

SOLO, ÁGUA, PLANTA E VARIÁVEIS AMBIENTAIS:

Impactos e suas transformações
no Sul do Amazonas

José Maurício da Cunha
Milton César Costa Campos
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva
(Organizadores)

SOLO, ÁGUA, PLANTA E VARIÁVEIS AMBIENTAIS:

Impactos e suas transformações
no Sul do Amazonas

José Maurício da Cunha
Milton César Costa Campos
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva
(Organizadores)

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

José Maurício da Cunha

Milton César Costa Campos

Douglas Marcelo Pinheiro da Silva

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 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 Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso



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. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
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. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
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. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás
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



Solo, água, planta e variáveis ambientais: impactos e suas transformações no sul do Amazonas

Diagramação: Natália Sandrini de Azevedo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: José Maurício da Cunha
Milton César Costa Campos
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S689 Solo, água, planta e variáveis ambientais: impactos e suas transformações no sul do Amazonas / Organizadores José Maurício da Cunha, Milton César Costa Campos, Douglas Marcelo Pinheiro da Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0234-3

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.343221905>

1. Solo - Uso - Amazônia. 2. Água. 3. Plantas. I. Cunha, José Maurício da (Organizador). II. Campos, Milton César Costa (Organizador). III. Silva, Douglas Marcelo Pinheiro da (Organizador). IV. Título.

CDD 333.75130981

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

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 autoriza 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

O Bioma Amazônico é caracterizado por ser uma região bastante extensa, apresentando elevada diversidade geológicas, geomorfológicas, edáficas, climáticas e de vegetação. Contudo, a composição e as características funcionais de espécies vegetais apresentam grandes efeitos na dinâmica dos ecossistemas florestais. Assim, com o intuito de obter maior conhecimento da dinâmica dos nutrientes em áreas de recuperação florestal, manutenção da produtividade em sítios degradados, avaliação de impactos do solos em ambiente sobre intensa ocupação humana, assim como os impactos decorrentes de incêndios florestais, estudos correlatos tem sido profundamente discutidos em diversas temáticas, com a finalidade de obter informações relevantes para melhor compreender os funcionamentos desses ecossistemas.

Os estudos sobre ecossistemas da Amazônia, especialmente no Sul-sudeste do Amazonas, vem sendo discutidos por meio de pesquisas acadêmicas a partir do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, desde o ano de 2016, com a implantação no Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente da Universidade Federal do Amazonas em Humaitá, que, na ocasião, conseguiu produzir resultados importantes na construção de um conhecimento crítico da real dinâmica espaço-temporal das transformações ambientais no contexto Amazônico, promovido por um pequeno grupo de estudantes e professores com trabalhos voltados para estudar as relações entre solo, água, planta e variáveis ambientais.

O Grupo de Pesquisa “Solos em Ambientes Amazônico”, criado em 2009, foi se destacando em importantes pesquisas à medida que se consolidava, com aprovações de Projetos de Pesquisas, que auxiliaram e continua a auxiliar o grupo a prover infraestrutura adequada na realização de diversas frentes de pesquisas, como Projetos de Iniciação Científica, Trabalhos de Conclusão de Curso de Graduação, Dissertações de Mestrado e Teses de Doutorado, favorecendo a geração de conhecimento e formação de recursos humanos altamente qualificadas no interior da Amazônia. Além disso, o grupo de pesquisa também realizou Eventos Científicos e de Popularização da Ciência e publicação de Livros.

Dessa forma, as pesquisas oriundas do Grupo de Pesquisa “Solos e Ambiente Amazônico” e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais é que tornaram-se possível apresentar esta **Coletânea de Trabalhos em solo, água, planta e variáveis ambientais**, oriundo de Dissertações de Mestrado.

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 N.31/2021 – PROPESP/UFAM: PROGRAMA DE APOIO À PUBLICAÇÃO DE LIVROS – 2021, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), que apoiou a realização do ***III Simpósios de Ciência do Solo da Amazônia Ocidental***,

sendo possível apresentar o material intitulado: **“Solo, água, planta e variáveis ambientais: impactos e suas transformações no Sul do Amazonas”**.

Milton César Costa Campos

José Maurício da Cunha

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ESTIMATIVA DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM UMA MICROBACIA DO RIO PURUZINHO, SUL DO AMAZONAS

Uilson Franciscon
José Maurício da Cunha
Milton César Costa Campos
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva
Natasha Souza Araújo Lemos
Elilson Gomes de Brito Filho
Wildson Benedito Mendes Brito

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3432219051>

CAPÍTULO 2..... 34

ATRIBUTOS FÍSICOS, CARBONO ORGÂNICO E DIMENSÃO FRACTAL DA TEXTURA EM SOLOS SOB AMBIENTES NATURAIS E ANTROPIZADOS NA REGIÃO SUL DO AMAZONAS

José Cezar Frozzi
José Maurício da Cunha
Milton César Costa Campos
Anderson Cristian Bergamin
Wildson Benedito Mendes Brito
Uilson Franciscon
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva
Alan Ferreira Leite de Lima
Elilson Gomes de Brito Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3432219052>

CAPÍTULO 3..... 85

ESTUDO DA SERAPILHEIRA, BIOMASSA RADICULAR E VARIÁVEIS DO SOLO: UMA ABORDAGEM SOCIOAMBIENTAL NA AMAZÔNIA

Ozias da Cunha Bello
José Maurício da Cunha
Milton César Costa Campos
Alan Ferreira Leite de Lima
Elilson Gomes de Brito Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3432219053>

CAPÍTULO 4..... 116

PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO SUL DO AMAZONAS

Natasha Souza Araújo Lemos
José Maurício da Cunha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3432219054>

CAPÍTULO 5..... 168

MODELAGEM DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS NO SUL DO AMAZONAS UTILIZANDO O MÉTODO DA MÁXIMA ENTROPIA

Rômulo Henrique Marmentini Vogt

José Maurício da Cunha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3432219055>

CAPÍTULO 6..... 193

CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS EM UMA LITOSSEQUÊNCIA ARENITO-GNAISSE EM MANICORÉ – AM

Julimar da Silva Fonseca

Milton César Costa Campos

Bruno Campos Mantovanelli

Laércio Santos Silva

Alan Ferreira Leite De Lima

Elilson Gomes de Brito Filho

José Maurício da Cunha

Emily Lira Simões

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3432219056>

CAPÍTULO 7..... 245

FRAÇÕES ORGÂNICAS DO CARBONO EM AMBIENTES DE PASTAGENS E FLORESTA NO NORTE DE RONDÔNIA

Elyenayra Nogueira Pinheiro

Milton César Costa Campos

Elilson Gomes de Brito Filho

José Maurício da Cunha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3432219057>

CAPÍTULO 8..... 275

ERODIBILIDADE DO SOLO EM ÁREAS SOB AMBIENTES NATURAIS E ANTROPIZADOS NO CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL SUL DO AMAZONAS

Abdul Luis Hassane

Milton César Costa Campos

Douglas Marcelo Pinheiro da Silva

José Maurício da Cunha

Juliana Malta de Assis

Wildson Benedito Mendes Brito

Alan Ferreira Leite de Lima

Elilson Gomes de Brito Filho

Flávio Pereira de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3432219058>

CAPÍTULO 9.....295

APORTE E DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA E ATRIBUTOS DO SOLO NO CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL DA AMAZÔNIA

Maria Clécia Gomes Sales
Milton César Costa Campos
Elilson Gomes de Brito Filho
José Maurício da Cunha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3432219059>

SOBRE OS ORGANIZADORES321

CAPÍTULO 2

ATRIBUTOS FÍSICOS, CARBONO ORGÂNICO E DIMENSÃO FRACTAL DA TEXTURA EM SOLOS SOB AMBIENTES NATURAIS E ANTROPIZADOS NA REGIÃO SUL DO AMAZONAS

Data de aceite: 10/03/2022

Data de submissão: 03/03/2022

Elilson Gomes de Brito Filho

Graduando em Agronomia - Universidade Federal da Paraíba
bfsambiente@gmail.com

José Cezar Frozzi

Mestre em Ciências Ambientais- Universidade Federal do Amazonas jcfrozzi@gmail.com

José Maurício da Cunha

Doutor em Física Ambiental - Universidade Federal do Amazonas maujmc@gmail.com

Milton César Costa Campos

Doutor em Ciência do Solo – Universidade Federal da Paraíba mcesarsolos@gmail.com

Anderson Cristian Bergamin

Doutor em Ciência do Solo – Universidade Federal de Rondônia andersonbergamin@hotmail.com

Wildson Benedito Mendes Brito

Mestre em Agronomia- Universidade Federal do Amazonas

Uilson Franciscon

Mestre em Ciências Ambientais- Universidade Federal do Amazonas uilsonfranciscon@gmail.com

Douglas Marcelo Pinheiro da Silva

Doutor em Horticultura - Universidade Federal do Amazonas douglasmrce@gmail.com

Alan Ferreira Leite de Lima

Mestre em Agronomia- Universidade Federal do Amazonas ala_leite@hotmail.com

RESUMO: As transformações de ambientes amazônicos naturais em sistemas de produção, relacionados principalmente a agropecuária, que é considerada a atividade antrópica mais frequente na região, podem provocar alterações significativas nos atributos físicos e carbono orgânico do solo. O desenvolvimento adequado das plantas depende basicamente da qualidade do solo, a qual tem relação direta com os seus atributos. O objetivo deste estudo foi avaliar os atributos físicos, carbono orgânico e dimensão fractal da textura do solo em ambientes naturais e em usos antrópicos localizados no município de Humaitá, Amazonas. Utilizaram-se nove ambientes, entre eles pastagem, agrofloresta, mandioca, açaí, reflorestamento e florestas nativas (1, 2, 3 e 4), servindo como ambientes naturais fiéis para os ambientes em uso. Foram coletadas amostras em quatro pontos por ambiente, em três profundidades (0,00-0,05 m; 0,05-0,10 m; 0,10-0,20 m), totalizando 108 amostras. Para as análises físicas de textura (areia, silte e argila) e estabilidade de agregados foram coletados blocos de solo com estrutura preservada, sendo os resultados expressos em diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado e porcentagem de agregados (>2 mm; 2-1 mm; <1

mm), além da análise química de carbono orgânico e determinação da dimensão fractal. Para as análises físicas de resistência do solo à penetração, umidade gravimétrica do solo, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total foram coletadas 108 amostras preservadas em cilindros volumétricos, em duplicata. Os diferentes usos antrópicos provocam alterações significativas na textura e estrutura dos solos em ambientes naturais. O ambiente com agrofloresta apresenta-se com os maiores ganhos de carbono orgânico, matéria orgânica e estoque de carbono até 0,10 m de profundidade e com reflorestamento a maior perda até 0,20 m de profundidade, em comparação aos seus ambientes naturais. A melhoria estrutural dos solos possui estrita relação com aumento do carbono orgânico. A dimensão fractal da textura do solo aumenta conforme o avanço em profundidade nos ambientes considerados do estudo. O ambiente com o maior valor médio de dimensão fractal é floresta nativa 3 (2,912) e com o menor valor médio é agrofloresta (2,740). O carbono orgânico tem correlação positiva com silte, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado e agregados >2 mm, e negativa com densidade do solo e argila. A dimensão fractal da textura do solo possui correlação positiva com argila e negativa com silte. Os ambientes com floresta nativa 2 e mandioca caracterizam-se pelos maiores valores de umidade gravimétrica do solo, macroporosidade porosidade total, enquanto que reflorestamento pelos maiores valores de densidade do solo e resistência do solo à penetração. Os ambientes com floresta nativa 1, pastagem e agrofloresta caracterizam-se pelos maiores valores de carbono orgânico, silte, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado e agregados >2 mm, enquanto floresta nativa 3, floresta nativa 4 e açaí são caracterizados pelos maiores valores de dimensão fractal da textura, argila e agregados menores. A estatística multivariada promove melhor entendimento que a estatística univariada.

PALAVRAS-CHAVE: estrutura do solo; estabilidade de agregados; ambientes amazônicos; estoque de carbono.

ABSTRACT: The transformations of natural Amazonian environments in production systems, mainly related to agriculture, which is considered the most frequent anthropic activity in the region, can cause significant alterations in the physical attributes and organic carbon of the soil. The proper development of the plants depends basically on the quality of the soil, which is directly related to its attributes. The objective of this study was to evaluate the physical attributes, organic carbon and fractal dimension of soil texture in natural environments and anthropic uses located in the municipality of Humaitá, Amazonas. Nine environments were used, including pasture, agroforestry, cassava, açaí, reforestation and native forests (1, 2, 3 and 4) serving as reliable natural environments for the environments in use. Samples were collected, at four points per environment, in three depths (0.00-0.05 m, 0.05-0.10 m, 0.10-0.20 m), totaling 108 samples. For the physical analysis of texture (sand, silt and clay) and stability of aggregates it was collected soil blocks with preserved structure, the results being expressed in geometric mean diameter, weighted mean diameter and percentage of aggregates (>2 mm, 2-1 mm, <1 mm), in addition to the chemical analysis of organic carbon and fractal dimension determination. For the physical analysis of soil resistance to penetration, soil gravimetric

moisture, soil density, macroporosity, microporosity and total porosity it was collected 108 samples preserved in volumetric cylinders, in duplicate. The different anthropic uses provoke significant alterations in the texture and structure of the soils in natural environments. The agroforestry environment presents the highest organic carbon, organic matter and carbon stock gains up to 0.10 m depth and with reforestation the greatest loss up to 0.20 m depth, compared to its natural environments. Soil structural improvement is closely related to organic carbon increase. Fractal dimension of soil texture increases according to the advance in depth at the environments in the considered study. The environment with the highest mean fractal dimension of soil texture value is native forest 3 (2.912) and with the lowest mean value is agroforestry (2,740). Organic carbon has a positive correlation with silt, geometric mean diameter, weighted mean diameter and aggregates >2 mm, and negative with soil gravimetric density and clay. Fractal dimension of soil texture has positive correlation with clay and negative with silt. The environments with native forest 2 and cassava are characterized by higher values of soil gravimetric moisture, macroporosity and total porosity, whereas reforestation by the highest values of soil gravimetric density and soil resistance to penetration. The native forest 1, pasture and agroforestry environments are characterized by the highest values of organic carbon, silt, geometric mean diameter, weighted mean diameter and aggregates >2 mm, while native forest 3, native forest 4 and açai are characterized by higher values of fractal dimension of texture, clay and smaller aggregates. Multivariate statistics promote better understanding than univariate statistics.

KEYWORDS: soil structure; stability of aggregates; Amazonian environments; carbon stock.

1 | INTRODUÇÃO

A região Amazônica está situada na parte norte da América do Sul, com cerca de 6 milhões de km² (VALE JÚNIOR et al., 2011), possui a maior floresta tropical do mundo, sendo o maior reservatório de biodiversidade do planeta e onde ainda persistem ambientes naturais. Integrante da região Amazônica, a região Sul do Amazonas ocupa cerca de 474.021 km² do total de sua área, equivalente a 30% do estado do Amazonas. Dentre os municípios que integram a região Sul do Amazonas, Humaitá recebe destaque por ser o município onde ocorre o entroncamento entre as BR 230 e BR 319, servindo de apoio para viajantes de diversas regiões do país e do exterior.

Até meados da década de 60, a exploração dos recursos amazônicos era de forma extrativista. Entretanto, posteriormente, a exploração se intensificou para integrar a região ao processo produtivo e econômico do país. A pecuária, uma das atividades econômicas que mais se desenvolveu na ocupação e na utilização das terras, contribuiu para que grandes extensões de florestas fossem desmatadas e cedessem lugar às pastagens cultivadas para a criação de bovinos e a agricultura manejada com corte e queima, provocando impactos ambientais negativos, às vezes até irreversíveis (COSTA et al., 2000; RIVERO et al., 2009).

O uso inadequado do solo para as práticas agropecuárias repercute diretamente

sobre a qualidade física do solo, causando significativas modificações no conteúdo de matéria orgânica e degradação dos atributos do solo (SILVA et al., 2005; SÁ et al., 2010).

O conhecimento das modificações nos atributos do solo, causadas pelos diversos usos antrópicos, fornece subsídios para a adoção de práticas de manejo que permitam incrementar o rendimento do processo produtivo aliado à conservação dos ambientes garantindo que as futuras gerações possam utilizar destes ambientes da mesma forma que utilizamos hoje, ou seja, proporcionar o “desenvolvimento sustentável”.

Nesse sentido, a avaliação dos atributos do solo em ambientes naturais e antropizados torna-se necessária para encontrar subsídios e propor técnicas de manejo que visam minimizar e até mesmo inibir possíveis alterações ambientais. A utilização da análise da dimensão fractal pode ser uma alternativa auxiliar no processo de avaliação das condições ambientais dos solos. Tem como função principal focalizar a complexidade das informações espaciais, fornecendo ao pesquisador uma abordagem rigorosa para fundamentar a mensuração, a análise e a representação quantitativa e geométrica do espaço real.

Nas ciências ambientais, a análise da dimensão fractal tem sido direcionada principalmente à representação das formas, tamanhos da distribuição espacial das partículas e dos espaços porosos do solo (FUENTES et al., 2001). Com frequência, os estudos nesta área são relacionados à estabilidade de agregados, distribuição do tamanho das partículas e dos poros. Isso favorece procedimentos e o desenvolvimento de modelos matemáticos que não consideram a física dos atributos do solo, razão pela qual a geometria fractal apresenta-se como ferramenta adicional, que leva em conta a dimensão fractal resultante da distribuição do tamanho das partículas e de suas respectivas massas.

