



Uma abordagem sobre fósforo em Terra Preta Arqueológica

Erasmus Sergio Ferreira Pessoa Junior¹, Genilson Pereira Santana²

Submetido 09/11/2016 – Aceito 12/11/2016 – Publicado on-line 12/11/2016

RESUMO

A Terra Preta Arqueológica (TPA) é um Antrossolo altamente fértil, cujo entendimento de sua matriz, permite aprender sobre a cultura de civilizações antigas da Amazônia. Esse Antrossolo pode ser uma alternativa para agricultura de subsistência dos povos tradicionais, que habitam as planícies de toda a Amazônia Central. A TPA é conhecida por ter altas concentrações de fósforo e cálcio, dois importantes nutrientes do solo. Comumente, a literatura tem relatado vários dados sobre a concentração de fósforo em fragmentos cerâmicos arqueológicos e TPA. Os resultados relatados mostram diferentes temas, tais como a fertilidade, a concentração de fósforo em fragmentos cerâmicos, e outros. Nesta revisão, foi compilado uma lista de vários dados da literatura, destacando e discutindo o fósforo em TPA. A metodologia utilizada consistiu em pesquisar nas bases de dados Google Scholar, Scielo e Periódicos Capes, trabalhos sobre o fósforo em TPA. Os dados de fósforo em TPA foram a base para explicar as seguintes questões: i) sugerindo adsorção de fósforo em cerâmica arqueológica por cozimento dos alimentos; e ii) estimar a fertilidade usando os extratores Mehlich-1, Mehlich-3, resina de troca aniônica, citrato e Bray-1.

Palavras-Chave: Fragmentos cerâmicos arqueológicos; Mehlich; Fósforo biogênico; Amazônia.

One approach to phosphorus in Archaeological Black Earth. The Archaeological Black Earth (ABE) is a highly fertile Anthrosol whose understanding permits to learn from the culture of ancient Amazonian civilization. Today ABE is the basis of the subsistence farming traditional peoples that inhabited the plains and lowlands in throughout central Amazonia. ABE has been knowledge by high concentrations of phosphorus and calcium, two important nutrient of soils. Commonly, the literature has reported several data about the phosphorus concentration into archaeological fragment ceramics and ABE. The results reported to show different subjects, such as fertility, phosphorus concentration into fragment ceramics, and other. In this review, an extensive list of various data compiled from literature has presented along with highlighting and discussing for phosphorus in ABE. The method consisted of survey in the databases Google Scholar, Scielo and Periódicos Capes, data reported about phosphorus into ABE. The phosphorus data in ABE were the basis the following issues: i) suggesting phosphorus adsorption into archaeological ceramic by food cooking; and ii) estimating the fertility using the extractants Mehlich-1, Mehlich-3, anionic exchangeable resin, citrate and Bray-1.

Key-word: Archaeological fragment ceramics; Mehlich; Biogenic phosphorus; Amazon.

¹ Universidade do Estado do Amazonas, Centro de estudos Superiores de Tefé, Tefé, Amazonas, Brasil

² Professor Titular do Departamento de Química, do Instituto de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Amazonas, Av. Gal. Rodrigo Octávio, 3.000, Coroado II. Manaus, AM - Brasil. Email: gsantana2005@gmail.com



1. INTRODUÇÃO

A maioria dos solos Amazônicos possuem baixa fertilidade. Entretanto, na região amazônica existem várias manchas de Antrossolo com elevada fertilidade, denominadas regionalmente de TPA (SCHAEFER *et al.*, 2004; SCHMIDT *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2012; PESSOA JUNIOR *et al.*, 2012). As TPA geralmente são encontradas em Terra Firme ao longo das margens dos rios Amazônicos (LIMA *et al.*, 2002), contendo fragmento arqueológicos cerâmicos (MENEZES *et al.*, 2013; SOUZA E SANTANA, 2014). A sua gênese é associada ao descarte de resto de alimentos (como, espinhas de peixes, animais silvestres, etc.) e ossos humanos, no entorno das antigas aldeias indígenas (GLASER e BIRK, 2012; SMITH, 1980).

