

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**QUALIDADE DO SOLO SOB ATIVIDADE AGROPECUÁRIA  
NO SUL DO AMAZONAS**

**MARIANA COUTRIM DOS SANTOS**

**ORIENTADOR PROF. DR ANDERSON CRISTIAN BERGAMIN**

**Humaitá-AM  
Março de 2022**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**QUALIDADE DO SOLO SOB ATIVIDADE AGROPECUÁRIA  
NO SUL DO AMAZONAS**

**MARIANA COUTRIM DOS SANTOS**

*Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos pré-requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.*

**ORIENTADOR: PROF. DR ANDERSON CRISTIAN BERGAMIN**

**HUMAITÁ-AM  
Março de 2022**

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S237q Santos, Mariana Coutrim dos  
Qualidade do solo sob atividade agropecuária no sul do  
Amazonas / Mariana Coutrim dos Santos . 2022  
63 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Anderson Cristian Bergamin  
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade  
Federal do Amazonas.

1. Uso do solo. 2. Sistema de manejo. 3. Sustentabilidade. 4.  
Estoque de carbono. 5. Região Amazônica. I. Bergamin, Anderson  
Cristian. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

**MARIANA COUTRIM DOS SANTOS**

**QUALIDADE DO SOLO SOB ATIVIDADE AGROPECUÁRIA NO SUL DO  
AMAZONAS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais – PPGCA, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

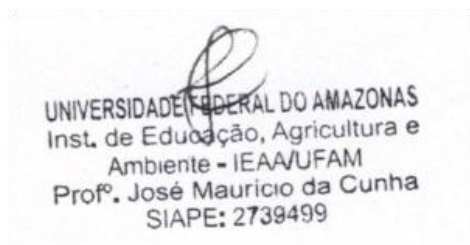
**COMISSÃO JULGADORA**



---

**Orientador**

**Prof. Dr. Anderson Cristian Bergamin**



---

**Examinador interno:**

**Prof. Dr. José Maurício da Cunha**



---

**Examinador externo:**

**Dr. Romário Pimenta Gomes Universidade**

**Humaitá, 30/03/2022**

## DEDICATÓRIA

À Deus pela bênção da vida, aos meus queridos pais, João Rodrigues (*In memoriam*) e Eva Coutrim, por todo amor, ensinamentos e apoio, aos meus irmãos Ana Cláudia e Luís Antônio por toda cumplicidade e companheirismo de sempre.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus pela dádiva da vida. A ele toda honra e toda glória, sempre!

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, por possibilitar a realização desse trabalho e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Anderson Cristian Bergamin, pela confiança e orientação durante o período do curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

As meus pais, João Rodrigues (*In memoriam*), o qual perdi durante a caminhada da graduação e à minha mãe Eva Coutrim, por terem me incentivado e acreditado que eu seria capaz de superar os obstáculos que a vida me apresentou.

Aos meus queridos irmãos, Ana Cláudia e Luís Antônio pela amizade, apoio e atenção dedicadas a mim sempre quando precisei.

Ao Prof. Dr. Douglas Marcelo Pinheiro da Silva pela contribuição para realização desse trabalho.

À Banca Examinadora de Qualificação pelas contribuições valiosas a essa pesquisa.

À todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, por todos conhecimentos transmitidos.

À todos os técnicos do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA), em especial ao José Cezar Frozzi pelo trabalho feito para o bom andamento dos cursos de graduação e pós-graduação.

À todos os amigos conquistados na minha vida acadêmica, sou grata.

“É dever de todos proteger e conservar o maior patrimônio nacional, pois a nação que destrói o seu solo, destrói a si mesma”.

Franklin Delano Roosevelt.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	iii
LISTA DE TABELAS .....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT .....	vi
1. INTRODUÇÃO .....	7
2. JUSTIFICATIVA .....	9
3. OBJETIVOS .....	9
3.1 Objetivo geral.....	9
3.2 Objetivos específicos .....	10
4. REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
4.1 Importância dos solos .....	10
4.2 Solos Amazônicos .....	11
4.3 Impactos ambientais e sustentabilidade no uso do solo .....	12
4.4 Caracterização das culturas de açaí, mandioca e pastagem.....	14
4.5 Atributos físicos do solo e carbono orgânico .....	16
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
5.1 Caracterização do Meio Físico .....	20
5.2 Identificação das áreas de coleta e metodologia de campo .....	21
5.3 Análises Físicas .....	23
5.3.1 Análise dos teores de carbono orgânico no solo e seu estoque .....	24
5.3.2 Análises estatísticas.....	25
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	26
6.1 Atributos físicos do solo .....	26
6.2 Carbono orgânico e seu estoque no solo .....	37
6.3 Análise multivariada dos atributos físicos do solo e carbono orgânico .....	41
7. CONCLUSÃO.....	46
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização da área de estudo no município de Humaitá, região sul do Amazonas - AM.....	21
<b>Figura 2.</b> Plano fatorial dos atributos físicos e do carbono orgânico do solo, na profundidade de 0,00-0,05 m, para os diferentes ambientes estudados em Humaitá, Amazonas. ....	43
<b>Figura 3.</b> Plano fatorial dos atributos físicos e carbono orgânico do solo, na profundidade de 0,05-0,10 m, para os diferentes ambientes estudados em Humaitá, Amazonas. ....	43
<b>Figura 4.</b> Plano fatorial dos atributos físicos e carbono orgânico do solo, na profundidade de 0,10-0,20 m, para os diferentes ambientes estudados em Humaitá, Amazonas. ....	44

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Análises estatística descritiva e teste de normalidade dos dados para textura do solo (areia, silte e argila) em diferentes ambientes, em Humaitá, Amazonas. ....	28
<b>Tabela 2.</b> Análises estatística descritiva e teste de normalidade dos dados para os atributos densidade, resistência do solo à penetração e umidade em diferentes ambientes, em Humaitá, Amazonas.....	29
<b>Tabela 3.</b> Análises estatística descritiva e teste de normalidade dos dados, para os atributos diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado dos agregados do solo em diferentes ambientes, em Humaitá, Amazonas. ....	32
<b>Tabela 4.</b> Análises estatística descritiva e teste de normalidade dos dados, para estabilidade de agregados em diferentes ambientes, em Humaitá, Amazonas. ....	33
<b>Tabela 5.</b> Análises estatística descritiva e teste de normalidade dos dados, para os atributos de porosidade total, microporosidade e macroporosidade em diferentes ambientes, em Humaitá, Amazonas.....	35
<b>Tabela 6.</b> Análises estatística descritiva e teste de normalidade dos dados, para o carbono orgânico do solo em diferentes ambientes na profundidade de 0,00 – 0,05 m, em Humaitá, Amazonas. ....	37
<b>Tabela 7.</b> Análises estatística descritiva e teste de normalidade dos dados, para o carbono orgânico do solo em diferentes ambientes na profundidade de 0,05 – 0,10 m, em Humaitá, Amazonas. ....	38
<b>Tabela 8.</b> Análises estatística descritiva e teste de normalidade dos dados, para o carbono orgânico do solo em diferentes ambientes na profundidade de 0,10 – 0,20 m, em Humaitá, Amazonas. ....	39
<b>Tabela 9.</b> Componentes principais dos atributos físicos do solo, correspondentes aos ambientes estudados em Humaitá, Amazonas. ....	42

## RESUMO

A região Amazônica tem atraído cada vez mais a atenção de pesquisadores devido a vasta riqueza de diversidade desse bioma, composição e estruturas complexas do solo. Entretanto a floresta vem sofrendo grandes interferências e modificações em sua estrutura natural mediante ao avanço e expansão agropecuária na região Amazônica oriundos de práticas antrópicas, que vem resultando na degradação, perda da qualidade do solo e a sustentabilidade dos ambientes de produção. O objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade física do solo sob atividade agropecuária na região Sul do Amazonas, visando investigar os impactos oriundos das práticas agropecuárias utilizadas atualmente pelos produtores rurais no município de Humaitá-AM, utilizando como indicadores os atributos físicos e o estoque de carbono (EC) dos solos. O estudo foi realizado na zona rural de Humaitá-AM, em quatro ambientes diferentes, sendo eles o cultivo de açaí, mandioca, pastagem e uma área de floresta em três profundidades 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, totalizando 120 amostras, a coleta foi realizada em 10 pontos de cada área estudada. Os atributos físicos avaliados foram: análise textural das frações areia, silte e argila, densidade do solo (Ds), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), resistência do solo a penetração (RSP), classe de agregados < 1,00 mm, 1,00 – 2,00 mm e > 2,00 mm, porosidade total (Pt), macroporosidade (MaP), microporosidade (MiP), umidade gravimétrica (Ug), também foram determinados o carbono orgânico do solo (COS), matéria orgânica (MO) e estoque de carbono do solo (EC). Após as análises laboratoriais dos atributos foram realizados testes de estatística descritiva e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, posteriormente foi realizada análise multivariada utilizando a técnica de análise de componentes principais. De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que a conversão da área de floresta em ambientes de uso agropecuários ocasionou mudanças nos atributos dos solos.

**Palavras chave:** Uso do solo, sistema de manejo, sustentabilidade, estoque de carbono, região amazônica.

## ABSTRACT

The Amazon region has increasingly attracted the attention of researchers due to the vast wealth of diversity of this biome, composition and complex soil structures. However, the forest has been suffering major interference and changes in its natural structure through the advance and agricultural expansion in the Amazon region arising from anthropic practices, which has resulted in degradation, loss of soil quality and the sustainability of production environments. The objective of this work was to evaluate the physical quality of the soil under agricultural activity in the southern region of Amazonas, aiming to investigate the impacts arising from agricultural practices currently used by rural producers in the municipality of Humaitá-AM, using as indicators the physical attributes and the stock of carbon (EC) of soils. The study was carried out in the rural area of Humaitá-AM, in four different environments, being the cultivation of açai, manioc, pasture and a forest area in three depths 0.00-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m, totaling 120 samples, collection was performed at 10 points in each studied area. The physical attributes evaluated were: textural analysis of sand, silt and clay fractions, soil density (Sd), weighted mean diameter (WPD), geometric mean diameter (WGD), soil penetration resistance (RSP), aggregate class < 1.00 mm, 1.00 – 2.00 mm and > 2.00 mm, total porosity (Tp), macroporosity (MaP), microporosity (MiP), gravimetric moisture (GM), soil organic carbon were also determined (COS), organic matter (OM) and soil carbon stock (EC). After the laboratory analysis of the attributes, tests of descriptive statistics were carried out and the means were compared by the Tukey test at 5% of probability, later, a multivariate analysis was carried out using the technique of analysis of principal components. According to the results obtained, it is concluded that the conversion of the forest area into agricultural use environments caused changes in soil attributes.

**Keywords:** Use of the soil, management system, sustainability, carbon stock, Amazon region.

## 1. INTRODUÇÃO

No estado do Amazonas, mais precisamente na região Sul, existem aproximadamente 560 mil hectares de campos de cerrados, distribuídos principalmente, nos municípios de Humaitá, Lábrea e Canutama, estes, estão localizados sobre a Planície Amazônica entre os rios Purus e Madeira. A região é característica por não apresentar campos contínuos cobertos e sim, por várias unidades isoladas entremeadas por matas. O tipo de relevo existente é o de pequeno desnível, com os bordos ligeiramente abaulados conhecidos como relevo do tipo "tabuleiro" (BRAUN; RAMOS, 1959).

Na sua grande maioria, os solos amazônicos são conhecidos por serem solos altamente intemperizados e caracterizados por acidez elevada, além de possuírem alta saturação por alumínio e baixa concentração de nutrientes essenciais as plantas, em função das elevadas taxas de precipitação que contribui para uma maior lixiviação das bases trocáveis do solo (OSAKADA, 2009).

O Bioma Amazônico devido sua vasta riqueza de recursos naturais, atrai muita atenção de pesquisadores pela diversidade de espécies existentes, pela sua composição e estruturas complexas. Em contrapartida, com a complexidade e o avanço da fronteira agrícola na região Amazônica, a floresta, vem sofrendo interferências em sua estrutura natural (MELO et al., 2017).

Uma prática comumente utilizada na região Amazônica é a conversão de ambientes naturais em área de cultivos, o que vem ocasionando modificações no solo e conseqüentemente aumento da sua heterogeneidade (SILVA et al., 2010). Com isso, torna-se necessário nessa região uma exploração que seja planejada cuidadosamente atendendo critérios de conservação, fazendo-se uso de boas práticas que podem ser aplicadas desde o início do uso, para que seja possível preservar o potencial produtivo do solo para as gerações atuais e futuras (LOPES et al., 2017).

Segundo Hammes (2004), os impactos das atividades agrícolas estão relacionados à suas necessidades de existência, que absorve, transforma e, portanto, produz resíduo. Portanto, é de grande necessidade estudar e conhecer as alterações nos solos causadas pelo seu uso, pois desta forma, pode-se buscar a manutenção e/ou melhoria da produtividade associada à conservação ambiental, promovendo assim a sustentabilidade de todo o agroecossistema (PANACHUKI et al., 2006).

O avanço da agricultura no estado de Rondônia pode abrir as fronteiras da agricultura no sul do estado do Amazonas. Considerando que a Amazônia possui clima e solos muito específicos, existe a preocupação de que máquinas agrícolas e tecnologias sejam usadas nesta região sem conhecimento suficiente para prever as consequências (GOMES et al., 2019). Como já conhecido, a implantação de atividades agrícolas, pecuárias e/ou florestais, estão causando a modificação da cobertura vegetal original de uma vasta parte do território brasileiro. Com isto, alguns ecossistemas como o Cerrado e Floresta Amazônica vêm se alterando e perdendo suas características originais, e cedendo lugar para essas atividades agrícolas. Essas mudanças, quando proporcionadas pelo mal-uso do solo estão causando, não somente degradação dos recursos naturais como também, a redução da qualidade do solo relacionada aos seus atributos físicos, químicos e biológicos (ROJAS et al., 2016).