O uso da análise da dimensão fractal da textura do solo em conjunto com técnicas de estatística uni e multivariada pode auxiliar na tomada de decisão sobre quais usos e manejos serão adequados para a manutenção e/ou melhoria da qualidade do solo, baseando-se na dinâmica dos seus atributos, e indicar quais os atributos sofrem maior alteração com a ação antrópica.

Apesar da grande importância dos métodos estatísticos multivariados para interpretações das variações dos atributos do solo, poucos são os trabalhos que fazem uso desta ferramenta, pois a maioria utiliza métodos estatísticos univariados (SILVA et al., 2010b). No entanto, alguns estudos têm aplicado técnicas multivariadas para avaliação das variáveis do solo e encontrado resultados satisfatórios (CAMPOS et al., 2012b; PRAGRANA et al., 2012; CAMPOS et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2014; MANTOVANELLI et al., 2015; AQUINO et al., 2016; SOARES et al., 2016; CUNHA et al., 2017).

A proposta da utilização da estatística multivariada justifica-se por possuir

maior capacidade de descrever as relações de intra e interdependência nos sistemas agropecuários (MARQUES JÚNIOR, 2009). Com a análise multivariada é possível explicar o máximo de correlação entre as variáveis e descobrir quais delas contribuem mais para a avaliação da qualidade do solo. Na análise simultânea de muitas informações, esta técnica torna-se a melhor ferramenta, possibilitando obter dados e interpretações que poderiam não ser perceptíveis com o uso da análise estatística univariada (CRUZ & REGAZZI, 2001).

Portanto, avaliar os atributos físicos e carbono orgânico do solo com o auxílio da dimensão fractal da textura do solo em paralelo com as análises estatísticas uni e multivariadas pode ser uma alternativa válida para a ciência do solo nos dias atuais.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição das Áreas de Estudo

O estudo foi realizado em cinco propriedades rurais localizadas ao Sul do Amazonas, mais precisamente no município de Humaitá (Figura 1). Nessas propriedades foram selecionados quatro ambientes com características naturais (florestas nativas – FN), servindo como ambientes naturais, numerados de 1 a 4 para diferenciação (FN₁, FN₂, FN₃ e FN₄) e também cinco ambientes com diferentes usos antrópicos, dentre eles: pastagem – P (ambiente natural: FN₁), agrofloresta – AF (ambiente natural: FN₁), mandioca – M (ambiente natural: FN₂), açaí – A (ambiente natural: FN₃) e reflorestamento – RF (ambiente natural: FN₄). O emprego de um ambiente natural como comparativo a cada ambiente em uso foi em virtude de que as comparações fossem as mais fiéis possíveis.

O ambiente com pastagem (P) está situado nas coordenadas geográficas 7°27'23" S e 63°02'26" W, altitude de 62 m, formada com *Brachiaria brizantha* (cv. marandu) e diversas plantas de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) espalhadas pela pastagem, com cerca de 20 anos de implantação, é mantida com baixa lotação de gado. O ambiente com agrofloresta (AF) está situado nas coordenadas geográficas 7°27'24" S e 63°02'15" W, altitude de 62 m, com aproximadamente 15 anos de implantação, onde foram identificadas espécies como a andiroba (*Carapa guianensis*), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), açaí (*Euterpe oleracea*), castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*), cacau (*Theobroma cacao*), pupunha (*Bactris gasipaes*) e tucumã (*Astrocaryum aculeatum*). O ambiente com AF tem acesso de pequenos animais (porcos e aves) criados de maneira extensiva. O solo desses ambientes foi classificado como Argissolo Vermelho Distrófico (Embrapa 2013). Os ambientes com P e AF são próximos, com cerca de 300 m entre seus pontos de coleta, e ambos possuem o mesmo ambiente natural (FN₁) como representativo, situado nas coordenadas 7°27'14" S e 63°02'41" W, estando a P distante cerca de 600 m dos pontos da FN₁ e a AF distante cerca de 900 m dos pontos da FN₁.

O ambiente cultivado com mandioca (M) (*Manihot esculenta*) está situado nas

coordenadas geográficas 7°47'40" S e 63°10'23" W, altitude de 70 m, com aproximadamente dois anos de cultivo, onde ocorreu a prática de gradagem antes do plantio, sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (Embrapa 2013). Os pontos de coleta do ambiente com M foram próximos cerca de 200 m dos pontos de seu ambiente representativo (FN₂), nas coordenadas 7°47'41" S e 63°10'38" W.

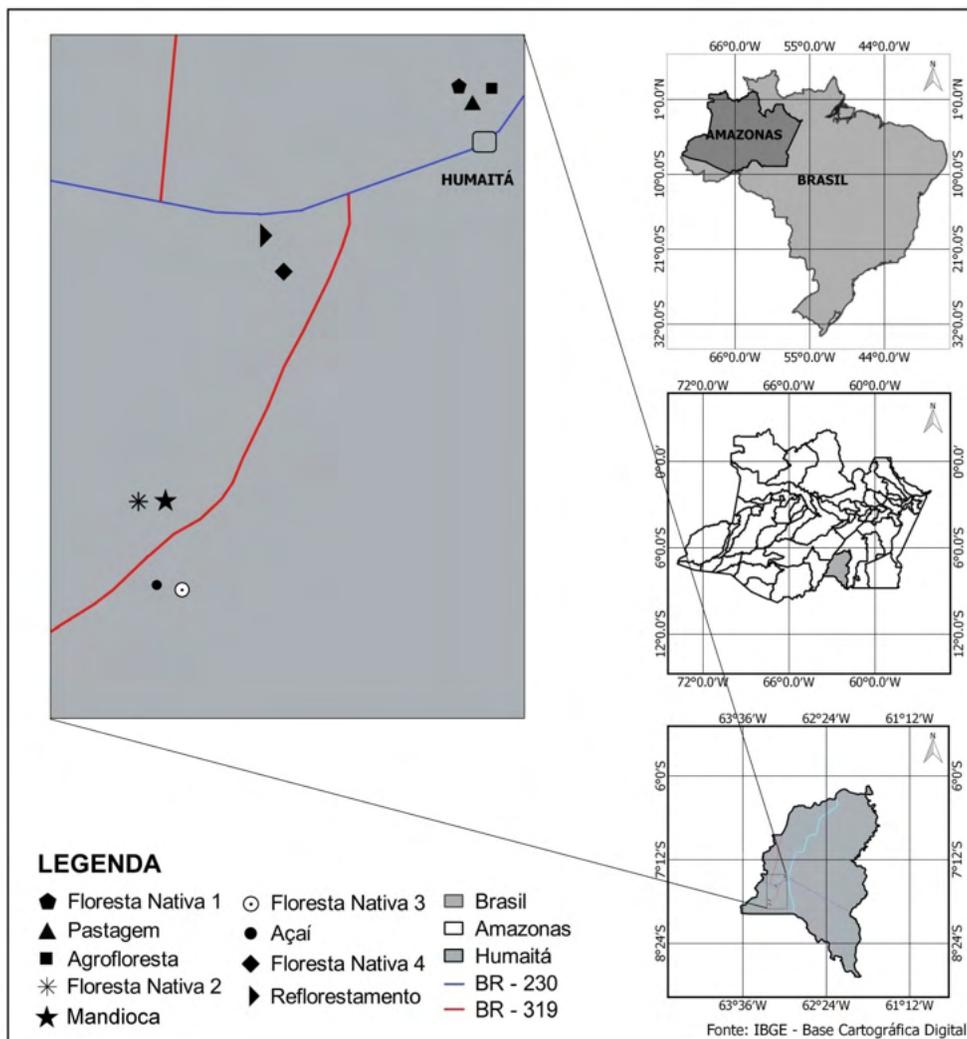


Figura 1. Localizações dos ambientes utilizados no estudo, em Humaitá, Amazonas.

O ambiente com cultivo de açai (A) (*Euterpe oleracea*) está situado nas coordenadas geográficas 7°48'55" S e 63°11'08" W, altitude de 70 m, com início do cultivo no ano de 2010, sendo que a área possui sistema de irrigação e recebe adubação de cobertura

frequentemente, sendo o solo classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (Embrapa 2013). Os pontos de coleta do ambiente com A foram próximos cerca de 400 m dos pontos de seu ambiente representativo (FN₃), com coordenadas 7°49'03" S e 63°10'49" W.

O ambiente com sistema de reflorestamento (RF) está situado nas coordenadas geográficas 7°34'45" S e 63°06'54" W, altitude de 65 m, sendo implantada em 2004, para o cultivo de Teca (*Tectona grandis* L.), Mogno (*Swietenia macrophylla* King.), Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), Jenipapo (*Genipa americana* L.) e pastagem de *Brachiaria brizantha* (cv. marandu) nas entrelinhas destas espécies, caracterizado na época como sistema silvipastoril. Porém, atualmente o ambiente não possui pastagem, por este motivo foi identificado como ambiente com reflorestamento. O solo foi classificado como Cambissolo Háplico Alítico (Embrapa 2013). Os pontos de coleta do ambiente com RF foram distantes cerca de 2 km dos pontos de seu ambiente representativo (FN₄), com coordenadas 7°35'57" S e 63°06'33" W.

O material de origem dos solos da região é proveniente dos sedimentos aluviais, que são cronologicamente oriundos do Holoceno (BRASIL, 1978). O clima no Amazonas é o equatorial (quente e úmido), com umidade relativa do ar variando de 76 a 89% e temperaturas médias de 22,0 a 31,7 °C, possuindo duas estações bem definidas: o inverno, considerado o período das chuvas e o verão, período da seca ou período menos chuvoso (MAIA, 2010).

2.2 Amostragem dos Solos

Foram coletadas amostras de solo em nove ambientes, sendo quatro ambientes naturais (fragmentos florestais) e cinco ambientes em diferentes usos antrópicos (pastagem, agrofloresta, mandioca, açaí e reflorestamento). As coletas foram realizadas entre os meses de novembro de 2016 e março de 2017.

Foram abertas trincheiras, nas profundidades de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, coletando blocos de solo com estrutura minimamente alterada, acondicionados em sacos plásticos identificados, e coletadas amostras com estrutura preservada, em duplicata, com o auxílio de cilindros volumétricos (69 cm³), e acondicionadas em caixa térmica de modo adequado para não alterar a estrutura dos solos amostrados.

Em cada ambiente foram realizadas quatro repetições, em pontos selecionados ao acaso. Ao final das coletas foram obtidas 108 amostras de solo levemente alteradas (torrões) e 108 amostras de solo, em duplicata em cada camada (para analisar a melhor das duas), com estrutura preservada (cilindros volumétricos), sendo encaminhadas para o laboratório onde foram feitas as análises físicas e de carbono orgânico. Os pontos de coleta tiveram suas coordenadas registradas com o auxílio de um equipamento de Posicionamento Global via Satélite (GPS), da marca Garmin (GPSmap 64S).

2.3 Determinações dos Atributos do Solo

As análises foram realizadas no Laboratório de Solos do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente – IEAA, da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, em Humaitá, de acordo com as orientações contidas no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 2011).

Os atributos físicos do solo determinados foram: textura do solo (areia grossa, areia fina, silte e argila), umidade gravimétrica do solo (US), densidade do solo (DS) resistência do solo à penetração (RSP), macroporosidade (MAP), microporosidade (MIP), porosidade total (PT), diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e classe de agregados (>2 mm, 2-1 mm e <1 mm).

A determinação dos componentes texturais foi realizada pelo Método da Pipeta. Basicamente, fixou-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água, após a adição de dispersante químico (NaOH 0,1 N) e agitação lenta por 16 horas em aparelho agitador mecânico tipo Wagner, com rotação ajustada para cerca de 50 rpm. Pipetou-se um volume de 50 ml da suspensão para determinação da argila que após secagem em estufa foi pesada. As frações grosseiras (areia fina e grossa) foram separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas para obtenção de suas frações em massa. O silte foi obtido por diferença das outras frações em relação à amostra original de 20 gramas de solo (EMBRAPA, 2011).

Para determinação da estabilidade de agregados foram utilizados blocos de solo com estrutura preservada, secos ao ar, fragmentadas em torrões menores de forma manual e passados em peneira de 9,51 mm de diâmetro de malha, sendo utilizadas nas análises os agregados retidos na peneira de 4,76 mm. A separação e a estabilidade dos agregados foram determinadas segundo Kemper & Chepil (1965), com modificações nas seguintes classes de diâmetro: 4,76-2,0 mm; 2,0-1,0 mm; 1,0-0,50 mm; 0,50-0,25 mm; 0,25-0,125; 0,125-0,063 mm.. Os agregados foram colocados em contato com a água sobre a peneira de 2,0 mm e submetidos à agitação vertical em aparelho Yoder (SOLOTEST, Bela Vista, São Paulo, Brasil) por 15 min e com 32 oscilações por minuto. O material retido em cada classe das peneiras foi colocado em estufa a 105°C, e em seguida mensurada as respectivas massas em balança digital de precisão.

Os resultados foram expressos em porcentagem dos agregados retidos em cada uma das classes das peneiras e a estabilidade dos agregados avaliados pelo diâmetro médio ponderado (DMP), obtido pela fórmula proposta por CASTRO FILHO et al. (1998), e o diâmetro médio geométrico (DMG), segundo SCHALLER & STOCKINGER (1953), citados por ALVARENGA et al. (1986), de acordo com as equações:

$$DMP = \frac{\sum_{i=1}^N n_i D_i}{\sum n_i} \quad (1)$$

$$DMG = 10 \frac{\sum_{i=1}^N n_i \log D_i}{\sum n_i} \quad (2)$$

em que n_i é a porcentagem de agregados retidos em uma determinada peneira, D_i é o diâmetro médio de uma determinada peneira e N é o número de classes de peneiras.

Para as determinações da densidade do solo (DS), macroporosidade (MAP) e microporosidade (MIP), porosidade total (PT) e umidade gravimétrica do solo (US), as amostras coletadas em cilindros volumétricos foram preparadas e saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água, até dois terços da altura do anel, em uma bandeja plástica. Após a saturação, as amostras foram pesadas em balança digital e levadas à mesa de tensão para determinação da MIP do solo, sendo submetidas a um potencial matricial de -0,006 MPa (EMBRAPA, 2011).

Após atingirem o equilíbrio em um potencial matricial de -0,006 MPa, as amostras foram novamente pesadas e, em seguida, foram feitas as medidas da resistência do solo à penetração (RSP), utilizando-se um penetrômetro eletrônico de bancada (MA-933, Marconi, SP, BR), com velocidade constante de 0,0667 mm s⁻¹, haste com cone de 4 mm de diâmetro de base e semiângulo de 30°, receptor e interface acoplado a um microcomputador para registro das leituras por meio de um software próprio do equipamento.

Posteriormente, as amostras foram levadas à estufa a 105 °C para a determinação da umidade gravimétrica do solo (US), DS e MAP, pelo método do cilindro volumétrico, e a PT foi determinada pela soma de MAP com MIP (EMBRAPA, 2011).

O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método de oxidação por via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor despreendido do ácido sulfúrico e/ou aquecimento. O excesso de dicromato após a oxidação foi titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr). O cálculo foi realizado pela seguinte equação:

$$CO(g \text{ kg}^{-1}) = (40 - \text{volume gasto}) \times f \times 0,6 \quad (3)$$

em que $f = (40/\text{volume do sulfato ferroso gasto na prova em branco})$. A quantidade de matéria orgânica (MO) foi calculada multiplicando-se o resultado do carbono orgânico por 1,724 (EMBRAPA, 2011). Já o estoque de carbono (EC) foi definido pela equação:

$$EC = DS \times h \times CO \quad (4)$$

em que EC = estoque de carbono (t ha⁻¹); DS = densidade do solo (g cm⁻³); h é a espessura da camada de solo amostrada (cm); CO = carbono orgânico (g kg⁻¹).

2.4 Análises Estatísticas dos Dados e da Dimensão Fractal

Após a determinação dos atributos físicos e do carbono orgânico dos solos, foram realizadas as análises estatísticas univariada e multivariada. A análise de variância univariada (ANOVA) foi utilizada para comparar médias dos atributos, individualmente, utilizando o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, comparando todos os ambientes e, posteriormente, comparando os ambientes em usos antrópicos com seus respectivos ambientes naturais. Essas análises foram conduzidas com auxílio de planilha do MS EXCEL e do ASSISTAT 7.7.

Em seguida, realizou-se a análise fatorial dos componentes principais a fim de encontrar significância estatística dos conjuntos dos atributos do solo que mais discriminam os ambientes em estudo, obtendo como resposta quais são os ambientes cujos atributos sofrem maior influência pela ação antrópica. Essas análises estatísticas foram feitas utilizando o programa computacional STATISTICA 7.0 (STATSOFT, 2004).

A adequação da análise fatorial foi feita pela medida de KMO (*Kaiser-Meyer-Olkin*), que avalia as correlações simples e parciais das variáveis, e pelo teste de esfericidade de *Bartlett*, ao qual se pretende rejeitar a igualdade entre a matriz correlação com a identidade. A extração dos fatores foi feita pela análise das componentes principais (ACP), incorporando as variáveis que apresentaram comunalidades iguais ou superiores a cinco (5). A escolha do número de fatores a ser utilizado foi feita pelo critério de *Kaiser* (fatores que apresentam autovalores superiores a 1). A fim de simplificar a análise fatorial, foi feita a rotação ortogonal (*varimax*) e representada em um plano fatorial das variáveis e dos escores para os componentes principais.

No gráfico de dispersão da ACP após rotação *varimax*, os escores foram construídos com valores padronizados, de tal forma que a média é zero e a distância entre os escores é medida em termos do desvio padrão. Dessa forma, as variáveis em um mesmo quadrante (1°, 2°, 3° e 4°) e mais próximas no gráfico de dispersão das ACP são melhores correlacionadas. Da mesma forma, escores atribuídos às amostras que se encontram próximos e em um mesmo quadrante, estão relacionadas com as variáveis daquele quadrante (BURAK et al., 2010).

