

## FRACIONAMENTO DE FÓSFORO EM SEDIMENTOS LÍMNICOS EM MICROBACIA HIDROGRÁFICA (NORDESTE, BRASIL)

Maria Cristina Santos Pereira de Araújo<sup>1</sup>

Guttemberg da Silva Silvino<sup>2</sup>

João Paulo de Oliveira Santos<sup>3</sup>

Joseilson dos Santos Silva<sup>4</sup>

Luciana Gomes Barbosa<sup>5</sup>

**RESUMO:** O estado trófico dos lagos geralmente é dependente da concentração de fósforo na água, que por sua vez é influenciado pelo teor desse nutriente no sedimento, mas nem todo fósforo sedimentar está disponível, requerendo quantificação das frações através de fracionamento químico. Nesse sentido, o trabalho objetivou quantificar as frações disponíveis do fósforo utilizando fracionamento químico do sedimento superficial, em reservatórios de usos múltiplos de brejos de altitude. A pesquisa foi executada na bacia hidrográfica do Rio do Canto (BHRC) (-6°55'52,31"S, 35°42'33,91"W e -6°58'41,26"S, -35°42'37,07"W), região do brejo de altitude de Areia (Paraíba, Brasil), durante os meses de novembro e dezembro de 2014. Mediuse o potencial hidrogeniônico, potencial de oxi-redução, a granulometria, teores de matéria orgânica, ferro alumínio, cálcio e as frações de fósforo sedimentar usando o protocolo SMT. Os dados foram submetidos à análise de componentes principais. A fração biodisponível, correspondente ao fósforo orgânico e não apatítico representou entre 15 a 38% do teor de fósforo total quantificado no sedimento dos reservatórios monitorados na BHRC. Os resultados indicam a seguinte ordem crescente de biodisponibilidade de fósforo para os reservatórios monitorados na BHRC: R7 < R3 < R5 < R6 < R1 < R4 < R2.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise multivariada; Fósforo disponível; Qualidade sedimento.

<sup>1</sup> Doutoranda em Ciência do Solo, Departamento de Solos e Engenharia Rural da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Brasil. E-mail: mariacristina@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Solos e Engenharia Rural - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Brasil.

<sup>3</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Brasil.

<sup>4</sup> Graduando em Química, Departamento de Química e Física, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Brasil.

<sup>5</sup> Professora do Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Brasil.

## FRACTIONING OF PHOSPHORUS IN LAKE SEDIMENTS IN A HYDROGRAPHIC MICROBASIN IN NORTHEASTERN BRAZIL

**ABSTRACT:** The trophic state of lakes generally depends on phosphorus concentration in the water which is, in turn, affected by the amount of the nutrient in the sediment. However, not all sedimentary phosphorus is available and demands quantification of fractions through chemical fractioning. Current analysis quantifies available fractions of phosphorus by employing chemical fractioning of the surface sediment in multiple-use reservoirs in high swamps. Research was undertaken in the hydrographic basin of the Rio do Canto (BHRC) (-6°55'52.31"S; 35°42'33.91"W and -6°58'41.26"S; -35°42'37.07"W), the region of the altitude swamp Areia PB Brazil, during November and December 2014. Further, pH, oxy-reduction potential, granulometry, rates of organic matter, iron, aluminum, calcium and sedimentary phosphorus fractions were measured by SMT protocol. Data underwent analysis of principal components. Bio-available fraction, equivalent to organic and non-apatite phosphorus ranged between 15 and 38% of total phosphorus rate in the sediment of monitored reservoirs in BHRC. Results show the following increasing order in phosphorus bio-availability for the reservoirs monitored in BHRC: R7 < R3 < R5 < R6 < R1 < R4 < R2.