A estrutura física do solo tem se tornado cada vez mais, um assunto de extrema relevância entre os pesquisadores do ramo, devido ao constante uso indiscriminado do mesmo, sem práticas conservacionistas adequadas que tem ocasionado uma grande perda, conseqüentemente vem prejudicando sua estrutura em decorrência da perda de matéria orgânica e carbono orgânico do solo, elementos esses que revelam um grande potencial na qualidade do solo (MENDES, 2015).

O solo é imprescindível para todo o ecossistema terrestre (Fullen; Catt, 2004). Na avaliação dos atributos físicos do solo, é possível o uso da estatística multivariada para estudar o comportamento desses atributos em função da modificação de áreas de floresta nativa para uso em atividades agrícolas e pecuária pois, por meio desta estatística, é possível descrever as interações entre sistemas antrópicos e naturais (MARQUES JÚNIOR, 2009).

O conhecimento e a consciência do manejo adequado para a preservação do solo são de grande essencialidade para todo o meio ambiente. Atualmente, poucos são os trabalhos que buscam aprofundar e estudar as alterações no solo decorrentes de práticas antrópicas na região Sul do Estado do Amazonas. Diante do exposto, o presente trabalho pretende avaliar os impactos das atividades agrícolas e pecuárias comparadas às áreas naturais sobre a qualidade física do solo.

## **2. JUSTIFICATIVA**

O solo é um recurso natural de grande importância devido a sua vasta essencialidade tanto para seu uso nos setores agropecuários, quanto para os florestais. Assim como em outras regiões, o Sul do estado do Amazonas também está se destacando na atividade agropecuária como fonte de renda aos produtores, desta forma, vem ocorrendo aumento no uso do solo em sistemas intensivos de produção, o qual vem modificando seus atributos, especialmente a qualidade física do solo.

Com o passar do tempo, a ocupação e substituição de áreas que eram anteriormente ambientes naturais (florestas) por áreas agrícolas, tem se mostrado como uma das principais mudanças na região Amazônica. Nos últimos anos, a Amazônia tem passado por um grande processo de expansão agropecuária, o que tem acarretado o desmatamento dessas áreas, de acordo com informações do INPE (2021), a área desmatada da Amazônia Legal Brasileira teve um aumento de 21,97% até o ano de 2021.

A conversão de ambientes naturais em sistemas agropecuários provoca impactos físicos que podem degradar o solo quando manejado de forma incorreta. As principais propriedades afetadas no solo através do mal uso e manejo, são devido a compactação de camadas do solo, provocando a diminuição de macroporos, taxa de infiltração de água, aumento da resistência do solo à penetração e densidade, além de alterar o tamanho dos agregados.

O uso demasiado do ambiente de floresta substituindo a mata nativa por áreas de cultivo, mesmo que estas sejam espécies amazônicas é uma preocupação crescente. Deste ponto, parte a necessidade do estudo e do conhecimento da dinâmica dos atributos físicos do solo provocadas por essas modificações, como também, conhecer quais influências são causadas pelos diferentes usos e manejos dessas áreas. Assim, será possível inferir as magnitudes dos impactos causados e as principais formas de manejo para contornar esses problemas a fim de promover o desenvolvimento sustentável da região Amazônica.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. Objetivo geral**

Avaliar a qualidade do solo sob atividade agropecuária na região Sul do Amazonas.

### **3.2. Objetivos específicos**

Caracterizar os atributos físicos do solo sob cultivos de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), pastagem (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e em área de floresta nativa no município de Humaitá, AM.

Determinar os estoques e teores de carbono orgânico, além da matéria orgânica dos solos em ambientes com cultivos de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), pastagem (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e em área de floresta nativa no município de Humaitá, AM.

Avaliar a correlação, por meio da estatística multivariada, dos atributos dos solos com os ambientes cultivados com açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), pastagem (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e em área de floresta nativa no município de Humaitá, AM.

## **4. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **4.1. Importância dos solos**

O solo tem sua definição, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo, como uma coleção de corpos naturais, estes por sua vez, são constituídos por partes líquidas, sólidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, contendo matéria viva e estes podem ser vegetados de formas naturais ou ocasionalmente modificados por ações antrópicas (SANTOS et al., 2018).

Sendo o solo um elemento fundamental para o ecossistema terrestre, este funciona como base para a sobrevivência tanto da espécie humana, quanto das espécies animais e vegetais. No que diz respeito ao ambiente florestal, ele está fundamentalmente relacionado com a ciclagem de nutrientes, balanço de energia, ciclagem da água e também, o tipo de vegetação existente (SILVA, 2021). Dessa maneira o solo apresenta-se como o principal componente de produção vegetal, tendo ação na influência do crescimento das plantas, todavia, na medida que o solo é submetido ao uso agrícola, os atributos do solo tanto os físicos, químicos e biológicos sofrem alterações, tornando-se muitas vezes até desfavoráveis para o desenvolvimento vegetal, podendo até ocasionar desequilíbrio natural dos ecossistemas (JAKELAITIS et al., 2008; CUNHA et al., 2011; FERREIRA et al., 2017).



Como o solo é e sempre foi um recurso natural de grande importância para todo o ecossistema terrestre, faz-se necessário o estudo da conservação do solo, o qual refere-se ao conjunto de boas práticas agrícolas que são destinadas a preservação e manutenção da fertilidade química e também das condições físicas e microbiológicas do solo. Assim como, o emprego de técnicas agrícolas que visem a priorização do manejo correto das áreas cultiváveis, evitando a erosão dos solos em todas suas formas. Com isso, busca-se aproveitar ao máximo a terra e conseqüentemente, evitando-se a degradação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (SÁ et al., 2020).

Tanto para a agricultura quanto para a pecuária, as práticas de conservação do solo são muito importantes uma vez que, buscam promover uma utilização de forma sustentável do solo para a utilização do homem. Processos como a compactação, a erosão e o aumento da salinidade do solo vem sendo um dos maiores desafios relativos ao manejo inadequado dos solos que podem estar interligados com a falta de alimentos num futuro não tão distante, culminando em uma enorme anarquia do sistema produtivo caso as práticas de manejo não forem implementadas corretamente (SÁ et al., 2020).

#### **4.2. Solos Amazônicos**

O estado do Amazonas abriga em sua grandiosa extensão o bioma de mais heterogeneidade biológica existente, este possui uma grande importância socioambiental e econômica. Seus solos são pedologicamente muito diversos, e em razão disso, são divididos em 11 megasetores pedológicos necessários para o estudo dos pedoambientes que se equiparam a uma escala quase continental (SCHAEFER et al., 2017).

Na grande maioria dos solos amazônicos, destacam-se ordens de solos com baixa predominância de nutrientes benéficos as plantas (LIMA et al., 2006), onde podem ser agricultáveis, porém de reação ácida, baixa capacidade de troca catiônica e baixa fertilidade natural (CUNHA et al., 2007, QUESADA et al., 2009). Desta forma, isso motiva a busca por sistemas de manejo que buscam minimizar os impactos causados no ambiente através dessa prática, tendo como finalidade a criação de condições que sejam favoráveis ao desenvolvimento das culturas implantadas, como por exemplo, o cultivo mínimo (BURTAN et al., 2017).

O solo por ser um recurso natural essencial e não renovável, deve ser conservado ou utilizado de maneira correta e consciente (PRIMAVESI, 2002). A crescente ocupação dos solos da Amazônia vem ocasionando a substituição de áreas de florestas para o emprego de atividades agrícolas e/ou pecuárias, com isto, vem gerando, muitas vezes a degradação destes solos. De acordo com Reis et al. (2009), quando essas áreas de ambientes florestais são substituídas por atividades agropecuárias ocorrem por consequência, alterações nos atributos dos solos.

Na região Amazônica, a prática da agropecuária quando aplicada de forma incorreta vem contribuindo exponencialmente para o aumento de áreas degradadas, mas, no entanto, essa prática tem caráter considerável na economia da região (DOMINGUES; BERMAN, 2012). A intensificação das atividades agropecuárias como a implementação de pastagens e da agricultura vem levando conseqüentemente ao desmatamento e/ou uso de áreas na região Amazônica não ocupadas por estas atividades (SOARES-FILHO et al., 2006; MENDES et al., 2015a). Esse uso inadequado do solo para a satisfação dessas atividades, reflete na qualidade física, química e biológica do solo, ocasionando assim, grandiosas modificações em seus atributos (SILVA et al., 2005; SÁ et al., 2010).

Deste modo, tem se buscado sistemas que visem à conservação dos atributos do solo fazendo-se uso de alternativas que sejam viáveis para que assim, possam garantir a conservação da qualidade do solo e a sustentabilidade do setor agropecuário.

#### **4.3. Impactos ambientais e sustentabilidade no uso do solo**

Há muito tempo o aumento das buscas e pressões referentes ao uso dos recursos naturais no planeta vem gerando uma grande preocupação mundial referente ao esgotamento desses recursos e à sustentabilidade da expansão econômica dos países, resultando assim, na realização de uma série de encontros internacionais com o intuito de debater esse tema. Nesses debates, surgiu o conceito de desenvolvimento sustentável, o qual é definido como: “aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades” (CMMAD, 1988). Todavia, a constante busca por ocupação das terras, visando a máxima expansão da agricultura e pecuária, tem trazido resultados indesejáveis à sustentabilidade do meio ambiente. Partindo desta premissa, uma prática que ainda ocorre de maneira primitiva e controversa é o uso do fogo nas

atividades agrícolas e pecuárias como forma de manejo, o impacto desta ação sobre o solo e todo o meio ambiente, vem adquirindo proporções grandiosas que extrapolaram os limites de um ecossistema (MELO, 2002).

Em decorrência dessa forte pressão sobre o bioma natural da Amazônia, os principais fatores que vem causando a alteração desse bioma são a degradação florestal, o desmatamento em grande escala e a expansão agrícola (VIEIRA et al., 2018), de acordo com informações do INPE (2021), a área desmatada da Amazônia Legal Brasileira teve um aumento de 21,97% em 2021.

O solo é conhecido como o recurso natural mais utilizado por todas as formas vivas do planeta, insígnies estratégicos em razão dos seus serviços ecossistêmicos (abastecimento, regulação). Entretanto, este também possui papel imprescindível para a relação socioambiental, no que se remete a economia, como a atividade agropecuária, extração de recursos, mineração e habitação (PINHEIRO, 2015). Em avaliações realizadas por Pereira (2017), referentes à substituição de floresta Amazônica nativa por culturas agrícolas, evidenciou que as culturas que mais se assemelham ao bioma natural podem em prática amenizarem os impactos nas características físicas e químicas do solo.

O conceito “sustentabilidade” vem sendo cada vez mais, discutido em várias áreas da ciência e está sempre relacionado com a conservação dos recursos naturais e correlacionado com o desenvolvimento econômico e social. De acordo com Sant’anna et al. (2017), um sistema é considerado como sustentável quando este é realizado de maneira direcionada provendo benefício da população sem que agrida o meio ambiente. Não obstante, vários autores (CANELLAS et al., 2003; RANGEL; SILVA, 2007; BORLACHENCO; GONÇALVES, 2017), salientaram que o momento de implantação de atividades agropecuárias sem as devidas orientações e preocupações com a sustentabilidade, vem ocasionando significativo desequilíbrio nos ecossistemas como o caso da utilização demasiada dos solos até o esgotamento e a consequente degradação, tornando-os dessa maneira, insuficientes para explorações futuras.

A implementação de práticas sustentáveis no uso dos recursos naturais, principalmente dos recursos água e solo, vem, cada vez mais, se destacando como um tema de extrema importância pelo constante aumento de atividades antrópicas e seus efeitos adversos a esses recursos (ARAÚJO et al., 2010). Com isso, para fins de garantir um longo período de cultivo, a avaliação do solo torna-se muito importante,

uma vez que, a manutenção e conservação do mesmo é uma etapa que poderá garantir o seu potencial produtivo (GALETI, 1973) e promover sua sustentabilidade.

#### **4.4. Caracterização das culturas de açaí, mandioca e pastagem**

O açaí, *Euterpe oleracea* Mart, originária da região Amazônica, é uma espécie de palmeira com ampla distribuição geográfica na América Latina, onde o Bioma Amazônico apresenta destaque para a maior quantidade de cultivo, e o Brasil é considerado o maior produtor em escala mundial de frutos do açaizeiro (SILVA, et al, 2019). A cultura do açaí desempenha um importante papel nos aspectos socioeconômico-ambiental nas regiões produtoras. O clima propício para essa cultura é do tipo tropical quente e úmido, desenvolvendo-se bem em condições de temperatura média mensal superior a 18° C, umidade relativa média anua de 80% e pluviosidade superior a 2.300 mm.

No Brasil, o açaí está difundido principalmente na região Norte, os estados que mais produzem essa cultura são o Pará o qual é tido como o maior produtor mundial do fruto, e o Amazonas, onde as espécies que mais predominam são a *Euterpe oleracea* Mart. e *Euterpe precatoria* Mart., respectivamente (SANT'ANA, 2006; COELHO et al., 2017; SOUZA & SOUZA, 2018; CONAB, 2020).

De acordo com Agostini-Costa (2018), dos tempos antigos até atualidade, as palmeiras representam um papel de grande importância tanto para a agricultura quanto para a alimentação de povos em diversas partes do globo. Na Amazônia, o açaizeiro é considerado a palmeira mais relevante da região, devido ao potencial de seus frutos que, além de nutritivos e base da alimentação local, são uma importante fonte de renda para os agricultores (MENEZES, TORRES & SRUR, 2008; BICHARA & ROGEZ, 2011; ARAÚJO, 2017). A crescente demanda pelo fruto e derivados do açaí, tem despertado o interesse no estudo de técnicas de manejo e de produção dessa cultura, (COUTINHO et al., 2017). O extrativismo do açaí é uma atividade característica da agricultura familiar, demandante de mão-de-obra, requer muita habilidade para o manejo da cultura e processo de colheita dos frutos. Sendo cultivado pela agricultura familiar, é fonte principal de renda destes agricultores. Na produção dessa cultura tem-se que, cerca de 80% do açaí são obtidos de extrativismo, enquanto apenas 20% são oriundos de açaizais manejados e cultivados (BRASIL, 2006).

