



Caracterização de turfa tropical visando avaliar seu potencial como sorvente de baixo custo para elementos potencialmente tóxicos

Jacqueline Zanin Lima

Doutoranda do Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC/USP), São Carlos, Brasil, jacqueline.zanin.lima@usp.br

Jéssica Pelinsom Marques

Doutoranda do Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC/USP), São Carlos, Brazil, jessica.pelinsom.marques@usp.br

Joel Barbujani Sígolo

Professor titular do Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (IGC/USP), São Paulo, Brasil, jbsigolo@usp.br

Valéria Guimarães Silvestre Rodrigues

Professora Associada do Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC/USP), São Carlos, Brasil, valguima@usp.br

RESUMO: A turfa é um material orgânico que apresenta potencial de ser utilizada como sorvente de baixo custo na retenção de elementos potencialmente tóxicos (EPTs). Existem diversas pesquisas que já avaliaram e comprovaram este comportamento para turfas coletadas em regiões de clima temperado. Contudo, as turfas originadas em clima tropical ainda necessitam de mais estudos. Assim, esta pesquisa caracterizou amostras de dois perfis de coleta de uma turfeira brasileira, localizada em Registro (Vale do Ribeira), no tocante a buscar indicativos de sua capacidade de sorção de EPTs. Os resultados mostraram que as turfas são ácidas, conferindo propriedades de sorção relacionadas aos grupamentos funcionais ácidos. O ΔpH foi negativo, indicando predomínio de cargas negativas. O Eh médio foi oxidante, favorecendo a biogeoquímica da sorção. A umidade total atingiu máximas superiores a 85%, com a maior fração de água sendo evaporada à temperatura ambiente. A matéria orgânica foi superior a 500 g kg⁻¹, exceto para as porções superficiais. Assim, mesmo que os resultados tenham refletido certa variabilidade de valores em função da profundidade e do ponto de coleta, de modo geral, os valores são promissores para a sorção. Contudo, este potencial será avaliado em ensaios laboratoriais posteriores.

PALAVRAS-CHAVE: Sorção, Contaminação do solo, Matéria orgânica, Vale do Ribeira.

ABSTRACT: Peat is an organic material that has the potential to be used as a low-cost sorbent in the retention of potentially toxic elements (EPTs). Several studies have already evaluated and confirmed this behavior for peat collected in temperate climate regions. However, as peat originated in tropical climate still essential for further studies. Thus, this research was characterized by two collection profiles of a Brazilian peatland, located in Registro (Ribeira Valley), seeking indicators of its EPT sorption capacity. The results showed that peat is acidic, giving sorption properties related to acidic acid groups. The ΔpH was negative, indicating a predominance of negative charges. The average Eh was oxidizing, favoring the sorption biogeochemistry. Total humidity reached maximum levels above 85%, with the largest fraction of water being evaporated at room temperature. Organic matter was greater than 500 g kg⁻¹, except for the surface portion. Thus, even though the results have reflected a certain variability as function of depth and collection point, in general, the values are promising for sorption. However, this potential will be evaluated in further laboratory tests.

KEYWORDS: Sorption, Soil contamination, Organic matter, Ribeira Valley.



1 Introdução

A turfa é um material orgânico resultante de diferentes estágios de decomposição vegetal em áreas alagadiças. As turfeiras globais ocupam uma área estimada de 400 milhões de hectares, dos quais 88% se localizam em regiões de clima temperado. Contudo, nas últimas décadas significantes reservas têm sido descobertas em países tropicais, como o Brasil (IPS, 2008). Estima-se que exista cerca de 24.000 km² de turfeiras em território brasileiro (WER, 2013) que se formaram, predominantemente, em depressões, associadas com processos fluviais e costeiros (Franchi, 2004). As características do clima tropical, como alta precipitação, evapotranspiração e temperatura, interferem na formação da turfa, através da hidrologia, vegetação e oxidação. Assim, nas turfas tropicais, por exemplo, as espécies arbóreas estão frequentemente envolvidas, em oposição às turfas temperadas nas quais predominam os musgos (Andriesse, 1988).

As turfeiras geralmente contêm camadas estratificadas incluindo restos de vegetais em diferentes estágios de decomposição e contribuições de argila, silte, areia e sais minerais que foram se depositando ao longo do tempo de formação (Kiehl, 1985). Assim, esta estratificação e, consequentemente, a composição da turfa, pode apresentar variações marcantes em função da localização e, até mesmo, da profundidade em um único depósito (Fuchsman, 1980; Kiehl, 1985).

