

# TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA:

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

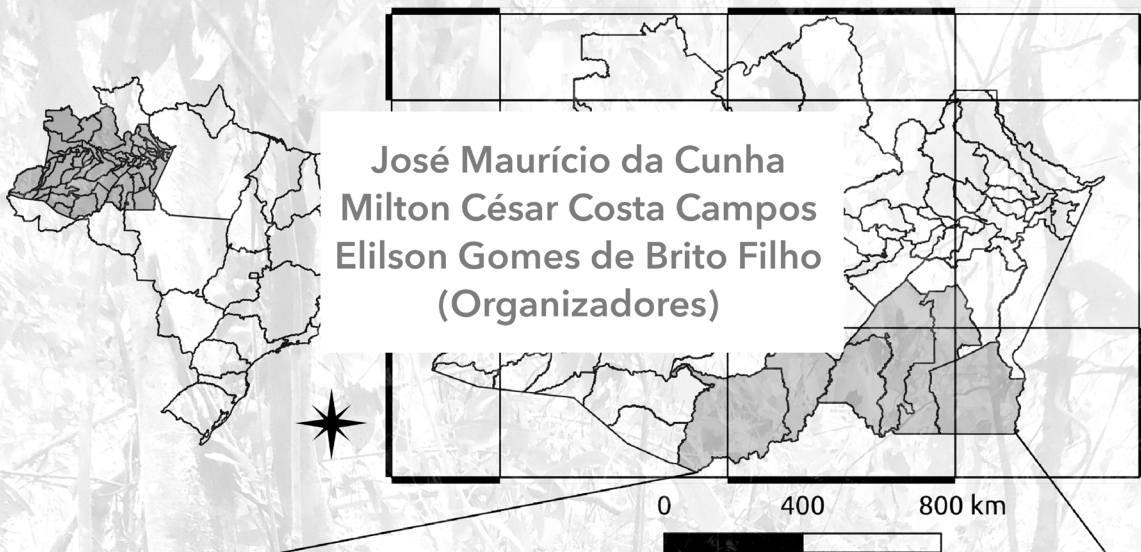


**Atena**  
Editora

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 Federacl 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 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 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 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 4

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

Data de aceite: 18/05/2021

**Emily Lira Simões**

Universidade Federal de Viçosa  
Viçosa – Minas Gerais

<http://lattes.cnpq.br/0014643511799549>

**José Maurício da Cunha**

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

**Milton César Costa Campos**

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

**Denilton Carlos Gaio**

Instituto de Física – Universidade Federal de  
Mato Grosso  
Cuiabá – Mato Grosso  
<http://lattes.cnpq.br/8132654148436579>

**Zigomar Menezes de Souza**

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

**Marcelo Dayron Rodrigues Soares**

Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente -  
Universidade Federal do Amazonas  
Humaitá – Amazonas  
<https://orcid.org/0000-0003-2942-5320>

**Douglas Marcelo Pinheiro da Silva**

Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente -  
Universidade Federal do Amazonas  
Humaitá – Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/6219916883682579>

**RESUMO:** Em ecossistemas naturais, a respiração do solo é um componente fundamental da emissão de carbono para a atmosfera – fluxo. O fluxo do CO<sub>2</sub> apresenta tanto variabilidade temporal (devido à mudança de temperatura e umidade), como espacial, que pode ser justificada por diferentes tipos de solo, assim como o uso e manejo do solo. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da emissão de CO<sub>2</sub> do solo, temperatura do solo e umidade do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica sob os cultivos feijão guandu e pastagem, em comparação ao uso do solo sob floresta nativa. Para isso, foram delimitadas malhas regulares sobre as áreas de floresta (com espaçamento 6 x 6 m), feijão guandu (com espaçamento 4 x 5 m) e pastagem (com espaçamento 8 x 8 m), com dimensões de 2.500 m<sup>2</sup>, de 1.700 m<sup>2</sup> e de 4.800 m<sup>2</sup>, respectivamente, com 88 pontos amostrais em cada área. Nos pontos de cruzamento das malhas, foram avaliadas a emissão de CO<sub>2</sub> (FCO<sub>2</sub>) e temperatura do solo (TS), além da coleta de amostras de solo, na profundidade 0,00-0,05 m, para a determinação da umidade do solo (US) em laboratório. As avaliações do FCO<sub>2</sub> foram realizadas utilizando-se os sistemas LI-6400. Concomitantemente foram realizadas às medidas da temperatura do solo (TS) na camada de 0,00-0,10 m de profundidade, utilizando um termômetro de termistor portátil e a umidade do

solo (US), utilizando amostras de solo coletadas na camada de 0,00-0,10 m. O  $\text{FCO}_2$  e a TS foram menores sob floresta, com maior teor de US, não apresentando diferença entre o  $\text{FCO}_2$  e a TS sob o FJ e PT, mas com menor teor de US sob PT. Os modelos de ajuste do semivariograma experimental foram predominantemente o esférico, com exceção do  $\text{FCO}_2$  para as áreas da FN e FJ, e da US sob a área de PT, que teve ajuste ao modelo exponencial. Os mapas dos padrões de distribuição espacial indicam uma tendência de concentração, com correlações positiva entre  $\text{FCO}_2$  com a US e negativa com a TS sob a floresta natural. Correlações positivas entre  $\text{FCO}_2$  com a TS com a US sob o FJ, mas apenas correlações entre  $\text{FCO}_2$  e US sob a PT.

**PALAVRAS-CHAVE:** Variabilidade espacial, temperatura do solo, umidade do solo, atributos físicos, carbono orgânico.

## SOIL $\text{CO}_2$ EFFLUX IN ARCHAEOLOGICAL DARK EARTH AREAS IN THE AMAZON REGION

**ABSTRACT:** In natural ecosystems, soil respiration is a key component of carbon emission into the atmosphere –  $\text{CO}_2$  efflux. Soil  $\text{CO}_2$  efflux has both temporal variability (due to temperature and moisture changes) and spatial variability, which can be explained by different types of soil, as well as soil use and management, as well as the influence of vegetation of  $\text{CO}_2$  efflux. The objective of this study was to measure the spatial variability of soil  $\text{CO}_2$  efflux, soil temperature and soil moisture in areas of Archaeological Dark Earth cultivated with the guandu bean (GB) and pasture (PT), compared to soil use in native forest (NF) in Amazonas, Brazil. To this end, regular meshes were marked out in areas of forest (6 x 6 m spacing), guandu bean (4 x 5 m spacing) and pasture (8 x 8 m spacing) measuring 2,500 m<sup>2</sup>, 1,700 m<sup>2</sup> and 4,800 m<sup>2</sup>, respectively, with 88 sample points in each area and georeferenced. Soil  $\text{CO}_2$  efflux ( $\text{FCO}_2$ ) and soil temperature (ST) were measured at the points of intersection of the meshes, and soil samples were collected at the depth of 0.00-0.10 m to determine soil moisture (SM) in the laboratory.  $\text{FCO}_2$  measurements were taken using LI-6400 systems. At the same time, measurements were taken of soil temperature (ST) at the depth of 0.00-0.10 m, using a portable thermistor thermometer, and of soil moisture (SM), using soil samples collected at the depth of 0.00-0.10 m.  $\text{FCO}_2$  and ST were lower in the forest area, with higher SM content, with no difference between  $\text{FCO}_2$  and ST in GB and PT, but with lower SM content in PT. The models of the experimental semivariograma were predominantly spherical, except for  $\text{FCO}_2$  in the NF and GB areas, and SM in the PT area, which were adjusted to the exponential model. The maps of patterns of spatial distribution indicate a trend of concentration, with positive correlation of  $\text{FCO}_2$  with SM and negative correlation of  $\text{FCO}_2$  with ST in natural forest. Positive correlations were observed of  $\text{FCO}_2$  with ST and SM in GB, but in PT,  $\text{FCO}_2$  correlations were restricted to SM.

**KEYWORDS:** Spatial variability, soil temperature, soil moisture, physical properties, organic carbon.

## 1 | INTRODUÇÃO

Em ecossistemas naturais a respiração do solo é um componente fundamental da emissão de gás de efeito estufa para a atmosfera - efluxo. Diversas pesquisas na

área constataram que mudanças de temperatura e umidade do solo podem influenciar a variabilidade temporal da emissão de CO<sub>2</sub> (Zhou et al., 2006; Almagro et al., 2009; Silva et al., 2016).

