

# TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA:

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

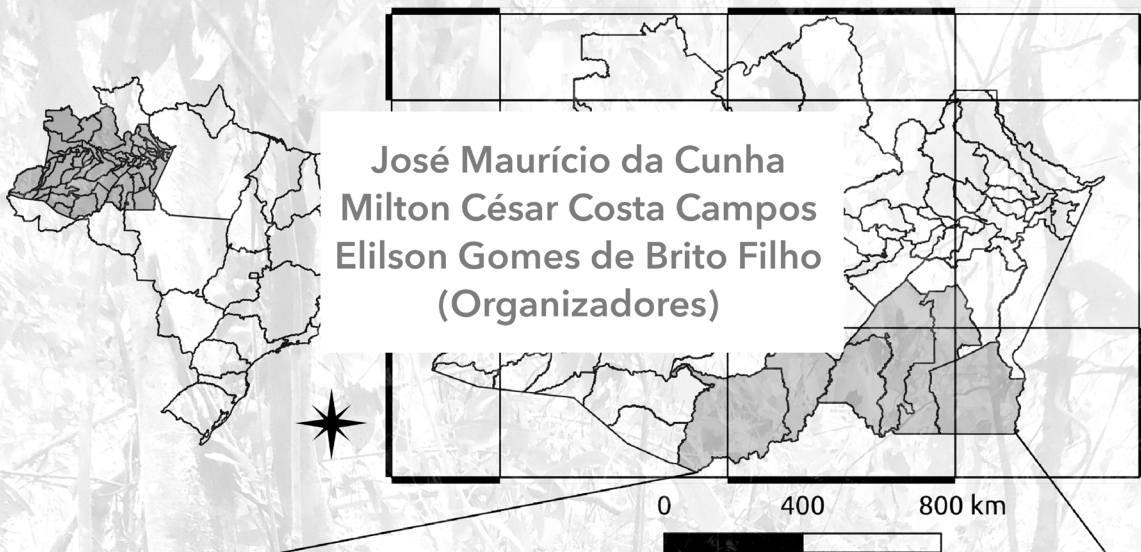


**Atena**  
Editora

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. Adaylson 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 Andreza 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 Livia 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 Cremo  
**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 13

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

Data de aceite: 18/05/2021

Data de submissão: 11/05/2021

### Half Weinberg Corrêa Jordão

Universidade Estadual Paulista  
Botucatu – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/7144402196977043>

### Milton César Costa Campos

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

### José Maurício da Cunha

Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente -  
Universidade Federal do Amazonas  
Humaitá – Amazonas  
<https://orcid.org/0000-0003-4057-1708>

### Ivanildo Amorim de Oliveira

Instituto Federal de Rondônia  
Ariquemes – Rondônia  
<https://orcid.org/0000-0003-2299-3229>

### Laércio Santos Silva

Universidade Estadual Paulista  
Jaboticabal – São Paulo  
<https://orcid.org/0000-0002-0805-1318>

### Ludmila de Freitas

Universidade Estadual Paulista  
Jaboticabal – São Paulo  
<https://orcid.org/0000-0005-0904-2415>

### Romário Pimenta Gomes

Universidade Estadual Paulista  
Jaboticabal – São Paulo  
<https://orcid.org/0000-0003-0663-0962>

### Elilson Gomes de Brito Filho

Centro de Ciências Agrárias – Universidade  
Federal da Paraíba  
Areia - Paraíba  
<https://orcid.org/0000-0001-6718-2126>

### Bruno Campos Mantovanelli

Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria – Rio Grande do Sul  
<https://orcid.org/0000-0003-4291-1729>

**ABSTRACT:** Studying particle size distribution is important to understand soil structure and formation processes. This research aimed to assess the fractal dimension of soil texture in Archeological Dark Earth (ADE) areas in southern Amazonas state under different land uses, as follows: two areas in the municipality of Apuí, one growing cocoa and the other coffee; a grassland area in the municipality of Manicoré; and a forest area in the municipality of Novo Aripuanã. A sampling grid containing 88 collection points (intersecting points on the grid) was established in each area, measuring 80 x 42 m for the cocoa and coffee-growing sites, and 80 x 56 m and 60 x 42 m for the grassland and forest areas, respectively. Soil samples were collected in soil core and as clumps at a depth of 0.0-0.20m to determine the structural physical properties and texture of the soil. The following physical attributes were assessed: texture (PSD), bulk density (BD), macroporosity (Macro), microporosity (Micro), total porosity (TP) and aggregate stability (GMD and WMD). The fractal dimension (D) of the soil texture was determined, followed by analysis of

variance and comparison of the means using Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ). Pearson's correlation was applied to assess the correlation between variables. There was a significant difference between the ADEs studied, with a higher D value in the cocoa-growing area in relation to the other sites. Additionally, the larger the clay fraction, the higher the D value. Fractal dimension (D) showed a positive correlation with sand, clay, BD, Macro, GMD and WMD, and a negative correlation with silt, micro, TP. Based on the D values obtained, the ADE cultivated with cocoa showed superior quality in relation to the other areas studied.

**KEYWORDS:** Fractal dimension; soil physics; soil use.

## CARACTERÍSTICAS FRACTAIS DA TEXTURA E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ÁREAS COM TERRA PRETA DE ÍNDIO SOB DIFERENTES USOS NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

**RESUMO:** Estudar a distribuição do tamanho das partículas é importante para entender a estrutura do solo e os processos de formação. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a dimensão fractal da textura do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica (TPA) no sul do Estado do Amazonas sob diferentes usos da terra: duas áreas no município de Apuí, uma com cultivo de cacau e outra de café; uma área de pastagem no município de Manicoré; e uma área florestal no município de Novo Aripuanã. Uma malha de amostragem contendo 88 pontos de coleta (pontos de interseção na grade) foi estabelecida em cada área, medindo 80 x 42 m para as áreas de cacau e café, e 80 x 56 m e 60 x 42 m para as áreas de pastagem e floresta, respectivamente. Amostras de solo foram coletadas em torrões a uma profundidade de 0,0-0,20 m para determinar as propriedades físicas estruturais e a textura do solo. Os seguintes atributos físicos foram avaliados: textura, densidade do solo (DS), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), porosidade total (PT) e estabilidade de agregados (DMG e DMP). Determinou-se a dimensão fractal da textura do solo (D), seguida da análise de variância e comparação das médias pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). A correlação de Pearson foi aplicada para avaliar a correlação entre as variáveis. Houve uma diferença significativa entre as TPAs estudadas, com um maior valor D na área de cultivo de cacau em relação aos outros locais. Além disso, quanto maior a fração argila, maior o valor de D. A dimensão fractal (D) apresentou correlação positiva com areia, argila, DS, Macro, DMG e DMP, e correlação negativa com silte, micro, PT. Com base nos valores de D obtidos, as TPAs cultivadas com cacau apresentaram qualidade superior em relação às demais áreas estudadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dimensão Fractal, Física do solo, Uso do solo.

