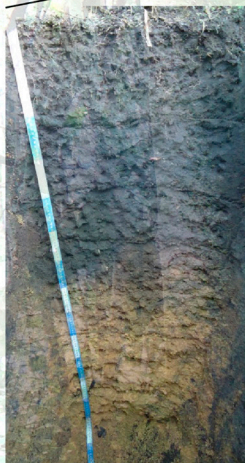


# TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA:

Atributos morfológicos, físicos, químicos e efluxo de CO<sub>2</sub> em solos sob diferentes usos na região Sul do Amazonas

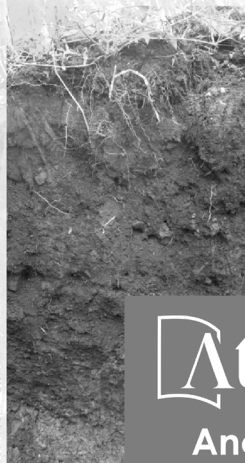
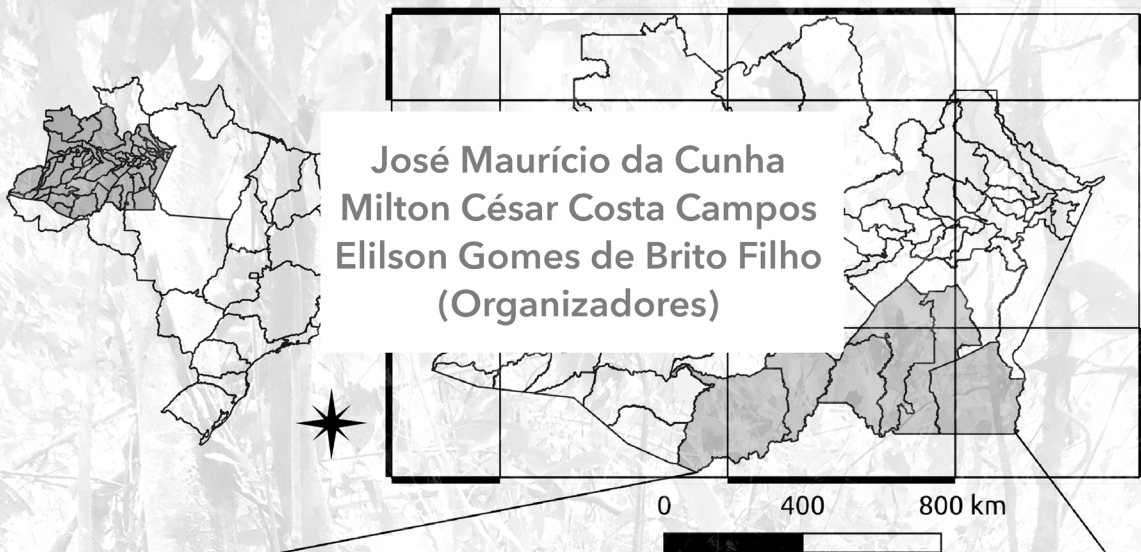


**Atena**  
Editora

Ano 2021

# TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA:

Atributos morfológicos, físicos, químicos e efluxo de CO<sub>2</sub> em solos sob diferentes usos na região Sul do Amazonas



**Atena**  
Editora

Ano 2021

### **Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

### **Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

### **Bibliotecária**

Janaina Ramos

### **Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

### **Imagens da Capa**

Shutterstock

### **Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

### **Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso  
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Alessandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atílio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Alborno – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lúvia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Prof. Me. Marcos Roberto Gregolin – Agência de Desenvolvimento Regional do Extremo Oeste do Paraná  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Sulivan Pereira Dantas – Prefeitura Municipal de Fortaleza  
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Universidade Estadual do Ceará  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista



## Terra Preta Arqueológica: atributos morfológicos, físicos, químicos e efluxo de CO2 em solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas

**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremonesi  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** José Maurício da Cunha  
Milton César Costa Campos  
Elilson Gomes de Brito Filho

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T323 Terra Preta Arqueológica: atributos morfológicos, físicos, químicos e efluxo de CO2 em solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas / Organizadores José Maurício da Cunha, Milton César Costa Campos, Elilson Gomes de Brito Filho. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-220-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.200210707>

1. Solos amazônicos. 2. Solos antrópicos. I. Cunha, José Maurício da (Organizador). II. Campos, Milton César Costa (Organizador). III. Brito Filho, Elilson Gomes de (Organizador). IV. Título.

CDD 631.409811

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou permite a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

## APRESENTAÇÃO

A ocorrência de manchas de solos alterados e/ou formadas por populações pré-colombianas no ambiente amazônico são conhecidas como Terras Pretas Arqueológicas, Terra Preta de Índio, Terra Preta Antropogênica e Terra Mulata. A fertilidade e resiliência desses solos, não só atraem agricultores locais, mas também cientistas que buscam entender como esses solos se formaram e como o conhecimento sobre eles pode ajudar a maior produtividade e sustentabilidade dos solos tropicais. Os solos antropogênicos amazônicos têm sido alvo de diversos estudos, com destaque para aqueles voltados a entender as origens das Terras Pretas de Índio, mas até o momento sua origem é controversa entre os pesquisadores. Diversas hipóteses têm sido sugeridas para a formação destas unidades pedológicas, a mais aceita é que o homem pré-colombiano os formou de forma não intencional.

As Terras Pretas de Índio (TPI) são caracterizadas por apresentarem horizonte A antropogênico e ocorrem em antigos assentamentos contendo artefatos culturais, como fragmentos de cerâmica, e sua coloração escura resulta do acúmulo de matéria orgânica decomposta na forma de carbono pirogênico como resíduo de incêndios domésticos e queima por uso da terra agrícola. Esses solos podem ocorrer em vários tipos de solo, especialmente Latossolos, Argissolos, Cambissolos e Neossolos. Estes solos ocorrem em pontos descontínuos em toda a região amazônica, particularmente no Brasil, Colômbia, Guiana, Equador, Peru e Venezuela e as manchas de solo têm tamanhos que variam de um a 500 hectares, mas a maioria (cerca de 80%) tem tamanhos de dois a cinco hectares. Geralmente estão distribuídos em elevações marginais, posição topográfica que permite boa visibilidade em seu entorno, próximo a cursos d'água, que podem ser de águas claras de cor branca ou preta. Diante disso, o presente trabalho aborda uma síntese de temas relacionados aos estudos das Terras Pretas de Índio, contribuindo com a comunidade científica em geral para a divulgação de estudos em solos antrópicos amazônicos, além de difundir junto à comunidade local a importância do uso adequado do solo da região, de forma que possa usufruir de seus benefícios de maneira sustentável.

Dessa forma, apresenta-se a coletânea de trabalhos elaborado por trinta e um pesquisadores da área distribuídos em quinze capítulos, neste consta aspectos da pedogênese, caracterização dos atributos, classificação dos solos e uso e manejo das Terras Pretas de Índio na Amazônia brasileira. Além disso, relaciona os atributos físicos, químicos e morfológicos dos solos sob TPI em comparação às diversas coberturas vegetais regionais. Acrescenta-se ainda que nestes capítulos, encontram-se estudos de caracterizações dos atributos, bem como o uso de ferramentas de análises de comparação dos atributos das TPI's, como a geoestatística, estatística univariada e multivariada, sendo a primeira uma ferramenta muito útil para o mapeamento digital de solos, mostrando a

importância da mesma no estudo da distribuição espacial dos atributos como forma de validação qualitativa dos métodos.

Destaca-se que ao sintetizar as ideias de cada tema, este trabalho se torna um instrumento de base para os alunos de graduação, pós-graduação e pesquisadores de áreas multidisciplinares, além de produtores rurais local e regional, haja vistas que apresenta uma perspectiva diagnóstica das Terras Pretas de Índio da Amazônia, a fim de que possa contribuir na orientação e tomada de decisão junto a essas comunidades. Para cada tema, há uma introdução inicial que justifica o estado da arte para as pesquisas em áreas de Terras Pretas de Índio, dando relevância às atividades relacionada tanto às caracterizações do solo, quanto ao uso e manejo adequado do solo. É importante destacar que este documento não tem como único fim ilustrar aspectos ligados a gênese das TPI's e a importância do uso e manejo adequado do solo. Mas como está escrito em linguagem de fácil compreensão, ele também é voltado para alunos de ensino médio que podem se confrontar com o desejo de atuar na área de Ciências Ambientais e Agronômicas.

