



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO

CAMPUS CUIABÁ BELA VISTA

DEPARTAMENTO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

LUCIMEIRE LIMA DE OLIVEIRA

**FORMAS DE FÓSFORO EM SEDIMENTOS DO RIO BENTO GOMES,
PANTANAL DE POCONÉ, MT**

**CUIABÁ/MT
2016**



CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

LUCIMEIRE LIMA DE OLIVEIRA

**FORMAS DE FÓSFORO EM SEDIMENTOS DO RIO BENTO GOMES,
PANTANAL DE POCONÉ, MT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso – Campus Cuiabá/Bela Vista, sob orientação do Prof. Dr. Josias do Espírito Santo Coringa.

**Cuiabá/MT
Mar /2016**

**Divisão de Serviços Técnicos. Catalogação da Publicação na Fonte. IFMT Campus
Cuiabá Bela Vista
Biblioteca Francisco de Aquino Bezerra**

O48f

Oliveira, Lucimeire Lima de.

Formas de fósforo em sedimentos do rio Bento Gomes, Pantanal de Poconé, MT./ Lucimeire Lima de Oliveira. Cuiabá, 2016.

35 f.

Orientador: Prof. Dr. Josias do Espírito Santo Coringa

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso. Campus Cuiabá – Bela Vista. Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental.

1. Sedimento – TCC. 2. Fósforo orgânico – TCC. 3. Eutrofização – TCC. I. Coringa, Josias do Espírito Santo. II. Título.

IFMT CAMPUS CUIABÁ BELA VISTA CDU 661.631 (817.2)
CDD 577.63158098172

LUCIMEIRE LIMA DE OLIVEIRA

**FORMAS DE FÓSFORO EM SEDIMENTOS DO RIO BENTO GOMES,
PANTANAL DE POCONÉ, MT**

Trabalho de Conclusão de Curso em Tecnologia em Gestão Ambiental, submetido a Banca Examinadora composta pelos Professores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso Campus Cuiabá/Bela vista como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Graduação.

Aprovado em: 29 de março de 2016



Prof.º Dr. Josias do Espirito Santo Coringa
(Orientador)



Prof.ª Dra. Elaine de Arruda Oliveira Coringa
(Professora convidada)



Prof.º Dr. Marcos Feitosa Pantoja
(Professor convidado)

Cuiabá
2016

Dedicatória

*A todos que fizeram parte desta trajetória, em especial meus pais,
Anália e José Tibúrcio.*

Agradecimentos

A Deus, pela vida e força constante, sem a qual não seria possível, e pela oportunidade de evolução.

Meus queridos pais, Anália e José Tibúrcio, pelo apoio, atenção e o amor.

A meu irmão, Cláudio Roberto, pelo apoio e companhia do tempo em que moramos juntos. Minha irmã Vanusa Adriana, que mesmo distante não deixou de dar seu apoio.

A todos professores e colaboradores da instituição IFMT, que fizeram parte dessa jornada.

Às colegas, Mayara dias Siqueira, e Thelma Ferreira de Souza Vieira, pelo apoio prestado e companheirismo.

A FAPEMAT – Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de Mato Grosso, pela concessão da bolsa.

Aos professores, Dr^o Josias do Espirito Santo Coringa, e a Dr^a Elaine de A. Oliveira Coringa, pela oportunidade da pesquisa e orientação prestada.

RESUMO

Os sedimentos podem fornecer importantes subsídios na avaliação dos ecossistemas aquáticos, uma vez que grande parte dos nutrientes encontra no estado sólido. O fósforo constitui um elemento essencial para todas as formas de vida, e é identificado como limitante para processos de eutrofização. Entretanto, pouco se conhece sobre as formas inorgânicas e orgânicas do fósforo que possam ser utilizadas para estimativas do potencial de fertilização do rio, para manutenção da produção primária e na avaliação do potencial de contaminação antrópica. Este trabalho teve como objetivo determinar as formas de fósforo nos sedimentos de fundo do Rio Bento Gomes, no Pantanal de Poconé, em oito pontos amostrais ao longo do rio, durante o período de chuvas. Foram determinados nos sedimentos, concentração de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi), e fósforo orgânico (Po), juntamente com os parâmetros físico-químico (granulometria, pH, e carbono orgânico). As maiores concentrações de fósforo ocorreram nos sedimentos coletados em regiões de baixa hidrodinâmica, onde ocorre um favorecimento na deposição de sedimentos finos e matéria orgânica. Os teores de fósforo inorgânico foram maiores que o fósforo orgânico na maioria dos pontos amostrados, com exceção daqueles pontos com baixa energia fluvial, onde a matéria orgânica particulada influenciou no aporte de fósforo orgânico para o sedimento. Os teores de sedimentos finos e de matéria orgânica foram os principais parâmetros ambientais correlacionadas com as frações de fósforo. De acordo com a resolução 344/04 do CONAMA, as concentrações de fósforo encontradas estão abaixo do nível estabelecido.

PALAVRAS-CHAVE: Sedimento, Fósforo orgânico, Fósforo inorgânico, Eutrofização.

ABSTRACT

The sediments may provide important information in the evaluation of aquatic ecosystems, since most of the nutrients is solid. Phosphorus is an essential element for all forms of life, and is identified as limiting to eutrophication processes. However, little is known about inorganic and organic forms of phosphorus that can be used for fertilization potential estimates the river for maintenance of primary production and evaluation of anthropogenic contamination potential. This study aimed to determine the phosphorus forms in the bottom sediments of the Bento Gomes river at the Pantanal of Poconé through eight samples points along the river during the rainy season. The highest phosphorus concentrations occurred in sediments collected in hydrodynamics low regions, where there is a favoring deposition of fine sediments and organic matter. The inorganic phosphorus levels were higher than the organic phosphorus in most of the points, except those points with low fluvial energy, where the fraccionated organic matter influenced the organic phosphorus supply to the sediments. The levels of fine sediments and organic matter were the main environmental parameters correlated with the phosphorus fractions. According to the resolution 344/04 of CONAMA, phosphorus concentrations found are below the set level.

