



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LUMA CASTRO DE SOUZA

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE TERRA PRETA NOVA E DE TERRA PRETA DE  
ÍNDIO NO PARÁ

BELÉM-PA

2013



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LUMA CASTRO DE SOUZA

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE TERRA PRETA NOVA E DE TERRA PRETA DE  
ÍNDIO NO PARÁ

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Herdjanía Veras de Lima

BELÉM-PA

2013

*Dissertação  
631.42  
S 729*

---

Souza, Luma Castro de

Caracterização física de terra preta nova e de terra preta de índio no Pará / Luma Castro de Souza. - Belém, 2013.

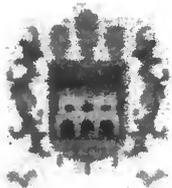
55 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2013.

1. Solo – Fertilidade 2. Solo – Resíduos orgânicos 3. Solo – Sítio Arqueológico 4. Solo – Curva de Retenção de Água 5. Solo – Física do Solo  
I. Título.

---

CDD – 631.422



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LUMA CASTRO DE SOUZA

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE TERRA PRETA NOVA E DE TERRA PRETA DE  
ÍNDIO NO PARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

*Merdjania Veras de Lima*

Prof. Dra. Merdjania Veras de Lima – Orientadora  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

*Dirse Clara Kern*

Prof. Dra. Dirse Clara Kern  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI - MPEG  
1º Examinador

*Cristine Bastos do Amarante*

Prof. Dra. Cristine Bastos do Amarante  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI - MPEG  
2º Examinador

*Elaine Maria S. Guedes*

Prof. Dra. Elaine Maria Silva Guedes  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
3º Examinador

Dedico e ofereço esta tese,

Primeiramente á Deus, á minha família, amigos, colegas de trabalho e orientadora pelo apoio e força. Sem eles nada disso seria possível.

## AGRADECIMENTOS

Á Deus e a Nossa Senhora de Nazaré por me amparar nos momentos de dificuldade, me dar força interior para superar as fases difíceis e mostrar o caminho nas horas de desânimo.

Á minha Mãe Maria de Nazaré e ao meu Pai Antônio Juarez pela dedicação, educação, amor, incentivo e apoio incondicional em todas as minhas escolhas, especialmente em relação aos meus estudos. A minha irmã (Leane), irmão (Leandro) pela força e confiança de que tudo iria dar certo. Ao meu namorado (Antônio Alexandrino) que sempre vem me apoiando desde o ensino médio, e que nunca mediu esforço para me ajudar no que fosse necessário para minha formação. Amo vocês. Muito Obrigada!

Ao CNPq, pelo auxílio e apoio concedido, que foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

A Professora Dr<sup>a</sup>. Herdjanía Veras de Lima, orientadora da dissertação, agradeço o apoio, a partilha do saber e as contribuições para realização do trabalho. Obrigada por estimular o meu interesse pelo conhecimento e pela vida acadêmica.

Agradeço ao professor Dr. Alvaro Pires da Silva por ter proporcionado a realização das análises no Laboratório de Física da ESALQ/USP. Muito obrigada!

Ao Prof. Dr. Jorge Luiz Piccinin, muito obrigada pela ajuda e contribuições. Por me receber de portas abertas quando surgiam algumas dúvidas a respeito do experimento.

A todos os professores do curso de graduação, especialmente ao professor Ítalo Alberio e Cândido Ferreira, e aos docentes da pós-graduação da Universidade Federal Rural da Amazônia que contribuíram para minha formação.

Aos amigos Francisca e Fábio Júnior que me acolheram por um mês na casa deles, no momento que mais precisei durante a minha vida acadêmica em Belém. Muito Obrigada!

Às minhas amigas desde a época da graduação, Amanda, Dávia, Tatilene, Michele e Marta, por só quererem o meu bem e me valorizar tanto como pessoa. Muito obrigada pela amizade!

Aos meus amigos do mestrado, pelos momentos divididos juntos, especialmente ao Jhonny Lúcio, Nilvan Carvalho e a Yngrid Rodrigues que se tornaram verdadeiros amigos e que aos poucos nos tornamos mais que amigos, quase irmãos... A Kilma, Katiane, ao Michel e Daniel pelo apoio e pela amizade. Obrigada por dividir comigo as aflições e alegrias e ouvirem minhas bobagens. Foi bom poder contar com o apoio de vocês!

Aos alunos de Graduação Ronielton e Clark pela amizade e pela ajuda em algumas análises, muito Obrigada!

À funcionária da Pós-graduação Gracy Monteiro, pela disponibilidade, simpatia e gentileza. Obrigada pela ajuda!

Finalmente, gostaria de agradecer à Universidade Federal Rural da Amazônia por abrir as portas para que eu pudesse realizar o curso de Graduação e o Mestrado, proporcionando-me a busca de conhecimento técnico e científico.

Agradeço a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a concretização desta dissertação, estimulando-me a buscar o conhecimento.

Obrigada!

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo localizada no município de Tailândia/PA.	21
Figura 2 - Esquema de amostragem de solo no experimento Terra Preta Nova no município de Tailândia/PA.	22
Figura 3 - Experimento Terra Preta Nova no início da implantação no município de Tailândia/PA.	23
Figura 4 – Foto ilustrativa do trado para coleta de amostras indeformadas.	24
Figura 5 – Foto ilustrativa das áreas de amostragem dos tratamentos do experimento Terra Preta Nova.	24
Figura 6 - Valores médios de densidade do solo e porosidade total na Terra Preta Nova.	28
Figura 7 - Valores médios de microporosidade e macroporosidade na Terra Preta Nova.	29
Figura 8 - Valores médios dos teores de água disponível (AD) no experimento Terra Preta Nova.	30
Figura 9 – Curvas de retenção de água no solo para o experimento Terra Preta Nova.	31
Figura 10 – Mapa de localização indicando a maior ilha de terra onde está situado o sítio Jabuti.	40
Figura 11 - Esquema de amostragem do solo na Terra Preta de Índio e na área adjacente no sítio Jabuti em Bragança/PA.	41
Figura 12 - Valores médios de densidade do solo (A) e porosidade total (B) na Terra Preta de Índio.	46
Figura 13 - Valores médios de microporosidade (A) e macroporosidade (B) no sítio de Terra Preta de Índio (Jabuti).	47
Figura 14 - Valores médios dos teores de água disponível (AD), no sítio de Terra Preta de Índio (Jabuti).	48
Figura 15 – Curvas de retenção de água no solo para o sítio de Terra Preta do Índio (Jabuti).	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de tratamentos testados no experimento da Terra Preta Nova em Tailândia/PA.....	22
Tabela 2 – Quantidades de resíduos orgânicos adicionados no solo em 2003 e 2010. ....	23
Tabela 3 - Resultado da Fertilidade do solo no experimento Terra Preta Nova.....	27
Tabela 4 – Valores médios da análise granulométrica na área de Terra Preta Nova.....	27
Tabela 5 - Coeficientes de ajuste da curva de retenção de água do solo no experimento Terra Preta Nova. ....	32
Tabela 6 - Resultado da fertilidade do solo no sítio de Terra Preta de Índio na superfície do solo.....	44
Tabela 7 – Valores médios da análise granulométrica na área do sítio de Terra Preta de Índio na superfície do solo. ....	45
Tabela 8 - Coeficientes de ajuste da curva de retenção de água do solo no sítio de Terra Preta de Índio (Jabutí). ....	49

## SUMÁRIO

1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	13
1.2 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	15
2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA TERRA PRETA NOVA NO NORDESTE PARAENSE .....	17
2.1 INTRODUÇÃO .....	19
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS .....	20
2.2.3 Metodologia de Campo .....	23
2.2.4 Análises físicas.....	25
2.2.5 Análises químicas.....	26
2.3 CONCLUSÕES .....	32
2.4 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	32
3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE TERRA PRETA DE ÍNDIO EM GLEISSOLO NO PARÁ .....	36
3.1 INTRODUÇÃO .....	38
3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	39
3.2.1 Terra Preta de Índio (TPI).....	39
3.2.2 Metodologia de Campo .....	41
3.2.3 Metodologia de laboratório.....	42
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
3.4 CONCLUSSÃO .....	50
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50

## RESUMO

A maioria dos solos amazônicos apresentam acidez elevada, baixa fertilidade e baixa capacidade de troca de cátions. Todavia, é possível encontrar em toda a Amazônia manchas de solos conhecidas como as Terras Pretas de Índio. Essas apresentam como características marcantes a elevada fertilidade natural, cor escura no horizonte antropogênico (Au). O objetivo desta pesquisa foi caracterizar o solo de Terra Preta Nova e Terra Preta de Índio por meio das propriedades físicas. Estudos coordenados pela pesquisadora Dirse Clara Kern do Museu Paraense Emílio Goeldi estão em andamento no nordeste do Pará, com a utilização de resíduos orgânicos incorporados ao solo. A pesquisa foi desenvolvida no município de Tailândia e Bragança, ambos no Nordeste Paraense. O solo do experimento Terra Preta Nova foi classificado como Argissolo, de textura areia franca. Enquanto o solo da TPI foi classificado como Gleissolo, de textura franco-arenosa. Foram utilizados cinco tratamentos do experimento TPN, sendo estes compostos por resíduos de osso, carvão, pó de serragem e resíduo de lâmina triturada. As coletas na TPI foram realizadas em três áreas do Sítio Arqueológico durante o trabalho de escavação arqueológica, essas foram chamadas de E1S1 - área de escavação 1 e setor 1 (Perfil 1), E1S2 - área de escavação 1 e setor 2 (Perfil 2) e área adjacente (Perfil 3). As amostras deformadas e indeformadas foram coletadas na faixa de 0,05-0,10m de profundidade. Em relação aos valores de densidade do solo ( $D_s$ ) o tratamento com carvão obteve o menor valor ( $1,61 \text{ g cm}^{-3}$ ) em relação aos demais tratamentos. Os valores de  $D_s$  foram menores no ponto E1S2 ( $1,28 \text{ g cm}^{-3}$ ) da TPI. O tratamento com carvão, foi o que apresentou maior valor de umidade ( $\theta_{\text{sat}} = 0,33 \text{ g g}^{-1}$ ) na condição de solo saturado. E foi o que apresentou maior conteúdo de água ( $\theta_g = 0,17 \text{ g g}^{-1}$ ) na capacidade de campo. O ponto E1S2 do sítio de TPI, foi o que apresentou maior valor de umidade ( $\theta_{\text{sat}} = 0,49 \text{ g g}^{-1}$ ) na condição de saturação e maior conteúdo de água ( $\theta_g = 0,35 \text{ g g}^{-1}$ ) na capacidade de campo. A incorporação de resíduos orgânicos selecionados no experimento Terra Preta Nova proporcionou redução da densidade solo, aumento da porosidade total e da capacidade de retenção de água no solo, principalmente os resíduos de carvão, laminado de madeira e de osso. As Terras Pretas de Índio apresentam elevado teor de matéria orgânica, o que confere diferenças significativas nos atributos físicos quando comparado ao seu respectivo solo adjacente.

Palavras - chave: Solo - Resíduos orgânicos. Solo - Sítio Arqueológico. Solo - curva de retenção de água. Solo - Física do Solo.

## ABSTRACT

Most Amazonian soils have high acidity, low fertility and low cation exchange capacity. However, you can find throughout the Amazon stains soils e Indian black earth. They present as defining features of the high natural fertility, dark color on the horizon anthropogenic (Au). The objective of this research was to characterize the soil of Terra Preta Nova and Dark Earth by means of physical properties. Studies coordinated by the researcher Clara Kern Dirse the Goeldi Museum underway in northeastern Pará, with the use of organic residues incorporated into the soil. The research was conducted in the municipality of Bragança and Thailand, both in Northeast Pará. The soil of the experiment Terra Preta Nova was classified as Alfisol, sandy texture franca. While the soil was classified as ICC Gleysol of sandy loam texture. Five treatments in the experiment TPN, which are composed of residues of bone charcoal, sawdust and the residue triturated blade. The collections in the ICC were carried out in three areas of the Archaeological Site during the archaeological excavation work, these were called E1S1 - excavation area 1 and sector 1 (Profile 1), E1S2 - excavation area 1 and sector 2 (Profile 2) and adjacent area (Profile 3). The disturbed and undisturbed samples were collected in the range of 0.05-0.10 m depth. Regarding the values of bulk density (BD) treatment with coal had the lowest value ( $1.61 \text{ g cm}^{-3}$ ) compared to other treatments. Ds values were lower at the E1S2 ( $1.28 \text{ g cm}^{-3}$ ) of the ICC. The carbon treatment, showed the highest moisture ( $\theta_{\text{sat}} = 0.33 \text{ g g}^{-1}$ ), the soil saturated. And showed the highest water content ( $\theta_{\text{g}} = 0.17 \text{ g g}^{-1}$ ) at field capacity. The point E1S2 site of TPI, showed the highest moisture ( $\theta_{\text{sat}} = 0.49 \text{ g g}^{-1}$ ) in the saturation condition and higher water content ( $\theta_{\text{g}} = 0.35 \text{ g g}^{-1}$ ) the ability to field. The incorporation of organic residues selected from the experiment gave New Black Earth ground reduced density, increased porosity and water holding capacity of the soil, especially the residues of coal, wood and laminate bone. The Indian black earth have high organic matter content, which gives significant differences in physical attributes when compared to their respective adjacent soil.

Key - words: Solo - Organic waste. Solo - Archaeological Site. Soil - water retention curve. Soil - Soil Physics.

## 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Na Amazônia, cerca de 75% dos solos pertencem as classes dos Latossolos e dos Argissolos (46% de Latossolos ou Oxisols e 29% de Argissolos ou Ultisols), ambos caracterizados por apresentar baixa concentração de bases trocáveis, minerais de argila de atividade baixa como a caulinita e óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, baixa disponibilidade de fósforo, elevada acidez e conseqüentemente maior concentração de alumínio trocável e, em certos casos, manganês, ambos tóxicos para maioria das plantas. (SANCHEZ; COCHRANE, 1980). São solos altamente intemperizados, ácidos, com baixa capacidade de troca catiônica, baixa fertilidade e, portanto, são solos que apresentam baixo potencial de produção quando ocorre a eliminação das florestas (REZENDE et al., 2011). Levando em consideração estas características, esses solos da Amazônia restringe a produtividade agrícola, sendo considerado um forte indicio de impacto social, já que a agricultura familiar é essencial a população local (BROSSI, 2012).

.Entretanto, em toda a Amazônia é possível encontrar manchas de solos conhecidas como as Terras Pretas de Índio (TPI), representando importante registro da ocupação humana e do uso do solo na Amazônia por populações pré-colombianas (KERN; KÄMPF, 1989). As TPI são altamente férteis e estáveis sendo comumente encontrados na região amazônica (LEONCIO et al., 2011). A TPI recebe esta denominação, pois é encontrada em sítios arqueológicos, onde grupos pré-históricos habitavam. Assim, existe grande quantidade de material deixado por esses grupos indígenas, tais como: fragmentos cerâmicos, carvão e artefatos líticos. Geralmente, o material arqueológico encontrado é bem variado, o que supôs que grupos culturais diferentes habitaram um mesmo local (AMARANTE et al., 2010). As TPIs são solos que podem ser diferenciados de outros solos por apresentarem características completamente diferentes do que as encontradas na maioria dos solos da região, essas são oriundas das atividades antrópicas (CUNHA et al., 2009; GLASER; BIRK, 2012 ).

