

XVI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE
15º SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES
DE LÍNGUA PORTUGUESA

**CAPACIDADE DE SORÇÃO DE FÓSFORO NO SOLO NA ZONA RIPÁRIA
DE UM RESERVATÓRIO NO SEMIÁRIDO**

Giulliana Karine Gabriel Cunha¹ & Karina Patrícia Vieira da Cunha²

RESUMO – O fósforo (P) está naturalmente nos solos. Mudanças no uso do solo podem promover entradas de P no solo que levam a saturação do solo excedendo sua capacidade máxima de sorção de P. Além do aporte de P, a ocupação urbana promove mudanças dos atributos do solo que contribuem para intensificar a vulnerabilidade do solo à erosão e a entrada de P do solo para os ecossistemas aquáticos. O objetivo deste estudo foi avaliar as características de sorção de P em solos urbanos e naturais da zona ripária do reservatório de Santa Cruz do Apodi. Para isto, foram analisados os atributos físicos e químicos do solo, densidade de partículas, densidade de solo, porosidade total, granulometria, pH, matéria orgânica e fósforo disponível. As características de sorção de fósforo foram obtidas a partir do ajuste das equações de Langmuir e Freundlich. O solo sob ocupação antrópica apresentou menor capacidade de sorver P. O aumento dos teores de areia e redução dos teores de argila ocorreram em conjunto ao aumento do índice de saturação de fósforo e a redução da capacidade do solo sorver P no solo urbano, sendo bons indicadores de solos fonte P em bacias hidrográficas.

ABSTRACT– Phosphorus is naturally present in soils. Changes in land use can promote P inputs to the soil that lead to soil saturation exceeding its maximum sorption capacity of P. In addition to the input of P, urban occupation promotes changes in soil attributes that contribute to intensify soil vulnerability to erosion and the input of P from the soil to aquatic ecosystems. The objective of this study was to evaluate the characteristics of P sorption in urban and natural soils of the riparian zone of the reservoir of Santa Cruz do Apodi. For this, the physical and chemical soil attributes, particle density, soil density, total porosity, granulometry, pH, organic matter and available phosphorus were analyzed. The phosphorus sorption characteristics were obtained by fitting the Langmuir and Freundlich equations. The soil under anthropic occupation showed less capacity to sorb P. The increase of sand contents and reduction of clay contents occurred together with the increase of phosphorus saturation index and the reduction of soil P sorption capacity in urban soil, being good indicators of P source soils in watersheds.

Palavras-Chave: Urbanização, Poluição difusa, Ambiente Aquático

INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é encontrado naturalmente no solo como resultado do intemperismo de minerais fosfatados existentes no material de origem e pela mineralização da matéria orgânica do solo. Uma característica do P é a sua reação com componentes do solo formando compostos relativamente insolúveis, muitos dos quais têm disponibilidade limitada (Fink et al., 2014). Essa interação do P com a matriz sólida do solo é chamada de sorção, e engloba, predominantemente, os mecanismos de adsorção e precipitação de fosfatos (Gérard, 2016).

Mudanças no uso da terra promovem entradas adicionais de P no solo (Appelhans et al., 2020). Dentre os usos da terra, a agricultura é apontada como o uso com maior potencial para aportar P em solos, por isso a maioria dos estudos estão voltados para a sorção e a disponibilidade de P, e a produtividade agrícola. Alterações na sorção e disponibilidade de P são pouco estudadas quando se trata de solos urbanos, como solos de parques e áreas residências (Wei et al., 2019). Entender como a sorção e disponibilidade de P varia entre ecossistemas naturais e urbanos serve de base para o gerenciamento de P em bacias hidrográficas, subsidiando a escolha de técnicas de conservação e manejo do solo e da água (Zhang et al., 2019).

Após a ocupação urbana o processo de erosão é intensificado, resultando na redução do teor de argila do solo (Oliveira et al., 2021). A redução do teor de argila, aumento de matéria orgânica do solo, e de bases trocáveis verificados em solos estão comumente associados ao controle da sorção de P (Fink et al., 2014b). Essas mudanças do solo auxiliam para o agravamento do risco potencial do solo em contribuir para as cargas globais de P nos ecossistemas aquáticos, que intensifica a crise hídrica (Oliveira et al., 2021).

O objetivo deste trabalho é avaliar as características de sorção em solos naturais e urbanos da zona ripária do reservatório Santa Cruz do Apodi e identificar que fatores influenciam na sorção de P.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho é a zona ripária do Reservatório Santa Cruz do Apodi, localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró, semiárido do estado do Rio Grande do Norte (Figura 1).