Keywords: Sediment, Organic phosphorus, Inorganic phosphorus, Eutrophication.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localização dos pontos de coleta, ao longo do rio Bento Gomes. ...	18
Figura 2. Digestão das amostras, para obtenção dos extratos de fósforo Total.	20
Figura 3. Centrifugação das amostras e repouso com HCl para precipitação da matéria orgânica.	20
Figura 4. Padrões para construção da curva de calibração.	21
Figura 5. Extratos das amostras do sedimento para leitura do fósforo.	22
Figura 6. Curva de calibração analítica.	24
Figura 7. Distribuição porcentual do teor de fósforo nas frações, fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po).	27

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1. Formas de fósforo em sedimento.	17
Tabela 2. Descrição e características dos pontos amostrados.	19
Tabela 3. Características físico-químicas dos sedimentos do Rio Bento Gomes.	23
Tabela 4. Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po), extraídos do sedimento do Rio Bento Gomes (média das replicatas).	25
Tabela 5. Relação de trabalhos sobre formas de fósforo em sedimentos de rio.	26

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1 Microbacia hidrográfica do Rio Bento Gomes e o Pantanal de Poconé	13
2.2 O Ciclo do Fósforo e os impactos antrópicos	13
2.3 Fracionamento do fósforo em sedimentos	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 Área de estudo e amostragem do sedimento.	18
3.2 Análises laboratoriais	19
3.4 Análise estatística	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 Caracterização físico-químicas do sedimento.	23
4.2 Teor de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi), e fósforo orgânico (Po).	24
4.3 Correlações entre as frações de fósforo e as características físico-químicas do sedimento	28
5. CONCLUSÃO.	30
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	31

1. INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas exercem importantes funções essenciais à vida econômica e social da população, e à biodiversidade aquática. Porém nos últimos anos, em virtude do acelerado crescimento urbano-industrial das cidades, tem aumentado substancialmente o aporte de cargas poluentes para os ecossistemas aquáticos, comprometendo assim sua qualidade ambiental (NUNES, 2013).

O fósforo é um nutriente essencial para todas as formas de vida na terra, porém atua como um fator limitante na produção primária dos ecossistemas aquáticos, podendo conduzir a eutrofização, que gera modificações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do meio, com perdas da sua produtividade e biodiversidade (PROTAZIO, 2004).

O manejo e a ocupação do solo de uma bacia de drenagem influenciam diretamente na qualidade química das águas superficiais e sedimentos, seja pela disposição inadequada de resíduos sólidos, ou pelo lançamento de cargas orgânicas ricas em nutrientes, de efluentes domésticos, urbanos ou industriais. Ou, ainda, carregados pela lixiviação dos solos em áreas rurais onde o uso de fertilizantes e pesticidas foi intensificado (PAULA FILHO et al., 2012). Elevadas concentrações dessas substâncias fosfatadas lançadas no meio ambiente podem causar sérios danos como a contaminação dos solos e conseqüentemente das águas, o que a torna imprópria para o consumo humano e animal.

Estudo do fósforo em ambientes aquáticos são primordiais devido aos problemas ocasionados pelas cargas excessivas de esgotos domésticos e industriais produzidos nos centros urbanos, que atingem diretamente lagos e reservatórios, causando a aceleração do processo de eutrofização. Com isso, as substâncias fosfatadas irão se concentrar principalmente nos sedimentos aquáticos, devido ao importante papel no transporte físico, acumulação biológica, compostos orgânicos e nutrientes que os sedimentos possuem.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição das formas de fósforo nos sedimentos do Rio Bento Gomes a fim de verificar as principais interações com as características físicas e químicas do sedimento.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Micro bacia hidrográfica do Rio Bento Gomes e o Pantanal de Poconé

O Pantanal é uma das maiores áreas úmidas do planeta e tem extrema importância em relação aos ciclos hidrológico e biogeoquímicos de vários elementos. Banhado por uma grande quantidade de rios o Pantanal é marcado pelo regime anual de cheias, por ser uma planície ligeiramente inclinada recebe a descarga de sedimentos (GIRARD,2002). Várias sub-bacias drenam para o Rio Paraguai, entre elas a do Rio Bento Gomes, que engloba os municípios de Poconé e Nossa Senhora do Livramento.

A micro bacia hidrográfica do rio Bento Gomes tem como principais afluentes os córregos Guanandi, Formiga e rio Novo na margem esquerda (PEREIRA FILHO, 1995), que juntos drenam toda a região natural de sua bacia. A região natural do rio Bento Gomes está representada por metassedimentos contendo grande contribuição de areia, argila e silte (FONSECA, 2013).

O rio Bento Gomes tem como característica ser depositário final do material transportado pelas drenagens tributárias. Além disso, sua declividade inexpressiva do terreno sofre uma queda acentuada na sua energia de transporte, essa redução de energia traz como consequência a elevação na taxa de sedimentação (PEREIRA FILHO, 1995).

2.2 O Ciclo do Fósforo e os impactos antrópicos

Fósforo é um nutriente essencial para todas as formas de vida na terra. Essa importância deve-se à precipitação deste elemento em processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos (RUTTENBERG, 2005).

Em sistemas aquáticos, o ciclo biogeoquímico do fósforo envolve inúmeras espécies orgânicas e inorgânicas que são distribuídas entre a coluna de água e o sedimento (SPEARS et al., 2013).

O sedimento é um compartimento importante no meio aquático, pois reflete todos os processos que ocorre no ecossistema, participando de processos internos que incluem a sedimentação, ciclagem de nutrientes e deposição da matéria orgânica, e ainda armazena informações sobre as formas de uso da bacia de drenagem através do estudo do ciclo geoquímico dos elementos (FAIRBRIDGE, 1989).

Slomp et al., (2013), também afirmam que o sedimento é importante para o ciclo do fósforo em função, por um lado, da sua grande capacidade de imobilizar o fósforo, por adsorção, precipitação e deposição de partículas; e por outro, como fonte potencial deste nutriente para a coluna d'água.

De acordo com Cazati (2010), o ciclo global do fósforo possui quatro componentes principais:

- ❖ Movimento as placas tectônicas e exposição de rochas fosfatadas às forças de intemperismo;
- ❖ Erosão e intemperismo físico-químico de rochas produtoras de solos, fornecendo fósforo particulado e dissolvido a rios;
- ❖ Transporte fluvial de fósforo para lagos e oceanos;
- ❖ Sedimentação do fósforo associado com material orgânico e mineral e o seu enterramento nos sedimentos.

Para Ruttenberg (2005), o fósforo presente no, solos e sedimentos, não está diretamente disponível para os organismos. A conversão de formas não disponíveis para ortofosfato dissolvido, o qual pode ser diretamente assimilado, ocorre através de reações geoquímicas e biogeoquímicas em vários estágios do ciclo global do fósforo.

O mesmo autor afirma que a produção da biomassa depende da biodisponibilidade de fósforo e resulta na deposição de matéria orgânica em solos e sedimentos, onde ela atua como uma fonte de energia e nutrientes para comunidades microbianas. A atividade microbiana em solos e sedimentos, por sua vez, influencia fortemente a concentração e forma química do fósforo incorporado no registro geológico.