Agradecemos à Pro-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPESP) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), que apoiou a realização deste livro através do EDITAL no 24/2020 – PROPESP/UFAM: PROGRAMA DE APOIO À PUBLICAÇÃO DE LIVROS – 2020, no projeto “**CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS ANTRÓPICOS E NÃO ANTRÓPICOS NA REGIÃO SUL-SUDESTE DO AMAZONAS.**

”.

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DE TERRAS PRETAS ARQUEOLÓGICAS NO SUL DO ESTADO DO AMAZONAS**

Luís Antônio Coutrim dos Santos  
Milton César Costa Campos  
Renato Eleotério de Aquino  
Anderson Cristian Bergamin  
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
José Maurício da Cunha

**DOI 10.22533/at.ed.2002107071**

### **CAPÍTULO 2..... 20**

#### **CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE TERRAS PRETAS ARQUEOLÓGICAS E DE SOLOS NÃO ANTROPOGÊNICOS NA REGIÃO DE MANICORÉ, AM**

Milton César Costa Campos  
Luís Antônio Coutrim dos Santos  
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
Bruno Campos Mantovanelli  
Marcelo Dayron Rodrigues Soares  
José Maurício da Cunha

**DOI 10.22533/at.ed.2002107072**

### **CAPÍTULO 3..... 33**

#### **VARIAÇÃO ESPACIAL DA ESTABILIDADE DOS AGREGADOS E ESTOQUE DE CARBONO EM ÁREA DE TERRA PRETA ARQUEOLOGICA SOB CULTIVO DE CACAU**

Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
Milton César Costa Campos  
Leandro Coutinho Alho  
José Maurício da Cunha  
Bruno Campos Mantovanelli

**DOI 10.22533/at.ed.2002107073**

### **CAPÍTULO 4..... 46**

#### **EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> DO SOLO EM ÁREAS DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA NA REGIÃO AMAZÔNICA**

José Maurício da Cunha  
Milton César Costa Campos  
Denilton Carlos Gaio  
Zigomar Menezes de Souza  
Marcelo Dayron Rodrigues Soares  
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
Emily Lira Simões

**DOI 10.22533/at.ed.2002107074**

**CAPÍTULO 5..... 67**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO EFLUXO DE CO<sub>2</sub> EM ÁREA DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB CULTIVO DE CACAU E CAFÉ NO MUNICÍPIO DE APUÍ, AM**

Milton César Costa Campos  
Leandro Coutinho Alho  
Marcelo Dayron Rodrigues Soares  
Diogo André Pinheiro da Silva  
José Maurício da Cunha  
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.2002107075**

**CAPÍTULO 6..... 80**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ÁREA DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB PASTAGEM EM MANICORÉ, AM**

Marcelo Dayron Rodrigues Soares  
Milton César Costa Campos  
Zigomar Menezes de Souza  
Wildson Benedito Mendes Brito  
José Mauricio da Cunha

**DOI 10.22533/at.ed.2002107076**

**CAPÍTULO 7..... 93**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DO ESTOQUE DE CARBONO E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB PASTAGEM**

Marcelo Dayron Rodrigues Soares  
Milton César Costa Campos  
José Maurício da Cunha  
Zigomar Menezes de Souza  
Ivanildo Amorim de Oliveira  
Renato Eleotério de Aquino  
Bruno Campos Mantovanelli

**DOI 10.22533/at.ed.2002107077**

**CAPÍTULO 8..... 106**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM TERRA PRETA DE ÍNDIO SOB CULTIVO DE CAFÉ CONILON**

Pedro Cardoso Mota Júnior  
Milton César Costa Campos  
Bruno Campos Mantovanelli  
Uilson Franciscon  
José Mauricio da Cunha

**DOI 10.22533/at.ed.2002107078**

**CAPÍTULO 9..... 122**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E ESTOQUE DE CARBONO EM ÁREAS DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB PASTAGEM E FEIJÃO GUANDU EM NOVO ARIPUANÃ, AM**

José Maurício da Cunha

Denilton Carlos Gaio  
Milton César Costa Campos  
Marcelo Dayron Rodrigues Soares  
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
Alan Ferreira Leite de Lima

**DOI 10.22533/at.ed.2002107079**

**CAPÍTULO 10..... 144**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA TEXTURA DO SOLO EM ÁREA DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB DIFERENTES USOS NA REGIÃO SUL DO AMAZONAS**

Elilson Gomes de Brito Filho  
Bruno Campos Mantovanelli  
Wildson Benedito Mendes Brito  
Julimar Fonseca da Silva  
Milton César Costa Campos  
José Maurício da Cunha

**DOI 10.22533/at.ed.20021070710**

**CAPÍTULO 11..... 153**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS DO SOLO EM ÁREA DE TERRA PRETA ARQUEOLOGICA SOB CULTIVO DE CACAU EM APUÍ, AM**

Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
Milton César Costa Campos  
Uilson Franciscon  
Leandro Coutinho Alho  
Zigomar Menezes de Souza  
José Maurício da Cunha  
Anderson Cristian Bergamin

**DOI 10.22533/at.ed.20021070711**

**CAPÍTULO 12..... 173**

**SPATIAL VARIABILITY OF AGGREGATES AND ORGANIC CARBON UNDER THREE DIFFERENT USES OF INDIAN BLACK EARTH IN SOUTHERN AMAZONAS**

Romário Pimenta Gomes  
Milton César Costa Campos  
Marcelo Dayron Rodrigues Soares  
Douglas Marcelo Pinheiro Silva  
José Maurício Cunha  
Uilson Franciscon  
Laercio Santos Silva  
Ivanildo Amorim Oliveira  
Wildson Benedito Mendes Brito

**DOI 10.22533/at.ed.20021070712**

**CAPÍTULO 13..... 187**

**FRactal Features of Soil Texture and Physical Attributes in Archaeological Dark Earth under Different Uses in Western Amazon**

Half Weinberg Corrêa Jordão



Milton César Costa Campos  
José Maurício da Cunha  
Ivanildo Amorim de Oliveira  
Laércio Santos Silva  
Ludmila de Freitas  
Romário Pimenta Gomes  
Elilson Gomes de Brito Filho  
Bruno Campos Mantovanelli

**DOI 10.22533/at.ed.20021070713**

**CAPÍTULO 14.....206**

**SPATIAL VARIATION OF CHEMICAL ATTRIBUTES IN ARCHAEOLOGICAL DARK EARTH UNDER COCOA CULTIVATION IN WESTERN AMAZON**

Ronerés Deniz Barbosa  
Alan Ferreira Leite de Lima  
Elilson Gomes de Brito Filho  
Milton César Costa Campos  
José Maurício da Cunha  
Bruno Campos Mantovanelli  
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
Fernando Gomes de Souza

**DOI 10.22533/at.ed.20021070714**

**CAPÍTULO 15.....225**

**VARIABILITY AND SPATIAL CORRELATION OF AGGREGATES AND ORGANIC CARBON IN INDIAN DARK EARTH IN APUÍ REGION, AM**

Romário Pimenta Gomes  
Milton César Costa Campos  
Wildson Benedito Mendes Brito  
José Maurício da Cunha  
Laércio Santos Silva  
Ivanildo Amorim Oliveira  
Ludmila de Freitas

**DOI 10.22533/at.ed.20021070715**

**SOBRE OS ORGANIZADORES .....239**

# CAPÍTULO 11

## VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS DO SOLO EM ÁREA DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB CULTIVO DE CACAU EM APUÍ, AM

Data de aceite: 18/05/2021

Data de submissão: 11/05/2021

**Anderson Cristian Bergamin**

Universidade Federal de Rondônia  
Rolim de Moura – Rondônia  
<http://orcid.org/0000-0002-3159-2219>

**Douglas Marcelo Pinheiro da Silva**

Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente -  
Universidade Federal do Amazonas  
Humaitá – Amazonas  
<http://orcid.org/0000-0001-8147-5726>

**Milton César Costa Campos**

Centro de Ciências Agrárias – Universidade  
Federal da Paraíba  
Areia - Paraíba  
<https://orcid.org/0000-0002-8183-7069>

**Uilson Franciscon**

Universidade Federal do Amazonas  
Humaitá – Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/1521927742256456>

**Leandro Coutinho Alho**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Amazonas  
Lábrea – Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/4670525420962987>

**Zigomar Menezes de Souza**

Faculdade de Engenharia Agrícola –  
Universidade Estadual de Campinas  
Campinas – São Paulo  
<https://orcid.org/0000-0001-9302-6725>

**José Maurício da Cunha**

Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente -  
Universidade Federal do Amazonas  
Humaitá – Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/3425545536495518>

**RESUMO:** Solos com horizonte A formado pela atividade humana, de caráter antropogênico A horizonte, são encontrados na Região Amazônica. Poucos estudos examinaram o espaço distribuição das propriedades desses solos. Mapeamos a variabilidade espacial das propriedades do solo em área de Terra Preta Arquelógica (TPA) na Amazônia Brasileira. Uma grade de amostragem foi definida em uma área de 42 x 88 m sob cultivo de cacau na qual os pontos de amostragem foram estabelecidos no espaçamento de 6 x 8 m, totalizando 88 pontos. Amostras foram coletadas nas camadas de profundidade de 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. As análises de textura do solo, estabilidade de agregados e carbono orgânico (CO) foram realizadas em amostras de solo deformadas. Amostras indeformadas foram utilizadas para determinar a macroporosidade do solo. (Macro), microporosidade (Micro), porosidade total (PT) e resistência do solo à penetração (RSP). Os resultados foram analisados por estatística descritiva, correlação de Pearson ( $p < 0,01$ ), e geoestatística. Densidade aparente do solo, volume total de poros e diâmetro médio geométrico dependem da quantidade total de OC na área TPA. Aumento da densidade do solo e RP são proporcionais a uma diminuição no conteúdo de OC e menor Micro e TP. Além disso, a resistência do solo à

penetração é influenciada pela água do solo e pelo teor de argila com a profundidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Terra Preta de Índio, Sistemas de manejo, Solos amazônicos, Solos antropogênicos.