A turfa é formada por uma associação complexa de componentes diretamente relacionados com os constituintes mais estáveis das plantas de origem (Fuchsman, 1980). Ela pode ser empregada na agricultura como fertilizante e condicionador de solo, podendo ser substrato de diversas culturas, mas também apresenta grupos funcionais polares que favorecem a sorção de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) devido à troca iônica e formação de complexos. Sua adequabilidade como sorvente natural já foi comprovada por diversos estudos (Franchi, 2004; Petroni, 2004; Crescêncio Júnior, 2008; Kalmykova; Strömvall; Steenari, 2008; Lee et al., 2013; Egene et al., 2018; Marques et al., 2020; Raimondi et al., 2021). Contudo, a grande maioria dessas pesquisas avaliou turfas coletadas em ambientes de clima temperado. Assim, principalmente as turfas tropicais necessitam de mais estudos que analisem a adequabilidade desse potencial sorvente de baixo custo visando sua utilização na remediação de solos contaminados.

Nesta perspectiva, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a variação, em função da profundidade de coleta, de algumas características físico-químicas de dois perfis de turfa coletados em uma mesma turfeira no município de Registro (Vale do Ribeira, Brasil), bem como analisar esses resultados como indicativos de propriedades favoráveis à sorção de elementos potencialmente tóxicos.

2 Metodologia

Foram analisadas amostras de uma turfeira brasileira (clima tropical) localizada no município de Registro (Vale do Ribeira, Estado de São Paulo). A coleta das amostras deformadas por tradagem manual ocorreu em janeiro/2019 e incluiu dois perfis de amostragem, atingindo a profundidade de 1,6 m para o Ponto A (24°29'43"S; 47°46'41"W) e 2,0 m para o Ponto B (24°29'22"S; 47°46'50"W) (Figura 1).



Figura 1. Mapa de localização dos pontos de coleta de turfa (Ponto A e Ponto B).



As amostras dos dois perfis foram subamostradas de 20 em 20 cm. Após coleta, elas foram secas ao ar, destorreadas em almofariz de ágata, passadas em peneira de abertura de malha de 2,00 mm, homogeneizadas e armazenadas para as posteriores análises. A Figura 2a ilustra a amostra do Ponto A (0-20 cm) após coleta e a Figura 2b exibe os restos de plantas e materiais ainda não decompostos retidos no peneiramento da turfa do Ponto B (160-180 cm).



Figura 2. Amostras de turfa após coleta (a) e material retido (b) e passante (c) na peneira de 2,00 mm.

O pH (em H₂O e em KCl, 1M) foi determinado seguindo a proporção turfa/líquido de 1/10 (5 g e 50 mL) de acordo com Kiehl (1985). As amostras foram agitadas ocasionalmente com bastão de vidro e permaneceram em repouso por 1 hora. Em seguida foram analisadas em pHmetro Digimed (eletrodo modelo DME-CV1). Isso possibilitou o cálculo do ΔpH (Equação 1).

$$\Delta pH = pH_{KCl} - pH_{H_2O} \quad (1)$$

Nas mesmas soluções preparadas em água foram medidos o potencial de oxirredução (Eh), utilizando eletrodo Digimed (modelo DMR-CP1) e a condutividade elétrica (CE), em condutivímetro Digimed (célula de condutividade modelo DMC-010M, tipo discos de platina com constante K de 1 cm⁻¹).

O teor de umidade foi analisado com uma variação parcelada de temperaturas: 25±2°C (temperatura ambiente), 60 a 65°C e 100 a 110°C, sendo a umidade total o somatório das umidades intermediárias. Com as massas antes e após secagem foi possível calcular os respectivos teores de umidade através da Equação 2:

$$h = \frac{M_w}{M_a} \times 100 \quad (2)$$

Onde: h é o teor de umidade (%); M_w é a massa de água na amostra, ou seja, diferença de massa antes e após secagem (g); M_a é a massa total da amostra úmida, ou seja, sólidos e água (g).

A determinação da matéria orgânica (MO) e resíduo mineral (RM), com as amostras secas (100 a 110°C), foi realizada em mufla a 550°C e com tempo de permanência de 4 a 5 horas (Alcarde, 2009).

$$MO = \left(1 - \frac{M_m}{M_e}\right) \times 1000 \quad (3)$$

Onde: MO é o teor de umidade (g kg⁻¹); M_m é a massa da amostra queimada em mufla, à temperatura de 550°C (g); M_e é a massa da amostra seca em estufa, à temperatura de 100 a 110°C (g).

Todos os ensaios foram conduzidos em duplicata, sendo apresentados os valores da média e desvio padrão. As análises estatísticas foram realizadas no RStudio (R-4.1.2) e os gráficos foram construídos no Origin 2020.