A definição de um fractal foi determinada com base na relação entre o número e tamanho num sistema de autossimilaridade e estatisticamente definido (MANDELBORT, 1982; TURCOTTE, 1986), dada pela Equação (5).

$$N(X > x_i) = Kx_i^{-D} \quad (5)$$

em que $N(X > x_i)$ é o número cumulativo de objetos ou fragmentos X maiores do que x_i ; K é o número de elementos em uma escala de unidade de comprimento; e D é a dimensão fractal. No entanto, a aplicabilidade da Equação (5) para análise de partículas

do solo é limitada porque cálculos completos e precisos de N valores são normalmente indisponíveis nos dados experimentais convencionais (LIU et al., 2009; XU et al., 2013).

Os modelos fractais foram aplicados para a caracterização da distribuição do tamanho de partículas no solo expressos em termos de sua massa (TYLER & WHEATCRAFT, 1992; PERFECT & KAY, 1995; CASTRIGNANÒ & STELLUTI, 1999), para estimar a dimensão fractal da textura do solo, obtida pela Equação (6).

$$\frac{M(r < R)}{M_T} = \left(\frac{R}{R_L}\right)^{3-D} \quad (6)$$

em que M é a massa acumulada das frações de solo (areia grossa, areia fina, silte e argila) de tamanho r menores do que R determinado pelo diâmetro das peneiras, M_r é a massa total, R_L é o parâmetro que estima o tamanho da maior partícula e D é a dimensão fractal das partículas. A Equação (6) é limitada pela variação de D com $0 < D < 3$ e foi aplicada para descrever a distribuição do tamanho da partícula do solo seco. Os dois parâmetros do modelo, a dimensão fractal D e o tamanho da maior partícula R_L , foram definidos como ferramentas descritivas para a textura do solo.

As estimativas não viciadas de D e R_L , para cada ponto amostral, foram obtidas por regressão não-linear, através do método de Gauss-Newton para o cálculo de estimadores de mínimos quadrados (SOUZA, 1998; SAS INSTITUTE, 1985; PERFECT et al., 1992).

Os cálculos da DF foram executados com o auxílio de planilha do MS EXCEL e de programação em R.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características físicas e carbono orgânico de solos em ambientes naturais e em usos antrópicos

Os ambientes com FN₁, P e AF apresentaram textura franco siltosa, com teores de areia variando entre 11 a 21 %, silte entre 60 a 70 % e argila entre 16 a 24 %, nas três profundidades (Tabela 1). A proximidade nos valores de textura desses três ambientes (FN₁, P e AF), além de serem ambientes próximos, pode ser explicada por possuírem relação direta do relevo (CAMPOS et al., 2012a). Os outros ambientes apresentaram textura argilosa, com teores de areia entre 10 e 27 %, silte entre 20 e 47 % e argila entre 29 e 65 %.

A maior fração de areia foi em RF e o menor valor em FN₃, em todas as profundidades do estudo, com teores decrescentes nas três profundidades do estudo (Tabela 1). Na profundidade de 0,00-0,05 m, não houve diferenças significativas nos teores de areia entre FN₄ e M, pois apresentaram médias significativamente iguais, como ocorreu também entre FN₁, FN₂ e FN₃. Na profundidade de 0,05-0,10 m, os ambientes com P e FN₄ tiveram

valores semelhantes, assim como M e AF e também como FN₁ e FN₃. Para a profundidade de 0,10-0,20 m os ambientes com FN₄ e M foram estaticamente iguais, assim como P e FN₂, A e AF e também FN₁ e FN₃.

As maiores frações de silte foram registradas para os ambientes com FN₁ e AF nas profundidades de 0,00-0,05 e 0,10-0,20 m, não apresentando diferenças, enquanto FN₁ registrou isoladamente a maior fração de silte na profundidade de 0,05-0,10 m. As menores frações de silte ficaram em FN₄, FN₃ e RF, da menor para a maior profundidade, respectivamente. Na profundidade de 0,00-0,05 m, os ambientes com RF, M e FN₃ apresentaram teores de silte semelhantes entre si. Na profundidade de 0,05-0,10 m foram significativamente iguais somente A e FN₃. Na profundidade de 0,10-0,20 m, além de FN₁ e AF, foram iguais os ambientes com FN₂ e M.

Resultados semelhantes foram encontrados por Martins (2006) e Campos et al. (2012a), em estudos realizados próximos a essa região. O elevado teor de silte é justificado pela natureza aluvial dos sedimentos que compõe o material de origem (BRASIL, 1978).

Ambientes ⁽¹⁾	Profundidades (m)		
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
	Areia (g kg ⁻¹)		
FN ₁	122,58 f	119,73 f	115,62 e
P	208,90 b	192,41 b	161,50 c
AF	153,74 e	169,73 c	147,25 d
FN ₂	125,83 f	134,51 e	158,33 c
M	188,54 c	176,21 c	187,81 b
FN ₃	119,63 f	109,71 f	115,52 e
A	165,79 d	153,64 d	150,97 d
FN ₄	194,95 c	185,11 b	192,07 b
RF	268,99 a	219,89 a	205,55 a
CV (%)	2,66	14,83	3,30
	Silte (g kg ⁻¹)		
FN ₁	698,78 a	690,76 a	669,57 a
P	621,32 b	618,30 c	601,77 b
AF	685,21 a	658,93 b	671,24 a
FN ₂	452,94 c	425,74 d	318,84 d
M	424,51 d	391,66 e	293,99 d
FN ₃	420,97 d	310,49 h	239,43 f
A	392,33 e	316,11 h	259,36 e
FN ₄	367,48 f	352,06 g	336,13 c

RF	434,44 d	364,43 f	209,12 g
CV (%)	3,48	1,69	1,55
Argila (g kg ⁻¹)			
FN ₁	178,64 f	189,51 f	214,81 f
P	169,79 g	189,29 f	236,73 e
AF	161,05 g	171,34 g	181,51 g
FN ₂	421,23 c	439,75 d	522,83 c
M	386,95 d	432,13 d	518,20 c
FN ₃	463,40 a	579,80 a	645,05 a
A	441,88 b	530,25 b	589,67 b
FN ₄	437,58 b	462,83 c	471,80 d
RF	296,57 e	415,68 e	585,33 b
CV (%)	1,88	1,18	1,57

Tabela 1. Textura dos solos (areia, silte e argila) em ambientes naturais e em usos antrópicos, em Humaitá, Amazonas.

⁽¹⁾ FN₁ – floresta nativa 1; P – pastagem; AF – agrofloresta; FN₂ – floresta nativa 2; M – mandioca; FN₃ – floresta nativa 3; A – açai; FN₄ – floresta nativa 4; RF – reflorestamento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Conforme Rosolen & Herpin (2008), que já estudaram solos na região, a ocorrência de pequenas depressões na topografia do solo favorecem a movimentação e deposição de sedimentos mais finos em partes mais baixas do relevo. De acordo com Campos et al. (2012a) e Santos et al. (2012), em estudos com solos em topossequências sob terraços aluviais na região do médio rio Madeira, encontraram altos teores de silte, com valores próximos à 600 g kg⁻¹, corroborando que altos teores de silte são comuns nos solos da região.

Por ser um dos atributos mais estáveis do solo, a textura é considerada de grande importância na descrição, identificação e classificação dos solos (FERREIRA, 2010). Segundo Resende et al. (1999), a fração silte é tida como indicadora do grau de intemperismo do solo ou do potencial deste em conter minerais primários facilmente intemperizáveis, isto é, de sua reserva em nutrientes. Solos siltosos apresentam, geralmente, manejos dificultados devido ao seu alto teor, pois o silte quando submetido à ação das gotas de chuva e ciclos alternados de umedecimento e secagem, provoca a criação de uma camada selada, que dificulta a infiltração de água e emergência de plântulas (RESENDE et al., 1999).

Os maiores teores de argila foram observados no ambiente com FN₃, nas três profundidades, em relação aos outros ambientes, com valores crescentes em profundidade, fato esse observado em todos os ambientes estudados (Tabela 1). As menores frações de argila foram em AF, nas três profundidades. Não apresentaram diferenças significativas

entre si os ambientes com A e FN₄ e entre P e AF na profundidade de 0,00-0,05 m, FN₂ com M e FN₁ com P na profundidade de 0,05-0,10 m, e FN₂ com M na profundidade de 0,10-0,20 m.

Valores semelhantes de textura foram encontrados por Mantovanelli et al. (2015) em áreas de campo natural e abandonada oriunda de pastagem e agricultura em Cambissolo Háplico Alítico plíntico e Oliveira et al. (2015) em áreas de cana-de-açúcar com Argissolo Vermelho Alítico plíntico.

Na comparação dos ambientes em usos antrópicos com seus respectivos ambientes naturais (Tabela 1), verificou-se que houve diferenças significativas na textura da maioria dos ambientes, com poucas exceções, com tendências de aumentos nos teores de areia e redução das partículas mais finas na camada mais superficial. Houve movimentação das partículas mais finas, com maior significância nos ambientes em usos antrópicos em relação aos seus ambientes naturais, podendo ter ocorrido tanto horizontalmente, pelo escoamento em superfície e subsuperfície das águas da chuva, quanto verticalmente, pela infiltração da água no perfil do solo.

Os solos sob pastagens, principalmente, tem maiores tendências a conter frações grosseiras em proporções maiores do que os solos sob ambientes naturais, principalmente nas camadas superficiais, devido a menor cobertura vegetal. Nos ambientes avaliados, as maiores frações de areia foram encontradas em RF, nas três profundidades, seguido da P, nas duas camadas mais superficiais (Tabela 1).

As maiores frações de areia dos ambientes em usos antrópicos em relação aos seus respectivos ambientes naturais, principalmente em ambientes menos protegidos (RF e P), se devem provavelmente às chuvas intensas na região que ocorrem em determinada época do ano. A presença de cobertura vegetal no solo atua na interceptação das gotas de chuva e evita o desprendimento das partículas do solo, pois chuvas de grande intensidade podem causar maior desagregação do solo e, normalmente, originam escoamento superficial, sendo que as partículas menores de solo são mais fáceis de serem transportadas (VOLK & COGO, 2009).

Por outro lado, embora a textura seja considerada um atributo constante a médio e longo prazo, variações como as ocorridas nos ambientes em usos antrópicos podem acontecer em função da ação natural e, em menor intensidade, pela ação antrópica, podendo ocorrer alteração no conteúdo de argila, sugerindo sua migração vertical uma vez que este parâmetro é influenciado pela textura e pelo teor de carbono orgânico no solo (ARAÚJO et al., 2004; REINERT & REICHERT, 2006).

Na Tabela 2, as maiores umidades do solo (US) foram registradas nos ambientes com FN₂ e FN₄, na profundidade de 0,00-0,05 m, estatisticamente superiores aos outros ambientes, inclusive aos ambientes a que se prestam como comparativos (M e RF).

Na profundidade de 0,05-0,10 m os ambientes com FN₄, M, FN₂ e FN₁ foram os que apresentaram os maiores valores de US. Ressalta-se que os maiores valores de US foram registrados em sua maioria nos ambientes naturais e que as significativas diminuições das taxas de US dos ambientes antropizados foram, provavelmente, em função dos diferentes manejos aplicados.

Os dados indicam que, quando ambientes naturais são convertidas em usos antrópicos, a US pode diminuir significativamente, principalmente nas camadas mais superficiais, com exceção do que foi observado no ambiente com M, o qual apresentou ligeiros aumentos na US nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m em relação ao seu ambiente natural (FN₂), porém não significativos (Tabela 2). O ambiente com RF foi o que apresentou a menor US, nas três profundidades, diferenciando de todos os outros ambientes na camada superior e na camada subsequente, sendo que na camada de 0,10-0,20 m foi significativamente igual somente com P. Com isso, a significativa diminuição da umidade do solo (US) pode estar relacionada, na maioria das vezes, a intensidade dos usos e manejos.

Ambientes ⁽¹⁾	Profundidades (m)		
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
Umidade do solo (%)			
FN ₁	37,45 b	33,92 a	31,62 a
P	31,94 c	29,02 b	26,71 b
AF	31,77 c	30,67 b	30,58 a
FN ₂	47,54 a	35,77 a	30,91 a
M	36,06 b	35,92 a	31,04 a
FN ₃	37,62 b	31,83 b	29,64 a
A	32,97 c	30,18 b	28,89 a
FN ₄	43,95 a	36,91 a	30,39 a
RF	25,32 d	23,66 c	22,55 b
CV (%)	8,74	9,25	11,60
Densidade do solo (g cm ⁻³)			
FN ₁	1,26 d	1,39 c	1,43 d
P	1,39 c	1,52 b	1,58 c
AF	1,50 b	1,60 b	1,57 c
FN ₂	1,32 d	1,57 b	1,66 b
M	1,33 d	1,53 b	1,69 b
FN ₃	1,57 b	1,66 a	1,75 b
A	1,65 a	1,76 a	1,73 b

FN ₄	1,47 c	1,52 b	1,73 b
RF	1,75 a	1,76 a	1,86 a
CV (%)	5,50	5,62	4,67
Resistência do solo à penetração (MPa)			
FN ₁	1,01 c	0,86 c	0,73 d
P	1,15 b	1,30 a	0,98 c
AF	0,86 d	0,84 c	0,73 d
FN ₂	0,52 f	0,62 e	0,58 e
M	0,22 g	0,76 d	1,05 b
FN ₃	0,64 e	0,61 e	0,83 d
A	1,09 b	0,98 b	1,06 b
FN ₄	0,54 f	0,55 e	0,89 c
RF	1,21 a	0,90 c	1,49 a
CV (%)	5,81	6,40	7,34

Tabela 2. Umidade, densidade e resistência do solo à penetração em ambientes naturais e em usos antrópicos, em Humaitá, Amazonas.

⁽¹⁾ FN₁ – floresta nativa 1; P – pastagem; AF – agrofloresta; FN₂ – floresta nativa 2; M – mandioca; FN₃ – floresta nativa 3; A – açai; FN₄ – floresta nativa 4; RF – reflorestamento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A maioria dos ambientes apresentaram DS superior a 1,50 g cm⁻³ (Tabela 2). Exceção foi para os ambientes com FN₁, P, FN₂, M, e FN₄ na profundidade de 0,00-0,05 m e FN₁ nas profundidades de 0,05-0,10 m e de 0,10-0,20 m, que apresentaram valores inferiores a 1,50 g cm⁻³. Os maiores valores para DS, em todas as profundidades, foram encontrados no ambiente com RF, em comparação aos outros ambientes, observando-se relação com os maiores teores de areia deste ambiente (Tabela 1). Na profundidade de 0,00-0,05 m os ambientes com RF e A não apresentaram diferenças significativas e na profundidade 0,05-0,10 m foram os ambientes com RF, A e FN₃ que apresentaram médias semelhantes estatisticamente. A FN₁ registrou os menores valores para DS, em todas as profundidades do estudo, sendo significativamente igual apenas a FN₂ e M, na camada mais superficial.

O aumento na DS geralmente indica um ambiente com maior resistência para o crescimento das raízes, redução da aeração e redução na capacidade hidráulica do solo. Uma consequência muito importante do aumento da DS é a diminuição da capacidade do solo infiltrar água, por isso, aumentam as perdas por escoamento superficial e riscos de processos erosivos. A diminuição nos valores de DS pode estar relacionada ao incremento de matéria orgânica no solo. Assim, a menor densidade do solo pode estar relacionada aos elevados teores de carbono orgânico e de intensa atividade biológica (fauna e raízes), que constroem canais, cavidades e galerias no subsolo (STEINBEISS et al., 2009; SOARES et al, 2016).

Observa-se com os dados da Tabela 2, que a maioria dos ambientes aumentou a DS em relação aos seus ambientes naturais, com exceção do ambiente com M que não apresentou diferenças significativas em relação a FN_2 , em todas as profundidades, e o ambiente com A, que não teve diferenças nas profundidades de 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 em relação a FN_3 .

Neste estudo os ambientes naturais apresentaram aumento da DS conforme o avanço em profundidade (Tabela 2), com isso entende-se que esse efeito pode ocorrer de maneira natural para todos os ambientes estudados. Isso ocorre, provavelmente, devido às pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as inferiores, que provocam sua compactação e redução da porosidade (CUNHA et al., 2011). Entretanto, estudos já comprovaram que a DS tem aumento potencializado pelo seu uso intenso juntamente com a mecanização e o manejo inadequado do solo, promovendo a degradação da qualidade física dos solos, comumente identificados pelo aumento no nível de compactação (SOARES FILHO, 1992; MARCHÃO et al., 2009; COLLARES et al., 2006; RAPER, 2005; BERGAMIN et al., 2010; SOARES et al., 2015), principalmente em solos com elevados teores de argila (SECCO et al., 2004), constituindo impedimento mecânico para o crescimento de raízes, repercutindo no desenvolvimento das plantas (BERGAMIN et al., 2010).

Os ambientes com AF, P, RF (nas três profundidades) e A (0,00-0,005 m), tiveram aumentos significativos na DS, em relação aos seus ambientes naturais (Tabela 2). Provavelmente, esse aumento na DS foi devido ao tráfego de pequenos animais (porcos) que são criados ao ar livre e de pessoas que coletam frutos esporadicamente no ambiente, para o caso da AF. No caso da P, por ser um ambiente com constante lotação de animais (bovinos) que exercem determinada pressão sobre o solo ao passo que se movimentam, resultando em possível compactação nas camadas mais superficiais do solo com aumento na DS e na RSP. Para o caso de RF, também ocasionado pelo tráfego de animais, pois o ambiente foi utilizado como pastagem em período anterior em sistema silvipastoril. No caso do ambiente com açai, o aumento na DS está relacionado com as práticas de manejos adotadas para a atividade, em que utilizam veículos para colheita e transporte de frutos, associado ao deslocamento de pessoas que desenvolvem as atividades no local. Observa-se nos outros ambientes que também houve aumento em relação aos ambientes nativos, porém considerados não significativos pelo teste aplicado.