As Terras Pretas de Índio apresentam como características marcantes a elevada fertilidade natural, cor escura no horizonte antropogênico (Au), sendo preta a bruno acinzentada muito escura (5YR 2,5/1; 7,5YR 2/1 a 3/1; 10YR 2/1 a 3/2) (KÄMPF; KERN, 2005), devido à presença de fragmentos cerâmicos, pedaços de carvão e artefatos indígenas inserido nos horizontes antropogênicos (KERN; KÄMPF, 1989; MADARI et al., 2009; CAMPOS et al., 2011).

Os sítios arqueológicos são áreas de preservação obrigatória, conforme a Lei Federal nº 3.924 de 26 de julho de 1961 (SILVA et al., 2011). As TPI's estão localizadas em sítios

arqueológicos que serviram de depósitos de resíduos de origem vegetal (folhas e talos de palmeiras diversas, cascas de mandioca e sementes) e animal (ossos, sangue, gordura, fezes, carapaças de quelônios e conchas), sendo que em alguns sítios são encontrados resíduos de fogueiras e carvão vegetal (MADARI et al., 2009). Para Souza Júnior et al. (2012), a replicação das TPI's poderá elevar o período de uso do solo. Assim, as informações obtidas a respeito das TPIs são fundamentais para a reprodução de parte de suas características em menos tempo, tornando os solos dos trópicos mais sustentáveis.

Autores como Novotny et al. (2009) e Mangrich et al. (2011) evidenciam que é possível utilizar as Terras Pretas de Índios como modelos para a “criar” novas TPI, não só na região amazônica, mas em todos os biomas, através da adição ao solo de carvões e resíduos orgânicos tais como resíduos da indústria de madeira, da produção de carvão para siderúrgicas, lodo de esgoto e restos da agroindústria.

Estudos estão em andamento no nordeste do Pará, com a utilização de resíduos orgânicos incorporados ao solo, tais como: resíduos de serraria associados aos resíduos de abatedouros e carvão, que são encontrados em grande escala na região (KERN, 2004). Estudos estão voltados para compreender o processo de formação e atributos dos solos de TPI, visando o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem replicar a Terra Preta de Índio (TPI) em andamento no Município de Tailândia, nordeste do Pará (MONTEIRO, 2004), dessa forma estes resíduos são empregados de uma forma mais eficaz, pois ao invés de serem descartados no ambiente, são depositados no solo tornando-os mais fértil e contribuindo para melhorar as características físicas, semelhante aos encontrados em solo de Terra Preta de Índio.

Os estudos dos solos nas TPI's na Amazônia deram maior ênfase nas propriedades químicas e biológicas desses solos, sendo menos frequentes aqueles relacionados á física do solo. Pesquisas relacionadas às características física do solo nas Terras Pretas de Índio ainda são pouco estudado. Estudos voltados na caracterização física em solos onde foram incorporados resíduos orgânicos selecionados, a exemplo daqueles utilizados pelo homem pré-histórico, ainda não foram estudados, por isso a importância deste trabalho.

As hipóteses são:

- Existem diferenças significativas nos atributos físicos em solos de Terra Preta de Índio quando comparado ao seu respectivo solo adjacente.
- A incorporação de resíduos orgânicos selecionados no experimento Terra Preta Nova reduz a densidade solo, aumenta porosidade total e a capacidade de retenção de água no solo.

O objetivo desta pesquisa foi caracterizar o solo de Terra Preta Nova e Terra Preta de Índio por meio das propriedades físicas.

## 1.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARANTE, C.B; RUIVO, M. L. P; OLIVEIRA, M.L.S; LEONCIO, R.R; MOURA, Q.L. Diversidade microbiana em solos de terra preta arqueológica. **Revista Enciclopédia Biosfera**, v.6, n. 11, p. 1-10, 2010.

BROSSI, M. J. L. **Diversidade de genes catabólicos em solos de “Terra Preta de Índio” da Amazônia sob diferentes coberturas vegetais**. 166f (Tese de Doutorado) Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

CAMPOS, M. C. C. C; RIBEIRO, M. R; SOUZA JÚNIOR, V. S; RIBEIRO FILHO, M. R; SOUZA, R. V. C. C; ALMEIDA, M. C. Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p. 598-609, 2011.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; CANELLAS, L. P.; RIBEIRO, L. P.; BENITES, V. M.; SANTOS, G. A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic Dark Earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian Amazon Basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 85-93, 2009.

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, 2012.

KÄMPF, N.; KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré-história na Amazônia. In: TORRADO, P. V.; ALLEONI, L. R. F; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. (Org). **Tópicos em Ciência do solo**. 1ª Ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v. 6, p. 277-320.

KERN, D.C. **Aproveitamento Econômico dos Resíduos da Indústria Madeireira como Alternativa para Minimizar os Problemas Sócios ambientais do Estado do Pará**. (Relatório Técnico). Belém: 2004. 42p.

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

LEONCIO, R. R.; AMARANTE, C. B.; RUIVO, M. L. P.; D’AQUINO, G. I. R.; LEONCIO, R. R. Efeito dos diferentes tratamentos do experimento ‘Terra Preta Nova’ sobre os teores dos micronutrientes Fe, Cu, Zn e Mn no solo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.7, n. 12, p. 1-9, 2011.

MADARI, B.E.; CUNHA, T.J.F.; NOVOTNY, E.H.; MILORI, D.M.B.P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V.M.; COELHO, M.R.; SANTOS, G.A. Matéria Orgânica dos Solos Antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): suas características e papel na sustentabilidade da Fertilidade do Solo In: TEIXEIRA, W.G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.;

LIMA, H.N.; WOODS, W. (Eds.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. 1ª Ed. EDUA: Embrapa Amazônia Ocidental. v. 1, p. 172-188. 2009.

MANGRICH, A.S.; MAIA, C.M.B.F.; NOVOTNY, E.H. Biocarvão – as terras pretas de índios e o seqüestro de carbono. **Ciência Hoje**, v. 47, n. 281, p. 48-52, 2011.

MONTEIRO, K.F.G. **Utilização de resíduos de madeira como cobertura no solo: o estudo de caso de um sistema agroflorestal no estado do Pará**, 2004. 102 f. (Dissertação Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará. 2004.

NOVOTNY, E.H.; HAYES, M.H.B.; MADARI, B.E.; BONAGAMBA; AZEVEDO, E.R.; SOUZA, A.A.; SONG, G.; NOGUEIRA, C.M.; MANGRICH, A.S. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the utilisation of charcoal for soil amendment. **Journal of Brazilian Chemical Society**, v. 20, n. 6, p. 1003-1010, 2009.

REZENDE, E. I. P.; ANGELO, L. C.; DOS SANTOS, S. S.; MANGRICH, A. S. Biocarvão (Biochar) e Seqüestro de Carbono. **Revista Virtual de Química**, n. 3, v. 5, p. 426-433, 2011.

SANCHEZ, P.A.; COCHRANE, T.T. **Soil constraints in relation to major farming systems in tropical America**. Priorities for Alleviating Soil-Related Constraints to Food Production in the Tropics. Los Baños: International Rice Research Institute, 1980. p. 107-139.

SILVA, F. W. R.; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W.G.; MOTTA, M. B.; SANTANA, R. M. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (Terras Pretas de Índio) na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 673-681, 2011.

SOUZA JÚNIOR, J. A.; RIBEIRO, G. A. A.; FALCÃO, N. P. S.; VILLANI, F. T. Efeito do Aumento de Doses Crescentes de Carvão Vegetal nas Propriedades Químicas do Solo. **Anais...** Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. VII – CONNEP, Palmas 2012.

## 2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA TERRA PRETA NOVA NO NORDESTE PARAENSE

### RESUMO

O Experimento Terra Preta Nova (TPN) é um Projeto financiado pelo CNPq. O Estudo é coordenado pela Dra. Dirse Clara Kern e está sendo desenvolvido pelo Museu Paraense Emílio Goeldi no município de Tailândia na mesorregião do Nordeste Paraense. O experimento é uma tentativa de replicação das características físicas, químicas e microbiológicas de solos conhecidos como Terra Preta de Índio (TPI), que apresentam alta fertilidade e estabilidade. O objetivo desta pesquisa foi caracterizar o solo de Terra Preta Nova por meio das propriedades físicas. O solo do experimento foi classificado como Argissolo, de textura areia franca. Para essa pesquisa foram utilizados cinco tratamentos do experimento TPN, sendo estes compostos por resíduos de osso, carvão, pó de serragem e resíduo de lamina triturada. As amostras deformadas e indeformadas foram coletadas na faixa de 0,05-0,10m de profundidade. Houve a dominância da fração areia em todas as parcelas da TPN quando comparado as de argila e silte. Em relação aos valores de densidade do solo (Ds) o tratamento com carvão obteve o menor valor ( $1,61 \text{ g cm}^{-3}$ ) e foi o que apresentou o maior valor de porosidade total (Pt) ( $0,36 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) quando comparado com os demais tratamentos. Houve predomínio do volume de microporos em todos os tratamentos. O tratamento carvão foi o que apresentou a maior quantidade de água disponível ( $\theta_g = 0,06 \text{ g g}^{-1}$ ) em relação aos demais tratamentos da TPN. O tratamento com carvão, foi o que apresentou maior valor de umidade ( $\theta_{\text{sat}} = 0,33 \text{ g g}^{-1}$ ) na condição de solo saturado. E foi o que apresentou maior conteúdo de água ( $\theta_g = 0,17 \text{ g g}^{-1}$ ) na capacidade de campo. A incorporação de resíduos orgânicos selecionados no experimento Terra Preta Nova proporcionou redução da densidade solo, aumento da porosidade total e da capacidade de retenção de água no solo, principalmente os resíduos de carvão, laminado de madeira e de osso. O tratamento com pó de serragem apresentou altos valores de densidade do solo, baixa porosidade total e baixa microporosidade.

Palavras - chave: Solo - Resíduos orgânicos. Solo - Matéria orgânica. Solo - curva de retenção de água. Solo - Física do Solo.

## ABSTRACT

Experiment New Black Earth (NBE) is a project funded by CNPq. The study is coordinated by Dr. Dirse Clara Kern and is being developed by the Goeldi Museum in the city of Thailand in the middle region of the Northeast of Pará. The experiment is an attempt to replicate the physical, chemical and microbiological properties of soils Indian black earth (IBE), which have high fertility and stability. The objective of this research was to characterize the soil of Black Earth Nova through the physical properties. The study soil was classified as Typic, texture sand franca. For this research we used five treatments of the experiment TPN, which are composed of residues of bone, charcoal, sawdust and waste ground blade. The disturbed and undisturbed samples were collected in the range of 0.05-0.10 m depth. There was the dominance of the sand fraction in all parts of TPN compared the clay and silt. Regarding the values of bulk density (BD) treatment with coal had the lowest value ( $1.61 \text{ g cm}^{-3}$ ) and was presented the highest value of total porosity (Pt) ( $0.36 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) when compared with the other treatments. Predominated micropore volume in all treatments. Treatment coal showed the most amount of water available ( $\theta_g = 0.06 \text{ g g}^{-1}$ ) compared to other treatments TPN. The carbon treatment, showed the highest moisture ( $\theta_{\text{sat}} = 0.33 \text{ g g}^{-1}$ ), the soil saturated. And showed the highest water content ( $\theta_g = 0.17 \text{ g g}^{-1}$ ) at field capacity. The incorporation of organic residues selected from the experiment gave New Black Earth ground reduced density, increased porosity and water holding capacity of the soil, especially the residues of coal, wood and laminate bone. Treatment with sawdust had higher values of bulk density, low porosity and low microporosity.

Key-Word: Soil - Organic Waste. Soil - Organic Matter. Soil - water retention curve. Soil - Soil Physics.

## 2.1 INTRODUÇÃO

A descoberta da Terra Preta do Índio, na Amazônia brasileira, revelou um solo com alto teor de carbono orgânico, com valores variando entre 23 a 220 g.kg<sup>-1</sup> na profundidade de até 1,0 m, esse mantém ao longo do tempo sua fertilidade e produtividade (KAMPF; KERN, 1989). Nos locais de habitação dos grupos indígenas foram encontrados carvão de origem vegetal e animal incorporados no solo, aparecendo como uma alternativa para a recuperação de solos degradados (BRITO et al., 2010).

Os solos TPI apresentam grande teor de matéria orgânica e são assim chamados pela hipótese de que sua origem esteja na pré-história, a partir do depósito não intencional de material de origem vegetal e animal pelo homem pré-histórico que habitava a Amazônia (KERN; KÄMPF, 1989). O Experimento Terra Preta Nova (TPN) é um Projeto financiado pelo CNPq, sendo o estudo coordenado pela Dra. Dirse Clara Kern e está sendo desenvolvido pelo Museu Paraense Emílio Goeldi no município de Tailândia localizado na mesorregião do Nordeste Paraense. Este experimento é uma tentativa de replicação das características físicas, químicas e microbiológicas de solos conhecidos como Terra Preta de Índio (TPI), que apresentam alta fertilidade e estabilidade (NEVES et al., 2012; MONTEIRO et al., 2009).

A replicação da terra preta de índio pode proporcionar também benefícios ambientais, pois a industrialização de produtos de origem vegetal gera rejeitos (lodo de esgoto, restos de poda de árvore, bagaço de cana-de-açúcar, torta de mamona e torta de pinhão manso, sobras da indústria de papel e celulose), podem ser aproveitados como insumos para a agricultura e podem se tornar passivos ambientais para muitas empresas (REZENDE et al., 2011).

Nesse contexto, o experimento TPN é realizado em uma área de quatro hectares cedida pela Empresa Tailâminas Plac, por um período previsto de 25 anos. O início do experimento foi em março de 2003 e está localizado no município de Tailândia, no nordeste paraense (NEVES et al., 2011). Esse experimento consiste na adição ao solo de material orgânico encontrado em grande escala em Tailândia, tais como resíduos de serraria, abatedouros e carvão (KERN, 2004), assim estes resíduos são empregados de uma forma mais eficaz, pois ao invés de serem descartados no ambiente, são depositados no solo tornando-os mais fértil, similar ao solo Terra Preta de Índio (NEVES et al., 2012; KERN, 2004).

A adição de resíduos vegetais em um solo natural pode proporcionar elevação do conteúdo de matéria orgânica em solos de regiões tropicais, em que o aporte do material orgânico é significativamente maior do que em regiões de clima temperado (RAIJ, 1991), contribuindo assim com a retenção de nutrientes (GLASER et al., 2002). Souza Júnior et al.

(2012) observaram que a adição de doses de carvão vegetal no solo não interfere nos valores de pH. Os teores de alumínio e potássio diminuíram e aumentaram respectivamente com aumento das doses crescentes de carvão. O cálcio apresenta os maiores níveis quando se adiciona carvão no solo.

O carvão presente no solo foi gerado possivelmente através da queima de resíduos orgânicos em condições especiais (com pouco oxigênio disponível). O carbono presente em altas concentrações no solo contribui para melhorar a absorção de água, favorecer a penetração de raízes e tornam as plantas mais resistentes (REZENDE et al., 2011). O biochar é um condicionador do solo que melhora as características físicas. Para Nóbrega (2011), esse apresenta elevada porosidade, frequentemente alcalino e tem grande área de superfície específica.