O fósforo é um dos principais nutrientes responsáveis pela eutrofização dos sistemas aquáticos e representa uma das mais importantes preocupações ambientais globais. As principais fontes de contaminação por fósforo são esgotos não tratados, efluentes industriais e resíduos da agricultura e pecuária (SILVA, 2009).

Nos últimos anos, em virtude do acelerado crescimento urbano industrial das cidades, tem aumentado substancialmente, o aporte de cargas poluentes para os ecossistemas aquáticos costeiros, como lagoas, lagos e estuários, que são ecossistemas de grande relevância para a manutenção de diversas espécies de animais e plantas (NUNES, 2013).

A substituição das matas e florestas por vegetais agricultáveis e o tipo de manejo adotado pode causar também uma redução da capacidade de infiltração do solo, e conseqüentemente um aumento do escoamento superficial que tende a causar erosão, carregando os nutrientes adicionados em excesso nas agriculturas para os corpos d'água (NUNES, 2013).

No processo de deterioração de um corpo d'água “a ocupação agrícola representa usualmente uma etapa intermediária, proporcionando um aumento da carga de fósforo, da concentração de algas e assoreamento no lago ou reservatório” (MANSOR, 2005). Neste caso, para compensar o desequilíbrio do ecossistema pela retirada da vegetação, e tornar a agricultura mais intensiva, são adicionadas elevadas quantidade de fertilizantes, frequentemente superiores à capacidade de assimilação dos vegetais (LIMA, 2010).

Para Melo (1998) a evolução da contaminação de um lago ou reservatório está associada ao uso e ocupação do solo predominante na bacia hidrográfica. De um modo geral, a ocupação por matas e floresta representa uma baixa carga de fósforo, baixa concentração de algas e pouco assoreamento no lago. Os nutrientes provenientes do decaimento da vegetação se dissolvem pelo solo, que tem alta capacidade de infiltração, e são absorvidos pelas raízes das plantas, permanecendo em equilíbrio o ecossistema.

Segundo Ruttenberg (2005), os organismos fotossintéticos utilizam fósforo dissolvido, carbono e outros nutrientes essenciais para formar seus tecidos usando energia solar. A produtividade biológica é dependente da disponibilidade de fósforo para esses organismos simples, os quais constituem a base da cadeia alimentar em sistemas terrestres e aquáticos.

Os estudos sobre a dinâmica do fósforo na água em microbacias hidrográficas, bem como de outros “contaminantes” ajudam a estimar os impactos e suas conseqüências nos ecossistemas aquáticos. Além disso, são importantes ferramentas para despertar a consciência de que o uso e o manejo do solo e da aplicação de

insumos, sejam em industriais ou orgânicos, são fatores que determinam a qualidade da água e do ambiente (PELLEGRINI, 2005).

2.3 Fracionamento do fósforo em sedimentos

O fósforo pode ser encontrado no sedimento sob várias formas, o que determina sua dinâmica na interface água e sedimento. Estas espécies podem ser agrupadas em frações que se distribuem no sedimento, modificando sua importância ambiental (ANDRADE, 2010).

Para se obter um maior entendimento sobre a distribuição do fósforo nos ecossistemas aquáticos, deve-se dar ênfase à determinação de suas formas químicas no sedimento. Esse procedimento, chamado de Fracionamento, busca efetuar a classificação das espécies de fósforo de acordo com as características físicas (tamanho, solubilidade), biológicas (biodisponibilidade) e principalmente as químicas (energia de ligação e reatividade).

A determinação da concentração total do fósforo nos sedimentos não oferece maiores detalhes sobre os processos biogeoquímicos que envolvem a deposição do fósforo. A participação geoquímica do fósforo total em inorgânica e orgânica, bem como a percentagem destas frações, oferece um perfil mais completo da dinâmica do elemento no ecossistema estuário sedimentar (NUNES, 2013).

Segundo Nunes (2013), fração orgânica é a forma de fosfato que está vinculada ao tecido animal ou vegetal (fosfatos ligados organicamente), formado principalmente por processos biológicos. Isso implica dizer que dejetos de animais, esgotos domésticos e restos de alimentos contribuem para o acúmulo de fósforo orgânico no meio aquático.

Também pode ser formado a partir de ortofosfato (devido aos processos biológicos), ou como resultado da quebra de pesticidas orgânicos que contêm compostos fosfatados. Os compostos húmicos podem adsorver quantidades consideráveis de fósforo pela complexação e quelação envolvendo íons como ferro, alumínio, cálcio e outros íons metálico (LEVESQUE e SCHINITZER, 1967).

Em sistemas com predomínio de agricultura, o fósforo de origem antrópica pode ser encontrado principalmente nas formas inorgânicas, devido ao uso indiscriminado

de fertilizantes químicos nos solos, como o diidrogenofosfato de cálcio $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, altamente solúvel em água, ou pelas emissões de efluentes urbanos, que contêm polifosfatos dos produtos de limpeza e esgotamentos sanitários não tratados. Com isso, a quantidade de fósforo adicionada pode ultrapassar a capacidade de adsorção dos solos, e resultar no seu transporte para águas superficiais e sub superficiais, com alto risco de eutrofização (ADELI et al., 2003).

Segundo Paula Filho (2004), o fósforo encontra-se na fração inorgânico ligado aos óxidos e hidróxidos de alumínio, ferro e manganês, associado ao cálcio e material orgânico. O somatório destas fases gera o fósforo total. Estas frações podem ser liberadas dos sedimentos para a coluna de água. Conseqüentemente, a concentração total é insuficiente para avaliar possível impacto deste nutriente em corpos aquáticos, razão pela qual foram desenvolvidos métodos de fracionamento.

A tabela 1 resume o significado geral das diferentes frações de fósforo encontrado em sedimentos.

Tabela 1- Formas de fósforo em sedimento.

Formas de fósforo	Descrição
Fósforo Total (Pt)	Indica o estoque total de fósforo
Fósforo Inorgânico Não-Apatítico (Pina)	Ligado a óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio. Fração reativa e biodisponível.
Fósforo Apatítico (Pa)	Ligado ao cálcio. Fração de fósforo estável e inerte (originada das rochas).
Fósforo Orgânico (Po)	Ligada ao material vivo em decomposição. Fração disponível (velocidade lenta)

Portanto para Ranno et al., (2007), essas frações de fósforo ocorrem em todos os sedimentos, no entanto, existe uma variação na proporção entre as formas de fósforo em função das características físico-químicas (oxigênio, pH, carbonatos e oxi-hidroxidos de ferro) dos solos e sedimento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo e amostragem do sedimento.