Os padrões de variabilidades espaciais da emissão de CO<sub>2</sub> dentro de uma mesma malha são de difícil explicação, porque a variabilidade em pequena escala requer um grande número de medições espacialmente distribuído (Herbst et al., 2008; Rodeghiero and Cescatti, 2008). Para a temperatura do solo, a variabilidade tanto espacial quanto temporal é mínima, cuja justificativa é dado ao grande volume de vegetação ou até mesmo pelo aumento da produção de biomassa na superfície, proporcionada por práticas agrícolas (Silva et al., 2015).

A variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo tem sido objeto de estudo em diversos trabalhos (Oliveira et al., 2015a, b; Aquino et al., 2015). Entretanto, estudos da emissão de CO<sub>2</sub> do solo tem-se mostrado com um padrão de variabilidade espacial, tendo como seu principal fator determinante a umidade do solo (Tang et al., 2006; Zhou et al., 2006; Mariko et al., 2007; Kosugi et al., 2007; Almagro et al., 2009; Panosso et al., 2009).

A taxa de transferência de carbono é controlada por diversos fatores, como, a emissão de CO<sub>2</sub> do solo pela temperatura, pressão e umidade do solo; pelos atributos físicos do solo; pela quantidade de serrapilheira sobre o solo e teor de matéria orgânica no solo (Schwendenmann et al., 2003). O CO<sub>2</sub> na superfície do solo é produzido principalmente pelo sistema radicular das plantas e por processos de decomposição aeróbicos da matéria orgânica pelos microorganismos.

Terras Pretas Arqueológicas são solos de coloração escura que apresenta elevada fertilidade natural, devido à grande concentração de material orgânico e elevados teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e fósforo (P) (Lima et al., 2009), cuja característica marcante é a presença de artefatos cerâmicos e/ou líticos indígenas incorporados à matriz dos horizontes superficiais do solo (Kämpf and Kern, 2005). Desses ambientes, não existem estudos relacionados à variabilidade espacial da emissão de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo. Há, assim, necessidade na avaliação dos padrões de variabilidade espacial desses atributos em áreas sob floresta e agricultáveis.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da emissão de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo em ambientes de Terra Preta Arqueológica sob os cultivos de feijão guandu e de pastagem, em comparação ao de ambiente sob floresta nativa.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O estudo localizou-se no município de Novo Aripuanã, Amazonas, Brasil, situado ao longo da rodovia Transamazônica (BR-230) (Figura 1). O clima da região é Tropical

Chuvoso, apresentando um período seco de pequena duração. A pluviosidade média varia entre 2.250 e 2.750 mm, com período chuvoso entre outubro a junho. As temperaturas médias anuais variam entre 25°C e 27°C e a umidade relativa fica entre 85 e 90%.

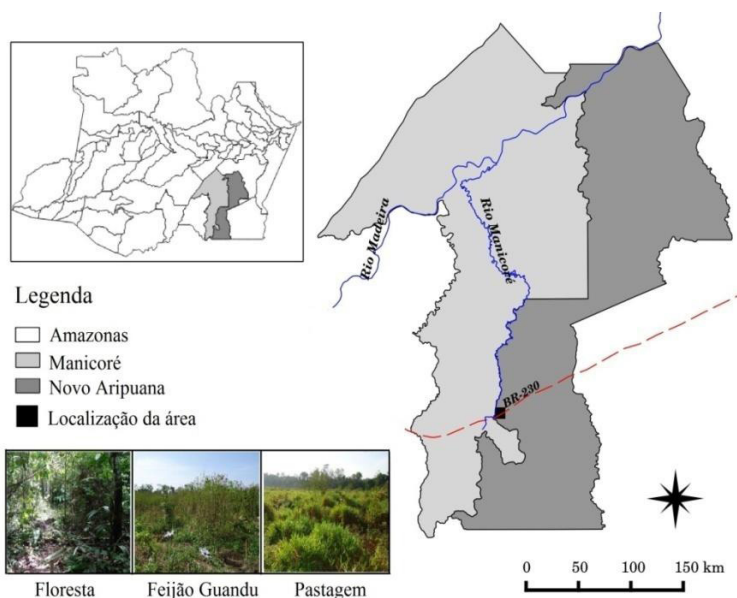


Figura 1. Localização das áreas de estudo no município de Novo Aripuanã (Figura 1), Amazonas, Brasil, situado ao longo da rodovia Transamazônica (BR-230).

A área de TPA sob floresta natural (FN) vem sendo preservada a mais de vinte e cinco anos, com início de recuperação florestal natural com árvores de porte mediano, chegando a apresentar até quinze metros de altura. Os usos com TPA sob cultivo de feijão guandu (*Cajanus cajan*) (FJ) e pastagem *Brachiaria brizanta* (PT) abrigou nos últimos vinte e cinco anos os cultivos milho, feijão e melancia. Nos últimos oito meses, foi inserido o pasto para atividades de pecuária, preservando a área do feijão guandu. Dados de precipitação média diárias foram registrados conforme a Tabela 1, obtidos em estações meteorológicas disponibilizados pelo INMET em regiões entorno do local de estudo.

Data	Temperatura do ar (°C)	Umidade do ar (%)	Precipitação (mm)
05/11/2015	26,00	83,33	0,13
06/11/2015	24,61	87,96	1,55
07/11/2015	25,83	80,89	0,00
08/11/2015	27,36	76,53	0,12

Tabela 1. Média de dados climáticos de estações automáticas entre as regiões de Apuí, Humaitá e Manicoré, no estado do Amazonas.

Fonte: INMET

Foi delimitado uma malha amostral de aproximadamente 2.500 m<sup>2</sup> para FN, 1.700 m<sup>2</sup> para FJ e 4.800 m<sup>2</sup> para PT, com espaçamentos de 6 × 6 m, de 4 × 5 m e de 8 × 8 m, respectivamente, totalizando 88 pontos amostrais por malha. Nos pontos de cruzamento das malhas foi avaliada a emissão de CO<sub>2</sub>, temperatura do solo e umidade do solo. Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS, realizando assim o mapeamento das áreas. As avaliações da emissão de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo foram realizadas nos dias 06, 07 e 08 de novembro de 2015, entre os horários de 09 a 11 horas de cada dia, para as áreas de feijão guandu, floresta e pastagem, respectivamente.

Foram coletados blocos de solos com estrutura preservada e anéis volumétricos na camada 0,00-0,10 m, para a determinação dos atributos físicos e do carbono orgânico. A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, utilizando uma solução normal de NaOH como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 15 minutos, seguindo metodologia proposta pela Embrapa (2011). A densidade do solo (Ds), macroporosidade (MaP) e microporosidade (MiP), volume total de poros (VTP) e umidade gravimétrica (Ug) foram mensuradas segundo a metodologia da Embrapa (2011), utilizando amostras de solos em anéis volumétricos.

O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método proposto por Yeomans e Bremner (1988). A matéria orgânica é determinado pelo produto do CO com 1,724 (Embrapa, 2011). O estoque de carbono (EC) foi definido pela equação 1:

$$EC = Ds \times h \times CO, \quad (1)$$

onde: EC = estoque de carbono (Mg ha<sup>-1</sup>); Ds = densidade do solo (Mg m<sup>-3</sup>); h = espessura da camada de solo amostrada (cm); CO = teor de C (%).

As avaliações da emissão de CO<sub>2</sub> do solo (FCO<sub>2</sub>) foram realizadas utilizando-se os sistemas LI-6400. O CO<sub>2</sub> emitido pelo solo é captado pela câmara de gás acoplada a um sistema de análise portátil LI-6400, que por sua vez calcula o fluxo de CO<sub>2</sub> do solo no interior da câmara por meio de espectroscopia de absorção óptica, na faixa do infravermelho. Concomitantemente às leituras de FCO<sub>2</sub>, foram realizadas medidas da temperatura do solo (TS) na camada de 0,00-0,10 m de profundidade, utilizando-se um termômetro de termistor portátil. Para a determinação da umidade do solo (US), foram coletadas amostras de solo em latas de alumínio, na camada de 0,00-0,10 m para cada ponto amostral. Das amostras de solos, foram medidas as massas de solo úmidas e secas em estufa a 105°C, para assim determinar a US, segundo a metodologia da Embrapa (2011).