Foi registrada a maior RSP para o ambiente com RF, seguida de P e A, com diferenças significativas nas três profundidades em relação aos seus ambientes naturais (Tabela 2), havendo correlação com o aumento na DS e diminuição da MAP. Os aumentos na RSP e na DS estão associados à compactação do solo, que geralmente é causada pela intensificação dos seus usos e manejos. No caso de RF, pode haver associação com a utilização anterior do ambiente como pastagem, onde o tráfego de animais provocou a compactação do solo na camada mais superficial.

Apesar disso, esses valores estão abaixo do valor limite de 2,0 MPa para solos compactados, definido por Tavares Filho & Tessier (2009). No entanto, Soares et al. (2015), em solos de TPA sob pastagem, verificaram valores acima de 2,0 MPa na profundidade de 0,00-0,05 m que, conforme os autores, aumentou devido a compactação do solo pelo pisoteio de animais.

Foi observado efeito diferente dos outros ambientes em AF e M, na primeira camada, em relação aos seus ambientes naturais (FN₁ e FN₂, respectivamente), em que houve diminuição na RSP, provavelmente devido ao aumento no teor de areia e desenvolvimento das raízes das plantas, no primeiro caso, e, no segundo caso, devido a utilização de gradagem antes do plantio da mandioca, que rompe a camada superficial do solo tornando-o menos compacto. O aumento da RSP para o ambiente com M foi associado ao aumento da MAP na profundidade de 0,00-0,05 m, fato esse que não se observa na camada de 0,10-0,20 m, na qual ocorre o aumento da RSP. De acordo com Silva et al. (2005), normalmente, o revolvimento do solo promove um aumento temporário da macroporosidade. Esse fato pode indicar início do fenômeno chamado de “pé-de-grade”, onde se revolve a camada mais superficial do solo e, ao mesmo tempo, o contrabalanço abaixo força e compacta as camadas mais profundas, muito comum onde é praticado esse tipo de manejo.

Os valores de macroporosidade (MAP), microporosidade (MIP) e porosidade total (PT), são apresentados na Tabela 3. Observa-se que o maior valor de MAP foi encontrado no ambiente com M e o menor em RF, na profundidade de 0,00-0,05 m. Na profundidade de 0,05-0,10 m, o menor valor de MAP foi em A. Para a profundidade de 0,10-0,20 m, os ambientes com FN₄ e RF ficaram com os menores valores, enquanto os maiores valores de MAP foram encontrados em FN₁ e AF nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m.

Valores de MAP inferiores a 0,10 m³ m⁻³, como os ocorridos nas três profundidades em FN₃ e A, principalmente, em AF, FN₄ e RF (0,00-0,05 m), em FN₂ (0,05-0,10 m) e em FN₂, M e FN₄ (0,10-0,20 m) (Tabela 3), indicam valores críticos com prováveis limitações ao arejamento do solo em épocas mais úmidas (BAVER et al., 1972; KIEHL, 1979; PAGLIAI et al., 2003; BERGAMIN et al., 2010). Conforme Feng et al. (2002), valores iguais ou muito próximos à esse, em solos argilosos, já podem causar a inibição ao suprimento adequado de oxigênio às plantas, sendo ideais valores mais altos que 0,10 m³ m⁻³ de MAP.

Para a MIP, os ambientes com FN₄, FN₂ e FN₃ apresentaram os maiores valores e os ambientes com M e RF os menores valores, na profundidade de 0,00-0,05 m, sem diferenças significativas. Na profundidade de 0,05-0,10 m, foram os ambientes com FN₂, FN₄, M, FN₃, A e FN₁ que apresentaram os maiores valores, não diferindo entre si, e o menor valor registrado em RF. Na profundidade de 0,10-0,20 m, apresentaram maiores valores de MIP os ambientes com M, FN₄, A e FN₁ e os menores valores em RF, P e AF.

Ambientes ⁽¹⁾	Profundidades (m)		
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)			
FN ₁	0,15 c	0,12 a	0,12 a
P	0,13 d	0,10 b	0,10 b
AF	0,08 e	0,12 a	0,12 a
FN ₂	0,18 b	0,08 c	0,08 c
M	0,23 a	0,10 b	0,06 d
FN ₃	0,06 f	0,08 c	0,05 e
A	0,05 g	0,04 d	0,06 d
FN ₄	0,07 f	0,10 b	0,04 e
RF	0,04 h	0,10 b	0,05 e
CV (%)	6,54	8,57	9,84
Microporosidade (m ³ m ⁻³)			
FN ₁	0,39 c	0,40 a	0,39 a
P	0,38 c	0,38 b	0,36 b
AF	0,38 c	0,38 b	0,38 b
FN ₂	0,46 a	0,44 a	0,40 a
M	0,33 d	0,42 a	0,42 a
FN ₃	0,47 a	0,42 a	0,41 a
A	0,43 b	0,42 a	0,40 a
FN ₄	0,48 a	0,43 a	0,42 a
RF	0,35 d	0,34 c	0,33 b
CV (%)	5,15	4,67	7,22
Porosidade total (m ³ m ⁻³)			
FN ₁	0,54 b	0,52 a	0,51 a
P	0,51 c	0,48 b	0,46 b
AF	0,46 d	0,50 a	0,50 a
FN ₂	0,64 a	0,52 a	0,48 b
M	0,56 b	0,52 a	0,48 b
FN ₃	0,53 c	0,50 a	0,46 b
A	0,48 d	0,46 b	0,46 b
FN ₄	0,55 b	0,53 a	0,46 b
RF	0,39 e	0,44 c	0,38 c
CV (%)	4,25	6,03	3,71

Tabela 3. Macroporosidade, microporosidade e porosidade total em ambientes naturais e em usos antrópicos, em Humaitá, Amazonas.

⁽¹⁾ FN₁ – floresta nativa 1; P – pastagem; AF – agrofloresta; FN₂ – floresta nativa 2; M – mandioca; FN₃ – floresta nativa 3; A – açai; FN₄ – floresta nativa 4; RF – reflorestamento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O ambiente com FN₂ apresentou isoladamente o maior valor de PT na camada mais superficial, enquanto FN₄, FN₁, FN₂, M, AF e FN₃ apresentaram maiores valores de PT na profundidade de 0,05-0,10 m, sem diferenças entre si, e na profundidade de 0,10-0,20 m foram FN₁ e AF que apresentaram os maiores valores. Nas três profundidades, os menores valores de PT foram encontrados no ambiente com RF.

Conforme Lima et al. (2007), solos considerados ideais apresentam valores iguais ou superiores a 0,50 m³ m⁻³ de porosidade total, no qual a microporosidade oscilaria entre 0,25 e 0,33 m³ m⁻³ e a macroporosidade entre 0,17 e 0,25 m³ m⁻³. Condições adversas de PT encontram-se os ambientes com AF, A e RF, na profundidade de 0,00-0,05 m, e os ambientes com P, A e RF na profundidade de 0,05-0,10 m. Na profundidade de 0,10-0,20 m somente os ambientes com FN₁ e AF apresentaram PT igual ou superior a 0,50 m³ m⁻³.

Na Tabela 3, observou-se que o ambiente com RF foi o que apresentou maior diferença de PT em relação ao seu ambiente natural (FN₄), perante os outros ambientes, provavelmente por influência do pisoteio de animais no período em que era utilizado em sistema silvipastoril. A redução do volume total de poros nas áreas de pastagens pode ser um reflexo da redução da macroporosidade, promovendo possível aumento na densidade e na microporosidade do solo, assim como possível diminuição na taxa de infiltração de água, principalmente na camada mais superficial (SALTON et al., 2002; GIAROLA et al., 2007; GOULART et al., 2010).

Na Tabela 4, encontram-se os valores registrados para diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP), nas três profundidades estudadas nos ambientes naturais e em usos antrópicos. Na profundidade de 0,00-0,05 m, foi encontrado o maior valor de DMG no ambiente de AF e os menores valores em FN₄ e FN₃. Na profundidade de 0,05-0,10 m, apresentaram maiores DMG os ambientes com AF e P e o menor DMG em FN₃. Na profundidade de 0,10-0,20 m, o ambiente com P obteve maior valor de DMG e menor valor com FN₄.

Os maiores valores de DMP, na profundidade de 0,00-0,05 m, foram encontrados em AF e FN₁ e os menores nos ambientes com FN₃ e FN₄ (Tabela 4). Na profundidade de 0,05-0,10 m, os maiores valores de DMP foram encontrados em AF, P e M e o menor em FN₃. Na profundidade de 0,10-0,20 m, apresentaram maiores DMP os ambientes com M e P observando-se menores DMP em FN₄, FN₁ e FN₃. Conforme Kato et al. (2010), maiores valores de DMP indicam a alta estabilidade dos agregados, no entanto, de acordo com Alho et al. (2014) um agregado de elevado DMP, apesar das dimensões, nem sempre contém boa distribuição de poros no seu interior.

Ambientes ⁽¹⁾	Profundidades (m)		
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
Diâmetro médio geométrico (mm)			
FN ₁	2,78 b	1,82 d	0,74 e
P	2,72 b	2,49 a	2,18 a
AF	2,99 a	2,60 a	1,57 c
FN ₂	2,67 b	2,02 c	1,31 d
M	2,27 d	2,30 b	2,06 b
FN ₃	1,87 f	0,53 f	0,54 f
A	2,03 e	1,06 e	0,79 e
FN ₄	1,82 f	0,94 e	0,46 g
RF	2,46 c	1,77 d	1,31 d
CV (%)	3,72	5,69	4,12
Diâmetro médio ponderado (mm)			
FN ₁	3,21 a	2,60 b	1,41 d
P	3,17 b	3,02 a	2,79 a
AF	3,26 a	3,11 a	2,41 b
FN ₂	3,15 b	2,84 b	2,32 b
M	2,98 c	2,94 a	2,82 a
FN ₃	2,69 e	1,50 e	1,43 d
A	2,88 d	2,16 c	2,08 c
FN ₄	2,77 e	1,90 d	1,25 d
RF	3,13 b	2,73 b	2,04 c
CV (%)	2,13	6,27	8,63

Tabela 4. Diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado dos agregados do solo em ambientes naturais e em usos antrópicos, em Humaitá, Amazonas.

⁽¹⁾ FN₁ – floresta nativa 1; P – pastagem; AF – agrofloresta; FN₂ – floresta nativa 2; M – mandioca; FN₃ – floresta nativa 3; A – açaí; FN₄ – floresta nativa 4; RF – reflorestamento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Na Tabela 5, os ambientes que apresentaram agregados de maior tamanho (>2,0 mm), na profundidade de 0,00-0,05 m, foram AF (96,81 %) e FN₁ (95,30 %) e o menor foi em FN₃ (61,93 %). Na profundidade de 0,05-0,10 m, o ambiente que registrou maiores agregados foi AF (91,06 %) e os menores foi FN₃ (32,51 %). Na profundidade de 0,10-0,20 m, a maior porcentagem de agregados >2 mm foi em M (78,68 %) e as menores porcentagens em FN₄ (21,75 %), FN₁ (25,70 %) e FN₃ (29,45 %).

Em comparação com seus ambientes naturais, o ambiente com P teve diminuição nos agregados >2 mm na primeira camada, ocorrendo o inverso nas camadas inferiores, e

efeito semelhante no ambiente com M. Em AF, A e RF houve aumento nas três profundidades, em relação aos seus ambientes naturais comparativos (FN₁, FN₃ e FN₄, respectivamente).

Ambientes ⁽¹⁾	Profundidades (m)		
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
	>2 mm (%)		
FN ₁	95,30 a	69,85 d	25,70 e
P	93,56 b	86,80 b	64,45 b
AF	96,81 a	91,06 a	65,61 b
FN ₂	92,64 b	80,53 c	52,66 c
M	86,42 c	83,84 b	78,68 a
FN ₃	61,93 e	32,51 g	29,45 e
A	83,30 c	55,69 e	42,64 d
FN ₄	74,39 d	40,37 f	21,75 e
RF	91,42 b	77,32 c	50,49 c
CV (%)	2,38	4,96	11,03
	2-1 mm (%)		
FN ₁	0,28 g	6,42 c	8,88 b
P	0,90 e	2,39 g	5,13 d
AF	0,28 g	1,45 h	4,84 d
FN ₂	1,28 d	3,82 e	10,53 a
M	1,93 c	3,12 f	4,68 d
FN ₃	4,13 b	8,59 b	6,33 c
A	1,78 c	5,21 d	6,84 c
FN ₄	5,34 a	13,85 a	8,23 b
RF	0,69 f	3,49 e	7,60 b
CV (%)	5,67	5,64	12,87
	<1 mm (%)		
FN ₁	4,42 g	23,73 d	65,42 b
P	5,54 f	10,81 h	30,42 e
AF	2,91 h	7,49 i	29,55 e
FN ₂	6,08 f	15,65 f	36,81 d
M	11,65 d	13,04 g	16,64 f
FN ₃	33,94 a	58,90 a	64,22 b
A	14,92 c	39,10 c	50,52 c
FN ₄	20,27 b	45,78 b	70,02 a
RF	7,89 e	19,19 e	41,91 d

Tabela 5. Estabilidade dos agregados em ambientes naturais e em usos antrópicos, em Humaitá, Amazonas.

⁽¹⁾ FN₁ – floresta nativa 1; P – pastagem; AF – agrofloresta; FN₂ – floresta nativa 2; M – mandioca; FN₃ – floresta nativa 3; A – açaí; FN₄ – floresta nativa 4; RF – reflorestamento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Para os agregados entre 2-1 mm, foram registradas as maiores porcentagens nas duas primeiras camadas no ambiente com FN₄ (5,35 % e 13,85 %), respectivamente, e em FN₂ (10,53 %) na profundidade de 0,10-0,20 m. Os menores valores foram registrados em FN₁ e AF (0,28 %, para ambos) na profundidade de 0,00-0,05 m, AF (1,45 %) na profundidade de 0,05-0,10 m, e M (4,68 %), AF (4,84 %) e P (5,13 %) na profundidade de 0,10-0,20 m.

Para os agregados de menor tamanho (<1 mm), verificou-se a maior porcentagem no ambiente com FN₃ (33,94 %) e a menor com AF (2,91 %), na camada superior. Na profundidade de 0,05-0,10 m, a maior e a menor porcentagem continuaram com os mesmos ambientes, com 58,90 % para FN₃ e 7,49 % para AF. Na profundidade de 0,10-0,20 m, o maior valor foi no ambiente com FN₄ (70,02 %) e o menor valor foi no ambiente com M (16,66 %). Os horizontes superficiais são normalmente caracterizados pela estrutura granular arredondada que apresenta uma hierarquia na qual agregados >2 mm são compostos por agregados de menor tamanho (BRONICK & LAL, 2005).

Na Tabela 5, ficou nítido que a porcentagem de agregados >2 mm possui uma tendência de diminuição em profundidade, enquanto que os agregados <1 mm tendem a aumentar com o avanço em profundidade. A explicação para isso está relacionada ao teor de MO nos solos, pois existe correlação positiva entre MO e agregados >2 mm e negativa entre MO e agregados <1 mm.

A conversão de ambientes naturais em usos antrópicos favoreceu a alteração da estabilidade dos agregados em todos os ambientes do estudo e na maioria das profundidades consideradas, observando-se que houve redução significativa nos agregados de maior tamanho (>2 mm) apenas nos ambientes com P e M, na profundidade de 0,00-0,05 m. Essa diminuição no tamanho dos agregados pode ter sido ocasionada pela diminuição de MO (Tabela 6) e possível aumento da DS (Tabela 2).

Segundo Bronick & Lal (2005), a MO participa da agregação do solo formando agregados maiores e mais estáveis. Com a diminuição dos teores de MO os agregados, por ser uma propriedade do solo altamente dinâmica, tendem a ficarem menos estáveis em água, ocasionando sua desestruturação. De acordo com Campos et al. (2013), há correlação significativa entre o aumento no teor de MO e o aumento da estabilidade de agregados. O aumento na DS do solo pode influenciar na diminuição do tamanho dos

agregados devido à ruptura e/ou compressão dos mesmos, reduzindo assim o volume do agregado.

Na Tabela 6, nas profundidades de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, o ambiente com AF apresentou o maior teor de CO, com 28,84 g kg⁻¹ e 21,75 g kg⁻¹, respectivamente.