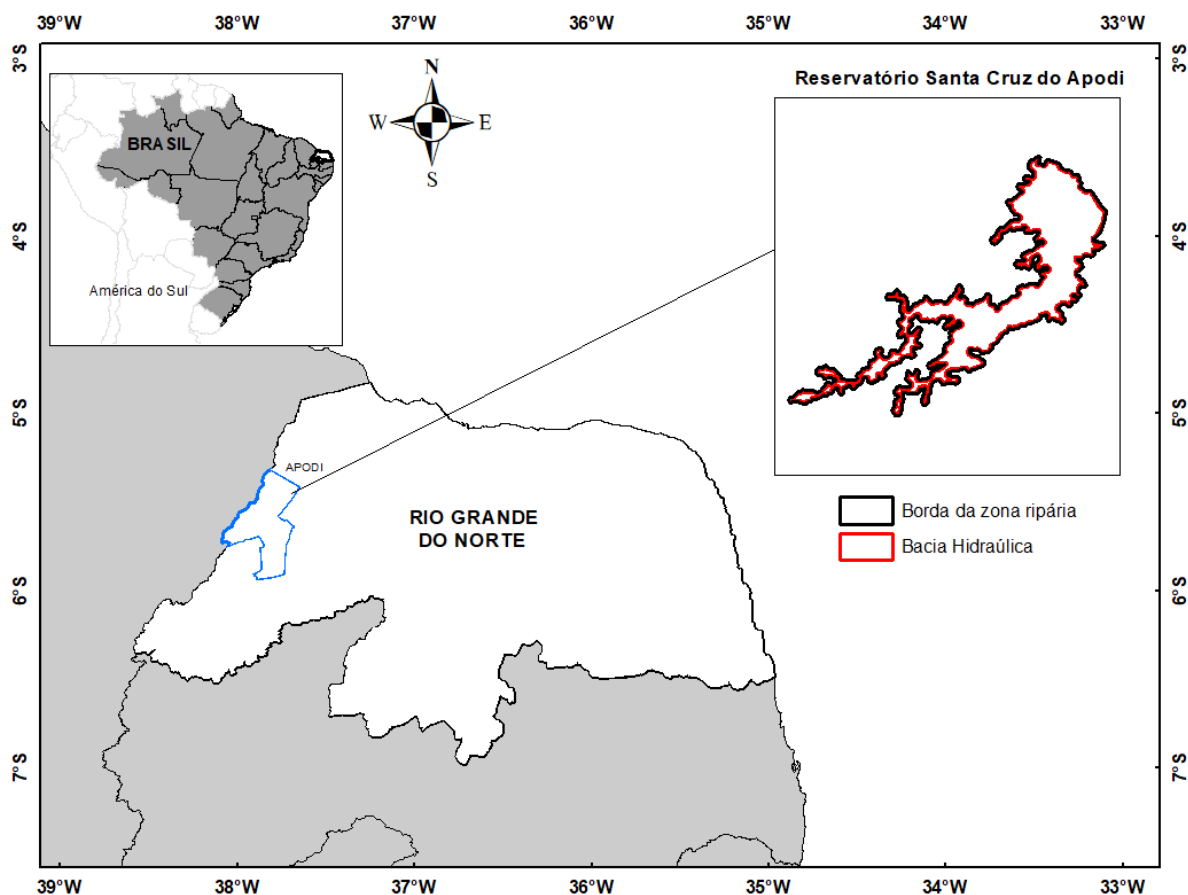


Figura 1 – Localização do Reservatório Santa Cruz do Apodi– RN
Fonte: IBGE (2021); IGARN (2021); Elaborado pelo autor

O reservatório Santa Cruz do Apodi está localizado no município de Apodi no estado Rio Grande do Norte, possui capacidade máxima para 599.712.000 m³ (SEMARH, 2016). Os tipos de solo predominantes na zona ripária são Luvisolo Crômico e Neossolo Litólico (IBGE, 2021). Esses solos são poucos desenvolvidos, jovens, suscetíveis a processos erosivos devido à diferença textural entre os horizontes A e Bt (EMBRAPA, 2018). A zona ripária está inserida no Complexo Jaguaretama, que é caracterizado por ortognaisses graníticos a granodioríticos, migmatizados. O clima da região é do tipo BSh, caracterizado por ser quente e seco (Alvares et al., 2013).

Neste estudo foi considerada a faixa máxima de Área de Preservação Permanente (App) de 100 m, utilizada para reservatórios artificiais de abastecimento, segundo o Código Florestal, para a delimitação da zona ripária do reservatório de Santa Cruz de Apodi. A delimitação da zona ripária foi realizada no software ArcGis (versão 10.3).