Essa afirmação tem como base a existência de altas quantidades de carbono principalmente no horizonte antrópico do solo (GLASER *et al.*, 2001; MAJOR *et al.*, 2005). Cerca de 90% do carbono presente em TPA está contido nas frações silte e argila (GLASER *et al.*, 2000), conferindo a esse solo níveis de carbono três vezes maior que outros solos da Amazônia (GLASER, 2007). Os ácidos húmicos são um dos componentes importantes na TPA, pois exerce o papel de manter a fertilidade desses solos (NOVOTNY *et al.*, 2007). Outra característica da TPA é a alta quantidade de nutrientes, principalmente o fósforo e cálcio (GERMAN, 2003). Em geral, o fósforo em TPA é aproximadamente 10 vezes maior que os outros solos Amazônicos, inclusive esse elemento é considerado um limitante para os ecossistemas da região (GERMAN, 2004). O fósforo varia consideravelmente no perfil da TPA (COSTA e KERN, 1999; FOSS, 2005), essa característica servem de base para explicar a presença de antigas civilizações indígenas da região Amazônica, nas várias estratificações do perfil antrópico (FOSS, 2005; SCHMIDT e HECKENBERGER, 2009).

A alta concentração de fósforo em TPA motiva estudos para estimar a sua exploração de forma racional. É possível estimar o fósforo pela digestão total (LEHMANN *et al.*, 2004; MOREIRA, 2007; MOREIRA *et al.*, 2009), com extratores químicos (SPARKS, 1996) ou

resina de troca aniônica (BRASIL e MURAOKA, 1997; HOLANDA *et al.*, 1995). Ainda não há um consenso acerca da melhor opção para estimar o fósforo na TPA. A explicação está no fato de que a simples determinação de um elemento no solo nem sempre indica a sua disponibilidade para plantas. Portanto, é importante verificar qual o método de extração de fósforo pode ser recomendado para um solo.

Comumente, a estimativa de fósforo em solo brasileiro é feita com o uso de extratores e mais recentemente com resina. Esse fato ocorre por causa da inexistência de uma recomendação que seja adequada às diversas classes de solos existente no Brasil. Por isso, é bastante comum encontrar o uso de diferentes extratores de fósforo cuja principal característica seja uma diferenciação nos resultados encontrados.

Particularmente para as TPA ainda não existe uma recomendação específica. Nesse sentido, a presente revisão tem como objetivo abordar e discutir os resultados referentes ao fósforo em TPA e assim contribuir para subsidiar os estudos sobre a fertilidade desse antrossolo que compõem a paisagem Amazônica.

2. METODOLOGIA

Neste trabalho foi feito um levantamento bibliográfico no período 1980 a 2016 sobre o uso dos extratores Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3), Bray-1 (B1) e Olsen (OL) para estimativa de fósforo no solo. O foco principal do levantamento bibliográfico foi buscar trabalhos que tratassem do uso dos quatro extratores como método de extração na determinação do fósforo. A busca foi feita nas bases Google Acadêmico, Scielo e Periódico CAPES, com as seguintes palavras-chave: fósforo; métodos de extração de fósforo; fósforo inorgânico; Mehlich; Bray; Olsen; Terra Preta; Terra Preta de Índio; Terra Preta Arqueológica; phosphorus; phosphate; extractable phosphorus; soil test phosphorus; phosphorus fractionation; Archaeological Black Earth; Archaeological Dark Earth; Indian Black Earth. Com essas palavras-chave foram encontrados 149 trabalhos, entre eles artigos, dissertações, teses, monografia, livros, capítulos de livros e resumos expandidos. Foram escolhidos 66 trabalhos, sendo que a

maior parte dos artigos selecionados reportavam sobre a pedogênese das TPA, caracterização da TPA e fragmentos cerâmicos e a avaliação da fertilidade do solo. Vale ressaltar que os trabalhos selecionados foram escritos em português e inglês.

3. FÓSFORO NA TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA

A questão do fósforo em sítios de TPA tem como principal desafio mostrar que sua origem é basicamente um produto da mineralização da matéria orgânica. Para explicar a presença de fósforo em TPA são utilizadas duas hipóteses. A primeira tem relação ao fósforo encontrado em fragmentos cerâmicos e a outra pela decomposição de $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ (hidroxiapatita). Isso ocorre devido ao fato de ser comum em cerâmicas antigas observar contaminações por fósforo durante a sua confecção (MARITAN e MAZZOLI, 2004). A outra forma da presença de fósforo em cerâmica antiga está relacionada ao seu uso doméstico. Teores de fósforo em fragmento cerâmicos podem ser atribuídos ao próprio cotidiano de civilizações antigas. Durante processo de cozimentos de alimentos o fósforo pode ser perfeitamente adsorvido por cargas superficiais comumente existente em

argilominerais ou mesmo por adsorções físicas (COSTA *et al.*, 2004a, 2011; RODRIGUES *et al.*, 2015; RODRIGUES e COSTA, 2016). Um dos argumentos que reforça a questão da origem alimentar do fósforo está em valores negativos de correlações lineares com Al_2O_3 (SILVA *et al.*, 2012).