A cultura do açaí desenvolve-se espontaneamente tanto em solos de várzea quanto em terra firme. Ao decorrer de seu processo evolutivo, essa espécie

desenvolveu adaptações fisiológicas e morfológicas, as quais lhe garantiram sobrevivência nos meses do ano em que há inundação e os solos apresentam caráter anóxico (OLIVEIRA et al., 2000; SILVA et al., 2019). Os solos indicados para uma boa exploração econômica dessa cultura são os de média a alta fertilidade natural, com características físicas favoráveis para o bom desenvolvimento da planta, como os que apresentam textura média, solos profundos e permeáveis, com alto teor de matéria orgânica e faixa de pH de 5,5 a 6,5, (BRASIL, 2008).

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é originária do Brasil, ocorre em todo território nacional, representando uma das culturas de maior importância socioeconômica no país. Por ser oriunda de região tropical, essa cultura encontra condições favoráveis para seu desenvolvimento em todos os climas tropicais e subtropicais. A mandioca é amplamente um dos alimentos mais consumidos no mundo, esta, destaca-se pela sua rusticidade e também pela grande capacidade de adaptação quando expostas a condições desfavoráveis de clima e solo (TEODORO, et al., 2021).

Na região Norte, a mandioca além de ser uma importante fonte de alimentação para a população, consolidou-se também como uma atividade econômica de cunho familiar, onde essa é cultivada em áreas pequenas, favorecendo a diversificação da produção nas propriedades. O Estado do Pará é o principal produtor no Brasil, com 4,99 milhões de toneladas produzidas na safra de 2017 (CONAB, 2019).

Para que haja um bom desenvolvimento das raízes (produto principal da mandioca) são preferíveis solos profundos, sendo considerados ideais os solos arenosos, ou de textura média, uma vez que esses facilitam o crescimento das raízes tuberosas dessa cultura, propiciando uma maior drenagem e colheita (arranquio) (SOUZA, et al., 2009). De acordo ainda com esses autores, solos argilosos são dispensáveis para esse cultivo, pois apresentam tendência à compactação e injúrias ao crescimento das raízes. Também são dispensáveis terrenos de baixada seguidos de topografia plana que estão sujeitos a inundação em determinados períodos do ano, pois podem causar o encharcamento dessa área e causar o apodrecimento das raízes e conseqüentemente, ocasionar grandes injúrias nessa produção.

Outra atividade de grande importância econômica é a pecuária, para resultados satisfatórios desta, a qualidade do solo e da pastagem são imprescindíveis. O Brasil é o maior produtor, consumidor e exportador de sementes de plantas forrageiras do mundo (HOPKINSON, et al., 1996; MELO et al., 2016), destas, estima-se que 60% do

volume produzidas são de sementes *Brachiaria brizantha* cv. Marandú (BISCOLA et al., 2013).

Originário da África Tropical, o capim-marandu (braquiarião) é uma gramínea forrageira perene de crescimento cespitoso, as quais formam touceiras de até 1,0 m de diâmetro e os afillhos podendo chegar até 1,5 m de altura (COSTA, 2005). Suas raízes profundas, os permite sobrevivência quando expostos a condição de períodos de seca prolongados. O braquiarião encontra-se amplamente distribuído na maioria dos cerrados tropicais e em áreas anteriormente sob vegetação de ambientes naturais da região Amazônica (COSTA, 2005).

O crescimento das forrageiras está diretamente relacionado com as características dos atributos físicos e químicos do solo em que estão sendo cultivadas, uma vez que uma espécie ou cultivar, quando expostas em mesmas condições de manejo, podem apresentar respostas diferentes em razão do solo (BEZERRA, et al., 2020). De acordo com Costa (2005), o braquiarião desenvolve-se bem nos diferentes tipos de solos, apresentando comportamento excelente nos solos arenosos, apresenta bons resultados nos argilosos também, desde que, estes sejam bem drenados, pois essa cultivar não tolera o encharcamento.

#### **4.5. Atributos físicos do solo e carbono orgânico**

A constante modificação de ambientes naturais em áreas de utilização antrópica, como destaque as atividades agropecuárias, vem provocando na Amazônia alterações expressivas nos atributos físicos destes solos. Isso ocorre uma vez que, para a inserção dessas atividades muitas práticas são utilizadas, como o revolvimento do solo, tráfego contínuo de máquinas e animais, e também pelos equipamentos agrícolas, prejudicando assim, a estrutura do solo, densidade, resistência do solo à penetração e redução da porosidade, provocando por fim, a degradação cumulativa da qualidade física do solo ao longo dos anos (CARVALHO et al., 2008; COLLARES et al., 2008; ROQUE et al., 2010).

De acordo com Neves et al. (2007), o processo de avaliação da qualidade do solo tem cada vez mais merecido atenção, assim como, a quantificação de alterações e/ou modificações em seus atributos que são decorrentes da intensificação de sistemas de manejos, sendo amplamente realizada para fins de monitoramento da produção sustentável dos solos e, conseqüentemente promovendo a conservação dos recursos naturais. Tal fato corrobora com estudos abordados por Stefanoski et al.

(2013), onde os autores evidenciaram que os atributos físicos tendem a sofrerem alterações na medida em que é intensificado o uso agrícola no solo, prejudicando por consequência, o crescimento das plantas.

O conhecimento e estudo sobre os atributos físicos do solo é fator de extrema importância para a escolha do sistema de manejo que será empregado e, ao decorrer do tempo, permitirá mensurar o grau e duração das alterações provocadas pelos diferentes sistemas de manejo (REICHERT et al., 2009) e também, se haverá diminuição ou melhoria da qualidade do solo.

A textura do solo é tida como um importante indicador da qualidade do solo, visto que, sua alteração ocorre quando a degradação do solo é decorrente do processo de erosão, pois essa, remove de maneira seletiva a argila, deixando apenas as frações mais grosseiras (MENEZES et al., 2010). A textura é o atributo físico que menos sofre interferência ao longo do tempo pela ação do manejo do solo. A textura do solo é equivalente à proporção relativa em que os diferentes tamanhos de partículas se encontram em uma determinada massa de solo. Desta maneira, a textura remete-se às partículas ou frações de areia, argila e silte, a qual é uma das características físicas mais estáveis do solo (SANCHEZ, 2012).

De acordo com Ferreira (2010) a estrutura do solo no processo de avaliação da estabilidade de agregados é uma etapa importante na determinação dos espaços porosos do solo, esta, torna-se fundamental para que ocorra suprimento de água e nutrientes, resistência à erosão, para que assim, possa manter equilíbrio satisfatório ao desenvolvimento de plantas.

O solo tem a sua composição básica dada por partículas sólidas. Na organização destas partículas encontram-se espaços de diferentes tamanhos que são denominados poros, estes, fazem parte da fração volumétrica do solo preenchida pelo ar e pela água (RIBEIRO et al., 2007). Esses poros são espaços presentes no solo encarregados pelos processos de aeração, condução e retenção de água e nutrientes fundamentais tanto para o desenvolvimento e crescimento de plantas quanto para os microrganismos presentes nesse solo, tendo deste modo, forte relação com a fertilidade e a qualidade física (TORMENA et al., 1998; FREITAS et al., 2012; STEFANOSKI et al., 2013).

A densidade do solo como relatada por Ferreira (2010), reflete sobre o arranjo das partículas do solo que definem as características do sistema poroso. Dessa maneira torna-se uma etapa importante na avaliação de impactos ambientais

causados ao solo. Essa densidade é definida como o peso seco de um determinado volume de solo, uma vez que, leva em consideração a porosidade do solo. Já a permeabilidade do solo é inversamente proporcional à essa densidade, sendo eficaz para indicar a capacidade que o solo apresenta no armazenamento de água para as plantas e também, para que se possam encontrar e adotar práticas de conservação do solo e água (AZEVEDO & DALMOLIM, 2004). Geralmente os solos de ambientes naturais apresentam menores valores de densidade e maiores de porosidade total do solo, devido ao fato de que esses não foram expostos a interferência de caráter antrópico (CALONEGO et al., 2012).

A densidade do solo é um importante indicador do grau de compactação do solo, a qual é oriunda de processos como pisoteio de animais, tráfego de máquinas e implementos agropecuários e florestais ou até mesmo manejo inadequado do solo decorrente da implementação de cultivos intensivistas, e tem sido amplamente utilizada para esse fim em aplicações práticas e científicas (TORMENA et al., 2002; CARMO et al., 2011; SILVA et al., 2015)

A resistência do solo à penetração é considerada uma das propriedades físicas do solo que está diretamente relacionada com o crescimento e desenvolvimento das plantas (LETEY, 1985) e é modificada pelos sistemas de preparo do solo. Essa resistência do solo à penetração, é uma medida utilizada para avaliar as condições que este sistema apresenta à penetração das raízes das plantas e está relacionada com a umidade do solo, sendo estas, fatores de desenvolvimento e crescimento radicular (SILVEIRA et al., 2010). A resistência do solo a penetração também está associada a compactação dos solos, valores muito altos desse atributo interferem de forma negativa no crescimento radicular, desenvolvimento e na produtividade das culturas inseridas em ambiente de produção (TORMENA et al., 2002; VOGEL et al., 2017).

A porosidade é um importante atributo do solo e confere condições propícias ao desenvolvimento radicular e a existência de organismos vivos. A composição básica do solo é dada por partículas sólidas, sendo que na organização destas partículas encontram-se espaços de diferentes tamanhos, denominados poros, que fazem parte da fração volumétrica do solo preenchida pelo ar e pela água (RIBEIRO et al., 2007). De acordo com Reinert et al. (2008), solos manejados com a utilização de cobertura vegetal com sistemas radiculares afluentes e vigorosos, tendem não somente aos fatores de reciclagem de nutrientes, adição de matéria orgânica e



melhoria da estabilidade dos agregados, mas também lhes conferem uma maior porosidade e resistência mecânica, uma vez a qualidade da porosidade está diretamente relacionada a esta resistência mecânica.

O carbono orgânico do solo (COS) geralmente, em sua origem, apresenta como principais contribuintes as frações húmicas (ácido húmico, humina e ácido fúlvico), que pode ser também oriunda da ação biológica através dos micros e macrorganismos presentes no solo (SILVA et al., 2017) ou ainda, incrementada pela ação antrópica, podendo essa se apresentar na forma estável ou lábil (OLIVEIRA et al., 2018). O carbono orgânico do solo, o qual é componente da matéria orgânica do solo (MOS), é considerado como principal recurso para as atividades microbianas do solo, que promovem sua decomposição e liberação de nutrientes para as plantas e também, para a produção de biomassa microbiana (SCHOLLES et al., 2009; ZHANG et al., 2007).

A matéria orgânica do solo (MOS) é tida como uma importante indicadora da atuação do sistema de manejo sobre o solo, essa, interage diretamente sobre os diferentes atributos desse meio e seu incremento é impulsionado pela constante inserção de resíduos orgânicos oriundos de várias naturezas e conseqüentemente pela contínua transformação destes (KLOSTER et al., 2016). A MOS tem em sua constituição todas as substâncias orgânicas carbonadas, onde o C (carbono) representa teores a cerca 40 a 60% de sua composição, portando-se também de outros elementos em menores proporções como o N (nitrogênio) valores entre 2 a 5%, P (fósforo) 1% e S (enxofre) 1% (COSTA et al., 2013; CUNHA et al., 2015; KLOSTER et al., 2016).

A redução dos teores da MOS e as modificações ocasionadas pelo sistema de preparo nos atributos físicos do solo, tem resultado em fluxo de calor do solo diferenciado, uma vez que o mesmo sofre grande influência pela cobertura do solo (CUNHA et al., 2011; PEREIRA et al., 2011).

O uso e manejo do solo em uma implementação intensiva tem grande interferência nos componentes orgânicos do solo, desde sua qualidade a sua quantidade, o que acaba ocasionando um desequilíbrio natural dos ecossistemas (CUNHA et al., 2011).

Na região Amazônica alguns trabalhos realizados tem buscado avaliar as transformações no solo oriundas de substituição de ambientes naturais em sistemas agrícolas (AQUINO et al., 2014). Outros autores observaram que o estoque de

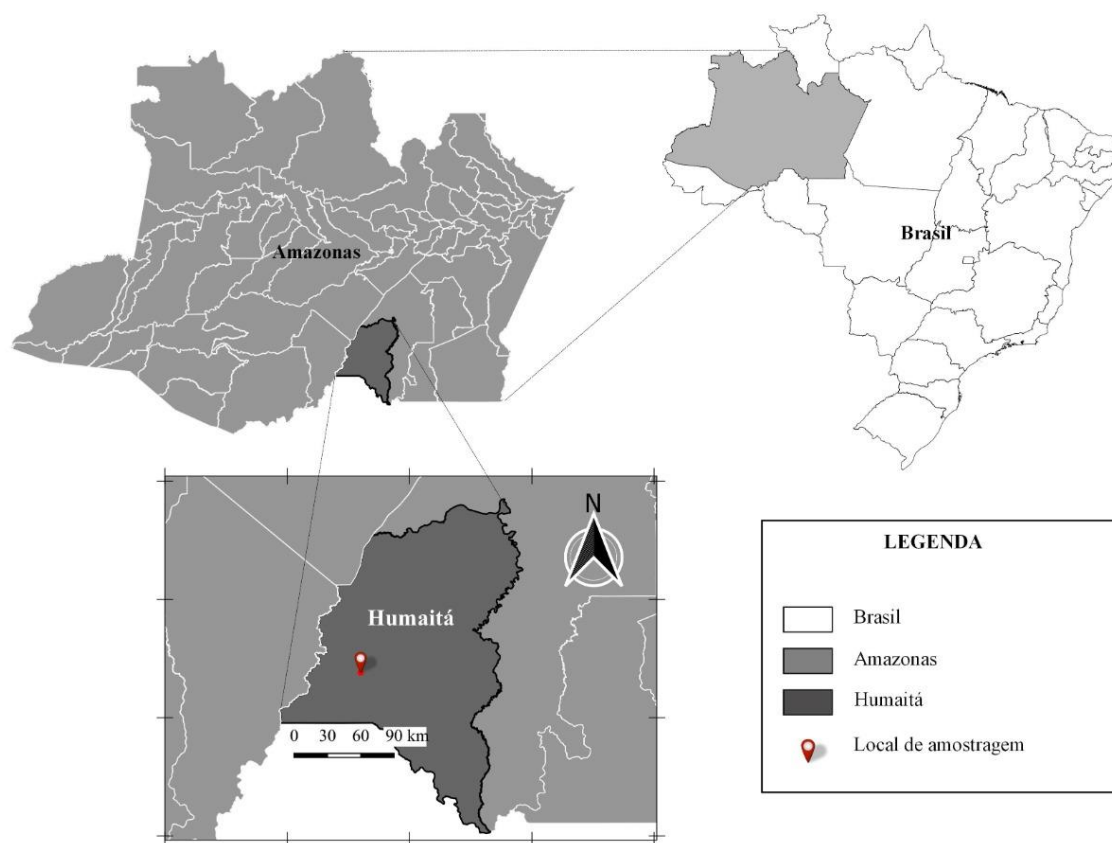
carbono (EC) no solo tem sido afetado de maneira expressiva diante dos sistemas de manejo empregados e uso do solo (CAMPOS et al., 2016; CUNHA, et al., 2017).