Cerca de 70 a 80% do volume do carvão é composto por poros, devido a eliminação da água e de compostos voláteis que deixa espaços vazios (CANNAVAN, 2011). Para o mesmo autor o carvão pode aumentar a capacidade de retenção de água principalmente em solos arenosos, devido a sua alta porosidade e sua grande área superficial específica.

O uso de resíduos de madeira, oriundos de serrarias, como cobertura no solo, poderá apontar novas alternativas de utilização de materiais orgânicos nos solos da Amazônia e estabelecer relações mais harmoniosas entre o setor madeireiro e o meio ambiente através da adoção de práticas de manejo sustentável (MONTEIRO et al., 2006). O objetivo desta pesquisa foi caracterizar o solo de Terra Preta Nova por meio das propriedades físicas.

## 2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.2.1 Projeto Terra Preta Nova

O Projeto é conhecido como Terra Preta Nova: Construção da fertilidade do solo através do condicionamento de resíduos vegetais e animais para uma agricultura familiar sustentável. Tem como objetivo principal analisar a incorporação dos resíduos oriundos da indústria madeireira em solos cultivados da região de Tailândia, conferindo as alterações que ocorrem nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. O Projeto Terra Preta Nova foi patentado no ano de 2013.

A pesquisa foi desenvolvida no município de Tailândia na mesorregião do Nordeste Paraense. O clima deste município é do tipo Afi, na classificação de Köppen, com temperatura mensal superior a 18° C°; precipitação sempre acima de 60 mm, em relação às aferições mensais de 2.837 mm anuais (GOVERNO DO PARÁ, 2011).

O estudo foi desenvolvido em uma área total de 0,23 ha, na área que abrange a linha Tucuruí/Albrás, cujas coordenadas são 02 57' 021"S (latitude) e 48 57' 21"W (longitude), conforme Piccinin (2011) (Figura 1).

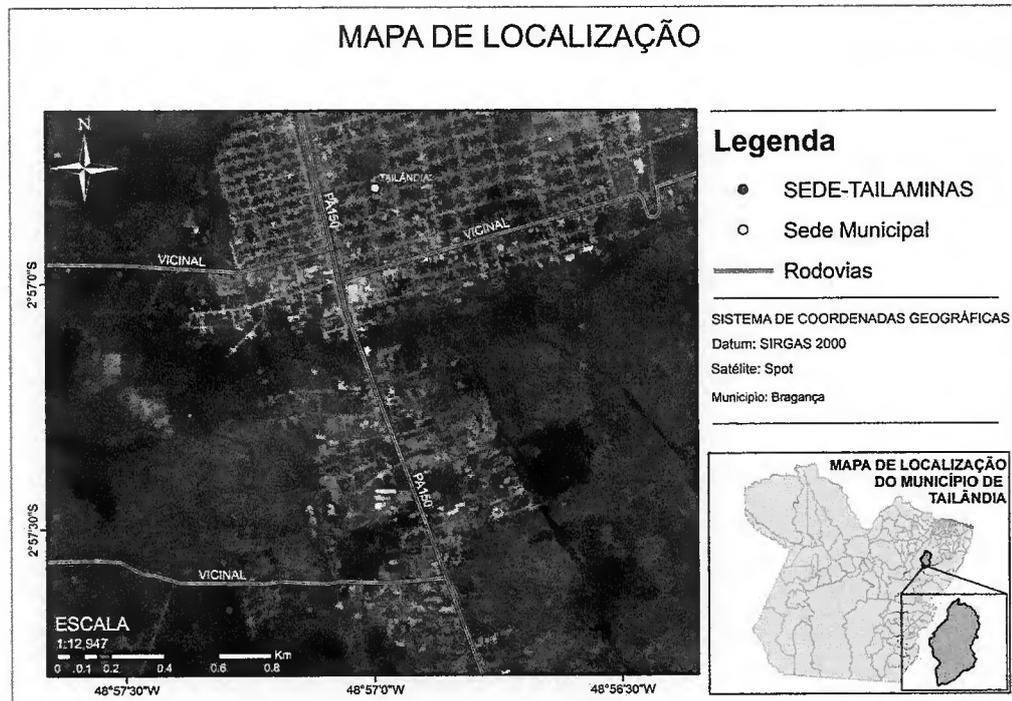


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo localizada no município de Tailândia/PA.  
Fonte: Autora.

O experimento foi instalado em 2003, em um Argissolo Amarelo (MONTEIRO et al., 2009) de textura areia franca. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com, 17 tratamentos e quatro repetições com dois fatores de estudo (resíduo de origem vegetal e animal), totalizando 68 parcelas experimentais com área de 9m<sup>2</sup>.

Para a realização deste trabalho foram utilizados 5 tratamentos dos 17 existentes no experimento, adotando como unidade amostral as parcelas C em razão de uma maior distribuição espacial na área. Sendo esses tratamentos compostos por resíduos de osso, carvão, pó de serragem e resíduo de lâmina triturada que são adicionados ao solo com o objetivo de replicar a TPI, tal processo é conhecido como Terra Preta Nova (TPN). O carvão foi oriundo de carvoaria, onde é produzido o carvão vegetal no qual foi produzido sem controle do ambiente. Não se sabe quais os materiais vegetais foram utilizados para produzi-lo. Cerca de 90% dos resíduos de madeira (resíduos de laminado de madeira e pó de serragem) foram oriundos de Paricá (*Schizolobium amazonicum*). Os resíduos de osso foram obtidos de abatedouros. Na Figura 2 é apresentado o esquema de amostragem do solo na

TPN. Na Figura 2 está apresentado o esquema de amostragem de solo no experimento Terra Preta Nova e na Tabela 1 estão apresentados em destaque os tratamentos utilizados para realização deste trabalho.

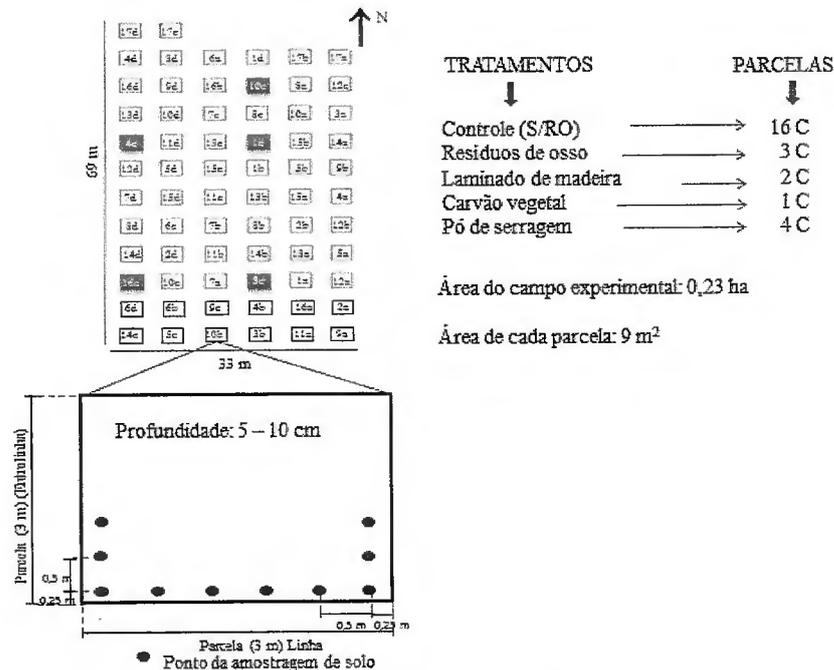


Figura 2 - Esquema de amostragem de solo no experimento Terra Preta Nova no município de Tailândia/PA.  
Fonte: Autora.

Tabela 1 – Tipos de tratamentos testados no experimento da Terra Preta Nova em Tailândia/PA.

1	C	10	RLT+RO
2	RPS	11	C+RPS+RLT
3	RLT	12	C+RLT+RO
4	RO	13	RPS+RLT + RO
5	C + RPS	14	C+RPS+RLT+RO
6	C+ RLT	15	C+RPS+RLT+RO+S
7	C+RO	16	Branco (Controle)
8	RPS+RLT	17	C+RPS+RO
9	RPS+RO		

C – Carvão; RPS – Resíduos de pó de serra; RLT – Resíduos de lâmina triturada; RO – Resíduos de ossos; B – Controle. Tratamentos em destaque são os utilizados para realização deste trabalho.  
Fonte: KERN (2004).

Na Tabela 2 é apresentada a soma dos resíduos orgânicos incorporadas em 2003 e 2010. A Figura 3 representa o início da implantação do experimento em 2003 sobre a coordenação da Dra. Dirse Clara Kern, pesquisadora do Museu Paraense Emílio Goeldi.

Tabela 2 – Quantidades de resíduos orgânicos adicionados no solo em 2003 e 2010.

Tratamentos	Quantidade adicionada no solo (kg/ha)
Carvão	282000
RPS	430667
RLT	180000
RO	6500
Controle	-

C – Carvão; RPS – Resíduos de pó de serra; RLT – Resíduos de lâmina triturada; RO – Resíduos de ossos.  
 Fonte: Comunicação Pessoal.

Antes da implantação do experimento a área foi desmatada várias vezes para o cultivo do capim quicuío-da-amazônia (*Brachiaria humidicola* Schweick.), fornecido como alimento para o gado. Para a implantação do experimento primeiramente a área foi gradeada duas vezes. Realizou-se limpeza da área e em seguida foram feitos linhões para a implantação do experimento.

Ao longo de mais de 10 anos o experimento vem sendo estudado, através do monitoramento das alterações físicas, químicas, biológicas e mineralógicas. Segundo Kern (2004) o experimento tem a finalidade de verificar a melhor forma para o manejo do solo com incorporações de resíduos orgânicos de origem vegetal e animal.



Figura 3 - Experimento Terra Preta Nova no início da implantação no município de Tailândia/PA.  
 Fonte: KERN (2004).

### 2.2.3 Metodologia de Campo

Para a realização desse estudo as amostras foram coletadas no período seco (dia 27 de Setembro de 2011). Para análises físicas foram coletadas 10 amostras com estrutura indeformada em anéis volumétricos (0,05 m de altura × 0,05 m de diâmetro), na profundidade de 0,05-0,10m com espaçamento entre os pontos de coleta de 0,50m. Para as análises químicas foi coletada uma amostra de solo referente a cada parcela estudada. Na Figura 4 é

apresentada a foto ilustrativa do trado para coleta de amostras indeformadas. Observa-se na figura 5 a foto ilustrativa das áreas de amostragem dos tratamentos do experimento Terra Preta Nova. A cor do solo foi determinada através da carta de Munsell (MUNSELL COLOR COMPANY, 1975).

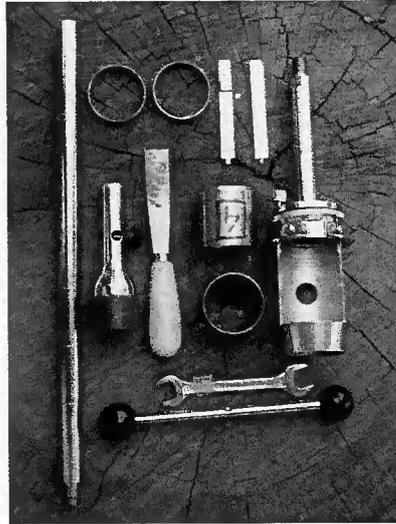


Figura 4 – Foto ilustrativa do trado para coleta de amostras indeformadas.  
Fonte: Autora.

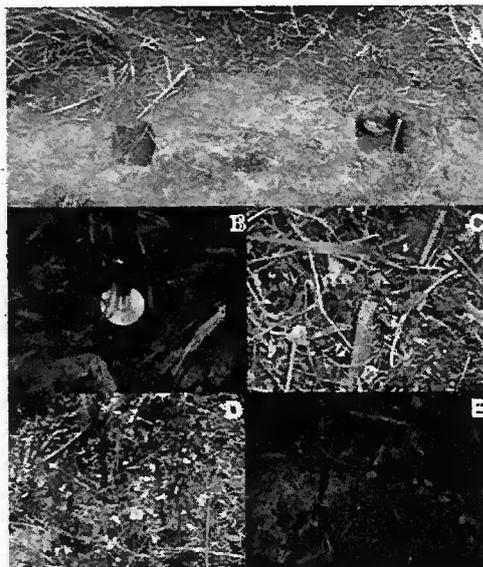


Figura 5 – Foto ilustrativa das áreas de amostragem dos tratamentos do experimento Terra Preta Nova.  
A: Controle; B: Laminado de madeira; C: Carvão vegetal; D: Resíduo de osso e E: Pó de serragem.  
Fonte: Autora.

#### 2.2.4 Análises físicas

Para obtenção da análise granulométrica amostras com estrutura deformadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm (Terra Fina Seca ao Ar - TFSA). Realizou-se a granulometria pelo método da pipeta, no qual as amostras foram submetidas ao pré-tratamento utilizando o peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) para remoção da matéria orgânica (GEE; BAUDER, 1986).

Para obtenção da curva de retenção de água, as amostras foram saturadas através da elevação gradual de uma lâmina de água em bandejas, até que se atingisse aproximadamente 2/3 da altura da amostra (EMBRAPA, 1997). Após esse procedimento, as amostras foram submetidas aos potenciais de -0,001; -0,003; -0,006; -0,01 MPa em mesa de tensão e -0,025; -0,05; -0,1 MPa através de pressões aplicadas em placas porosas conforme descrito em KLUTE (1986), até que a drenagem de água fosse cessada quando se atinge o ponto de equilíbrio. Amostras deformadas foram submetidas aos potenciais de -0,3 e -1,5 MPa através de pressões aplicadas em placas porosas, sendo essas amostras colocadas em anéis com dimensões de 0,01 m de altura e 0,029 m de diâmetro. Após a determinação da curva de retenção de água, os dados obtidos de umidade do solo, foi realizado o ajuste não linear á Equação de Van Genuchten (1980), conforme Equação 1.

$$\theta_g = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[(1 + \alpha\psi)^m]^{1/m}}$$

Onde  $\theta_g$  = umidade gravimétrica do solo (g g<sup>-1</sup>);  $\theta_r$  = umidade gravimétrica residual (g g<sup>-1</sup>);  $\theta_s$  = umidade gravimétrica de saturação (g g<sup>-1</sup>);  $\psi$  = potencial matricial (MPa);  $m$ ,  $\alpha$  e  $\eta$  são parâmetros empíricos do modelo.

Para as determinações de densidade de partículas as amostras com estrutura indeformada foram passadas em peneiras de 2,0 mm de abertura. Em seguida foram colocadas em estufa para serem secas a uma temperatura de aproximadamente 105° C por um período de 24 horas. Após o procedimento de secagem, retirou-se 5,0 g de solo seco em estufa para serem processados no picnômetro de gás modelo ACCUPYC 1330 (Micromeritics Instrument Corporation) (FLINT & FLINT, 2002). A densidade do solo ( $\rho_s$ ) foi obtida conforme metodologia descrita por Blake; Hartge (1986).

