

Fracionamento das Formas de Fósforo em Terra Preta de Índio

Phosphorus Fractionation on “Terra Preta de Índio”

DOI:10.34115/basrv5n3-007

Recebimento dos originais: 06/04/2021

Aceitação para publicação: 03/05/2021

Erasmio Sergio Ferreira Pessoa Junior

Doutor em Química pela Universidade Federal do Amazonas

Professor da Universidade do Estado do Amazonas

Estrada do Bexiga, n. 1.085, Jerusalém, Tefé, AM, Brasil

E-mail: esjunior@uea.edu.br

Wamber Broni de Souza

Doutor em Química pela Universidade Federal do Amazonas

Professor da Universidade Federal do Amazonas

Estrada Parintins Macurany, n. 1.805, Jacareacanga, Parintins, AM, Brasil

E-mail: wambersa@ufam.edu.br

Genilson Pereira Santana

Doutor em Físico-Química pela Universidade Federal de Minas Gerais

Professor da Universidade Federal do Amazonas

Av. Rodrigo Otávio, n. 6.200, Coroado 1, Manaus - AM, Brasil.

E-mail: gsantana@ufam.edu.br

RESUMO

A Terra Preta de Índio (TPI) é rica em fósforo (P) e cálcio (Ca), por ser um solo de origem antrópica. A forma de P inorgânico mais comum nesse solo, é aquela formada com Ca, consequência da mineralização da hidroxiapatita da composição de ossos de animais descartado no solo. Para entender o processo de extração de P em TPI, como os extratores químicos, foi realizado um estudo do fracionamento das formas de P inorgânicas, em conjunto com os extratores Mehlich-1 (M1), Mehlich-3, Bray-1 (B1) e Olsen (OL), com objetivo de verificar o comportamento de extração das principais formas do P inorgânico pelos extratores M1, M3, B1 e OL. E para tanto, as amostras de solo coletadas na profundidade 0-20 cm, em oito sítios da Mesorregião do Centro Amazonense foram submetidas ao fracionamento de P pelo método proposto por Chang e Jackson em consorcio das extrações com M1, M3, B1 e OL. Os resultados das partições das formas de P foram caracterizados pela variação de todas as formas, de acordo com local amostrado. O extrator M1 retirou quantidades variadas de P-FL, P-Fe e P-Al, e influenciou principalmente na retirada do P-Ca. O OL possui a extrai preferencialmente o P mais disponível para a solução do solo. Portanto, a dinâmica de extração de P com o M1, M3, B1 e OL, está diretamente relacionada com a variabilidade dos teores das formas de P-FL, P-Fe e P-Al e P-Ca em solos antrópicos.

Palavras-chave: Solo antrópico, Fósforo inorgânico, Extrator de fósforo.

ABSTRACT

The Indian Black Earth (IBE) is rich in phosphorus (P) and calcium (Ca), as it is a soil of anthropic origin. The most common form of inorganic P in this soil is that formed with Ca, a consequence of the mineralization of hydroxyapatite from the composition of animal bones discarded in the soil. In order to understand the P extraction process in IBE, like chemical extractors, a study of the fractionation of inorganic P forms was carried out, in conjunction with Mehlich-1 (M1), Mehlich-3, Bray-1 (B1) extractors and Olsen (OL), in order to verify the extraction behavior of the main forms of inorganic P by extractors M1, M3, B1 and OL. And for that, the soil samples collected at a depth of 0-20 cm, in eight sites in the center mesoregion Amazon were subjected to the fractionation of P by the method proposed by Chang and Jackson in consortium of the extractions with M1, M3, B1 and OL. The results of the partitions of the forms of P were characterized by the variation of all forms, according to the sampled location. The M1 extractor removed varying amounts of P-FL, P-Fe and P-Al, and influenced mainly the removal of P-Ca. The OL has a preferential extraction of the most available P for the soil solution. Therefore, the dynamics of P extraction with M1, M3, B1 and OL, is directly related to the variability of the contents of the forms of P-FL, P-Fe and P-Al and P-Ca in anthropic soils.

Key word: Anthropic soils, Inorganic phosphorus, Extractable phosphorus.

