, B.L.; DeLeo, P.C. & Sanchez de Lozada, D. 1998. Environmental impact and mechanisms of biological clogging of saturated soils and aquifer materials. *Critical Reviews in Environmental Sciences and Technology*, 28(2): 123-191.
- Cuthbert, M.O.; Mackay, R.; Durand, V.; Aller, M.-F.; Greswell, R.B. & Rivett, M.O. 2010. Impacts of river-gas on the hydraulic and thermal dynamics of the hyporheic zone. *Advances in Water Resources Journal*, 33: 1347-1358.
- Dash, R.R.; Mehrotra, I.; Kumar, P. & Grischek, T. 2008. Lake bank filtration at Nainital, India: water-quality evaluation. *Hydrogeology Journal*, 16(6): 1089-1099.
- Deutsches Institut für Normung - DIN 18128-2002. Bestimmung des Glühverlustes.
- Griffin, J. J.; Windom, H. & Goldberg, E.D. 1968. The distribution of clay minerals in the world ocean. *Deep-Sea Research Journal*, 15:433 – 459.
- Grischek, T.; Schoenheinz, D.; Syhre, C. & Saupe, K. 2010. Impact of decreasing water demand on bank filtration in Saxony, Germany. *Drinking Water Engineering and Science*, 3:11 – 20.
- Gunkel, G.; Beulker, C.; Hoffmann, A. & Kosmol, J. 2009. Fine particulate organic matter (FPOM) transport and processing in littoral interstices – use of fluorescent markers. *Limnologica*, 39(3): 185-199.
- Herzig, J.P.; Leclerc, D.M. & Le Goff, P. 1970. Flow of suspensions through porous media. New differential equation for clogged bed is derived. *Industrial and Engineering Chemistry*, 62(5):8-35.
- Hjuström, F. 1938. Part 1. Transportation: Transportation of detritus by moving water. *Geographical Institute*, 5-31.
- Hoffmann, A. & Gunkel, G. 2010. Carbon input, production and turnover in the interstices of a Lake Tegel bank filtration site, Berlin, Germany. *Limnologica*, 41(3):151-159.
- Hoffmann, A. 2008. *Biologische Funktionsfähigkeit und Dynamik des sandigen Interstitials unterm dem Einfluss induzierter Uferfiltration am Tegeler See (Berlin)*. Programa de Pós-graduação em Engenharia. Technische Universität Berlin. Tese de Doutorado. 164p.
- Hubbs, S.A. 2006. Evaluating streambed forces impacting the capacity of river bed filtration systems. *Riverbank Filtration Hydrology*, 60:21-42.
- Laudares-Silva, R. 1999. *Aspectos limnológicos, variabilidade espacial e temporal na estrutura da comunidade fitoplancônica da Lagoa do Peri, Santa Catarina, Brasil*. Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de São Carlos. Tese do Doutorado, 213p.
- Maloszewski, P.; Moser, H.; Stichler, W.; Bertleff, B. & Hedin, K. 1990. Modelling of groundwater pollution by river bank filtration using oxygen-18 data. In: DRESDEN SYPOSIUM IN GROUNDWATER MONITORING AND MANAGEMENT, Dresden, Alemanha, 1990, Resumo Expandido, p. 153-161.
- Massmann, G.; Nogeitzig, A.; Taute, T. & Pekdeger, A. 2008. Seasonal and spacial distribution of redox zones during lake bank filtration in Berlin, Germany. *Environ. Geol.*, 54:53-65.
- Mondardo, R.I. 2004. *Influência da pré-oxidação na tratabilidade das águas via filtração direta descendente em*

- manancial com elevadas concentrações de microalgas e cianobactérias*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado, 147p.
- NEMAR – Núcleo de Estudos do Mar. 1999. Diagnóstico ambiental visando um programa de monitoramento da Lagoa do Peri. Relatório Técnico Final.
- Oliveira, J.S. 2002. *Análise sedimentar em zonas costeiras: subsídio ao diagnóstico ambiental da Lagoa do Peri – Ilha de Santa Catarina, Brasil*. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado, 154p.
- Pholkern, K.; Srisuk, K.; Grischek, T.; Soares, M.; Schäfer, S.; Archwichei L.; Saraphirom, P.; Pavelic, P. & Wirojanagud, W. 2015. Riverbed clogging experiments at potential river bank filtration sites along the Ping River, Chiang Mai, Thailand. *Environmental Earth Sciences*, 73(12): 7699-7709.
- Rinck-Pfeiffer, S.; Ragusa, S.; Sztajn bok, P. & Vandavelde, T. 2000. Interrelationships between biological, chemical and physical processes as an analog to clogging in aquifer storage and recovery (ASR) wells. *Water Resources*, 34(7): 2110-2118.
- Romero, L.G. 2012. *Remoção de material orgânica natural e precursores de trihalometano por filtração em margem na Lagoa do Peri, Santa Catarina, Brasil*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Tese de Doutorado, 245p.
- Rosenberry, D.O. & Pitlick, J. 2009. Effects of sediment transport and seepage direction on hydraulic properties at the sediment-water interface of hyporheic settings. *Journal of Hydrogeology*, 373:377-391.
- Santos, G.F.; Silva, J.T.N.; Mendonca, M. & Veado, R.W. 1989. Análise ambiental da Lagoa do Peri. *Geosul*, 8:101-123.
- Schälchli, U. 1993. *Die Kolmation von Fließgewässersohlen: Prozess und Berechnungsgrundlagen*. ETH Zürich. Tese do Doutorado, 124p.
- Schubert, J. 2006a. Significance of hydrologic aspects on RBF performance. In: HUBBS, S.A. (ed.). *Riverbank Filtration Hydrology Impacts on System Capacity and Water Quality*. Editora NATO Sciences Series, Springer, 60: 1-20.
- Schubert, J. 2006b. Experience with riverbed clogging along the Rhine river. In: HUBBS, S.A. (ed.). *Riverbank Filtration Hydrology Impacts on System Capacity and Water Quality*. Editora NATO Sciences Series, Springer, 60: 221-242.
- Shamrukh, M. & Abdel-Wahab, A. 2008. Riverbank filtration for sustainable water supply: application to a large scale facility on the Nile River. *Clean Technical Environmental Policy*, 10: 351-358.
- Simonassi, J. 2001. *Caracterização da Lagoa do Peri através da análise de parâmetros físico-químicos e biológicos, como subsídio ao gerenciamento dos recursos hídricos da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil*. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado. 152p.
- Soares, M.; Gunkel, G. & Grischek, T. 2012. Comparison of established methods to determine infiltration rates in river banks and lake shore sediments In: MALOSZEWSKI, P; WITCZAK, S. & MALINA, G. (Ed.). *Groundwater Quality and Sustainability*. Editora CRC Press, p. 229-247.
- Soares, M. 2015. *The influence of high infiltration rates, suspended sediment concentration and sediment grain size on river and lake bed clogging*. Programa de Pós-graduação em Engenharia. Technische Universität Berlin. Tese do Doutorado, 133p.
- Thiry, M. 2000. Palaeoclimatic interpretation of clay minerals in marine deposits: an outlook from the continental origin. *Earth-Science Reviews*, 49:201-221.