Relacionado à densidade do solo e a densidade de partículas se obterá a porosidade total, conforme Danielson; Sutherland (1986). O valor de água disponível no solo (AD) foi obtido pela diferença entre a umidade na capacidade de campo ( $\theta_{cc} = -0,01$  MPa) e a umidade

no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP} = -1,5$  MPa). A distribuição de diâmetros de poros foi obtida a partir dos dados da curva de retenção de água.

### 2.2.5 Análises químicas

As análises químicas determinadas foram: pH em água e em KCl 1M na proporção de 1:2,5; para acidez potencial ( $H^+ + Al^{+3}$ ) utilizou-se como extrator o acetato de cálcio  $(CH_3COO)_2Ca.H_2O$  a uma concentração de 0,5M a pH ajustado em 7,0; o  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Al^{3+}$  trocáveis extraídos com KCl 1M; K e P foram extraídos pela solução extratora de Mehlich 1, também chamada de solução duplo-ácida, sendo o K determinado por Espectrometria de Absorção Atômica em Chama e o P por espectrômetro conforme metodologia da EMBRAPA (1997).

Todas as análises físicas foram realizadas usando o procedimento PROC ANOVA do programa Statistical Analysis System - SAS (SAS, 1987). Os parâmetros do ajuste do modelo da curva de retenção de água no solo foram submetidos à análise de variância (teste F) no nível de significância ( $p < 0,05$ ).

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3, é apresentado os resultados correspondentes a caracterização química dos solos estudados. Observam-se, os teores de  $Al^{+3}$  encontrados foram maiores no tratamento RM e COT. Tanto os valores de pH em  $H_2O$  como o pH em KCl foram mais altos no tratamento com carvão, o que conferiu a anulação da acidez potencial. Os maiores valores de  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ , carbono (C) e matéria orgânica (MO) em todos os tratamentos que receberam adição de resíduo orgânico quando comparado com o controle. Monteiro et al. (2009) também encontraram valores para  $Ca^{+2}$  maiores nos horizontes superficiais. Os mesmos autores observaram que os teores de matéria orgânica no horizonte A (camada de 0-20 cm) foram superiores para o solo com Paricá em que foram aplicados resíduos. Em relação aos teores de P, a maioria dos tratamentos apresentou teor superior ao controle do experimento. Para Souto et al. (2009), os maiores teores desses elementos no solo podem estar ligados ao acúmulo de serrapilheira, já que os nutrientes nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre são os mais encontrados nas folhas. Os resultados encontrados mostram que a adição de resíduo orgânico no solo promove o aumento de P (NEVES et al., 2011). Os teores de  $K^+$  foram baixos em todos os tratamentos avaliados.

Tabela 3 - Resultado da Fertilidade do solo no experimento Terra Preta Nova.

Áreas	Prof. cm	-----pH-----		-----cmól/dm <sup>3</sup> -----					g/kg		mg/dm <sup>3</sup>
		H <sub>2</sub> O	KCl	H+Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	C	MO	P
CAR		7,47	7,23	0	0,12	13,20	5,93	0,34	27,68	47,71	1,38
RM		5,02	4,19	4,22	0,45	4,00	1,93	0,15	25,23	43,49	4,76
RO	5-10	4,96	4,43	3,40	0,25	3,80	2,00	0,30	22,63	39,01	4,56
POS		5,26	4,81	3,26	0,22	6,13	2,93	0,12	21,46	36,99	33,52
COT		5,02	4,27	3,33	0,28	3,20	1,47	0,18	15,61	26,91	3,76

Prof. = Profundidade; CAR = Carvão; RM = Resíduos de lamina triturada; RO = Resíduos de osso; POS = Pó de serragem; COT = Controle.

Fonte: Autora

As cores encontradas nos tratamentos controle, carvão, resíduos de lamina triturada, resíduos de osso e pó de serragem foram: 10YR 5/3; 10YR 3/3; 10YR 5/2; 10YR 4/2 e 10YR 5/3 respectivamente. O tratamento com carvão é o que apresenta maior aproximação em relação à cor entre a TPN e TPI, devido possivelmente o fato desse tratamento apresentar valor e croma baixo, que é um indicativo de alta concentração de carbono no solo, sendo este um dos responsáveis pela coloração escura da TPI.

Observa-se na Tabela 4, a dominância da fração areia em todas as parcelas da TPN quando comparado as de argila e silte. O solo desses tratamentos foi caracterizado como areia franca.

Tabela 4 – Valores médios da análise granulométrica na área de Terra Preta Nova.

Áreas	Prof. cm	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
		g/kg			
CAR		811,83	102,37	85,80	Areia-franca
RM		805,59	89,12	105,29	Areia-franca
RO	5-10	803,73	164,81	31,46	Areia-franca
POS		812,01	129,20	58,80	Areia-franca
COT		817,08	158,09	24,84	Areia-franca
CV		1,94	28,48	41,94	-

Prof. = profundidade; TPN = Terra preta nova; CAR = Carvão; RM = Resíduos de lamina triturada; RO = Resíduos de osso; POS = Pó de serragem; COT = Controle; CV = Coeficiente de variação em %.

Fonte: Autora.

Em relação aos valores médios de densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt), observa-se que o tratamento com carvão obteve o menor valor de Ds (1,61 g cm<sup>-3</sup>) quando comparado com os demais tratamentos, pois à medida que a densidade do solo diminui ocorre o aumento na porosidade total, proporcionando maior armazenamento de água no solo. (Figura 6). Isso ocorreu devido o carvão persistir n nosso por um longo período. O tratamento com pó de serragem apresentou o maior valor de densidade (1,92 g cm<sup>-3</sup>) em relação aos

outros tratamentos estudados. O aumento da densidade esteja relacionado ao fato da serragem apresentar granulometria muito fina, o que proporciona redução dos espaços porosos (RONDON NETO; RAMOS 2010), e conseqüentemente a porosidade total diminui. Devido o pó de serra apresentar granulometria muito fina, dificultando a aeração do solo, não deve ser usado sozinho, apesar de ser uma boa fonte de carbono. O mais apropriado é misturá-lo a outro resíduo que apresente boa aeração, como restos de cultura (PAIVA, 2004). Os tratamentos com pó de serragem e com resíduo de lâmina triturada demoram mais tempo para que ocorra a decomposição, pois a lignina presente no tronco é mais resistente aos microorganismos. Possivelmente, por esse motivo os valores de densidade do solo nesses tratamentos tenham sido maiores quando comparado com os outros tratamentos com resíduos. O tratamento com resíduo de osso também apresentou elevada densidade quando comparado com o carvão. Isso se deve provavelmente ao fato da decomposição de ossos grandes não se decomponem com facilidade (BARROS; LICCO 2013).

O tratamento com carvão apresentou a maior porosidade total ( $0,36 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) do que os demais tratamentos (Figura 6). O carvão apresenta uma estrutura porosa, pois aproximadamente 70 a 80% do volume do carvão são composto por poros (CANNAVAN, 2011; BENITES et al., 2009), o que proporciona uma redução da densidade do solo e aumento da porosidade total. Rondon Neto e Ramos (2010), também encontraram maiores valores de porosidade utilizando resíduos orgânicos que apresentam materiais porosos na composição.

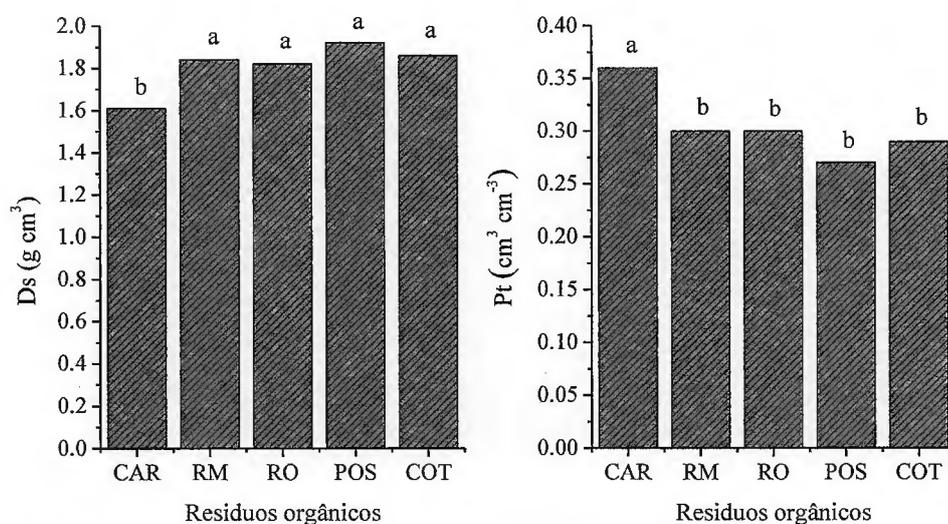


Figura 6 - Valores médios de densidade do solo e porosidade total na Terra Preta Nova.

CAR = Carvão; RM = Resíduos de lamina triturados; RO = Resíduos de osso; POS = Pó de serragem; COT = Controle; Ds = Densidade do solo; Pt = Porosidade total. Letras minúsculas iguais, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey.

Fonte: Autora.

Em relação à distribuição do tamanho de poros, podemos observar que houve predomínio do volume de microporos em todos os tratamentos, sendo que esses representam 0,21; 0,17; 0,17; 0,16; 0,15  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  dos poros do solo nos tratamentos Carvão, Resíduos de lamina triturados, Resíduos de osso, Pó de serragem e Controle na TPN, respectivamente (Figura 7). O tratamento com carvão foi o que apresentou o maior valor de microporosidade. Para Benites et al. (2009) e Cannavan (2011), aproximadamente 70 a 80% do volume do carvão vegetal é formado por espaços vazios, pois ocorre a eliminação da água e de compostos voláteis.

No entanto, o tratamento com pó de serragem foi o que apresentou o menor valor de microporosidade em relação aos outros resíduos orgânicos adicionados no solo. Para Kiehl (1979) a porosidade total do solo considerada adequada para o crescimento de plantas deve ser ao redor de 50%, no qual um terço dessa porosidade seja constituído de macroporos e dois terços de microporos. Erondon Neto e Ramos (2010), em seu estudo sobre a avaliação das características físicas de substratos formulados com resíduos orgânicos observaram que o menor valor de microporosidade foi encontrado no tratamento que continha 70% de concentração de serragem, conferindo a esse substrato baixa capacidade de retenção de água.

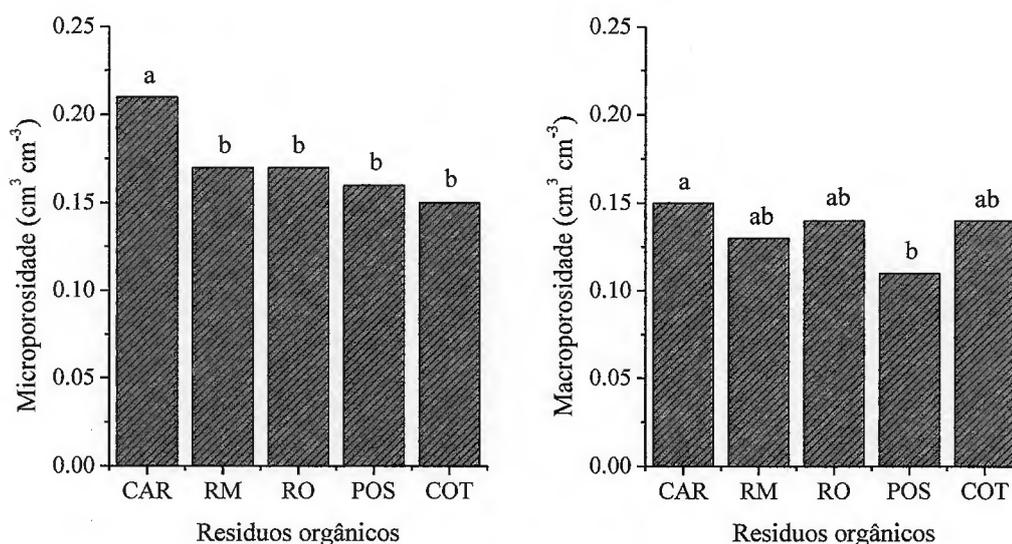


Figura 7 - Valores médios de microporosidade e macroporosidade na Terra Preta Nova. CAR = Carvão; RM = Resíduos de lamina triturados; RO = Resíduos de osso; POS = Pó de serragem; COT = Controle; Letras minúsculas iguais, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey. Fonte: Autora.

Em relação aos teores de água disponível foi observado o tratamento com carvão foi o que apresentou a maior quantidade de água disponível ( $\theta_g = 0,08 \text{ g g}^{-1}$ ) em relação aos demais tratamentos da TPN, seguida pelo resíduo de osso e resíduo de lamina triturada ( $\theta_g = 0,06 \text{ g g}^{-1}$ ), pó de serragem e controle ( $\theta_g = 0,05 \text{ g g}^{-1}$ ) (Figura 8). O fato do carvão apresentar uma estrutura porosa, contribuiu para uma maior retenção tanto na capacidade de campo quanto no ponto de murcha permanente, o que proporcionou maior disponibilidade de água disponível. Brito et al. (2011) observaram que a adição de carvão proporciona maior disponibilidade de água no solo.

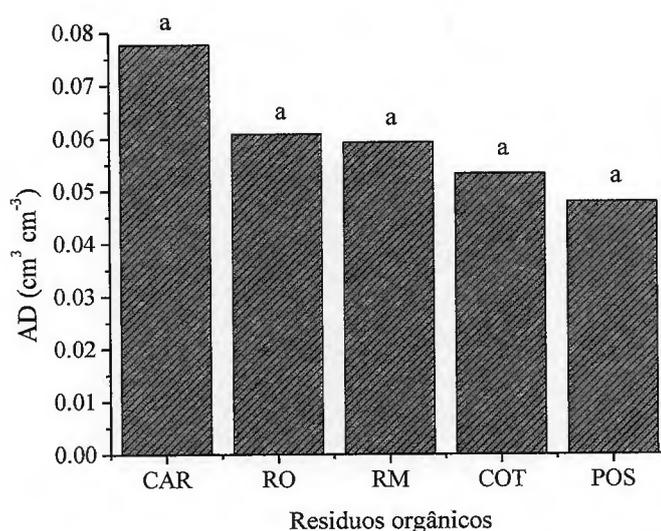


Figura 8 - Valores médios dos teores de água disponível (AD) no experimento Terra Preta Nova. CAR = Carvão; RM = Resíduos de lamina triturados; RO = Resíduos de osso; POS = Pó de serragem; COT = Controle; AD = Água disponível; Letras minúsculas iguais, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey. Fonte: Autora.