Após a determinação dos atributos, foram realizadas análises estatísticas univariada e geoestatística. A análise de variância univariada (ANOVA) foi utilizada para comparar médias dos atributos individualmente utilizando o teste de Tukey, tendo como referência a área de TPA sob floresta natural (FN), a um nível de significância de 5% de probabilidade. Para a análise estatística, foi utilizada o programa computacional Statística 7.0.

A análise geoestatística foi realizada com base no semivariograma experimental, estimado pela equação abaixo:

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

sendo  $\hat{\gamma}(h)$  o valor da semivariância para uma distância  $h$ ;  $n(h)$  o número de pares envolvidos no cálculo da semivariância;  $Z(x_i)$  o valor do atributo  $Z$  na posição  $x_i$ ; e  $Z(x_i + h)$  o valor do atributo  $Z$  separado por uma distância  $h$  da posição  $x_i$ .

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de  $\hat{\gamma}(h)$ , são estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita,  $C_0$ ; patamar,  $C_0+C_1$ ; e o alcance,  $a$ ). Os modelos de semivariogramas considerados foram o esférico, o exponencial, o linear e o gaussiano. Para a análise do grau de dependência espacial (GDE) dos atributos em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994).

Os modelos do semivariograma do FCO<sub>2</sub>, TS e US foram estimados pelo programa computacional GS+ e construídos os mapas dos padrões espaciais por krigagem ordinária. Correlação de Pearson foi utilizada para avaliar a força e direção da correlação mapas do padrão de distribuição das variáveis estudadas. Foi retirada da tendência em termos das coordenadas espaciais para os semivariogramas experimentais que não se estabilizaram, utilizando a função  $n/s$  no programa computacional R.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo (Ds) não apresentou diferença ( $p < 0,05$ ) em relação aos usos do solo (Tabela 2). Entretanto, os solos apresentaram maior macroporos (MaP) em floresta natural (FN) e, conseqüentemente, menor microporos (MiP), em comparação aos usos de feijão guandu (FJ) e pastagem (PT). Também corroboram com esses resultados os menores teores de areia sob FN, seguido de maiores teores de silte e argila. Tanto a matéria orgânica (MO) e o estoque de carbono (EC) foram maiores na área sob FJ. A elevada cobertura vegetal sobre o solo de FJ, com mais de oito meses de plantio sem sofrer práticas intensivas no solo e trânsitos de animais podem ter favorecido a elevadas taxas de MO no solo.

Estatística	Ds	MaP	MiP	MO	EC	Areia	Silte	Argila
	mg m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>		g kg <sup>-3</sup>	t ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		
<b>Floresta natural</b>								
Média	1,32 a	24,65 a	29,51 b	39,01 b	147,97 b	701,34 c	195,89 a	102,77 a
DP	0,08	2,66	2,37	8,46	28,14	39,64	36,31	14,71
CV	6,06	10,79	8,03	21,69	19,02	5,65	18,54	14,31
<b>Feijão guandu</b>								
Média	1,35 a	22,93 b	31,18 a	43,99 a	166,99 a	768,73 a	145,22 c	86,07 b
DP	0,1	3,84	3,32	10,29	34,84	39,39	40,39	25,2
CV	7,41	16,75	10,65	23,39	20,86	5,12	27,81	29,28
<b>Pastagem</b>								
Média	1,32 a	21,51 c	32,14 a	38,8 b	148,54 b	745,19 b	173,70 b	81,11 b
DP	0,08	4,9	3,25	7,67	29,1	27,42	31,5	17,05
CV	6,06	22,78	10,11	19,77	19,59	3,68	18,13	21,02

Ds = densidade do solo; MaP = macroporosidade; MiP = microporosidade; MO = matéria orgânica; EC = estoque de carbono; CV = coeficiente de variação (%); DP = desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Tabela 2. Características físicas e carbono orgânico nas áreas de Terra Preta Arqueológicas na região de Novo Aripuanã, Amazonas.

A FN apresentou menores valores de fluxo de CO<sub>2</sub> (FCO<sub>2</sub>) e temperatura do solo (TS) e o maior valor de umidade do solo (US) (Tabela 3). Provavelmente, a incidência de chuvas no dia anterior à coleta do FCO<sub>2</sub> (Tabela 1) proporcionou o acúmulo de água no solo, que por sua vez está relacionada com a substituição imediata dos poros cheios de ar pela água, que podem formar um tampão e impede a difusão de gás de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera. Por outro lado, os resultados podem ser justificados por menores teores de MO e EC na área de FN em comparação a área de FJ, não apresentando diferença em relação a PT (Tabela 2). Os valores da Ds não apresentaram diferença (p>0,05) nas áreas estudadas, ocorrendo maior porcentagem de MaP sob a FN, corroborando com porcentagens mais elevadas de MiP no FJ e PT.

Pesquisas têm revelado que a emissão de CO<sub>2</sub> é em grande parte controlada pela temperatura do solo, mas pode ser também controlado pela umidade do solo, dependendo dos limites do conteúdo de água no solo (Tang et al., 2006; Zhou et al., 2006; Almagro et al., 2009). Por outro lado, tem-se constatado que o molhamento do solo aumenta a emissão de CO<sub>2</sub> pelo solo, desde que o teor volumétrico de água no solo seja inferior a 10% (Mariko et al., 2007).



Áreas	Média	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose	CV%
<b>Emissão de CO<sub>2</sub> (μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)</b>					
Floresta	1,91 b	0,56	0,84	0,55	29,3
Feijão guandu	2,29 a	0,54	0,67	0,42	23,6
Pastagem	2,26 a	0,71	0,78	0,83	31,4
<b>Temperatura do solo (°C)</b>					
Floresta	25,87 b	0,41	1,02	0,82	1,6
Feijão guandu	28,09 a	0,62	0,34	-0,34	2,2
Pastagem	28,26 a	0,84	0,61	0,01	3,0
<b>Umidade do solo (% volume)</b>					
Floresta	20,07 a	3,50	0,23	-0,29	17,4
Feijão guandu	18,48 b	3,03	0,33	-0,54	16,4
Pastagem	16,94 c	2,87	-0,44	-0,39	16,9

CV = coeficiente de variação (%). Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Tabela 3. Estatística descritiva da emissão de CO<sub>2</sub>, temperatura do solo e umidade do solo nas áreas de Terra Preta Arqueológicas na região de Novo Aripuanã, Amazonas.

Não houve diferença (p<0,05) para o FCO<sub>2</sub> e TS em relação às áreas de FJ e PT, porém, a US apresentou menor valor sob PT (Tabela 3). A umidade do solo sob FJ se justifica pela incidência de chuva duas horas anterior à coleta, mas o teor de água no solo não afetou a temperatura do solo (Tabela 1).

Panosso et al. (2009) verificaram pouca variação da emissão de CO<sub>2</sub> e da temperatura do solo em poucas horas após uma chuva, para solos com uma umidade acima de 14%. Resultados obtidos por Pinto-Junior et al. (2009) demonstram valores mais elevados da emissão de CO<sub>2</sub> para o mês de novembro, com temperatura do solo semelhante, mas com umidade do solo abaixo de 10%, para área de floresta de transição Amazônica e o cerrado e de pastagem com braquiária.

Conforme as características texturais das áreas em estudo (Tabela 2), os teores de silte e argila foram maiores na área de FN, corroborando com menor concentração de areia, sendo que o teor de argila não diferiu (p>0,05) entre as áreas de FJ e PT, mas com maior concentração do teor de areia e menor de silte na área sob FJ. Entretanto, não foram constatadas correlações significativas do FCO<sub>2</sub> com a TS e a US para as áreas em estudo (Tabela 4), mas que o FCO<sub>2</sub> apresentou correlações com os teores de areia e argila para as áreas de FJ e PT. Tanto a TS quanto a US para as áreas em estudo mostraram-se correlacionadas com os teores de areia e silte.