A área de estudo está localizada no Pantanal de Poconé, sub-região norte mato-grossense, na bacia hidrográfica do Rio Bento Gomes. A amostragem dos sedimentos iniciou-se no Núcleo de Estudos Avançados do Pantanal (NAPAN – IFMT), onde o rio Bento Gomes passa ao fundo, sob coordenadas geográficas 16° 19' 22,5" (latitude) ao sul e 56° 32' 41,5" (longitude) a oeste, a 140 metros de altitude (figura 1).



Figura 1: localização dos pontos de coleta, ao longo do Rio Bento Gomes.

Os sedimentos foram coletados em 8 pontos ao longo do rio durante o período chuvoso. A coleta foi realizada com um de sedimentos (Draga Van Ven). Foram coletados aproximadamente 2 kg de sedimento a 2 metros de profundidade do leito do rio, em locais de baixa energia fluvial. As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos herméticos, devidamente identificados e levados para o laboratório

do IFMT – Instituto Federal de Mato Grosso – Campus Cuiabá – Bela Vista, para as análises.

As características locais de cada ponto de amostragem dos sedimentos seguem descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição e características dos pontos amostrados.

Pontos	Características
P1	Área não inundada (sedimento seco).
P2	Área em frente a uma fazenda de gado.
P3	Área de remanso, com vegetação de aguapé.
P4	Pequena ilha formada na curva do rio.
P5	Área próxima ao IFMT.
P6	Área de remanso, com vegetação densa no entorno.
P7	Área de remanso, antiga área de exploração de areia por dragas.
P8	Área à jusante da ponte próxima à captação de água da cidade.

3.2 Análises laboratoriais

No laboratório, as amostras de sedimento foram transferidas para recipientes adequados e levadas em estufa com circulação forçada a 45°C, para obtenção do material seco. Após a secagem as amostras de sedimento foram maceradas para obtenção de pó fino e reservada para as análises.

As análises físico-químicas de caracterização do sedimento foram realizadas por CORINGA (2014), no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Mato Grosso, e consistiram na determinação do pH (método potenciométrico; EMBRAPA (1997), carbono orgânico total (oxidação via úmida com dicromato ácido; YEOMANS e BREMNER (1988) e análise granulométrica (método da pipeta; EMBRAPA (1997)).

As análises de fracionamento de fósforo foram realizadas no Laboratório de Monitoramento Ambiental do IFMT campus Bela Vista, e consistiram na determinação do teor de Fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) por meio do fracionamento químico do fósforo nos sedimentos. Todas as análises foram realizadas em triplicatas.

O fósforo total (Pt) foi obtido seguindo a metodologia proposta por Silva et al., (2010), que consiste na digestão de 0,2 g do sedimento em meio ácido com peróxido de hidrogênio e ácido sulfúrico ($H_2O_2 + H_2SO_4$) e uma mistura digestora com sulfato de potássio e sulfato de cobre ($K_2SO_4 + CuSO_4$) (Figura 2), inicialmente a $180^\circ C$ e aumentando-se a temperatura para $375^\circ C$ até a mistura adquirir a cor verde clara. Os extratos obtidos foram armazenados em potes coletores e reservados em geladeira a $5^\circ C$ para posterior determinação do teor de fósforo.

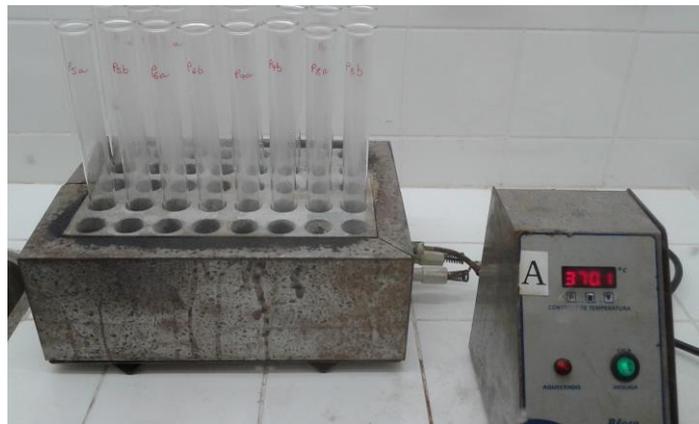


Figura 2. Digestão das amostras para obtenção do fósforo total.

O fósforo inorgânico (P_i) consiste no fósforo ligado aos óxidos de ferro e alumínio, e foi obtido seguindo o método proposto por Williams (1976) a partir de 0,50g da amostra de sedimento extraída com NaOH, agitou-se por 16 horas. Após separação do resíduo por centrifugação, o extrato foi tratado com HCl a fim de promover a precipitação da matéria orgânica (figura 3).

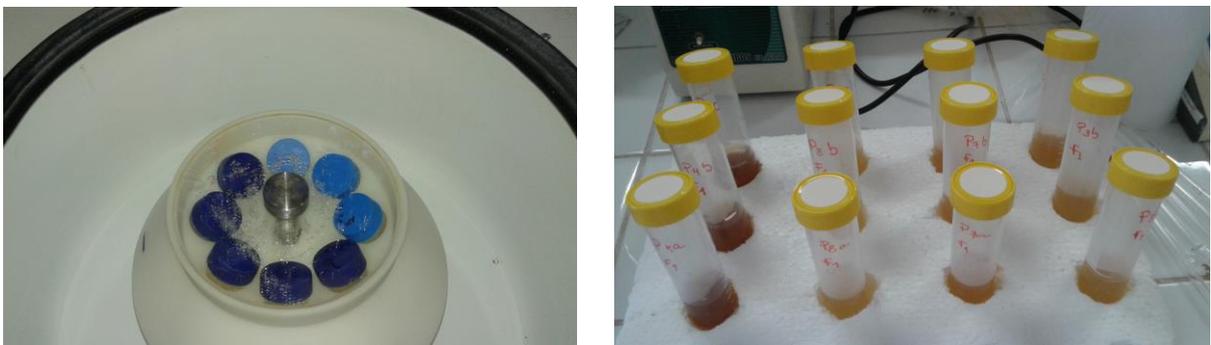


Figura 3. Centrifugação das amostras e repouso para precipitação da matéria orgânica, e obtenção dos extratos do fósforo inorgânico.

O fósforo orgânico (Po) foi determinado por diferença entre os teores de fósforo total e inorgânico (equação 1):

$$Po = Pt - Pi \quad (1)$$

Os teores de fósforo nos extratos (Pt, Pi e Po) foram determinados pelo método analítico de Murphy e Riley (1962), o qual é baseado na reação em meio ácido do ortofosfato (H_2PO_4) com molibdato de amônio.

As determinações foram efetuadas por espectrofotometria de absorção na região do visível, a um comprimento de onda 884nm utilizando cubetas de vidro de 1cm. A curva de calibração do fósforo foi construída partir da solução estoque de KH_2PO_4 (padrão de fosfato) nas seguintes concentrações: 0,0 (branco) 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 $mg L^{-1}$ (Figura 4).