3 Resultados e Análises

Os valores de pH típicos de turfas geralmente oscilam de 3 a 6 (IPT, 1979), sendo que, segundo a ASTM D4427-13 as turfas podem ser classificadas de acordo com faixas de pH variando abaixo de 4,5 (altamente ácida), entre 4,5 a 5,5 (moderadamente ácida), entre 5,5 a 7,0 (ligeiramente ácida) e superior a 7,0 (básica). A Figura 3 apresenta a variação do pH das turfas estudadas em função da profundidade. Os valores médios do pH em H₂O, encontrados foram de 4,3 para a turfa obtida no Ponto A e 4,1 para a turfa do Ponto B, permitindo



enquadrá-las como altamente ácidas. De fato, nota-se que as porções superficiais (0 a 0,4 m para o Ponto A e 0 a 0,6 m para o Ponto B) apresentaram valores de pH significativamente menores ($p < 0,05$) em comparação com o restante dos respectivos perfis. Provavelmente isso decorre do fato de nessas camadas predominarem os materiais de deposição mais recente e consequentemente menos decompostos. Afinal, as turfas tendem a ser mais ácidas, quanto menor for sua decomposição (IPT, 1979). Ademais, com o aumento da profundidade, a turfa A se mostrou ligeiramente menos ácida que a turfa B (Figura 3a).

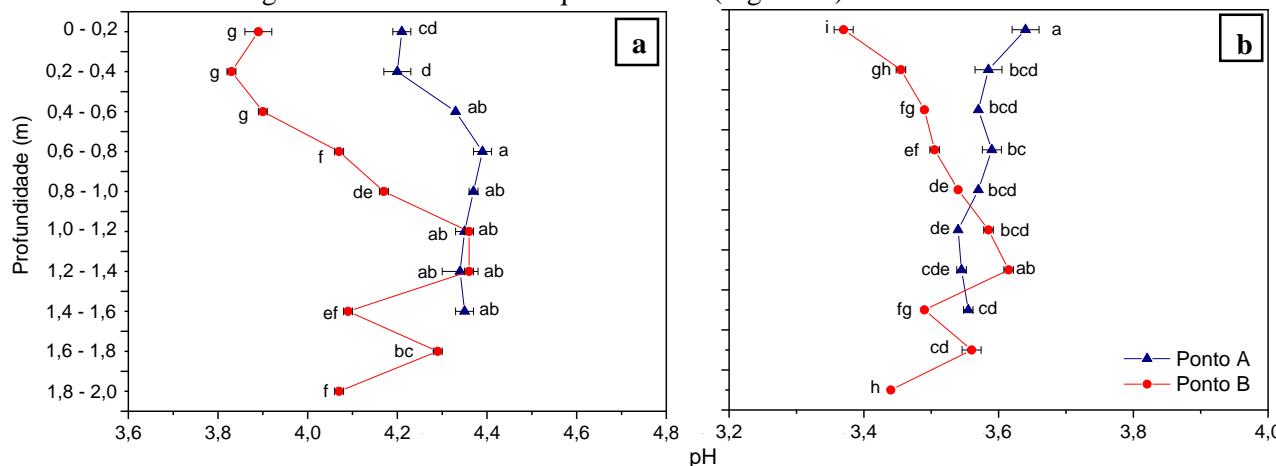


Figura 3. Variação dos valores de pH em água (a) e KCl (b) em função da profundidade.
Médias seguidas da mesma letra em cada figura não diferem estatisticamente (Tukey, $p < 0,05$).
CV = 0,52% em (a) e 0,35% em (b).

Outros estudos de turfas brasileiras (clima tropical) também relataram pH em H₂O similar ao encontrado nesta pesquisa, como Kiehl (1985) que avaliou amostras extraídas em Mogi das Cruzes, SP (pH entre 3,2 e 3,9) e Crescêncio Júnior que trabalhou com turfas coletadas em Resende, RJ (pH de 4,4) e Mogi-Guaçu, SP (pH de 4,3). Existem ainda análises de turfas de clima temperado também condizentes com os resultados desta pesquisa, como Koivula et al. (2009) com turfa da Finlândia (pH de 4,1), Smieja-Król et al. (2010) com turfa da Polônia (pH entre 4,0 e 4,3) e Lee et al. (2015) com turfa da Rússia (pH de 3,7). No entanto, outros autores relataram valores de pH superiores para turfas tropicais (Lima, 2017 com pH de 5,1 para uma turfa coletada em Cravinhos, SP) e turfas temperadas (Gündoğan, Acemoğlu e Alma, 2004 com pH de 7,6 para uma turfa da Turquia), bem como valores de pH inferiores (Petroni, 2004 obteve valores de 2,5; 3,2 e 3,9 para diferentes tipologias de turfa extraídas em Balneário Arroio do Silva, SC).