1 INTRODUÇÃO

A presença de altas quantidade de P em TPI da região Amazônica é, indubitavelmente, reportada na literatura (SMITH, 1980) (EDEN *et al.*, 1984) (COSTA; KERN, 1999) (GLASER *et al.*, 2000), (RUIVO; CUNHA; KERN, 2004) (LIMA *et al.*, 2005) (FALCÃO; BORGES, 2006) (REBELLATO, 2007) (MOREIRA, 2007) (SOARES, 2007) (NEVES JUNIOR, 2008) (MACEDO, 2009) (MOREIRA; TEIXEIRA; MARTINS, 2009) (SILVA *et al.*, 2011) (SILVA *et al.*, 2012) (SANTOS *et al.*, 2013) (NEGREIROS *et al.*, 2020) (SILVA, *et al.*, 2021). Este fato, se deve a pedogênese desses solos, que se baseia na deposição de restos de alimentos em diferentes solos Amazônicos (KERN; KÄMPF, 1989). Essa deposição realizada por civilizações pré-colonbianas, de maneira intencional ou não, foi de fundamental importância para a existência de manchas de TPI, e sua variabilidade de P. A variação nos teores de P do solo é evidente em Antrossolo, como pôde ser notado nos extremos das quantidades de P total, na faixa de 69,00 a 13.870,00 mg.Kg⁻¹ (GERMAN, 2003) (LIMA *et al.*, 2002) (SATO *et al.*, 2009) (COSTA *et al.*, 2017). Como o P total não representa a quantidade de P disponível para absorção da planta, os métodos de extração de P com soluções ácidas são mais recomendados para avaliação da fertilidade do solo. Entretanto, cerca de 95% dos estudos de P disponível em TPI, utilizaram o extrator M1, revelando o máximo e mímimo de 1,00 a 4.559,00 mg.Kg⁻¹ na extração desse elemento (CUNHA, 2005) (LIMA *et al.*, 2002).

Apesar do grande número de dados reportados na literatura sobre o P disponível em TPI, existem ainda questões não bem estabelecidas sobre a dinâmica da extração desse elemento no solo. Dentre as quais, pode ser citada a elucidação das formas de P inorgânicas que prevalecem nos solos, e de que maneira essas formas podem influenciar na extração de P com os extratores mais populares na literatura, o M1, M3, B1 e OL. De modo geral, os poucos trabalhos que relatam essa questão se preocuparam em verificar a disponibilidade do P com o M1 e contabilizar o P total com o fracionamento químico (SOUZA *et al.*, 2009) (CAMPOS *et al.*, 2011).

O uso da extração sequencial com extratores químicos, permite o fracionamento das formas de P, cujo resultados é o estabelecimento da mobilidade de P nas TPI. O método de (CHANG; JACKSON, 1957) consegue distinguir as formas de P inorgânico dos solos, e é sustentado pelo fato de que o processo de intemperismo que ocorrem nas classes de solos tem para o P a seguinte sequência de formação: P-Ca, P-Al, P-Fe e P ocluso. A última fração é redundante em existir pelo fato de que o P geralmente encontra-se ocluso em oxi-hidróxidos de ferro e alumínio (CHANG; JACKSON, 1957).

Além do fracionamento, o P em solos também pode ser contabilizado utilizando-se uma série de extratores químico, e os métodos mais utilizados baseiam-se em soluções ácidas e básicas. Esses extratores sempre apresentam algum tipo de limitação no processo de extração de P. O M1 é um extrator que tem como princípio a retirada das formas de P do solo em pH entre 1,0 e 2,0 (MEHLICH, 1953). A sua seletividade em extrair o P-Ca, e em quantidades menores o P-Al e P-Fe, torna seu uso inviável em solos com alto teor de cálcio (BARBOSA FILHO; KINJO; MURAOKA, 1987). O problema de superestimação dos teores de P extraído com o M1 foi corrigido com o M3, um extrator que utiliza em sua composição uma mistura de ácidos (forte e fraco) com sais em pH 2,5 (MEHLICH, 1984). O B1 é constituído de uma solução de fluoreto de amônio e ácido clorídrico em pH de 2,6, em que o fluoreto forma complexos forte com íons Al e Fe, liberando, assim, o P ligado aos metais (BRAY; KURTZ, 1945). O P presente no solo como P-Ca, também é extraído, com precipitação de CaF (KAMPRATH; WATSON, 1980). O OL é baseado em um valor de pH em torno de 8,5, tendo como princípio liberar P-Al, e P-Fe pela elevação do valor de pH (OLSEN *et al.*, 1954).

Neste trabalho foram utilizados o fracionamento das formas de P inorgânicas sem e com a intervenção dos extratores M1, M3, B1 OL, a fim de entender a influência dos extratores químicos nas formas de P-FL, P-Ca, P-Al e P-Fe em TPI da Mesorregião do Centro Amazonense.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 AMOSTRAGEM

A amostragem foi realizada na Mesorregião do Centro Amazonense, nos municípios de Barreirinha, Itacoatiara, Manaus e Parintins. Em Barreirinha, a TPI foi coletada no sítio Terra Preta do Limão (Tpl); em Itacoatiara nos sítios São José do Amatarí (Tpa) e São Pedro de Iracema (Tpi); em Manaus no sítio localizado na Nova Cidade (Tpnc); em Parintins na área do Hospital Jofre Cohem (Tph) e nos sítios Parananema (Tpp), Gregoste (Tpg) e Marajó (Tpm). As coletas foram realizadas segundo recomendação da (EMBRAPA, 1999), ou seja, em ziguezague numa área de aproximadamente 1 hectare. Para cada sítio foram coletadas 15 amostras simples na profundidade de 0–20 cm. As amostras simples foram misturadas e quarteadas, sendo escolhido um quarto aleatoriamente para a realização deste estudo.