Ambientes ⁽¹⁾	Profundidades (m)		
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)			
FN ₁	26,99 b	18,19 b	16,07 b
P	26,30 b	19,46 b	18,74 a
AF	28,84 a	21,75 a	16,57 b
FN ₂	20,34 c	17,98 b	11,31 d
M	18,64 c	18,71 b	14,89 c
FN ₃	15,65 d	11,55 d	8,20 f
A	16,85 d	9,77 e	8,81 f
FN ₄	18,62 c	12,85 c	10,09 e
RF	10,63 e	9,87 e	8,42 f
CV (%)	13,77	14,51	6,07
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)			
FN ₁	46,53 b	31,36 c	27,69 b
P	45,33 c	33,54 b	32,30 a
AF	49,72 a	37,49 a	28,57 b
FN ₂	35,06 d	31,00 c	19,49 d
M	32,12 e	32,26 c	25,24 c
FN ₃	26,98 g	19,90 e	14,13 f
A	29,04 f	16,84 f	15,19 f
FN ₄	32,09 e	22,16 d	17,39 e
RF	18,33 h	17,01 f	14,51 f
CV (%)	13,77	14,51	6,07
Estoque de carbono (t ha ⁻¹)			
FN ₁	167,87 c	250,20 d	227,42 d
P	181,56 b	295,87 b	295,75 a
AF	216,01 a	348,63 a	259,09 b
FN ₂	133,72 d	277,07 c	186,51 e
M	123,95 e	289,17 b	245,69 c
FN ₃	121,76 e	191,51 e	142,94 g
A	139,16 d	171,36 f	151,93 g
FN ₄	136,24 d	194,46 e	174,52 f

RF	93,63 f	172,64 f	155,98 g
CV (%)	11,60	2,70	3,68

Tabela 6. Carbono orgânico, matéria orgânica e estoque de carbono do solo em ambientes naturais e em usos antrópicos, em Humaitá, Amazonas.

⁽¹⁾ FN₁ – floresta nativa 1; P – pastagem; AF – agrofloresta; FN₂ – floresta nativa 2; M – mandioca; FN₃ – floresta nativa 3; A – açaí; FN₄ – floresta nativa 4; RF – reflorestamento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Na profundidade de 0,00-0,05 m, o ambiente com RF apresentou o menor teor de CO (10,63 g kg⁻¹). Na profundidade de 0,05-0,10 m, os ambientes que apresentaram os menores teores de CO foram com A (9,77 g kg⁻¹) e com RF (9,87 g kg⁻¹), sem diferenças significativas entre si. Na profundidade de 0,10-0,20 m, o maior teor de CO foi encontrado em P (18,74 g kg⁻¹) e o menor teor na FN₃ (8,20 g kg⁻¹), seguido de RF (8,42 g kg⁻¹) e A (8,81 g kg⁻¹), sendo suas médias consideradas iguais pelo teste.

Solos com menos de 2% de carbono orgânico podem ser considerados erodíveis e a erodibilidade do solo diminui linearmente com conteúdo CO (LIU et al., 2010). Outras literaturas consideram o teor de 40 g kg⁻¹ como limite crítico para MO (EMBRAPA, 2012). Somente os ambientes com FN₁, P e AF apresentaram valores superiores aos limites críticos tanto para CO quanto para MO. A estabilidade estrutural dos agregados diminui quando práticas de manejo inadequadas resultam na redução do teor de MO, para a maioria dos solos (PAUL et al., 2013).

Os valores de EC sofreram influências tanto dos valores de CO quanto de DS. Contudo, os ambientes com maiores ou menores EC seguiram sendo os mesmos verificados com o CO e MO. Com isso, os mesmos ambientes que apresentaram os teores maiores ou menores de CO, apresentaram também os teores maiores ou menores de EC, ou seja, foram proporcionais.

Na comparação dos ambientes em usos antrópicos com seus ambientes naturais, percebeu-se que houve diferenças significativas no CO em AF nas profundidades de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m em relação a FN₁, em A somente na profundidade de 0,05-0,10 m em relação a FN₃, em P e M somente na profundidade de 0,10-0,20 m em relação a FN₁ e FN₂, respectivamente, e em RF nas três profundidades em relação a FN₄.

A manutenção de ambientes naturais e de ambientes com agrofloresta depende da reciclagem dos nutrientes contidos em serapilheira e na MO do solo (MOREIRA & MALAVOLTA, 2004). Altos teores de MO mantém um solo bem estruturado e com uma distribuição equilibrada das partículas (areia, silte, argila), com o aparecimento de poros onde a água e o ar são armazenados, constituindo um meio ideal para o desenvolvimento do sistema radicular e das plantas. Provavelmente, o aumento de MO no ambiente com AF foi devido ao acúmulo de resíduos vegetais (folhas, galhos e raízes) oriundas das plantas locais, associado a umidade e temperatura ideais, na presença de microrganismos

decompositores, resultando no aumento do teor de MO nesse ambiente. Os teores mais elevados de MO no solo provêm do maior aporte de resíduos vegetais e ausência de usos antrópicos (SIQUEIRA NETO et al., 2009).

Para o caso de RF, o efeito foi contrário, pois houve supressão da cobertura vegetal, com posterior inserção de sistema silvipastoril, onde houve desgaste desse solo e eliminação da pastagem devido ao manejo inadequado, promovendo o baixo aporte de resíduos vegetais, o que pode justificar os baixos teores de carbono no solo. Silva et al. (2004) verificaram que pastagens de baixa produtividade favoreceram a redução da MO no solo.

Solos com floresta nativa apresentam maior teor de MO, o que lhes confere maior fertilidade devido ao maior aporte de resíduos orgânicos (MORAIS et al., 2012). A maior relação com a MO também ocorre pelo fato desta estar diretamente associada com a não interferência antrópica, sem o uso de implementos agrícolas e de tratos culturais, não degradando a estabilidade dos agregados do solo. Conforme Portugal et al. (2010) e Freitas et al. (2011), há um declínio no estoque de MO após a conversão de florestas nativas em sistemas agrícolas, em consequência do aumento da erosão do solo, mineralização da matéria orgânica do solo e aos menores aportes de resíduos orgânicos.

Os maiores valores de estoques de carbono (EC) foram encontrados em AF e P, em relação ao ambiente natural (FN₁) e aos outros ambientes. Conforme Salimon et al. (2007), valores elevados de estoque de carbono (EC) em ambientes com pastagens em comparação com floresta nativa podem ocorrer em função da maior densidade e teor de carbono orgânico nestas áreas, sendo que em alguns casos decresce nos primeiros anos da implantação, aumentando nos anos seguintes até atingir valores próximos ou superiores aos existentes antes da conversão, processo este que provavelmente tenha ocorrido com o ambiente AF.

Diversos estudos já verificaram maior quantidade de EC em ambientes sob pastagem em relação à floresta nativa. Desjardins et al. (2004) e Araújo et al. (2011), verificaram que dentre estes ambientes é possível observar que a evolução do carbono orgânico do solo obedece dois processos simultâneos, sendo um a contínua mineralização do carbono derivado da vegetação nativa devido aos ciclos de umedecimento e secagem do solo e o outro a progressiva incorporação do carbono derivado dos restos da cultura introduzida pela pastagem, principalmente pelas raízes das gramíneas. Souza et al. (2012), complementam afirmando que os elevados valores de EC de áreas sob pastagens podem ocorrer na presença de gramíneas que possuem sistema radicular abundante e efeito rizosférico intenso, onde após sua decomposição liberam nutrientes e contribuem na formação da MO do solo, favorecendo sua agregação.

Diante desses resultados, fica nítido que as ações antrópicas provocam alterações diversas nos ambientes naturais e que essas alterações variam em função dos usos e

manejos acometidos a esses ambientes.

3.2 Dimensão fractal da textura de solos em ambientes naturais e em usos antrópicos

Na Tabela 7, são apresentados os valores calculados de dimensões fractais (DF) para cada um dos diferentes ambientes analisados, nas profundidades de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m e ainda as médias das três profundidades. Observou-se que houve aumento da DF conforme o avanço em profundidade em todos os ambientes do estudo, ou seja, quanto maior a profundidade maior o valor da DF. Esse efeito foi observado por Xiao et al. (2014), no Planalto de Loess, China, onde estudaram a DF em dez padrões típicos de uso do solo, obtendo resultados que mostraram que os valores da DF da textura do solo foram influenciados significativamente pelas profundidades do solo, padrões de uso do solo e suas interações.

Os ambientes com FN₃ (2,886), A (2,878) e FN₄ (2,876), FN₂ (2,868), M (2,858), apresentaram valores de DF sem diferenças significativas, sendo estes considerados os maiores valores para a profundidade de 0,00-0,05 m, respectivamente, em comparação aos outros ambientes. Na mesma profundidade, o ambiente com RF (2,818) apresentou isoladamente um valor intermediário de DF e os ambientes com FN₁ (2,746), P (2,738) e AF (2,732) apresentaram os menores valores de DF, com destaque para AF que apresentou o valor mais baixo, porém sem diferenças significativas em relação aos componentes do grupo (FN₁ e P).

Ambiente ⁽¹⁾	Profundidades (m)			Média (Ambiente)
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	
Dimensão Fractal				
FN ₁	2,746 c	2,755 c	2,772 c	2,758 c
P	2,738 c	2,755 c	2,788 c	2,760 c
AF	2,732 c	2,739 c	2,748 d	2,740 c
FN ₂	2,868 a	2,878 b	2,903 b	2,883 b
M	2,858 a	2,875 b	2,900 b	2,878 b
FN ₃	2,886 a	2,918 a	2,933 a	2,912 a
A	2,878 a	2,905 a	2,919 a	2,901 a
FN ₄	2,876 a	2,884 b	2,888 b	2,883 b
RF	2,818 b	2,880 b	2,919 a	2,872 b
CV (%)	0,59	0,62	0,68	Média = 2,843

Tabela 7. Dimensão fractal da textura de solos sob ambientes naturais e em usos antrópicos, em Humaitá, Amazonas.

⁽¹⁾ FN₁ – floresta nativa 1; P – pastagem; AF – agrofloresta; FN₂ – floresta nativa 2; M – mandioca; FN₃ – floresta nativa 3; A – açaí; FN₄ – floresta nativa 4; RF – reflorestamento. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Na profundidade de 0,05-0,10 m, os ambientes com FN_3 (2,918) e A (2,905) tiveram as maiores DF. Os ambientes com FN_1 (2,755), P (2,755) e AF (2,739) foram os que apresentaram os menores valores de DF comparados aos outros ambientes.

Na profundidade de 0,10-0,20 m, os ambientes com, FN_3 (2,933), A (2,919), e RF (2,919) obtiveram os maiores valores de DF. Os menores valores de DF foram obtidos nos ambientes com P (2,788) e AF (2,748).

No geral, os resultados obtidos revelaram que o valor da DF da textura do solo foi maior quando as partículas do solo eram mais finas. Isso pode ser confirmado pela correlação ($p < 0,01$) positiva de DF com a argila ($R = 0,99$) (Tabela 8). Essas correlações, demonstraram que quanto maior o teor de argila, maior o valor da DF, seguindo a mesma tendência linear para todos os ambientes. Os valores de DF foram menores nos ambientes em que a argila apresentou menores valores (FN_1 , P e AF), reforçando a correlação citada anteriormente, e também onde o silte apresentou maiores valores, justificando, a correlação ($p < 0,01$) negativa entre a DF e silte ($R = -0,94$).

Os valores de DF encontrados nesse estudo corroboram com os valores encontrados por Xia et al. (2009), referindo-se a correlação com a argila. Os resultados encontrados no estudo desses autores, na região montanhosa de Yimeng, China, mostram que a dimensão fractal da distribuição do tamanho das partículas do solo foi sensível ao tamanho das partículas do solo em ambientes alterados. Isso foi justificado devido às correlações lineares significativas entre a dimensão fractal e teores de argila, silte e areia fina e porosidade do solo. Houve correlações positivas entre a dimensão fractal e o conteúdo de argila, microporosidade e porosidade total, enquanto correlações negativas foram obtidas entre dimensão fractal e conteúdo de areia e a macroporosidade. Assim, maiores teores de argila e silte e maiores teores de areia resultaram em maiores valores de DF.

Da mesma forma, Xu et al. (2013), avaliando a dimensão fractal da distribuição de tamanho de partícula do solo em diferentes tipos de vegetação e com tipos de solos semelhantes, em uma bacia hidrográfica no meio do Vale do Dan, na China, verificaram que os distúrbios antropogênicos tiveram um grande impacto nas dimensões fractais de diferentes tipos de uso do solo na área de estudo. Neste estudo, os valores de DF de solos em florestas e em pastagem (2,73 e 2,78) apresentaram valores inferiores em comparação aos solos agrícolas (2,81 e 2,89) e houve forte correlação positiva entre a DF e o conteúdo de silte e argila.

Os resultados dos estudos de Xia et al. (2009) e de Xu et al. (2013), demonstram que a análise da dimensão fractal da distribuição de tamanho de partícula do solo oferece uma abordagem útil para quantificar e avaliar o grau de degradação do solo entre tipos de solos semelhantes.

Para Xia et al. (2015), a DF é sensível aos diferentes perfis de intemperismo.

Os autores relataram no estudo que nas camadas do solo mais arenoso os valores de DF foram inferiores aos das camadas de solo mais argiloso e verificaram que a DF correlacionou negativamente com o teor de cascalho e areia e correlacionou positivamente com o conteúdo de argila. Os resultados deste estudo demonstram que a dimensão fractal pode ser usada para caracterização da distribuição do tamanho das partículas do solo e ser considerada como um indicador informativo para refletir o grau de intemperismo de diferentes perfis do solo na região montanhosa granítica, no Sul da China.

Na Figura 2 (A, B, C e D), são apresentadas as tendências lineares das correlações entre a DF com as frações componentes da textura (areia grossa, areia fina, silte e argila). Observa-se pela figura, que as correlações da DF com areia grossa e argila possuem a tendências positivas. Já com a correlação de DF com areia fina e silte ocorreu o contrário. As correlações de DF com silte e argila apresentaram equações de regressão lineares nitidamente melhores que a DF com areia, com coeficientes de determinação mais altos ($R^2 = 0,8978$, em C, e $R^2 = 0,9646$, em D), pois essas frações apresentaram dados mais homogêneos do que as frações de areia nos ambientes considerados.

Foi considerado o valor médio de 2,843 para a DF (Tabela 7), o qual foi aplicado nas equações de regressão da textura do solo: areia grossa $y = 24,326x - 62,12$; areia fina $y = -48,337x + 294,82$; silte $y = -2213,1x + 6742,3$; e, argila $y = 2237,1x - 5975$ (Figura 2). Com isso, obteve-se os seguintes resultados: areia grossa = $7,04 \text{ g kg}^{-1}$, areia fina = $157,40 \text{ g kg}^{-1}$, silte = $450,46 \text{ g kg}^{-1}$ e argila = $385,08 \text{ g kg}^{-1}$.

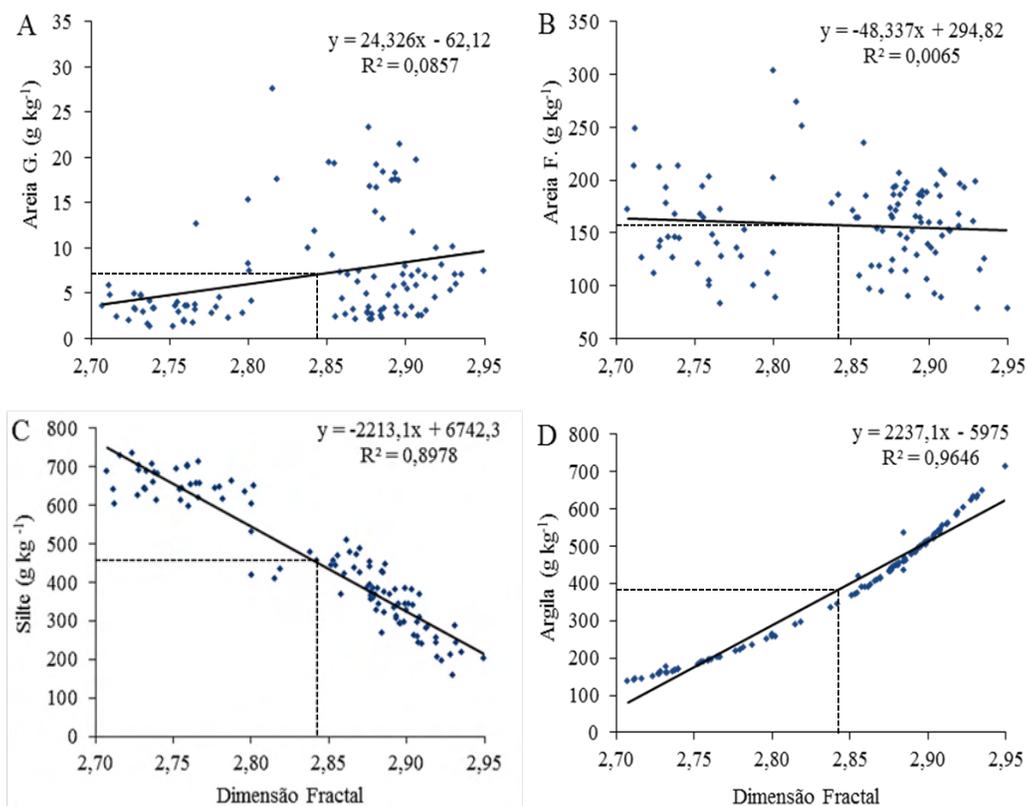


Figura 2. Areia grossa (A), areia fina (B), silte (C) e argila (D) em função da dimensão fractal da textura do solo (n = 108), na profundidade de 0,00-0,20 m.

Aplicando o valor de macroporosidade de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, valor considerado mínimo para as trocas líquidas e gasosas entre o ambiente externo e o solo considerado crítico para o crescimento das raízes da maioria das culturas (BAVER et al., 1972; KIEHL, 1979; PAGLIAI et al., 2003; BERGAMIN et al., 2010), na equação de regressão $y = -0,2611x + 0,8314$ (Figura 3), o resultado correspondente foi uma DF aproximada de 2,801, indicando maior risco de limitações ao desenvolvimento e crescimento das plantas pela redução do crescimento radicular e absorção de água e nutrientes, em DF da textura do solo igual ou superior a este valor.