## 1 | INTRODUCTION

Applications of fractal geometry in soil science have shown that soil exhibits fractal characteristics, being a porous medium having different particle compositions, with irregular shape and self-similar structure (TYLER and WHEATCRAFT, 1989; KRAVCHENKO and ZHANG, 1998). Fractal geometry, proposed and established by Mandelbrot (1982), is a method for describing systems with non-characteristic scales and self-similarity. In recent years, this theory has been used to quantitatively describe the particle size distribution of soil, attracting the interest of pedologists worldwide (DENG et al., 2017). Particle size

distribution is one of the most important physical characteristics of soil because of its significant influence on water flow and soil erosion (XU et al., 2013).

In this respect, broad and precise knowledge of particle size distribution is vital to understanding soil structures and formation, since it is closely related to soil erosion, organic matter content and moisture content (DU et al., 2017). Deng et al. (2017) studied the fractal features of soil particle size distribution and found an association between fractal dimensions and the physical and chemical properties of the soil analyzed, indicating that the lower the fractal dimension, the worse the soil physical and chemical properties. Recently, the fractal method was applied to estimate soil structure and proved to be an efficient tool in analyzing soil properties and their relationship with other environmental factors (XIA et al., 2015; DENG et al., 2017).

Textural analysis is commonly used to characterize particle size distribution (PSD) in soil, but the size definitions of the three main fractions (sand, silt and clay) are quite random and therefore cannot provide comprehensive information (DENG et al., 2017). In this case, according to the results of a study conducted by Xia et al. (2015), fractal dimension can be used to identify soil particle size characteristics. Additionally, Filgueira et al. (2006) reported that fractal theory and analysis can effectively describe soil texture.

According to Cunha et al. (2016), exhaustive soil use and management can irreparably damage its physical quality, thereby reducing its yield potential. In this context, a quantitative description of particle size distribution is important in soil structure research, and fractal dimension is a useful approach in quantitatively evaluating different land-use patterns (DENG et al., 2017).

In this research, verified the PSD and fractal dimensions of soils under different crops and natural environment, and identified the relationships between soil physical properties. The objective of this research was to evaluate the possibility that the fractal dimension of PSD can be used as an integrative index to quantify crop effects associated with structural quality in Archaeological Dark Earth in the Western Amazon.

## 2 | MATERIAL AND METHODS

### Experiment location

The soils were located in the region of the municipality of Apuí-AM, Brazil and Novo Aripuanã-AM, Brazil (Figure 1). The climate in the region was classified as humid tropical according to Köppen's classification, with a short dry period (between May and September), a mean annual temperature of 25 to 26 °C, rainfall from 2,200 to 2,700 mm and a relative air humidity of 85% to 90% (Brasil, 1978; Campos *et al.*, 2012). The characteristic vegetation of the region is tropical dense forest, consisting of dense multilayered trees between 15 and 20 meters high (ZEE, 2008).

The study was conducted at the four Archaeological Dark Earth (ADE) under different

land uses. Two were located in the municipality of Apuí (7° 12' 05" S and 59° 39' 35" W), one under cultivation for 14 years, growing rice, maize, beans and watermelon for six years and cocoa (*Theobroma cacao*) thereafter, and the other used a grassland for two years, followed by coffee (*Coffea canephora*) cultivation for four years. No machinery was used in either area to plant or maintain the crops. The soil in both ADEs areas was classified as Typic Hapludults, according to Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014) and “*Argissolo Amarelo Eutrófico*” to criteria established by the Brazilian Soil Classification System (Embrapa, 2013).

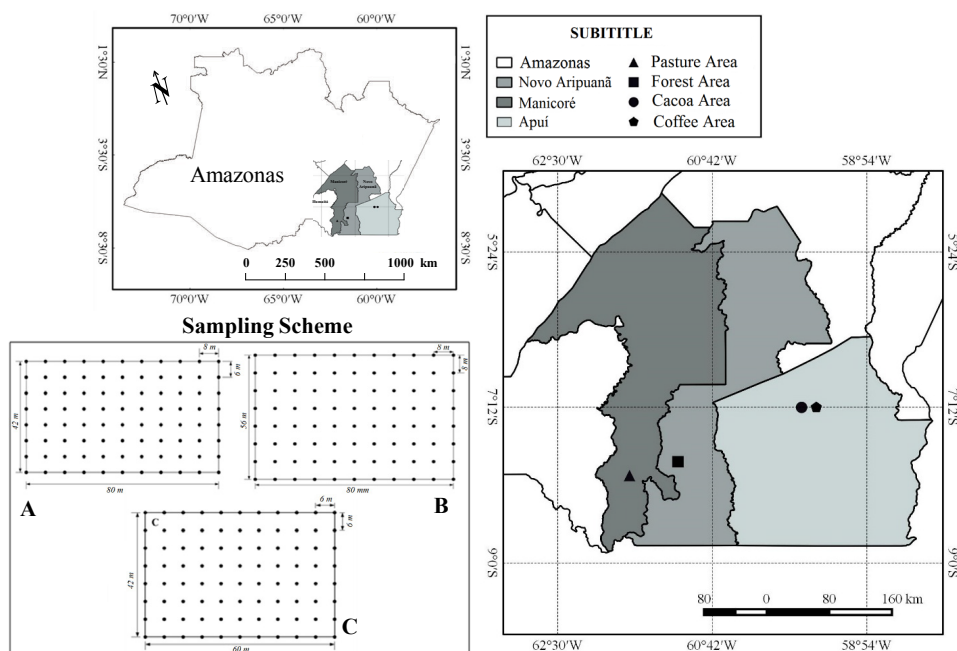


Figure 1. Location and representation of the sampling grid in the TPAs studied, with the respective spacing between collection points. A – Cocoa and Coffee; B – Grassland; C – Forest.

The third area is located in the municipality of Manicoré (Figure 1) (7° 59' 22" S and 61° 39' 51.2" W, mean altitude of 83 m), used for extensive grazing (*Brachiaria brizantha*) for approximately 7 years and capable of supporting livestock at around one unit/animal per hectare. The soil was classified as Typic Rhodudults (Soil Survey Staff, 2014) or “*Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico*” (Embrapa, 2013) and primary vegetation in the region is characterized as dense tropical forest. The final area (forest) was a forest fragment in the municipality of Novo Aripuanã (Figure 1) (07° 51' 30" S and 61° 18' 01" W), preserved for more than 25 years and containing 15 to 20-meter-high secondary trees, the soil types in this area classified as Xanthic Eutradox (Soil Survey Staff, 2014) or “*Latossolo Vermelho Amarelo latossólico*” (Embrapa, 2013).

## Soil-sampling and evaluation of soil attributes

A sampling grid was established in each area, with 88 collection points per grid. Grid dimensions were 80 x 42 m in the cocoa and coffee areas, 80 x 56 m in the grassland area and 60 x 42 m in the forest area, with 6 x 8 m spacing between points for the coffee and cocoa areas and 8 x 8 m and 6 x 6 m for the grassland and forest areas respectively (Figure 1).