2.2 ESTUDO DE FRACIONAMENTO DO P

O fracionamento das formas de P inorgânicas, nas amostras de TPI, com granulometria menor que 2,0 mm, foram realizadas sem e com a utilização previa dos extratores M1, M3, B1 e OL. A extração das frações P-FL, P-Al, P-Fe e P-Ca foram realizadas segundo (CHANG; JACKSON, 1957), ou seja, com a extração sequencial dos extratores NH_4Cl ($1,0 \text{ mol.L}^{-1}$), NH_4F ($0,5 \text{ mol.L}^{-1}$, com pH de 8,2 ajustado com NH_4OH), NaOH ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$) e H_2SO_4 ($0,25 \text{ mol.L}^{-1}$), na razão 1:50 (massa de solo/volume de extrator) para obter respectivamente as formas de P-FL, P-Al, P-Fe e P-Ca. Os tempos de extrações utilizados foram de 30 min para P-FL; 17h para P-Fe; 1 h para P-Al e P-Ca a 240 rpm de rotação. A cada troca dos extratores no fracionamento, o resíduo de solo foi lavado duas vezes com NaCl saturado, para garantir a retirada de todo P em cada etapa do fracionamento. Todas as alíquotas do sobrenadante foram avolumadas para 100 mL (Figura 1).

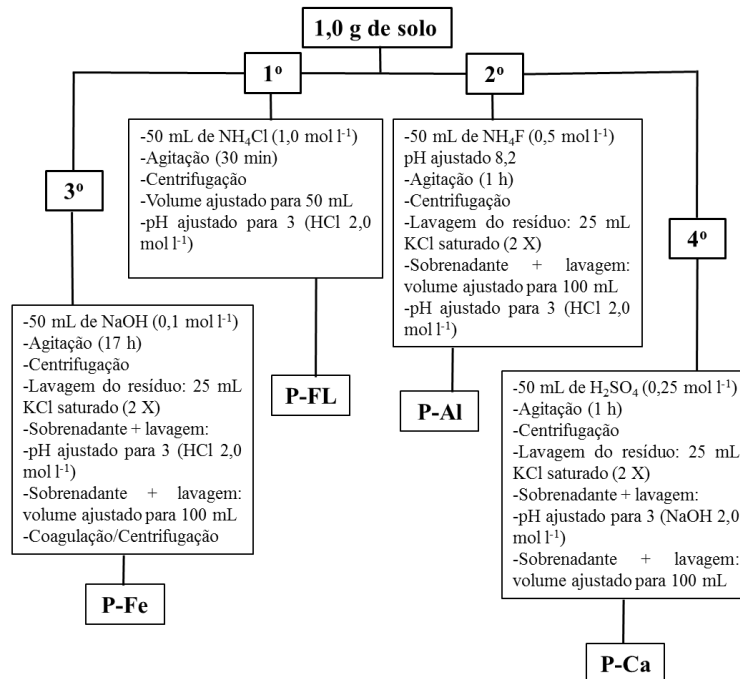
Com objetivo de verificar a influência dos extratores M1, M3, B1 e OL nas formas de P inorgânicas, cada um desses extratores foram utilizados antes a primeira etapa do fracionamento de proposto por (CHANG; JACKSON, 1957). As condições de extração dos M1, M3, B1 e OL foram mantidas segundo as metodologias propostas por (MEHLICH, 1953) (BRAY; KURTZ, 1945). Os percentuais de redução de cada uma das formas inorgânicas de P do fracionamento, foram determinadas pela equação abaixo:

$$\text{Porcentagem (\%)} = \frac{FD - FAE}{FD} \times 100$$

Em que FD é a quantidade de P fracionada sem a utilização dos extratores M1, M3, B1 e OL e FAE quantidade de P fracionada após a aplicação dos quatro métodos de extração.

As determinações de P foram feitas pelo método do molibdato de amônio em um espectrofotômetro (Shimadzu, modelo UV-1650PC) no comprimento de onda de 885 nm (SPARKS, 1996).

Figura 1: Esquema da metodologia do fracionamento de P-Ca = P ligado a cálcio, P-Al = P ligado ao alumínio, P-Fe = P ligado ao ferro, P-FL= P fracamente ligado.



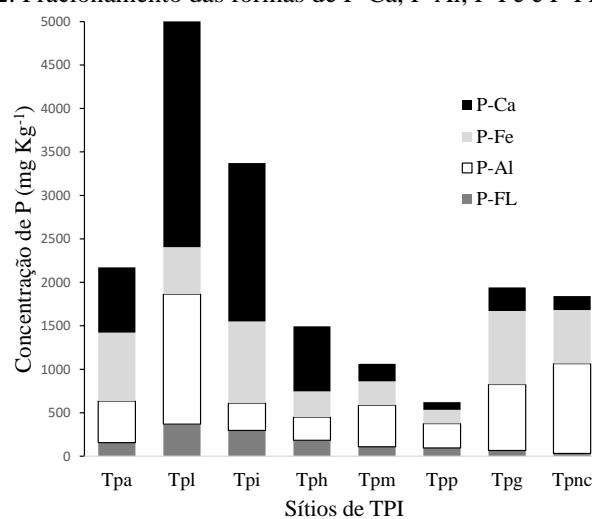
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 FRACIONAMENTO DE P

Os fracionamentos das espécies de P mostram claramente que os valores de cada fração e suas quantidades totais variam de acordo com sítio de TPI (Figura 2). O somatório das frações de P indicam que o sítio de Tpl tem um potencial maior de disponibilidade das diferentes formas de P. Por outro lado, o sítio de Tpp possui o menor potencial. Nos sítios Tpl e Tpi a fração relativa ao P-Ca apresentaram os maiores teores. As outras frações alternam seus teores, ora prevalecendo a fração P-Al ou P-Fe.