<b>Floresta Natural</b>					
	Areia	Silte	Argila	Temperatura	Fluxo de CO <sub>2</sub>
Silte	-0,94*				
Argila	-0,28*	-0,06			
Temperatura	0,41*	-0,45*	0,06		
Fluxo de CO <sub>2</sub>	0,03	-0,04	0,01	0,01	
Umidade	-0,51*	0,52*	0,03	-0,34*	-0,08
<b>Feijão guandu</b>					
Silte	-0,92*				
Argila	-0,22*	-0,17*			
Temperatura	-0,30*	0,30*	0,01		
Fluxo de CO <sub>2</sub>	-0,31*	0,25*	0,17*	0,07	
Umidade	-0,44*	0,39*	0,14*	-0,06	-0,03
<b>Pastagem</b>					
Silte	-0,88*				
Argila	-0,05	-0,44*			
Temperatura	-0,27*	0,25*	-0,01		
Fluxo de CO <sub>2</sub>	0,17*	-0,08	-0,15*	0,03	
Umidade	-0,51*	0,51*	-0,12	0,10	-0,03

\* Correlação de Pearson significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Análise de correlação dos atributos granulométricos, emissão de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo nas áreas de Terra Preta Arqueológicas na região de Novo Aripuanã, Amazonas.

A hipótese mais provável da baixa emissão de CO<sub>2</sub> sob FN é a baixa temperatura e o excesso de umidade em comparação às áreas de FJ e PT, além dos baixos teores de MO e do EC (Tabela 2). Outra influência para a variação espacial da emissão de CO<sub>2</sub> do solo diz respeito às características texturais do solo. Sotta et al. (2006), verificaram que a emissão de CO<sub>2</sub> é 21% maior em solos com maior teor de areia do que em solos argilosos. Entretanto, os mesmos autores confirmaram maior variação da umidade do solo em solos argilosos. Por outro lado, em solos com maior concentração de silte e argila, a temperatura do solo nas camadas superficiais e subsuperficiais apresentam maiores flutuações, como consequência do elevado número de microporos e maior capacidade de reterção da água no solo (Carneiro et al., 2014).

A variabilidade espacial e temporal da emissão de CO<sub>2</sub> do solo envolve uma gama de variáveis dependentes de vários fatores, que pode justificar sua complexidade na modelagem dos atributos em paisagens distintas (Sotta et al., 2006; Rodeghiero and Cescatti, 2008; Fiener et al., 2012). No entanto, para o presente estudo, não foram constatado pelo semivariograma cruzado uma dependência espacial do FCO<sub>2</sub> correlacionados entre os atributos da Tabela 2.

Os coeficientes de assimetria e curtose para o FCO<sub>2</sub>, TS e US (Tabela 3), em todas as áreas deste estudo, indicaram uma distribuição das variáveis próximo à distribuição normal (coeficientes iguais a zero). Por outro lado, a normalidade dos dados não é um pressuposto necessário para a aplicação de técnica geoestatística, mas sim que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer a análise (Oliveira et al., 2015a).

A temperatura do solo apresentou baixo coeficiente de variação, segundo os critérios de Warrick e Nielsen (1980), o que é um indicativo da heterogeneidade dos dados (Tabela 3). Assim, a TS teve uma variação entre 1,6 a 3,0 %, com maior homogeneidade dos dados para os pontos de amostragem, o que diferiu para os casos da US e FCO<sub>2</sub>, cujo primeiro apresentou um CV mediano com valores entre 16,4 a 17,4%, e o segundo, com alta variação (CV entre 29,3 a 31,4 %) entre os pontos de amostragem. Esses resultados são compatíveis aos valores relatados em ambientes de floresta tropical na Amazônia (Silva et al., 2016).

O comportamento do CV para os atributos do solo estudados pode ser útil na comparação da variação desses atributos com unidades distintas. No entanto, para a avaliação da variabilidade espacial desses atributos, foram calculados a semivariância entre os pontos de amostragem, cujos modelos ajustados no semivariograma experimental foram utilizados na krigagem para estimar valores de atributos em pontos não amostrados dentro da malha.

Foi observada variabilidade espacial para o FCO<sub>2</sub>, TS e US para as áreas em estudo (Tabela 5 e Figuras 2, 3 e 4). O FCO<sub>2</sub> apresentou um grau de dependência espacial forte para área de FN, diferindo das áreas de FJ e PT, que apresentaram uma variabilidade espacial moderada, segundo a classificação de Cambardella et al. (1994).

Áreas	Modelo	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> + C <sub>1</sub>	GDE (%)	a (m)	SQR	R <sup>2</sup>
Floresta natural	Exp	0,05	0,27	18,52	25,80	7,94 E-03	0,75
Feijão guandu	Exp	0,21	0,43	48,83	10,00	1,19 E-02	0,58
Pastagem	Esf	0,27	0,54	50,00	43,30	1,06 E-02	0,84
<b>Temperatura do solo (°C)</b>							
Floresta natural	Esf	0,02	0,21	9,52	36,80	7,28 E-03	0,84
Feijão guandu	Esf	0,07	0,19	36,84	23,10	3,24 E-03	0,80
Pastagem	Esf	0,47	0,71	66,20	68,69	3,78 E-02	0,76
<b>Umidade do solo (% volume)</b>							
Floresta natural	Esf	4,99	15,01	33,24	44,09	6,64	0,95
Feijão guandu	Esf	4,56	9,60	47,50	21,00	11,8	0,65

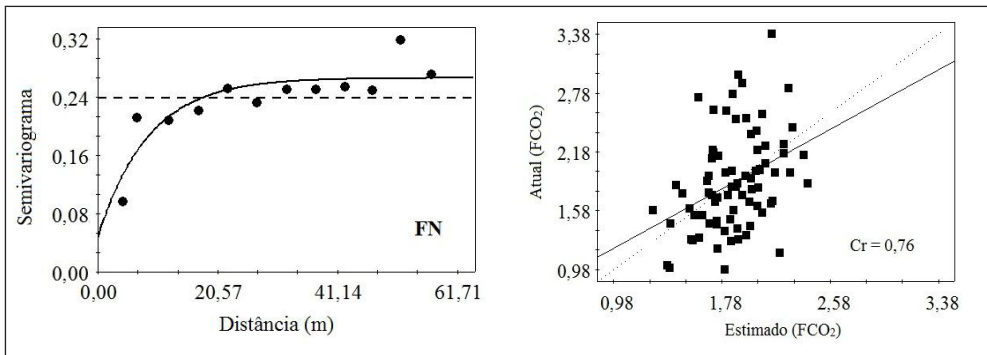
Pastagem	Exp	0,99	8,41	11,77	20,70	1,94	0,80
----------	-----	------	------	-------	-------	------	------

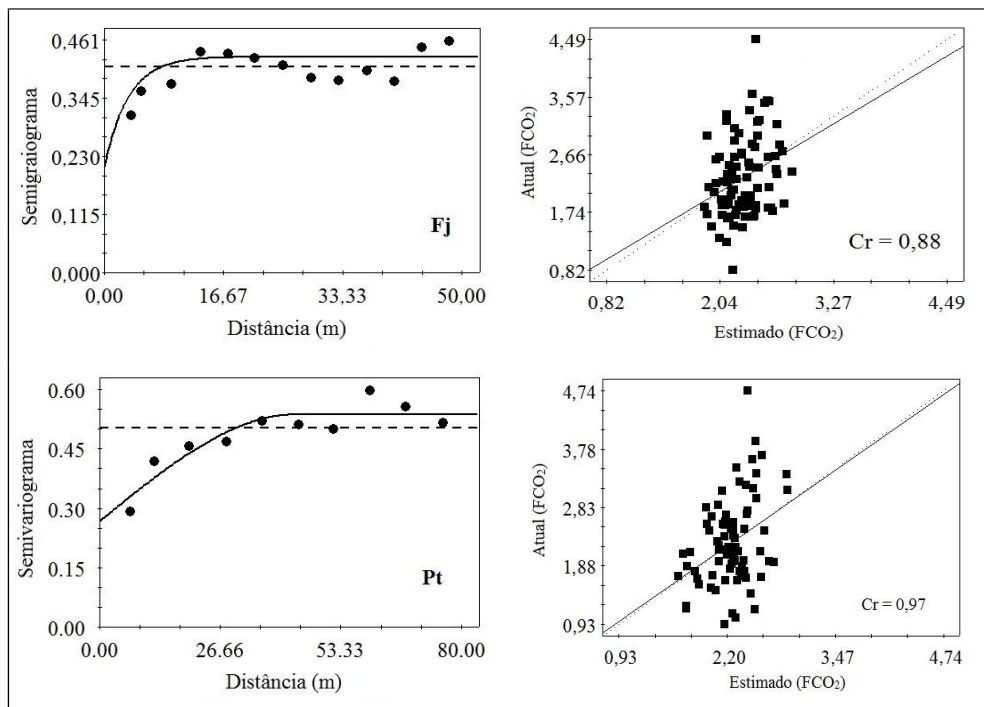
FN = floresta natural; FJ = feijão guandu; PT = pastagem. Modelos = esférico (Esf) e exponencial (Exp);  $C_0$  = efeito pepita;  $C_0 + C_1$  = patamar; a = alcance; GDE = grau de dependência espacial; SQR = soma do quadrado do resíduo;  $R^2$  = coeficiente de determinação.