Figura 4. Padrões para construção da curva de calibração analítica

As amostras (e os padrões) foram tratadas com solução de molibdato ácido de amônio e ácido ascórbico, e após o desenvolvimento da cor azul (30 minutos), efetuou-se a leitura das absorbâncias (Figura 5). Os cálculos foram efetuados levando-se em consideração as diluições e a massa do sedimento utilizada, e os resultados expressos em $mg kg^{-1}$.

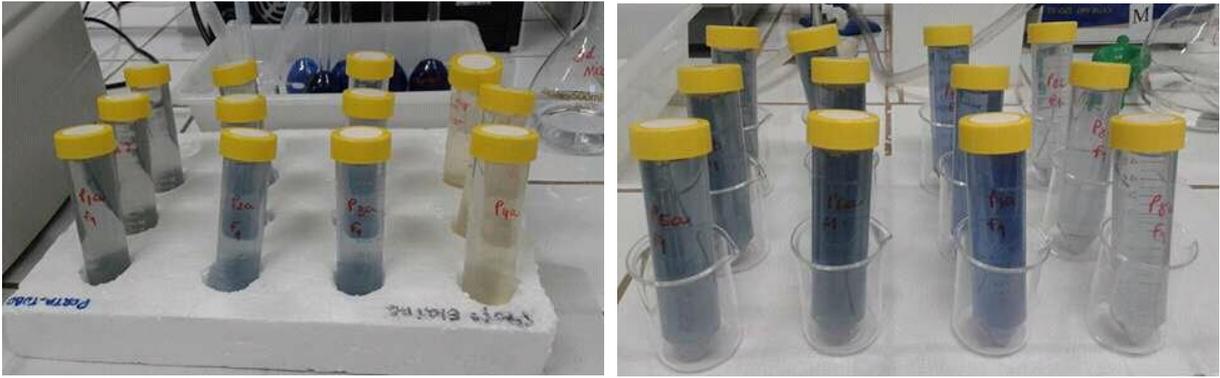


Figura 5. Extratos das amostras do sedimento para leitura do fósforo.

3.4 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à estatística descritiva e expressos como média e desvio padrão das triplicatas de laboratório.

A correlação entre dados físico-químicos dos sedimentos e os teores de fósforo foi obtido empregando-se o programa computacional Action (ESTATCAMP, 2014) integrado à planilha Excel (Microsoft).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características físico-químicas do sedimento

Os resultados das análises físico-químicas dos sedimentos (Tabela 3) revelam que os valores de pH caracterizam acidez média a fraca do sedimento, provavelmente resultante da degradação lenta microbiana da matéria orgânica preservada nos sedimentos. Os processos de adsorção/dessorção de fósforo no sedimento são influenciados pelo pH. A faixa ótima de pH para que ocorra a adsorção de fosfato nos sedimentos se situa entre 3 e 7 (SANTOS et al., 2010).

Tabela 3. Características físico-químicas do sedimento do Rio Bento Gomes.

Amostras	Areia	Silte g kg ⁻¹	Argila	pH	COT¹ (%)
P1	851	34	115	5,30	0,32
P2	634	76	299	4,95	2,52
P3	701	50	249	4,93	1,54
P4	784	33	183	4,82	1,38
P5	734	50	216	4,63	1,49
P6	184	183	633	4,76	2,39
P7	484	133	383	4,55	2,53
P8	801	50	149	4,93	0,43

¹carbono orgânico total;

Os sedimentos apresentaram textura arenosa nos pontos P1 e P8, muito argilosa e argilosa nos pontos P6 e P7, e média nos demais pontos amostrados. O domínio de partículas finas (silte e argila) está associado a uma maior área superficial do sedimento, permitindo um acúmulo de matéria orgânica, nutrientes e até contaminantes.

Segundo Porto Filho (1996), a composição dos sedimentos reflete as condições climáticas, ambientais e, em ambientes aquáticos, a intensidade e velocidade das correntes juntamente com a profundidade da coluna d'água, também contribuem para a composição granulométrica do sedimento. O ponto P1 e P8 se encontram num local do rio com pouca profundidade, mais estreito e mais turbulento, que justificam a predominância de areia na composição do sedimento. Já os pontos P6 e P7 estão localizados numa região em que o Rio Bento Gomes apresenta maior profundidade, é mais largo e foi extraída a areia para mineração (ponto P7), acumulando assim partículas mais finas. Outro fato que deve ser destacado é que as amostras dos pontos P1 e P8

foram coletadas próximo à margem do rio, o que pode justificar uma maior presença de areia na composição do sedimento, ao contrário das demais amostras, em que as coletas foram realizadas mais distantes das margens, no meio do rio.

Os teores de carbono orgânico, nas áreas de remanso e sedimentação, refletiram maiores valores de matéria orgânica nos sedimentos coletados nos pontos de amostragem P2, P6 e P7, o que pode estar relacionadas com a granulometria mais fina do sedimento, conforme correlação positiva entre o carbono e as frações argila, silte e negativa com a fração areia ($r = 0,77$; $0,71$ e $-0,75$, respectivamente).

Percentagens mais altas de partículas finas no sedimento são comumente encontradas em sedimentos com altas concentrações de carbono orgânico e que pode ser associado ao acúmulo de detritos advindos de fontes antrópicas (FROEHNER e MARTINS, 2008). O carbono orgânico influencia diretamente no potencial redox do ambiente onde encontra o sedimento, pois esse fenômeno é desencadeado por populações microbianas que necessitam de carbono para completar seu ciclo de vida.

4.2 Teor de fósforo total (Pt), inorgânico (Pi), e orgânico (Po)

Para as análises de fósforo foi realizada uma curva de calibração na faixa de concentração entre $0,5$ e $3,0 \text{ mg L}^{-1}$ de P, conforme ilustrado na Figura 6. Os parâmetros da curva de calibração mostram uma linearidade ótima, com coeficiente de determinação (R^2) igual a $0,99$ e sensibilidade de calibração igual a $0,1948 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 6).