Em princípio, esse comportamento pode estar relacionado à idade ou ao estágio de intemperismo das formas de P em TPI. Segundo a literatura a principal fonte de P nos solos, de origem antrópica, é a hidroxiapatita biogênica cristalina, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, proveniente de espinhas de peixes e outros recursos alimentares (SOUZA *et al.*, 2009). Barbosa *et al.* (2020), sugerem que os resíduos com altos níveis de Ca e P acumulados na TPI foram importantes em sua gênese. Entretanto, Sato *et al.* (2009), mostraram que a redução dos compostos de Ca-P no solo varia muito entre os diferentes ecossistemas e climas.

Figura 2: Fracionamento das formas de P-Ca, P-Al, P-Fe e P-FL em TPI.



A literatura também reporta que a diferença observada nos teores de P pode estar relacionada ao uso agrícola e intemperismo decorrente da lixiviação ocasionada pelas fortes chuvas na região amazônica ou mesmo a alta quantidade de matéria orgânica presente em TPI (MOREIRA, 2007). Essas duas variáveis aumentam a mobilidade de P disponível entre as camadas do solo. O P disponível não é imobilizado pela caulinita que é o principal mineral responsável pela adsorção desse elemento em TPI (LIMA *et al.*, 2002).

Observa-se claramente que as frações de P nos sítios de TPI apresentam uma relação inversa entre P-Fe, P-Al e P-Ca. O aumento do teor das frações de P-Fe e P-Al é acompanhado por uma redução no teor de P-Ca. Para Souza *et al.*, (2009) uma explicação plausível para esse fenômeno é o próprio processo de intemperismo associado à lixiviação do P; ou seja, uma quantidade razoável de hidroxiapatita disponibiliza fosfatos na solução do solo, desencadeando as reações de formação de compostos mais estáveis como é o caso do P-Fe e P-Al. Para Sato *et al.* (2009), o P liberado do Ca-P foi efetivamente

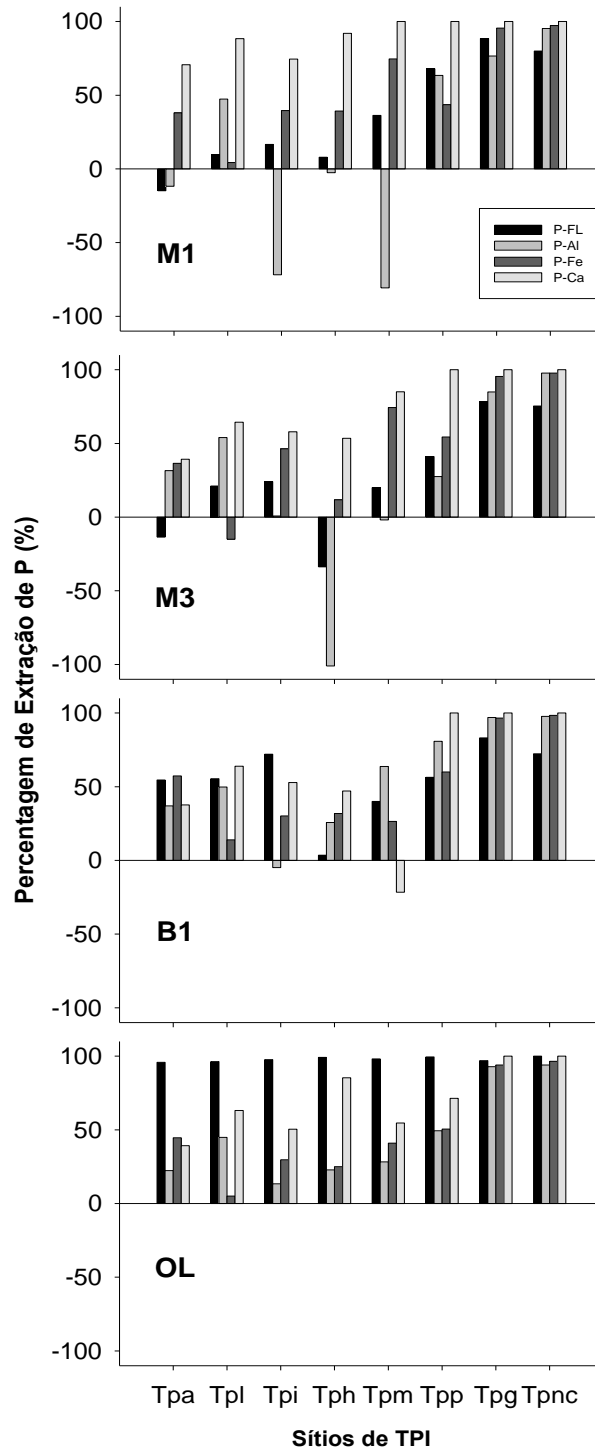
adsorvido os oxihidróxidos de Fe e Al, transformados em forma orgânica, e / ou convertido em fração ocluída.