## SPATIAL VARIABILITY OF SOIL PROPERTIES IN ARCHEOLOGICAL DARK EARTH SITES UNDER CACAO CULTIVATION

**ABSTRACT:** Soils with an A horizon formed by human activity, an anthropogenic A horizon, are found in the Amazon Region. Few studies have examined the spatial distribution of the properties of these soils. We mapped the spatial variability of some soil properties in an area of Archaeological Dark Earth (ADE) in the Brazilian Amazon. A sampling grid was defined over an area of 42 × 88 m under cacao cultivation in which sampling points were established at a spacing of 6 × 8 m, for a total of 88 points. Samples were collected from the 0.00-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.20, and 0.20-0.30 m depth layers. Soil texture, aggregate stability, and organic carbon (OC) analyses were performed on disturbed soil samples. Undisturbed samples were used to determine soil microporosity (Macro), microporosity (Micro), total porosity (TP), and soil resistance to penetration (RP). The results were analyzed by descriptive statistic, Pearson correlation ( $p < 0.01$ ), and geostatistics. Soil bulk density, total pore volume, and geometric mean diameter are dependent on the total amount of OC in the ADE area. Increased soil bulk density and RP are proportional to a decrease in OC content and lower Micro and TP. Moreover, soil resistance to penetration is influenced by soil water and clay content with depth.

**KEYWORDS:** Indian Dark Earth, management systems, Amazon soils, anthropogenic soils.

## 1 | INTRODUÇÃO

Na região Amazônica ocorrem diversos tipos de solos, dentre estes aqueles com horizonte A antrópico, que possivelmente foram formados por meio de ações humanas promovidas no solo e em seus atributos morfológicos, físicos e químicos (SANTOS et al., 2013). As Terras Pretas Arqueológicas (TPAs) normalmente localizam-se em antigos assentamentos indígenas, e tem como características marcante presença de artefatos cerâmicos e culturais, coloração escura com grande depósito estável de matéria orgânica (CAMPOS et al., 2011).

A matéria orgânica do solo influencia direta e indiretamente os atributos do solo (VIANA et al., 2011) e o seu estudo em agroecossistemas brasileiros é base para que se alcance a sustentabilidade agrícola (CUNHA et al., 2007). É sabido também que práticas de uso e manejo dos solos, e suas variações, interferem no equilíbrio natural dos ecossistemas alterando os componentes orgânicos tanto em quantidade como em qualidade (MELO & SCHAEFER, 2009).

Um dos atributos físicos do solo influenciado pela matéria orgânica é a agregação que está relacionada com a disponibilidade de água e ar para as raízes e microbiota, e com a resistência mecânica do solo à penetração (VIEIRA et al., 2010). Além da agregação do solo a matéria orgânica desempenha outras funções vitais ao ciclo da vida que vão

desde a atividade de microrganismos e da fauna do solo, até a ação positiva sobre a estabilidade dos agregados, porosidade e densidade do solo, contribuindo para diminuição da compactação do solo (SPERA et al., 2010).

Por outro lado, o manejo do solo e de plantas podem promover a degradação física, reduzindo a estabilidade de agregados, condutividade hidráulica e aumentando a densidade do solo, resistência do solo à penetração e a perda de carbono orgânico total (HICKMANN et al., 2012) e, conseqüentemente, alterando a evolução de gases para a atmosfera (CHAVES & FARIAS, 2008).

Considerando que a variabilidade espacial dos atributos do solo ocorre naturalmente devido a fatores pedogênicos diversos, somando-se ao manejo realizado pelo homem, acentuam a variação dos atributos do solo (OLIVEIRA et al. 2013), portanto, a manutenção e melhoria da qualidade do solo é um fator chave para a estabilidade, sustentabilidade e produtividade de ecossistemas naturais e de agroecossistemas. Desta forma, compreendendo e quantificando o impacto dos sistemas de manejo do solo na sua qualidade física torna-se possível o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (SILVA et al., 2008).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos atributos do solo em área de Terra Preta Arqueológica no município de Apuí, AM.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O estudo localizou-se no município de Apuí, Amazonas, Brasil, situado ao longo da rodovia Transamazônica (BR-230), sob as coordenadas geográficas de 7°12'05" S e 59°39'37" W. Segundo a classificação de Köppen o clima da região pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e tipo climático Am (chuvas do tipo monção), apresentando um período seco de pequena duração. A pluviosidade está limitada pelas isoietas de 2.250 e 2.750 mm, com período chuvoso iniciando em Outubro e prolongando-se até Junho. As temperaturas médias anuais variam entre 25°C e 27°C e a umidade relativa fica entre 85 e 90%.

A geologia da região apresenta arenitos da formação Beneficiente, recoberto por pacote argiloso do terciário. Em relação aos solos presentes no município, ocorre predominância das classes: Argissolos e Latossolos, sendo que o solo da área de estudo foi classificado como Argissolo Amarelo Eutrofico segundo Embrapa, (2013), e predomina a vegetação primária formada por Floresta Tropical Densa, constituída por árvores adensadas (SDS, 2004).

A área de TPA vem sendo cultivado à quatorze anos, nos primeiros seis anos abrigou o cultivos de arroz, milho, feijão e melancia, e posteriormente foi inserido a cultura do cacau que permanece até o presente estudo. Neste local foi delimitado uma malha de 42 x 88 m, com espaçamentos de 6 x 8 m, totalizando 88 pontos amostrais, nestes locais coletou-se

amostras nas profundidades 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.

Nos pontos de cruzamento da malha foram coletados blocos de solo com estrutura preservada nas profundidades 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m para determinação da estabilidade dos agregados do solo. Inicialmente o solo foi seco ao ar e passado em peneira de 9,52 e 4,76 mm, em seguida a determinação da estabilidade de agregados foi realizada pelo método de peneiramento úmido. Os agregados retidos na peneira de 4,76 mm foram colocados sobre um jogo de peneiras com malhas de 2,0; 1,0; 0,5; 0,25; 0,105 e 0,063 mm. As amostras foram submetidas a oscilações verticais durante 15 minutos, numa frequência de 32 oscilações por minuto. Foi adotado como índice de estabilidade o diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP), cujo cálculo foi feito segundo Kemper & Rosenau (1986).

Para as determinações da macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e volume total poros foram coletadas amostras com estrutura preservada nos pontos amostrais, utilizando-se anéis volumétricos, nas profundidades de 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. No laboratório, as amostras foram preparadas retirando-se das extremidades dos anéis o excesso de solo e, em seguida, foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água numa bandeja plástica, até atingir cerca de  $\frac{2}{3}$  da altura das amostras. Após a saturação, as amostras foram pesadas e levadas à mesa de tensão para determinação da microporosidade do solo, sendo submetidas a uma tensão de 0,006 MPa (Embrapa, 1997).

Após atingirem o equilíbrio em um potencial matricial de -0,006 MPa, as amostras foram pesadas e, em seguida, foi medida a resistência do solo à penetração (RP), utilizando-se um penetrógrafo eletrônico modelo MA-933, marca Marconi, equipado com uma célula de carga de 200 N, haste com cone de 4 mm de diâmetro de base e semi-ângulo de 30°, com velocidade constante de penetração de 0,1667 mm s<sup>-1</sup>, receptor e interface acoplado a um microcomputador, para registro das leituras por meio de um *software* próprio do equipamento. As amostras obtidas nos 5 mm superiores e inferiores das amostras foram descartadas, visando eliminar o efeito da periferia da amostra (Bradford, 1986).