De acordo com Sales et al. (2018), em reflexo da interação do COS e os atributos físicos com as atividades de manejo no solo empregadas, os autores consideram que, a avaliação dessas variáveis, são medidas determinantes no processo de identificação de práticas que sejam mais adequadas com a finalidade de tornar a atividade agropecuária social e ambientalmente mais sustentável, favorecendo assim um aumento na produtividade e mitigação de emissão de carbono para atmosfera.

## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1. Caracterização do Meio Físico**

O município de Humaitá localiza-se ao sul do estado do Amazonas à margem esquerda do rio Madeira, afluente da margem direita do Rio Amazonas, distante cerca de 200 km da cidade de Porto Velho - Rondônia e, 675 km de Manaus pela Rodovia BR 319, estando situado na zona fisiográfica do Rio Madeira. Limita-se com os municípios de Manicoré ao Norte e ao Leste, Tapauá e Canutama a Oeste e Estado de Rondônia ao sul. A sede do município tem como coordenadas geográficas de centro 7° 30' 24"S. e 63° 04' 56"W, (Figura 1).



**Figura 1.** Localização da área de estudo no município de Humaitá, região sul do Amazonas - AM.

O clima da região é do tipo Am, segundo Köppen, isto porque a precipitação anual varia de 2.250 a 2.750 mm, com estação seca de pequena duração. A temperatura média anual varia de 24°C a 26°C, a umidade relativa do ar, bastante elevada, varia de 85 a 90% e a altitude média é de 90 metros acima do nível do mar (ALVAREZ et al., 2014).

A região de estudo apresenta relevo aproximado ao do tipo “tabuleiro”, com desníveis muito pequenos e, bordos ligeiramente abaulados (BRAUN; RAMOS, 1959).

## 5.2. Identificação das áreas de coleta e metodologia de campo

O trabalho foi desenvolvido em quatro propriedades rurais do município de Humaitá no estado do Amazonas, Brasil. Foram selecionadas quatro áreas de estudo: (1ª) área de cultivo de cultivo de açaí (*Euterpe oleracea*); (2ª) área de pastagem “braquiarião” (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu); (3ª) área cultivada com mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e (4ª) área de floresta nativa.

A área cultivada com açaí possui 10 anos de cultivo, respeitando o espaçamento de 5 x 5 m entre plantas e linhas da cultura. O solo dessa área foi classificado como Gleissolo (SANTOS et al., 2018), apresentando textura franco siltosa. Esse ambiente em determinada época do ano passa por um processo de inundação. A área de pastagem foi implantada há aproximadamente 20 anos, mantida com alta lotação de gado. A textura desse solo foi caracterizada como textura franco. A área cultivada com mandioca foi a mais recentemente implantada, possuindo dois anos de cultivo, tendo passado por gradagem do solo antes do plantio, espaçamento de 1 m x 0,5 m, entre linhas e plantas, esse solo apresentou textura franco siltosa. A área de floresta foi caracterizada como floresta secundária com 25 anos de pousio após a derrubada da mata original e apresentou textura franco argilo-siltoso. Os solos das áreas de pastagem, mandioca e floresta foram classificados como Argissolos (SANTOS et al., 2018).

As coletas de solo foram realizadas nos meses de julho e agosto de 2021. As amostragens de solo foram realizadas em 10 pontos de cada área estudada, com 3 repetições por ponto. Em cada ponto de amostragem de coletas foram abertas mini trincheiras, nas profundidades de 0,0 - 0,05 m, 0,05 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m, coletando blocos de solo com estrutura minimamente alterada os quais foram acondicionados em sacos plásticos identificados, e coletadas amostras com estrutura preservada em cada uma das três profundidades, com o auxílio de cilindros volumétricos (67 cm<sup>3</sup>), e acondicionadas em caixa de isopor de modo adequado para não alterar a estrutura dos solos amostrados.

Os pontos de cada área estudada foram selecionados ao acaso. Ao final das coletas foram obtidas 120 amostras de solo levemente alteradas (torrões) as quais foram levadas inicialmente para o galpão e 120 amostras de solo com estrutura preservada em anéis volumétricos, sendo encaminhadas para o laboratório e mantidas em temperatura controlada para posteriores análises.

Após a etapa da coleta, as amostras em torrões foram secas à sombra e em seguida foi realizado um leve destorroamento. Esse processo consiste em separar o solo em frações menores para determinadas análises de estabilidade de agregados. Foram utilizadas peneiras de diferentes malhas, com diâmetro de 9, 4 e 2 mm, respectivamente, onde o material que passou na peneira de 9 mm e ficou retido na peneira de 4 mm foi utilizado para realização das análises de agregados do solo, já a

outra fração que passou pela peneira de 2 mm foi utilizada para as análises de textura e de carbono orgânico do solo.

### 5.3. Análises Físicas

As análises foram realizadas no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente – IEAA, da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Campus Vale do Rio Madeira, em Humaitá, de acordo com as orientações contidas no Manual de Métodos de Análise de Solo (TEIXEIRA et al., 2017).

A análise textural do solo foi realizada utilizando o material de solo que passou em peneira com abertura de 2 mm, a terra fina seca ao ar (TFSA), empregando-se o método da pipeta. Para essa análise, fixou-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água, após o emprego do dispersante químico NaOH 0,1 N a agitação ocorreu de forma lenta através do aparelho agitador rotativo tipo Wagner, por 16 horas a 50 rpm. Depois dessa etapa, pipetou-se de cada amostra um volume de 50 ml da suspensão para determinação da fração argila que, após secagem em estufa a 105 °C, foi pesada em balança digital de precisão. As frações grosseiras conhecidas como, areia fina e areia grossa foram separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas para obtenção de suas frações em massa. Já o silte foi obtido por diferença das frações argila e areia em relação à amostra original de 20 gramas de solo (TEIXEIRA et al., 2017).

Para quantificação das variáveis: densidade do solo (DS), macroporosidade (MAP), microporosidade (MIP), porosidade total (PT) e umidade gravimétrica do solo (US), as amostras foram coletadas em anéis volumétricos, posteriormente foram saturados através de uma lâmina de água colocada em uma bandeja de plástico, disposta em até dois terços da altura do anel. Após essa etapa, foram aferidos os pesos dessas amostras 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.

Após atingido o potencial matricial, 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<sup>-1</sup>, haste com cone de 4 mm de diâmetro de base e semiângulo de 30°, com receptor e interface acoplado a um microcomputador

para realizar o registro das leituras por meio de um software próprio do equipamento. Em seguida, 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 (TEIXEIRA et al., 2017).

Para as análises de estabilidade de agregados, o método utilizado foi o de Kemper & Chepil (1965), com modificações nas seguintes classes de diâmetro das peneiras: 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 determinados em via úmida sendo colocados em contato com a água sobre a peneira de 2,0 mm por 15 minutos e com 32 oscilações por minuto, em um aparelho Yoder (SOLOTEST) em agitação vertical, a massa do material retido em cada peneira foi colocada em estufa a 105 °C por 24 horas para a secagem completa, em seguida foram mensuradas as respectivas massas em uma balança digital de precisão. Os resultados desta análise foram expressos em percentual dos agregados retidos nas peneiras >2,0; 2,0-1,0 e < 1,0 mm, diâmetro médio ponderado (DMP) este, obtido pela fórmula proposta por Castro Filho et al. (1998) e o diâmetro médio geométrico (DMG), segundo Schaller & Stockinger (1953), de acordo com as equações:

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

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

Onde,  $ni$  é a porcentagem dos agregados retidos em uma determinada peneira,  $Di$  é o diâmetro médio de uma determinada peneira e  $N$  é o número de classes de peneiras.

### 5.3.1. Análise dos teores de carbono orgânico no solo e seu estoque

No processo de determinação do carbono orgânico do solo via úmida, foram utilizadas 0,25 g de solos sendo adicionados 10 ml de dicromato de potássio (0,0667 mol/l) e, posteriormente, colocados na chapa aquecedora até atingir ponto de ebulição. Após atingido o ponto de ebulição, foi retirado e posto a esfriar. Com a solução já fria, foram adicionados 80 ml de água destilada e em seguida 2 ml de ácido ortofosfórico

(1 mol) e 3 gotas de difenilamina (1%), a titulação foi realizada com sulfato ferroso amoniacal (0,05 mol/l) (TEIXEIRA et al., 2017).

Cálculo:

$$C_{org} = \frac{0,003 \cdot V_d \cdot (40 - V_a) \cdot \frac{40}{V_b} \cdot 10}{m}$$

$C_{org}$  = concentração de carbono orgânico no solo, em g kg<sup>-1</sup>.

$V_d$  = volume total da solução de dicromato de potássio adicionado na digestão da amostra, em mL;

$V_a$  = volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra, em mL;

$V_b$  = volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco aquecido, em mL;

Valor 0,003 = miliequivalente da massa de carbono (peso atômico/valência – 12/4, dividido por 1.000);

Valor 10 = transformação de % para g kg<sup>-1</sup>;

$m$  = massa da amostra de solo, em g.

A percentagem de matéria orgânica foi calculada multiplicando o resultado do carbono orgânico por 1,724 (TEIXEIRA et al., 2017). Já o estoque de carbono, foi obtido pela seguinte fórmula:

$$EC = D_s \times h \times CO/10$$

em que:

$EC$  = estoque de carbono (Mg ha<sup>-1</sup>);

$D_s$  = densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>);

$h$  = espessura da camada de solo amostrada (cm);

$CO$  = teor de CO (g kg<sup>-1</sup>).

### 5.3.2. Análises estatísticas

Após as análises realizadas no laboratório, os dados obtidos foram submetidos à análise de estatística descritiva por meio do Software Statistica 7 (STATSOFT, 2004), o qual determinou os valores de média, mediana, coeficientes de assimetria e curtose, coeficiente de variação e teste Shapiro Wilk (SW) para o conhecimento do comportamento das variáveis em estudo por meio do estudo foi utilizado à técnica de

teste de normalidade da distribuição, que apresenta uma estatística “W” onde o valor de “p” dentro do intervalo de confiança de 95% ( $p > 0,05$ ). Para esse teste, há uma distribuição normal quando p-valor é maior que 0,05 a 5% de probabilidade ou p-valor maior que 0,01 a 1% de probabilidade (SHAPIRO; WILK, 1965; EKSTROM, 2011).

Para comparar as médias dos atributos de forma individual foi utilizada a análise de variância univariada (ANOVA) utilizando do teste de Tukey a 5 %. Posteriormente, realizou-se a análise de variância multivariada (MANOVA), através da análise fatorial e de agrupamento, a fim de encontrar significância estatística dos conjuntos dos atributos do solo que mais caracterizam os ambientes, para desta forma, obter como resposta os atributos que sofreram maior influência sobre o uso do solo.

A adequação da análise fatorial foi realizada através da medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e pelo teste de esfericidade de Barlett, ao qual se pretende rejeitar a igualdade entre a matriz correlação com a identidade. O teste de Kaiser é uma medida que avalia o quão adequados os dados são para a análise fatorial. Essa estatística é uma medida da proporção da variância que pode ser considerada comum a todas elas, ou seja, que pode ser atribuída a um fator comum. Quanto mais próximo de 1 melhor o resultado, ou seja, mais adequada é a amostra à aplicação da análise fatorial.

A etapa da extração dos fatores foi realizada pelos componentes principais, os quais foram incorporadas as variáveis que apresentarem comunalidades igual ou superior a 5. A escolha do número de fatores utilizados foi efetuada pelo critério de Kaiser (fatores que apresentam autovalores superior a 1). Para simplificar a análise fatorial, realizou-se a rotação ortogonal (Varimax) dos fatores. Todas as análises estatísticas multivariadas foram processadas no software STATISTICA versão 7 (STATSOFT, 2004).

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1 Atributos físicos do solo**

A estatística descritiva e o teste de média dos atributos físicos do solo sob diferentes usos de manejo do solo estão dispostos nas tabelas 1 - 5. O ambiente cultivado com açaí apresentou textura franco siltosa em todas profundidades com teores de areia variando entre 16 a 17%, silte entre 62 a 67% e argila entre 18 a 21%. Na pastagem a textura foi franca com teores de areia variando entre 39 a 41%, silte



entre 39 a 44% e argila entre 17 a 20%. A área com mandioca a textura variou franco siltosa a textura franca com teores de areia 26 a 33%, silte 46 a 56% e argila entre 17 a 21%. No ambiente floresta a textura variou de franco argilo siltosa a franco siltosa, com teores de areia entre 17 a 19%, silte 46 a 62% e argila entre 21 a 35% (Tabela 1).