Análise da qualidade do solo

Na zona ripária de Santa Cruz do Apodi foram coletadas amostras de solo representativas de urbanização e vegetação natural. As amostras foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm. Cada amostra composta representa uma parcela amostral (urbano e natural) e foi formada pela mistura de cinco amostras simples. As amostras foram secas em estufa, homogeneizadas e peneiradas (2 mm) (Teixeira et al., 2017). As amostras de solo foram caracterizadas física e quimicamente utilizando os métodos preconizados por Teixeira et al. 2017.

Tabela 1 - Metodologia utilizada para análise das amostras de solo da zona ripária do Cruzeta

Parâmetro	Metodologia
Granulometria	Método da Pipeta
Densidade do Solo (Ds)	Método da Proveta
Densidade de Partículas (Dp)	Método do Balão Volumétrico
Porosidade Total (PT)	Relação entre Dp e Ds
pH	pH em água 1:2,5
Matéria Orgânica (MO)	Oxidação com Dicromato de Potássio em Meio Sulfúrico
Fósforo Disponível (P)	Colorimetria após extração com extrator Mehlich -1

Fonte: Teixeira et al., 2017

O fósforo remanescente (P-rem) foi determinado a partir da agitação de 5 cm³ de amostra de solo com 50 ml de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ contendo 60 mg L⁻¹ de P durante cinco minutos, e logo após deixando de repouso por 16h (Teixeira et al. 2017). Em seguida, a amostra foi filtrada e o P quantificado no extrato por espectrofotometria. Os valores de fósforo remanescente foram usados de base para determinação das doses de P utilizadas no experimento de sorção (Alvarez et al., 2000), e corresponderam a 0; 5; 10; 15; 25; 35; 50; 65; 80; 95; 130 mg L⁻¹, respectivamente.

Para o ensaio de sorção foram utilizados 2,5 cm³ de solo e transferidos para tubos falcon de 50 ml. Em seguida foi adicionado 25 ml de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ contendo as diferentes concentrações de P. O ensaio de sorção foi realizado em triplicata. As amostras foram submetidas à agitação horizontal por 24 h, centrifugadas a 3000 rpm durante 5 min e filtradas. O teor de P na solução de equilíbrio (sobrenadante) foi dosado por colorimetria (Braga e Defelipo, 1974).

Os dados de P sorvido e as concentrações de P na solução de equilíbrio foram ajustados à equação de Langmuir (Equação 1) e Freundlich (Equação 2).

$$Q = (K * S_{max} * C_e) / (1 + K * C_e) \quad (1)$$

Onde:

Q = Quantidade de fósforo sorvido;

K_1 = Energia de ligação de P ao solo;

C_e (mg L^{-1}) = Concentração de equilíbrio de fósforo;

S_{max} (mg g^{-1}) = Capacidade máxima de sorção de fósforo.

$$Q = K_f * C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

Onde:

Q = Quantidade de fósforo sorvido;

K_f = Coeficiente de sorção;

C_e (mg L^{-1}) = Concentração de equilíbrio de fósforo;

$1/n$ = Constante relacionada a heterogeneidade da superfície e a energia de ligação.

O índice de saturação de P (PSI) foi calculado da seguinte forma:

$$\text{PSI} = \left(\frac{P_{\text{disp}}}{S_{\text{máx}} + P_{\text{disp}}} \right) * 100\% \quad (3)$$

Onde:

$P_{\text{-disp}}$ = Concentração de P extraível em Melich⁻¹ (mg kg^{-1});

$S_{\text{máx}}$ = Capacidade de sorção de fósforo (mg g^{-1})

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva. As isotermas de sorção foram ajustadas por meio da regressão não linear usando o pacote de ferramentas do software R e as equações geradas com o uso do Sigma.

RESULTADOS

Os solos naturais e urbanos são predominantemente arenosos (Tabela 2). De maneira geral, os teores de areia aumentaram e os teores de argila diminuíram nos solos urbanos. A densidade de solo nos solos naturais variou de 1,50 a 1,54 g cm^{-3} , enquanto nos urbanos de 1,43 a 1,53 g cm^{-3} . Os teores de matéria orgânica aumentaram nos solos naturais, assim como o fósforo remanescente.