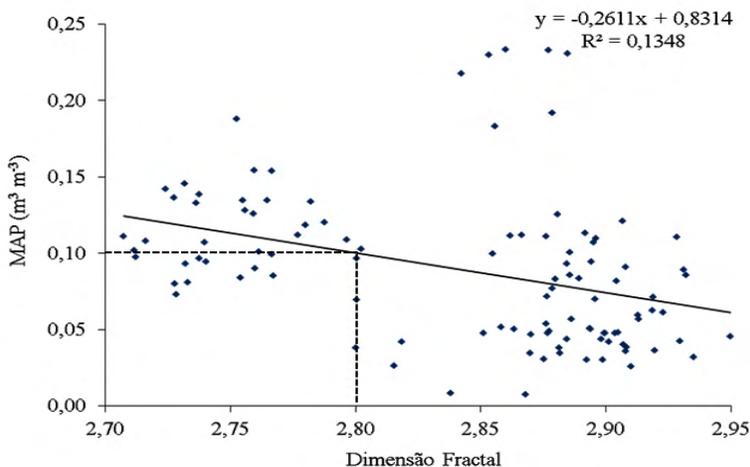


Figura 3. Macroporosidade (MAP) em função da dimensão fractal da textura do solo (n=108), na profundidade de 0,00-0,20 m.

A Figura 4 apresenta os valores da textura (eixo primário) em função da dimensão fractal (eixo secundário) para os diferentes ambientes estudados, com valores médios das três profundidades do estudo representando a profundidade de 0,00-0,20 m. Através da figura, é possível observar nitidamente que as retas da DF seguem as mesmas tendências das retas da argila, para todos os ambientes, ilustrando a alta correlação positiva entre essas duas variáveis. Observou-se que, dentre os ambientes estudados, os maiores valores de DF foram encontrados nos ambientes com FN₃ e A (Figura 4 e Tabela 7), os quais apresentaram os maiores teores de argila para as mesmas profundidades (Tabela 1), e os menores valores de DF nos ambientes com AF, P e FN₁, que apresentaram os menores teores de argila.

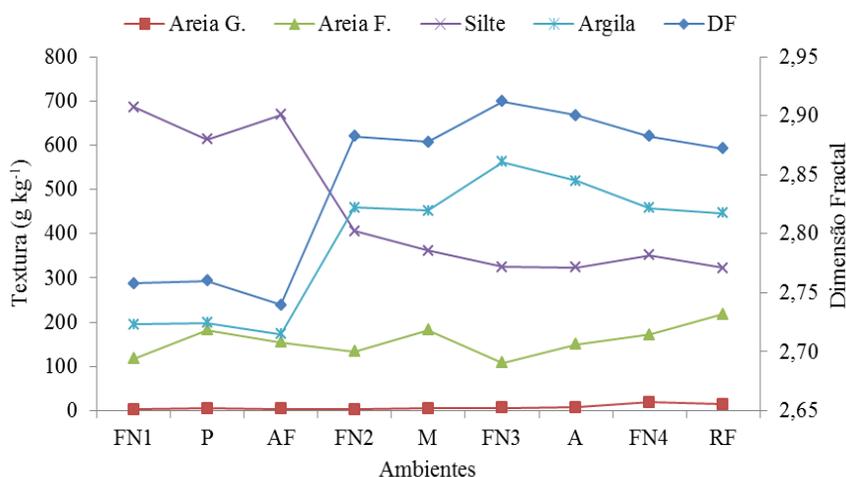


Figura 4. Textura em função da dimensão fractal da textura do solo em diferentes ambientes (n=12), na profundidade de 0,00-0,20 m. FN₁ – floresta nativa 1; P – pastagem; AF – agrofloresta; FN₂ – floresta nativa 2; M – mandioca; FN₃ – floresta nativa 3; A – açai; FN₄ – floresta nativa 4; RF – reflorestamento.

3.3 Correlação entre os atributos físicos, carbono orgânico e dimensão fractal

As correlações entre os atributos do solo estudados e a dimensão fractal da textura do solo são apresentadas na Tabela 8. De acordo com Jakob (1999), a análise de correlação entre variáveis mostra os atributos que podem ser representados através de outros com certo grau de informação tolerável.

Observando a Tabela 8, dentre os atributos que apresentaram maiores valores de coeficiente de correlação, o CO teve maior correlação ($p < 0,01$) positiva com o silte (0,73), DMG (0,71), DMP (0,71) e com agregados > 2 mm (0,69), evidenciando que o CO tem importante contribuição na agregação das partículas do solo, apresentando também correlação ($p < 0,01$) negativa com a DS (-0,74), argila (-0,73) e agregados < 1 mm (-0,71), confirmando a importância do CO na estruturação do solo. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Cunha et al. (2017), trabalhando com diferentes usos de Terra Preta Arqueológica (TPA) na região Sul do Amazonas.

A DS teve correlação ($p < 0,01$) negativa com MAP (-0,75), PT (-0,76), CO (-0,74), US (-0,68) e silte (-0,63), e correlação ($p < 0,01$) positiva com a argila (0,58) e ($p < 0,05$) com a areia (0,23). A explicação disso pode estar relacionada aos diferentes tipos de solos e usos dos ambientes, pois os solos com maior teor de argila podem ser mais facilmente alteráveis, com influências das práticas de manejo (tráfego de máquinas e animais) que podem compactar o solo, pela redução dos espaços porosos e consequente aumento da DS. Normalmente, a DS correlaciona melhor com a areia, como ocorrido no trabalho de Cunha et al. (2017), onde a DS teve melhor correlação positiva com areia (0,48) e depois

com a argila (0,17), efeito inverso ao que ocorreu no presente trabalho. Isso pode ser justificado devido ao preenchimento dos espaços entre as partículas de areia pela argila, tornando o solo mais susceptível à compactação.

A umidade do solo (US) teve maior correlação ($p < 0,01$) positiva com PT (0,86), MIP (0,68), CO (0,46) e com MAP (0,31), corroborando com os resultados de Cunha et al. (2017) e de Bergamin et al. (2015) com MIP. A US também teve maior correlação ($p < 0,01$) negativa com DS (-0,68) e com RSP (-0,52), que foram semelhantes aos resultados obtidos tanto por Cunha et al. (2017) quanto por Bergamin et al. (2015). No entanto, a RSP tende a diminuir em solos mais úmidos, favorecendo a correlação obtida nessa pesquisa. De acordo com Silveira et al. (2010), solos com baixo conteúdo de água, apresentam partículas mais próximas e difíceis de serem separadas, com o aumento da RSP, ficando evidente o poder de lubrificação da água no solo. Esses resultados apenas confirmam que, por ocasião da compactação, ocorrem a diminuição dos espaços porosos e aumento na DS e RSP e diminuição na US. Isso pode ser observado na Tabela 8, onde MAP teve correlação ($p < 0,01$) positiva com PT (0,63), CO (0,53) e silte (0,48) e correlação ($p < 0,01$) negativa com DS (-0,75), RSP (-0,43) e argila (-0,48).

Quanto à textura do solo, observou-se alta correlação ($p < 0,01$) negativa entre argila e silte (-0,95) e correlação ($p < 0,01$) positiva com CO (0,73). Isso pode ser atribuído ao processo de deslocamento de partículas mais finas, tanto na horizontal quanto na vertical, influenciando na distribuição do tamanho das partículas do solo (textura), o que também foi verificado no trabalho de Cunha et al. (2017).

	AG	AF	Areia	Silte	Argila	US	DS	MAP	MIP	PT	RSP	DMG	DMP	>2 mm	2-1 mm	<1 mm	CO	MO	EC	
AG	---																			
AF	0,34**	---																		
Areia	0,43**	0,99**	---																	
Silte	-0,44**	-0,27**	-0,30**	---																
Argila	0,33**	-0,02	0,00	-0,95**	---															
US	-0,24*	-0,35**	-0,34**	0,23*	-0,12	---														
DS	0,45**	0,21*	0,23*	-0,62**	0,58**	-0,68**	---													
MAP	-0,40**	-0,06	-0,08	0,48**	-0,48**	0,31**	-0,75**	---												
MIP	-0,04	-0,37**	-0,35**	-0,14	0,27**	0,68**	-0,07	-0,30**	---											
PT	-0,28**	-0,27**	-0,27**	0,30**	-0,22*	0,86**	-0,76**	0,63**	0,45**	---										
RSP	0,18	0,22*	0,22*	0,05	-0,12	-0,52**	0,42**	-0,43**	-0,20*	-0,59**	---									
DMG	-0,28**	0,24*	0,20*	0,49**	-0,58**	0,24*	-0,49**	0,38**	-0,14	0,22*	0,05	---								
DMP	-0,29**	0,23*	0,19*	0,50**	-0,59**	0,23*	-0,47**	0,37**	-0,15	0,21*	0,06	0,99**	---							
>2 mm	-0,30**	0,25**	0,20*	0,49**	-0,57**	0,26**	-0,47**	0,37**	-0,13	0,23*	0,04	0,96**	0,97**	---						
2-1 mm	0,21*	-0,18	-0,13	-0,46**	0,53**	-0,20*	0,38**	-0,28**	0,13	-0,16	-0,09	-0,85**	-0,88**	-0,91**	---					
<1 mm	0,30**	-0,25**	-0,21*	-0,49**	0,59**	-0,25*	0,48**	-0,38**	0,14	-0,23*	-0,04	-0,99**	-0,99**	-0,99**	0,89**	---				
CO	-0,47**	-0,07	-0,11	0,73**	-0,73**	0,46**	-0,74**	0,53**	0,03	0,47**	-0,07	0,71**	0,71**	-0,60**	-0,71**	---				
MO	-0,47**	-0,07	-0,11	0,73**	-0,73**	0,46**	-0,74**	0,53**	0,03	0,47**	-0,07	0,71**	0,71**	-0,60**	-0,71**	1,00**	---			
EC	-0,40**	-0,00	-0,04	0,37**	-0,36**	-0,12	-0,11	0,26**	-0,14	-0,30	0,12	0,18	0,16	0,11	0,04	-0,15	0,39**	0,39**	---	
DF	0,34**	-0,05	-0,20	-0,94**	0,99**	-0,12	0,58**	-0,48**	0,27**	-0,22*	-0,13	-0,59**	-0,60**	-0,59**	0,54**	0,60**	-0,74**	-0,74**	-0,37**	

Tabela 8. Coeficiente de correlação de Spearman (n = 108) entre os atributos físicos, carbono orgânico e dimensão fractal da textura em solos sob ambientes naturais e em usos antrópicos, na profundidade de 0,00-0,20 m, em Humaitá, Amazonas.

**significativo ao nível 1 % de probabilidade; *significativo ao nível de 5 % de probabilidade; ⁽¹⁾ AG – areia grossa; AF – areia fina; US – unidade do solo; DS – densidade do solo; MAP – macroporosidade; MIP – microporosidade; PT – porosidade total; RSP – resistência do solo à penetração; DMG – diâmetro médio geométrico; DMP – diâmetro médio ponderado; CO – carbono orgânico; MO – matéria orgânica; EC – estoque de carbono.

3.4 Inter-correlações entre os atributos físicos, carbono orgânico e dimensão fractal da textura de solos em diferentes ambientes

A intenção da análise da inter-correlação entre os atributos físicos, carbono orgânico e dimensão fractal dos solos, obtidos através de amostras coletadas em uma camada de 0,00-0,20 m, foi identificar dentre eles os que mais discriminam os ambientes naturais e em usos antrópicos estudados.

Através da análise fatorial foi possível verificar que os resultados foram significativos ($KMO = 0,74$ e $p < 0,05$ para o teste de esfericidade de Barlett), indicando, portanto, que foi adequada para os atributos avaliados. Para a análise de componentes principais (ACP), o número de fatores a serem extraídos foi estabelecido de maneira que estes explicassem pelo menos 70 % da variância total dos dados (Tabela 9 e Figura 5), que apresentaram autovalores da matriz de covariância superior a um (1) (MANLY, 2008), com 6,47 na CP1 e 3,62 na CP2. Do percentual da variância explicada, observou-se que a CP1 é responsável por 46,18 % da variância total de 72,01 %, enquanto que a CP2 é responsável por 25,83 %, com que foi suficiente para explicar a variabilidade dos dados originais. Foi verificado que Oliveira et al. (2015) e Cunha et al. (2017) encontraram valores de variância acima de 70% em atributos físicos e químicos do solo, sendo que esses valores podem ser atribuídos a variabilidade destes atributos.

Ambos os fatores (CP1 e CP2) apresentaram altos coeficientes de explicação para as características texturais, estruturais, de estabilidade dos agregados, carbono orgânico e da dimensão fractal dos solos em estudo (Tabela 9).

Dessa forma, a discriminação entre os ambientes diz respeito a essas características, com CP1 representando as características de textura do solo, estabilidade dos agregados do solo, carbono orgânico e dimensão fractal (silte, argila, DMG, DMP, classes de agregados >2 mm, 2-1 mm e <1 mm, CO e DF), enquanto a CP2 representou as características estruturais do solo (US, DS, MAP, PT e RSP). Estes atributos explicam a maior porcentagem de variação e são os que mais contribuem para alterar as características do solo em função do manejo. As variáveis com cargas fatoriais abaixo dos valores apresentados na CP1 e CP2 (areia, MIP, MO e EC) são aquelas que retêm pequena parte da variação total, o que demonstra que as demais variáveis não citadas contribuíram em menor proporção para discriminar o uso do solo (PRAGANA et al. 2012).

Atributos ⁽¹⁾	Variância Comum	Fatores	
		CP1	CP2
Silte	0,56	0,72*	0,20
Argila	0,63	-0,79*	-0,09
US	0,75	0,09	0,86*
DS	0,87	-0,46	-0,81*
MAP	0,59	0,35	0,69*
PT	0,91	0,12	0,94*
RSP	0,61	0,15	-0,77*
DMG	0,85	0,91*	0,14
DMP	0,80	0,89*	0,13
>2,00 mm	0,79	0,88*	0,13
2,00-1,00 mm	0,57	-0,76*	-0,02
<1,00 mm	0,79	-0,88*	-0,13
CO	0,75	0,78*	0,37
DF	0,61	-0,78*	-0,05
Variância Explicada (%)		46,18	25,83

Tabela 9. Correlações entre cada componente principal e variáveis analisadas e análise fatorial dos atributos do solo referentes a uma profundidade de 0,00-0,20 m, com os fatores rotacionados (*varimax*) (Fator CP1 e CP2) correspondentes aos ambientes estudados, na região de Humaitá, Amazonas.

⁽¹⁾ US – umidade do solo; DS – densidade do solo; MAP – macroporosidade; PT – porosidade total; RSP – resistência do solo a penetração; DMG – diâmetro médio geométrico; DMP – diâmetro médio ponderado; CO – carbono orgânico; DF – dimensão fractal.

A Figura 5, com gráfico do “*scree plot*”, também pode ser usada para a verificação da importância e contribuição de cada variável para explicação da variância total. Esse gráfico conjuntamente com os autovalores pode ser utilizado para a tomada de decisão da quantidade de componentes devem ser retidas para posterior aplicação da análise de componente principal (ACP).

Os pesos dos atributos de cada ambiente, na primeira e segunda componente retida, mostram que os atributos mais significativos para 72,01% da variabilidade explicada, nas profundidades 0,00–0,20 m, foram: silte (3,96 %), argila (4,50 %), US (5,39 %), DS (6,21 %), MAP (4,22 %), PT (6,48 %), RSP (4,39 %), DMG (6,10 %), DMP (5,73 %), >2 mm (5,63 %), 2-1 mm (4,09 %), <1 mm (5,62 %), CO (5,34 %) e DF (4,36 %) (Figura 5). Sendo que nestes atributos, possivelmente, ocorra maior impacto ou alteração, em relação aos outros atributos.

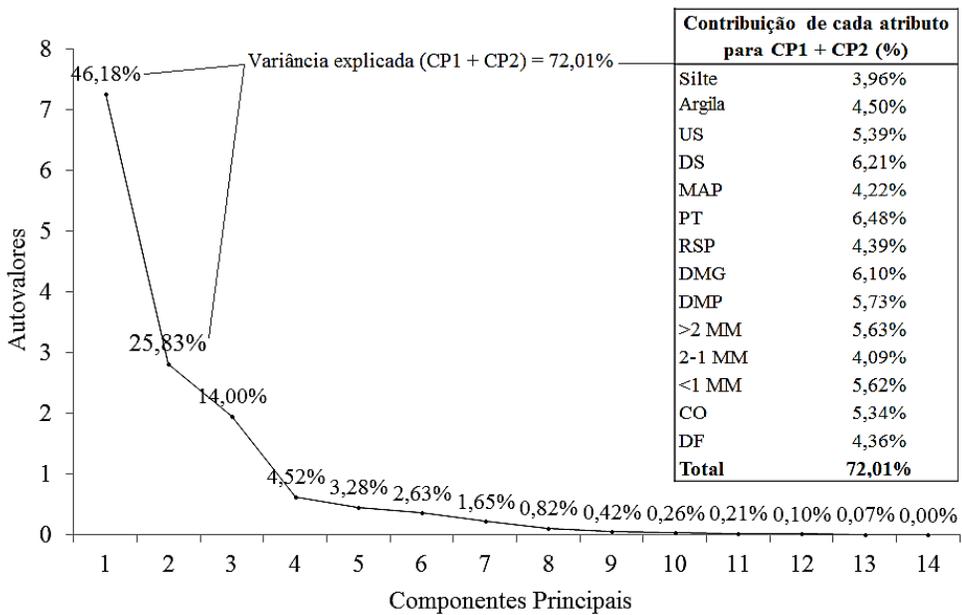


Figura 5. Proporção da variação no conjunto de dados explicada pelo componente principal (CP) e contribuição de cada variável para explicação da variância total pelo método "scree plot". US – umidade do solo; DS – densidade do solo; MAP – macroporosidade; PT – porosidade total; RSP – resistência do solo a penetração; DMG – diâmetro médio geométrico; DMP – diâmetro médio ponderado; CO – carbono orgânico; DF – dimensão fractal.