3.2 INFLUÊNCIA DOS EXTRATORES M1, M3, B1 E OL SOBRE O FRACIONAMENTO DE P

O fracionamento após o uso dos quatro extratores apresentou comportamento diferenciados em função do local amostrado (Figura 3). O valor de 0% pode ser considerado como aquele cuja capacidade de extração dos extratores M1, M3, B1 e OL não foram efetivas para modificar a concentração das forma P-Ca, P-Al, P-Fe e P-FL. Baseado nessa consideração os gráficos apresentados na Figura 3 mostram que nos sítios Tpg e Tpsc, as formas de P relacionadas ao fracionamento, foram afetadas de maneira similar pelos quatro extratores. Nos outros sítios, todas as formas extraídas apresentaram comportamento diferenciado conforme o extrator utilizado. Para a fração do P-FL, pode ser verificado que o OL extraiu aproximadamente 100% dessa forma, ou seja, esse extrator pode ter preferência na retirada do P adsorvido do solo.

O mesmo não pode ser afirmado para os outros sítios de TPI estudados. Nota-se que os quatro extratores modificaram as concentrações das formas de P estudadas, tendo valores de percentagens positivas e negativas. As elevadas percentagens positivas das formas de P-Ca com o uso de M1, mostra que esse extrator extrai preferencialmente essa forma de P em TPI. Um comportamento similar também foi verificado no tratamento do fracionamento com M3 e B1. As percentagens negativas ocorreram principalmente para as frações P-FL, P-Al e P-Fe. Uma explicação viável é a solubilização de formas de P não dissolvidas pelo fracionamento no primeiro momento. O uso dos extratores, M1, M3 e B1, desencadearam um mecanismo de solubilização da hidroxiapatita biogênica, seguido de formação das formas de P-FL, P-Al e P-Fe. Esse resultado sugere que a aplicação dos três métodos de extração de P facilitam a disponibilidade de formas de P insolúveis ao fracionamento utilizado.

Figura 1: Extração P-Ca, P-Al, P-Fe e P-FL após o uso dos extratores M1, M3, B1 e OL.



3.3 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

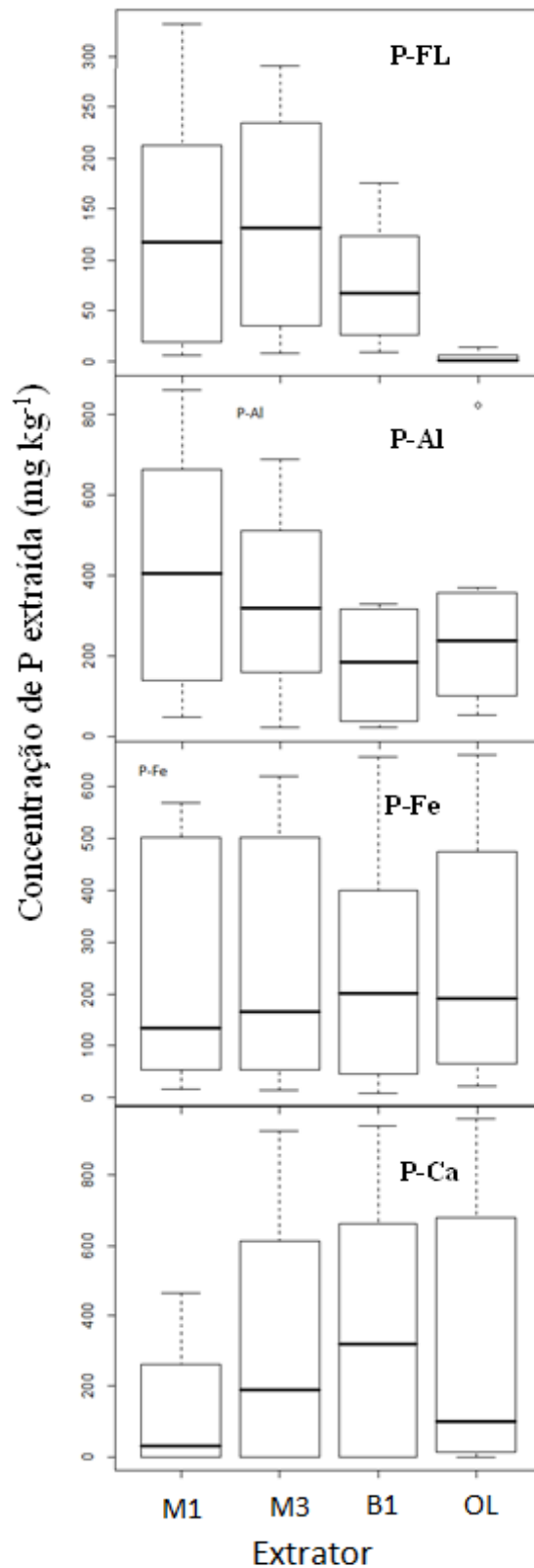
Os resultados dos fracionamentos após o tratamento com os quatro extratores foram usados para construir os *boxplot* que são mostrados na Figura 3. Em todas as caixas de *boxplot* pode ser observada que há uma diferença entre o 1º Quartil e o 2º Quartil; ou seja, o comportamento dos dois quartis demonstra que os resultados possuem uma