A análise de textura foi realizada pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 15 min. seguindo metodologia proposta pela Embrapa (1997). O carbono orgânico total foi determinado pelo método de Walkley-Black modificado por Yeomans & Bremner (1988).

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, sendo determinados a média, valores máximos e mínimos, coeficientes de assimetria e curtose, coeficiente de variação (CV) e distribuição de frequências dos dados. Esta análise foi realizada no *software* estatístico Minitab 14 (Minitab, 2000).

Para a caracterização da variabilidade espacial, foi utilizada a análise geoestatística. O semivariograma experimental foi estimado pela equação (1).

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

sendo:  $\gamma(h)$  - valor da semivariância para uma distância  $h$ ;  $N(h)$  - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância;  $Z(x_i)$  - valor do atributo  $Z$  na posição  $x_i$ ;  $Z(x_i+h)$  - valor do atributo  $Z$  separado por uma distância  $h$  da posição  $x_i$ .

Os semivariogramas experimentais foram escolhidos com base no número de pares envolvidos no cálculo da semivariância dos primeiros lags, presença de patamar claramente definido (Burrough & McDonnel, 2000) e o resultado da técnica de Jack Knifing (Vauclin et al., 1983).

Após o ajuste dos modelos matemáticos permissíveis foi feita à interpolação dos dados por meio da krigagem. A análise geoestatística foi realizada no *software* GS+ e os mapas de krigagem no *software* Surfer versão 8.00.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística descritiva dos atributos estudados são apresentadas nos Quadros 1 e 2. Observa-se que todos os atributos apresentaram valores de média e mediana próximos, e assimetria e curtose próximo de zero, com exceção do carbono orgânico total (COT) na profundidade de 0,05-0,10 e o silte nas profundidades 0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m que apresentaram valores de curtose acima de 1, caracterizando assim uma distribuição simétrica dos dados. De acordo com Diggle & Ribeiro Júnior (2007) a proximidade dos valores média e mediana assegura uma distribuição simétrica dos dados, o que significa que a dispersão dos valores não apresenta caudas muito alongadas, o que poderia comprometer a análise geoestatística e ocorre somente quando os valores de assimetria e curtose são sensíveis a valores extremos de forma que um único valor pode exercer grande influência nos seus resultados.

Estatística Descritiva	MaP	MiP	VTP	Ds	DMG	DMP	COT
	-----%-----			Mg m <sup>-3</sup>	-----mm-----		g kg <sup>-1</sup>
0,00 - 0,05 m							
Média	19,96	49,05	69,00	0,90	2,67	3,13	114,52
Mediana	19,44	49,18	68,54	0,89	2,67	3,14	114,39
<sup>1</sup> DP	5,64	4,40	4,77	0,11	0,50	0,20	8,12
Variância	31,79	19,33	22,75	0,01	0,25	0,04	65,90
<sup>2</sup> CV%	28,24	8,96	6,91	11,76	18,87	6,30	7,09
Assimetria	0,38	-0,74	0,16	0,45	-0,34	-0,64	-0,08
Curtose	-0,54	1,54	0,91	0,16	0,91	1,54	-0,88
<sup>3</sup> d	0,07*	0,07* <sup>s</sup>	0,08*	0,09* <sup>s</sup>	0,09*	0,01*	0,07*
0,05 - 0,10 m							
Média	19,41	46,76	66,17	0,95	2,55	3,01	105,45
Mediana	18,78	47,01	65,48	0,95	2,54	3,05	104,66
<sup>1</sup> DP	5,30	4,82	4,36	0,09	0,45	0,21	4,69
Variância	28,10	23,28	19,00	0,01	0,20	0,04	21,97
<sup>2</sup> CV%	27,32	10,32	6,59	9,34	17,50	7,00	4,44
Assimetria	0,65	-0,30	-0,23	0,22	0,02	-0,58	1,08
Curtose	0,18	1,36	4,18	0,44	0,61	0,27	1,85
<sup>3</sup> d	0,07*	0,07*	0,05*	0,10* <sup>s</sup>	0,05*	0,08*	0,04*
0,10 - 0,20 m							
Média	22,38	43,37	65,75	0,95	2,53	2,52	107,43
Mediana	22,41	42,72	66,42	0,94	2,63	2,61	101,41
<sup>1</sup> DP	5,25	3,83	4,31	0,10	0,43	0,50	6,44
Variância	27,54	14,71	18,59	0,01	0,19	0,25	41,42
<sup>2</sup> CV%	23,45	8,84	6,56	10,62	16,85	19,96	6,35
Assimetria	-0,29	-0,04	-0,69	0,62	-0,65	-0,36	0,72
Curtose	-0,33	1,18	0,70	0,32	0,06	0,34	0,43
<sup>3</sup> d	0,07*	0,08*	0,08*	0,09* <sup>s</sup>	0,02*	0,05* <sup>s</sup>	0,07*
0,20 – 0,30 m							
Média	21,65	41,98	63,63	0,98	2,50	2,51	101,01
Mediana	21,36	41,73	63,95	0,97	2,57	2,62	101,48
<sup>1</sup> DP	4,79	3,60	4,11	0,13	0,45	0,46	6,68

Variância	22,96	12,98	16,92	0,02	0,21	0,21	44,60
<sup>2</sup> CV%	22,13	8,58	6,46	13,46	18,15	18,22	6,24
Assimetria	-0,03	0,37	-0,21	-1,48	-0,25	-0,20	-0,36
Curtose	-0,26	0,73	-0,04	9,26	0,23	-0,04	0,89
<sup>3</sup> d	0,05*	0,05*	0,07*	0,09*	0,09*	0,08* <sup>ns</sup>	0,10* <sup>s</sup>

<sup>1</sup>DP: desvio padrão; <sup>2</sup>CV: coeficiente de variação; <sup>3</sup>d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, \*significativo a 5% de probabilidade.

Quadro 1. Estatística descritiva da macroporosidade (MaP), microporosidade (MiP), volume total de poros (VTP), densidade do solo (Ds), diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico total (COT) em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau no município de Apuí, AM.

Em relação ao teste de normalidade (Kolmogorov-Smirnov) (Quadros 1 e 2) todos os atributos em todas as profundidades estudadas apresentaram distribuição normal, assemelhando aos resultados encontrados por Aquino et al. (2014a) que estudou solos antropogênicos e não antropogênicos no sul do Amazonas. Para Isaaks & Srivastava (1989), a normalidade dos dados é importante, pois isso indica que a média e a variação dos dados são constantes na área de estudo, o que foi observado, ou seja, ocorrência de estacionaridade necessária ao uso da geoestatística.

De acordo com a classificação do coeficiente de variação (CV) proposta por Warrick & Nielsen (1980), que classificaram como baixa variabilidade CV < 12%, média variabilidade CV entre 12 e 60% e alta variabilidade CV > 60%, observa-se que parte dos atributos estudados apresentaram baixa variabilidade, com exceção do DMG, MaP, RSP, areia e argila em todas as profundidades estudadas e DMP nas profundidades 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, MiP na profundidade 0,00-0,05 m e Ds na profundidade de 0,20-0,30 m que apresentaram média variabilidade, estes resultados são considerados promissores já que estas variáveis normalmente tem alta variação no campo conforme afirma Aquino et al. (2014 b).

Os valores médios do DMP e DMG são maiores nas camadas superficiais e decrescem em profundidade coincidindo com o comportamento dos teores do COT (Quadro 1). Segundo Santos et al. (2013) em áreas de TPAs o carbono orgânico desempenha um papel determinante na formação e estabilização dos agregados, e a diminuição de seu conteúdo no solo alteram a estrutura do solo, já que a agregação, indiretamente, afeta outros atributos como porosidade, aeração, capacidade de retenção, infiltração de água.