Dependendo do sítio arqueológico é possível relatar diversos valores de fósforo na forma de P_2O_5 . Supõe-se que esse fósforo esteja associado ao alumínio no caso dos fragmentos cerâmicos (COSTA *et al.*, 2011). Outra hipótese da fixação do P_2O_5 é sua adsorção por óxidos de ferro, como o Fe_2O_3 . Esperar-se-ia que o fósforo estivesse associado ao cálcio, mas em cerâmicas antigas isso não acontece devido à falta de cristalinização (COSTA *et al.*, 2004b), entretanto na matriz cerâmica é recorrente encontrar agregados de fósforo e cálcio.

A Tabela 1 mostra os valores de fósforo total de TPA distribuídos nos Estados do Amazonas e Pará. O valor médio da literatura foi de 3321,00 mg kg^{-1} de fósforo total. As quantidades também variam com valores mínimos e máximos de 68,60 mg kg^{-1} (Sítio do Rio Urubú, Município do Rio Preto da Eva) e 13870,0 mg kg^{-1} (sítio Hatahara, Município de Iranduba) respectivamente, apresentando um coeficiente de variação de 128,9%.

Tabela 1 - Valores das concentrações de fósforo total em TPA da literatura

Município	Sítio	Fósforo total (mg kg^{-1})			Referência
		Min.	Max.	\bar{x}	
*Rio Preto da Eva	Jiquitaia	1800,50	2043,00	1921,80 (n=2)	Souza <i>et al.</i> (2009)
*Manacapuru	Laranjal	1001,10	3005,10	2003,10 (n=2)	
*Iranduba	Hatahara	3070,00	13870,00	8580,00 (n=3)	Lima <i>et al.</i> (2002)
**Melgaço	Manduquinha	943,00	8877,00	3000,80 (n=4)	Costa e Kern, (1999)
**Água azul do Norte e Orilândia do Norte	Onça Puma 3	1518,00	2147,00	1869,80 (n=4)	Garcia <i>et al.</i> (2015)

*Amazonas; **Pará; \bar{x} = Média aritmética; n = Número de análises.

A variabilidade dos teores de fósforo é atribuída a intensidade de incorporação de detritos, feita pelos povos antigos da região Amazônica (RODRIGUES *et al.*, 2015; ROOSEVELT, 2013; SANTOS *et al.*, 2013). O fósforo tem sido associado a microfragmentos de ossos de animais e humanos bem como espinhas de peixes (FOSS, 2005; LIMA *et al.*, 2002; SCHAEFER *et al.*, 2004; SOUZA *et al.*,

2009). Todavia resultados de análises físicas como a difração de raios X, devido ao tamanho de partículas, não mostram o fósforo ligado ao cálcio (COSTA *et al.*, 2004b; SCHAEFER *et al.*, 2004). Por outro lado, o tratamento químico seletivo sugere a existência dessa associação (SOUZA *et al.*, 2009). Não pode ser descartado que o fósforo no solo esteja com baixa cristalinidade ou mesmo amorfo (LIMA *et al.*,



2002). Os autores ainda não encontraram a presença de fosfatos cristalino para provar a existência de hidroxiapatita na TPA e/ou nos seus fragmentos cerâmicos. Portanto, o fósforo presente em TPA se encontra na fração facilmente trocável, principalmente nos horizontes A₁ e A₂ (COSTA e KERN, 1999).