distribuição normal assimétrica. Outro dado interessante é a ausência de *outlines*, o que indica que praticamente não houve alterações significativas nos valores observados. Esse resultado não descarta a presença de outras formas de P sendo dissolvida e ou formada durante o processo de extração e fracionamento dos solos de TPI. Nota-se que o whiskes inferiores e superiores revelam que em todas as extrações existe alta dispersão das concentrações fracionadas.

Em termos de mediana, as frações apresentam concentrações de acordo com o método de extração aplicado. No caso da fração P-FL, as medianas caracterizam-se pela proximidade entre M1 e M3, tendo como menor mediana o OL e B1 intermediária. Esse comportamento significa que os extratores M1 e M3 disponibilizam concentrações de P-FL similares; ou seja, o processo de extração causou praticamente o mesmo efeito. Para a fração P-Al, a mediana mostra uma semelhança para B1 e OL e diferença entre M1 e M3. A semelhança entre B1 e OL corrobora com o que é reportado na literatura, que é a preferência de ambos os métodos pela fração P-Al (BARBOSA FILHO; KINJO; MURAOKA, 1987). A fração P-Fe apresentou medianas similares para todos os extratores, revelando que os extratores influenciaram o fracionamento de forma semelhante.

Entre todas as frações a forma P-Ca foi a que apresentou semelhanças para M1 e OL. Esse comportamento condiz com a existência da principal fonte de P nas TPI. Em princípio, a mediana menor mostra que o M1 retirou o P-Ca até ficar com concentração próxima do OL. Deve-se salientar que o OL não tem preferência pela forma P-Ca e sim P-Al e P-Fe. Uma explicação para a observação é a redução considerável do P-Ca pelo M1.

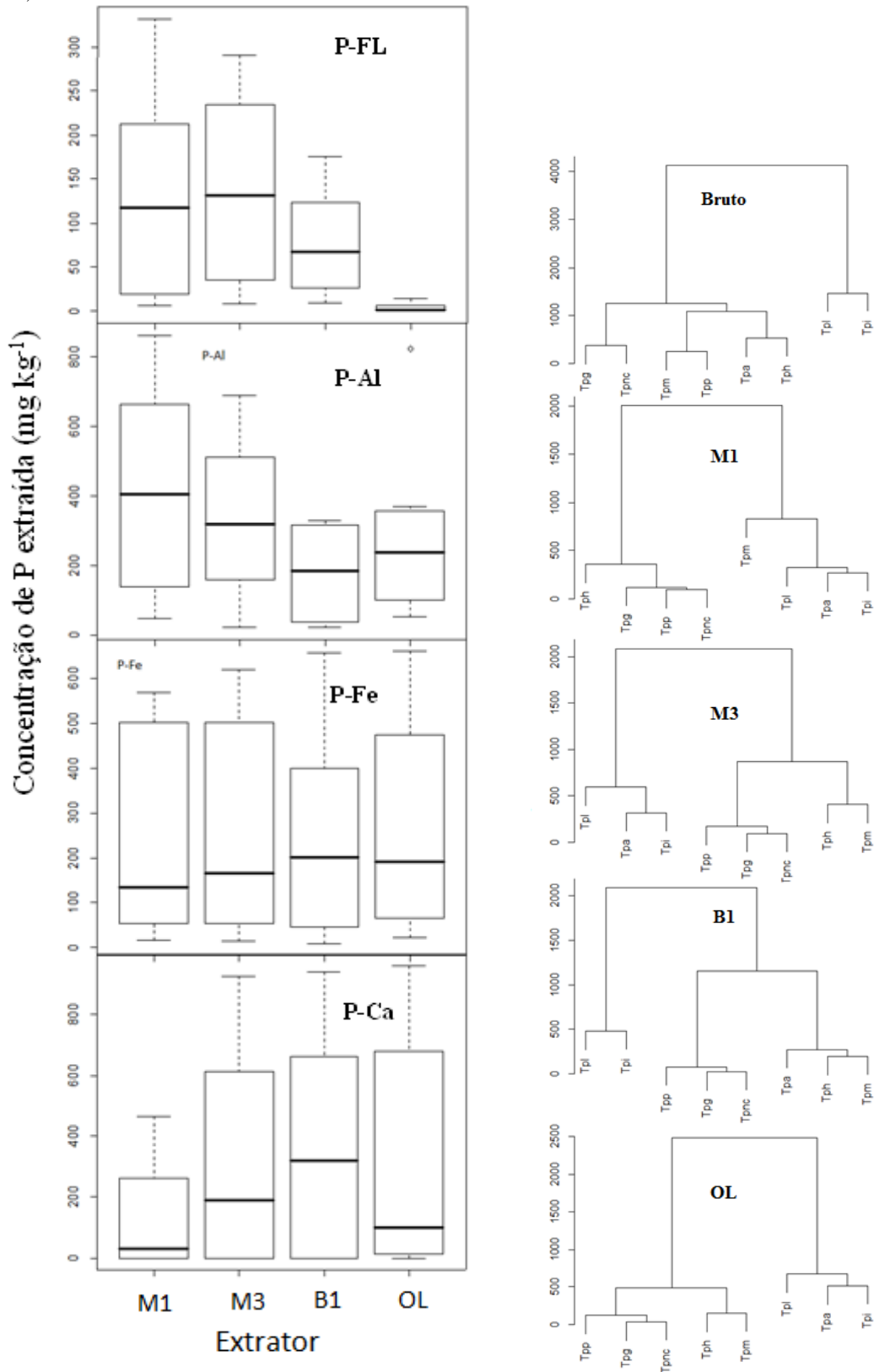
Figura 3: Distribuição dos teores de P-Ca, P-Al, P-Fe e P-FL segundo o uso dos extratores M1, M3, B1 e OL.