Estatística Descritiva	Areia	Silte	Argila	RSP	Us (vol)
	-----g kg <sup>-1</sup> -----			Mpa	%
0,00 - 0,05 m					
Média	221,1	572,8	204,6	0,89	49,01
Mediana	217,5	577,0	205,5	0,84	48,89
<sup>1</sup> DP	49,6	32,0	44,1	0,37	4,39
Variância	2458,2	1024,5	1941,3	0,14	19,28
<sup>2</sup> CV%	22,4	5,6	21,4	32,63	8,96
Assimetria	0,37	-0,54	-0,03	0,34	-0,72
Curtose	-0,30	1,18	0,10	-0,48	1,53
<sup>3</sup> d	0,06* <sup>s</sup>	0,09*	0,08*	0,08*	0,09*
0,05 - 0,10 m					
Média	195,2	534,0	265,4	0,91	46,76
Mediana	192,0	544,5	265,0	0,85	47,01
<sup>1</sup> DP	38,7	34,5	53,4	0,34	4,83
Variância	1499,6	1192,1	2850,0	0,11	23,40
<sup>2</sup> CV%	19,8	6,4	20,1	30,00	10,35
Assimetria	0,38	-0,17	0,56	-0,12	-0,30
Curtose	-0,05	0,82	0,40	-0,54	1,32
<sup>3</sup> d	0,07*	0,09* <sup>s</sup>	0,07*	0,07*	0,06*
0,10-0,20 m					
Média	188,0	537,9	274,2	1,11	43,36
Mediana	181,0	536,5	275,5	1,10	42,72
<sup>1</sup> DP	36,10	37,6	47,97	0,34	3,83
Variância	1302,4	1413,8	2300,9	0,14	14,70
<sup>2</sup> CV%	19,2	7,0	17,5	41,62	8,84
Assimetria	0,57	0,46	-0,05	0,52	-0,04
Curtose	0,05	1,26	-0,81	-0,48	1,18
<sup>3</sup> d	0,09*	0,07*	0,06*	0,07*	0,09*
0,20 – 0,30 m					
Média	185,2	511,6	303,2	1,13	41,92
Mediana	182,5	516,5	301,0	1,12	41,73
<sup>1</sup> DP	32,0	48,6	65,3	0,36	3,63

Variância	1025,9	2359,3	4269,2	0,13	13,23
<sup>2</sup> CV%	17,3	9,5	21,5	38,96	8,68
Assimetria	0,56	0,17	0,09	0,42	0,39
Curtose	0,11	0,43	-0,46	-0,34	0,63
<sup>3</sup> d	0,06*	0,08*	0,05*	0,08*	0,05*

RSP: resistência do solo à penetração; Us (vol.): umidade volumétrica do solo. <sup>1</sup>DP: desvio padrão; <sup>2</sup>CV: coeficiente de variação; <sup>3</sup>d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov; \*significativo a 5 % de probabilidade.

Quadro 2. Estatística descritiva da areia, silte, argila, resistência do solo a penetração (RSP), umidade do solo (Us) em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau no município de Apuí, AM.

A densidade do solo apresenta-se valor abaixo de 1 Mg m<sup>-3</sup>, indicando baixa densidade do solo (Quadro 1 e 2) verificou-se ainda aumento da Ds com o aumento de RSP e baixos teores de COT e diminuição da MiP e VTP, evidenciando assim o papel determinante do carbono orgânico no comportamento dessas variáveis conforme destacam Campos et al. (2011) que estudou perfis de TPA na região do médio Rio Madeira, embora tenha encontrado valores de COT nos horizontes antropogênicos, oscilando entre 43,7 e 80,3 g kg<sup>-1</sup>, valores estes abaixo dos encontrados neste trabalho. Santos et al. (2011) estudando atributos físicos em terras pretas arqueológicas na região sul do Amazonas encontraram valores de densidade do solo (Ds) com medias semelhantes a este trabalho na superfície e aumento em profundidade.

Os valores médios da RSP aumentaram com a profundidade coincidente com a diminuição da média da Us, evidenciando a influência da umidade na resistência do solo a penetração. Além disso, verificou-se o aumento dos teores de argila em profundidade, este fato é explicado que com o aumento da profundidade ultrapassa-se o horizonte antrópico e adentra os horizontes de natureza mais próxima ao material de origem, fato também observado por Santos et al. (2013) em estudo com TPAs na região de Apuí e Manicoré, AM.

Os resultados das análises geoestatísticas para o MaP, MiP, VTP, Ds, DMG, DMP, COT, RSP, Us, areia silte e argila são apresentados nos Quadros 3 e 4, verificou-se dependência espacial para todos os atributos estudados, com exceção para o COT na profundidade de 0,0-0,05 m, MiP e Us nas profundidades 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m os quais apresentaram efeito pepita puro, ou seja, variação aleatória na área de estudo. Os semivariogramas dos atributos do solo que apresentaram dependência espacial ajustaram-se predominantemente aos modelos exponencial e esférico (Quadros 3 e 4), corroborando com outros estudos que apontam serem os modelos que melhor se ajustam aos atributos do solo (SOUZA et al., 2009; CAJAZEIRA & ASSIS JUNIOR, 2011).

Os valores da validação cruzada (VC) foram a partir de 0,60, com exceção apenas do DMP na profundidade de 0,0-0,05 m que apresentou VC de 0,58 (Quadro 3), segundo

Wojciechowski et al., (2009) os valores da VC variam de 0 a 1, cuja os valores mais próximos de 1 apontam os mais eficiente modelos para representar o fenômeno estudado.

Parâmetros	MaP	MiP	VTP	Ds	DMG	DMP	COT
0,00-0,05 m							
Modelo	Exp	Lin	Exp	Exp	Exp	Esf	Lin
Efeito Pepita	2,60	-	1,50	0,0009	0,041	0,013	-
Patamar	27,80	-	16,0	0,0089	0,221	0,027	-
Alcance (m)	24	-	21	22	35	37	-
<sup>1</sup> R <sup>2</sup>	0,94	-	0,80	0,83	0,94	0,99	-
<sup>2</sup> GDE (%)	9	-	9	10	19	48	-
<sup>3</sup> VC%	0,74	-	0,71	0,81	0,70	0,58	-
0,05-0,10 m							
Modelo	Exp	Lin	Esf	Exp	Exp	Exp	Exp
Efeito Pepita	3,0	-	3,2	0,0008	0,018	0,007	2,70
Patamar	20,5	-	14,9	0,0006	0,135	0,039	22,67
Alcance (m)	24	-	20	30	26	31	26
<sup>1</sup> R <sup>2</sup>	0,84	-	0,96	0,89	0,94	0,98	0,85
<sup>2</sup> GDE (%)	15	-	22	13	13	18	12
<sup>3</sup> VC%	0,63	-	0,60	80	0,80	0,78	0,70
0,10-0,20 m							
Modelo	Exp	Lin	Esf	Exp	Esf	Esf	Exp
Efeito Pepita	6,3	-	5,3	0,0008	0,009	0,047	4,90
Patamar	20,5	-	13,8	0,0008	0,194	0,196	42,85
Alcance (m)	30	-	27	28	43	39	25
<sup>1</sup> R <sup>2</sup>	0,86	-	0,95	0,97	0,97	0,98	0,90
<sup>2</sup> GDE (%)	31	-	38	10	5	24	11
<sup>3</sup> VC%	0,61	-	0,70	0,75	0,99	89	0,75
0,20-0,30 m							
Modelo	Exp	Exp	Esf	Exp	Esf	Exp	Exp
Efeito Pepita	1,56	1,1	5,0	0,0015	0,017	0,021	4,20
Patamar	22,4	11,4	16,2	0,0096	0,162	0,204	45,63
Alcance (m)	22	20	21	20	11	34	24
<sup>1</sup> R <sup>2</sup>	0,62	0,93	0,92	0,95	0,94	0,99	0,91
<sup>2</sup> GDE (%)	7	10	31	16	11	10	9
<sup>3</sup> VC%	0,62	0,73	0,93	0,71	0,76	0,80	0,85

Est C: estoque de carbono do solo; COT: carbono orgânico total; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Ds: Densidade do solo; Esf.: Esférico; Exp.: Exponencial; Lin: Linear; <sup>1</sup>R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; <sup>2</sup>GDE%: grau de dependência espacial e; <sup>3</sup>VC: validação cruzada.

Quadro 3. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas do MaP, MiP, VTP, Ds, DMG, DMP e COT do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau no município de Apuí, AM.

O grau de dependência espacial (GDE), classificado de acordo com Cambardella et al. (1994), que avalia em termos proporcionais o efeito pepita sobre o patamar ( $C_0/(C_0+C_1)$ ), mostraram-se, de modo geral, forte dependência espacial (GDE < 25%) para os atributos estudados, todavia, o MaP na profundidade 0,10–0,20 m, VTP nas profundidades 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, DMP da profundidade de 0,0-0,05 m, silte na profundidade de 0,00-0,05 e RPS na profundidade 0,20-0,30 m mostraram moderada variabilidade (25 e 75 %) (Quadros 3 e 4). O atributo COT na camada de 0,0-0,05 m, MiP nas profundidades 0,0-,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m e Us nas profundidades 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m (Quadros 3 e 4) apresentaram efeito pepita puro, isto é, ocorreu variação aleatória dos atributos na área estudada, resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al. (2013) que estudou solos sob diferentes usos na Amazônia.