Esse caráter predominantemente ácido está relacionado com a constituição da turfa, com destaque para os compostos orgânicos, incluindo os ácidos orgânicos (húmicos e fúlvicos). Isso confere a este material propriedades de sorção relacionadas sobretudo aos grupos funcionais ácidos: carboxílico, fenólico e sulfônico, os quais possibilitam a troca de íons H⁺ por outros íons catiônicos (Bartczak et al., 2018). O pH interfere diretamente nas cargas negativas dos coloides orgânicos, sendo que na faixa de pH entre 4,0 e 5,0, de 90 a 99% dos grupos carboxílicos já se encontram dissociados (Dick et al., 2009). As turfas estudadas apresentaram pH neste intervalo de valores (Figura 3a), permitindo supor que os grupos funcionais COOH das substâncias húmicas já se encontram dissociados, contribuindo para a elevação da capacidade de troca catiônica (CTC). O pH também interfere diretamente na especiação dos EPTs em solução. Brown, Gill e Allen (2000) complementam que o pH ótimo de sorção para grande parte dos íons metálicos bivalentes, mesmo variando entre os elementos, está compreendido de 3,5 a 6,5, que engloba os valores encontrados nesta pesquisa, sendo uma característica favorável para a potencial capacidade de sorção das turfas estudadas.

Contudo, o potencial de imobilização da maioria dos EPTs tende a se elevar na medida em que o pH aumenta, alcançando uma capacidade máxima em situações de pH neutro ou ligeiramente alcalino (Adriano, 1986). Considerando este fato, o pH das turfas estudadas, em torno de 4,1 a 4,3 pode não ser tão favorável. Portanto, pode ser necessário algum tratamento da turfa para que ela atinja maiores capacidades de sorção, como uma ativação (química ou térmica). Nesse sentido, Lee et al. (2015) comparou a capacidade de sorção de uma turfa temperada *in natura* e processada a 800°C por 90 minutos, produzindo um biocarvão da amostra de interesse. Em função da pirólise, os autores observaram um aumento do pH de 3,7 para 9,2 e da capacidade de sorção de chumbo (Pb) de 48,4 para 60,5 mg g⁻¹. Já para o cobre (Cu) e o cádmio (Cd) as variações não



foram significativas. Assim, os autores concluíram que a sorção de Cu e Cd não foi afetada pelo aumento de pH no biocarvão, diferente do Pb que é mais sensível ao pH e facilmente precipitável em condições alcalinas.

Foi determinado também o pH em KCl (Figura 3b) permitindo o cálculo do ΔpH (Tabela 1). Os valores de pH em KCl na porção superficial (0 a 0,2 m) foram significativamente diferentes em comparação com as demais amostras dos respectivos perfis de coleta, em ambos pontos de amostragem. Todos os valores de pH em KCl foram menores que os respectivos valores de pH em H₂O, o que pode ser explicado pelo chamado “efeito de sais” (Petroni, 2004). A determinação do pH em solução salina é interessante já que o pH em H₂O reflete a concentração de H⁺ na solução, não levando em consideração a presença de H⁺ retidos na superfície coloidal. Contudo, ao se utilizar o KCl, os H⁺ trocáveis são liberados da superfície coloidal, permanecendo em solução e decrescendo o pH do meio (Kiehl, 1985). Este parâmetro é importante em estudos de sorção pois é um indicativo do balanço de cargas do sorvente. O ΔpH encontrado foi negativo para todas as profundidades, com valor médio de - 0,7 (Ponto A) e - 0,6 (Ponto B) (Tabela 1), indicando o predomínio de cargas negativas superficiais, o que favorece a maior capacidade de retenção de cátions. Outros autores também observaram resultados negativos para ΔpH em turfa, como Lima (2017) (- 1,0) e Smieja-Król et al. (2010) (- 0,8 a - 0,7).

Tabela 1. Variação dos valores de ΔpH em função da profundidade de coleta de turfa.

Profundidade (m)	ΔpH	
	Ponto A	Ponto B
0 - 0,2	- 0,6 ± 0,0	- 0,5 ± 0,1
0,2 - 0,4	- 0,6 ± 0,0	- 0,4 ± 0,0
0,4 - 0,6	- 0,8 ± 0,0	- 0,4 ± 0,0
0,6 - 0,8	- 0,8 ± 0,0	- 0,6 ± 0,0
0,8 - 1,0	- 0,8 ± 0,0	- 0,6 ± 0,0
1,0 - 1,2	- 0,8 ± 0,0	- 0,8 ± 0,0
1,2 - 1,4	- 0,8 ± 0,0	- 0,7 ± 0,0
1,4 - 1,6	- 0,8 ± 0,0	- 0,6 ± 0,0
1,6 - 1,8	-	- 0,7 ± 0,0
1,8 - 2,0	-	- 0,6 ± 0,0

O traço (“-”) indica que não foi coletada amostra referente a esta profundidade.

Outro parâmetro físico-químico determinado foi o Eh (Figura 4a). Para ambos os perfis, os valores foram todos positivos, com médias de + 211,09 mV e de + 211,41 mV para os Pontos A e B, respectivamente. Observa-se ainda uma tendência de diminuição dos valores em função do aumento da profundidade, para ambos perfis de coleta. Com o aumento da profundidade, a partir de 1,0 m, as amostras não diferiram significativamente ($p < 0,05$), nem entre as profundidades e nem entre os pontos. Isso pode estar relacionado ao grau de decomposição das amostras e consequente presença de substâncias húmicas. Como comparativo, outros autores também encontraram condições oxidantes para turfas coletadas no Estado de São Paulo, como Lima (2017) (+ 432 ± 46 mV) e Raimondi (2019) (+ 283,0 ± 9,0 mV).