Em relação aos parâmetros de ajuste da curva de retenção de água o tratamento com carvão, foi o que apresentou maior valor de umidade ( $\theta_{\text{sat}} = 0,32 \text{ g g}^{-1}$ ) na condição de solo saturado (Tabela 5). E foi o que apresentou maior conteúdo de água ( $\theta_g = 0,16 \text{ g g}^{-1}$ ) na capacidade de campo (0,01) MPa, seguido por resíduos de lamina triturado ( $\theta_g = 0,14 \text{ g g}^{-1}$ ), resíduos de osso ( $\theta_g = 0,13 \text{ g g}^{-1}$ ), pó de serragem ( $\theta_g = 0,13 \text{ g g}^{-1}$ ) e controle ( $\theta_g = 0,13 \text{ g g}^{-1}$ ). Já no ponto de murcha permanente o tratamento com carvão foi o que obteve o maior conteúdo de água ( $\theta_g = 0,09 \text{ g g}^{-1}$ ), seguida pelos resíduos de lamina triturados ( $\theta_g = 0,08 \text{ g g}^{-1}$ ), pó de serragem ( $\theta_g = 0,08 \text{ g g}^{-1}$ ), resíduos de osso ( $\theta_g = 0,08 \text{ g g}^{-1}$ ) e controle ( $\theta_g = 0,07 \text{ g g}^{-1}$ ) (Figura 9). A incorporação de carvão no solo, sendo estes adicionados em partículas no tamanho das frações de areia, silte e argila, pode proporcionar aumento na capacidade de retenção de água e contribuir para melhorar a estrutura do solo (PAZ; SOUZA, 2013). O

carvão pode aumentar a capacidade de retenção de água no solo, principalmente em solos arenosos, por causa da sua porosidade e da sua grande área superficial de  $200\ 400\ \text{m}^2\ \text{g}^{-1}$  (GLASER et al., 2002).

Os tratamentos com carvão, resíduos de madeira e resíduos de osso foram os que apresentaram os maiores teores matéria orgânica e carbono orgânico, o que proporcionou maior retenção de água no solo nesses tratamentos. Isso ocorreu por que esses tratamentos foram os que apresentaram a maior quantidade de microporos (diâmetro  $<0,05\ \text{mm}$ ), sendo estes responsáveis pela retenção de água no solo.

A incorporação de resíduos orgânicos no solo propicia o aumento no teor de matéria orgânica. Para Nóbrega (2011), o armazenamento de água no solo aumenta tanto em solos argilosos como em arenosos, quando se adiciona matéria orgânica. Outro condicionador do solo que embora não tenha sido utilizado neste trabalho, mas que melhora as características físicas é o biochar. Este age da mesma forma que a matéria orgânica, visto que este apresenta uma superfície específica mais alta do que a areia e igual ou maior que a da argila, provocando um aumento líquido da superfície específica do solo quando adicionado a este (NÓBREGA, 2011). A grande superfície interna e a alta quantidade de microporos do biochar propicia aumento na retenção de água pelo fenômeno de capilaridade (KARHU et al., 2011). A incorporação de biochar eleva a porosidade do solo, aumentando assim o teor de água disponível para as plantas, tornando melhor o rendimento das culturas (NÓBREGA, 2011).

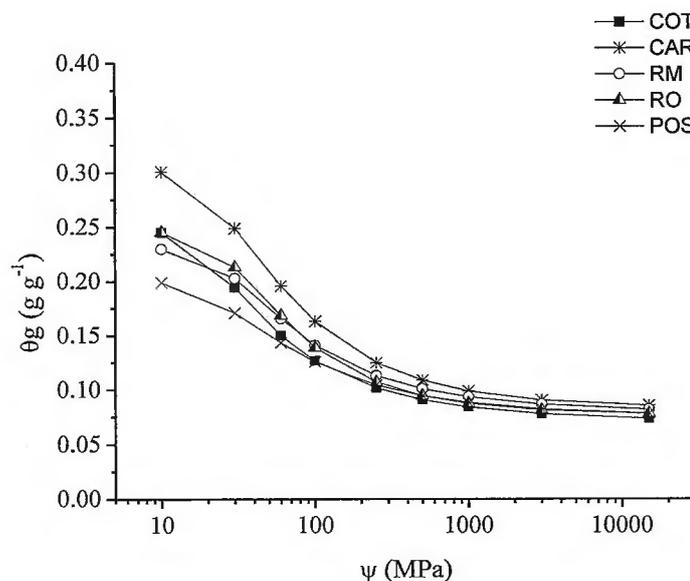


Figura 9 – Curvas de retenção de água no solo para o experimento Terra Preta Nova.  
Fonte: Autora

Tabela 5 - Coeficientes de ajuste da curva de retenção de água do solo no experimento Terra Preta Nova.

Áreas	$\theta_{\text{sat}}(g\ g^{-1})$	$\theta_{\text{res}}(g\ g^{-1})$	$\alpha$	n	m	$R^2$
CAR	0,32	0,09	0,04	2,16	0,50	0.999
RM	0,23	0,08	0,02	2,14	0,50	0.999
RO	0,25	0,08	0,03	2,25	0,52	0.997
POS	0,21	0,08	0,04	1,82	0,43	0.996
COT	0,26	0,07	0,05	2,00	0,47	0.999

$\theta_{\text{sat}}$ : umidade de saturação;  $\theta_{\text{res}}$ : umidade residual;  $\alpha$ , n e m: parâmetros do modelo.

Fonte: Autora

## 2.4 CONCLUSÕES

A incorporação de resíduos orgânicos selecionados no experimento Terra Preta Nova proporcionou redução da densidade solo, aumento da porosidade total e da capacidade de retenção de água no solo, principalmente os resíduos de carvão, laminado de madeira e de osso.

O tratamento com pó de serragem apresentou altos valores de densidade do solo, baixa porosidade total e baixa microporosidade, devido ao baixo teor de matéria orgânica encontrada nesse tratamento, portando não sendo recomendados a sua incorporação de forma individual no solo.

## 2.5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BARROS, F. D.; LICCO, E. A. **A reciclagem de resíduos de origem animal: uma questão ambiental**. Disponível em <<http://pt.scribd.com/doc/85125696/A-Reciclagem-de-Residuos-de-Origem-Animal-Uma-Questao-Ambiental>>. Acesso em: 19 set. 2013.

BENITES, V. M.; TEIXEIRA, W. G.; REZENDE, M. E.; PIMENTA, A. S. **Utilização de Carvão e Subprodutos da Carbonização Vegetal na Agricultura: Aprendendo com as Terras Pretas de Índio**. In: TEIXEIRA, W.G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.; LIMA, H.N.; WOODS, W. (Eds.). *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. (1ª Ed.). EDUA: Embrapa Amazônia Ocidental. v.1, p. p. 285-296, 2009.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A.. (Ed.). *Methods of soil analysis; physical and mineralogical methods*. Madison, **American Society of Agronomy**, 1986. p. 363-375.

BRITO, R. B. F.; SOUZA, L. D.; PAZ, E. J. DE J.; SOUZA, L. DA S. **Disponibilidade de água no Latossolo Amarelo distrocoeso em função da aplicação de diferentes doses de carvão**. 5ª Jornada Científica – Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2011.

BRITO, R. B. F.; SOUZA, L. D.; PAZ, E. J. DE J.; SOUZA, L. DA S. **Umidade de máxima compactação de um Latossolo Amarelo distrocoeso, em função da aplicação de diferentes doses de carvão**. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: Solos nos

biomas brasileiros – sustentabilidade e mudanças climáticas, Uberlândia. Center convention, 2010.

CANNAVAN, F. S. **A estrutura e composição de comunidades microbianas (Bactéria e Archaea) em fragmentos de carvão pirogênico de Terra Preta de índio da Amazônia Central.** 2011. 138f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

DANIELSON, R.E.; SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis; physical and mineralogical methods.** Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.443-461.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1997. p. 212.

FLINT, A.L.; FLINT, L.E. **Particle-size analysis.** In: DANE, J.H.; TOPP, G.C., eds. **Methods of soil analysis: Physical methods.** Madison, American Society of Agronomy, 2002. p.235-240.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-Size Analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling.** American Society of Agronomy, 1986. p.383-411.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. **Biology and Fertility of Soils**, v. 32, p. 219-230, 2002.

GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ. **Estatística municipal de Tailândia. Orçamento e finanças: Instituto de desenvolvimento econômico, social e ambiental do Pará.** Belém, 2011. Disponível em: < <http://iah.iec.pa.gov.br/iah/fulltext/georeferenciamento/tailandia.pdf> >. Acesso em: 14 Ago. 2013.

KARHU, K.; MATTILA, T.; BERGSTRÖM, I.; REGINA, K. Biochar addition to agricultural soil increased CH<sub>4</sub> uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study, **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 140, 2011, p. 309-313.

KERN, D.C. **Aproveitamento Econômico dos Resíduos da Indústria Madeireira como Alternativa para Minimizar os Problemas Sócios ambientais do Estado do Pará.** (Relatório Técnico). Belém: 2004. 42p.

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

KIEHL E. J. **Manual de Edafologia.** São Paulo-SP ed. Agronômica Ceres Ltda, 1979. 262p.

KLUTE, A. **Water retention: Laboratory methods**. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. (2ª Ed.). Madison, American Society of Agronomy, 1986. Part. 1. p. 635-662.

MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C. **Efeito da concentração de fragmentos cerâmicos na retenção de água do solo em amostras de Terra Preta de Índio na Amazônia Central - Brasil**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2008. 1 pôster. Apresentado no Sixth World Archaeological Congress, 2008, Dublin.

MONTEIRO, K. F. G. KERN, D. C. RODRIGUES, T. E. RUIVO, M. L. P. FARIAS, P. R. S. Caracterização dos Argissolos amarelos com adição de resíduos de madeira: uma alternativa de uso como cobertura em solos da Amazônia paraense. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, Belém, v. 1, n. 1, p. 139-148, jan./abr. 2006.

MONTEIRO, K. F. G.; KERN, D. C.; RUIVO, M. L. P.; RODRIGUES, T. E.; FARIAS, P. R. S.; COSTA, M. L.; FRAZÃO, F. J. L.; ROCHA, J. B.; SILVEIRA, I. M.; QUARESMA, H. D. A. B.; COMETTI, J. L. S. **Uso de Resíduos Vegetais no Solo: Subsídios para a Formação de Terra Preta Nova em Tailândia (PA)**. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B.; LIMA, H.; WOODS, W. (Org.). *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas*. (1ª Ed.). EDUA: Embrapa Amazona Ocidental, v. 1, p. 314-327. 2009.

MUNSELL. **Color Compary**. Munsell Soil Color Charts, Baltimore, 1975, 22p.

NEVES, P. A. P. F. G.; AMARANTE, C. B.; RUIVO, M. L. P.; PICCININ, J. L.; ARAÚJO, N. N. A. Influência da sazonalidade sobre os teores de nitrogênio e fósforo no experimento 'Terra Preta Nova' (TPN). *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.7, n.13, p. 1764- 1770, 2011.

NEVES, P. A. P. F. G.; BATISTA, R. J. R.; PICCININ, J. L.; RUIVO, M. DE L. P.; AMARANTE, C. B. Determinação de Fe, Mn, Zn e Cu disponível em amostras de Terra Preta Nova do município de Tailândia (PA). *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, n.14, p. 1135-1142, 2012.

NÓBREGA, Í. P. C. **Efeitos do Biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: Sequestro de carbono no solo**. 2011, 46f. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. 2011.

PAIVA, D. P. **Uso da compostagem como destino de suínos mortos e restos de parição**. In: KUNZ, A.; MONTICELLI, C. J.; FÁVERO, J. A.; PALHARES, J. C.; CAMERA, I. Z. P.; MIELE, MA.; ABREU, P. G.; SOUSA, P. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos – Manual de boas práticas**. (1ª Ed.). PNMA II – Gestão Integrada de Ativos Ambientais. Embrapa Suínos e Aves, 2004.

PICCININ, J. L. - **Relatório SEDECT/FAPESPA**, projeto “Sistemas de manejo do solo como base para o desenvolvimento sustentável da fertilidade de solos na Amazônia”, 2011.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

REZENDE, E. I. P.; ANGELO, L. C.; DOS SANTOS, S. S.; MANGRICH, A. S. Biocarvão (Biochar) e Sequestro de Carbono. **Revista Virtual de Química**, 2011, 3 (5), 426-433.

RONDON NETO, R. M.; RAMOS, C. B. Avaliação das características físicas de substratos formulados com resíduos orgânicos para a produção de mudas florestais em tubetes. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, n. 2, p. 117-122, Mai.- Ago. 2010.

SAS Institute. **SAS – Statistical Analysis System: system for elementary statistical analysis**. Cary, SAS Institute, 1987. 416p.

SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; SANTOS, R. V.; BAKKEET, I. A. Características Químicas da Serapilheira Depositada em área de Caatinga. **Revista Caatinga**, v.22, n.1, p.264-272, 2009.

SOUZA JÚNIOR, J. A.; RIBEIRO, G. A. A.; FALCÃO, N. P. S.; VILLANI, F. T. Efeito do Aumento de Doses Crescentes de Carvão Vegetal nas Propriedades Químicas do Solo. **Anais... Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. VII – CONNEP, Palmas 2012.**

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. **Soil Science Society of America Journal**, n. 44, 892–898, 1980.

### 3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE TERRA PRETA DE ÍNDIO EM GLEISSOLO NO PARÁ

#### RESUMO

A maioria dos solos amazônicos apresentam acidez elevada, baixos teores de nutrientes e baixa capacidade de troca de cátions. No entanto é possível encontrar em toda a Amazônia manchas de solos conhecidas como Terras Pretas de Índio (TPI). Essas apresentam como características marcantes a elevada fertilidade natural, cor escura no horizonte antropogênico. O objetivo desta pesquisa foi caracterizar o solo Terra Preta de Índio por meio das propriedades físicas. As coletas de solo foram realizadas no sítio arqueológico Jabuti em Bragança, no âmbito do projeto “Potenciais Impactos Ambientais do Transporte de Petróleo e Derivados na Zona Costeira Amazônica” coordenado pela Dra. Maura Imazio da Silveira do Museu Paraense Emilio Goeldi. O solo desse sítio pertence à Ordem dos Gleissolos. As coletas foram realizadas em três áreas do sítio arqueológico durante o trabalho de escavação arqueológica, essas foram chamadas de E1S1 - área de escavação 1 e setor 1 (Perfil 1), E1S2 - área de escavação 1 e setor 2 (Perfil 2) e área adjacente (Perfil 3). As amostras foram coletadas na faixa de 0,05-0,10m de profundidade. Os resultados demonstraram que houve a dominância da fração areia na área adjacente em relação às manchas de TPI. Os valores de  $D_s$  foram menores no ponto E1S2 ( $1,28 \text{ g cm}^3$ ) da TPI. O ponto E1S1 da TPI apresentou menor valor de  $D_s$  ( $1,48 \text{ g cm}^3$ ) em relação à área adjacente ( $1,55 \text{ g cm}^3$ ). Os valores de  $P_t$  foi maior no ponto E1S2 ( $0,49 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) da TPI. O ponto E1S1 da TPI apresentou maior valor de  $P_t$  ( $0,42 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) em relação a área adjacente ( $0,40 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ). Enquanto em relação à distribuição do tamanho de poros, houve o predomínio do volume de microporos nas manchas de TPI e na área adjacente. O ponto E1S2 apresentou a maior quantidade de água disponível ( $\theta = 0,17 \text{ g g}^{-1}$ ), seguida pela área adjacente ( $\theta = 0,16 \text{ g g}^{-1}$ ) e ponto E1S1 ( $\theta = 0,10 \text{ g g}^{-1}$ ). Em relação aos parâmetros de ajuste da curva de retenção de água o ponto E1S2 do sítio de TPI, foi o que apresentou maior valor de umidade ( $\theta_{\text{sat}} = 0,49 \text{ g g}^{-1}$ ) na condição de solo saturado. E foi o que apresentou maior conteúdo de água ( $\theta_g = 0,35 \text{ g g}^{-1}$ ) na capacidade de campo. As Terras Pretas de Índio apresentam elevado teor de matéria orgânica, o que confere diferenças significativas nos atributos físicos quando comparado ao seu respectivo solo adjacente.