Os resultados dos alcance da dependência espacial não apresentaram grandes variações, a argila foi o atributo de maior variação (26 a 54 m), seguido do DMG (alcance de 26 a 43 m) e areia (alcance entre 30 e 54 m), as demais apresentaram pequenas variações, o DMP variou de 31 a 39 m, já a Ds, MiP, MaP e VTP ficaram entre 20 a 30 m e COT, RSP, Us e silte entre 20 e 31 m (Quadros 3 e 4), semelhante aos resultados encontrados por Aquino et al. (2014 a) que estudou solos antropogênicos e não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. A informação sobre o alcance podem auxiliar no subsidio de futuros estudos envolvendo amostragem de solos no que se refere a densidade amostral (AQUINO et al., 2014 b).

Parâmetros Geoestatísticos	RSP	Us (vol)	Areia	Silte	Argila
	Mpa	%	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
0,05-0,10 m					
Modelo	Exp	Exp	Esf	Esf	Exp
Efeito Pepita	0,015	2,80	519	256	256
Patamar	0,121	17,74	2235	937	1942
Alcance (m)	20	20	30	23	26
<sup>1</sup> R <sup>2</sup>	0,90	0,91	0,97	0,95	0,84
<sup>2</sup> GDE (%)	12	16	23	27	13
<sup>3</sup> VC%	0,89	0,70	0,85	0,87	0,95
0,05-0,10 m					
Modelo	Exp	Lin	Exp	Exp	Exp
Efeito Pepita	0,02	-	104	91	484
Patamar	0,09	-	1091	910	2245
Alcance (m)	34	-	54	31	51
<sup>1</sup> R <sup>2</sup>	0,97	-	0,96	0,94	0,99
<sup>2</sup> GDE (%)	22	-	9,5	10	21,6
<sup>3</sup> VC%	0,75	-	0,90	0,91	0,96

0,10-0,20 m					
Modelo	Exp	Lin	Exp	Exp	Exp
Efeito Pepita	0,012	-	67	148	138
Patamar	0,110	-	1081	1539	1735
Alcance (m)	24	-	35	26	54
<sup>1</sup> R <sup>2</sup>	0,90	-	0,96	0,95	0,94
<sup>2</sup> GDE (%)	11	-	6	10	8
<sup>3</sup> VC%	0,87	-	0,94	0,78	0,94

0,20-0,30 m					
Modelo	Esf	Exp	Exp	Exp	Exp
Efeito Pepita	0,044	1,72	129	449	356
Patamar	0,110	13,30	863	1880	3392
Alcance (m)	26	22	54	21	29
<sup>1</sup> R <sup>2</sup>	0,90	0,84	0,94	0,96	0,98
<sup>2</sup> GDE (%)	40	13	15	24	11
<sup>3</sup> VC%	0,89	0,62	0,91	0,76	0,89

RSP= resistência do solo a penetração; Ds: densidade do solo; Us (vol): umidade volumétrica do solo; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; VTP: volume total de poros; Esf: Esférico; Exp: Exponencial; Lin: Linear; <sup>1</sup>EPP: efeito pepita puro; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; GDE%: grau de dependência espacial e; VC: validação-cruzada.

Quadro 1. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas da resistência do solo a penetração (RSP), umidade volumétrica (Us), areia, silte e argila em diferentes profundidades em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau no município de Apuí, AM.

Os mapas da MaP e MiP (Figura 1) mostram que essas variáveis apresentaram distribuição com pouca relação entre si (Figura 1), entretanto relacionam-se com o VTP (Figura 2) com uma faixa marcante nas profundidades 0,10-,20 e 0,20-0,30 m provavelmente porque essa profundidade é pouco influenciada pelo manejo do cacau. Outro aspecto importante é que nas zonas de maior VTP maior os valores de densidade do solo, por outro lado, quanto maiores os teores de COT menores as densidade do solo (Figura 2 e 4) evidenciando a grande papel do carbono orgânico nesta variável em áreas de TPA, como ressaltado por Campos et al. (2012).

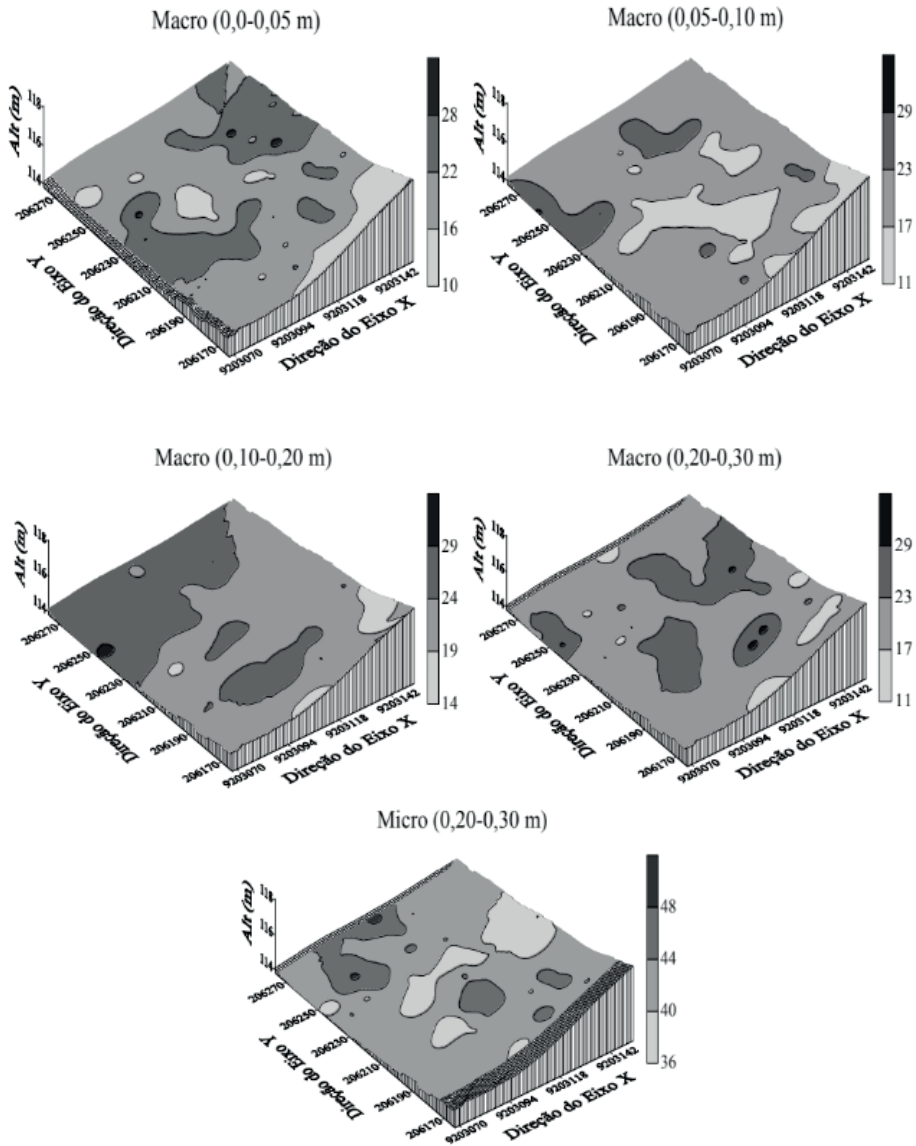


Figura 1. Mapas de krigagem da MaP nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 e MiP na profundidade de 0,20-0,30 m em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau no município de Apuí, AM.