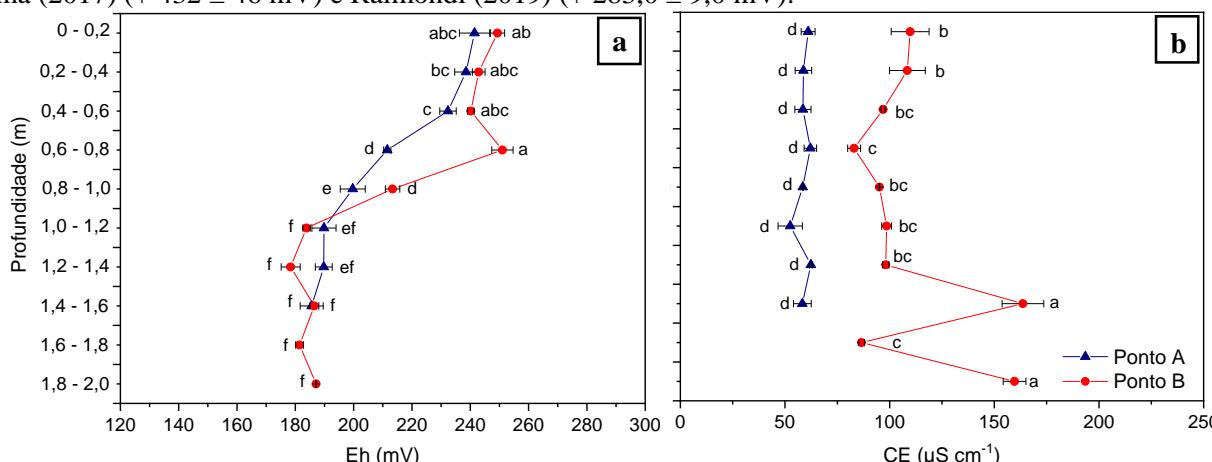


Figura 4. Variação dos valores de Eh (a) e CE (b) em função da profundidade.

Médias seguidas da mesma letra em cada figura não diferem estatisticamente (Tukey, $p < 0,05$).

CV = 1,40% em (a) e 5,44% em (b).



Em relação à condutividade elétrica (Figura 4b), a média de valores do Ponto B ($109,98 \mu\text{S cm}^{-1}$) foi superior ao Ponto A ($59,02 \mu\text{S cm}^{-1}$). Nota-se ainda que a Ponto A exibiu uma uniformidade quase constante de valores em função do aumento da profundidade, os quais não diferiram estatisticamente entre si ($p < 0,05$). No entanto, o Ponto B apresentou dois casos com valores estatisticamente superiores: profundidades 1,4 a 1,6 m ($163,65 \mu\text{S cm}^{-1}$) e 1,8 a 2,0 m ($159,65 \mu\text{S cm}^{-1}$). Isso possivelmente se deve a algum acúmulo de sais em função da tipologia de materiais que ali foram depositados e permaneceram para decomposição.

A Figura 5 exibe a variação do teor de umidade. Em ambos os perfis, a camada superficial (0 a 0,20 m) exibiu os menores percentuais com valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$) das demais porções do perfil. A umidade total (soma das três frações de umidade estudadas: temperatura ambiente, $60-65^\circ\text{C}$ e $100-110^\circ\text{C}$) foi igual ou superior a 55%, atingindo valores máximos de 86% (Ponto A) e 89% (Ponto B). De fato, o maior componente da turfa é a água com valores típicos de 80 a 90% para amostras frescas (Fuchsman, 1980). Portanto, os valores encontrados neste estudo se encontram condizentes com o esperado. Observa-se ainda que a maior fração de água foi perdida já na exposição à temperatura ambiente.