Palavras - chave: Solo - horizonte antropogênico. Solo - Sítio arqueológico. Solo – curva de retenção de água. Solo-Física do Solo.

## ABSTRACT

Most Amazonian soils have high acidity, low nutrient content and low cation exchange capacity. However it is possible to find in the entire Amazon stains soils Indian black earth (IBE). They present as defining features of the high natural fertility, anthropogenic dark color on the horizon. The objective of this research was to characterize the soil black earth by means of physical properties. The soil samples were taken in Tortoise archaeological site in Bragança, under the project "Potential Environmental Impacts of Oil and Oil Transport in the Coastal Zone Amazon" coordinated by Dr. Maura Imazio da Silveira Emilio Goeldi Museum of Pará. The soil of this website belongs to the Order of Gleissolos. Samples were collected in three areas of archaeological site during the archaeological excavation work, these were called E1S1 - excavation area 1 and sector 1 (Profile 1), E1S2 - excavation area 1 and sector 2 (Profile 2) and area adjacent (Profile 3). The samples were collected in the range of 0.05-0.10 m depth. The results showed that there was a predominance of the sand fraction in the adjacent area in respect to TPI spots.  $D_s$  values were lower at the E1S2 ( $1.28 \text{ g cm}^3$ ) of the ICC. The point E1S1 TPI showed lower value of  $D_s$  ( $1.48 \text{ g cm}^3$ ) in relation to the adjacent area ( $1.55 \text{ g cm}^3$ ). The values of  $P_t$  was higher point E1S2 ( $0.49 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) of the ICC. The point E1S1 TPI showed higher  $P_t$  ( $0.42 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) in relation to the adjacent area ( $0.40 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ). As compared to the size distribution of pores, were predominant in the volume of micropores in spots ICC and the adjacent area. The point E1S2 showed the highest amount of water available ( $\theta = 0.17 \text{ g}^{-1}$ ), followed by the adjacent area ( $\theta = 0.16 \text{ g}^{-1}$ ) and E1S1 point ( $\theta = 0.10 \text{ g}^{-1}$ ). In relation to the setting parameters of the water retention curve point E1S2 the site of TPI, showed the highest moisture ( $\theta_{\text{sat}} = 0.49 \text{ g g}^{-1}$ ), the soil saturated. And showed the highest water content ( $\theta_g = 0.35 \text{ g g}^{-1}$ ) at field capacity. The Indian black earth have high organic matter content, which gives significant differences in physical attributes when compared to their respective adjacent soil.

Key – words: Solo - anthropogenic horizon. Solo - Archaeological Site. Soil - water retention curve. Soil - Soil Physics.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A grande quantidade de material orgânico, proveniente do descarte de resíduos orgânicos pelos povos pré-colombianos que habitavam a região amazônica pode ter contribuído para a formação de solos com alta fertilidade, com alto teor de matéria orgânica estável de origem pirogênica, além de elevados teores de fósforo disponível, cálcio, magnésio, zinco, manganês e carbono (KERN, 1988; KERN, 1996; FALCÃO et al., 2009), tais solos são conhecidos como Terra Preta de Índio (KERN, 2003; FALCÃO et al., 2003). As folhas oriundas de palmeiras que foram utilizadas na cobertura de habitações, podem ser de grande importância como fonte de Mn, Zn, K, Ca e Mg para o solo (COSTA et al., 2009). E podem ser encontrados em diversas classes de solos, com maior frequência em Latossolos e Argissolos (LIMA et al., 2002), sendo menos frequentes em Cambissolos, Plintossolos, Neossolos, Espodossolos (SMITH, 1980; MACEDO et al., 2007) e em Gleissolos (TEIXEIRA et al., 2006).

Após investigações pedológicas e arqueológico, predominantemente ao longo da última décadas, a origem antropogênica de ADE não é mais questionada (WOODS; DENEVAN, 2009). Arqueológico evidências e datação por radiocarbono mostrou que eles foram formados pelos habitantes pré-colombianos, embora a formação de terra preta era um processo mais variável e algumas vezes mais rápido do que se pensava (NEVES et al., 2003).

Os solos TPI's ocorrem frequentemente na Região Amazônica especialmente na parte Brasileira, normalmente localizam-se em terra firme, em áreas mais elevadas do terreno (5 a 25 m de altura) em relação à água corrente mais próxima, em locais bem drenados, onde não ocorrem inundações periódicas (KERN et al., 2003; GERMAN, 2004; KERN et al., 2009; SOMBROEK et al., 2009; AMARANTE et al., 2010), e também ocorrem em partes na Amazônia do Peru, Colômbia, Venezuela (sul) e nas Guianas (GLASER; BIRK, 2012; KERN et al., 2003). Na região amazônica a sua ocorrência variam desde 1% de sua área (63 mil km<sup>2</sup>), sendo que tem autores que indicam que esse valor pode chegar a 10% (MANGRICH et al., 2011). Cerca de 80% dos sítios apresentam dimensões que variam de 2 a 5 ha, porém podem apresentar áreas maiores que 100 ha (PESSOA JUNIOR et al., 2012). Os sítios chegam a apresentar profundidades superiores a 2m (SMITH, 1980), porém valores comuns se encontram entre 30 e 60 cm (KERN et al., 2003; PESSOA JUNIOR et al., 2012). As TPIs existem há mais de 100 anos, mas apenas na última década atraiu grande interesse científico (WOODS; DENEVAN, 2009).

A manutenção da fertilidade das TPI's é atribuída ao elevado nível de matéria orgânica e a elevada reatividade e estabilidade das frações húmicas, devido à presença de grupos carboxílicos presentes nessas frações (CUNHA et al., 2007). A estabilidade das TPI refere-se ao aporte de matéria orgânica do solo e a contribuição significativa do carbono pirogênico encontrados nesses solos (GLASER et al., 2000).

A matéria orgânica em solos de TPI é seis vezes mais estável do que nos solos de floresta (MONTEIRO et al., 2009) e, por este motivo, essas áreas são aproveitadas pelas populações locais para cultivos de subsistência, principalmente a mandioca (NEVES et al., 2012), além de banana, milho, mamão (KERN et al., 2009; FALCÃO et al., 2006). Os solos de Terra preta é preferivelmente utilizada na agricultura hoje por índios (SCHMIDT; HECKENBERGER, 2009), caboclos, e também por agricultores modernos (GLASER; BIRK, 2012).

Em relação à física do solo sabe-se que o horizonte antrópico normalmente apresenta a fração areia em maior proporção em relação ao solo adjacente (TEIXEIRA et al., 2009), em que o intenso uso do fogo associado à deposição de material orgânico forma partículas organominerais estáveis semelhantes às da fração areia (TEIXEIRA et al., 2009). Os solos de TPIs apresentam horizonte com boa drenagem, baixa densidade do solo (LIMA et al., 2002; KERN; KAMPF, 1989; NEVES JÚNIOR, 2008) nos horizontes antrópicos e aumento desse atributo físico com a profundidade (NEVES JÚNIOR, 2008). No entanto, podem apresentar altos valores de densidade como os encontrados nas TPI's localizados as margens do rio Tapajós e na Costa do Açutuba no Município de Iranduba (TEIXEIRA et al., 2009). Apresentam também boas condições de aeração, porosidade e condutividade hidráulica adequada que favorece a infiltração de água e melhora as trocas gasosas (NEVES JÚNIOR, 2008). Além de apresentarem conteúdo de umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente são mais elevado nos horizontes antrópicos das TPI's do que nos solos adjacentes (NEVES JÚNIOR, 2008). Para Santos et al. (2011), as características físicas das TPIs podem variar dentro de cada sítio e entre sítios, dependendo do padrão das comunidades pré-históricas que habitava os sítios. O objetivo desta pesquisa foi realizar a caracterização física do solo em Terra Preta de Índio.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Terra Preta de Índio (TPI)

A área de TPI fica localizada em um sítio arqueológico Jabuti na Reserva Extrativista Marinha Caeté-Taperuçu, registrado em 2008 no litoral bragantino (Bragança), em ilha de terra firme com as seguintes coordenadas geográficas:  $46^{\circ} 40' 19.8''$  W /  $0^{\circ} 55' 39.5''$  S (Figura 10) (SILVEIRA et al., 2011). As coletas de solo foram realizadas no sítio arqueológico Jabuti em Bragança/Estado do Pará, no âmbito do projeto “Potenciais Impactos Ambientais do Transporte de Petróleo e Derivados na Zona Costeira Amazônica” coordenado pela Dra. Maura Imazio da Silveira do Museu Paraense Emilio Goeldi.

O solo do sítio arqueológico Jabuti apresenta relevo plano e pertence à Ordem dos Gleissolos com horizonte A antrópico, sendo classificado como TPI. Esse solo apresenta mosqueamento, ligado ao lençol freático elevado durante a maior parte do ano (COSTA, 2011). As áreas ao redor do sítio apresentam horizonte A moderado e fraco, pouco espesso e com textura franco arenosa (PICCININ, 2009).



Figura 10 – Mapa de localização indicando a maior ilha de terra onde está situado o sítio Jabuti.  
Fonte: Autora.

A vegetação no sítio Jabuti é do tipo capoeira e florestas secundárias, mas encontra-se floresta original em pequenas áreas. A vegetação predominante são os manguezais com suas

espécies características a siriúba (*Avicennia nitida*) e mangueiro (*Rhizophora mangle*) (SILVEIRA et al., 2011).

O perfil 1 (E1S1) fica localizado no setor Sul, o perfil 2 (E1S2) a Noroeste e o perfil 3 (adjacente) a Oeste. A tonalidade no horizonte A foram: E1S1 de 10YR 3/1 (úmido) a 16 cm de profundidade; E1S2 de 10YR 2/1 (úmido) a 12 cm de profundidade; e adjacente de 7.5YR 4/1 (úmido) a 18 cm de profundidade. As leituras foram realizadas em Agosto de 2008 pelo pesquisador Jorge Luiz Piccinin do Museu Paraense Emilio Goeldi, com o objetivo de realizar a descrição morfoestrutural dos perfis (Fonte: Comunicação pessoal).

### 3.2.2 Metodologia de Campo

As coletas foram realizadas em três áreas do sítio arqueológico durante o trabalho de escavação arqueológica, essas foram chamadas de E1S1 - área de escavação 1 e setor 1 (Perfil 1), E1S2 - área de escavação 1 e setor 2 (Perfil 2) e área adjacente (Perfil 3). Foram coletadas 10 amostras na TPI e na área adjacente com estrutura indeformada, totalizando 30 amostras e uma amostra com estrutura deformada. Para realização das coletas na TPI foi feito um transecto de 10 m no sentido horizontal aos perfis E1S1, E1S2 e na área adjacente. As coletas foram feitas a cada 1 m dos perfis e na área adjacente.

As amostras foram coletadas no sentido Leste-Oeste em relação às áreas de coleta. A área adjacente está situada sob uma floresta secundária, situada a poucos metros da faixa de ocorrência da TPI. As coletas a 0,05-0,10 m de profundidade, conforme descrito na Figura 11.

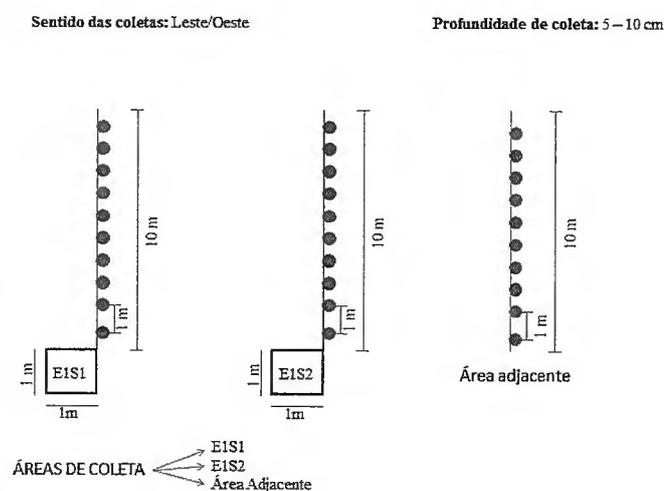


Figura 11 - Esquema de amostragem do solo na Terra Preta de Índio e na área adjacente no sítio Jabuti em Bragança/PA.

Fonte: Autora.

### 2.2.3 Metodologia de laboratório

As análises químicas determinadas foram: pH em água e em KCl 1M na proporção de 1:2,5; para acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ) utilizou-se como extrator o acetato de cálcio  $(CH_3COO)_2Ca.H_2O$  a uma concentração de 0,5M a pH ajustado em 7,0; o  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Al^{3+}$  trocáveis extraídos com KCl 1M; K e P foram extraídos pela solução extratora de Mehlich 1, também chamada de solução duplo-ácida, sendo o K determinado por Espectrometria de Absorção Atômica em Chama e o P por espectrômetro conforme metodologia da EMBRAPA (1997).

Para obtenção das análises granulométricas as amostras com estrutura deformadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm (Terra Fina Seca ao Ar - TFSA). Realizou-se a granulometria pelo método da pipeta, no qual as amostras foram submetidas ao pré-tratamento utilizando o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) para remoção da matéria orgânica (GEE; BAUDER, 1986).

Para obtenção da curva de retenção de água, as amostras com estrutura indeformadas foram preparadas retirando-se o excesso de solo, de forma que o solo amostrado ocupasse apenas o volume interno do anel. Após esse procedimento, foi colocada uma tela permeável no fundo dos anéis de maneira que a mesma permitisse o fluxo de água e ar, e impedisse a perda de solo. As amostras foram saturadas através da elevação gradual de uma lâmina de água em bandejas, até que se atingisse aproximadamente 2/3 da altura da amostra (EMBRAPA, 1997). Após esse procedimento, as amostras foram submetidas aos potenciais de -0,001; -0,003; -0,006; -0,01 MPa em mesa de tensão e -0,025; -0,05; -0,1 MPa através de pressões aplicadas em placas porosas conforme descrito em KLUTE (1986), até que a drenagem de água fosse cessada quando se atinge o ponto de equilíbrio. Amostras deformadas foram submetidas aos potenciais de -0,3 e -1,5 MPa através de pressões aplicadas em placas porosas, sendo essas amostras colocadas em anéis com dimensões de 0,01 m de altura e 0,029 m de diâmetro. Após a determinação da curva de retenção de água (CRA), os dados obtidos de umidade do solo, foi realizado o ajuste não linear à Equação de Van Genuchten (1980), conforme Equação 1.

$$\theta_g = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[(1 + \alpha\psi)^n]^m}$$

Onde  $\theta_g$  = umidade gravimétrica do solo ( $g\ g^{-1}$ );  $\theta_r$  = umidade gravimétrica residual ( $g\ g^{-1}$ );  $\theta_s$  = umidade gravimétrica de saturação ( $g\ g^{-1}$ );  $\psi$  = potencial matricial (MPa);  $m$ ,  $\alpha$  e  $n$  são parâmetros empíricos do modelo.