4. EXTRATORES DE FÓSFORO USADOS EM TPA

Em termos gerais não existem estudos específicos sobre o fósforo em TPA. A grande maioria dos dados obtidos, fazem parte dos resultados de caracterização de solos dos estados do Amazonas e Pará. A Tabela 2 mostra uma síntese dos resultados relativos ao fósforo em TPA, com o uso do M1. Dentre as estimativas de fósforo cerca de 76,6% foram obtidas com esse extrator. O conjunto de resultados obtidos com M1 mostra que a menor quantidade de fósforo obtida foi de 1,00 mg kg⁻¹, para o sítio de Roda de Fogo, Rio Preto da Eva, Amazonas (SOARES, 2007). O maior valor obtido foi em Anori, na quantidade de 2761,00 mg kg⁻¹ de fósforo em uma TPA da Comunidade Santo Antônio (MACEDO, 2009). Um valor médio de 284,90 mg kg⁻¹ de fósforo, foi obtido para 140 análises das TPA dos Estados do Amazonas e Pará. Os valores apresentados mostram que as TPA apresentam teores de fósforo acima da média de outras classes de solos ocorrentes da Amazônia (KÄMPF *et al.* 2003 e KÄMPF e KERN, 2005).

O restante das estimativas de fósforo em TPA foi feito com M3, B1, ácido cítrico e resina trocadora de íons. O B1 só foi utilizado em um estudo de TPA na Colômbia, apresentando um valor de 71,00 mg kg⁻¹ de fósforo no solo (EDEN *et al.*, 1984). A Solução de ácido cítrico foi utilizada por Macedo (2009), e nesse estudo foi mostrado que as TPA de várzea (Manacapuru e Anori) apresentaram a média da concentração de fósforo de 176,2 mg kg⁻¹. No caso da resina encontrou-se quantidades de fósforo de 6,09 a 432,00 mg kg⁻¹, com média de 151,20 mg kg⁻¹ (AQUINO *et al.*, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2013). O M3 utilizado na região de Iranduba, Amazonas, teve valores de 173,00 a 1991,00 mg kg⁻¹ (LIMA *et al.*, 2002). Esse extrator também foi usado para explicar a possibilidade da formação de camadas do perfil

antrópico em função da densidade populacional do homem pré-colombiana. Rebellato (2007), sugere que a alteração na concentração de fósforo se deve ao uso intenso de atividades domésticas ou cerimoniais.

Os resultados obtidos dos extratores de fósforo geram uma série de interpretações. De modo geral, pode-se dividir as interpretações em variabilidade e depleção da quantidade de fósforo. A variabilidade de fósforo de TPA pode ser consequências de vários fatores: i) a localização, haja vista que nos sítios localizados nas proximidades dos rios de água barrenta, são mais férteis quando comparados com os localizados às margens dos rios de águas escuras ou claras (LIMA *et al.*, 2002); ii) uso agrícola intensivo atual, às perdas por erosão superficial (os produtores não fazem nenhuma prática de manejo de conservação do solo) (MOREIRA, 2007); iii) abandono temporário do sítio, mudança do tamanho da população indígena, período de residência nas localidades e forma de subsistência (SJOBERG, 1976).

Mesmo se tratando de um solo com altos teores de fósforo total e disponível, as TPA podem ser passíveis a depleção deste nutriente nas camadas superiores devido à mobilidade de suas formas para camadas inferiores (SANCHEZ e LOGAN, 1992). Tal fato também foi observado por Kern (1996) e Costa (2002), nos horizontes A e B, evidenciando a transferência de fósforo das camadas superiores para as inferiores do solo.

5. DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que o fósforo presente nas TPA tem como principal origem a decomposição de compostos orgânicos de restos de alimentos e ossos. Sem ter a identificação cristalina das formas de fósforo é consensual que a hidroxiapatita é uma fonte potencial desse elemento. Essa afirmação tem como sustentação dados de micrografias e resultados de análises químicas da fração total e de extratos de TPA. É interessante afirmar que os objetivos dos estudos envolvendo o fósforo, sustentam o papel de civilizações antigas da Amazônia na pedogênese da TPA.

Nesta revisão ficou claro que o fósforo está presente nas TPA em altas quantidades, e com uma variabilidade muito grande, em um



mesmo sítio arqueológico ou mesmo em sítios diferentes. Uma questão ainda não esclarecida está no uso do método mais adequado para estimar o fósforo na TPA. A impressão dada ao realizar a busca dos métodos utilizados é que não existe uma certeza no processo de escolha. Tudo indica que os métodos que são utilizados estão baseados na praticidade da extração, economia de materiais e reagentes, ou mesmo na rotina do laboratório onde foi feita a determinação do fósforo disponível.