**KEY WORDS:** Multivariate analysis; Available phosphorus; Sediment quality.

### INTRODUÇÃO

O estado trófico dos lagos geralmente é dependente da concentração do fósforo na água, que por sua vez, é influenciado pelo seu teor no sedimento, atuando como fonte interna do nutriente (KAISERLI *et al.*, 2002; ANTUNES *et al.*, 2008; APRILE *et al.*, 2011). Análises sobre mobilidade do fósforo do sedimento, para água e assimilação por cianobactérias, demonstraram que aproximadamente 70% do fósforo liberado do sedimento poderia ser absorvido pelas cianobactérias, indicando que esse compartimento é a principal fonte de fósforo quando a carga externa é reduzida (CAO *et al.*, 2016).

Esse processo de retenção e liberação depende das características do meio, criando um equilíbrio dinâmico em corpos de água (CHAO *et al.*, 2008), alterações nas propriedades físico-químicas, principalmente pH, potencial de oxirredução, teores de ferro, matéria orgânica e oxigênio dissolvido (APRILE *et al.*,

2011), possibilitam a mobilização e retorno desse nutriente para a coluna de água (FRANZEN *et al.*, 2010).

Em relação à disponibilidade, nem todo fósforo sedimentar está disponível, em função da energia de ligação através da qual o fosfato está adsorvido. A investigação da disponibilidade dos teores de fósforo sedimentar e sua contribuição interna à eutrofização (PROTÁZIO *et al.*, 2004) é realizada através de métodos de fracionamento químico operacionalmente definidos com base na reatividade da fração que se deseja extrair, onde diferentes fases sólidas mostram reatividade diferente em relação a diferentes soluções, sendo essas sequências de extração projetadas para remover inicialmente as fases mais reativas (MARINS *et al.*, 2007; WANG *et al.*, 2013). As frações consideradas biodisponíveis pelo método SMT de fracionamento harmonizador para fósforo em sedimentos (RUBAN *et al.*, 2001) correspondem ao fósforo orgânico e o não apatítico (ligado aos óxidos de ferro e íons solúveis de ferro) (WANG *et al.*, 2013).

Tais técnicas deveriam ser empregadas com maior frequência para investigar o potencial de eutrofização advindo da carga interna de fósforo, principalmente em reservatórios de abastecimento público. Na bacia hidrográfica do Rio do Canto, situada no brejo de altitude da Paraíba, vários reservatórios foram construídos com o objetivo de abastecimento público, destacando-se a barragem Rio do Canto, como também dois reservatórios que abastecem regiões semiáridas do entorno através de carros pipa. A região dos Brejos de Altitude registra maior precipitação pluviométrica em virtude do efeito orográfico (ROSA; GROTH, 2004). O aumento da evolução dos solos acompanha a precipitação pluviométrica, com predomínio de goethita e hematita na fração argila (SOUZA *et al.*, 2010). Esses óxidos, quando carregados pelo escoamento superficial chegam aos ecossistemas aquáticos, apresentando maior capacidade de adsorção de fósforo. Nesse sentido, o trabalho objetivou quantificar as frações disponíveis do fósforo utilizando fracionamento químico do sedimento superficial, em reservatórios de usos múltiplos de brejos de altitude.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi executada na bacia hidrográfica do Rio do Canto (BHRC) (-6°55'52,31"S, 35°42'33,91"W e -6°58'41,26"S, -35°42'37,07"W), região do brejo de altitude de Areia (Paraíba, Brasil). O clima é do tipo As (tropical com verões secos), pluviosidade média anual de 1.200 mm com chuvas concentradas nos meses de maio a agosto e temperaturas que variam de 22 a 35 °C (ALVARES *et al.*, 2013). A vegetação local é composta por Florestas Subcaducifólica e Caducifólica, sendo consideradas disjunções ecológicas da Mata Atlântica, cercada pela caatinga (BARBOSA *et al.*, 2004). Relevo variando de plano a fortemente ondulado. Solos intemperizados correspondendo a associação de Argissolo com Latossolos.