Tabela 2 – Atributos físicos e químicos de solos naturais e urbanos na zona ripária do reservatório de Santa Cruz de Apodi

	Silte	Areia g.kg ⁻¹	Argila	Dp g.cm ⁻³	Ds	pH	MO g kg ⁻¹	P g kg ⁻¹	P-rem mg.L ⁻¹
Naturais									
1	92.44	746.88	160.68	2.86	1.50	6.78	9.59	70.48	24.04
2	85.80	672.19	242.01	2.79	1.51	6.43	9.03	66.81	24.29
3	52.10	644.10	303.80	2.82	1.53	6.87	9.31	68.64	23.56
Urbanos									
4	121.90	735.12	142.99	2.67	1.42	6.27	6.21	72.77	17.39
5	114.30	830.54	55.16	2.78	1.46	6.13	6.77	73.17	17.34
6	115.50	795.46	89.04	2.81	1.53	6.34	7.34	72.96	17.36

A capacidade máxima de sorção de P no solo natural foi de 0,176 mg g⁻¹, enquanto nos solos urbanos de 0,166 (Tabela 3). A constante “K_l” obtida no ajuste do modelo de Langmuir e relacionada a energia de ligação apresentou valor de 0,158 Lmg⁻¹ nos solos naturais. A constante de sorção de Freundlich “1/n” foi de 0,245 no solo natural, e de 0,291 no solo urbano (Tabela 2). O solo natural se ajustou melhor ao modelo de Freundlich com R² de 0,895, enquanto no solo urbano o melhor ajuste foi de Langmuir (Tabela 2). O PSI foi maior no solo natural, indicando uma maior possível perda de P do solo.

Tabela 3 - Equações de Langmuir e Freundlich, seus coeficientes de determinação (R²) para solo natural e urbano. Smáx=Capacidade máxima de sorção; K_l=Energia de ligação; 1/n e K_f constantes de Freundlich; PSI=Índice de saturação de P.

Análise de Adsorção de Metais Pesados em Solos Contaminados									
Langmuir					Freundlich				PSI
Área	Smáx	Kl	R²	Equação	Kf	1/n	R²	Equação	
	mg g ⁻¹	L mg ⁻¹							%
Natural	0.176	0.158	0.781	Y =0.023X/1+ 0.1418X	0.050	0.245	0.895	Y=0.050X ^{0.245}	22.65
Urbano	0.166	0.142	0.899	Y =0.0278X/1+ 0.142X	0.044	0.291	0.771	Y=0.044X ^{0.291}	30.50

A sorção de P aumentou concomitantemente com o aumento das concentrações de fósforo. As concentrações de P no equilíbrio e sorvido no solo natural e urbano variaram de acordo com as diferentes concentrações de P em solução (Figura 2). No solo urbano, a amplitude da curva é menor quando comparada a do natural devido a menor quantidade de P sorvido, dessa forma atingindo a capacidade de sorção rapidamente. Na isoterma de Freundlich, as curvas tenderam a serem mais lineares (Figura 2).

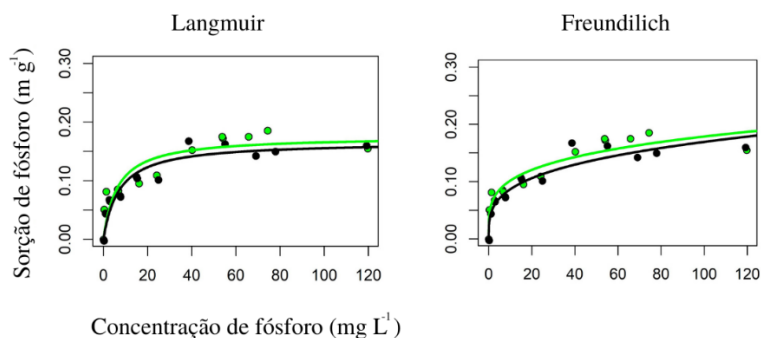


Figura 2- Isotermas de sorção de Langmuir e Freundlich para os solos naturais e urbanos Linha verde solos naturais e linha preta solos urbanos.

DISCUSSÃO

O solo natural possui menor capacidade de sorção de P e maior PSI que o natural. Essas características privilegiam a maior contribuição dos solos urbanos para as cargas globais de P e bacias hidrográficas. A conversão de ambientes naturais para urbanos alteram as características dos solos que podem prejudicar suas funções ecossistêmicas nas bacias hidrográficas (Mainali e Chang, 2018). Nossos resultados evidenciam que a expansão urbana resulta em solos com maior saturação de P e menor capacidade de sorção, ampliando a atuação do solo como fonte de P nas bacias hidrográficas.