Nesse contexto ainda falta estudos mais apurados para estabelecer qual o melhor método. A fertilidade das TPA precisa ser avaliada com maior critério. Essa afirmação tem como base a própria complexidade do solo e sua relação com as plantas. Ao que parece o uso de resinas vem ganhando destaque na literatura, mas mesmo assim, não é garantia de ser adequado às TPA. Van Raij (1998) mostrou que a resina não é adequada para determinados solos.

Apesar de amplamente utilizado nas análises químicas de fósforo em TPA, o uso do M1 é perfeitamente questionável. Existe um consenso de que esse método não é recomendado para ser usado em solos ácidos e com alto teor de cálcio (PIERZYNSKI, 2000). A própria afirmação de que nas TPA, o fósforo tem como origem majoritária da hidroxiapatita e, portanto, rico em cálcio colocam os resultados obtidos por M1 em questionamento. Embora, exista uma literatura se baseando na correlação com o Zn, para justificar o uso do M1, mesmo assim as concentrações de fósforo disponível são super e/ou subestimadas pelo M1.

No que se refere a interpretação da fertilidade da TPA os resultados obtidos por M1 não são adequados para prever os seguintes aspectos relacionados ao fósforo: i) determinar um índice para estimar a fertilização do fósforo; ii) em termos econômicos qual a melhor resposta de dosagem de fósforo e iii) qual o tempo mínimo de exploração da TPA em termos de fósforo. Em princípio, a estimativa de fósforo em TPA por um extrator deve extrair o fósforo disponível ou uma quantidade proporcional a absorção das plantas cultivadas em solos com diferentes características químicas e mineralógicas. O teste de fósforo no solo deve ser rápido e preciso. Para isso, o

extrator deve detectar com precisão as diferenças nas concentrações de fósforo no solo, causadas pela adubação.

6. CONCLUSÕES

Nesta revisão ficou demonstrado que os fragmentos cerâmicos da TPA devem ser considerados como uma fonte importante de fósforo. Todavia, os trabalhos publicados até o momento não estimam a disponibilidade do fósforo nos fragmentos com o uso dos extratores químicos.

Em termos de avaliação de fósforo em TPA, o M1 é o extrator mais utilizado. As quantidades de fósforo estimadas por esse extrator variam consideravelmente no mesmo sítio ou em sítios diferentes. De modo geral, os trabalhos não correlacionam com outros métodos de extração.

Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. Os autores e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista *Scientia Amazonia* detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, R. E. de *et al.* Characteristics of color and iron oxides of clay fraction in Archeological Dark Earth in Apuí region, southern Amazonas. **Geoderma**, v. 262, p. 35–44, 2016.
- BARROS, K. R. M. *et al.* Fracionamento químico da matéria orgânica e caracterização física de Terra Preta de Índio. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 55, n. 1, p. 44–51, 2012.
- BRASIL, E. C.; MURAOKA, T. Extratores de fósforo em solos da Amazônia tratados com fertilizantes fosfatados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 1, p. 599–606, 1997.
- CAMPOS, M. C. C. *et al.* Caracterização e classificação de Terras Pretas Arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 598–609, 2011.