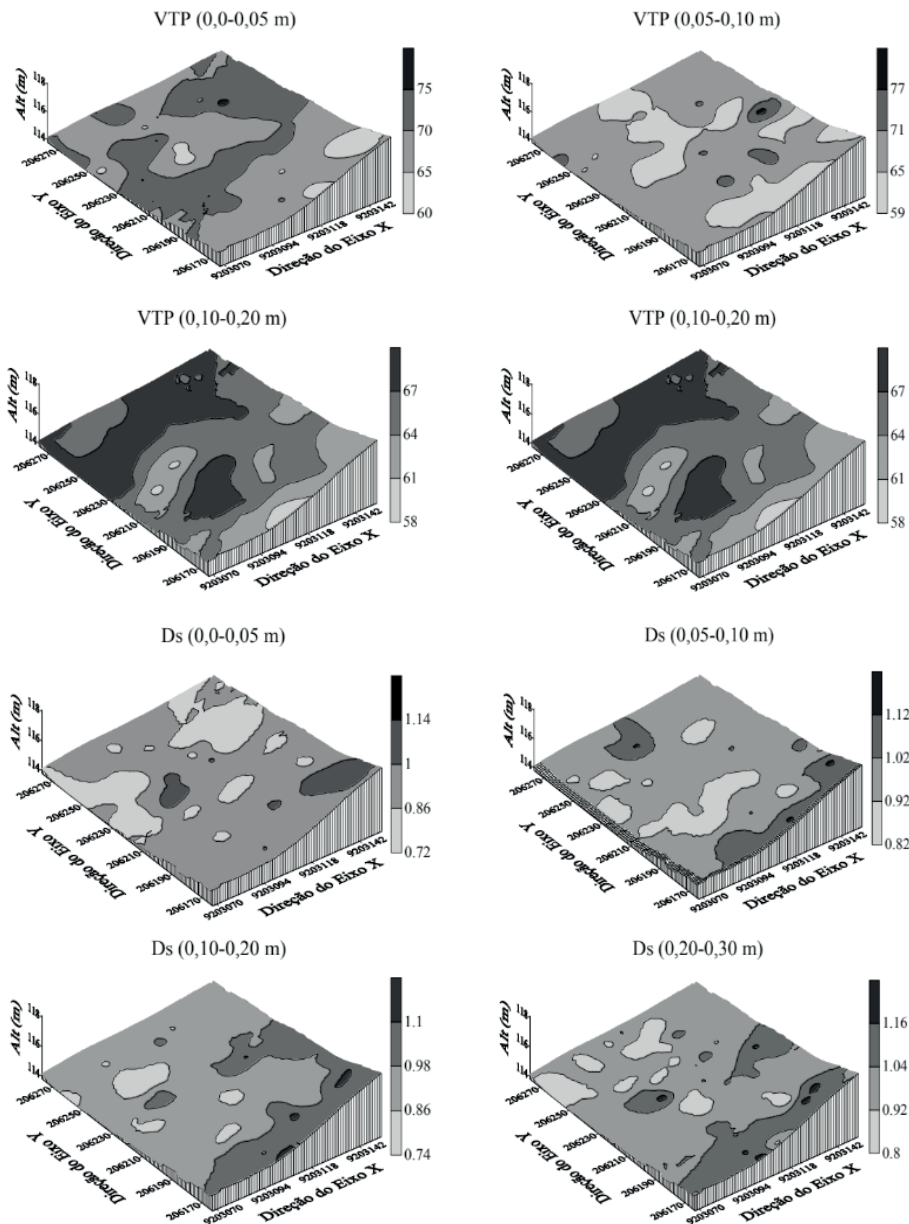


Figura 2. Mapas de krigagem do VTP e Ds nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau no município de Apuí, AM.

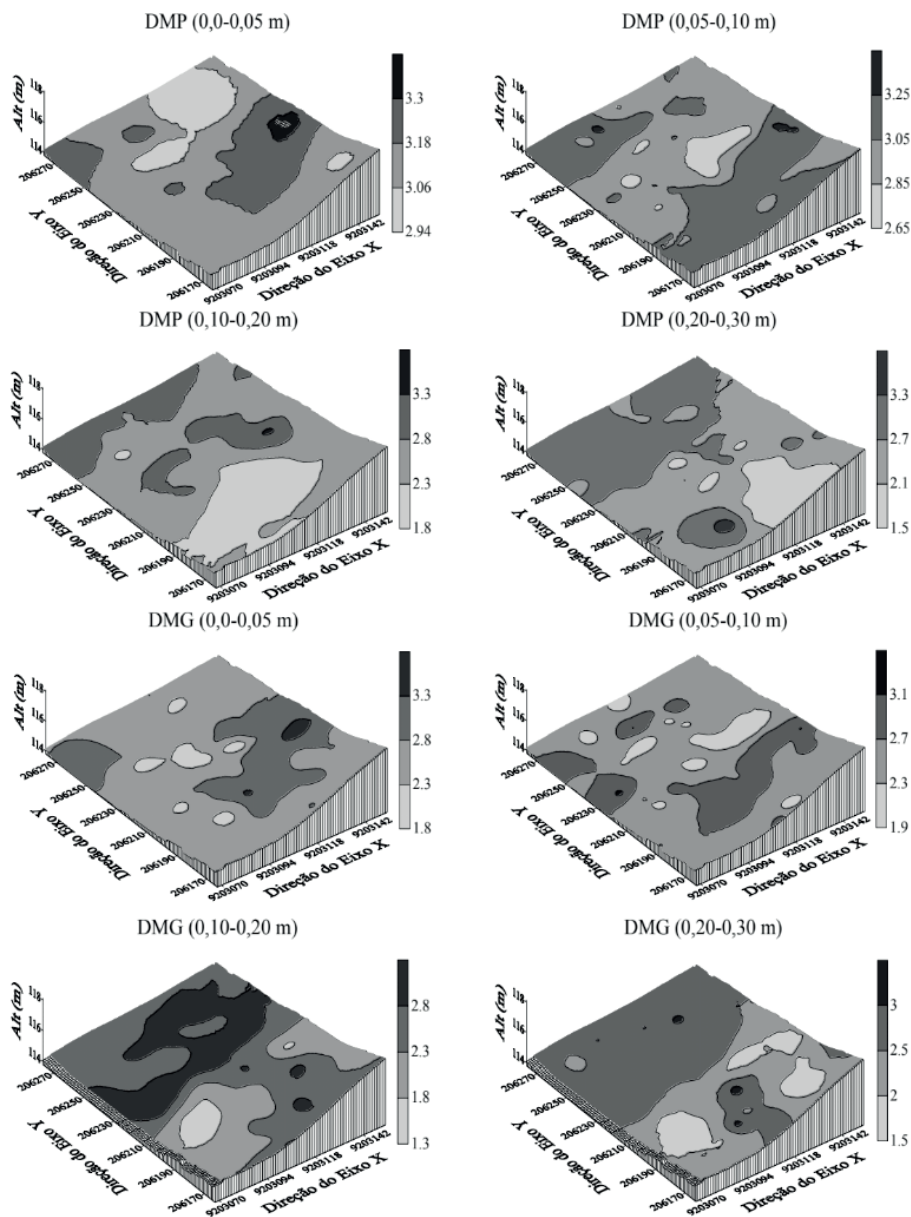


Figura 3. Mapas de krigagem do DMP e DMG nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,010; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau no município de Apuí, AM.



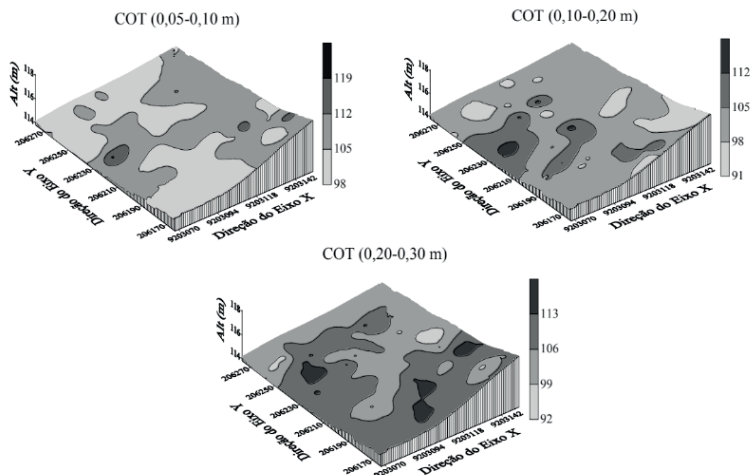


Figura 4. Mapas de krigagem do COT nas profundidades de 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau no município de Apuí, AM.