In order to determine the structural and textural properties of the soil, deformed (clumps) and non-deformed samples were collected between 0.0-0.20 m depth, using a 4.0 cm high soil-core with an internal diameter of 5.1 cm.

The following physical properties were determined to correlate fractal dimension with particle size: texture (sand, silt and clay), bulk density (BD), macroporosity (Macro), microporosity (Micro), total porosity (TP) and aggregate stability (GMD and WMD).

The particle size distribution (PSD) was determined with 1.0 mol L<sup>-1</sup> NaOH solution was used as chemical dispersant, with a resting time of 16 hours. Next, the suspension was transferred to steel cups containing water and coupled to an electric stirrer at 12,000 RPM for 15 minutes (Donagema *et al.*, 2017). The clay fraction (<0.002 mm) was separated using the pipette method, sand by sieving and silt (0.05-0.002 mm) was calculated based on the difference. The sand fraction was divided into coarse (0.5-2.0 mm), medium (0.25-0.5 mm) and fine (0.105-0.24 mm) according to Arraes *et al.* (2010), in order to calculate the fractal dimension.

Next, the fractions obtained were sieved to determine the size of the solid particles analyzed, using a SOLOTEST sieve shaker with digital time and frequency adjustment to separate the particles through vibrations that accelerate sieving. Each sample was agitated for 3 minutes, using sieves with mesh sizes of 2mm; 1mm; 0.5mm; 0.250mm; 0.125mm and 0.053mm.

The samples were prepared in the laboratory by removing the excess of soil from the soil core edges; they were then saturated by a gradual increase in water depth until reaching approximately 2/3 of the soil core height. Total porosity was determined by the saturation method. Macroporosity was obtained from the balance of the set soil core-soil after applying -6 kPa in a tension table. In its turn, microporosity was obtained by subtracting the weight of the soil core-soil set equilibrated at -6 kPa and its respective oven-dried weight at 105 °C.

Bulk density was determined by the soil core method as described in Grossman & Reinsch (2002). In this case, the soil in the soil core was oven dried at 105 °C until constant weight.

Aggregate stability was assessed according to Kemper and Chepil (1965), with modifications in the following size classes: 4.76-2.0 mm; 2.0-1.0 mm; 1.0-0.50 mm; 0.50-0.25 mm; 0.25-0.125 mm; 0.125-0.063 mm. The aggregates were placed in contact with water in a 2.0 mm mesh sieve and submitted to vertical agitation in a Yoder sieve shaker

(SOLOTEST) for 15 min, at 32 oscillations per minute.

The material from each class retained in the sieve was dried in an oven at 105°C and the respective masses were measured on a digital balance. The weighted mean diameter (WMD) was calculated based on the formula proposed by Castro Filho *et al.* (1998) and the geometric mean diameter (GMD) in line with Schaller and Stockinger (1953) as cited by Alvarenga *et al.* (1986), using the following equations:

$$WMD = \frac{\sum_{i=1}^N n_i D_i}{\sum} \text{ and } GMD = 10^{\frac{\sum_{i=1}^N n_i \log D_i}{\sum}}$$

where:

$n_i$  = is the percentage of aggregates retained in the sieve,  $D_i$  = the mean diameter of the sieve and  $N$  = the number of sieve classes.

### Soil fractal model theory

The definition of a fractal can be given based on the relationship between number and size in a statistically self-similar system and defined by the following Equation 1 (Mandelbort, 1982, Turcotte, 1986):

$$N(X > x_i) = kx_i^{-D} \quad (1)$$

In an effort to compensate for the lack of  $N$  values, Tyler and Wheatcraft (1992) estimated the fractal dimension of soil particle-size distribution,  $D_m$ , based on the following Equation 2. Fractal dimension ( $D$ ) was estimated using the particle size distribution (PSD) method proposed by Taylor and Wheatcraft (1992), based on the size distribution values for particles of coarse, medium and fine sand, silt and clay, according to the following equation:

$$\frac{M(r < R)}{M_T} = \left(\frac{R}{R_L}\right)^{3-D} \quad (2)$$

were:

$M$  = is the accumulated mass of the  $r$ -sized soil fractions (coarse, medium and fine sand, silt and clay) smaller than;  $R$  = determined by the diameter of the sieves;  $M_T$  = the total mass;  $R_L$  = the parameter that estimates the largest particle size;  $D$  = the fractal dimension of the particles.

The equation is limited by the variation of  $D$ , with  $0 < D < 3$ , and is applied to describe the particle size distribution of dry soil.

### Statistical analysis

The fractal dimension results obtained for each area were submitted to analysis of variance and, when significance was observed according to the F-test, the means were compared using Tukey's test at 5% probability. The correlation between fractal dimension and the physical attributes of the respective ADEs was analyzed using Pearson's correlation coefficient. All analyses were performed using Assistat software, version 7.7 (Silva and

Azevedo, 2016). D values were calculated using an electronic spreadsheet and R statistical software, version 3.4.1 (R Core Team, 2013).

### 3 | RESULTS AND DISCUSSION

#### Soil particle-size distribution, fractal features and physical attributes

As shown in Table 1, there are considerable differences in PSD among the four areas the ADEs in this study. The predominant soil particle size is sand, followed by silt. The average of the sand fraction range from 375.0 g/kg<sup>-1</sup> at 707.0 g/kg<sup>-1</sup>, the clay content is relatively lower, range from 17.0 g/kg<sup>-1</sup> to 248.0 g/kg<sup>-1</sup> and the silt content between 199.0 g/kg<sup>-1</sup> at 607.0 g/kg<sup>-1</sup> (Table 1). Dominance of coarse particles in these areas of ADEs (forest and grassland) can be explained by the contribution of lithic and ceramic fragments, thus presenting higher levels for the sand fraction. Dominance of the sand and silt fraction was also reported by Campos et al. (2012); Mota Júnior et al. (2017) in anthropic soils in the city of Apuí-AM, associating this granulometric characteristic with the formation of these soils and constituent materials. In addition, it is important to note that the use of fire retardants in the presence of sand is more likely to occur in the sand (2000).

Considering ADEs under grassland and forest areas, the relationship of PSD has an influence on processes related to movement and retention of water, solute transport, heat and air in the soil. In the grassland area, due to the forces acting on the soil, the processes of degradation, decreased water retention capacity, soil nutrient loss and soil structure decrease are indicative of the selective removal of fine fractions and can be attributed to the anthropic processes and the source material acting in the formation of these soils. Xu et al. (2013) and Deng et al. (2017), observed similar behavior in non-anthropogenic soils as the granulometric fractions of sand. Cocoa and coffee areas presented domain of the silt fraction, in this case, the silt fraction together with clay, acted in the processes related to greater structuring and aggregation in these areas.