A BHRC apresenta uma área total de 19,05 km<sup>2</sup>, na área de drenagem estão situados 7 (sete) reservatórios com usos múltiplos da água (Quadro 1), dos quais três são destinados ao abastecimento público local e regional, além da dessedentação animal.

**Quadro 1.** Localização geográfica e tipos de uso da água dos reservatórios monitorados na BHRC

Reservatório	Localização geográfica	Tipo de uso da água
R1	-6°57'07,2"S / -35°42'39,1"W	Abastecimento público, Dessedentação de animais.
R2	-6°57'52,7"S / -35°43'07,2"W	Abastecimento público, Dessedentação de animais, irrigação.
R3	-6°58'41,1"S / -35°43'25,6"W	Abastecimento público, irrigação.
R4	-6°58'31,3"S / -35°43'14,5"W	Dessedentação de animais, irrigação.
R5	-6°58'25,9"S / -35°43'16,3"W	Dessedentação de animais.
R6	-6°57'41,8"S / -35°44'35,8"W	Dessedentação de animais, irrigação.
R7	-6°57'28,7"S / -35°44'15,8"W	Dessedentação de animais.

### 2.1 AMOSTRAGEM E PARÂMETROS ANALISADOS

A amostragem foi realizada entre os meses de novembro e dezembro de 2014. A coleta do sedimento foi realizada nos cinco centímetros (5 cm) superficiais, com auxílio de um amostrador de tubo de PVC rígido de 100 mm de diâmetro

interno. Após a coleta, as amostras foram armazenadas em recipientes plásticos, previamente higienizados (CETESB, 2011) e congelando a 4 °C até o momento do processamento.

Para realização das análises, procedeu-se a secagem das amostras a 60 °C até peso constante, sendo destorroadas e peneiradas; em seguida, parte do material foi reservada para análise granulométrica e outra parte foi macerada em gral de porcelana e peneirada em malha de 0,177 mm de abertura.

Para fracionamento químico do fósforo utilizou-se a extração proposta pelo protocolo SMT (RUBAN *et al.*, 2001), seguida de determinação do ortofosfato pelo método do ácido ascórbico (APHA, 1998). Nesse protocolo obtêm-se cinco frações: Fósforo total (PT), Fósforo Inorgânico (PI), Fósforo Orgânico (PO), Fósforo inorgânico não apatítico - PNA (NaOH-P: ligado aos óxidos/hidróxidos de ferro/alumínio) e Fósforo inorgânico apatítico - PA (HCl-P: ligado ao cálcio) (WANG *et al.*, 2013).

Com o sedimento processado quantificou-se o teor de Carbono e Matéria Orgânica (EMBRAPA, 1997), como também os teores de ferro, alumínio e cálcio elementar utilizando espectrômetro de fluorescência de raio-X *Rigaku-ZSX Primus*.

O potencial hidrogeniônico (pH) e o potencial de oxidação-redução (Eh) foram medidos no momento da coleta com auxílio de sonda *HANNA-HI 8424*.

## 2.2 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram submetidos à Análise de Componentes Principais (ACP), utilizando-se o critério da variância acumulada para escolha do número de componentes gerados, sendo escolhidas aquelas com explicação  $\geq 50\%$  da variabilidade dos dados. Os autovetores foram escolhidos em função do maior valor absoluto observado da esquerda para direita, ou seja, da primeira à última componente principal. A padronização dos dados foi realizada previamente, através da conversão das variáveis para escores padrões, evitando-se o efeito de escala das unidades. O processamento dos dados foi realizado no *software R (The R Project for Statistical Computing)*, versão 3.4.0.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos reservatórios monitorados os sedimentos finos (silte + argila) apresentaram-se em menor quantidade, sendo essa fração granulométrica responsável pela maior capacidade de adsorção de nutrientes em função da elevada área superficial específica (FROEHNER; MARTINS, 2008). Observou-se predominância de partículas de areia, classificando os sedimentos como grosseiros (Tabela 1).