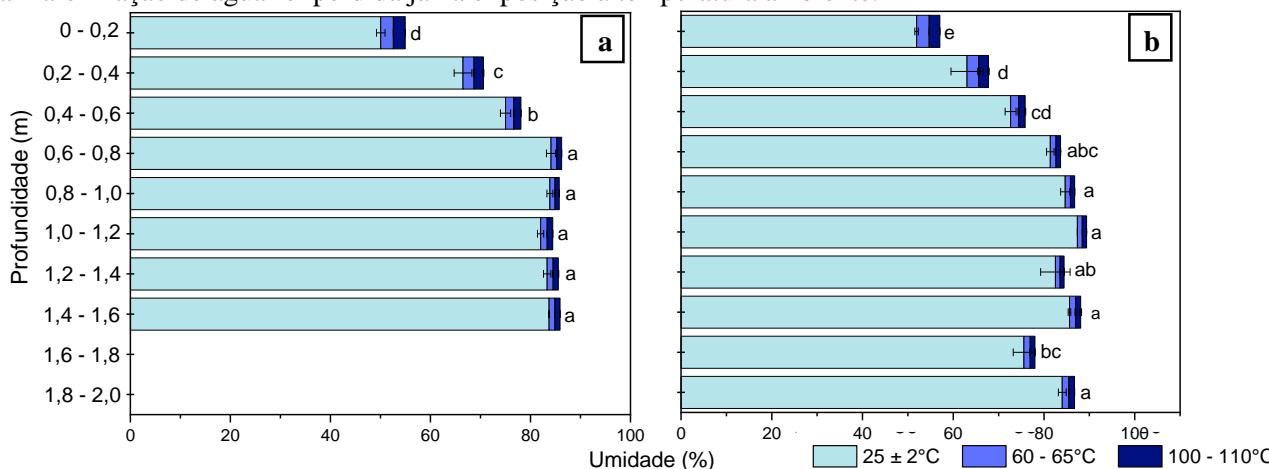


Figura 5. Variação dos valores de umidade para o Ponto A (a) e Ponto B (b) em função da profundidade. Médias da umidade total seguidas da mesma letra em cada figura não diferem estatisticamente (Tukey, $p < 0,05$). CV = 1,07% em (a) e 2,66% em (b).

A variação dos teores de matéria orgânica e respectivos resíduos minerais para a turfa é mostrada na Figura 6. Ambos pontos revelaram valores médios de MO próximos a 60% ($582,55 \text{ g kg}^{-1}$ e $594,06 \text{ g kg}^{-1}$ para os Pontos A e B, respectivamente). Em relação à profundidade, nas duas coletas, há uma certa variação com a menor presença de matéria orgânica registrada na camada superficial (0 - 0,2 m). No Ponto B, todas as amostras apresentaram valores de MO estatisticamente diferentes entre si ($p < 0,05$) (Figura 6b).

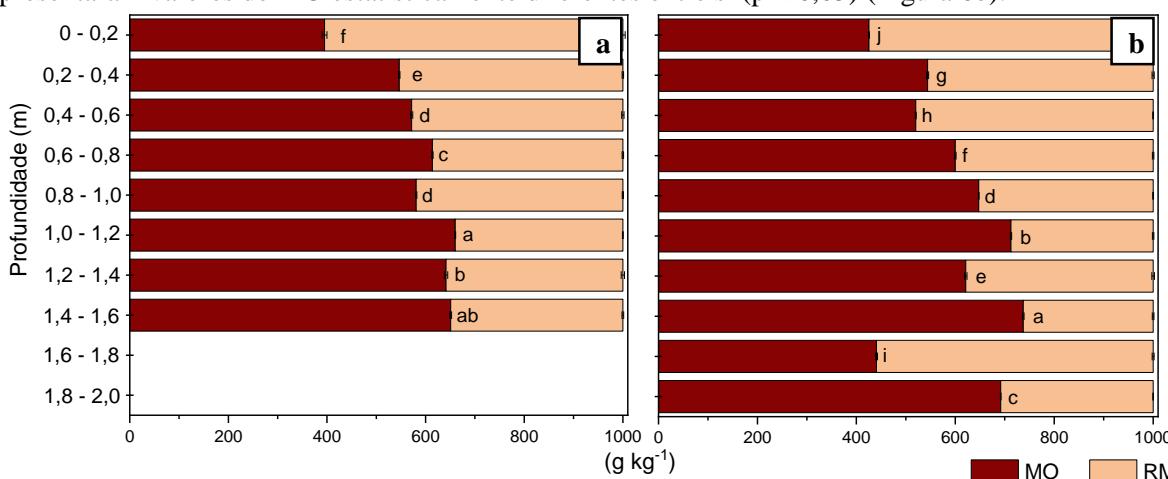


Figura 6. Variação dos valores de MO e RM para o Ponto A (a) e Ponto B (b) em função da profundidade. Médias da MO seguidas da mesma letra em cada figura não diferem estatisticamente (Tukey, $p < 0,05$). CV = 0,43% em (a) e 0,27% em (b).



As turfas podem apresentar teores variados de MO (Kiehl, 1985). Na literatura, podem ser encontradas referências de turfas com menores valores que este estudo, como Lima (2017) (turfa de Cravinhos, SP: 520,43 g kg⁻¹) e Gündoğan, Acemioğlu e Alma (2004) (turfa da Turquia: 496,4 g kg⁻¹). No entanto, também podem ser verificados maiores valores, como em Petroni (2004) (turfas de Arroio do Silva, SC: 734 a 971 g kg⁻¹).