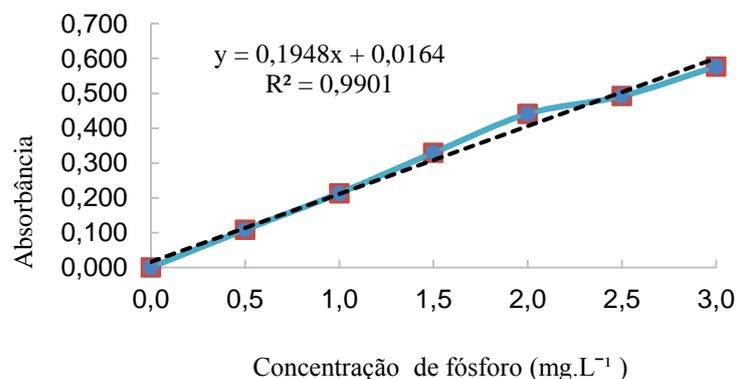


Figura 6. Curva de calibração para o fósforo

As concentrações de fósforo foram calculadas através das equações (2,e 3) a baixo:

$$\frac{x = y - b}{a} \quad (2)$$

$$\frac{x = \text{conc.} \cdot v}{1000 \cdot m} \quad (3)$$

Os resultados do fracionamento do fosforo estão listados na Tabela 4, e foram expressos em mg kg^{-1} após conversão das unidades.

Tabela 4. Teores de fosforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fosforo orgânico (Po) extraídos do sedimento do Rio Bento Gomes (média das replicatas).

Amostras	Pt	Pi	Po ¹
	mg kg ⁻¹		
P1	248,72 ± 35,39	203,80 ± 2,72	44,92
P2	226,26 ± 12,71	220,48 ± 13,61	5,78
P3	293,63 ± 17,24	277,59 ± 5,45	16,04
P4	266,68 ± 26,32	241,66 ± 5,45	25,03
P5	438,01 ± 37,21	430,31 ± 4,54	7,70
P6	575,33 ± 0,00	547,74 ± 2,72	27,59
P7	484,86 ± 22,69	266,68 ± 9,98	218,18
P8	260,91 ± 0,00	129,36 ± 17,24	131,55
Média	349,30	289,70	59,60

¹ $Po = Pt - Pi$

Os teores de fósforo total nos sedimentos variaram ao longo dos pontos amostrados, onde os maiores valores encontrados foram nos pontos P5, P6 e P7 (Tabela 4). Nesses pontos, o pH foi menor que nos demais, o que pode justificar uma maior concentração de fósforo total. Segundo Frazen (2009), as condições de pH ligeiramente ácidas favorecem a adsorção de fosfatos em óxidos e hidróxidos dos sedimentos, aumentando a retenção de fósforo. Stumm e Morgan (1981), também afirmam que a adsorção de fosfato à argila é maior em pH ácido ou ligeiramente ácido.

A resolução 344/2004 do CONAMA estabelece diretrizes gerais para a avaliação do sedimento a ser dragado, recomendando como valor alerta para fósforo total a concentração de 2000 mg kg⁻¹. Neste trabalho, o maior valor encontrado para fósforo total foi no ponto P6, com 575,33 mg kg⁻¹. Entretanto, muitos autores discordam desse valor proposto, por se tratar de um valor elevado, afirmam não condizer com a realidade brasileira.

Cazati (2010) e Zhang et al., (2008), propõe os seguintes valores para avaliar o índice de poluição nos sedimentos: não poluído, concentrações menores que 500 mg kg⁻¹; moderadamente poluído, concentrações entre 500 e 1300 mg kg⁻¹; e altamente poluído, concentração maior que 1300 mg kg⁻¹, (total de fósforo). A tabela 5 traz trabalhos de outros autores que encontraram teores de fósforo próximo aos do Rio Bento Gomes.

Tabela 5. Relação de trabalhos sobre formas de fósforo em sedimentos de rio.

Trabalhos	Pt	Pi	Po	Autores
	mg kg ⁻¹			
Distribuição e fracionamento do fósforo nos sedimentos dos Rios Bacanga e Anil na ilha do Maranhão.	525,82 1466,44	125,05 1248,22	172,84 566,02	Nunes, 2010
Avaliação de procedimentos de extração sequencial de fosforo em sedimento	398,65 503,55	178,6 209,5	268,8 290,6	Protazio, 2004
Formas de fosforo em sedimentos do rio Bento Gomes, Pantanal de Poconé, MT	226,26 575,33	129,36 547,74	5,78 218,18	Este trabalho

Para uma análise de qualidade ou degradação de um sistema aquático, somente com teor de PT não é possível determinar, pois a ele contém fósforo na forma apatítico, que é relativamente estável e inerte. Na avaliação de um sistema poluído, faz-se necessário a determinação nas formas orgânica e inorgânica de fósforo. Dessa forma, neste estudo, as concentrações de fosforo nas frações seguiu a ordem de ocorrência, na maioria dos pontos: fosforo total (Pt) > fósforo inorgânico (Pi) > fósforo orgânico (Po).

Conforme reportado na literatura, o Pi representou a principal fração de Pt em todos os locais analisados, exceto no ponto P8, cujo valor foi menor que o Po (Figura 7). O ponto P8 corresponde à área a jusante da ponte, próximo a estação da captação

de água, e portanto, próxima ao centro urbano da cidade de Poconé.

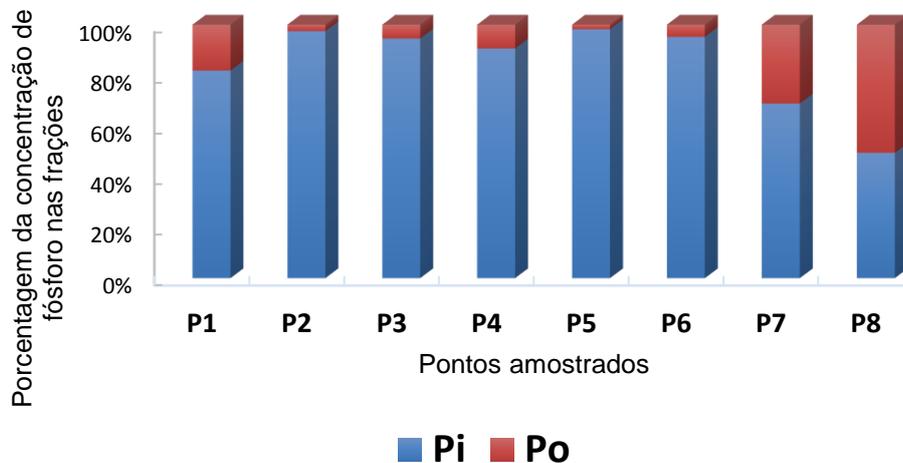


Figura 7. Distribuição porcentual do teor de fósforo nas frações, fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po).

O fósforo na forma inorgânica (Pi) corresponde às frações ligadas aos óxidos /hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, associado ao cálcio e material orgânico (NUNES,2013). Porém, nem todas as formas estão disponíveis: a fração ligada ao cálcio é denominada de apatítico (Pa), e se encontra estável e inerte; a fração inorgânica não apatítica (Pina) corresponde aos óxidos/hidróxidos de ferro e alumínio e são disponíveis na ausência de oxigênio.