Os valores de medianas encontrados condiz com os dendogramas usados para agrupar hierarquicamente por HCA os sítios de TPI estudados Figura 4. Os dendogramas

relacionados ao fracionamento sem e com os quatros extratores agrupam os sítios de TPI em dois grupos, subdividos em subgrupos. É possível notar o mesmo HCA no fracionamento de P após o uso do M3 e OL. Pode ser verificado também um aumento da formação de subgrupos, na classificação hierárquica, com a utilização dos extratores, com exceção do M3 em um dos subgrupos. As mudanças obtidas com formações de subgrupos diferentes podem ser explicadas pela própria característica dos extratores usados. Além disso, os sítios de TPI tratam de Antrossolos, cuja pedogênese é bastante heterogênea ocasionando uma grande variabilidade das formas de P do solo.

Figura 4: Grupamento hierárquico das formas de P-Ca, P-Al, P-Fe e P-FL antes e depois do uso do M1, M3, B1 e OL.



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o fracionamento das formas de P inorgânicas foi possível verificar uma grande variabilidade dos teores do P-FL, P-Al, P-Fe e P-Ca em TPI. A variabilidade dos teores do P inorgânico no solo, sugere uma influência significativa no comportamento de extração do P com M1, M3, B1 e OL. O uso dos extratores em consórcio com o fracionamento, mostram que o M1, M3, B1 e OL retiram quantidades variadas das formas do P-FL, P-Al, P-Fe e P-Ca. No caso do M1, a preferência da extração foi do P-Ca. Por outro lado, o M3 e B1 liberaram formas de P não previstas pelo fracionamento. O OL mostrou capacidade de extrair preferencialmente o P-FL.

As concentrações de P variadas, do fracionamento com o uso dos extratores, verificadas nas caixas de boxplot mostraram que os resultados seguem a distribuição normal, praticamente sem outliers. Muito embora, o HCA indicou que houve mudanças nos agrupamentos hierárquicos em termos de sítios de TPI.

Esses resultados é uma pequena contribuição do estudo de extratores químicos, que pode servir de base para novos estudos sobre entendimento da dinâmica das formas de P presentes em TPI

REFERÊNCIAS

BARBOSA, J. Z. *Elemental signatures of an Amazonian Dark Earth as result of its formation process*. Geoderma, v. 361, p. 1-11, 2020

BARBOSA FILHO, M. P.; KINJO, T.; MURAOKA, T. *Relações entre fósforo “extraível”, frações inorgânicas de fósforo e crescimento do arroz em função de fontes de fósforo, calagem e tempo de incubação*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 11, p. 147–155, 1987.

BRAY, R. H.; KURTZ, L. T. *Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils*. Soil Science, v. 59, n. 1, p. 39–46, 1945.

CAMPOS, M. C. C. *et al.* Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira. Bragantina, v. 70, n. 3, p. 598–609, 2011.

CHANG, S. C.; JACKSON, M. L. *Fractionation of soil phosphorus*. Soil Science, v. 84, n. 2, p. 133–144, 1957.

COSTA, A. R. *et al.* Forms of soil organic phosphorus at black earth sites in the Eastern Amazon. Revista Ciência Agronômica, v. 48, n. 1, p. 1-12, jan-mar, 2017.

COSTA, M. L.; KERN, D. C. *Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon, Brazil*. Journal of Geochemical Exploration, v. 66, p. 369–385, 1999.

CUNHA, T. J. F. *Ácidos Húmicos de Solos Escuros da Amazônia (Terra Preta de Índio)*. 2005, 138p. Tese, Doutorado em Ciência e Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.