Em relação à retenção de contaminantes, a MO exibe a capacidade de imobilizar quantidades consideráveis de cátions de EPTs, através da troca iônica (Adriano, 1986). Portanto, espera-se que turfas com maiores frações orgânicas exibam maiores capacidades de sorção, mas outros fatores têm influência direta como o grau de humificação e o próprio contaminante. Nesse sentido, Crescêncio Júnior (2004) obteve valores superiores de MO para uma turfa de Mogi Guaçu (682 g kg⁻¹) em relação à outra amostra de Resende (325 g kg⁻¹). Em relação à retenção de Cd, a turfa de Resende apresentou maior capacidade de sorção, mostrando que outros fatores podem ter sido mais importantes que a MO na imobilização deste elemento.

Além dos teores totais, o estado de decomposição da MO também é fundamental quanto à sua caracterização. A MO presente na turfa pode se encontrar em diversas formas: crua (parcela recentemente incorporada), parcialmente humificada e humificada (fração totalmente decomposta e estabilizada) (Kiehl, 1985). O grau de decomposição, por sua vez, interfere na presença e proporção de substâncias húmicas (Petroni, 2004), podendo formar desde fracas interações até ligações altamente estáveis (Lima, 2017).

A Figura 7 mostra os resultados da Correlação de Pearson aplicada aos parâmetros analisados. Em ambos perfis, houve uma forte correlação positiva entre a umidade e a MO. De fato, estes parâmetros estão intimamente relacionados, haja vista que a turfa apresenta elevada capacidade de retenção de água em função de seus altos teores de MO. Como visto anteriormente, de modo geral, as porções mais profundas apresentaram maiores umidades (Figura 5) e maiores teores de MO (Figura 6). Este comportamento pode favorecer o uso de turfas na remediação de solos contaminados que, em geral, se encontram degradados. O conteúdo orgânico das turfas pode promover a imobilização dos contaminantes e, simultaneamente, contribuir para o desenvolvimento vegetal, com a oferta de nutrientes e maior retenção de água no solo.

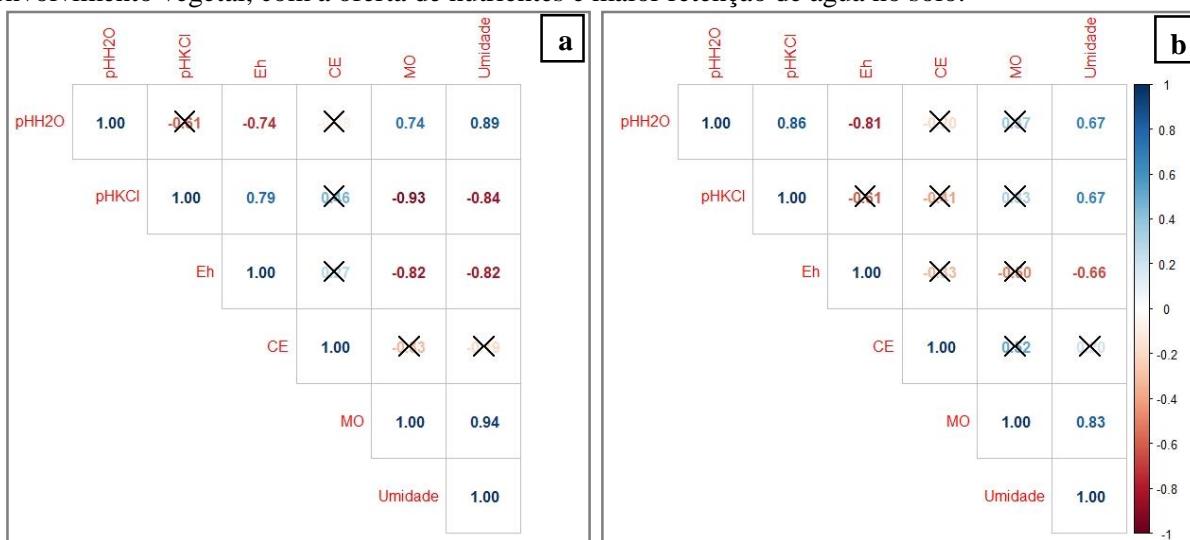


Figura 7. Resultados de Correlação de Pearson (a nível de significância de 5%) para os parâmetros avaliados nas amostras dos Pontos A (a) e B (b).

4 Conclusão

A caracterização de materiais reativos é fundamental para se avaliar sua aplicabilidade na retenção de EPTs de modo seguro e satisfatório. As propriedades da turfa refletiram certa variação em função da profundidade e dos pontos de coleta. Porém, de modo geral, os resultados são promissores para a sorção que será avaliada em experimentos posteriores.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (nº processo: 2017/16961-0) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (bolsa de produtividade em pesquisa - nº do processo: 310989/2020-5).