Na Figura 6 está representado o plano fatorial da distribuição dos escores dos diferentes ambientes estudados e da disposição das cargas fatoriais dos atributos do solo, coletadas a uma profundidade de 0,00-0,20 m, formado pelos CP1 e CP2. Para uma interpretação geométrica, os pesos atribuídos a cada variável correspondem as projeções a cada um dos eixos de coordenadas representado pelas componentes principais (MANLY, 2008).

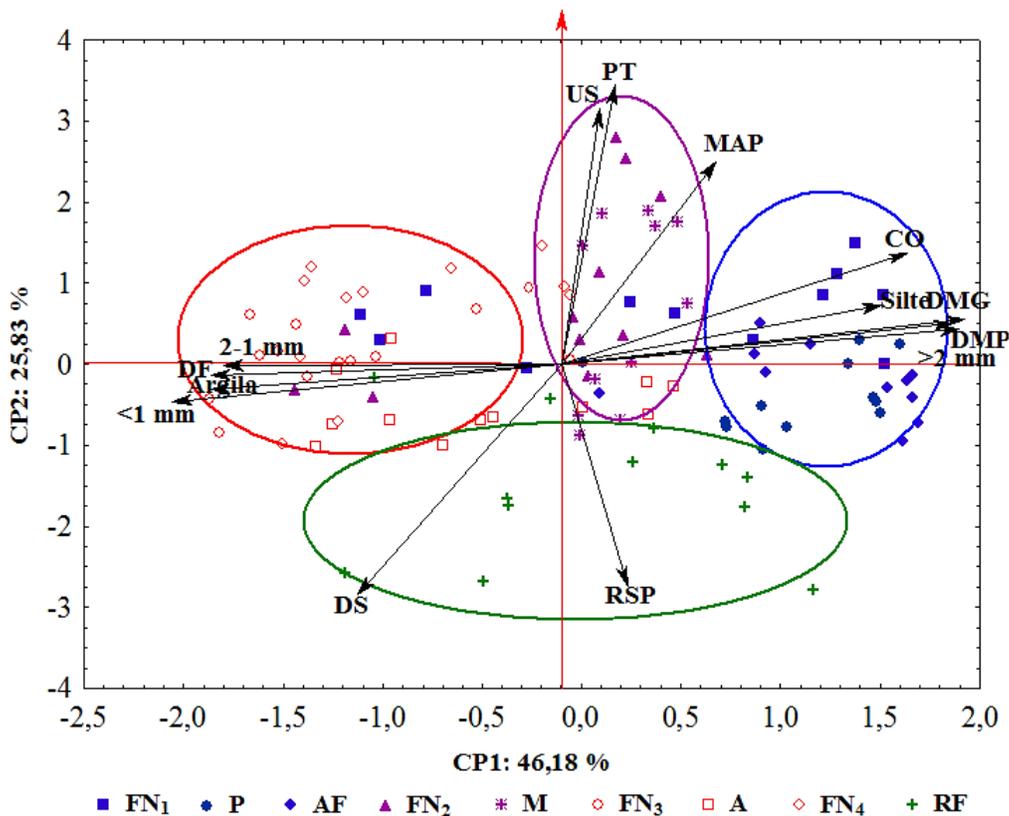


Figura 6. Plano fatorial dos atributos do solo coletados a uma profundidade de 0,00-0,20 m em solos sob ambientes naturais e em usos antrópicos na região de Humaitá, Amazonas. Valores padronizados de tal forma que a média é zero e as distâncias entre os escores são medidas pelo desvio padrão. FN₁ – floresta nativa 1; P – pastagem; AF – agrofloresta; FN₂ – floresta nativa 2; M – mandioca; FN₃ – floresta nativa 3; A – açaí; FN₄ – floresta nativa 4; RF – reflorestamento.

Observa-se maior adensamento dos escores nos ambientes com FN₁, P e AF distribuídos entre o primeiro e o quarto quadrantes (Figura 6), o que discrimina esses três ambientes em um grupo significativamente homogêneo. Desse modo, as amostras de solo coletadas nos ambientes sob FN₁, P e AF resultaram em valores para os atributos CO, silte, DMG, DMP e classes de agregados >2 mm acima da média, em comparação aos demais ambientes, correlacionados positivamente com a CP1, e aos atributos DF, argila, classes de agregados 2-1 mm e <1 mm abaixo da média, em comparação aos outros ambientes, correlacionados negativamente com a CP1. Por outro lado, as amostras de solo coletadas nos ambientes sob FN₃, A e FN₄ apresentam-se mais distribuídos entre o segundo e terceiro quadrantes, com atributos DF, argila, classes de agregados 2-1 mm e <1 mm acima da média, em comparação aos demais ambientes, correlacionados negativamente com a CP1, e os atributos CO, silte, DMG, DMP e classes de agregados >2 mm abaixo da média e

correlacionados positivamente com a CP1.

As amostras de solo coletadas nos ambientes sob FN₂ e M apresentam-se mais distribuídos no primeiro quadrante e resultaram em valores para os atributos US, PT e MAP acima da média, em comparação aos demais ambientes, correlacionados positivamente com a CP2, e aos atributos DS e RSP abaixo da média, em comparação aos outros ambientes, correlacionados negativamente com a CP2. Por outro lado, as amostras de solo coletadas nos ambientes sob RF apresentam-se mais distribuídos entre o terceiro e quarto quadrantes, com atributos DS e RSP acima da média, em comparação aos demais ambientes, correlacionados negativamente com a CP2, e os atributos US, PT e MAP abaixo da média e correlacionados positivamente com a CP2.

Com essa perspectiva, a caracterização dos ambientes com FN₂, M e RF é resumida em termos das características estruturais (US, MAP, PT, DS e RSP), sendo que os dois primeiros ambientes apresentaram melhores valores de US, MAP e PT com baixos valores de DS e RSP, enquanto que RF apresentou maiores valores na DS e RSP com menores valores em US, MAP e PT que, nesse caso, pode estar associada ao maior nível de compactação e resistência à ruptura do solo (SOARES et al., 2015). Nos ambientes com FN₁, P, AF, FN₃, FN₄ e A, a caracterização destes ambientes se resumiu em termos da textura, estabilidade dos agregados, carbono orgânico e dimensão fractal da textura dos solos, tendo maiores valores de CO, silte, DMG, DMP e agregados >2 mm os ambientes com FN₁, P e AF, os quais apresentaram menores valores de DF, argila e agregados de menores tamanhos (2-1 e <1 mm), enquanto que FN₃, FN₄ e A apresentaram exatamente o oposto.

4 | CONCLUSÕES

Os diferentes usos antrópicos dos ambientes provocam alterações significativas, tanto positivas quanto negativas, na textura e estrutura dos solos quando comparados aos seus ambientes naturais;

O ambiente com agrofloresta apresenta-se com os maiores ganhos de carbono orgânico, matéria orgânica e estoque de carbono até 0,10 m de profundidade e o ambiente com reflorestamento com a maior perda até 0,20 m de profundidade, em comparação aos seus ambientes naturais. A melhoria estrutural dos solos analisados possui estrita relação com aumento do carbono orgânico;

A dimensão fractal da textura dos solos nos ambientes considerados no estudo aumenta conforme o avanço em profundidade. O ambiente com o maior valor médio de dimensão fractal da textura é a floresta nativa 3 (2,912) e com o menor valor médio é ambiente com agrofloresta (2,740);

O carbono orgânico tem correlação positiva com silte, diâmetro médio geométrico,

diâmetro médio ponderado e agregados >2 mm, e negativa com densidade do solo e argila. A dimensão fractal da textura possui correlação positiva com argila e negativa com silte;

Os ambientes com floresta nativa 2 e com mandioca caracterizam-se pelos maiores valores de umidade gravimétrica do solo, macroporosidade e porosidade total, enquanto o ambiente com reflorestamento pelos maiores valores de densidade do solo e resistência do solo à penetração;

Os ambientes com floresta nativa 1, pastagem e agrofloresta caracterizam-se pelos maiores valores de carbono orgânico, silte, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado e agregados >2 mm, enquanto floresta nativa 3, floresta nativa 4 e açai são caracterizados pelos maiores valores de dimensão fractal da textura, argila e agregados entre 2-1 mm e <1 mm;

A estatística multivariada, através da análise das componentes principais, promove melhor entendimento das correlações entre os atributos do solo em diferentes ambientes e contribui para a avaliação da qualidade do solo de forma mais perceptível que a estatística univariada.

REFERÊNCIAS

- ALHO, L. C.; CAMPOS, M. C. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial de estabilidade de agregados e estoque de carbono em Cambissolo e Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.44, n.3, p.246-254, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632014000300001>
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.617-625, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000400002>
- AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Física do solo: conceitos e aplicações. Imprensa Universitária, Fortaleza, CE, 2008, 290 p.
- ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; PÉREZ, D. V.; RAMOS, D. P. Caracterização e classificação de plintossolos no município de Pinheiro – MA. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, v.31, n.5, p.1035-1044, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000500020>
- ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33 n.3, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000300020>
- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma amazônico. *Acta Amazônica*, v. 41, n. 1, p. 103–114, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672011000100012>
- ARAÚJO, F. S.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; SOUZA, Z. M.; SOUSA, A. C. M. Physical quality of a yellow Latossol under integrated crop-livestock system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v. 34, n. 3, p. 717-723, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300013>

ARAÚJO, M. A. TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.337-345, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000200012>

AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R.S.D. Solos e Ambiente: uma introdução. Santa Maria: Pallotti, 2004. 100p.

BAI, E.; BOUTTON, T. W.; LIU, F.; WU, B. X.; HALLMARK, C. T.; ARCHER, S. R. Spatial variation of $\delta^{13}\text{C}$ and its relation to carbon input and soil texture in a subtropical lowland woodland. *Soil Biology & Biochemistry*, v.44, p.102–112, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2011.09.013>

BAKKE, H. A.; LEITE, A. S. M.; SILVA, L. B. Estatística multivariada: aplicação da análise fatorial na engenharia de produção. *Revista Gestão Industrial*, Ponta Grossa, v.4, n.4, p.01-14, 2008.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. Soil physics. 4. ed. New York: John Wiley and Sons, 1972. 529p.

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R. Compactação em um latossolo vermelho distrófico e suas relações com o crescimento radicular do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* (Impresso), v. 34, p. 681-691, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300009>

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, F. R.; VENTUROSOSO, L. R.; BERGAMIN, L. P. P.; CAMPOS, M. C. C. Relationship of soil physical quality parameters and maize yield in a Brazilian Oxisol. *Chilean journal of agricultural research*, Chillán, v. 75, n. 3, p. 357-365, sept. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392015000400013>

BLAINSKI, É.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.975-983, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300007>

BOGNOLA, I. A. DEDECEK, R. A.; LAVORANTI, O. J.; HIGA, A. R. Influência de propriedades físico-hídricas do solo no crescimento de *Pinus taeda*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 30, n. 61, p. 37- 49, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.4336/2010.pfb.30.61.37>

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL, folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, 1978. 561p.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, Volume 124, Issue 1, P. 3-22, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>

CAMARGO, A. O. Compactação do solo e desenvolvimento de plantas. Campinas, Fundação Cargill, 1983. 44p.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Spatial variability of physical attributes of an alfisol under diferente hillslope curvatures. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.617-630, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300003>

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 19:121-126, 1995.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; SIQUEIRA, D. S.; PEREIRA, G. T. Discrimination of geomorphic surfaces with multivariate analysis of soil attributes in sandstone - basalt lithosequence. *Revista Ciência Agronômica* (UFC. Online), v. 43, p. 429-438, 2012b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632012000200001>

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JUNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; AQUINO, R. E.; OLIVEIRA, I. A. Superfícies geomórficas e atributos do solo em uma topossequência de transição várzea-terra firme. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 29, n. 1, p. 132-142, 2013.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; ALMEIDA, M. C. Topossequência de solos na transição campos naturais-floresta na região de Humaitá, Amazonas. *Acta Amazônica* (Impresso), Manaus, v. 42, p. 387-398, 2012a. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672012000300011>

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SOUZA, R. V. C. C.; ALMEIDA, M. C. Características mineralógicas de latossolos e argissolos na região sul do Amazonas. *Revista Acadêmica: Ciência Agrária e Ambiental*, v. 9, n. 1, p. 11-18, 2011.

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

CAPECHE, C. L. Noções sobre tipos de estrutura do solo e sua importância para o manejo conservacionista. *Comunicado Técnico 51*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 6p.

CARVALHO, L. A.; NETO, V. J. M.; SILVA, L. F.; PEREIRA, J. G.; NUNES, W. A. G. A.; CHAVES, C. H. C. Resistência mecânica do solo à penetração (RMP) sob cultivo de cana-de-açúcar, no município de Rio Brilhante-MS. *Agrarian*, v.1, n.2, p.7- 22, 2008.

CASTRIGNANÒ, A.; STELLUTI, M. Fractal geometry and geostatistics for describing the field variability of soil aggregation. *Journal of Agricultural Engineering Research.*, v. 73, p. 13-18, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1006/jaer.1998.0385>

CAVALIERI, K. M. V.; TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; COSTA, A. C. S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolon Vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.137-147, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000100014>

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 32:933- 942, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300003>

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.11, p.1663-1674, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006001100013>

COSTA LIMA, V.; LIMA, M. R. Formação do solo. In: *O solo no meio ambiente: Abordagem para Professores do Ensino Fundamental e Médio e Alunos do Ensino Médio*. Ed.s: COSTA LIMA, V.; LIMA, M. R.; MELO, V. F. Universidade Federal do Paraná, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. Curitiba, PR. Capítulo de livro, p. 1-10, 2007.

COSTA, N. A. et al. Controle de plantas invasoras em pastagens cultivadas. In: _____ et al. Pastagens cultivadas na Amazônia. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. p.72-98.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2.ed. rev. Viçosa: UFV, 390 p, 2001.

CUNHA, E. Q.; STONE L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e cultura de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, p. 589-602, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200029>

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, 11(23), 2032-2042, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2015.10649

CUNHA, J. M.; GAIO, D. C.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; SILVA, D. M. P.; LIMA, A. F. L. Atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica da Amazônia. Revista Ambiente e Água, Taubaté, v. 12, n. 2, p. 263-281, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1890>

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P.; SANTOS, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). Acta Amazônica, v. 37, p. 91-98, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672007000100010>

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; CANELLAS, L. P.; RIBEIRO, L. P.; BENITES, V. M.; SANTOS, G. A.; Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (terra preta de índio) in the Brazilian Amazon basin. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, p.85-93. 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000100009>

DANIEL, L. A.; LUCARELLI, J. R.; CARVALHO, J. F. Efeito do método de preparo do solo na formação e localização de camadas compactadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24, 1995, Viçosa. Anais... Viçosa: SBEA/UFV, 1995. p.370.

DESJARDINS, T.; BARROS, E.; SARRAZIN, M.; GIRARDIN, C.; MARIOTTI, A. Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia, Agriculture, Ecosystems & Environment, Volume 103, Issue 2, 2004, Pages 365-373, ISSN 0167-8809. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.008>

ELLISON, W. D. Soil erosion studies part Agricultural Engineering, v. 28, n.4, 1947, p.145-146.

EMBRAPA. 2011. Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 2011. 230p.

EMBRAPA. 2012. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 1. ISSN 1679-012X. Versão Eletrônica - 8ª edição. Out./2012. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/feranalise.htm>. Acesso em: 30 jul. 2017.

EMBRAPA. 2013. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 3.ed. revisada e ampliada. Brasília. 2013. 353p.

FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, Amsterdam, v.7, p.69–116, 1997. DOI:10.1016/S0016-7061(97)00039-6

FERREIRA, M. M. *Caracterização Física do Solo; Física do Solo*. Editor Quirijn de Jong van Lier, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298 p.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; AQUINO, R. E. Análises multivariadas de atributos físicos em latossolo vermelho submetidos a diferentes manejos. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 127-139, 2012.

FREDDI, O. S.; FERRAUDO, A. S.; CENTURION, J. F. Análise multivariada na compactação de um latossolo vermelho cultivado com milho. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Viçosa, v. 32, p.953-961, 2008.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; MORETI, T. C. C. F.; CARMO, D. A. B. Avaliação de Atributos Químicos e Físicos de Solos com Diferentes Texturas Cultivados com Cana-de-Açúcar. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 9, n. 17, p.362-374, 2013.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; DESUÓ, I. C. Atributos químicos e físicos de solo cultivado com cana-de-açúcar próximo a fragmento florestal nativo. *Holos Environment*, Rio Claro, v. 11, n. 2, p. 137 - 147, 2011. DOI: 10.5380/rf.v45i2.30104

FUENTES, C.; BRAMBILA, F.; VAUCLIN, M.; PARLANGE, J. Y.; HAVERKAMP, R. Modelación fractal de la conductividad hidráulica de los suelos no saturados. *Ingeniería Hidráulica*, v.16, p.119-137, 2001.

GALETI, P. A. *Conservação do Solo*. 2.ed. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 140p.

GAVA, R. *Evaporação da água do solo sob diferentes taxas de cobertura com resíduos vegetais*. Maringá: Universidade Estadual de Maringá – UEM, 2010. 62p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

GIAROLA, N. F. B., TORMENA, C. A., DUTRA, A. C. Physical degradation of a red latosol used for intensive forage production. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.31, n.4, p.863-873. 2007.

GOULART, R. Z.; LOVATO, T.; PIZZANI, R.; LUDWIG, R. L.; SCHAEFER, P. E. Comportamento de atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v.6, n.11, p.1-15, 2010.