Tabela 5. Parâmetros dos modelos ajustados do semivariograma para a emissão de  $CO_2$ , temperatura do solo e umidade do solo nas áreas de Terra Preta Arqueológicas na região de Novo Aripuanã, Amazonas.

No presente trabalho, a análise do semivariograma cruzado não evidenciou influência da TS e US nos padrões de distribuição do  $FCO_2$  sob as áreas em estudo. Entretanto, em outros trabalhos a variabilidade espacial da emissão de  $CO_2$  foi afetada principalmente pela umidade do solo (Panosso et al., 2009), cujo estudos foram realizados em um Latossolo desprovido de vegetação. Kosugi et al. (2007), em estudo da variabilidade espacial da emissão de  $CO_2$  do solo em floresta tropical, também constataram que a umidade do solo foi fator determinante na variabilidade espacial do  $FCO_2$ . O que distingue os solos de TPA em relação aos adjacentes é o elevado teor de matéria orgânica estável e elevados teores de nutrientes, além de alta atividade microbiana, o que pode justificar a complexidade em avaliar o padrão de variabilidade da emissão do  $CO_2$  nesses solos.

Com base aos ajustes do modelo do semivariograma experimental, verificaram-se semelhanças no comportamento do  $FCO_2$  entre as áreas de FN e FJ, com ajuste do modelo exponencial, enquanto a área de PT teve seu ajuste ao modelo esférico, ambos levando em consideração ao menor resíduo (Tabela 5). Os modelos apresentaram bons ajustes, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variando entre 0,58 a 0,84. Na validação cruzada (Figura 2), os valores estimados apresentaram correlações acima de 0,76, justificando a predição dos modelos com os dados originais. O alcance de dependência espacial do  $FCO_2$  (Figura 2) foram menores que a distância máxima ao qual o variograma foi definido, com alcances de correlação espacial entre 10,00 m para o FJ, a 43,30 m para a PT.





**Figura 3.** Semivariogramas experimentais e modelos ajustados para a emissão de  $\text{CO}_2$  do solo nas áreas de Terra Preta Arqueológicas na região de Novo Aripuanã, Amazonas. FN =floresta natural; FJ =feijão guandu; PT =pastagem.

A TS apresentou modelos de ajuste predominantemente esférico, com GDE forte para FN e moderado para FJ e PT. Os ajustes dos modelos foram adequados, com erros de residuais mínimos e coeficientes de determinação variando entre 0,76 a 0,84 (Tabela 5). As correlações obtidas pela validação cruzada (Figura 3) mostraram-se convincentes para a precisão dos modelos. Os alcances de correlação espacial entre os pontos foram acima de 23,10 m e muito inferior à distância máxima proposta pelo variograma. Por outro lado, nas áreas de FJ e PT, foram necessárias à retirada da tendência em termos das coordenadas espaciais, devido à violação da hipótese intrínseca do semivariograma experimental e, calculadas os semivariogramas a partir dos resíduos.

Os resultados apresentam concordâncias aos propostos por Panosso et al. (2009) para uma área desprovida de vegetação e que apresenta um controle de irrigação, ao qual após a irrigação da área, a dependência espacial alcançou até 20 m com modelo gaussiano do ajuste para o semivariograma experimental. Em outro trabalho, sobre cultivo de cana-de-açúcar sob manejo, a temperatura do solo resultou em uma variabilidade com alcance de até 77 m para modelos esféricos sob cana queimada e exponencial sob cana crua (Panosso et al., 2008).

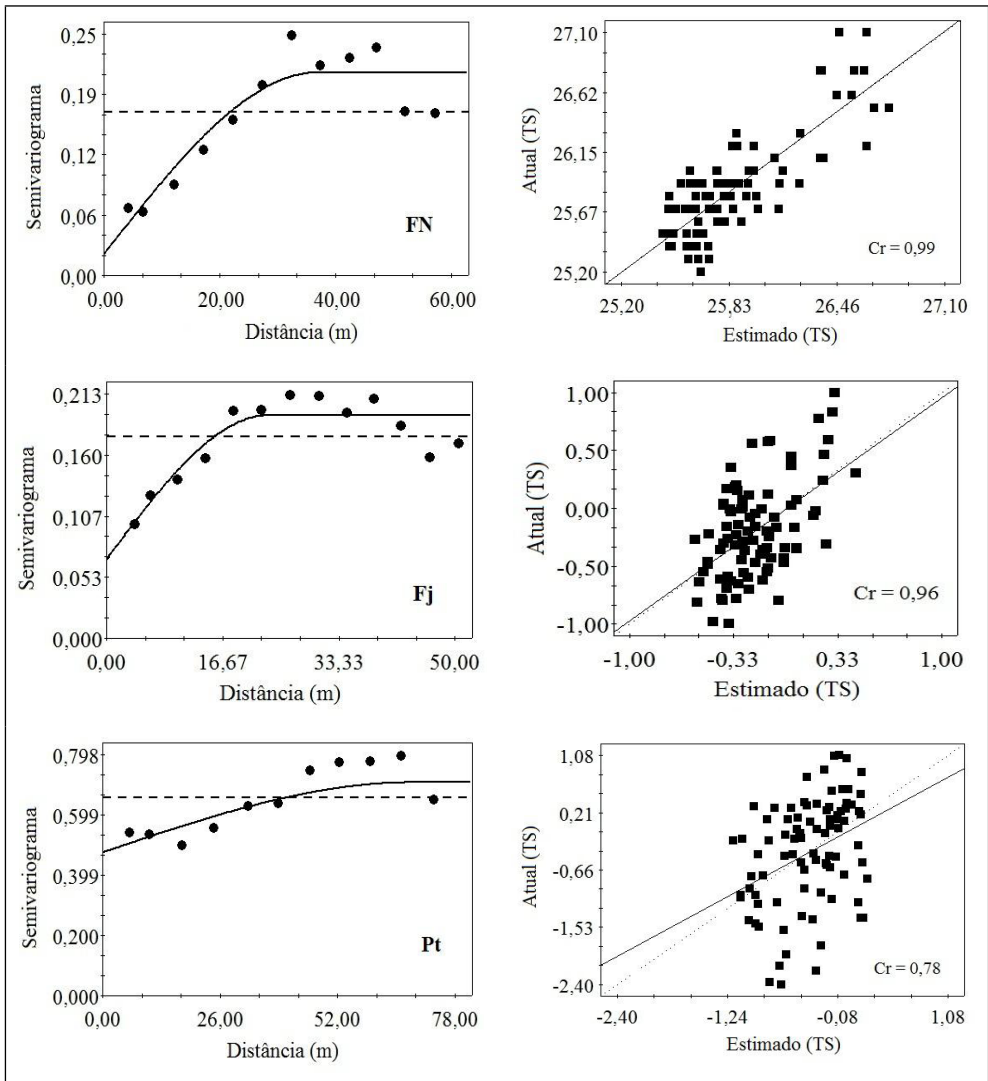


Figura 4. Semivariogramas experimentais e modelos ajustados para a temperatura do solo nas áreas de Terra Preta Arqueológicas na região de Novo Aripuanã, Amazonas. FN =floresta natural; FJ =feijão gandau; PT =pastagem.

Para a US os modelos de ajuste dos semivariogramas experimentais foram o esférico para a FN e FJ e o exponencial para a PT (Tabela 5 e Figura 4). Em contraste aos resultados encontrados nas áreas com FJ e PT, a US obteve uma estabilidade da curva do semivariograma experimental para a área sob FN, com correlação espacial acima de 44 m. Apesar de elevados valores para o erro residual (SQR) em comparação aos demais atributos, a validação cruzada foi superior, promovendo correlações acima de 0,93. Altos valores para o SQR também foram encontrados por Panosso et al. (2008 e 2009).