- CAMPOS, M. C. C. *et al.* Caracterização física e química de Terras Pretas Arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Agro@ambiente**, v. 6, n. 2, p. 102–9, 2012.
- CANNAVAN, F. **Diversidade das comunidades bacterianas em solo de Terra Preta Antropogênica da Amazônia Central e Ocidental**. 2007. 115p. Tese, Doutorado, Universidade de São Paulo, 2007.
- 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. 369–85, 1999.
- COSTA, J. A. **Caracterização e classificação dos solos e dos ambientes da Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará**. 2002. 62p. Dissertação, Mestrado, Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 2002.
- COSTA, M. L. da *et al.* The ceramic artifacts in Archaeological Black Earth (Terra Preta) from lower Amazon region, Brazil: Mineralogy. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 2, p. 165–78, 2004a.
- COSTA, M. L. da *et al.* The ceramic artifacts in Archaeological Black Earth (Terra Preta) from Lower Amazon Region, Brazil: chemistry and geochemical evolution. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 3, p. 375–86, 2004b.
- COSTA, M. L. da *et al.* Mineralogia e química de fragmentos cerâmicos arqueológicos em sítios com Terra Preta da Amazônia Colombiana. **Revista Escola de Minas**, v. 64, n. 1, p. 17–23, 2011.
- 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. 125–40, 1984.
- FALCÃO, N. P. de 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.*). **Acta Amazônica**, v. 36, n. 4, p. 401–6, 2006.
- FOSS, J. E. Amazonian Dark Earths. **Soil Sci.** v. 170, 222–3, 2005.
- GARCIA, L.; COSTA, J. A.; KERN, D. C. Caracterização de solos com Terra Preta: estudo de caso em um sítio Tupi-guarani pré-colonial da Amazônia Oriental. **Revista de arqueologia**, v. 28, n. 1, p. 52–81, 2015.
- GERMAN, L. A. Ecological praxis and black water ecosystems: a case study from the Brazilian Amazon. **Human Ecology**, v. 32, n. 6, p. 653–83, 2004.
- 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. 307–31, 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. 669–78, 2000.
- GLASER, B. *et al.* The “Terra Preta” phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, v. 88, n. 1, p. 37–41, 2001.
- GLASER, B. Prehistorically modified soils of Central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century prehistorically modified soils of Central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 362, n. February, p. 187–96, 2007.
- GLASER, B.; BIRK, J. J. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (Terra Preta de Índio). **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 82, p. 39–51, abr. 2012.
- HOLANDA, J. S. *et al.* Eficiência de extratores de fósforo para um solo adubado com fosfatos e cultivado com arroz. **Scientia Agricola**, v. 52, n. 3, p. 561–568, 1995.
- KAMPF, N. *et al.* **Classification of Amazonian Dark Earths and other ancient anthropic soils**. Springer, 2003. p. 77–102. Cap. V.
- KÄMPF, N.; KERN, D. C. **O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia**. 2005. p. 277–320. Cap. IV.
- 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. 219–25, 1989.

KERN, D. C. **Geoquímica e pedogeoquímica de sítios arqueológicos com Terra Preta na floresta nacional de Caxiuanã (Portel-PA)**. 1996. 124p. Tese, Doutorado, Departamento de Geociência, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.

LEHMANN, J. *et al.* **Sequential P fractionation of relict Anthropogenic Dark Earths of Amazonia**. New York: Springer, 2004. p. 113–124. Cap VIII.

LEMOS, V. P. *et al.* Nutrients in Amazonian Black Earth from Caxiuanã Region. **j Braz Chem Soc**. v. 22, n. 4, p. 772–9, 2011.

LIMA, H. N. *et al.* Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of Western Amazonia. **Geoderma**. v. 110, 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. 317–30, 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, 77p. Dissertação, Metrado em Agronomia Tropical, Universidade Federal do Amazonas; Manaus, 2009.

MACEDO, R. S. **Pedogênese e indicadores pedoarqueológicos em Terra Preta de Índio no município de Iranduba - AM**. 2014, 184p. Tese, Doutorado em Ciência, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

MAJOR, J. *et al.* Weed dynamics on Amazonian Dark Earth and adjacent soils of Brazil. **Agric Ecosyst Environ**. v. 111, p. 1–12, 2005.

MARITAN L, MAZZOLI C. Phosphates in archaeological finds: Implications for environmental conditions of burial. **Archaeometry**. v. 46, p. 673–83, 2004.

MENEZES, J. A., SOUZA, W. B., SANTANA, G. P. Caracterização de óxidos de ferro presentes em fragmentos cerâmicos de Terra Preta de Índio. **Scientia Amazonia**, v 2., n. 3, 4-10, 2013.

MOREIRA, A. Fertilidade, matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos

da Amazônia ocidental. **Bragantia**. v. 66, 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. **Rev Cienc del Suelo**. v. 27, n. 1, p. 127–34, 2009.

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

NOVOTNY, E. H. *et al.* Studies of the compositions of humic acids from Amazonian Dark Earth soils. **Environ Sci Technol**. v. 41, p. 400–5, 2007.

OLIVEIRA, I. A, *et al.* Spacial variability and sampling density of chemical attributes in Archaeological Black Earth and native forest soil in Manicoré, AM. **Floresta**. v. 44, n. 4, 735–46, 2014.

OLIVEIRA, I. A, *et al.* Characterization of soils under different land uses in the Southern Region of the Amazonas. **Acta Amazonia**. v. 45, n. 1, p. 2–12, 2015.