A fração silte foi dominante em todos os ambientes estudados, fato esse justificável pela natureza aluvial dos sedimentos que constituem o material de origem desses solos (BRASIL, 1978). Resultados semelhantes a esses foram encontrados por Martins (2006), Campos et al. (2012a) e Brito et al. (2018), em estudos realizados próximos a região estudada. A maior fração de areia foi na área de pastagem em todas as profundidades e o menor valor foi na de açai na camada de 0,00–0,05 m com o teor de 16%. A argila teve seu maior percentual na área de floresta com um teor de 35% na camada de 0,00–0,05 m e o seu menor valor nas áreas de pastagem e mandioca também na profundidade 0,00–0,05 m (Tabela 1).

Conforme analisados os resultados da análise de variância dos atributos físicos dos solos (Tabela 2), por meio do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), pode-se observar que os valores mais elevados da densidade do solo ( $D_s$ ), seguiu a ordem de floresta > açai > mandioca > pastagem, nas três profundidades estudadas.

A menor  $D_s$  encontrada na área de ambiente natural (floresta) corrobora com estudos realizados por Mascarenhas et al. (2017), em um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico no município de Ouro Preto do Oeste-RO, Freitas et al. (2018), em um Latossolo Vermelho distrófico com textura franco-argilo-arenosa na região de Guariba-SP, e Rodrigues et al. (2018) em um Latossolo Vermelho Amarelo em Recife-PE, que encontraram resultados semelhantes a esses, os autores observaram que, valores maiores de  $D_s$  foram encontrados em áreas antropizadas com sistemas de manejo quando comparadas com área de floresta.

**Tabela 1** - Análises estatística descritiva e teste de normalidade dos dados para textura do solo (areia, silte e argila) em diferentes ambientes, em Humaitá, Amazonas.

Parâmetros	Açaí				Pastagem				Mandioca				Floresta			
	----- 0,00 – 0,05 m -----				----- 0,05 – 0,10 m -----				----- 0,10 – 0,20 m -----				-----			
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	Média	180,20b	170,10b	169,80b	351,30a	203,30a	194,70a	211,20a	207,47a	209,10b	201,00b	181,50b	260,00a			
	Mediana	183,8	174,50	166,40	328,10	204,40	181,80	222,70	212,79	229,80	182,60	179,80	250,60			
	CV	14,26	27,58	29,02	40,36	25,21	27,05	16,54	13,89	19,73	18,66	18,15	17,04			
	Assimetria	-0,10	-0,08	-0,32	0,14	0,64	2,01	-0,76	-0,62	-0,98	0,76	1,16	0,30			
	Curtose	-1,83	-1,80	-0,89	-1,94	1,57	4,73	0,42	-0,29	-0,53	-0,54	0,95	-1,36			
	SW	0,90*	0,90*	0,95*	0,86*	0,94*	0,78 <sup>ns</sup>	0,96*	0,92*	0,82 <sup>ns</sup>	0,90*	0,85*	*0,94			
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	Média	660,70a	437,40b	503,10b	463,70b	621,70a	418,10b	464,10b	621,10a	620,00a	391,60b	558,90a	574,00a			
	Mediana	553,80	397,50	490,50	505,80	623,00	407,60	451,30	635,00	620,80	394,50	571,30	597,10			
	CV	5,31	22,74	26,46	23,90	5,48	11,51	18,04	6,15	7,03	13,40	11,95	11,12			
	Assimetria	0,03	1,83	0,18	-0,41	-0,17	0,45	0,29	-1,21	-0,53	0,21	-0,34	-0,47			
	Curtose	0,33	3,96	-1,81	-1,88	-1,03	-0,86	-1,05	1,25	1,95	-0,51	-0,89	-1,71			
	SW	0,97*	0,82 <sup>ns</sup>	0,90*	0,85*	0,95*	0,95*	0,92*	0,89*	0,94*	0,96*	0,95*	0,85*			
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	Média	159,10b	392,50a	327,10a	185,00b	175,00b	387,20a	324,70b	171,43b	170,90c	407,40a	259,60b	166,00c			
	Mediana	158,10	415,90	332,90	173,20	170,30	387,00	351,00	158,60	162,11	400,90	267,10	158,30			
	CV	20,39	21,65	29,27	33,02	21,99	10,58	27,51	25,03	17,60	13,79	25,83	19,02			
	Assimetria	-0,43	-1,55	-0,01	0,59	0,51	-0,23	-0,62	1,37	0,87	0,73	-1,05	0,60			
	Curtose	-0,22	2,74	-1,97	-0,65	0,03	-0,77	-1,21	0,92	-0,53	-0,53	1,89	-1,44			
	SW	0,94*	0,85*	0,88*	0,92*	0,95*	*0,97	0,88*	0,81 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	0,89*	0,92*	0,86*			

CV = Coeficiente de Variação; SW = teste de normalidade Shapiro Wilk, <sup>ns</sup> = não significativo a 5% de probabilidade, \* significativo a 5 de probabilidade. Letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 2.** Análises estatística descritiva e teste de normalidade dos dados para os atributos densidade, resistência do solo à penetração e umidade em diferentes ambientes, em Humaitá, Amazonas.

Parâmetros	Açaí Pastagem Mandioca Floresta				Açaí Pastagem Mandioca Floresta				Açaí Pastagem Mandioca Floresta				
	0,00 – 0,05 m				0,05 – 0,10 m				0,10 – 0,20 m				
Ds (g cm <sup>-3</sup> )	Média	1,22b	1,42a	1,35a	1,14b	1,32b	1,47a	1,37b	1,22c	1,34a	1,42a	1,39a	1,24b
	Mediana	1,22	1,44	1,36	1,13	1,31	1,45	1,39	1,23	1,36	1,40	1,38	1,23
	CV	8,40	6,28	3,39	6,82	5,74	3,80	4,11	4,14	5,81	4,68	4,51	6,03
	Assimetria	0,05	-0,64	-0,71	0,13	0,38	0,60	-0,70	-0,49	-0,31	1,69	0,35	0,35
	Curtose	-0,99	-0,69	-0,64	-0,55	-0,18	-1,04	-0,94	1,07	-1,78	3,29	-0,97	-0,26
	SW	0,97*	0,92*	0,91*	*0,98	0,94*	0,91*	0,88*	0,96*	0,88*	0,82 <sup>ns</sup>	0,93*	0,94*
RSP (MPa)	Média	1,50b	2,20a	0,87c	0,78c	1,88a	1,69a	1,06b	0,87b	1,56a	1,27ab	1,26ab	0,96b
	Mediana	1,45	2,10	0,73	0,87	1,83	1,50	1,04	0,86	1,47	1,27	1,28	0,95
	CV	12,15	22,70	42,24	27,01	22,57	28,73	26,73	19,87	27,83	24,72	22,58	30,46
	Assimetria	0,35	0,27	0,62	-0,54	0,77	1,40	0,15	-0,26	0,23	-0,11	0,19	0,07
	Curtose	-0,65	-0,55	-0,72	-1,53	-0,55	0,82	-0,50	-0,76	-1,70	-0,18	-1,46	-0,92
	SW	0,96*	0,95*	0,93*	0,84*	0,94*	0,79 <sup>ns</sup>	0,98*	0,98*	0,88*	0,99*	0,92*	0,96*
Ug (kg kg <sup>-1</sup> )	Média	0,35b	0,29c	0,32b	0,40a	0,33b	0,25c	0,31b	0,37a	0,31ab	0,28a	0,29a	0,35a
	Mediana	0,35	0,27	0,32	0,40	0,32	0,27	0,31	0,38	0,31	0,27	0,30	0,35
	CV	7,04	14,28	4,24	6,44	4,94	16,18	3,97	8,47	6,33	19,08	5,12	7,01
	Assimetria	-0,09	0,85	0,21	-0,91	0,86	-2,24	-0,46	-1,64	0,63	2,84	-0,89	0,26
	Curtose	-0,09	-0,38	-0,59	0,89	-0,43	5,50	-1,69	2,88	0,16	8,61	1,04	-0,80
	SW	0,93	0,88*	0,98*	0,92*	0,89*	0,73 <sup>ns</sup>	0,87*	0,83 <sup>ns</sup>	0,96*	0,59 <sup>ns</sup>	0,94*	0,96*

CV = Coeficiente de Variação; SW = teste de normalidade Shapiro Wilk, <sup>ns</sup> = não significativo a 5% de probabilidade, \* significativo a 5 de probabilidade. Letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os baixos valores de  $D_s$  nessa área de floresta podem ter relação com a matéria orgânica presente nesse solo. Outros fatores que podem estar ligados a essa menor  $D_s$  pode ser devido aos teores de carbono orgânico e a rica fauna e a variabilidade de raízes presentes nesses solos, as quais vão construindo cavidades, canais e também galerias no subsolo (STEINBEISS et al., 2009; SOARES et al., 2016) causando menos compactação desses. De acordo com estudos abordados por Reichert et al. (2007), solos em ambientes florestais apresentam tendência em concentrar e manter a umidade do solo estável, isso ocorre devido ao sombreamento das copas das árvores e ao acúmulo de matéria orgânica da serrapilheira e outros detritos. Dessa forma, a densidade nessa área tende a ser menor quando comparadas a ambientes manejados.

Na área de pastagem a  $D_s$  foi maior em todas as profundidades (Tabela 2). Isso ocorre devido a lotação de animais (bovinos) com frequente pisoteio nesse ambiente exercendo certa pressão no solo, podendo ocasionar a compactação nas suas camadas (SATTTLER et al., 2018). Isso se dá em razão do aumento da  $D_s$  nessa área devido ao impacto negativo do pisoteio desse gado em condições de umidade elevada e também, à uma má distribuição espacial desses animais por área (KAISER, 2010; LINHARES et al., 2016). Vale ressaltar que a  $D_s$  varia com o tempo e com o uso da terra.

A média geral da resistência do solo à penetração (RSP) de raízes para cada ambiente, apresentou um aumento gradativo na seguinte ordem: floresta (0,97 MPa), mandioca (1,06 MPa), açaí (1,64 MPa) e pastagem (1,72 MPa), (Tabela 2). Na camada de 0,00-0,05 m, em área de pastagem foi encontrada os maiores valores de RSP com valor médio de 2,20 MPa, tal feito pode ser compreendido em razão da pressão exercida pelo gado. Resultados semelhantes a esses foram encontrados por Soares et al. (2015), onde os autores, estudando solos de TPA (Terra Preta Arqueológica), encontraram valores acima de 2,0 MPa para essa mesma profundidade, os quais foram decorrentes da compactação do solo pelo pisoteio desses animais. Em contrapartida, a área de floresta nessa mesma profundidade apresentou os menores valores de RSP com 0,78 Mpa.

O ambiente de floresta apresentou maiores valores de umidade gravimétrica ( $U_g$ ), seguida pela área de açaí, que apresentou valores intermediários e áreas cultivadas com mandioca e pastagem que apresentaram os menores valores para o atributo, em ambas as profundidades. Os resultados de  $U_g$  encontrados no presente trabalho corroboram com Reichert et al. (2007), onde os autores alegam que em

solos sob áreas florestais os mesmos apresentam uma tendência em concentrar e manter a umidade do solo estável, fato esse decorrente do sombreamento e também do maior acúmulo de serrapilheira (galhos, folhas secas, etc) proveniente das árvores.

Observando os atributos relacionados a estrutura dos solos, os maiores valores foram encontrados na profundidade de 0,00-0,05 m (Tabela 3), o diâmetro médio geométrico (DMG) foi de 2,34 mm e o diâmetro médio ponderado (DMP) de 2,97 mm, ambos em ambiente de floresta, sendo evidenciado um alto grau de agregação das partículas do solo. Esses resultados obtidos corroboram com o trabalho realizado por Luciano et al. (2010), onde os autores observaram uma melhor agregação do solo em floresta, acusando que tal feito pode ser resultante de uma maior atividade biológica nesse ambiente.

A área de floresta apresentou a maior percentagem de agregados com maiores diâmetros (> 2,00 mm) na profundidade 0,00-0,05 m, seguidos pela área de pastagem, açaí e mandioca (Tabela 4). Solos com presença de agregados estáveis de maior diâmetro são considerados como solos estruturalmente melhores e também, mais resistentes a condições de erosão, uma vez que, a agregação tende a facilitar a aeração, as trocas gasosas e a infiltração de água nesses solos, em razão do aumento da MaP, além de garantirem a MiP e a retenção de água dentro desses agregados (DEXTER, 1988).

A alta percentagem de agregados com diâmetros maiores, como os encontrados na área de pastagem nas profundidades de 0,05-0,10m e 0,10-0,20 m, não evidenciam, neste caso em específico, melhores condições de estrutura, aeração e MaP do solo, uma vez que, esses valores de agregados são decorrentes do fato de o solo estar em nível de compactação e conseqüentemente, apresentar maior resistência à ruptura. Confirma-se essa afirmação, observando os maiores valores de Ds e RSP e os menores valores de MaP e Pt do solo nesse ambiente de pastagem. Altos valores de DMP arremetem-se a melhor estabilidade dos agregados (KATO et al., 2010).

**Tabela 3.** Análises estatística descritiva e teste de normalidade dos dados, para os atributos diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado dos agregados do solo em diferentes ambientes, em Humaitá, Amazonas.