A fração Pi correspondeu, em média, a 83% do fósforo total, correlacionando-se, portanto, positivamente com o total ($r = 0,84$). Geralmente, a fração de fósforo inorgânico (Pi) em relação ao fósforo total (Pt) é de aproximadamente 60% em sedimentos sem interferências antropogênicas (FROEHNER e MARTINS, 2008). No entanto, o que se observou nos sedimentos estudados foi uma menor fração de Pi nos sedimentos no ponto P7 e P8 (55% e 50%, respectivamente). Tal comportamento, em que a fração de fósforo orgânico é significativa (45% e 50%, para os pontos P7 e P8, respectivamente), pode ser atribuído a aportes antrópicos nesse ponto.

Cazati (2010), afirma que as frações de fósforo ligados a oxi-hidróxidos de ferro e alumínio (Pi) e a fração de fósforo lábil são as que possuem maiores correlações com os sedimentos finos. Isso foi comprovado neste estudo, onde o Pi correlacionou-se diretamente com as frações argila e silte (finos) ($r = 0,75$ e $0,64$ respectivamente)

e negativamente com a fração areia ($r = -0,73$).

A forma orgânica do fósforo (Po) é constituída pelo material vivo em decomposição, vegetação e a decomposição da matéria orgânica em ambientes de acumulação influenciam no aporte de fósforo orgânico para o sedimento. A origem dessa fração de fósforo orgânico no meio aquático pode ser devido a dejetos de animais, esgoto doméstico, pesticidas orgânicos fosfatados.

Neste trabalho, os valores encontrados foram maiores no ponto P7 e P8 e, em menor grau, no ponto P1 (Figura 7). Subramanian et al., (2005) encontraram valores extremamente altos de fósforo orgânico em sedimentos de rios, e atribuíram à descarga de esgotos domésticos urbanos.

No caso dos pontos P1 e P8, os maiores valores de Po podem estar associados à fração areia, já que o teor de carbono orgânico nesses pontos é baixo. Isso pode significar que a matéria orgânica pode estar associada às partículas maiores do sedimento ou adsorvida a elas. Há de se considerar uma possível fonte antrópica de fósforo no ponto P8, uma vez que se encontra em região mais urbanizada. Já no ponto P7, o maior teor de Po pode estar relacionado ao maior teor de carbono (Tabela 3). Provavelmente a vegetação e a decomposição da matéria orgânica em ambiente de acumulação influenciaram no aporte de fósforo orgânico para o sedimento.

A distribuição do fósforo orgânico é diferente em áreas poluídas e não poluídas. Em áreas não poluídas predominam as formas mais disponíveis de fósforo (lábil e moderadamente lábil), e nas áreas poluídas a composição das moléculas de fósforo orgânico é mais estável, ligada às substâncias húmicas que demoram para serem mineralizadas (ZHANG et al., 2004).

4.3 Correlações entre as frações de fósforo e as características físico-químicas do sedimento:

As partículas de sedimentos finos (silte + argila) apresentaram-se como principais carreadores de fósforo para o sistema em estudo. Esta afirmativa é corroborada pela alta correlação obtida entre os teores de argila as frações de fósforo total ($r = 0,81$). A adsorção de fósforo na fração fina do sedimento já vem sendo reportada por vários autores, que afirmam que teores elevados de sedimentos finos (argila e silte) possuem

maior área superficial específica, e conseqüentemente, aumentando a capacidade de adsorção de formas de fósforo pelos sedimentos (PAGLIOSA et al., 2005; PAULA FILHO et al., 2012).

No geral, o padrão de distribuição do fósforo total (Pt) e fósforo orgânico (Po) é concordante com o carbono orgânico total (COT), devido à correlação positiva e significativa entre as variáveis ($r = 0,54$ e $0,50$, respectivamente) e à localização das maiores fontes de matéria orgânica, que são os pontos P6 e P7 (Tabela 3). A matéria orgânica em suspensão possui grande importância como agregador de partículas nos sedimentos.

Os teores de argila também exibiram uma acentuada correlação com a matéria orgânica ($r = 0,77$). Isso ocorre porque as partículas de silte e argila são mais leves que os grãos de areia e por isso tendem a permanecer mais tempo em suspensão, podendo se agregar com a matéria orgânica e daí sedimentar. Esse material particulado em suspensão é um dos principais carreadores geoquímicos do fósforo em ambientes aquáticos.

O pH variou inversamente ao teor de fósforo total (Pt) e fósforo inorgânico (Pi), com coeficientes de correlação (r) iguais a $-0,69$ e $-0,48$, respectivamente. Isso significa que, maiores valores de pH não favorecem a adsorção de fósforo nos sedimentos. Por isso, os maiores valores encontrados para Pt e Po foram para os sedimentos coletados nos pontos P5, P6 e P7 (Tabela 4), com menores valores de pH (Tabela 3).

5. CONCLUSÃO

As maiores concentrações de fósforo encontraram-se em regiões de baixa hidrodinâmica do rio Bento Gomes nos pontos P5, P6, P7, e P3, onde ocorre um favorecimento na deposição de sedimentos finos e matéria orgânica;

Os teores de fosforo inorgânico foram maiores que de fosforo orgânico na maioria dos pontos amostrados;

Os teores de argila e de matéria orgânica são os principais parâmetros ambientais do sedimento correlacionadas com as frações de fósforo.

Os sedimentos do Rio Bento Gomes não demonstraram indícios de poluição antrópica por fósforo, segundo a legislação brasileira vigente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADELI, A.; VARGO, J. J.; ROWE, D. E. Swine effluent irrigation rate and timing effects on Bermudagrass growth, nitrogen and phosphorus utilization, and residual soil nitrogen. **Journal of Environmental Quality**, v.32, p.681-686, 2003.

ANDRADE, G. R. P. **Argilominerais em solos de manguezais da costa brasileira**. 2010. 187f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola superior de agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 2010.

CAZATI, C. A. **Fracionamento do fósforo em sedimentos superficiais do Complexo Estuarino de Paranaguá**. 2010. 95f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos) – Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná – PR, 2010.

CORINGA, J. E. S. **Fracionamento Geoquímico de Metais em Sedimentos e Avaliação da Qualidade da Água do Rio Bento Gomes, Pantanal de Poconé, Mato Grosso**. 2014. 134f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Julio de Mesquita Filho, Araraquara – SP, 2014.

BRASIL. CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), Resolução nº 344 de 25 de março de 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análises de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1997. 212 p.

ESTATCAMP. 2014. **Software Action. Estatcamp** - Consultoria em estatística e qualidade, São Carlos. Disponível em: <http://www.portalaction.com.br> Acesso em: 21/02/2016.