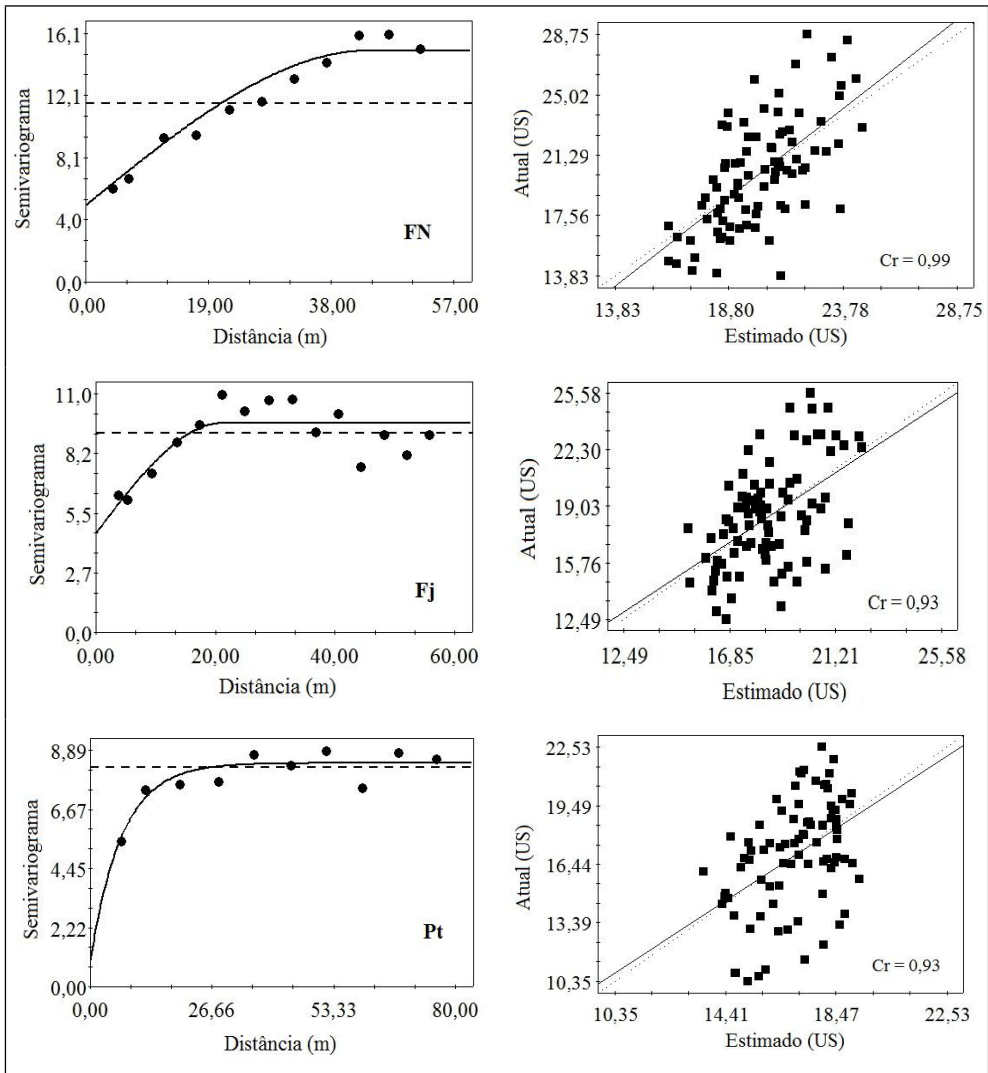


Figura 5. Semivariogramas experimentais e modelos ajustados para a umidade do solo nas áreas de Terra Preta Arqueológicas na região de Novo Aripuanã, Amazonas. FN =floresta natural; FJ =feijão gandu; PT =pastagem.

Na área sob floresta, a distribuição de valores do  $FCO_2$  (Figura 5B) não indica uma tendência de concentração, mas há uma predominância de valores entre 1,13 a 1,49  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , concomitantemente com valores dominantes mais baixos para a TS (25,4 a 26,0 °C) e US (15,6 a 19,5%). A distribuição espacial do  $FCO_2$  promoveu correlação positiva significativa ( $p < 0,05$ ) com a US ( $Cr = 0,41$ ) e correlação negativa com a TS ( $Cr = -0,27$ ), indicando que ambos influenciaram na variabilidade espacial do  $FCO_2$  do solo, mas com maior influência da US sob a área em estudo. A TS e US para a área de FN reproduziram um comportamento mais tendencioso de concentração entre os maiores valores de TS para

menores valores de US em locais específicos (Figura 5B e 5C), podendo ser corroborados pela correlação negativa ( $Cr = -0,48$ ) entre os mapas desses atributos, concordando com o trabalho proposto por Panosso et al. (2009).

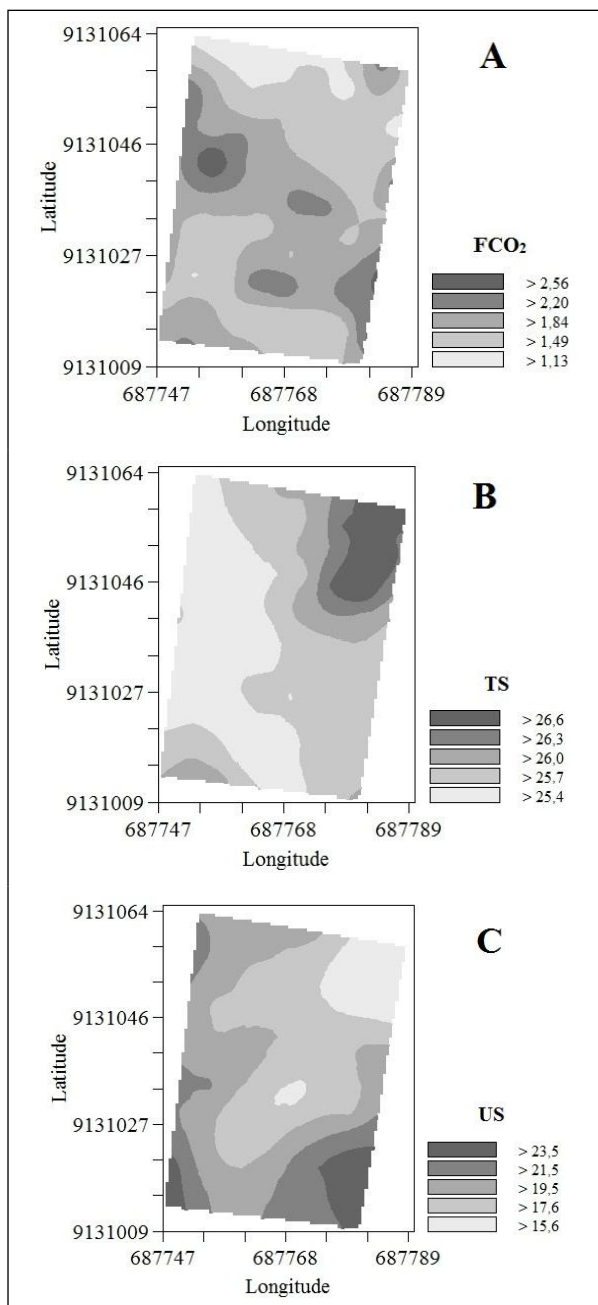


Figura 2. Mapas de padrão espacial do  $FCO_2$  (A), TS (B) e US (C) nas áreas de Terra Preta Arqueológicas sob floresta natural na região de Novo Aripuanã, Amazonas.



Por outro lado, a área de feijão guandu há um padrão de distribuição espacial tendencioso entre o  $FCO_2$  e US, de altos valores da emissão de  $CO_2$  para altos valores da umidade do solo, promovendo correlações positivas ( $Cr = 0,32$ ) entre ambos (Figura 6). Dentre os fatores que podem ter influenciado, destaca-se principalmente o tipo de cobertura do solo, além de raízes das plantas mais superficiais em comparação aos da FN. A incidência de chuvas horas anterior à leitura de dados podem ter contribuído para essa variação, ao qual o molhamento do solo pode ter promovido a substituição do gás entre os espaços porosos do solo, aumentando assim a emissão de  $CO_2$  pelo solo. Assim, há uma predominância de valores entre 1,60 a 2,28  $\mu mol m^{-2}s^{-1}$  para o  $FCO_2$  combinado de 15,0 a 18,0% para a US.