Cocoa area							Coffee area						
Variable	Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Maximum	R <sup>2</sup>	Variable	Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Maximum	R <sup>2</sup>
D	2.80	0.02	0.79	2.76	2.85	0.851	D	2.43	0.02	0.79	2.39	2.54	0.822
Silt (g/kg <sup>-1</sup> )	549.89	21.00	3.82	491.13	590.56		Silt (g/kg <sup>-1</sup> )	607.96	26.64	4.38	531.20	666.06	
Clay (g/kg <sup>-1</sup> )	248.03	39.27	15.83	174.09	341.12		Clay (g/kg <sup>-1</sup> )	17.29	2.94	16.99	13.09	38.74	
Sand (g/kg <sup>-1</sup> )	201.41	33.38	16.57	121.10	274.11		Sand (g/kg <sup>-1</sup> )	375.55	26.74	7.12	317.57	454.13	
BD (Mg m <sup>3</sup> )	0.93	0.09	9.22	0.59	1.15		BD (Mg m <sup>3</sup> )	1.14	0.14	12.63	0.72	1.43	
Macro (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.20	4.01	19.49	11.74	31.03		Macro (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.19	3.94	20.49	9.54	27.52	
Micro (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.46	3.26	7.03	35.64	53.49		Micro (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.38	1.99	5.21	34.25	45.09	
TP (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.66	3.14	4.69	58.85	73.25		TP (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.57	3.54	6.16	50.27	66.57	
GMD (mm)	2.60	0.28	10.74	1.80	3.34		GMD (mm)	2.55	0.28	10.86	1.73	3.19	
WMD (mm)	2.87	0.21	7.24	2.19	3.35		WMD (mm)	3.01	0.14	4.75	2.38	3.29	
Grassland area							Forest area						
D	2.61	0.03	1.32	2.53	2.69	0.985	D	2.68	0.02	0.64	2.64	2.73	0.954
Silt (g/kg <sup>-1</sup> )	226.43	28.79	12.71	160.14	326.39		Silt (g/kg <sup>-1</sup> )	199.41	29.81	14.95	139.30	278.56	
Clay (g/kg <sup>-1</sup> )	65.80	16.12	24.50	34.84	112.85		Clay (g/kg <sup>-1</sup> )	94.51	10.79	11.42	70.98	123.17	
Sand (g/kg <sup>-1</sup> )	707.76	28.63	4.05	606.14	759.59		Sand (g/kg <sup>-1</sup> )	705.69	30.88	4.38	627.90	767.96	
BD (Mg m <sup>3</sup> )	1.27	0.09	7.26	1.04	1.47		BD (Mg m <sup>3</sup> )	1.05	0.06	5.82	0.93	1.23	
Macro (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.17	2.22	12.71	13.08	24.62		Macro (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.18	2.00	10.74	13.02	23.46	
Micro (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.38	2.31	6.06	27.30	45.09		Micro (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.22	1.69	7.41	19.50	26.40	
TP (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.55	2.56	6.13	36.14	47.51		TP (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.40	2.60	6.28	32.90	46.54	
GMD (mm)	2.67	0.22	8.31	2.06	3.03		GMD (mm)	2.03	0.31	15.09	1.42	2.73	
WMD (mm)	3.10	0.10	3.19	2.82	3.25		WMD (mm)	2.56	0.27	10.52	1.96	3.08	

D = Fractal dimension; BD = Bulk density; Macro = Macroporosity; Micro = Microporosity; GMD = Geometric mean diameter; WMD = Weighted mean diameter; StDev = standard deviation; CoefVar = coefficient of variation.

Table 1. Descriptive statistics of the fractal dimension and physical attributes in Archaeological Dark Earth under different uses in the Western Amazon.

The fractal dimension (D) values presented in Table 1 show differences between the ADEs under management and forest, in which they are characterized by a decrease in the fractal dimension, indicating that soils in the cultivated lands with cocoa are better, and coffee and grassland as highly influenced by management. This is because the sites with more expressive antropoc spot were used for cultivation of species that provide greater input of vegetal residues. It is possible to verify that the greater the value of the clay fraction and the lower the BD, the greater the D, this corroborates with researches done by Liu et al. (2009) and Deng et al. (2017), in which they verified that the fractal dimension of the soil particle was larger when the texture was finer, corresponding to the particle size distribution of the soil. Overall, D values in the forest and cocoa area varied respectively from 2.68 to

2.80. The variation of D values in all areas was relatively high, so the use of D based on PSDs could provide more information than just soil texture.

The coefficients of determination ( $R^2$ ) showed, in general, values were satisfactory, that is, they can satisfactorily explain the results obtained for D, since they ranged from 0.822 to 0.985, indicating that on average 90% of the results obtained are explained by model. Huang et al. (2017) also found high  $R^2$  values, ranging from 0.961 to 0.992, indicating that it is reasonable to use the fractal model to evaluate the particle size distribution of soils.

From the physical attributes of soil physical quality (macroporosity, microporosity, TP and BD), the degree of similarity between the different areas is evident, decreasing only to the forest area and grassland in attributes such as TP and BD. In the condition of physical quality of soils, management areas and natural area, values higher than those established by the literature, mainly macroporosity, always higher than 15%, as already highlighted in Tormena et al. (2002). In the forest area, physical variables of macro, micro and total porosity presented, respectively, 0.18, 0.22 and 0.4  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  (Table 1), this behavior observed in forest area, leaves strong evidence of the low magnitude of the anthropic processes of formation of the ADEs at this site, thus considering low variation with areas where the anthropic formation process was more accentuated. Cocoa area presented significant results, in which the TP reached 0.66  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , influencing a low BD of 0.93  $\text{Mg m}^3$  (Table 1). Contrary to what was observed in the forest area, anthropic action was more expressive in this environment, even more associated with the great contribution of vegetal cover, which incorporates residues and lead to a greater formation of biopores by agents of the micro and meso fauna, favoring the diffusion of oxygen in the soil to the roots.

Effects of the influence of management on physical properties are more significant in the grassland area, mainly on the BD, with values of 1.27  $\text{Mg m}^3$ , making it evident that, anthropic soils are highly subject to degradation due to their management, and that the effects of the excess of animal grazing can lead to the strong compaction of these soils, as it was evident the comparison with areas where the management is not very intense (cocoa and coffee) and mainly in natural area (forest).

Compared to the GMD values of the different systems of use in the ADEs (Table 1), there is reduced GMD in forest area with a value of 2.03 mm, this behavior of aggregate diameter, disagrees with the characteristics of occurrence in soils of native conditions, making evident the influence of the sandy texture in the aggregate stabilization capacity. On the other hand, ADE under grassland presented higher GMD and WMD results, respectively 2.67 mm and 3.10 mm. However, this behavior as highlighted by Mantovanelli et al. (2015) does not show in this specific case, better structural conditions, since these values of aggregates are due to the fact that the soil is at the level of compaction exerted by the animal grazing and thus present greater resistance to rupture.

## Pearson correlation

From Table 2 we present the Pearson correlation with emphasis on the correlation between D and other soil physical attributes. It is observed that the correlation coefficient was significant at 1% between D and the clay fraction, and significant at 5 % probability between D and BD. D showed positive correlation with sand, clay, BD, macro, GMD and WMD and negative correlation with silt, microporosity and TP.