Parâmetros	Açaí Pastagem Mandioca Floresta				Açaí Pastagem Mandioca Floresta				Açaí Pastagem Mandioca Floresta				
	----- 0,00 – 0,05 m -----				----- 0,05 – 0,10 m -----				----- 0,10 – 0,20 m -----				
DMG (mm)	Média	2,06a	2,24a	1,79a	2,34a	1,67a	2,05a	1,77a	1,89a	1,20a	1,23a	0,81b	0,87ab
	Mediana	2,13	2,14	1,69	2,41	1,59	1,93	1,72	1,88	1,08	1,27	0,68	0,86
	CV	16,08	20,15	33,82	21,80	21,71	20,82	29,38	26,70	18,97	34,76	46,67	29,48
	Assimetria	0,00	0,08	-0,01	0,25	0,64	0,69	0,17	-0,01	1,36	-0,01	0,95	0,19
	Curtose	1,18	-1,64	-1,86	-0,71	-0,23	-0,95	-1,37	-0,49	0,55	-1,82	0,29	-1,77
	SW	0,94*	0,91*	0,88 <sup>ns</sup>	0,94*	0,94*	0,89*	0,94*	0,99*	0,75 <sup>ns</sup>	0,90*	0,91*	0,89*
DMP (mm)	Média	2,81ab	2,91ab	2,55b	2,97a	2,49a	2,66a	2,41a	2,66a	2,01a	1,92a	1,27b	1,74a
	Mediana	2,86	2,91	2,75	2,97	2,48	2,84	2,54	2,65	2,00	1,97	1,36	1,79
	CV	7,36	9,73	21,91	7,55	10,49	18,85	25,21	10,39	21,08	13,15	23,94	20,87
	Assimetria	-1,09	-0,93	-1,40	-0,71	0,28	-1,24	-0,82	0,00	0,07	-0,63	-0,22	-0,15
	Curtose	2,57	0,70	2,02	1,27	-0,73	0,55	-0,20	-0,80	1,56	-0,27	-0,15	-0,74
	SW	0,90*	0,90*	0,83*	0,95*	0,96*	0,85*	0,91*	0,95*	0,95*	0,95*	0,95*	0,98*

CV = Coeficiente de Variação; SW = teste de normalidade Shapiro Wilk, <sup>ns</sup> = não significativo a 5% de probabilidade, \* significativo a 5 de probabilidade. Letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 4.** Análises estatística descritiva e teste de normalidade dos dados, para estabilidade de agregados em diferentes ambientes, em Humaitá, Amazonas.

Parâmetros	Açaí Pastagem Mandioca Floresta				Açaí Pastagem Mandioca Floresta				Açaí Pastagem Mandioca Floresta				
	----- 0,00 – 0,05 m -----				----- 0,05 – 0,10 m -----				----- 0,10 – 0,20 m -----				
Agregados > 2 mm (%)	Média	80,92ab	82,01a	73,16b	86,67a	69,61b	80,59a	57,50 c	76,21ab	52,77a	54,50a	39,64b	46,40ab
	Mediana	82,61	84,77	77,96	86,01	69,36	82,52	58,93	75,49	53,51	54,54	37,87	46,63
	CV	9,34	10,37	11,26	2,41	12,70	7,92	7,93	8,03	14,56	18,56	23,08	22,59
	Assimetria	-1,23	-0,79	-0,60	0,30	0,24	-0,75	-1,22	-0,13	-0,02	0,19	0,33	0,34
	Curtose	2,93	0,35	-1,48	-0,19	-0,48	-0,45	0,92	-0,08	-1,90	-1,48	-1,29	-0,80
	SW	0,89*	0,90*	0,84 <sup>ns</sup>	0,95*	0,98*	*0,89	0,88*	0,95*	0,88*	0,91*	0,93*	0,97*
Agregados 2 - 1 mm (%)	Média	4,79a	2,23b	2,49b	1,64b	8,21b	2,87d	13,51a	5,49c	13,12a	10,11a	12,50a	10,49a
	Mediana	4,57	2,14	2,46	1,66	8,11	2,85	13,50	5,38	12,04	10,82	12,29	10,25
	CV	27,44	33,08	39,08	32,44	28,80	26,58	12,81	32,08	30,33	29,33	16,75	28,02
	Assimetria	0,70	0,03	0,00	0,19	0,67	0,08	0,00	0,43	0,57	0,14	1,67	-0,13
	Curtose	0,44	-1,40	-1,90	-0,85	0,71	-2,01	-1,82	-0,60	-0,92	-1,86	3,89	-1,34
	SW	0,95*	0,93*	0,88*	0,96*	0,96*	0,85*	0,91*	0,94*	0,93*	0,89*	0,85*	0,94*
Agregados < 1 mm (%)	Média	14,29b	15,77b	24,35a	11,69b	22,18ab	16,54b	28,99a	18,30b	34,11b	35,39b	47,86a	43,11ab
	Mediana	13,24	15,52	19,27	11,89	22,77	14,20	27,56	18,85	35,91	37,22	50,57	42,69
	CV	16,19	18,71	31,55	18,61	32,92	35,51	16,62	21,46	14,96	23,65	21,56	20,06
	Assimetria	0,43	0,13	0,63	0,20	-0,27	0,78	0,67	0,07	-0,35	-0,45	-0,29	-0,07
	Curtose	-0,89	-0,75	-1,55	-0,35	-1,16	-0,46	-0,82	0,43	-1,77	-1,40	-1,72	-1,15
	SW	0,95*	0,95*	0,81 <sup>ns</sup>	0,97*	0,95*	0,87*	0,88*	0,99*	0,88*	0,90*	0,90*	0,95*

CV = Coeficiente de Variação; SW = teste de normalidade Shapiro Wilk, <sup>ns</sup> = não significativo a 5% de probabilidade, \* significativo a 5 de probabilidade. Letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observando os atributos macroporosidade (MaP), microporosidade (MiP) e porosidade total (Pt), verificou-se que o atributo Pt, no ambiente de floresta, foi significativamente maior quando comparado às áreas manejadas através do teste de Tukey a 5 % de probabilidade nas profundidades de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m, com valores de 0,57 e 0,56 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> respectivamente. A partir da profundidade de 0,10-0,20 m, não houve diferença significativa entre as áreas, as quais foram consideradas estatisticamente iguais. Também foi observado a relação direta da Ds com a Pt, a qual, na medida que houve o aumento da Ds ocorreu a redução da Pt, corroborando com trabalho de Cruz et al. (2014).

A MiP manteve a mesma significância da Pt nas duas primeiras profundidades com os maiores valores na área de floresta e os menores índices foram encontrados na área de pastagem com 0,42 e 0,37 m<sup>3</sup>m<sup>3</sup> respectivos, para esse atributo, na camada 0,10-0,20 m, também não houve diferença estatística quando comparado a outros ambientes (Tabela 5). Esses baixos valores de MiP na área de pastagem apresentam condição de compactação desse solo, a qual teve relação direta com a Ds, pois a MiP estando baixa, é sinal que a Ds está alta. Esse fato pode estar relacionado também com o pisoteio dos animais nessa área. Diante disso, a consequência desse pisoteio e pressão exercidos pelo gado, corroboram com estudos de Linhares et al. (2016), onde os autores evidenciaram que esse fato provoca uma desorganização das partículas do solo, comprometendo assim a porosidade, a infiltração de água e, conseqüentemente, a redistribuição da mesma no solo, devido ao entupimento dos macroporos pelas partículas finas do solo e, como consequência, tem-se um aumento da sua compactação.



**Tabela 5.** Análises estatística descritiva e teste de normalidade dos dados, para os atributos de porosidade total, microporosidade e macroporosidade em diferentes ambientes, em Humaitá, Amazonas.

Parâmetros		Açaí	Pastagem	Mandioca	Floresta	Açaí	Pastagem	Mandioca	Floresta	Açaí	Pastagem	Mandioca	Floresta
		0,00 – 0,05 m				0,05 – 0,10 m				0,10 – 0,20 m			
Pt (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Média	0,55ab	0,49c	0,52bc	0,57a	0,53ab	0,45c	0,50bc	0,56a	0,52a	0,50a	0,50a	0,53 <sup>a</sup>
	Mediana	0,55	0,47	0,52	0,57	0,53	0,46	0,49	0,56	0,51	0,48	0,50	0,52
	CV	5,46	7,78	3,75	5,57	4,71	12,45	4,51	5,04	4,93	10,39	5,82	7,26
	Assimetria	0,30	1,03	0,16	0,30	0,71	-1,99	0,71	-0,42	0,97	2,74	-0,46	0,58
	Curtose	-1,28	-0,38	0,09	-0,60	0,29	4,94	1,55	-0,13	-0,91	8,12	0,16	-0,79
	SW	0,92*	0,83 <sup>ns</sup>	0,98*	0,94*	0,96*	0,80 <sup>ns</sup>	0,94	0,96*	0,80 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	0,95*	0,91*
MiP (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Média	0,42ab	0,40c	0,43ab	0,45a	0,43a	0,37b	0,42a	0,45a	0,42a	0,40a	0,41a	0,44a
	Mediana	0,42	0,39	0,43	0,45	0,43	0,38	0,41	0,45	0,42	0,38	0,42	0,44
	CV	3,44	9,03	2,92	5,37	3,06	14,57	3,63	6,21	4,19	16,89	4,09	2,38
	Assimetria	0,32	1,08	0,51	-0,02	0,12	-2,45	0,83	-1,28	-0,02	3,01	-0,94	-0,03
	Curtose	0,07	0,31	-0,28	-1,70	-1,08	6,55	-0,93	2,85	-1,82	9,27	0,00	-0,88
	SW	0,98*	0,89*	0,96*	0,91*	0,93*	0,69 <sup>ns</sup>	0,86	0,90*	0,90*	0,50 <sup>ns</sup>	0,90*	0,98*
MaP (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Média	0,13a	0,09b	0,09	0,12ab	0,10ab	0,09ab	0,08b	0,11a	0,10a	0,10a	0,09a	0,10a
	Mediana	0,12	0,08	0,08	0,12	0,10	0,09	0,08	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09
	CV	29,26	21,16	20,99	31,94	25,63	20,26	24,70	22,61	30,42	26,51	23,42	34,75
	Assimetria	0,22	0,94	0,15	-0,37	0,19	-1,05	-0,09	0,82	0,48	-0,38	0,25	0,58
	Curtose	-1,63	0,74	-1,67	-0,61	1,32	2,07	-1,45	-0,77	-0,50	-0,60	-0,78	-0,78
	SW	0,90*	0,91*	0,90*	0,96*	0,94*	0,91*	0,92*	0,87*	0,95*	0,96*	0,95*	0,94*

CV = Coeficiente de Variação; SW = teste de normalidade Shapiro Wilk, <sup>ns</sup> = não significativo a 5% de probabilidade, \* significativo a 5 de probabilidade. Letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

O atributo MaP foi maior nas áreas de açaí e floresta, nas profundidades de 0,0-0,5 m e 0,5-0,10 m, com valores médios de  $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Nessas mesmas profundidades é importante frisar que através da variável MaP, ambas as áreas apresentaram condições favoráveis ao desenvolvimento das plantas, em razão de todos os valores de MaP se apresentarem acima de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , pois, segundo Dexter (1988), valores abaixo deste citado, são limitantes ao crescimento radicular das plantas. Seguindo esse parâmetro dos autores, pode-se avaliar que os mesmos já não puderam ser aplicados nos ambientes cultivados com mandioca e pastagem, pois apresentaram valores médios de  $0,09$  e  $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , respectivamente. (Tabela 5). Essa baixa MaP na área de pastagem também foi observada por Burgrever et al. (2019), onde os autores estudando solos do Mato Grosso, em ambiente de pastagem afirmaram que, baixos valores desse atributo nesse ambiente indicam condição de adensamento do solo em decorrência do manejo utilizado e das poucas práticas de melhorias realizadas. Para a camada de 0,10-0,20 m, não houve diferença estatística entre os ambientes, ou seja, todas as áreas estudadas foram semelhantes estatisticamente nessa profundidade.

Utilizando-se os critérios sugeridos pela classificação de Warrick e Nielsen (1980), os quais consideram que, quando os valores do coeficiente de variação (CV%) estão abaixo de 12% são considerados como baixa, entre 12 e 60% classificam-se como média e para os valores acima 60% são classificados como alta variação. Com base nesses valores, foi possível afirmar que para os solos estudados, todos atributos e profundidades analisadas apresentaram de baixa à média variação nos valores de CV%, corroborando com resultados evidenciados por Aquino et al. (2015) e Cunha et al. (2017), quando ambos autores, estudando os atributos físicos do solo na região amazônica, encontraram resultados semelhantes à essas condições.

Os coeficientes de assimetria e curtose tiveram valores próximos de zero (Tabelas 1 - 5). De acordo com Neves Neto et al. (2013), quando há valores de assimetria negativa, isso indica uma tendência de concentração dos valores acima da média observada, entretanto, valores de assimetria entre -3 e 3 ainda conferem uma distribuição normal de dados obtidos. O teste de Shapiro-Wilk apresentou distribuição normal para a maioria dos atributos estudados, com exceção apenas para alguns atributos que não foram significativos à 5% de probabilidade nas profundidades: 0,0-0,5 m para pastagem, (Pt e Silte); mandioca (> 2,00 mm, < 1,00 mm e DMG). Na camada 0,5-0,10 m: pastagem (Argila, Ug, Pt, MiP e RSP); floresta (areia e Ug). E

para a profundidade 0,10-0,20 m: área de açaí: (Argila, DMG, Pt) e pastagem (Ds, Ug, Pt, MiP), onde esses atributos não seguiram distribuição normal.

## 6.2. Carbono orgânico e seu estoque no solo

Os valores do teste comparação de médias e estatística descritiva dos atributos carbono orgânico (CO) e estoque de carbono (EC), para as áreas de cultivo, açaí, pastagem, mandioca e floresta estão disponíveis nas tabelas 6, 7 e 8. Houve diferenças estatísticas significativas entre os sistemas de manejo estudados.

O teor de carbono orgânico do solo (COS) apresentou diferença significativa ao teste de Tukey a 5% de probabilidade quanto aos tipos de manejo das áreas quando avaliado de forma independente (Tabela 6 - 8).

**Tabela 6.** Análises estatística descritiva e teste de normalidade dos dados, para o carbono orgânico do solo em diferentes ambientes na profundidade de 0,00 – 0,05 m, em Humaitá, Amazonas.