Na área de FJ, a TS promoveu correlações positivas ( $Cr = 0,34$ ) com o  $FCO_2$ , ao contrário do avaliado em FN, que apresentou correlação negativa, e não houve correlações significativas ( $p > 0,05$ ) entre a TS e a US na área do FJ (Figura 7). A textura do solo é um fator determinante intrínseco para a temperatura do solo, sendo que em solos mais arenosos promovem menor condutividade térmica no solo, que também pode ser uma justificativa da falta de correlação entre a TS e US sobre a mesma área. Em adição, o silte e a argila promovem um aumento elevado do número de microporos nos solos, que por sua vez apresenta maior capacidade de retenção de água no solo, o que acarreta no aumento da difusividade térmica (Carneiro et al., 2014). Assim, conforme apresentado na Tabela 4, o teor de silte e argila sob FN foi maior do que nas demais áreas, representando mais do que 29% do total das classes texturais de FN, enquanto que o FJ e PT representam cerca de 23% e 25%, respectivamente.

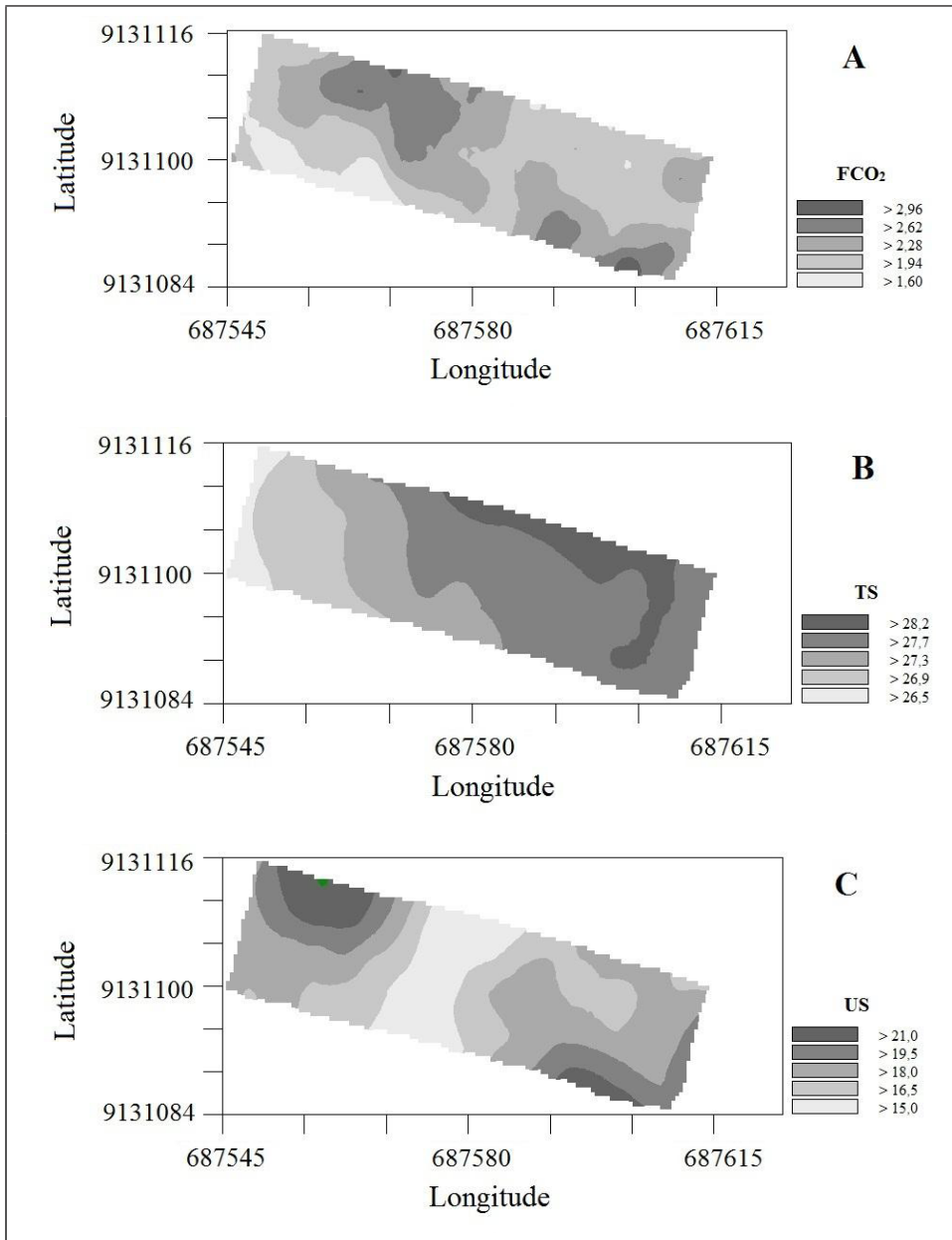


Figura 7. Mapas de padrão espacial da emissão de CO<sub>2</sub> (A), temperatura do solo (B) e umidade do solo (C) nas áreas de Terra Preta Arqueológicas sob feijão gandu na região de Novo Aripuanã, Amazonas.

Sob a área de PT (Figura 8), os padrões da distribuição dos valores de FCO<sub>2</sub>, TS e US não promoveram associação, com características bem distintas na configuração do ambiente. Assim, houve predominância de valores baixos de FCO<sub>2</sub> (entre 1,55 a 2,17 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) e TS (26,5 a 27,6 °C), mas com padrões de distribuição distintos da US em relação

às áreas de FN e FJ, com predominância de valores mais elevados (11,4 a 17,4%). Houve correlação positiva ( $Cr = 0,26$ ) da distribuição do  $FCO_2$  com a US, não apresentando significância ( $p > 0,05$ ) entre essas e a TS.

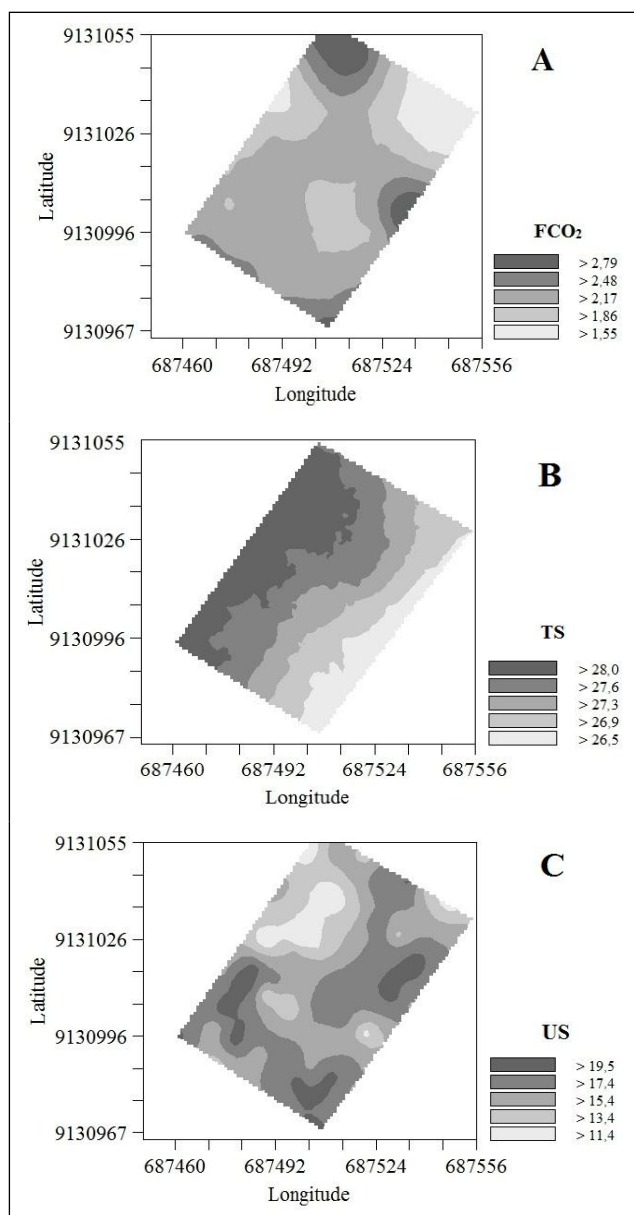


Figura 8. Mapas de padrão espacial da emissão de  $CO_2$  (A), temperatura do solo (B) e umidade do solo (C) nas áreas de Terra Preta Arqueológicas sob pastagem na região de Novo Aripuanã, Amazonas.