	D	Sand	Silt	Clay	BD	Macro	Micro	TP	GMD	WMD
D	1	0,09	-0,08	0,29**	0,21*	0,06	-0,13	-0,11	0,20	0,13
Sand		1	-0,04	0,27*	0,23*	-0,01	-0,17	-0,25*	-0,06	-0,07
Silt			1	0,02	-0,03	-0,08	0,13	0,05	0,17	0,21*
Clay				1	0,21*	-0,11	-0,08	-0,10	-0,02	-0,06
BD					1	-0,52**	0,08	-0,65**	-0,08	-0,14
Macro						1	-0,46**	0,71**	0,12	0,18
Micro							1	0,14	0,01	0,002
TP								1	0,14	0,23*
GMD									1	0,72**
WMD										1

\*\* Significant at 1% probability level; \* Significant at the 5% probability level; D = fractal dimension; BD = Bulk density; Macro = Macroporosity; Micro = Microporosity; TP = total porosity; GMD = Geometric mean diameter; WMD = Weighted mean diameter.

Table 2. Pearson correlation of fractal dimension and physical attributes in Archaeological Dark Earth under different uses in the Western Amazon.

From the soil texture, high correlation of the clay fraction with D was observed, corroborating works by Xu et al. (2013); Xia et al. (2015) and Deng et al. (2017), who found a positive and strong correlation of the clay fraction with D. However, in their respective studies, Xu et al. (2013) and Huang et al. (2017) found a strong positive correlation between D with silt fraction and negative correlation with sand fraction, differently from what was observed in this work, where silt presented negative correlation (-0.08) and sand positive correlation (0.09), thus not corroborating with the authors mentioned above. Huang et al. (2017) evaluated changes in texture, structure stability and nutrient availability of artificial soils on the slopes due to restoration time in Southeast China and found significant correlation coefficient between D and BD, but this correlation was negative in order of -0.805. These results, different from the present study, however should be considered that the authors worked in areas that underwent intensive soil structure management, which certainly influence BD values.

In a study by Liao et al. (2017), verified that the soil moisture showed a weak spatial dependence according to the fractal dimension criteria. Thus, it is stated that, in general,

the fractal dimension is better than the ratio of nugget/range effect in describing the spatial dependence of soil properties.

In this context, the D of the soil particle size distribution, is an important tool to describe mainly attributes that characterize soil types, in addition, Deng et al. (2017) make an association of values of D with the quality of the physical-chemical properties of the soil, so the lower the value of D the lower the quality of the soil.

### **Relationship between fractal dimension and soil particle-size distribution**

Linear regression analyzes were performed to determine the relationships between D and the sand, silt and clay contents (Figures 2 and 3) in the different areas of ADEs. The statistical results obtained from the 88 sample points show that the fractal dimension of the PSD has a strong positive correlation with the clay content in all ADEs (Figure 2B,  $n = 88$ ,  $R^2 = 0.99$ ,  $P < 0.05$ , Figure 2E,  $n = 88$ ,  $R^2 = 0.94$ ,  $P < 0.05$ , Figure 3A,  $n = 88$ ,  $R^2 = 0.88$ ,  $P < 0.05$ , Figure 3E,  $n = 88$ ,  $R^2 = 0.97$ ,  $P < 0.05$ ). Results indicate a weak relationship between D and sand content in the different systems of ADEs use, except in the cocoa are ( $R^2 = 0.71$ , Figure 2C), the negative correlation is evident in the other areas, with  $R^2$  ranging from 0.08 to 0.13. Thus, regression analysis indicates that ADEs with higher clay contents and smaller sand fractions have higher D values. Other studies have shown similar results in very different landscapes and under contrasting climatic conditions (Liu et al., 2009).

From the linear regressions in the areas cultivated with cocoa (Figure 2 A-B-C) and forest area (Figure 3 A-B-C), it was verified that there was a significant decrease in the coefficient of determination between the different textural fractions, thus having a difference between the D of a natural and cultivated environment. A similar result was found by Xu et al. (2013), where they verified that the differences between cultivated areas and forest environments are characterized by a decrease in the fractal dimension, indicating that soils in agricultural lands are better. However, it is worth mentioning that the relationships between the cultivated areas with cocoa (Figure 2 A-B-C) and coffee (Figure 2 D-E-F) were too deferential, with the cultivated area with coffee, lower values in relation, thus evidencing that not only the environment, but also the type of crop cultivated can influence the D. Despite the fact that these two cultivated areas are close to each other and present the same soil class over the years, their management was different, since the cocoa area was previously cultivated by other crops (rice, corn, beans and watermelon), while the coffee area, besides having a few years of cultivation, in the first two years was used by grassland.

The characteristics of D verified from the linear regressions and the relationships with the PSD (Figures 2 and 3), thus indicate, accelerated the physical soil structuring process in the evolution of the ADE formation process under cocoa cultivation. The effects associated to higher ratio of clay fraction in this crop, associated with the high organic matter input, lead to a maintenance of organic carbon and nutrients, mainly attributed to fine particles that enrich with stable organic C and N, as well as increase of formation of particulate organic

matter. As the proportion of coarse fractions increases, the negative correlation obtained is evident, thus evidencing the tendency of decrease in the levels of organic carbon.