EDEN, M. J. *et al.* Terra Preta Soils and Their Archaeological Context in the Caqueta Basin of Southeast Colombia. American Antiquity, v. 49, n. 1, p. 125–140, 1984.

EMBRAPA. *Manual de análise do solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solo; 1999.

FALCÃO, N. P. S.; BORGES, L. F. *Efeito da fertilidade de terra preta de índio da Amazônia Central no estado nutricional e na produtividade do mamão hawaí (Carica papaya L.) production of papaya (Carica papaya L.) in Central Amazonia*. Acta Amazonica, v. 36, n. 4, p. 401–406, 2006.

GERMAN, L. A. *Historical contingencies in the coevolution of environment and livelihood: Contributions to the debate on Amazonian Black Earth*. Geoderma, v. 111, n. 3-4, p. 307–331, 2003.

GLASER, B. *et al.* Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. Organic Geochemistry, v. 31, n. 7-8, p. 669–678, 2000.

KAMPRATH, E. J.; WATSON, M. E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. *In: THE ROLE OF PHOSPHORUS IN AGRICULTURE*.

Alabama: Madison: 1980. p. 433–469.

KERN, D. C.; KÄMPF, N. *O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na Região de Oriximiná-PA*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 13, p. 219–225, 1989.

LIMA, H. N. *et al.* Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of Western Amazonia. Geoderma, v. 110, n. 1-2, p. 1–17, 2002.

LIMA, H. N. *et al.* Dinâmica da mobilização de elementos em solos da Amazônia submetidos à inundação. Acta Amazonica, v. 35, n. 3, p. 317–330, 2005.

MACEDO, R. S. *Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos com horizonte antrópico (terra preta de índio) em áreas de várzea do Rio Solimões, Am.* 2009, 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) – Universidade Federal do Amazonas; Manaus, 2009.

MEHLICH, A. *Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄ by North Carolina soil testing laboratoris*. Raleigh: University of North Carolina, 1953.

MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: *A modification of Mehlich 2 extractant*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 15, n. 12, p. 1409–1416, 1984.

MOREIRA, A. *Fertilidade, matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos da amazônia ocidental*. Bragantia, v. 66, n. 2, p. 307–315, 2007.

MOREIRA, A.; TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C. *Extratores e Disponibilidade de Micronutrientes em Terra Preta de Índio da Amazônia Central*. Revista Ciencia del Suelo, v. 27, n. 1, p. 127–134, 2009.

NEGREIROS, R. S. *et al.* Caracterização mineralógica de terra preta das Comunidades do Marajó e Gregostone, em Parintins, Amazonas, Brasil. Revista Brazilian Applied Science Review, Curitiba, v. 4, n. 5, p.2882-2894 set./out. 2020.

NEVES JUNIOR, A. F. *Qualidade física de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central*. 2008. 93 f. Tese (Doutorado em Agronomia) — Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

OLSEN, S. R. *et al.* *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. (USDA, Org.). Washington., 1954.

REBELLATO, L. *Interpretando a Variabilidade Cerâmica e as Assinaturas Químicas e Físicas do Solo no Sítio Arqueológico Hatahara - AM*. 2007. 197 f. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

RUIVO, M. D. L.; CUNHA, E. D. S.; KERN, D. C. Organic matter in archaeological black earths and yellow latosol in the Caxiuanã, Amazonia, Brazil. *In: EXPLORATIONS IN AMAZONIAN DARK EARTHS*. 2004. p. 95–111. Cap VII.

SANTOS, L. A. C. DOS *et al.* Caracterização de Terras Pretas Arqueológicas no Sul do

Estado do Amazonas. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 37, n. 6, p. 825–836, 2013.

SATO, S. *Biogenic calcium phosphate transformation in soils over millennial time scales*. *J Soils Sediments*, v. 9, p. 194-205, 2009.

SILVA, A. K. T. *et al.* Mineralogia e geoquímica de perfis de solo com Terra Preta Arqueológica de Bom Jesus do Tocantins, sudeste da Amazônia. *Acta Amazonica*, v. 42, n. 4, p. 477–490, 2012.

SILVA, F. W. R. *et al.* Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (terras pretas de índio) na amazônia central. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 35, n. 3, p. 673–681, 2011.

SILVA, L. S. *Phosphorus availability in sites archeological black earth in Oriximiná, Brazil*. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.1, p.23-30, 2021.

SMITH, N. J. H. *Anthrosols and Human Carrying Capacity in Amazonia*. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 70, n. 4, p. 553–566, 1980.

SOARES, R. *Agregação e Distribuição da Matéria Orgânica em Solos de Terra Preta de Índio da Amazônia Central*. 2007. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) — Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007.

SOUZA, K. W. DE *et al.* Phosphorous Forms in Cultivated Indian Black Earth (Anthrosols) of Varying Texture in the Brazilian Amazon. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 33, n. 1, p. 1347–1355, 2009.

SPARKS, D. L. *Methods of soil analysis: Chemical Methods*. Madison: ASA and SSSA., 1996.