Conforme elucidado, o tipo de cobertura do solo, associado ao uso e manejo do solo, promoveu características distintas entre os ambientes quanto ao  $\text{FCO}_2$ , assim com a TS e US, conseqüências essas associadas às alterações dos atributos físicos do solo, principalmente quanto à porosidade e a textura, além das variações do teor de matéria orgânica. Assim como na área de FJ, o tipo de cobertura do solo, além das características texturais, podem ter corroborado para o padrão de distribuição do  $\text{FCO}_2$  sob a área de PT.

## 4 | CONCLUSÕES

Foi observada variabilidade espacial para a  $\text{FCO}_2$ , TS e US, com GDE para a  $\text{FCO}_2$  e TS fortes para a área de floresta e moderado para as áreas do feijão guandu e pastagem, enquanto para a US apresentou GDE moderado para floresta e feijão guandu, mas forte para pastagem.

Menores alcances de correlação espacial do  $\text{FCO}_2$ , TS e US para a área sob feijão guandu. Maiores alcances de correlação de  $\text{FCO}_2$  e TS foram para a área sob pastagem, e da US sob a área de floresta. Os modelos de ajuste do semivariograma foi o esférico, com exceção do  $\text{FCO}_2$  para as áreas de floresta e feijão guandu, e da US sob a área de pastagem, com modelo de ajuste exponencial.

Os mapas dos padrões de distribuição espacial indicam uma tendência de concentração entre os atributos avaliados, apresentando correlações positiva entre  $\text{FCO}_2$  com US, e negativa com a TS, sob a área de FN. Sob o FJ, o padrão de distribuição do  $\text{FCO}_2$  correlacionou positivamente tanto com a TS como a US, mas para a PT, houve correlação do  $\text{FCO}_2$  apenas com a US.

## REFERÊNCIAS

Almagro M, López J, Querejeta JI, Martínez-Mena M (2009) Temperature dependence of soil  $\text{CO}_2$  efflux is strongly modulated by seasonal patterns of moisture availability in a Mediterranean ecosystem. **Soil Biology & Biochemistry**. 41:594-605.

Aquino RE, Campos MCC, Junior JM, Oliveira IA, Teixeira DDB, Cunha JM (2015) Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil physical properties in southern Amazonas, Brazil. **R Bras Ci Solo**. 39:21-30.

Cambardella CA, Moorman TB, Novak JM, Parkin TB, Karlen DL, Turco RF, Konopka AE (1994) Field-scale variability of soil properties in Central Iowa. **Soil Sci Soc Am J**. 58: 1501-1511.

Carneiro RG, Moura MAL, Silva VPR, Silva Junior RS, Andrade AMD, Santos AB (2014) Variabilidade da temperatura do solo em função da liteira em fragmento remanescente de mata atlântica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 18 (1): 99-108.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2011) Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2nd ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solo.

Fiener P, Dlugob V, Korres W, Schneider K (2012) **Spatial variability of soil respiration in a small agricultural watershed – Are patterns of soil redistribution important?** *Catena*. 94: 3-16. doi:10.1016/j.catena.2011.05.014

Herbst M, Hellebrand HJ, Bauer J, Huisman JA, Simunek J, Weihermüller L, Graf A, Vanderborght J, Vereecken H (2008) Multi-year heterotrophic soil respiration: evaluation of a coupled CO<sub>2</sub> transport and carbon turnover model. **Ecol. Mod.** 214: 271-283.

Kämpf N, Kern DC (2005) **O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia.** In: Vidal-Torrado P, Alleoni LRF, Cooper M, Silva AP, Cardoso EJ (Eds). **Tópicos em Ciência do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.277-320.

Kosugi Y, Mitani T, Itho M, Noguchi S, Tani M, Matsou N, Takanashi S, Ohkubo S, Nik AR (2007) Spatial and temporal variation in soil respiration in a Southeast Asian tropical rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**. 147: 35-47.

Lima HN, Schaefer CEGR, Kämpf N, Costa ML, Souza KW (2009) **Características Químicas e Mineralógicas e a Distribuição de Fontes de Fósforo em Terras Pretas de Índio da Amazônia Ocidental.** In: **As Terras Pretas de índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas.** Teixeira WG, Kern DC, Madari BE, Lima HN, Woods W. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, Capítulo de livro. p. 212-224.

Mariko S, Urano T, Asanuma J (2007) Effects of irrigation on CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes from Mongolian steppe soil. **Journal of Hydrology**. 333(1):118-123.

Oliveira IA, Junior JM, Campos MCC, Aquino RE, Freitas L, Siqueira DS, Cunha JM (2015a) Variabilidade espacial e densidade amostral da suscetibilidade magnética e dos atributos de Argissolos da região de Manicoré, AM. **R Bras Ci Solo**. 39:668-681.

Oliveira IA, Campos MCC, Marques Junior J, Aquino RE, Teixeira DB, Silva DMP (2015b) Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil chemical properties in southern Amazonas, Brazil. **R Bras de Ci Solo**. 39: 31-39.

Panosso AR, Pereira GT, Júnior JM, Júnior, NLS (2008) Variabilidade espacial da emissão de CO<sub>2</sub> em Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. **Eng. Agríc.** 28(2): 227-236.

Panosso AR, Ribeiro CER, Zanini JR, Pavani LC, Pereira GT, Júnior NLS (2009) Variabilidade espacial da emissão de CO<sub>2</sub>, da temperatura e umidade de um latossolo desprovido de vegetação sob diferentes lâminas de molhamento. **Semina: Ciências Agrárias**. 30(1): 1017-1034.

Pinto-Junior OB, Sanches L, Dalmolin AC, Nogueira JS (2009) Efluxo de CO<sub>2</sub> do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem. **Acta Amazônica**. 39(4): 813-822.

Rodeghiero M, Cescatti A (2008) Spatial variability and optimal sampling strategy of soil respiration. **Forest Ecology and Management**. 255: 106-112. doi:10.1016/j.foreco.2007.08.025

Schwendenmann L, Veldkamp E, Brenes T, O'Brien JJ, Mackensen J (2003) Spatial and temporal variation in soil CO<sub>2</sub> efflux in an old-growth neotropical rainforest, La Selva, Costa Rica. **Biogeochemistry**. 64:111-128.

Silva LC, Cunha JM, Machado NG, Campos MCC, Biudes MS (2015) Estimativa do balanço de radiação por sensoriamento remoto de diferentes usos de solo no sudoeste da Amazônia brasileira. **Sociedade & Natureza**. 27 (2): 341-356.

Silva CM, Vasconcelos SS, Mourão Júnior M, Bispo CLC, Kato OR, Silva Junior AC, Castellani DC (2016) Variação temporal do efluxo de CO<sub>2</sub> em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental. **Acta Amazônica**. 46(1): 1-12.

Sotta ED, Veldkamp E, Guimarães BR, Paixão RK, Ruivo MLP, Almeida SS (2006). Landscape and climatic controls on spatial and temporal variation in soil CO<sub>2</sub> efflux in an Eastern Amazonian Rainforest, Caxiuanã, Brazil. **Forest Ecology and Management**. 237:57-64. doi:10.1016/j.foreco.2006.09.027

Tang X, Zhou G, Liu S, Zhang D, Liu S, Li J, Zhou C (2006) Dependence of Soil Respiration on Soil Temperature and Soil Moisture in Successional Forests in Southern China. **Journal of Integrative Plant Biology**. 48 (6): 654-663.

Warrick AW, Nielsen DR (1980) Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel D, editor. Applications of soil physics. **New York: Academic Press**. p.319-344.

Yeomans JC, Bremner JM (1988) A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. 19: 1467-76.

Zhou X, Sherry R, An Y, Wallace LL, Luo Y (2006) Main and interactive effects of warming, clipping, and doubled precipitation on soil CO<sub>2</sub> efflux in a grassland ecosystem. **Global Biogeochemical Cycles**. 20: GB1003. doi: 10.1029/2005GB002526.

# 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)



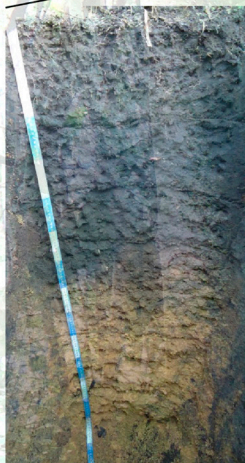
@atenaeditora



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



0 400 800 km



**Atena**  
Editora

Ano 2021