PESSOA JUNIOR, E. S. F., SOUZA, W. B., SOUZA, K. S., PIO, M. C. S., SANTANA, G. P. Terra Preta de Índio na região Amazônica. **Scientia Amazonia**, v. 1, n 1. P. 1-8, 2012.

PIERZYNSKI, G.M. **Methods for phosphorus analysis for soils, sediments, residuals and waters**. Carolina do Norte: North Carolina State University, 2000. 102p (Bulletin n. 396).

REBELLATO, L. **Interpretando a variabilidade cerâmica e as assinaturas químicas e físicas do solo no sítio arqueológico Hatahara - AM**. 2007. 197p. Dissertação, Mestrado em Arqueologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

RODRIGUES, S. F. S. *et al.* Pre-historic production of ceramics in the Amazon: provenience, raw materials, and firing temperatures. **Appl Clay Sci**. v. 107, p. 145–55, 2015.

RODRIGUES, S. F. S.; COSTA, M. L. Phosphorus in archeological ceramics as evidence of the use of pots for cooking food. **Appl Clay Sci**. v. 123, p. 224-31, 2016.



- ROOSEVELT, A. C. The Amazon and the Anthropocene: 13,000 years of human influence in a tropical rainforest. **Anthropocene**. v. 4, p. 69–87, 2013.
- SANCHEZ, P. A.; LOGAN, T. J. **Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics**. SSSA Special Publication, Myths and Science of Soils of the Tropics. 1992. v. 29, p. 35–46.
- SANTOS, L. A. C. *et al.* Caracterização de Terras Pretas Arqueológicas no Sul do Estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37. n. 6, p. 825–36, 2013.
- SCHAEFER, C. E. G. R. *et al.* Micromorphology and electron microprobe analysis of phosphorus and potassium forms of an Indian Black Earth (IBE) Anthrosol from Western Amazonia. **Aust J Soil Res**. v. 42, n. 4, p. 401–9, 2004.
- SCHMIDT, M. J.; HECKENBERGER, M. J. Amerindian anthrosols: Amazonian Dark Earth Formation in the Upper Xingu. In: WOODS, W. I.; TEIXEIRA, W.; LEHMANN, J.; STEINER, C.; WINKLERPRINS, A. M. G. A.; REBELLATO, L. (Eds.). **Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's vision**. New York: Springer, 2009. p. 163-191.
- SCHMIDT, M. J. *et al.* Dark Earths and the human built landscape in Amazonia: a widespread pattern of anthrosol formation. **J Archaeol Sci**. v. 42, p. 152–65, february, 2014.
- 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 Amazonas**. v. 42, n. 4, p. 477–90, 2012.
- SJOBORG, A. Phosphate Analysis of Anthropogenic Soils. **J F Archaeol**. v. 3, n. 4, p. 447–54, 1976.
- SMITH, N. J. H. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 70, n. 4, p. 553–66, 1980.
- SOARES, R. **Agregação e distribuição da matéria orgânica em solos de Terra Preta de Índio da Amazônia Central**. 2007. 100p. Dissertação, Mestrado em Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007.
- SOUSA, A. G., SANTANA, G. P. Reconhecimento de padrão de cerâmica arqueológica da Amazônia, **Scientia Amazonia**, v3., n2., 111-115, 2014.
- SOUZA, K. W. *et al.* Phosphorous forms in cultivated Indian Black Earth (Anthrosols) of varying texture in the Brazilian Amazon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, n. 1, p. 1347–55, 2009.
- SOUZA, K. W. **Gênese, mineralogia, micromorfologia e formas de fósforo em Arqueo-Antropossolos da várzea do Rio Amazonas**. 2011. 247p. Tese, Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa; Viçosa, 2011.
- SPARKS, D. L. **Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods** Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, 1996.
- VAN RAIJ, B. Bioavailable tests: alternatives to standard soil extractions. **Commun Soil Sci Plant Anal**. v.29, n. 11-14, p. 1553–70, 1998.



Tabela 1 - Quantidades de fósforo disponível em solos de TPA com o uso do extrator Mehlich-1.