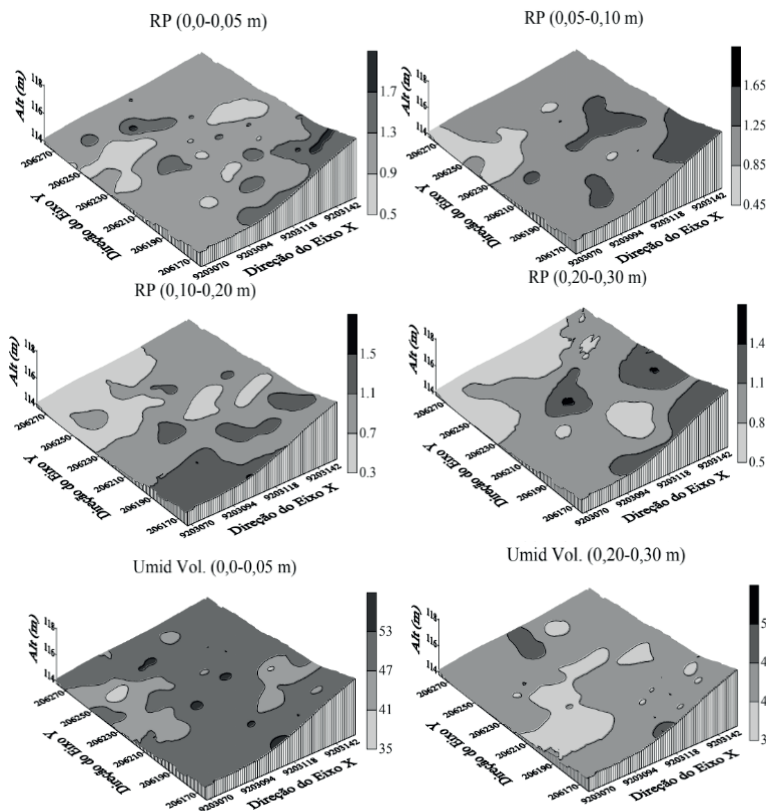


Figura 5. Mapas de krigagem da resistência do solo a penetração (RP) nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 e umidade volumétrica profundidades de 0,00-0,05 e 0,20-0,30 em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau no município de Apuí, AM.

Os mapas de krigagem dos índices da estabilidade de agregados (DMG e DMP) nas diferentes profundidades apresentam resultados semelhantes entre si (Figura 3). Verifica-se também que as manchas nos mapas de DMG e DMP são coincidentes com o do teor COT (Figura 4) este fato também foi observado por Souza et al., (2009) e Coutinho et al., (2010), para Vieira et al., (2011) estes resultados mostram a importância do carbono na agregação do solo.

Os mapas de krigagem da resistência do solo a penetração (Figura 5) apresentam comportamento semelhante a densidade do solo (Figura 2) indicando que quanto menor a resistência do solo a penetração menor a densidade do solo concordando com resultados encontrados por Alho et al. (2014) em estudos em Argissolos e Cambissolos na região Sul do Amazonas.

## 4 | CONCLUSÕES

As densidades do solo, volume total de poros, diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado apresentaram-se dependentes da quantidade de carbono orgânico total na área de TPA;

Com o aumento da densidade do solo e resistência do solo a penetração e coincidente com baixos teores de COT e diminuição da MiP e VTP em áreas de TPA;

Em áreas de TPA a resistência do solo a penetração são influenciados pela umidade volumétrica e pelo aumento dos teores de argila em profundidade, este fato é explicado que com o aumento da profundidade ultrapassa-se o horizonte antrópico e adentra os horizontes de natureza mais próxima ao material de origem.

## REFERÊNCIAS

ALHO, L.C.; CAMPOS, M.C.C.C.; SILVA, D.M.P.; MANTOVANELLI, B.C.; SOUZA, Z.M. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e estoque de carbono em Cambissolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Florestal**, v. 44, p. 246-254, 2014

AQUINO, R.E.; CAMPOS, M.C.C.; MARQUES JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, I.A.; MANTOVANELLI, B.C.; SOARES, M.D.R. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em latossolo sob floresta nativa e pastagem na Região de Manicoré, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 397-406, 2014b.

AQUINO, R.E.; CAMPOS, M.C.C.; OLIVEIRA, I.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; SILVA, D.M.P.; SILVA. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré, AM. **Bioscience Journal**, v.30, p. 988-997, 2014a.

BRADFORD, J.M. Penetrability. In: KRUTE, A., ed. Methods of soil analysis. 2. ed. Madison, **American Society of Agronomy**, p. 463-478, 1986.

BURROUGH, P.A., McDONNELL, R.A. Principles of geographical information systems. Oxford, **Oxford University Press**, 230p. 2000.

CAJAZEIRA, J. ASSIS JUNIOR, R. N. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no estado do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, p. 258-267, 2011.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T.B.; KARLEM, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPA, A.E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science Society American Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CAMPOS, M.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**, v. 70, p. 18-27, 2011.

CAMPOS, M.C.C.; SANTOS, L.A.C.; SILVA, D.M.P.; MANTOVANELLI, B.C.; SOARES, M.D.R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Agro@mbiente On-line**, v. 6, p. 102-109, 2012.

CHAVES, L.H. G. & FARIAS, C.H.A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba: Solo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 3, p. 20-25, 2008.

COUTINHO, F.S.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; JUNIOR, D.J.R.; TORRES, J.L. R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, v. 2, p. 100-105, 2010.

CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; BENITES, V.M.; CANELLAS, L.P.; NOVOTNY, E.H.; MOUTTA, R.O.; TROMPOWSKY, P.M.; SANTOS, G.A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a Antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazonica**, v. 37, p. 91-98, 2007.

DIGGLE, P.; RIBEIRO JUNIOR, P. J. Model- based geostatistics. New York: Spring, 2007.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPq, 1997.

HICKMANN, C.; COSTA, L.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES, R.B.A.; ANDRADE, C.L.T. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um Argissolo após 23 anos de diferentes manejos. **Revista Caatinga**, v. 25, p. 128-136, 2012.

ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. An introduction to applied geoestatistics. **New York: Oxford University Press**, p.561, 1989.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.) *Methods of soil analysis. Part I. Physical and mineralogical methods*. Madison, **WI: Soil Science Society of America**, p. 425-442, 1986.

MELO, V.F.; SCHAEFER, C.E.G.R. Matéria orgânica em solos desenvolvidos de rochas máficas no nordeste de Roraima. **Acta Amazonica**, p. 39, p. 53-60, 2009.

MINITAB Release 14.1, **Statistical Software**. 2000.

OLIVEIRA, I.A.; CAMPOS, M.C.C.; SOARES, M.D.R.; AQUINO, R.E.; MARQUES JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, E.P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um cambissolo háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1103-1112, 2013.

ROBERTSON, G.P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998.152p.

SANTOS, L.A. C.; CAMPOS, M.C.C.; BERGAMIN, A.C.; SILVA, D.M.P.; MENDONÇA JÚNIOR, A.F. Caracterização física de seis sítios de Terras Pretas Arqueológicas na região de Apuí-AM. **Revista Verde**, v. 6, p. 167-174, 2011.

SANTOS, L.A.C.; CAMPOS, M.C.C.; AQUINO, R.E.; BERGAMIN, A.C.; SILVA, D.M.P.; MARQUES JUNIOR, J.; FRANCA, A.B.C. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 825-836, 2013.

SDS - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Relatório técnico síntese dos diagnósticos: Área estadual sul de Apuí e Manicoré**. Manaus, 2004. 20p.

SILVA, R.F.; BORGES, C.D.; GARIB, D.M.; MERCANTE, F.M. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um Argissolo vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2435-2441, 2008.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; SÁENZ, C.M.S. spatial variability of aggregate stability in Latosols under sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 245-253, 2009.

SPERA, S.T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, p. 37-44, 2010.

VAUCLIN, M.; VIEIRA, S.R.; VACHAUD, G. & NIELSEN, D.R., The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Science Society American Journal**, v. 47, p. 175-184. 1983.

VIANA, E.T.; BATISTA, M.A.; TORMENA, C.A.; COSTA, A.C.S.; INOUE, T.T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2105-2114, 2011.

VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F.; SIQUEIRA, G.M.; DUFRANC, G. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois Latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. **Bragantia**, v. 70, p. 185-195, 2011.

VIEIRA, S.R.; GARCIA, M.A.G.; GONZÁLEZ, A.P.; SIQUEIRA, G.M. Variabilidade espacial e temporal do teor de água do solo sob duas formas de uso. **Bragantia**, v. 69, p. 181-190, 2010.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. Applications of soil physics. **New York: Academic Press**, cap. 2, p.319-344, 1980.

WOJCIECHOWSKI, J.C.; SCHUMACHER, M.V.; PIRES, C.A.F.; MADRUGA, P. R.A.; KILCA, R.V.; BRUN, E.J.; SILVA, C.R.S.; VACCARO, S.; RONDON NETO, R.M. Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do solo em áreas de floresta estacional decidual. **Ciência Florestal**, v. 19, p. 383-391, 2009.

YEOMANS, J.C.; BREMMER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in S.Sci. Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

# TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA:

Atributos morfológicos, físicos, químicos e efluxo de CO<sub>2</sub> em solos sob diferentes usos na região Sul do Amazonas



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



@atenaeditora



[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



0 400 800 km



**Atena**  
Editora

Ano 2021

# TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA:

Atributos morfológicos, físicos, químicos e efluxo de CO<sub>2</sub> em solos sob diferentes usos na região Sul do Amazonas



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



@atenaeditora



[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



0 400 800 km



**Atena**  
Editora

Ano 2021