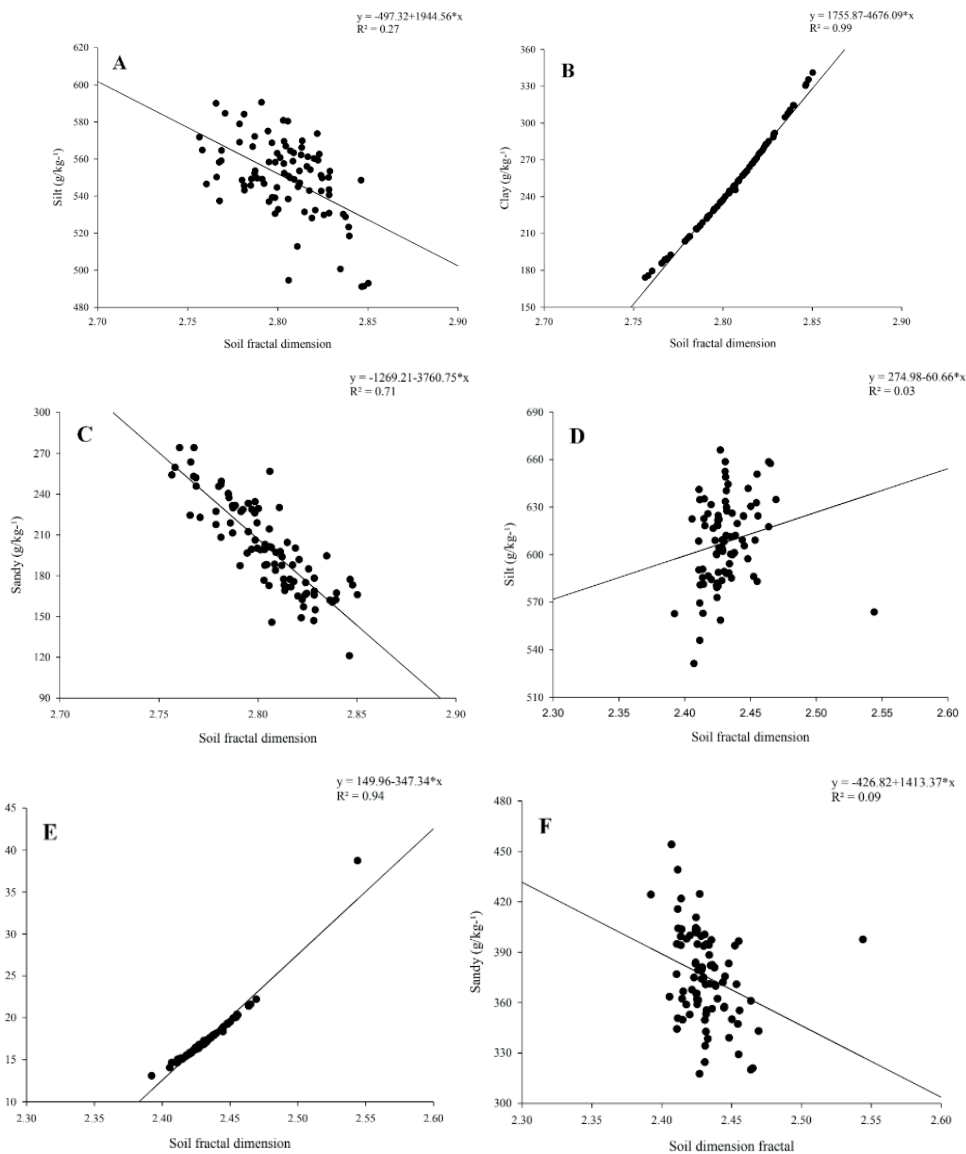


Figure 2. Relationship between fractal dimension and particle size distribution on black archeological ground under different uses in the Western Amazon. A-B-C: Cocoa area; D-E-F: coffee area.

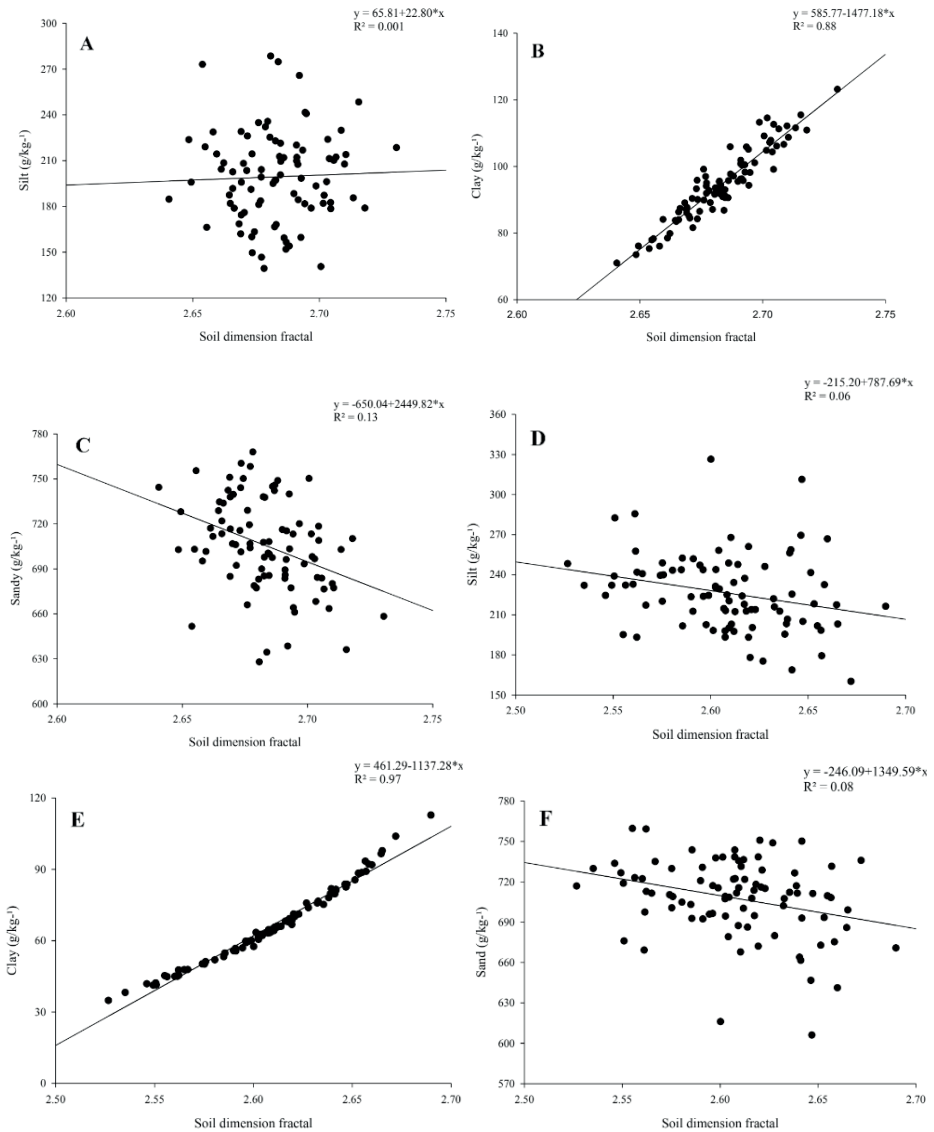


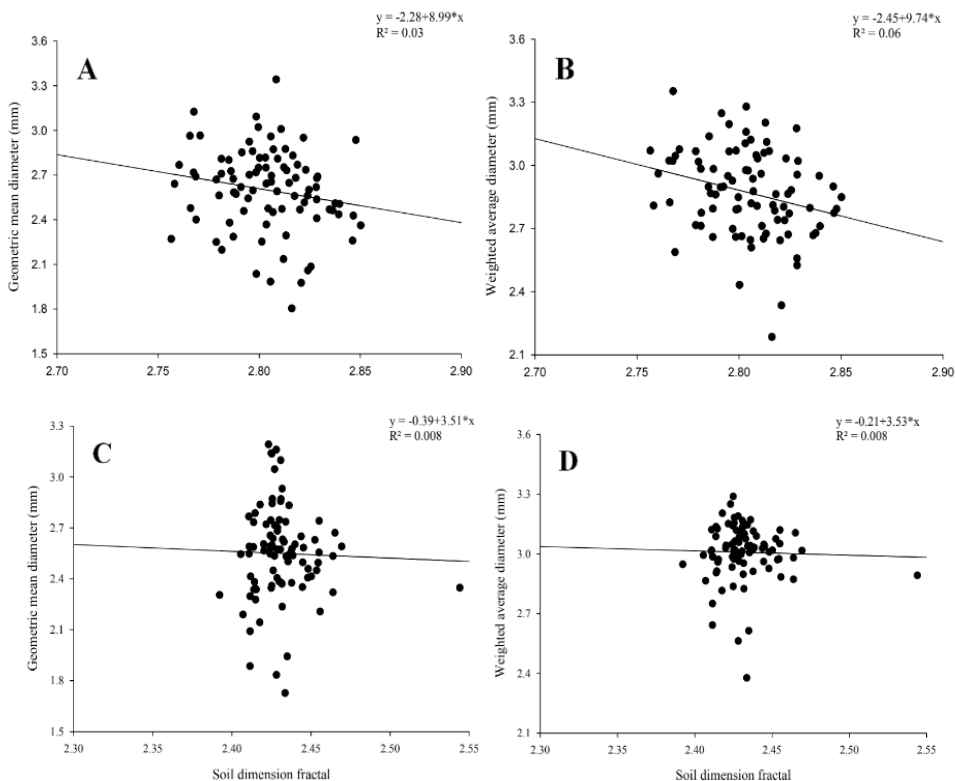
Figure 3. Relationship between fractal dimension and particle size distribution on black archeological ground under different uses in the Western Amazon. A-B-C: Forest area; D-E-F: Grassland area.