Parâmetros	COS	MO	EST. C
	g kg <sup>-1</sup>		ton ha <sup>-1</sup>
Açaí			
Média	19,90a	32,06a	11,22 <sup>a</sup>
Mediana	19,22	31,44	11,31
CV	14,45	10,33	11,20
Assimetria	0,46	1,10	-0,28
Curtose	-0,76	0,72	-1,07
SW	0,95*	0,85*	0,95*
Pastagem			
Média	10,86b	18,11b	7,45b
Mediana	10,29	17,73	7,40
CV	13,79	23,84	18,28
Assimetria	0,69	-0,09	0,23
Curtose	-0,86	0,42	-0,65
SW	0,90*	0,97*	0,94*
Mandioca			
Média	9,37b	16,16b	6,290b
Mediana	10,17	17,53	6,61
CV	16,81	16,81	15,72
Assimetria	-0,81	-0,81	-0,84
Curtose	-1,01	-1,01	-0,76
SW	0,85*	0,85*	0,87*
Floresta			
Média	18,36a	30,65a	9,95 <sup>a</sup>
Mediana	18,23	30,80	9,79
CV	13,20	14,57	22,57
Assimetria	0,27	0,66	-0,39
Curtose	0,17	0,29	-0,01
SW	0,97*	0,91*	0,93*

CV = Coeficiente de Variação; SW = teste de normalidade Shapiro Wilk, <sup>ns</sup> = não significativo a 5% de probabilidade, \* significativo a 5 de probabilidade. Letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 7.** Análises estatística descritiva e teste de normalidade dos dados, para o carbono orgânico do solo em diferentes ambientes na profundidade de 0,05 – 0,10 m, em Humaitá, Amazonas.

Parâmetros	COS	MO	EST. C
	g kg <sup>-1</sup>		ton ha <sup>-1</sup>
Açaí			
Média	15,56a	26,84a	10,20a
Mediana	15,82	27,27	9,95
CV	32,68	32,86	33,33
Assimetria	0,00	0,00	0,19
Curtose	-2,30	-2,31	-2,06
SW	0,80 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>
Pastagem			
Média	10,02bc	17,16bc	7,25b
Mediana	9,56	16,49	6,97
CV	22,03	21,09	19,33
Assimetria	0,84	0,77	0,37
Curtose	0,18	0,10	-0,72
SW	0,93*	0,94*	0,95*
Mandioca			
Média	7,63c	13,13c	5,30b
Mediana	7,52	12,96	5,28
CV	37,73	37,89	37,8
Assimetria	0,24	0,22	0,33
Curtose	-1,16	-1,17	-1,02
SW	0,94*	0,94*	0,92*
Floresta			
Média	12,41ab	21,39ab	7,52b
Mediana	12,03	20,74	7,32
CV	12,85	12,85	11,08
Assimetria	0,37	0,37	0,34
Curtose	-1,33	-1,33	-1,05
SW	0,91*	0,91*	0,96*

CV = Coeficiente de Variação; SW = teste de normalidade Shapiro Wilk, <sup>ns</sup> = não significativo a 5% de probabilidade, \* significativo a 5 de probabilidade. Letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 8.** Análises estatística descritiva e teste de normalidade dos dados, para o carbono orgânico do solo em diferentes ambientes na profundidade de 0,10 – 0,20 m, em Humaitá, Amazonas.

Parâmetros	COS	MO	EST. C
	g kg <sup>-1</sup>		ton ha <sup>-1</sup>
<b>Açaí</b>			
Média	8,63ab	15,68ab	11,08a
Mediana	8,36	14,41	10,88
CV	15,91	22,71	12,43
Assimetria	0,50	0,93	0,26
Curtose	-1,17	-0,22	0,57
SW	0,90*	0,88*	0,92*
<b>Pastagem</b>			
Média	7,71ab	13,31b	10,88a
Mediana	7,52	12,96	10,66
CV	15,74	17,45	17,33
Assimetria	0,75	0,78	0,43
Curtose	0,15	0,56	-0,24
SW	0,91*	0,92*	0,93*
<b>Mandioca</b>			
Média	7,14b	12,25b	9,93a
Mediana	6,92	11,93	9,23
CV	16,77	16,72	17,49
Assimetria	0,65	0,56	1,05
Curtose	-0,18	-0,39	-0,01
SW	0,94*	0,94*	0,84 <sup>ns</sup>
<b>Floresta</b>			
Média	9,88a	18,52a	10,14a
Mediana	8,72	15,04	10,38
CV	31,44	39,09	16,42
Assimetria	0,34	0,33	-0,59
Curtose	-1,61	-2,09	0,01
SW	0,90*	0,81 <sup>ns</sup>	0,93*

CV = Coeficiente de Variação; SW = teste de normalidade Shapiro Wilk, <sup>ns</sup> = não significativo a 5% de probabilidade, \* significativo a 5 de probabilidade. Letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de COS foram influenciados pela profundidade do solo amostrado. Em relação ao COS, observa-se que houve um decréscimo deste elemento em profundidade, sendo os maiores teores de COS em superfície, o que é comum na região amazônica (CAMPOS et al., 2012a). Observou-se na camada de 0,00-0,05 m, nas áreas de açaí e floresta com valores de 19,90 e 18,36 g kg<sup>-1</sup> respectivamente, diferindo estatisticamente dos demais manejos, onde os menores valores foram para o sistema de pastagem (10,86 g.kg<sup>-1</sup>) e mandioca (9,37 g kg<sup>-1</sup>) (Tabela 6). Os valores de COS encontrados nas profundidades de 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, foram de açaí (15,56 e 8,63 g kg<sup>-1</sup>), floresta (12,41 e 9,88 g kg<sup>-1</sup>), pastagem (10,02 e 7,71 g kg<sup>-1</sup>) e mandioca (7,63 e 7,14 g kg<sup>-1</sup>) respectivamente. Esses altos valores de CO (carbono orgânico) sob cultivo de açaí, podem estar relacionados à elevada cobertura vegetal

presente nessa área, proporcionada pelo aporte de resíduos oriundos da própria cultura cultivada (BROMICK; LAL, 2005; PULROLNIK et al., 2009), fato que pode ser atribuído também ao tempo de 10 anos de cultivo da cultura sem sofrer grandes práticas intensivas no solo. Esses menores valores encontrados na área de pastagem não são muitos comuns a esse ambiente quando bem manejados, esses valores podem ter ocorrido em função dos longos anos de cultivo com alta taxa de lotação gado e também, devido ao mau manejo dessa área, o qual foi confirmado por Santos et al. (2019), em estudos desse atributo após o uso do solo na conversão de ambientes naturais em áreas de pastagem na região da Mata Atlântica do Brasil.

Os maiores valores de COS em superfície corroboram com estudos realizados por alguns autores (COSTA JÚNIOR et al., 2012; SANTOS et al., 2012; ARRUDA et al., 2015; GUAN et al., 2015) que relataram que os teores de COS do solo em superfície são maiores, devido aos aportes de matéria orgânica por via da cobertura vegetal presentes nos solos. Em ambientes tropicais, em razão das altas temperaturas e taxas de mineralização da matéria orgânica, a constância deste material é baixa (ZENERO et al., 2016). O declínio do COS em profundidade corrobora com resultados elucidados por Silva et al. (2017), que ao avaliarem o teor de carbono em diferentes profundidades notaram que na medida que há um aprofundamento de camadas os teores de carbono apresentam tendência a diminuir em razão da ausência de revolvimento e ação antrópica, assim o carbono não entra em camadas mais profundas.

A matéria orgânica do solo (MOS), teve segmento de seus valores na mesma ordem que o COS. Nos ambientes estudados, foram obtidos valores médios de MO na profundidade de 0,00-0,05 m, com médias decrescentes na seguinte ordem: açai (32,06 g kg<sup>-1</sup>), floresta (30,65 g kg<sup>-1</sup>), pastagem (18,11 g kg<sup>-1</sup>) e mandioca (16,16 g kg<sup>-1</sup>) (Tabela 6). A redução dos teores de MOS na superfície nas áreas cultivadas com mandioca e pastagem podem estar relacionadas, segundo Viana et al. (2011), com aumento da densidade do solo em área cultivada, em comparação com o solo sob ambiente natural. Para as profundidades 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, valores de açai (26,84 e 15,68 g kg<sup>-1</sup>), floresta (21,39 e 18,52 g kg<sup>-1</sup>), pastagem (17,16 e 13,31 g kg<sup>-1</sup>) e mandioca (13,13 e 12,25 g kg<sup>-1</sup>) respectivamente (Tabelas 7 e 8). Sabe-se que os teores de MOS, bem como seus compartimentos são classificados como os melhores indicadores de qualidade do solo (GOEDERT; 2007). Esses teores de MOS coincidem com resultados encontrados por Araújo et al. (2004) e Freitas (2011), onde os mesmos observaram que os valores de MOS mostraram-se superiores nas camadas

superficiais, diferenciando-se das camadas subsuperficiais. Para os valores de CV% encontrados, identificam-se que a MOS apresentou de baixa a média variabilidade, de acordo com os critérios estabelecidos por Warrick e Nielsen (1980).

No que se refere ao estoque de carbono (EC) do solo, estes seguiram a mesma tendência observada para os teores de COS, , sendo os maiores teores encontrados na superfície do solo na profundidade 0,00-0,05 m, na área de açai (11,12 ton ha<sup>-1</sup>), floresta (9,95 ton ha<sup>-1</sup>), pastagem (7,45 ton ha<sup>-1</sup>) e mandioca (6,29 ton ha<sup>-1</sup>), seguindo esta ordem respectivamente (Tabela 6). Em relação as profundidades subsequentes na camada 0,05-0,10 m, houve um leve declínio dos valores de EC (açai: 10,20 ton ha<sup>-1</sup>; floresta: 7,25 ton ha<sup>-1</sup>; mandioca: 7,52 ton ha<sup>-1</sup> e pastagem: 5,30 ton ha<sup>-1</sup>), contudo, na profundidade de 0,10-0,20 m voltou a aumentar os teores do EC no solo, podendo observar que a pastagem foi a segunda maior média desse atributo no solo (açai: 11,08 ton ha<sup>-1</sup>; pastagem: 10,88 ton ha<sup>-1</sup>; floresta: 10,41 ton ha<sup>-1</sup>; mandioca: 9,93 ton ha<sup>-1</sup>). Essa leve melhora nos valores de EC nessa camada na área de pastagem, tem relação com o tempo de implantação de 20 anos dessa forragem. De acordo com Carvalho et al. (2010), alguns estudos que buscaram avaliar a conversão de ambientes naturais em pastagens com manejo adequado na região amazônica, vem relatando um aumento no teor de carbono no solo em função do tempo de implantação da pastagem e das práticas de manejo adotado na região amazônica. Considerações feitas por alguns autores também auxiliam na compreensão dos resultados obtidos, ao destacarem que os EC do solo podem variarem em função do tipo de solo, bioma, clima, profundidade e, principalmente, em razão do uso e manejo do solo (PARRON et al., 2015).

Os baixos valores das variáveis do C na área cultivada com mandioca são reflexos do preparo convencional do solo empregados nessa área, com práticas de aração e gradagem revolvendo as camadas superficiais do solo, onde, segundo Viana et al. (2011), essas práticas favorecem a exposição da MOS à agentes oxidantes, ocasionando sua mineralização e culminando em menores teores de carbono orgânico.

### **6.3 Análise multivariada dos atributos físicos do solo e carbono orgânico**

Após avaliação descritiva, as relações entre atributos e usos do solo foram avaliadas por meio da estatística multivariada. A adequação da análise fatorial mostrou-se significativa nas profundidades de 0,00-0,05 m com KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) igual a 0,82; 0,05-0,10 m com KMO igual a 0,63; e na profundidade 0,10-0,20

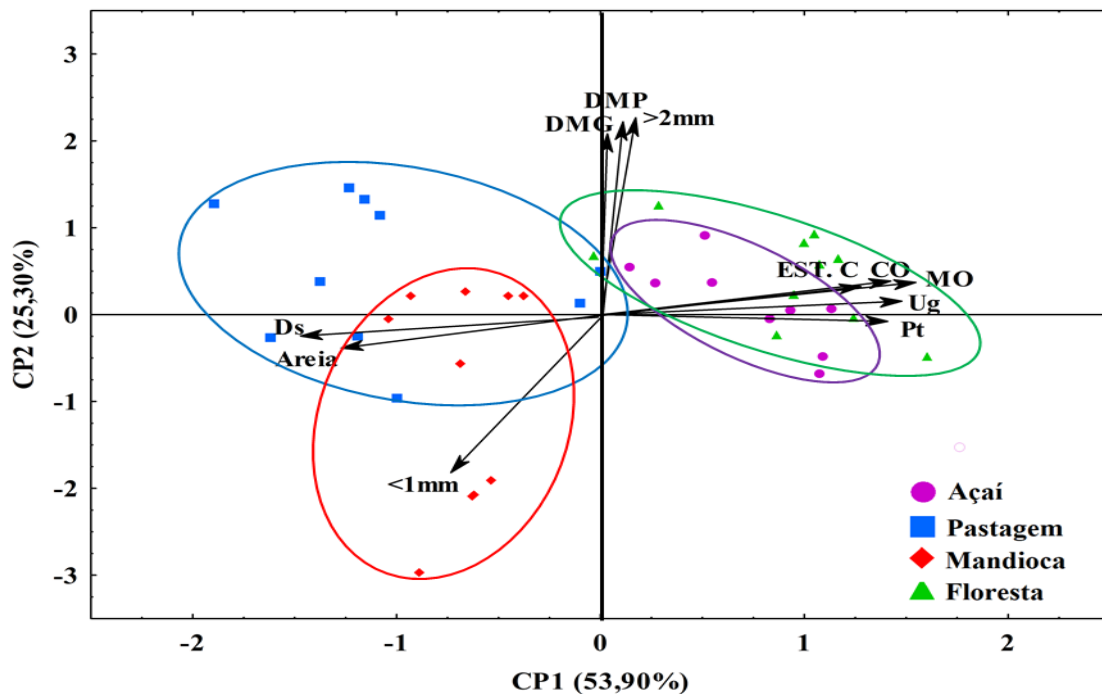
m, valor de KMO igual a 0,62. Para o teste de esfericidade de Barlett  $p < 0,05$  o que indica, que foi adequada para os atributos avaliados.