HOTT, M. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. Á. S.; GRIFFITH, J. J. Análise fractal de textura usando um operador de Hurst em uma imagem TM/Landsat. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 12, 2005, Goiânia. Anais... Goiânia: INPE, 2005. p.4089-4093.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagem e áreas cultivadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.

JAKOB, A. A. E. *Estudo da correlação entre mapas de variabilidade de propriedades do solo e mapas de produtividade para fins de agricultura de precisão*. 1999. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia agrícola – FEAGRI, Campinas, 1999.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 116–121, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000200002>

JUO, A. S. R.; FRANZLUEBBERS, K. *Tropical Soils: Properties and management for sustainable agriculture*. Oxford University Press, 2003. 267p.

KARA, Ö.; BOLAT, I. Soil microbial biomass C and N changes in relation to forest conversion in the northwestern Turkey. *Land Degradation & Development*, Chichester, v. 19, n. 4, p. 421–428, 2008. DOI: [10.1002/ldr.850](https://doi.org/10.1002/ldr.850)

KATO, E.; RAMOS, M. L. G.; VIEIRA, D. F. A.; MEIRA, A. D.; MOURÃO, V. C. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho-Amarelo do cerrado, sob diferentes coberturas vegetais. *Bioscience Journal*. v.26, n.4, p.732-738, 2010.

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. 1965.

KRAMER, L. F. M. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sob plantio direto em zonas de manejo com diferentes produtividades. Guarapuava: Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2012. 62p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

LEITE, L. F.; GALVÃO, S. R.; HOLANDA NETO, M.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1273-1280, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010001200004>

LEPSCH, I. F. 19 lições de pedologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LIMA, C. G. R.; CARVALHO, M. P.; MELLO, L. M. M.; LIMA, R. C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.31, n.6, p.1233-1244, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000600002>

LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; LIMA, A. M. N. Mineralogia e química de três solos de uma toposeqüência da Bacia Sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 59-68, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000100007>

LIU, X. B.; ZHANG, X. Y.; WANG, Y. X.; SUI, Y. Y.; ZHANG, S. L.; HERBERT, S. J.; DING, G. Soil degradation: a problem threatening the sustainable development of agriculture in Northeast China. *Plant, Soil and Environment*, v.56, p.87–97, 2010.

LIU, X.; ZHANG, G.; HEATHMAN, G. C.; WANG, Y.; HUANG, C. Fractal features of soil particlesize distribution as affected by plant communities in the forested region of Mountain Yimeng, China. *Geoderma*, 154: 123-130. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.10.005>

LUIZÃO, F. J.; FEARNSTIDE, P. M.; CERRI, C. E. P.; LEHMANN, J. 2009. The maintenance of soil fertility in Amazonian managed systems. p. 311-336. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; SILVA DIAS, P. (Eds.). Amazonia and Global Change. Geophysical Monograph Series, Volume 186. Washington, DC, U.S.A.: American Geophysical Union (AGU), 2008. 565 p.

MACEDO V. R. M.; SILVA A. J. N.; CABEDA M. S. V. Influência de tensões compressivas na pressão de pré-compactação e no índice de compressão do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.8, p.856-862, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000800010>

MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. Geodiversidade do estado do Amazonas. Manaus: CPRM, 2010. P. 73-77.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; AMARANTE, C. V. T.; FILHO, O. K. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.41, n.10, p.1531-1539, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006001000011>

MANDELBROT, B. B. The fractal geometry of nature. New York: W. H. Freeman, 1982. 468p.

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, Amazona. Revista Ciências Agrárias, v.58, n.2, p. 122-130, abr./jun. 2015.

MARCHÃO, R. L.; VILELA, L.; PALUDO, A. L.; JÚNIOR, R. G. Impacto do pisoteio animal na compactação do solo sob integração lavoura-pecuária no Oeste Baiano. Planaltina, DF: EMBRAPA, 2009, 6p. (EMBRAPA. Comunicado Técnico, 163).

MARQUES JÚNIOR, J. Caracterização de áreas de manejo específico no contexto das relações solo-relevo. 2009. 113 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

MARTINS, G. C.; FERREIRA, M. M.; CURI, M.; VITORINO, A. C. T.; SILVA, M. L. N. Campos nativos e matas adjacentes da região de Humaitá (AM): atributos diferenciais dos solos. Ciência e Agrotecnologia, v. 30, n. 02, p. 221-227, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542006000200005>

MEIRELES, H. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; PEREIRA, G. T. Relações solo-paisagem em topossequência de origem basáltica. Pesquisa agropecuária tropical, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 129-136, 2012.

MONCADA, M. P.; PENNING, L. H.; TIMMD, L. C.; GABRIELS, D.; CORNELIS, W. M. Visual examinations and soil physical and hydraulic properties for assessing soil structural quality of soils with contrasting textures and land uses. Soil & Tillage Research, v.140, p.20-28, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.02.009>

MORAIS, T. P. S.; PISSARRA, T. C. T.; REIS, F. C. Atributos físicos e matéria orgânica de um Argissolo Vermelho-Amarelo em microbacia hidrográfica sob vegetação nativa, pastagem e cana-de-açúcar. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 213 - 223, 2012.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, p.1103-1110, 2004.

MUELLER, L.; SHEPHERD, G.; SCHINDLER, U.; BALL, B. C.; MUNKHOLM, L. J.; HENNINGS, V.; SMOLENTSEVA, E.; RUKHOVIC, O.; LUKIN, S.; HUI, C. Evaluation of soil structure in the framework of an overall soil quality rating. *Soil & Tillage Research*, v.127, p. 74–84, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.03.002>

NASCIMENTO, P. C. do; BAYER, C.; SILVA NETTO, L. de F. da; VIAN, A. C.; VIEIRO, F.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, É. Sistemas de manejo e a matéria orgânica de solo de várzea com cultivo de arroz. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.1821-1827, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600030>

NESMITH, D. S. Soil compaction in double-cropped wheat and soybean on Ultissol. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.51, p.183-186, 1987. DOI:10.2136/sssaj1987.03615995005100010038x

NIERO, L. A. C. Avaliações Visuais como Índice de Qualidade do Solo e sua Validação por Análises Físicas e Químicas em um Latossolo Vermelho Distroférico com Usos e Manejos Distintos. Campinas: IAC-Instituto Agrônomo, 2009. 128p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

NOVAES FILHO, J. P.; COUTO, E. G.; OLIVEIRA, V. A.; JOHNSON, M. S.; LEHMANN, J.; RIHA, S. S. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo usada na identificação de classes pedológicas de microbacias na Amazônia meridional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.91-100, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000100010>

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO, R. E.; MARQUES JUNIOR, J.; NASCIMENTO, E. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um cambissolo háplico sob diferentes usos na região sul do Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 37, p. 1103-1112, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000400027>

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; FREITAS, L.; SOARES, M. D. R. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. *Acta Amazônica*, v. 45, n. 1, p. 1-12, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201400555>

PAGLIAI, M.; MARSILI, A.; SERVADIO, P.; VIGNOZZI, N. & PELLEGRINI, S. Changes in some physical properties of a clay soil in Central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. *Soil Till. Res.*, 73:119-129, 2003.

PARENT, L. E.; PARENT, S.; KÄTTERER, T.; EGOZCUE, J. J. Fractal and compositional analysis of soil aggregation. In: Egozcue, J.J.; Tolosana-Delgado, R.; Ortego, M.I. (Ed.). 4th International Workshop on Compositional Data Analysis. 2011. DOI: 10.13140/RG.2.1.4373.1289

PAUL, B. K.; VANLAUWE, B.; AYUKE, F.; GASSNER, A.; HOOGMOED, M.; HURISSO, T. T.; KOALA, S.; LELEI, D.; NDABAMENYE, T.; SIX, J.; PULLEMAN, M. M. Medium-term impact of tillage and residue management on soil aggregate stability, soil carbon and crop productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.164, p.14-22, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.003>

PERFECT, E.; KAY, B. D. Brittle fracture of fractal cubic aggregates. *Soil Science Society American Journal*, v. 59, p. 969-974, 1995. DOI: 10.2136/sssaj1995.03615995005900040002x

PERFECT, E.; RASIAH, V.; KAY, B. D. Fractal dimension of soil aggregatesize distributions calculated by number and mass. *Soil Science Society American Journal*, v. 56, p. 1407-1409, 1992. DOI: 10.2136/sssaj1992.03615995005600050012x

PETEAN, L. P. Qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico sob integração lavoura-pecuária. Maringá: Universidade Estadual de Maringá – UEM, 2011, 140p. Tese (Doutorado em Agronomia).

PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um latossolo Vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 3, p. 1441-1448, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000500034>

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 575 - 585, 2010.

PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M. R.; NÓBREGA, J. C. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; COSTA, J. A. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do Cerrado piauiense. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.36, p.1591-1600, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000500023>

PROSPERINI, N.; PERUGINI, D. Particle size distributions of some soils from the Umbria Region (Italy): Fractal analysis and numerical modeling. Geoderma, 145: 185-195, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.03.004>

QUESADA, C. A.; LLOYD, J.; ANDERSON, L. O.; FYLLAS, N. M.; SCHWARZ, M.; CZIMCZIK, C. I. Soils of Amazonia with particular reference to the Rain for sites. Biogeosciences Discussion, München, v. 6, n. 2, p. 3851–3921, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-8-1415-2011>

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de ambiente. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.44, n.3, p.310-319. 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000300013

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN, R. Mecânica do Solo. In: VAN LIER, Q, J. Física do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p.29-102.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. ; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites Críticos de Densidade do Solo para o Crescimento de Raízes de Plantas de Cobertura em Argissolo Vermelho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.1805-1816, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000500002>

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades Físicas do Solo. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, 2006. 18p.

RIBAS, C. Caracterização da fertilidade atual dos solos da região de Guarapuava - PR. Guarapuava: Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2010. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. da G. B. de F.; SAMPAIO F. de M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. Ciência Agrotécnica, v.31, n.4, p.1167-1175, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000400033>

RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. Nova Economia, Belo Horizonte. 19 (1) 41-66 janeiro-abril de 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-63512009000100003>

- RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Monitoramento por Satélite. Campinas, 2010, 26p.
- ROQUE, A. A. O.; SOUZA, Z. M.; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G. S. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, n.7, p.744-750, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2010000700016>.
- ROSOLEN, V.; HERPIN, U. Expansão dos solos hidromórficos e mudanças na paisagem: um estudo de caso na região sudeste da Amazônia Brasileira. Acta Amazonica, v. 38, n. 3, p. 483-490, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672008000300013>
- RUSS, J. C. The image processing handbook. New York: CRC Press, 1995. 674p.
- SÁ, I, B.; CUNHA, T. J.F.; TEIXEIRA, A. H. C.; ANGELOTTI, F.; DRUMOND, F. M. Desertificação no Semiárido brasileiro. ICID+18 2a Conferência Internacional: Clima, Sustentabilidade e Desenvolvimento em Regiões Semiáridas, Fortaleza, 2010.
- SALIMON, C. I.; WADT, P. G. S.; MELO, A. W. F. Dinâmica do carbono na conversão de florestas para pastagens em Argissolos da Formação Geológica Solimões, no Sudoeste da Amazônia. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 7, n. 1, p. 29-38, 2007.
- SALTON, J. C.; FABRICIO, A. C.; MACHADO, L. A. Z.; OLIVEIRA, H. Pastoreio de aveia e compactação do solo. Revista Plantio Direto, Passo Fundo, v. 69, n.1, p. 32-34, 2002. Disponível em: http://plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=353>. Acesso em: abr. 2017.
- SANCHEZ, E. Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno. 48f. 2012. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava, PR. 2012.
- SANTOS, L. A. C.; CAMPOS, M. C. C.; COSTA, H. S.; PEREIRA, A. R. Caracterização de solos em uma topossequência sob terraços aluviais na região do médio rio Madeira (AM). Ambiência, v. 8, n. 2, p. 319 – 331, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5777/ambiencia.2012.02.07>
- SANTOS, V. B. Atributos de solos sob cultivo de frutíferas em sistemas de manejo convencional, em transição e orgânico no norte do estado do Piauí. 2010. 120f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal. 2010.
- SAS INSTITUTE. SAS user's guide: statistics: version 5 edition. Cary, NC, 1985. 956 p.
- SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; DA ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 28:797-804, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000500001>
- SHARMA, K. L.; MANDAL, U.K.; SRINIVAS, K.; VITTAL, K. P. R.; MANDAL, B.; GRACE, J. K. e RAMESH, V. Longterm soil management effects on crop yields and soil quality in dryland Alfisol. Soil Till. Res., 83:246-259, 2005. DOI:10.1016/j.still.2004.08.002
- SILVA, C. G. DA.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F. Atributos físicos, químicos e erosão entressulcos sob chuva simulada, em sistemas de plantio direto e convencional. Engenharia Agrícola, v.25, p.144-153, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000100016>

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; CORAZZA, E. J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clayey oxisol cultivated pastures in the "cerrado" region, Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 103, n. 2, p. 357-363, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.007>

SILVA, M. O.; FREIRE, M. B. G. S.; MENDES, A. M. S.; FREIRE, F. J.; CAMPOS, M. C. C.; AMORIM, L. B. Discriminação de diferentes classes de solos irrigados com águas salinas, na região de Mossoró, RN, com o uso de análise multivariada. *Ambiência*, Guarapuava, v. 6, n. 2, p. 261-270, 2010a.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.34, p.15-22, 2010b.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no cerrado. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagrnon.v31i4.792>

SOARES FILHO, R. Identificação e avaliação dos sistemas motomecanizados de preparo periódico do solo, usados no município de Rio Verde-GO. Viçosa: UFV, 1992. 64p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; SOUZA, Z. M.; BRITO, W. B. M.; FRANCISCON, U.; CASTIONI, G. A. F. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob pastagem em Manicoré, AM. *Revista Ciências Agrárias*, v. 58, n. 4, p. 434-441, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/1975>>. Acesso em: abr. 2017.

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; CUNHA, J. M.; SANTOS, L. A. C.; FONSECA, J. S.; SOUZA, Z. M. Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. *Revista de Ciências Agrárias (Belém)*, v. 59, p. 9-15, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2020>

SOUZA, G. S. Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear. Brasília, DF: Embrapa-SPI/Embrapa-SEA, 1998. 505 p.

SOUZA, H. A.; MARCELO, A. V.; CENTURION, J. F. Carbono orgânico e agregação de um Latossolo Vermelho com colheita mecanizada de cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n. 4, p. 658-663, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902012000400006>

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, 40:48-56, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000243>

STATSOFT INC. Statistica - data analysis software system. Tulsa, 2004.

STEINBEISS, S.; GLEIXNER, G.; ANTONIETTI, M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*. v.41, v.5, p.1301-1310, 2009.

SUZUKI, L. E. A. S.; LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; PILLON, C. M. Estrutura e armazenamento de água em um Argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 38, p.94-106, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000100009>

- TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Compressibility of oxisol aggregates under no-till in response to soil water potential. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 6, p. 1525-1533, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600002>
- TAYLOR, H. M.; ROBERTSON, G. M.; PARKER, J. J. Soil strength root penetrations for medium to coarse textured soil materials. *Soil Science*, Baltimore, v.102, p.18-22, 1966.
- THANGAVADIVELU, S. Soil response to track and wheel tractor traffic. *Journal of Terramechanics*. Hannover, v.31, n.1, p.41-50, 1994.
- TURCOTTE, D. L. Fractals and Fragmentation. *Journal of Geophysical Res.*: 91 (B2), p. 1921-26. 1986.
- TYLER, S. W.; WHEATCRAFT, S. W. Fractal scaling of soil particle size distributions: analysis and limitations. *Soil Science Society American Journal*, v. 56, p. 362-369, 1992. DOI:10.2136/sssaj1992.03615995005600020005x
- VALE JÚNIOR, J. F.; SOUZA, M. I. L.; NASCIMENTO, P. P. R. R.; CRUZ, D. L. S. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. *Revista Agro@ambiente On-line*, v. 5, n. 2, p.158-165, maio-agosto, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v5i2.562>
- VIDOTTO, E.; PESSENDA, L. C. R.; RIBEIRO, A. S.; FREITAS, H. A.; BENDASSOLLI, J. A. Dinâmica do ecotono floresta-campo no sul do estado do Amazonas no Holoceno, através de estudos isotópicos e fitossociológicos. *Acta Amazônica*, v. 37, p. 385-400, 2007.
- VOLK, L. B. S.; COGO, N. P. Relações entre tamanho de sedimentos erodidos, velocidade da enxurrada, rugosidade superficial criada pelo preparo e tamanho de agregados em solo submetido a diferentes manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1459-71, 2009.
- 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. *Nat. Hazards* 79: 455-478, 2015.
- XIA, L.; ZHANG, G.; HEATHMAN, G. C.; WANG, Y.; HUANG, C. Fractal features of soil particle-size distribution as affected by plant communities in the forested region of Mountain Yimeng, China. *Geoderma* 154: 123-130, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.10.005>
- XIAO, L.; XUE, S.; LIU, G. B.; ZHANG, C. Fractal features of soil profiles under different land use patterns on the Loess Plateau, China. *Journal of Arid Land*. 6:550-560. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40333-014-0023-7>
- 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*, 101: 17-23. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.09.013>
- ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T. M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, v. 79, p. 117-161, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00040-2](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00040-2)

SOLO, ÁGUA, PLANTA E VARIÁVEIS AMBIENTAIS:

Impactos e suas transformações
no Sul do Amazonas

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

SOLO, ÁGUA, PLANTA E VARIÁVEIS AMBIENTAIS:

Impactos e suas transformações
no Sul do Amazonas

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br