Os teores de ferro, alumínio e cálcio registraram variação entre os reservatórios. Sendo o ferro um dos elementos mais importantes na dinâmica do fósforo no ecossistema aquático, dependendo principalmente de sua disponibilidade e estado de oxidação. Nesse estudo foi registrada variação entre 0,8 (R5) e 7,6% (R1).

**Tabela 1.** Caracterização físico-química do sedimento superficial dos reservatórios monitorados na BHRC

Reservatórios	pH	Eh	C	MO	Al	Fe	Ca	Areia	Silte	Argila
		mV	-----%-----			-----g Kg <sup>-1</sup> -----				
R1	6,7	10,1	31,5	54,4	15,8	7,6	0,3	745,3	111,8	142,9
R2	5,8	52,9	37,4	64,5	15,6	3,4	0,3	641,0	138,1	220,9
R3	5,6	61,9	9,7	16,7	10,5	0,9	0,3	907,0	46,5	46,5
R4	6,0	40,8	36,4	62,8	18,3	2,7	0,4	492,0	151,0	357,0
R5	5,9	50,4	34,3	59,1	8,7	0,8	0,3	859,0	78,3	62,7
R6	5,6	60,4	14,7	25,4	11,1	1,1	0,3	908,0	65,7	26,3
R7	5,6	60,5	4,1	7,0	14,9	4,0	1,6	857,0	104,0	39,0

pH: potencial hidrogeniônico; Eh: potencial de oxiredução; C: carbono; MO: matéria orgânica; Al: alumínio; Fe: ferro; Ca: cálcio.

Nos reservatórios foi registrado um pH na faixa de 5,59 a 6,67 (Tabela 2), essa leve acidez do pH pode estar associada aos solos intemperizados naturalmente ácidos da bacia de drenagem, como também à decomposição da matéria orgânica e consequente liberação de ácidos orgânicos. O pH interfere na retenção e liberação do fósforo do sedimento por controlar o estado de oxidação do íon ferro e por interferir nas cargas dependentes do pH através da protonação e/ou deprotonação (PELLEGRINI *et al.*, 2008; APRILE *et al.*, 2011). O fósforo é retido no sedimento

quando o pH está próximo da neutralidade, condição na qual o ferro está na forma oxidada, adsorvendo o fosfato da água e precipitando-a no sedimento, quando a acidez aumenta, o fosfato adsorvido é liberado em decorrência da redução do ferro (APRILE *et al.*, 2011).

Os elevados teores de matéria orgânica dos reservatórios monitorados, registrando valores entre 7 e 64,5%, podem contribuir no processo de liberação de fósforo para a coluna d'água, uma vez que os ácidos orgânicos se associam ao ferro e alumínio, anulando a adsorção do fósforo (SILVEROL, 2016). A presença de carbono orgânico estimula a mineralização, diminuindo o potencial de oxirredução do meio. Com a aceleração da produtividade primária, aumenta a espessura da camada inferior anaeróbica e, com isso, predominam os compostos e elementos no estado reduzido (FRANZEN *et al.*, 2010).

O potencial de oxirredução medido nos reservatórios variou entre 10,1 (R1) e 61,9 (R3). Esse parâmetro é influenciado pela concentração de oxigênio da água, pH e teor de matéria orgânica do meio (APRILE *et al.*, 2011), interferindo na adsorção de fósforo em decorrência da mudança no estado de oxidação do ferro. Abaixo de 120 mV, as condições são favoráveis à transformação do ferro da forma oxidada ( $\text{Fe}^{3+}$ ) para a reduzida ( $\text{Fe}^{2+}$ ) (ESTEVES, 1998). Seguindo o preconizado por esse autor, observa-se que em todos os reservatórios o potencial está abaixo dessa faixa, verificando-se condições para redução do ferro. No entanto, nos reservatórios analisados, esse processo pode estar sendo controlado pelo pH levemente ácido (5,6-6,7), fazendo com que o sedimento funcione como sumidouro de fósforo.