Para as determinações de densidade de partículas as amostras com estrutura indeformada foram passadas em peneiras de 2,0 mm de abertura. Em seguida foram colocadas em estufa para serem secas a uma temperatura de aproximadamente 105° C por um período de 24 horas. Após o procedimento de secagem, retirou-se 5,0 g de solo seco em estufa para serem processados no picnômetro de gás modelo ACCUPYC 1330 (Micromeritics Instrument Corporation). A densidade do solo ( $\rho_s$ ) foi obtida conforme metodologia descrita por Blake; Hartge (1986).

Relacionado à densidade do solo e a densidade de partículas se obterá a porosidade total, conforme Danielson; Sutherland (1986). O valor de água disponível no solo (AD) foi obtido pela diferença entre a umidade na capacidade de campo ( $\theta_{cc} = -0,01$  MPa) e a umidade no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP} = -1,5$  MPa). A distribuição de diâmetros de poros foi obtida a partir dos dados da curva de retenção de água.

Todas as análises físicas foram realizadas usando o procedimento PROC ANOVA do programa Statistical Analysis System - SAS (SAS, 1987). Os parâmetros do ajuste do modelo da curva de retenção de água no solo foram submetidos à análise de variância (teste F) no nível de significância ( $p < 0,05$ ).

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 6, observam-se os resultados correspondentes a caracterização química dos solos estudados. O teor de cálcio trocável no solo adjacente foi baixo quando comparado às áreas de TPIs. Enquanto os valores de  $Mg^{+2}$  foi maior no ponto E1S1 da TPI e na área adjacente. Campos et al. (2012), estudando solos de Terra Preta de Índio na região de Manicoré, observaram que os valores de cálcio e magnésio trocáveis nos horizontes antrópicos foram superiores aos encontrados nas áreas de solos não antrópicos. Para Steinbeiss et al. (2009) esses nutrientes apresentam maior concentração nos horizontes superficiais. Esses autores afirmaram que áreas de terra preta de índio apresentam elevados teores de nutrientes, especialmente Ca e P. Os valores do  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  trocáveis foram mais elevados nos horizontes superficiais (SANTOS et al., 2011).

Os valores de P disponível na terra preta de índio foram superiores quando comparado ao solo adjacente. Costa (2003) estudando terra preta de índio no sítio arqueológico Ilha de Terra, em Caxiuanã verificaram que os teores de P disponível encontrados foram elevados em relação aos encontrados na área adjacente. Segundo Kämpf et al. (2003) e Kämpf; Kern (2005), os valores mais altos de nutrientes estão associados à ocupação humana pré-

colombiana, já que o P pode ser encontrados em restos de vegetais, tais como na mandioca, açaí, bacaba entre outros. Também podem encontrados em resíduos de origem animal, como em ossos e excrementos, e em resíduos de alimentos. Santos et al. (2011) também verificaram que os teores de fósforo disponível foram elevados nos solos de terra preta de índio, todavia com valores muito dispersos.

Os teores de  $K^{+2}$  nas áreas estudadas foram baixos. Campos et al. (2012) verificaram que os teores de  $K^{+2}$  tanto nas áreas de solos adjacente quanto nas de terra preta de índio foram baixos, estando de acordo com os resultados encontrados por Lehmann et al. (2003b).

Os valores de pH em  $H_2O$  foram maiores nos solos de TPI quando comparado com o solo adjacente. Resultados de pH em água foram semelhantes aos encontrados por Campos et al. (2012).

Os teores de  $Al^{+3}$  trocável foram menores na TPI. Campos et al. (2012) observaram que os teores de  $Al^{+3}$  trocável foram menores em todos os horizontes das Terras Pretas de Índio quando comparados às áreas de solos adjacentes, semelhantes aos encontrados por Ribeiro (2006). Esse fato ocorre devido a acumulação de matéria orgânica no solo causar a redução dos teores de alumínio trocável na solução do solo (MIYAZAWA et al., 1993), por meio do processo de complexação do íon  $Al^{+3}$  pela matéria orgânica.

Os teores de carbono orgânico foram mais elevados nos solos de TPI quando relacionado ao solo adjacente. Soares (2007) encontrou em solo de TPI situado sob uma floresta secundária de 20 anos altos teores de carbono orgânico, considerado área de médio teor de matéria orgânica na profundidade de 5-40 cm de profundidade.

Tabela 6 - Resultado da fertilidade do solo no sítio de Terra Preta de Índio na superfície do solo.

Áreas	Prof. cm	-----pH-----		-----cmol./dm <sup>3</sup> -----					g/kg		mg/dm <sup>3</sup>
		H <sub>2</sub> O	KCl	H+Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	C	MO	P
ADJ.		4,22	2,98	11,69	3,9	0,67	2,40	0,24	37,57	64,78	1,48
E1S1	5-10	5,05	4,33	13,43	0,77	24,07	4,20	0,18	55,51	95,70	114,08
E1S2		3,99	3,92	15,36	2,25	15,47	1,55	0,17	59,45	102,49	8,45

Prof. = Profundidade; Adj. = Adjacente; E1S1 = Sondagem/perfil 1; E1S2 = Sondagem/perfil 2.

Fonte: Autora

A classe textural do sítio de TPI variou de areia franca (52,50 g/kg de argila) a franco-arenoso (184,41 g/kg de argila). Os resultados das classes texturais encontrados neste trabalho foram coerentes com observações realizadas em outros solos antropogênicos (Tabela 7) (SANTOS et al., 2011; CAMPOS et al., 2011; CAMPOS et al., 2012). Os resultados preliminares das análises de solos realizadas na área E1S1 da TPI e na área adjacente

mostraram que esses solos são constituídos predominantemente por quartzo e matéria orgânica (SILVEIRA et al., 2011).

Tabela 7 – Valores médios da análise granulométrica na área do sítio de Terra Preta de Índio na superfície do solo.

Áreas	Prof. cm	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
ADJ.	5-10	815,49	132,01	52,50	Areia-franca
E1S1		678,62	162,83	158,55	Franco-arenoso
E1S2		644,70	170,89	184,41	Franco-arenoso
CV		4,49	20,11	10,91	-

Prof. = profundidade; ADJ. = Adjacente; E1S1 = área de escavação 1 e setor 1; E2S1 = área de escavação 1 e setor 2; CV = Coeficiente de variação em %.

Fonte: Autora.

Em relação aos valores de densidade do solo e porosidade total, observa-se (Figura 12A) que os valores de  $D_s$  foram menores no ponto E1S2 ( $1,28 \text{ g cm}^{-3}$ ) da TPI. O ponto E1S1 da TPI apresentou menor valor de  $D_s$  ( $1,48 \text{ g cm}^{-3}$ ) em relação a área adjacente ( $1,55 \text{ g cm}^{-3}$ ). A decomposição da matéria orgânica e do carvão contribuiu para redução da densidade do solo e aumento da porosidade total nos solos de TPI. Teixeira et al. (2009), encontraram valores de densidade do solo maiores que  $1,30$  e  $1,40 \text{ g cm}^{-3}$  em horizontes antrópicos localizados as margens do Rio Tapajós e na Costa do Açutuba (município de Iranduba). Para os mesmos autores estes valores de densidade é indício de compactação para os Latossolos Amarelos de textura argilosa e muito argilosa da região amazônica.

Os valores de  $D_s$  observados neste estudo foram coerentes com os encontrados em outros solos de TPI (BARROS et al., 2012; CAMPOS et al., 2011; SANTOS et al., 2011; NEVES JUNIOR, 2008). Os baixos valores de densidade do solo são resultantes de maiores quantidades de matéria orgânica nos horizontes antrópicos (NEVES JUNIOR, 2008).

Os valores de  $P_t$  foi maior no ponto E1S2 ( $0,49 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) da TPI. O ponto E1S1 da TPI apresentou maior valor de  $P_t$  ( $0,42 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) em relação a área adjacente ( $0,40 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), todavia, não diferiram estatisticamente (Figura 12B). Os valores médios da  $P_t$  nos sítios de TPI encontrados neste trabalho estão abaixo do limite proposto por Brady; Weil (2008) que foi de  $0,5 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , considerado ideal para o crescimento satisfatório das plantas. Esses maiores valores estão relacionados aos elevados teores de matéria orgânica e a atividade dos microrganismos encontrados nos solos de terra preta de índio (CAMPOS et al., 2011). Barros et al. (2012) em seu estudo em sítios arqueológicos no Pará, encontraram valores médios de  $P_t$  superiores ao limite estabelecido por Brady; Weil (2008) e aos encontrados neste

trabalho. Os valores de Pt nos horizontes antrópicos são mais altos quando comparado com os horizontes subsuperficiais (SANTOS et al., 2011), pois a medida que aumenta a profundidade ocorre aumento na densidade e diminuição do espaço poroso, causando consequentemente redução na porosidade total.

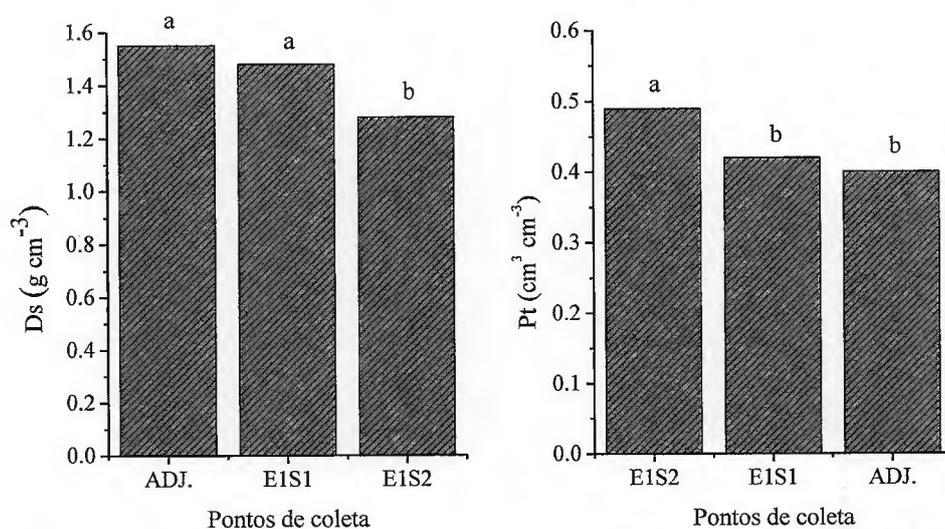


Figura 12 - Valores médios de densidade do solo (A) e porosidade total (B) na Terra Preta de Índio. ADJ = Adjacente; E1S1 = área de escavação 1 e setor 1; E2S1 = área de escavação 1 e setor 2; Ds = Densidade do solo; Pt = Porosidade total. Letras minúsculas iguais, não diferem estatisticamente ao nível de 1% de probabilidade, através do teste de Tukey.  
Fonte: Autora.

Em relação à distribuição do tamanho de poros houve predomínio do volume de microporos, sendo que esses representam 0,35; 0,36 e 0,41 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> dos poros na área adjacente, E1S1 e E1S2 no sítio de TPI, respectivamente (Figura 13A e B). A maior quantidade de microporos presentes nos solos de TPIs ocorreu devido a grande quantidade de matéria orgânica encontrado nesses solos antropogênicos. Para Barros et al. (2012), esse aumento nos microporos e consequentemente a diminuição dos macroporos ocorre devido a ação da matéria orgânica nesses solos de TPI, o que proporciona aumento dos microporos, já que a matéria orgânica diminui os espaços ocupados pelos poros maiores.

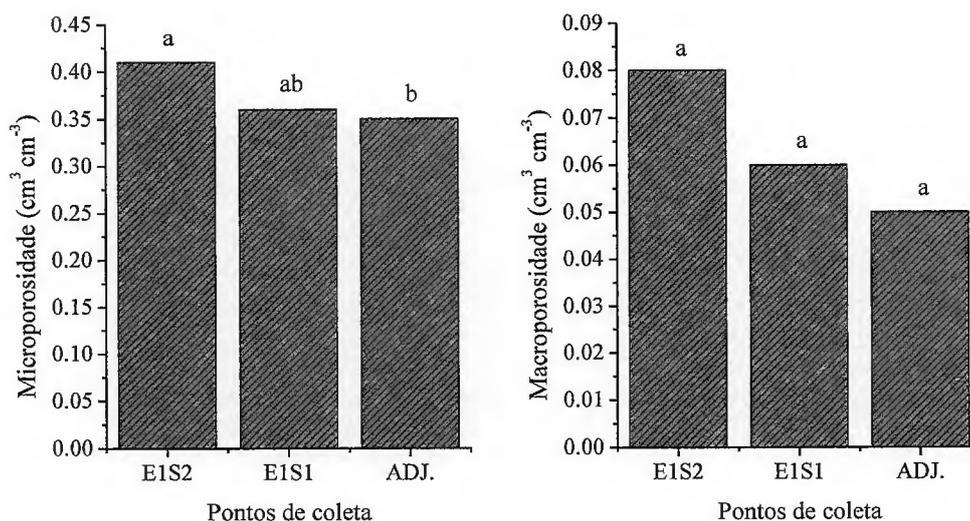


Figura 13 - Valores médios de microporosidade (A) e macroporosidade (B) no sítio de Terra Preta de Índio (Jabuti). ADJ = Adjacente; E1S1 = área de escavação 1 e setor 1; E2S1 = área de escavação 1 e setor 2. Letras minúsculas iguais, não diferem estatisticamente ao nível de 1% de probabilidade, através do teste de Tukey. Fonte: Autora.

Em relação aos teores de água disponível foi observado que o ponto E1S2 apresentou a maior quantidade de água disponível ( $\theta = 0,19\text{g g}^{-1}$ ), seguida pela área adjacente ( $\theta = 0,17\text{g g}^{-1}$ ) e ponto E1S1 ( $\theta = 0,09\text{g g}^{-1}$ ) (Figura 14). Esse fato pode está relacionado a grande quantidade de microporos encontrados no ponto E1S2 da TPI, o que proporciona maior retenção de água, o que pode elevar o teor de água disponível no solo. No entanto não houve diferença estatística entre as áreas estudadas. Segundo Teixeira et al. (2009), o aumento da umidade no PMP ocasiona a diminuição da água disponível (AD), tornando os valores de AD muito próximos aos encontrados na área adjacente.

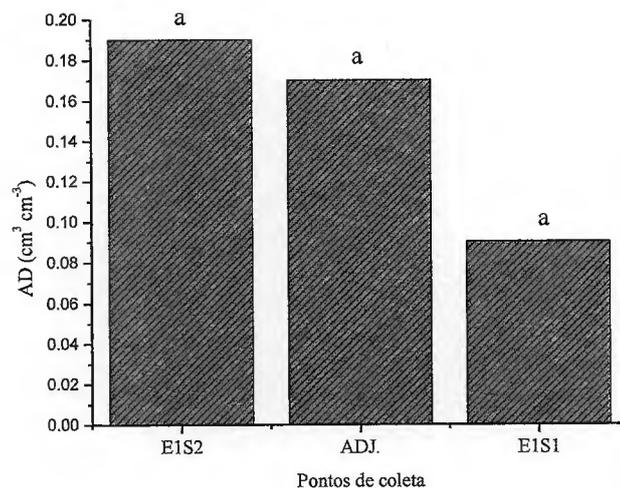


Figura 14 - Valores médios dos teores de água disponível (AD), no sítio de Terra Preta de Índio (Jabuti). ADJ = Adjacente; E1S1 = Sondagem/perfil 1; E1S2 = Sondagem/perfil 2; AD = Água disponível; Letras minúsculas iguais, não diferem estatisticamente ao nível de 1% de probabilidade, através do teste de Tukey. Fonte: Autora.