### Relationship between fractal dimension, GMD and WMD

Linear regressions were also performed to determine the relationships between D and GMD and WMD aggregation variables for the different crops (Figure 4). In spite of the other physical attributes studied, the relationships with GMD and WMD were those that presented coherent relations with the values of D, however these same values, are very low as to the determination index R2, in which area under cocoa cultivation presented ( $R^2 = 0.03$

and 0.06), with a negative linear relationship (Figure 4 A-B). ADE under grassland presents constant relation, tending to a positive linear, however again the values of  $R^2$  are considered extremely low varying between 0.006 for GMD and 0.008 for WMD (Figure 4 C-D), however, as previously mentioned, this specific condition does not demonstrate expressive results of adequate aggregation conditions for this area, only possible compaction effects induce this condition.

ADEs areas, present high proportions of organic carbon, being verified this condition in studies of Soares et al. (2018) in grassland in southern Amazonas and also by Silva et al. (2017) that found high levels of native forest in the South of Amazonas. In particular, the increase in total organic carbon content generally results in an increase in the size and stability of the aggregates (KAY and ANGERS, 2000). The organic carbon content in the soil may reflect the number of polysaccharides that must increase cementation between mineral particles and influence the arrangement of these particles between soil failure zones (CHENU and GUÉRIF, 1991). Therefore, the data of this work show that the fractal dimension was not expressively correlated with the stability of the aggregates, so there is some process in particular of the relation of formation of the aggregates with the PSD or organic matter of the soil.



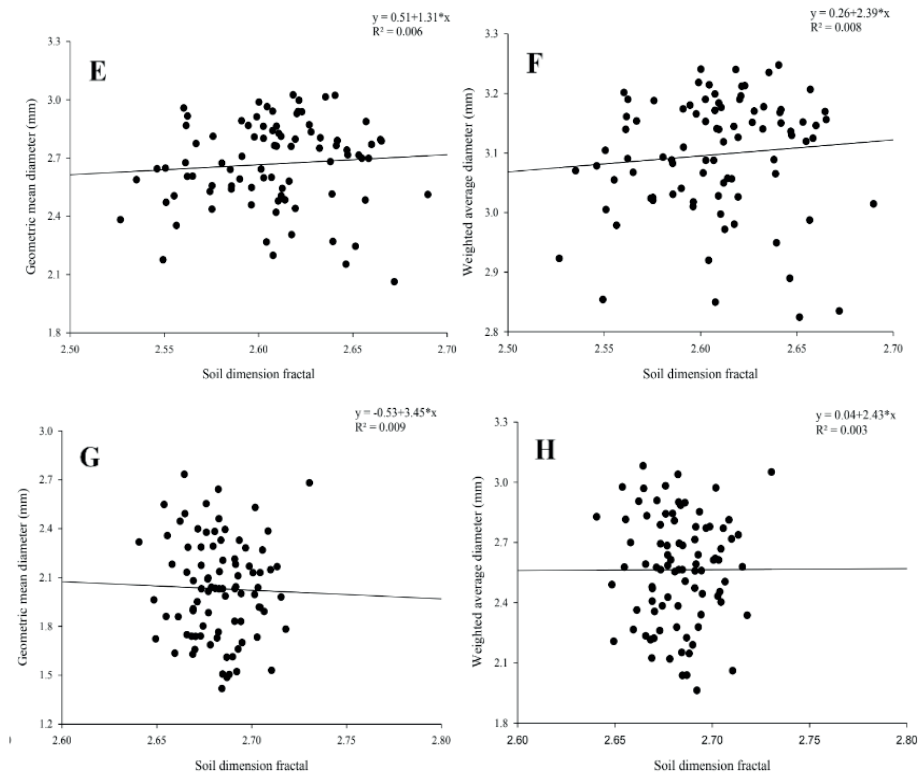


Figure 4. Relationship between fractal dimension, GMD and WMD in Archaeological Dark Earth under different uses in Western Amazonia. A-B: Cocoa area; C-D: Cooffe area; E-F: Grassland area; G-H: Forest area.

There are recognized difficulties in relating the soil structure to the specific functions exerted by them in the processes of pedogenesis (GUBER et al., 2005). Therefore, these difficulties are caused by the multiplicity of factors that affect the soil structure and multiplicity of effects that the structure has on the processes in the soil. Therefore, in spite of the complexity of the anthropic process of ADE formation, the aggregation scale requires parameterization that can better relate the effects with fractal dimension studies, since the textural variation associated with conditions of different diameters of aggregates presented low relations.

## 4 | CONCLUSIONS

The mean fractal dimension values in the archaeological dark earth studied here indicate better soil structure in the cocoa-growing area when compared to the other sites, possibly due to the land use and management of this environment. The clay fraction directly influenced fractal dimension values in the Archaeological Dark Earth areas.



There were considerable linear relationships between the clay content in the different areas. It has been suggested that the fractal dimension of PSD may have significant implications for soil degradation or land-use structuring.

The search for informative parameters of the soil structure associating parameters of aggregation with fractal dimension, is the hope that the research in the aggregate scale can generate useful complements for the parameterization of the soil structure in Amazonian anthropic soils, evident the low relation found, thus showing the peculiar characteristic of these soils of the Amazon region.

## REFERENCES

ALVARENGA, R. C.; FERNANDES, B.; SILVA, T. C. A.; RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palha do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, n. 2, 273-277, 1986.

ARRAES, C. L.; BUENO, C. R. P.; PISSARRA, T. C. T. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia córrego do Tijuco, SP. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 849-857, 2010. <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7218/6604>

BRASIL. **Ministério das Minas e Energia**. Projeto RADAMBRASIL, folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, 1978.