Os resultados de fracionamento químico do fósforo no sedimento dos reservatórios monitorados na BHRC estão apresentados na Tabela 3, onde as maiores concentrações de PT foram observadas em R7 (3933,56 mg kg<sup>-1</sup>). Considerando-se a Resolução CONAMA 344/04 em sedimentos com teores de PT acima de 2.000 mg kg<sup>-1</sup>, medidas de mitigação como a dragagem não são permitidas, em função do potencial poluidor do sedimento associado as altas concentrações de fósforo. Esse quadro pode ser identificado principalmente nos reservatórios 1 e 2 utilizados para abastecimento público, principalmente pela correlação positiva do PT com as frações biodisponíveis (PO e PNA), sugerindo um aumento e liberação simultânea de P a partir do sedimento (WANG; LIANG, 2015).

**Tabela 2.** Fracionamento químico do fósforo no sedimento superficial dos reservatórios monitorados na BHRC

RESERVATÓRIO	PT	PO	PI	PNA	PA
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----				
R1	2143,72	322,50	1821,22	821,92	469,85
R2	2932,00	498,12	2433,88	1740,65	445,24
R3	1524,10	599,44	924,66	127,04	321,25
R4	1181,54	574,11	607,43	283,57	797,65
R5	1132,53	227,10	905,43	327,30	135,26
R6	1036,57	371,46	665,11	138,55	269,04
R7	3933,56	346,13	3587,43	888,96	301,67

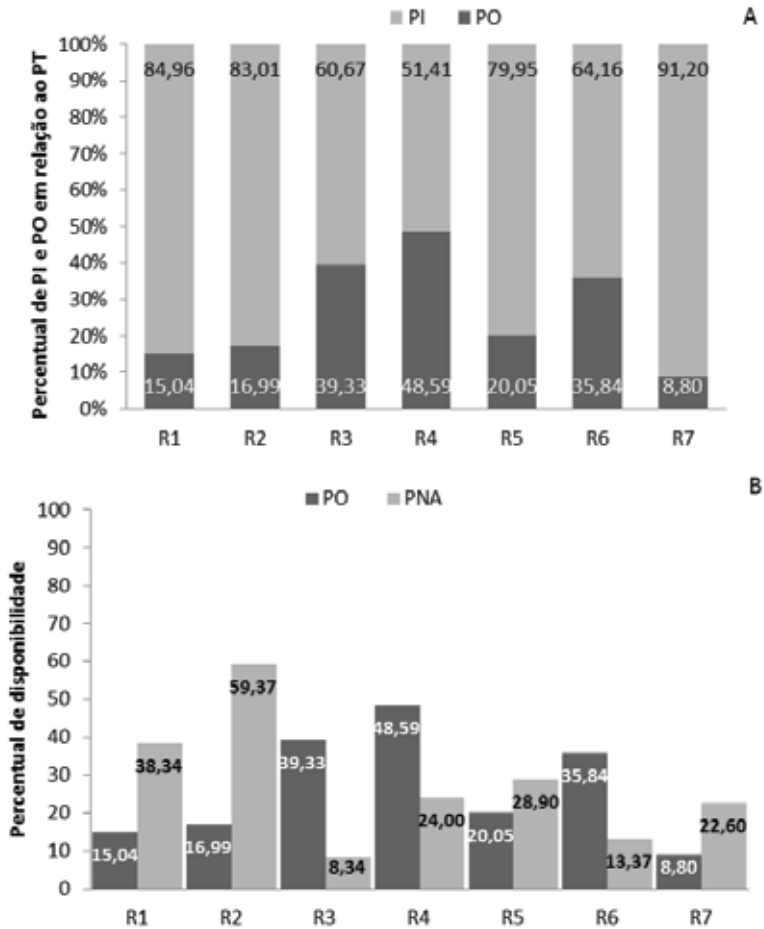
PT: fósforo total; PO: fósforo orgânico; PI: fósforo inorgânico; PNA: fósforo não apatítico; PA: fósforo apatítico.