FONSECA, E. M. Caracterização Geoambiental de Parte da Rodovia Transpantaneira, dos Impactos Ambientais e Elaboração de Práticas para um Turismo Sustentável no Município de Poconé, MT. **Revista Territorium Terram**, v. 01, p. 95-111, 2013.

FRAZEN, M. Dinâmica do fósforo na interface água-sedimento em reservatórios. 2009. 244f. Tese (Doutorado Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2009.

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

GIRARD, P. **Efeito cumulativo das barragens no Pantanal**. Mobilização para conservação das Áreas Úmidas do Pantanal e Bacia do Araguaia. Instituto Centro Vida, Campo Grande – MS, p. 28,2002.

FAIRBRIDGE, R. W. The encyclopedia of geomorphology. **Encyclopedia of Earth Sciences Series**. Vol. III. Dowden, Hutchinson & Ross Inc. Stroudsburg, p. 325-330, 1989.

LEVESQUE, M. SCHINITZER, M. Organometallic Interactions in Soils: Preparation and properties of fulvic acid-metal phosphates. **Journal Soil Science**, v. 103, p. 183-190, 1967.

LIMA, J.V. **Variáveis hidroquímicas e frações de fósforo na água de microbacias urbanas de Bom Jesus/PI**. Bom Jesus. 2010. 57f. Monografia (ciências biológicas) – Universidade Federal do Piauí – PI, 2010.

MANSOR, M. T. C. **Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, Limeira – SP**. Campinas. 2005. 189f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola, Água e Solo) Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas – SP, 2005.

MELO, O. T. **Comportamento biogeoquímico de nutrientes no estuário do Ri Bacanga, ilha de São Luís - MA**. Belém, 1998. 115f. Dissertação (mestrado em geoquímica e Petrologia) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1998.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v.27 p. 31-36, 1962.

NUNES, M. L. F. **Distribuição e fracionamento do fósforo nos sedimentos dos Rios Bacanga e Anil na ilha do Maranhão**. São Luís, 2013. 97f. Dissertação (mestrado em química) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, 2013.

PAGLIOSA, P. R.; FONSECA, A.; BOSQUILHA, G. E.; BRAGA, E. S.; BARBOSA, F. A. Phosphorus dynamics in water and sediments in urbanized and non-urbanized rivers in Southern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 50, p. 965-974, 2005.

PAULA FILHO, F. J. **Distribuição e Partição Geoquímica de fósforo em sedimentos estuarinos do Rio Jaguaribe/Ce.** 2005. 88f. Dissertação (mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, 2004.

PAULA FILHO, F.J.; DE MOURA, M.C.S.; MARTINS, R.V. Fracionamento Geoquímico do Fósforo em Águas e Sedimentos do Rio Corrente, Bacia hidrográfica do Parnaíba/PI. **Revista Virtual de Química**, v.4, p. 623-640, 2012.

PELLEGRINI, J. B. R. **Fósforo na água e no sedimento na microbacia hidrográfica do Arroio Lino – Agudo-RS.** 2005. 98f. Dissertação (mestrado em Ciências do Solo) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2005.

PEREIRA FILHO, R. S. **Metais Pesados nas Sub-Bacias, Hidrográficas de Poconé e Alta Floresta.** Rio de Janeiro - CETEM/CNPq, p. 90, 1995.

PORTO FILHO, E. *A geomorfologia e o manejo do ecossistema*, **Geosul**: Florianópolis, 1996.

PROTAZIO, L. TANAKA S.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.

RANNO, K.S.; SILVA, S. L.; MALLMANN, K. J. F. Fracionamento de fósforo inorgânico em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira Agrocência, Pelotas**, v.13, p. 47-54, 2007.

RUTTENBERG, K. C. (2005). **The global phosphorus cycle.** In: HOLLAND, H. D.; TUREKIAN, K. K. (Eds.). *Treatise on geochemistry.* Amsterdam: Elsevier Publishers, v.8, 585p. 2005.

SANTOS, S. L. M.; SARAIVA L. L. A.; DELFINO, B. I.; ANTUNES, C. L.; BATISTA, M. M. R.; ALVES, C. C. I. Avaliação das Formas de Fósforo nos Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental do Rio Amazonas. **Revista da Gestão Integrada** (Journal of Integrated Coastal Zone Management), v.10, p. 589-596, 2010.

STUMM, S. W; MORGAN JJ. **Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters**. New York. Wiley; 1981. 780 p.

SCHENATO, R. B. **Dinâmica do fósforo de sedimentos de uma pequena bacia hidrográfica de cabeceira**. 2009. 105f. Dissertação (mestrado em Ciências do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2009.

SILVA, G. S. D.; SILVA, G. S. D.; SOUSA, E. R. D.; KONRAD, C.; BEM, C. C.; PAULI, J.; PEREIRA, A. Phosphorus and nitrogen in waters of the ocoí river sub-basin, Itaipu reservoir tributary. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, p. 1580-1588, 2009.

SILVA, M.R.; GONÇALVES JR. A.C; PINHEIRO, A.; BENVENUTTI, J.; SUSIN, J. Distribuição de nutrientes em sedimentos fluviais do rio Itajai-Açú, Blumenau, SC, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v.5, p.102-113, 2010.

SLOMP, C.P. Coupled dynamics of Iron and Phosphorus in Sediments of an Oligotrophic Coastal Basin and the impact of Anaerobic Oxidation of Methane. **Plos ONE**, v. 8, p. 1-13, 2013,

SPEARS, B.M.; MEIS, S.; ANDERSON, A.; KELLOU, M. Comparison of phosphorus removal properties of materials proposed for the control of sediment p release in UK lakes. **Science of the Total Environment**, v. 442, p.103, 2013.

SUBRAMANIAN, V.; MOTURI, M. C. Z.; RAWAT, M.; Distribution and partitioning of phosphorus in solid waste and sediments from drainage canals in the industrial belt of Delhi, Índia. **Chemosphere**, v. 60, p. 237-244, 2005.

WILLIAMS, J. D. H.; JAQUET, J. M.; THOMAS, R. L. Forms of phosphorus in the superficial sediments of Lake Eire. **Journal of Fishers Research Board Canadian**, v. 33, p. 413-429, 1976.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1998.

ZHANG, J. Z.; FISCHER, J. C.; ORTNER, B. P. Potential availability of sedimentary phosphorus to sediment resuspension in Florida Bay. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 18, p. 1-14, 2004.

ZHANG, R.; WU, F.; LIU, C.; FU, P.; LI, W.; Wang, L.; GUO, J. Characteristics of organic phosphorus fractions in different trophic sediments of lakes from the middle and lower reaches of Yangtze River region and Southwestern Plateau, China. **Environmental Pollution**, v. 152, p. 366-372, 2008.