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. **Revista Agro@mbiente Online**, Boa Vista, v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v12i4.5166>

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 23, p. 527-538, 1998. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831998000300019>

CHENU, C. & GUÉRIF, J. Mechanical strength of clay minerals as influenced by an adsorbed polysaccharide. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, n. 4, p. 1077-1080, 1992. doi:10.2136/sssaj1991.03615995005500040030x

CUNHA, J. M.; CAMPOS, M. C. C.; GAIO, D. C.; NOGUEIRA, J. S.; SOARES, M. D. R.; SILVA, D. M. P.; OLIVEIRA, I. A. Fractal analysis in the description of soil particle-size distribution under different land-use patterns in Southern Amazonas State, Brazil. **African journal of agricultural research**, Lagos, v. 11, n. 23, p. 2032-2042, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2015.10649

DENG, Y.; CAI, C.; XIA, D.; DING, S.; CHEN, J. Fractal features of soil particle size distribution under different land-use patterns in the alluvial fans of collapsing gullies in the hilly granitic region of southern China. **Plos One**, San Francisco, v. 12, n. 3, p. 1-21, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173555>

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017.

DU, Y. C.; HAN, J. C.; ZHANG, S. W.; HUANG, Y. F.; WANG, H. Y.; LUO, L. T.; ZHANG, W. H. Multidimensional analysis of particle size fractal characteristics in a farmland soil profile. **IOP Conference Series Earth and Environmental Science**, Bistol, v. 52, n. 1, p. 1-10, 2017. DOI: 10.1088/1742-6596/52/1/012053

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Brasília, DF; 2013.

FILGUEIRA, R. R.; FOURNIER, L. L.; CERISOLA, C. I.; GELATI, P.; GARCIA, M. G. Particle-size distribution in soils: A critical study of the fractal model validation. **Geoderma**, Amsterdã, v. 134, n. 3, p. 327-334, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.03.008>

GROSSMAN, R. B. & REINSCH, T. G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J. H. & TOPP, C., eds. *Methods of soil analysis: Physical methods*. **Soil Science Society of America**, p. 201-228, 2002.

GUBER, A. K.; PACHEPSKY, Y. A.; LEVKOVSKY, E. V. Fractal mass–size scaling of wetting soil aggregates. **Ecological Modelling**, Estados Unidos, v. 182, n. 3-4, p. 317-322, 2005. DOI: 10.1016/S0304-3800(04)00166-8

HUANG, Z.; CHEN, J.; AI, X.; LI, R.; AI, Y.; LI, W. The texture, structure and nutrient availability of artificial soil on cut slopes restored with OSSS – Influence of restoration time. **Journal of Environmental Management**, Estados Unidos, v. 200, n. 1, p. 502-510, 2017. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.05.043

KAY, B. D. & ANGERS, D. A. **Soil structure**. In: Sumner, M. E. (Ed.), *Handbook of Soil Science*. p. 229–276, 2000.

KEMPER, W. D. & CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: Black, C. A.; Evans, D. D.; White, J. L.; Ensminger, L. E.; Clark, F. E. (Ed) *Methods of soil analysis-Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Agronomy Series 9. **American Society of Agronomy**, Madison, p. 499-510.

KETTERINGS, Q. M.; BIGHAM J. M.; LAPERCHE, V. Changes in soil mineralogy and texture caused by slash and burn fires in Sumatra, Indonesia. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v. 64, n. 3, p. 1108-1117, 2000. doi:10.2136/sssaj2000.6431108x

KRAVCHENKO, A.; ZHANG, R. D. Estimating the soil water retention from particle-size distribution: a fractal approach. **Journal Soil Science**, Estados Unidos, v. 163, n. 3, p. 171–179, 1998. DOI: 10.1097/00010694-199803000-00001

LIAO, K.; LAI, X.; ZHOU, Z.; ZHU, Q. Applying fractal analysis to detect spatio-temporal variability of soil moisture content on two contrasting land use hillslopes. **Catena**, Alemanha, v. 157, p. 163-172, 2017. DOI: 10.1016/j.catena.2017.05.022

LIU, X.; ZHANG, G.; HEATHMAN, G. C.; WANG, Y.; HUANG, C. H. Fractal features of soil particle-size distribution as affected by plant communities in the forested region of Mountain Yimeng, China. **Geoderma**, Amsterdã, v. 154, n. 1, p. 123-130, 2009. DOI: 10.1016/j.geoderma.2009.10.005

MANDELBORT, B. B. **The Fractal Geometry of Nature**. WH Freeman, San Francisco, pp. 45–256, 1982.

MANTOVANELLI, B. C.; SILVA, D. A. P.; CAMPOS, M. C. C.; GOMES, R. P.; SOARES, M. D. R.; SANTOS, L. A. C. Avaliação dos atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 58, n. 2, p. 122-130, 2015. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.1822>

MOTA JÚNIOR, P. C.; CAMPOS, M. C. C.; MANTOVANELLI, B. C.; FRANCISCON, U.; CUNHA, J. M. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em terra preta de índio sob cultivo de café Conilon. **Cooffe Science**, Viçosa, v. 12, n. 2, p. 260-271, 2017. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/8663>

R CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Available in: <<https://www.r-project.org/>>.

SILVA, F. A. S.; Azevedo, C. A. V. The Assisat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522

SILVA, L. F. D.; CUNHA, J. M.; CAMPOS, M. C. C.; LIMA, A. F. L.; PANTOJA, J. C. M.; SOARES, M. D. R.; MANTOVANELLI, B. C. Variabilidade espacial de agregados e estoque de carbono em solos antropogênicos sob floresta nativa. **Nativa**, Sinop, v. 5, (especial), p. 540-547, 2017. <http://dx.doi.org/10.5935/2318-7670.v05nespa12>

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M.; MANTOVANELLI, B. C.; OLIVEIRA, I. A.; BRITO FILHO, E. G.; LEITE, A. F. L. Variabilidade espacial da estabilidade dos agregados e matéria orgânica do solo em terra preta arqueológica sob pastagem. **Gaia Scientia**, Recife, v. 12, n. 1, p. 125-133, 2018. DOI: 10.22478/ufpb.1981-1268.2018v12n2.34416

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 12th ed. Washington, DC: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2014.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162002000400026>

TURCOTTE, D. L. Fractal fragmentation. **Journal of Geophysical Research**, v. 91, p. 1921–1926, 1986.

TYLER, S. W.; WHEATCRAFT, S. W. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, n. 4, p. 987–996, 1989. DOI: 10.2136/sssaj1989.03615995005300040001x

XIA, D.; DENG, Y.; WANG, S.; DING, S.; CAI, C. Fractal features of soil particle-size distribution of different weathering profiles of the collapsing gullies in the hilly granitic region, south China. **Natural Hazards**, Basingstoke, v. 79, n. 1, p. 455-478, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1852-1>

XU, G.; LI, Z.; LI, P. Fractal features of soil particle-size distribution and total soil nitrogen distribution in a typical watershed in the source area of the middle Dan River, China. **Catena**, Alemanha, v. 101, p. 17-23, 2013.

ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO – ZEE. **Zoneamento Ecológico Econômico do Sul-Sudeste do Amazonas**. Instituto de Proteção Ambiental da Amazônia (IPAAM), Manaus, 2008.

# 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](https://www.instagram.com/atenaeditora)



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



0 400 800 km



**Atena**  
Editora

Ano 2021