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriano, D.C. (1986) *Trace elements in the terrestrial environments*. New York: Springer-Verlang. 533p.
- Alcarde, J.C. (2009) *Manual de Análise de Fertilizantes*. Piracicaba: FEALQ.
- American Society for Testing and Materials - ASTM. D4427: *Standard Classification of Peat Samples by Laboratory Testing* (2013).
- Andriesse, J.P. (1988) *Nature and Management of Tropical Peat Soils*. Soil Resources, Management and Conservation Service. FAO Land and Water Development Division.
- Bartczak, P., Norman, M., Klapiszewski, L., Karwańska, N., Kawalec, M., Baczyńska, M., ... Jasionowski, T. (2018) Removal of nickel(II) and lead(II) ions from aqueous solution using peat as a low-cost adsorbent: A kinetic and equilibrium study. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(8), p.1209-1222.
- Brown; P.A., Gill, S.A., Allen, S.J. (2000) Metal removal from wastewater using peat. *Water Research*, 34(16), p.3907-3916.
- Crescêncio Júnior, F. (2008) *Estudo de Turfas em Laboratório como Barreira Reativa na Remediação de Aquíferos*. Tese de Doutorado. UFRJ, COPPE. Rio de Janeiro.
- Dick, D.P., Novotny, E.H., Dieckow, J., Bayer, C. (2008) Química da matéria orgânica no solo. In: Mello, J.W., Alleoni, L.R. *Química e Mineralogia do Solo*. Viçosa / MG. Volume 2, Capítulo XI, p.1-68.
- Egene, C.E., Van Poucke, R., OK, Y.S., Meers, E., Tack, F.M.G. (2018) Impact of organic amendments (biochar, compost and peat) on Cd and Zn mobility and solubility in contaminated soil of the Campine region after three years. *Science of the Total Environment*, 626, p.195-202.
- Franchi, J.G. (2004) *A utilização de turfa como adsorvente de metais pesados: O exemplo da contaminação da bacia do rio Ribeira de Iguape por chumbo e metais associados*. Doutorado. USP. 198p.
- Fuchsman, C.H. (1980) *Peat - Industrial Chemistry and Technology*. Academic Press, New York. 279p.
- Gündoğan, R., Acemoğlu, B., Alma, M.H. (2004) Copper (II) adsorption from aqueous solution by herbaceous peat. *Journal of Colloid and Interface Science*, 269(2), p.303-309.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT (1979) *Estudo das possibilidades de aproveitamento de turfa no Estado de São Paulo*. Relatório 12.761. São Paulo: IPT.
- International Peat Society – IPS (2008) *Peatlands and Climate Change*. Edited by Strack, M..
- Kalmykova, Y., Strömwall, A.M., Steenari, B.M. (2008) Adsorption of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn on Sphagnum peat from solutions with low metal concentrations. *Journal of Hazardous Materials*, 152(2), p.885-891.
- Kiehl, E.J. (1985) *Fertilizantes orgânicos*. Piracicaba: Editora Agronômica “Ceres” Ltda, 492p.
- Koivula, M., Kujala, K., Rönkkölä, H., Mäkelä, M. (2009) Sorption of Pb(II), Cr(III), Cu(II), As(III) to peat, and utilization of the sorption properties in industrial waste landfill hydraulic barrier layers. *Journal of Hazardous Materials*, 164(1), p.345-352.
- Lee, S.J., Park, J.H., Ahn, Y.T., Chung, J.W. (2015) Comparison of heavy metal adsorption by peat moss and peat moss-derived biochar produced under different carbonization conditions. *Water, Air, & Soil Pollution*, p.1-11.
- Lima, J.Z. (2017) *Caracterização geológica-geotécnica e estudo da adsorção de Pb, Zn e Cd por turfa e compostos orgânicos*. 2017. 376 f. Mestrado. EESC - USP.
- Marques, J.P., Rodrigues, V.G.S., Raimondi, I.M., Lima, J.Z. (2020) Increase in Pb and Cd adsorption by the application of peat in a tropical soil. *Water, Air, & Soil Pollution*, v.231, n.136.
- Petroni, S. L. G. (2004) *Avaliação cinética e de equilíbrio do processo de adsorção dos íons dos metais cádmio, cobre e níquel em turfa*. Doutorado. IPEN - USP. 134p.
- Raimondi, I. M., Rodrigues, V. G., Lima, J. Z., Marques, J. P., Vaz, L. A. A., Vieira, E. M. (2021). Assessment of the use of tropical peats as local alternative materials for the adsorption of Pb, Zn and Cd: An equilibrium study. *Earth Sciences Research Journal*, 25(1).
- Raimondi, I. M. (2019) Turfa, composto de torta de cana-de-açúcar e zeólitas como sorventes de Pb, Cd e Zn: Equilíbrio em lote, cinética, dessorção e bioacessibilidade. Doutorado. EESC - USP.
- Smieja-Król, B., Fialkiewicz-Koziel, B., Sikorski, J., Palowski, B. (2010) Heavy metal behaviour in peat – A mineralogical perspective. *Science of the Total Environment*, 408(23), p.5924-5931.
- World Energy Resources - WER, 2013. Disponível em: < https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2013/09/Complete_WER_2013_Survey.pdf>. Acesso em: 10 de dezembro de 2021.