É comum aos solos urbanos menores teores de argila e maiores teores de areia em superfície. Os teores de argila e areia influenciam diretamente na sorção de P (Hadgu, 2014). Altos teores de areia favorecem a disponibilidade de P e ampliam a vulnerabilidade dos solos a erosão (Samani et al., 2018). Maiores teores de matéria orgânica criam sítios de ligação que influenciam na sorção de P, podendo diminuir sua disponibilidade (Debicka et al., 2015)

Os processos erosivos são acelerados quando ocorre substituição da vegetação natural por ocupação antrópica, diminuindo a qualidade dos ecossistemas (Jin et al., 2021). Com a acentuação dos processos erosivos nos centros urbanos, o solo gradualmente perde sua capacidade de sorver P (Zhang et al., 2018). Isso se torna preocupante, pois além do P disponível, o P sorvido ligado às partículas do solo pode ser transportado e perdido de forma rápida, alcançando os ecossistemas aquáticos.

CONCLUSÃO

A ocupação antrópica altera os atributos do solo tornando-os suscetíveis a perda de P na bacia hidrográfica.

O teor de areia e argila e matéria orgânica são indicadores sensíveis a mudanças nas características de sorção de P.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. (2013). "Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*", v. 22, n.6, p. 711-728.
- ALVAREZ, V.; NOVAIS, V. H.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. (2000). "Determinação e uso do fósforo remanescente". *Boletim Informativo. SBCS*, [S. l.], v. 25, p. 27–32.
- APPELHANS, S. C.; BARBAGELATA, P. A.; MELCHIORI, R.; GUTIERREZ, F.(2020). "Assessing soil P fractions changes with long-term phosphorus fertilization related to crop yield of soybean and maize". *Soil Use and Management*. p. 1–12.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, V. B. (1974). "Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal". *Revista Ceres*, [S. l.], v. 21, p. 73–85.
- DEBICKA, M; KOCOWICZ, A; WEBER, J; JAMROZ, E. (2015). "Organic matter effects on phosphorus sorption in sandy soils". *Archives of Agronomy and Soil Science*, [S. l.], v. 62, n. 6, p. 840–855.
- FINK, J.; INDA, A.; BAYER, C.; TORRENT, J.; BARRON, V. (2014). "Chemical and mineralogical changes in a Brazilian Rhodic Paleudult under different land use and managements". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [S. l.], v. 38, n. 4, p. 1304–1314.
- GÉRARD, F. (2016) "Clay minerals, iron/aluminum oxides, and their contribution to phosphate sorption in soils - A myth revisited". *Geoderma*, [S. l.], v. 262, p. 213–226.
- HADGU, F. (2014). "Study of Phosphorus Adsorption and Its Relationship with Soil Properties, Analyzed with Langmuir and Freundlich Models". *Agriculture, Forestry and Fisheries*, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 40.

JIN, H. SHI, D.; LOU, Y.; ZHANG, J.; YE, Q.; JIANG, N. (2021). "Evaluation of the quality of cultivated-layer soil based on different degrees of erosion in sloping farmland with purple soil in China". Catena, [S. l.], v. 198, n. 2, p. 105048.

MAINALI, J; CHANG, H. (2018). "Landscape and anthropogenic factors affecting spatial patterns of water quality trends in a large river basin, South Korea". Journal of Hydrology, [S. l.], v. 564, n. June, p. 26–40.

MELO, J. F. G. "Uso e ocupação em zonas ripárias e sua implicação na qualidade do solo e da água de ecossistemas aquáticos". (2019). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 43p.

OLIVEIRA, J.; CUNHA, G. K. G; MELO, J. F. G; CUNHA, K. P. V. (2021). "Impacts of land use on the chemical attributes of the riparian soil of a tropical semi-arid region". Environmental Engineering and Management Journal, [S. l.], v. 20, n. 7, p. 1137–1147, 2021.

SAMANI, K.; PORDEL, N.; HOSSEINI, V. (2018) . "Effect of land-use changes on chemical and physical properties of soil in western Iran (Zagros oak forests)". Journal of Forestry Research. V.30, p. 1-11.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G; FONTANA, A.; TEIXEIRA, A. (2017). "Manual de Métodos de Análise de Solo". 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Solos. 574 p.

ZHANG, G.; XUE, J.; NI, Z.; LI, J. (2018). "Phosphorus accumulation and sorption characteristics of P-enriched soils in the Dian Lake basin, southwestern China". Journal of Soils and Sediments, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 887–896.

ZHANG, Y; HUANG, S GUO, D; ZHANG, S; SONG, X; YUE, K; ZHANG, K; BAO, D. "Phosphorus adsorption and desorption characteristics of different textural fluvo-aquic soils under long-term fertilization". (2019). Journal Of Soils And Sediments, [S. l.], v. 19, n. 3, p. 1306–1318.