Nos reservatórios observou-se a predominância da fração inorgânica de PT (Figura 1). Nos reservatórios R1, R2 e R3 esse percentual foi, respectivamente, 84,96; 83,01; e 60,67%.

Destaca-se que em R1 e R2, respectivamente, 38,24 e 59,37% do PI correspondem à fração não apatítica (PNA) do fósforo. Segundo Wang e Liang (2015) concentração e proporção de frações biodisponíveis indicam elevado potencial de liberação de fósforo para a água. Dessa forma esses reservatórios são o que apresentam maior potencial de liberação de P para a coluna d'água, contribuindo assim para o processo de eutrofização.

Considerando que aproximadamente 70,2% do fósforo liberado do sedimento será assimilado por cianobactérias (CAO *et al.*, 2016), nos reservatórios 1 e 2 esse potencial de liberação seria de, respectivamente, 576,97 e 1221,94 mg kg<sup>-1</sup> do PNA, e respectivamente, 266,93 e 349,68 mg kg<sup>-1</sup> do PO. Nesse sentido, mesmo que toda carga externa de fósforo nesses dois reservatórios seja nula, haverá uma biodisponibilidade média de 803,38 e 1571,62 mg kg<sup>-1</sup> de ortofosfato proveniente do sedimento superficial.





**Figura 1.** Percentual de distribuição do PI e PO em relação ao teor de PT (A) e percentual de disponibilidade de P na BHRC.

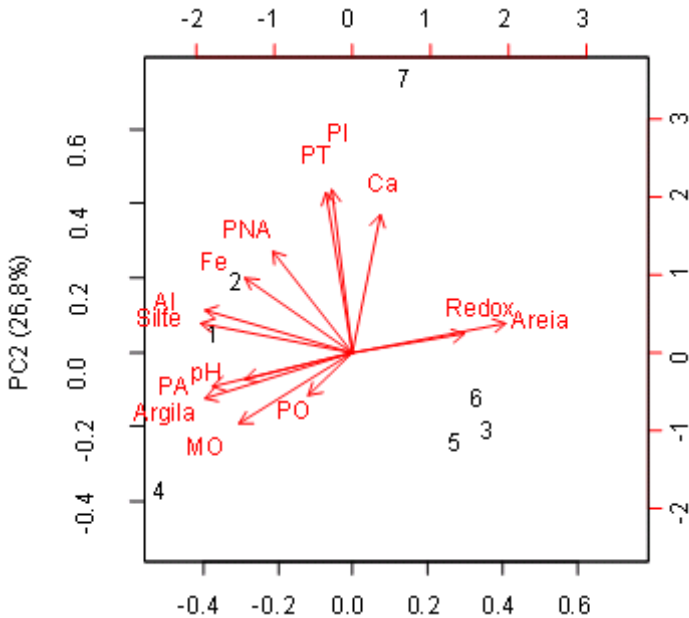
Na Análise de Componentes Principais (Tabela 3), obteve-se um percentual de explicação de 71,12% da variância total dos dados originais, reduzindo 14 parâmetros em apenas duas componentes principais (CP). Na primeira componente foram incluídos a maior parte dos parâmetros que regem a dinâmica retenção/liberação do fósforo para a coluna de água, enquanto que a segunda componente contempla as formas de fósforo biodisponíveis e sua relação com o fósforo total, observando-se um aumento da fração não apatítica quando ocorre aumento do fósforo total.