Município	Sítio	Fósforo disponível (mg kg ⁻¹)				Referências
		Min.	Max.	\bar{x}	Desvpad	
*Alto Solimões	NE	66,00	676,00	449,92 (n=3)	334,23	
*Anori	Santo Antônio	599,00	2761,00	1391,33 (n=3)	1191,03	
*Apuí	NE	23,00	227,00	115,33 (n=3)	103,35	
*Barreirinha	NE	-	-	264,40 (n=1)	-	
*Careiro da Várzea	São João Batista	64,10	118,30	98,17 (n=3)	29,67	
*Coari	Lauro Sodré; Tauãna; Aranaí	111,00	1678,00	649,54 (n=5)	619,36	
*Codajás	Matrinchã; Ena; Taracuá	11,50	1735,00	502,28 (n=4)	823,83	(CUNHA, 2005; FALCÃO; BORGES, 2006;
*Humaitá	NE	235,00	267,00	251,00 (n=2)	22,63	LIMA <i>et al.</i> , 2005; MACEDO, 2009, 2014;
*Iranduba	Hatahara; Açutuba; Caldeirão; Cavalcante	9,20	1365,00	355,20 (n=13)	417,15	MOREIRA, 2007; NEVES JUNIOR, 2008;
*Itacoatiara	Rio Amazonas; Lago de Terra Preta; Logo batista	144,08	522,20	273,02 (n=3)	215,81	SMITH, 1980; SOUZA <i>et al.</i> , 2009; SOUZA, 2011)
*Itapiranga	Lago de Maduba; Paraná de Silveis; Terra Nova	66,80	675,90	450,13 (n=3)	333,72	
*Manacapuru	Costa do Laranjal; Serra Baixa; Estrada Manacapuru-Cacau Pereira (km 4, 5 e 6); Costa do Marrecão; Costa do Paratarí; São Francisco; Paruá; Mangueira; Samaúma; Repartimento	1,14	1433,00	327,34 (n=19)	394,28	

NE = Nome do sítio ou local não especificado; Desvpad = Desvio padrão; \bar{x} = Média aritmética; n = Número de análises; * Amazonas.



Continuação da Tabela 2

Município	Sítio	Fósforo disponível (mg kg ⁻¹)				Referências
		Min.	Max.	\bar{x}	Desvpad	
*Manaus	Praia Dourada; Tapurucuara; Ponta das Lages; Estrada da Ponta Negra; Bairro Aleixo	2,27	164,20	74,26 (n=6)	75,31	(BARROS <i>et al.</i> , 2012; CAMPOS <i>et al.</i> , 2011, 2012; CANNAVAN, 2007; CUNHA, 2005; KERN e KÄMPF, 1989; LEMOS <i>et al.</i> , 2011; OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2014; SILVA <i>et al.</i> , 2012; SMITH, 1980; SOARES, 2007; SOUZA <i>et al.</i> , 2009)
*Manicoré	Comunidade de Santo Antônio; Comunidade de Santo Antônio do Matupiri	26,00	547,00	178,83 (n=6)	190,54	
*Novo Aripuanã	NE	337,00	130,00	15,00 (n=4)	133,29	
*Parintins	Caburí	-	-	939,60 (n=1)	-	
*Presidente Figueiredo	Balbina	15,00	17,00	16,00 (n=2)	1,41	
*Rio Preto da Eva	Roda de Fogo; Rio Urubú; Jiquitáia	1,00	361,00	141,83 (n=12)	126,88	
*Urucurituba	Itapeçu	-	-	292,40 (n=1)	-	
**Altamira-Itaituba	Transamazônica	2,14	63,96	28,22 (n=6)	27,89	
**Altamira-Marabá	Transamazônica	-	-	1,79 (n=1)	-	
**Bom Jesus do Tocantins	NE	3,00	20,00	9,00 (n=3)	9,54	
**Itaituba	Rio Tapajós	-	-	15,28 (n=1)	-	
**Itapuranga	Rio Tocantins	-	-	388,57 (n=1)	-	
**Melgaço	Mina I; Mina II; Manduquinha; Ilha da Terra	15,79	637,70	283,32 (n=29)	190,17	
**Mirituba	Rio Tapajós	-	-	73,79 (n=1)	-	
**Missão	Rio Xungu	-	-	209,57 (n=1)	-	
**Oriximinã	Cochoeira Porteira	-	-	321,00 (n=1)	-	

NE = Nome do sítio ou local não especificado; Desvpad = Desvio padrão; \bar{x} = Média aritmética; n = Número de análises. * Amazonas; ** Pará