Em relação aos parâmetros de ajuste da curva de retenção de água o ponto E1S2 do sítio de TPI, foi o que apresentou maior valor de umidade ( $\theta_{\text{sat}} = 0,51 \text{ g g}^{-1}$ ) na condição de solo saturado (Tabela 8). E foi o que apresentou maior conteúdo de água ( $\theta_{\text{g}} = 0,35 \text{ g g}^{-1}$ ) na capacidade de campo (0,01 MPa), seguido do ponto E1S1 ( $\theta_{\text{g}} = 0,30 \text{ g g}^{-1}$ ), ponto ADJ ( $\theta_{\text{g}} = 0,26 \text{ g g}^{-1}$ ) respectivamente. Os altos teores de matéria orgânica encontrado nos pontos E1S1 e E1S2 da TPI contribuíram para aumentar a retenção de água nesses potenciais mátricos. Segundo Barros et al. (2012) o maior conteúdo de água na capacidade de campo pode está relacionado aos teores de matéria orgânica nessa parte da curva de retenção de água, corroborando com Rawls et al. (2003), segundo esses autores a água é retida por forças capilares e essas forças dependem da distribuição dos tamanhos dos poros.

Já no ponto de murcha permanente o ponto E1S1 foi o que obteve o maior conteúdo de água ( $\theta_{\text{g}} = 0,21 \text{ g g}^{-1}$ ), seguida pelo ponto E1S2 ( $\theta_{\text{g}} = 0,16 \text{ g g}^{-1}$ ), adjacente ( $\theta_{\text{g}} = 0,10 \text{ g g}^{-1}$ ) (Figura 15). Para Hillel (1998) a retenção de água no solo sofre influencia tanto pela mineralogia do solo quanto pela granulometria e pela quantidade de matéria orgânica do solo, corroborando com as observações feitas por Rawls et al. (1991) na qual a agregação domina a retenção de água nos elevados conteúdos de água a medida que a textura e a mineralogia são mais importantes para baixos conteúdos de água. Além disso, os altos teores de umidade no PMP estão relacionados à contribuição da matéria orgânica na retenção de água, devido ao aumento da área superficial das partículas que estão envolvidas pela matéria orgânica

(TEIXEIRA et al., 2009), principalmente no sítio Jabuti onde os teores de matéria orgânica encontrado foram maiores que 90 g kg.

Outro fator que pode está contribuindo para a retenção de água em solos mais arenosos é a presença de fragmentos cerâmicos nos solos de TPI. Esses fragmentos contribuem para aumentar a disponibilidade de água em solos com predomínio da fração areia, a elevada concentração desses fragmentos pode elevar a retenção de água em potenciais mais altos. Os poros presentes nas cerâmicas podem ser preenchidos por água no período chuvoso e com a secagem do solo, a água por diferença de potencial vai para a matriz do solo (TEIXEIRA et al., 2009; MACEDO et al., 2008). As amostras de solo com presença de cerâmica apresentaram maior retenção de água em potenciais (elevados), sendo este efeito mais pronunciado em solos de textura mais arenosa (MACEDO et al., 2008).

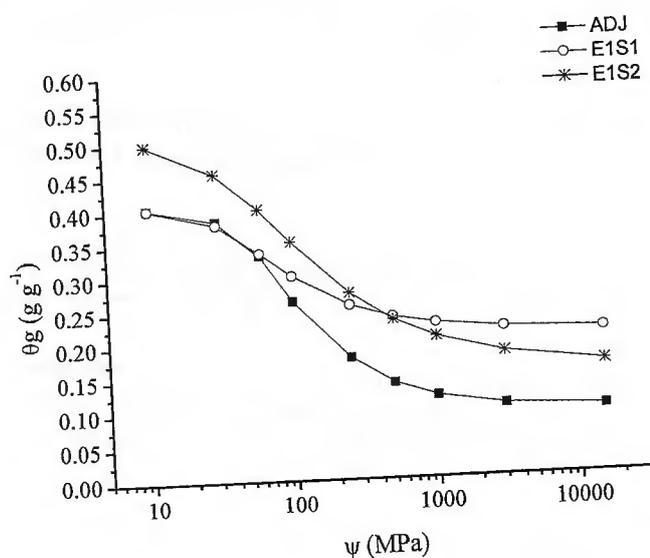


Figura 15 – Curvas de retenção de água no solo para o sítio de Terra Preta do Índio (Jabuti).  
Fonte: Autora

Tabela 8 - Coeficientes de ajuste da curva de retenção de água do solo no sítio de Terra Preta de Índio (Jabuti).

Áreas	$\theta_{\text{sat}}(\text{g g}^{-1})$	$\theta_{\text{res}}(\text{g g}^{-1})$	$\alpha$	$n$	$m$	$R^2$
ADJ.	0,41	0,10	0,01	2,91	0,53	0,999
E1S1	0,41	0,21	0,02	2,25	0,52	0,997
E1S2	0,51	0,16	0,03	1,64	0,38	1,000

$\theta_{\text{sat}}$ : umidade de saturação;  $\theta_{\text{res}}$ : umidade residual;  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$ : parâmetros do modelo.  
Fonte: Autora

DANIELSON, R.E.; SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A.. (Ed.). **Methods of soil analysis; physical and mineralogical methods**. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p. 443-461.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1997. p. 212.

FALCÃO, N. P. S.; CLEMENT, C. R.; TSAI, S. M.; COMERFORD, N. B. Pedology, fertility, and biology of Central Amazonian Dark Earths. In: WOODS, W. I.; TEIXEIRA, W. G.; LEHMANN, J.; WINKLERPRINS, A. M. G. A.; REBELLATO, L. **Amazonian dark earths: wim sombroek's vision**. Berlin: Springer, 2009. p. 213-228.

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.). **Acta Amazonica**. v. 36, n. 4, p. 401 – 406, 2006.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-Size Analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. American Society of Agronomy, 1986. p. 383-411.

GERMAN, L. A geographical method for Anthrosol characterization in Amazônia: contribution to method and human ecological theory. In: GLASER, B.; WOODS, W.I., (Ed). **Amazon Dark Earths: Explorations in space and time**. Berlin: Springer, 2004. p. 29-51.

GLASER B., GUGGENBERGER G., ZECH W.; LOURDES RUIVO M. Soil organic matter stability in Amazon Dark Earth. In: **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management** (Ed. J. Lehmann et al.). Kluwer Academic Publishers, Dodrecht, 2003, p. 141–158.

GLASER, B.; BALASHOV, E.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. **Organic Geochemistry**, v. 31, p. 669-678, 2000.

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, 2012.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. London: Academic Press, 1998. 771 p.

KÄMPF, N., WOODS, W.I., SOMBROEK, W.G., KERN, D.C.; CUNHA, T.J.F. Classification of Amazonian dark earths and other ancient anthropic soils. In: LEHMANN, J., KERN, D.C., GLASER, B., WOODS, W.I. (Ed.). **Amazonian dark earths. Origin, properties, management**. Kluwer:Dordrecht. 2003. p. 77-102.

KÄMPF, N.; KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré histórica na Amazônia. In: TORRADO, P. V.; ALLEONI, L. R. F; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. (1ª Ed.). **Tópicos em Ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p. 277-320.

KERN, D. C. **Caracterização pedológica de solos com Terra Preta Arqueológico na Região de Oriximiná, Pará.** 1988, 232 f. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia. Porto Alegre. 1988.

KERN, D. C. **Geoquímica e pedogeoquímica de sítios arqueológicos com terra preta na floresta nacional de Caxiuanã (Portel - PA).** 1996, 124 f. (Tese de Doutorado) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém. 1996.

KERN, D. C.; D'AQUINO, G.; RODRIGUES, T. E.; FRAZAO, F. J. L.; SOMBROEK, W.; MYERS, T. P.; NEVES, E. G. Distribution of amazonian dark earths in the Brazilian Amazon. In: J. Lehmann, D. Kern, B. Glaser & W. Woods (Eds.). **Amazonian Dark Earths – origin, properties and management.** Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 2003. p. 51-75.

KERN, D. C.; KAMPF, N.; WOODS, W. I.; DENEVAN, W. M.; COSTA, M. L.; FRAZAO, F. J. L. Evolução do conhecimento em Terra Preta de Índio. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D.C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Ed.). **As Terras Pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas.** Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p.285-296.

KERN, D.C. Distribution of Amazonian dark earths in the Brazilian Amazon. In: LEHMANN, J.K., D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Ed.). **Amazonian Dark Earths: origin, properties and management.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. Cap. 75. p. 51.

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

KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A. (2ª Ed.). **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods.** Madison, American Society of Agronomy, 1986. Part. 1. p. 635-662.

LEHMANN, J.; SILVA, J. P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v. 249, p. 343-357, 2003b.

LIMA, H. N.; SCHAEFER, C. E. R.; MELLO, J. W. V.; GILKES, R. J.; KER, J. C. Pedogenesis and pre-Columbian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of Western Amazonia. **Geoderma**, v. 110, p. 1-17, 2002.

MACEDO R. S.; TEIXEIRA W. G.; MARTINS G. C. **Caracterização de dois perfis com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) no Lago do Limão – AM.** In: XI Congresso da Abequa, XII Congresso da Abequa: Estudos do quaternário e a responsabilidade sócio-ambiental, Belém. ABEQUA/UFPA, 2007.

MANGRICH, A.S.; MAIA, C.M.B.F.; NOVOTNY, E.H. Biocarvão – as terras pretas de índios e o sequestro de carbono. **Ciência Hoje**, v. 47, n. 281, p. 48-52, 2011.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; CALEGARI, A. Efeito do material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p.411-416, 1993.

MONTEIRO, K. F. G.; KERN, D. C.; RUIVO, M. L. P.; RODRIGUES, T. E.; FARIAS, P. R. S.; COSTA, M. L.; FRAZÃO, F. J. L.; ROCHA, J. B.; SILVEIRA, I. M.; QUARESMA, H. D. A. B.; COMETTI, J. L. S. Uso de Resíduos Vegetais no Solo: Subsídios para a Formação de Terra Preta Nova em Tailândia (PA). In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B.; LIMA, H.; WOODS, W. (Org.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. (1ª Ed.). EDUA: Embrapa Amazona Ocidental, v. 1, p. 314-327. 2009.

NEVES E. G., PETERSEN J. B., BARTONE R. N. AND DA SILVA C. A. (2003) Historical and socio-cultural origins of Amazonian Dark Earths. In: **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management** (Ed. J. Lehman et al.). Kluwer Academic Publishers, Dodrecht., p. 29–50.

NEVES JUNIOR, A. F. **Qualidade física de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central**. 2008, 94f. (Tese Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo. 2008.

NEVES, P. A. P. F. G.; BATISTA, R. J. R.; PICCININ, J. L.; RUIVO, M. DE L. P.; AMARANTE, C. B. Determinação de Fe, Mn, Zn e Cu disponível em amostras de Terra Preta Nova do município de Tailândia (PA). **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, n.14, p. 1135-1142, 2012.

PAZ, E. J. J.; SOUZA, L. D. A utilização do carvão vegetal como condicionador de solos. **Anais... 7ª Jornada Científica – Embrapa Mandioca e Fruticultura**, 2013.

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.

PICCININ, J. L. Análise estrutural da cobertura pedológica Terra Preta Arqueológica (TPA). Sítio Jabuti - Bragança - PA. **Relatório de pesquisa**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2009. 11 p.

RALWS, W.J.; GISH, T.J.; BRAKENSIEK, D.L. Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics. **Advances in Soil Science**, New York, v.16, p.213-34, 1991.

RAWLS, W.J.; PACHEPSKYB, Y. A.; RITCHIE, J. C.; SOBECKI, T. M.; BLOODWORTH, H. Effect of soil organic carbon on soil water retention. **Geoderma**, v. 116, p. 61-76, 2003.

RIBEIRO, G. A.. A.. **Produção e teor de nutrientes da liteira fina de capoeiras em Terra Preta de Índio e solos adjacentes**. 2006. 98f. (Dissertação Mestrado em Agricultura no Trópico Úmido) - Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas. Manaus, 2006.

SANTOS, L. A. C.; CAMPOS, M. C. C.; BERGAMIN, A. C.; SILVA, D. M. P.; MENDONÇA JR. A. F. Caracterização física de seis sítios de Terras Pretas Arqueológicas na Região de Apuí-AM. **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil) v.6, n.4, p. 167-174, out./dez. 2011.

SAS Institute. **SAS – Statistical Analysis System: system for elementary statistical analysis**. Cary, SAS Institute, 1987. 416p.

SCHMIDT M. J. AND HECKENBERGER M. J. Amerindian Anthrosols: Amazonian Dark Earth formation in the upper Xingu. In: **Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision** (Ed. W. I. Woods). Springer, Berlin. 2009, p. 163–191.

SILVA, F. W. R.; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W.G.; MOTTA, M. B.; SANTANA, R. M. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (Terras Pretas de Índio) na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 673-681, 2011.

SILVEIRA, M. I.; OLIVEIRA, ELISANGELA, R.; PICCININ, J. L. Relatório final do Projeto PIATAM mar. **Relatório de pesquisa**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2010.

SILVEIRA, M. I.; OLIVEIRA E. R.; KERN D. C.; COSTA M. L.; RODRIGUES S. F. S. O sítio Jabuti, em Bragança, Pará, no cenário arqueológico do litoral amazônico. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**. Belém, v. 6, n. 2, p. 335-345, mai./agos. 2011.

SMITH N.J.H. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonian. **Annals of the Association of American Geographers**. v. 70, p. 553-566, 1980.

SOARES, R. **Agregação e distribuição da matéria orgânica em solos de Terra Preta de Índio na Amazônia Central**. 2007. 102f (Dissertação de Mestrado em Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007.

SOMBROEK, W.; KERN, D.; RODRIGUES, T.; CRAVO, M. S.; CUNHA T. J. F.; WOODS, W.; GLASER, B. Terra Preta e Terra Mulata: Suas Potencialidades Agrícolas, suas Sustentabilidades e suas Reproduções. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B.; LIMA, H.; WOODS, W. (Org.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. Manaus. (1ª Ed.). Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, v. 1, p. 251-257. 2009.

STEINBEISS, S.; GLEIXNER, G.; ANTONIETTI, M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, p. 1301-1310, 2009.

TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C.; MACEDO, R. S.; NEVES JUNIOR, A. F.; MOREIRA, A.; BENITES, V.M.; STEINER, C. **As Propriedades físicas e hídricas dos horizontes antrópicos das Terras Pretas de Índio da Amazônia Central**. p. 242-250, 2009.

TEIXEIRA, W.G.; MARTINS, G.C.; LIMA, H.N. An Amazonian Dark Earth profile description from a site located in the floodplain (várzea) in the Brazilian Amazon. In: RIOS. G.M.; CAMARGO, S.M.; CALVO, C.F. (Eds.). **Pueblos y paisajes antiguos de la selva Amazónica**. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia/Taracaxum, 2006. p. 293-300.

WOODS W. I.; DENEVAN W. M. Amazonian Dark Earths: the first century of reports. In: **Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision** (Ed. W. I. Woods et al.). Springer, Berlin., 2009, p. 1–14.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. **Soil Science Society of America Journal**, n. 44, p. 892-898, 1980.