**Tabela 3.** Autovetores, autovalores e percentual de variância explicada gerados com ACP com os parâmetros medidos no sedimento nos reservatórios da BHRC

	CP1	CP2
	Autovetores	
pH	<b>-0,26</b>	-0,08
Redox	<b>0,27</b>	0,06
MO	<b>-0,28</b>	-0,22
Areia	<b>0,37</b>	0,09
Silte	<b>-0,37</b>	0,09
Argila	<b>-0,36</b>	-0,14
PT	-0,07	<b>0,50</b>
PO	-0,11	<b>-0,13</b>
PI	-0,05	<b>0,51</b>
PNA	-0,19	<b>0,32</b>
PA	<b>-0,34</b>	-0,11
Al	<b>-0,36</b>	0,13
Fe	<b>-0,26</b>	0,24
Ca	0,07	<b>0,43</b>
Autovalor	2,49	1,93
Variância (%)	44,32	26,80
Variância acumulada (%)	44,32	71,12

pH: potencial hidrogeniônico; Redox: potencial redox; PT: fósforo total; PO: fósforo orgânico; PI: fósforo inorgânico; PNA: fósforo não apatítico; PA: fósforo apatítico; Al: alumínio; Fe: ferro; Ca: cálcio.

Na Figura 2 está apresentado o gráfico da ACP, sendo possível observar que os reservatórios com maior biodisponibilidade de fósforo ( $R2 > R4 > R1$ ) foram agrupados em função do pH, Fe, Al, silte, argila e MO, parâmetros que contribuem para maior adsorção de fósforo no sedimento. Outro detalhe é a correlação inversa do potencial redox e do pH da água, alterações nesses potenciais podem liberar o fósforo sedimentar.



**Figura 2.** Gráfico da ACP para parâmetros medidos nos reservatórios monitorados na BHRC. pH: potencial hidrogeniônico; Redox: potencial redox; PT: fósforo total; PO: fósforo orgânico; PI: fósforo inorgânico; PNA: fósforo não apatítico; PA: fósforo apatítico; Al: alumínio; Fe: ferro; Ca: cálcio.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fração biodisponível, correspondente ao fósforo orgânico e não apatítico, representou de 15 a 38% do teor de fósforo total quantificado no sedimento dos reservatórios monitorados na BHRC.

Os resultados indicaram a seguinte ordem crescente de biodisponibilidade de fósforo para os reservatórios monitorados na BHRC: R7 < R3 < R5 < R6 < R1 < R4 < R2.

O parâmetro controlador da liberação do fósforo no sedimento dos reservatórios monitorado é o pH.

## REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANTUNES, M.; DILLON, D. B.; CRESPO, J. S.; GIOVANELA, M. Avaliação dos Parâmetros Físico-Químicos e do Teor de Metais em Amostras de Sedimento de uma Microbacia Gaúcha. *Geochimica Brasiliensis*, v. 22, n. 3, p. 178-188, 2008.

APHA - American Public Health Association. **Standard methods for examination of water and wastewater**. New York, 1998. 824p.

APRILE, F. M.; DARWICH, A. J.; MIGUÉIS, A. M. Modelo de fluxo de Nitrogênio e Fósforo para sistemas flúvio-lacustres às margens do rio Negro, Amazonas, Brasil. In: SANTOS-SILVA, E. N.; SCUDELLER, V. V.; CAVALCANTI, M. J. **BioTupé: meio físico, diversidade biológica e sociocultural**. Manaus: Rizoma Editorial, 2011. p. 15-42.

BARBOSA, M. R. V.; AGRA, M. F.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CUNHA, J. P.; ANDRADE, L. A. Diversidade florística da Mata de Pau Ferro, Areia, Paraíba. In: PÔRTO, K. C.; CABRAL, J. P.; TABARELLI, M. (orgs.). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 111-122.

CAO, X.; WANG, J.; HE, J.; LUO, X. ZHENG. Phosphorus mobility among sediments, water and cyanobacteria enhanced by cyanobacteria blooms in eutrophic Lake Dianchi. *Environmental Pollution*, v. 219, p. 580-587, 2016.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB, 2011. 326p.

CHAO, W.; JIN, Q.; ZHI-YONG, G.; LI, Z.; XIAO-CHEN, L. Vertical Distributions of Phosphorus Fractions in Sediments of Three Typical Shallow Urban Lakes in PR China. *Polish Journal of Environmental Studies*, v. 17, n. 1, 2008.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n° 357 de 18 de março de 2005. **Estabelece Classificação das Águas Doces, Salobras e Salinas do Território Nacional**. Diário Oficial, Brasília, 18 de março de 2005. Seção 1.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. (EMBRAPA-CNPq. Documentos, 1). 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 2011, 212p.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998, 602p.

FRANZEN, M.; CYBIS, L. F.; MERTEN, G. H.; DUARTE, M. M. M. B.; LIMA, E. A. M.; MOURA, H. L.; CAVALCANTE, D. A. S.; SILVA, V. L. Geoquímica dos sedimentos orgânicos superficiais de fundo no reservatório Divisa, Rio Grande do Sul, Brasil. **Estudos Geológicos**, v. 20, n. 1, p. 69-80, 2010.

FROEHNER, S.; MARTINS, R. F. Avaliação da composição química de sedimentos do Rio Barigüi na região metropolitana de Curitiba. **Química Nova**, v. 31, n. 8, p. 2020-2026, 2008.

KAISERLI, A.; VOUTSA, D.; SAMARA, C. Phosphorus fractionation in lake sediments - Lakes Volvi and Koronia, N. Greece. **Chemosphere**, v. 46, p. 1147-1155, 2002.

MARINS, R. V.; PAULA FILHO, F. J.; ROCHA, C. A. S. Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do Rio Jaguaribe - costa nordeste oriental brasileira. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1208-1214, 2007.

PELLEGRINI, J. B. R.; SANTOS, D. R.; GONÇALVES, C. S.; COPETTI, A. C. C.; BORTOLUZZI, E. C. Adsorção de fósforo em sedimentos e sua relação com a ação antrópica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. spe, p. 2639-2646, 2008.

PROTAZIO, L.; TANAKAS, M. C. N.; CAVALCANTE, P. R. S. Avaliação de procedimentos de extração sequencial de fósforo em sedimento. **Revista Analytica**, v. 8, p. 35-41, 2004.

ROSA, R. S.; GROTH, F. Ictiofauna dos ecossistemas de brejos de altitude de Pernambuco e Paraíba. In: PÔRTO, K. C.; CABRAL, J. P.; TABARELLI, M. (orgs.). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 201-228.

RUBAN, V.; LÓPEZ-SÁNCHEZ, J. F.; PARDO, P.; RAURET, G.; MUNTAU, H.; QUEVAUVILLER, P. Harmonized protocol and certified reference material for the determination of extractable contents of phosphorus in freshwater sediments - A synthesis

of recent works. **Fresenius' Journal of Analytical Chemistry**, v. 370, p. 224-228, 2001.

SILVEROL, A. C. O solo: características físicas, químicas e a importância dos macronutrientes, micronutrientes e elementos essenciais na fertilidade do solo, com ênfase no fósforo. Parte II: Elementos químicos do solo e sua importância, com ênfase no fósforo. **Conhecimento em Destaque**, v. 5, n. 13, 2016.

SOUZA, R. V. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JUNIOR, V. S.; CORRÊA, M. M.; ALMEIDA, M. D. C.; CAMPOS, M. C. C. *et al.* Caracterização de solos em uma topoclimosequência no maciço de Triunfo - Sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1259-1270, 2010.

WANG, C.; ZHANG, Y.; LI, H.; MORRISON, R. Sequential extraction procedures for the determination of phosphorus forms in sediment. **Limnology**, v. 14, n. 2, p. 147-157, 2013.

WANG, L.; LIANG, T. Distribution Characteristics of Phosphorus in the Sediments and Overlying Water of Poyang Lake. **PLoS ONE**, v. 10, n. 5, p. 1-12, 2015.

*Recebido em: 25/08/2017*

*Aceito em: 01/04/2019*