A análise dos componentes principais (ACP) na camada de 0,00-0,05 foi a componente que mais contribui para variância total, estatisticamente apresentou valores de KMO igual 0,82, de acordo com a classificação de Reis (2001) que classifica as correlações simples e parciais das variáveis, como:  $< 0,50$  inaceitável;  $0,50 - 0,60$  má;  $0,60 - 0,70$  razoável;  $0,70 - 0,80$  média;  $0,80 - 0,90$  boa e  $0,90 - 1,00$  muito boa (Tabela 9 e Figura 2).

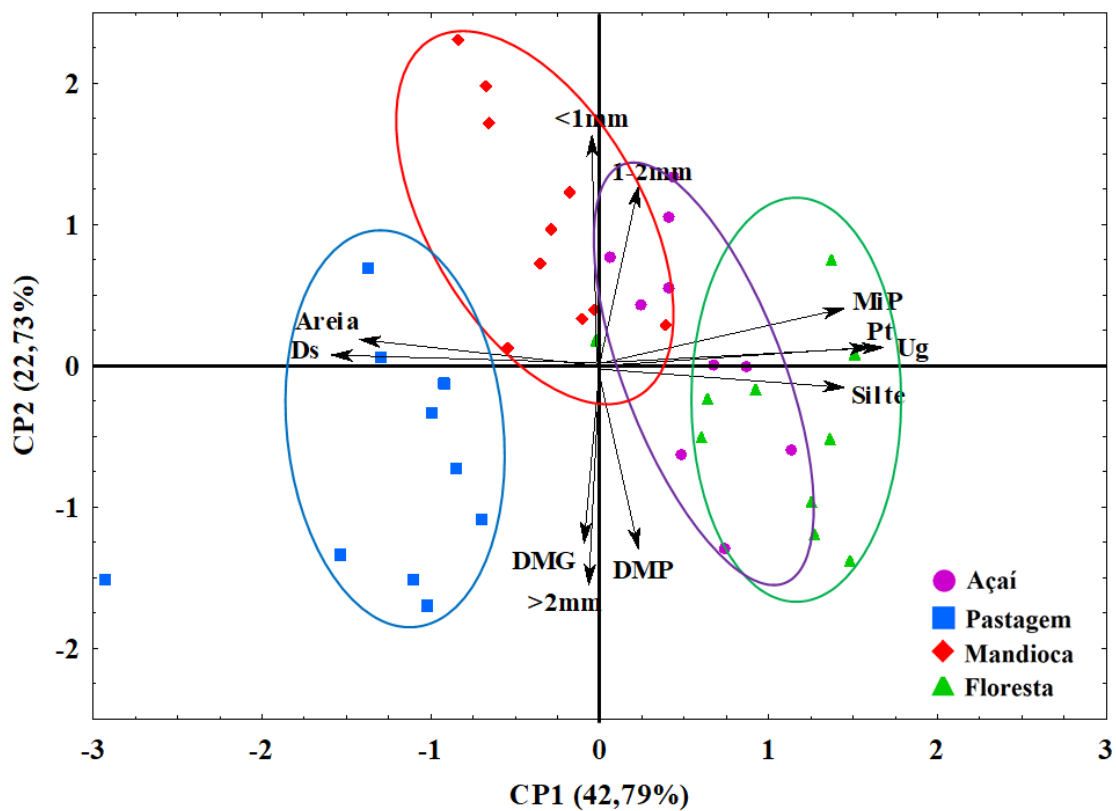
**Tabela 9.** Componentes principais dos atributos físicos do solo, correspondentes aos ambientes estudados em Humaitá, Amazonas.

Atributos	Profundidades								
	0,00-0,05 m			0,05-0,10 m			0,10-0,20 m		
	Variância Comum	CP1	CP2	Variância Comum	CP1	CP2	Variância Comum	CP1	CP2
Areia	0,57	-0,78	-0,18	0,89	-0,81	0,08	0,88	-0,74	0,21
Silte	-	-	-	0,90	0,86	-0,10	0,86	0,67	-0,29
Argila	-	-	-	-	-	-	-	-	-
>2 mm	0,83	0,07	0,94	1,00	-0,02	-0,96	0,93	-0,04	0,97
1-2 mm	-	-	-	0,98	0,14	0,75	-	-	-
<1 mm	0,82	-0,46	-0,79	0,99	-0,02	0,97	0,92	0,02	-0,95
DMG	0,72	0,01	0,89	0,75	-0,04	-0,76	0,82	-0,17	0,91
DMP	0,85	0,08	0,95	0,75	0,14	-0,81	0,71	0,11	0,89
Ds	0,91	-0,89	-0,11	0,99	-0,89	0,07	0,98	-0,74	-0,26
Ug	0,92	0,89	0,06	1,00	0,96	0,07	0,99	0,94	0,05
Pt	0,86	0,85	-0,01	0,91	0,92	0,06	0,78	0,84	0,21
MiP	-	-	-	0,99	0,84	0,24	0,98	0,78	-0,16
MaP	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO	0,93	0,89	0,14	-	-	-	-	-	-
MO	0,98	0,92	0,15	-	-	-	-	-	-
EST. C	0,91	0,79	0,14	-	-	-	-	-	-
Variância explicada%	-	53,90	25,30	-	42,79	22,73	-	39,45	35,80

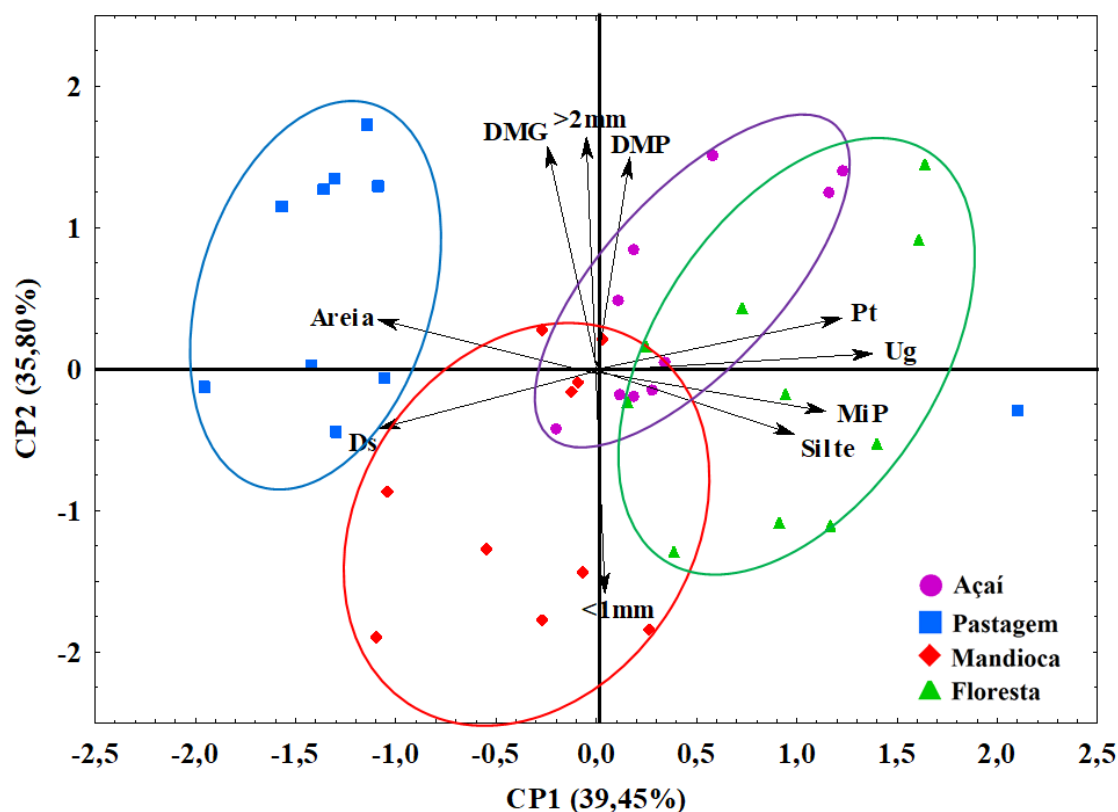




**Figura 2.** Plano fatorial dos atributos físicos e do carbono orgânico do solo, na profundidade de 0,00-0,05 m, para os diferentes ambientes estudados em Humaitá, Amazonas.



**Figura 3.** Plano fatorial dos atributos físicos e carbono orgânico do solo, na profundidade de 0,05-0,10 m, para os diferentes ambientes estudados em Humaitá, Amazonas.



**Figura 4.** Plano fatorial dos atributos físicos e carbono orgânico do solo, na profundidade de 0,10-0,20 m, para os diferentes ambientes estudados em Humaitá, Amazonas.

Através da análise dos componentes principais (ACP), foi possível observar que na profundidade de 0,00-0,05 m, obteve-se uma variância explicada de 79,20%, apresentando autovalores da matriz de covariância superior 1 (MANLY, 2008). A CP1 explicou 53,90% dos dados, portando-se de um conjunto de variáveis ligadas a agregação do solo (DMG, DMP, > 2mm), porosidade (Ug e Pt) e matéria orgânica (CO, MO, EC), o CP2 explica 25,30% da variância, sendo responsável pela textura (areia), densidade (Ds) e agregação do solo (< 1 mm) (Tabela 9 e Figura 2).

Na camada de 0,05-0,10 m, a variância explicada de foi 65,52%, sendo que o CP1 explicou 42,79% dos dados, com um conjunto de variáveis ligadas a agregação do solo (DMP, 1 - 2mm), porosidade (Ug, MiP e Pt) e textura (silte), a CP2 explica 22,73% da variância, sendo responsável pela textura (areia), compactação (Ds) e agregação do solo (DMG, > 2 mm, < 1 mm) (Figura 3). Para a profundidade de 0,10-0,20 m, a variância explicada foi equivalente à 76,25%, tendo a CP1 explicado 39,45% dos dados referentes a textura (silte), agregação do solo (DMP, < 1 mm) e porosidade (Ug, MiP e Pt), a CP2 teve sua variância explicada a 35,80% dos dados de textura (areia), agregação do solo (DMG, > 2 mm) e densidade do solo (Ds) (Figura 4).

A agregação do solo não teve correlação significativa com nenhuma das áreas, o manejo utilizado não influenciou na característica da agregação, porém, como é possível observar na figura 2, ela veio influenciar somente nas partículas < 1 mm do solo na área cultivada com mandioca.

Foi possível verificar também a relação da área de açaí com a área floresta, onde a área de açaí se caracterizou como sendo o uso menos danoso ao solo, causando menos modificação no mesmo (Figura 2). A área de açaí tende a elevar os estoques de carbono (EC) no solo, ou seja, o C da área de açaí não tende a se perderem para atmosfera e sim a se conservar mediante o uso do cultivo, processo semelhante ocorre na área de floresta.

Houve relação das áreas de cultivo de açaí, floresta e mandioca, uma vez que elas não tendem a causar tantas modificações no solo quando comparadas com a área de pastagem, que das três profundidades estudadas, em duas elas tenderam a se diversificar das demais. A pastagem teve uma correlação extremamente forte com a Ds e a areia que estão próximos ou dentro do mesmo quadrante, significando que esses atributos possuem uma interdependência direta e tendem a aumentar os níveis de compactação dos solos. Essa ocorrência de maior densidade do solo em área de pastagem pode estar atrelada com o uso intensivo do solo, pisoteio animal devido ao adensamento de bovinos no local e ao sistema de manejo e de preparo do solo, corroborando com Ferreira et al. (2018), onde os autores encontraram resultados semelhantes a esses em cultivos de pastagens de até três anos no estado do Paraná, ou também associada ao fato de quanto mais areia presente nesse solo, maior será sua densidade.

Estudos realizados por Pantoja et al. (2019), fazendo uso da análise multivariada na avaliação dos atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas, concluíram que a classificação dessa análise com base nos atributos do solo, pode auxiliar para um planejamento mais adequado do uso do mesmo e indicar quais atributos foram mais sensíveis para os ambientes estudados.

## 7. CONCLUSÃO

A conversão da área de floresta em ambientes com usos agropecuários provocou alterações significativas nos atributos físicos do solo, tanto positivas quanto negativas, na estrutura dos solos e nas variáveis relacionadas ao carbono quando comparados ao ambiente natural (floresta).

A área de pastagem teve correlação extremamente forte com os atributos Ds e areia os quais tenderam para maiores índices de compactação desse ambiente.

Se tratando das variáveis relacionadas ao carbono, o cultivo de açaí foi o qual melhorou as condições de carbono do solo, contrapondo ao cultivo do açaí foi a cultura da mandioca, a qual apresentou os menores valores dessas variáveis.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINI-COSTA, T. S. Bioactive compounds and health benefits of some palm species traditionally used in Africa and the Americas—a review. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 224, p. 202-229, 2018.

ALVAREZ, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brasil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

ARAÚJO, M. A.; TORMENTA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004.

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.

ARAUJO, D. D. N. **Análise dos fatores de competitividade da cadeia produtiva da polpa do açaí do nordeste paraense** (Tese de Doutorado). Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, 2017.

ARRUDA, E. M.; ALMEIDA, R. F.; SILVA JUNIOR, A. C.; RIBEIRO, B. T.; SILVA, A. A.; LANA, R. M. Q. Aggregation and organic matter content in different tillage systems for sugarcane. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, n.4, p.281- 288, 2015. <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.9259>.

AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, I. A.; MANTOVANELLI, B. C.; SOARES, M. D. R. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em latossolo sob floresta nativa e pastagem na Região de Manicoré, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 397-406, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200004>

AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; JUNIOR, J. M.; OLIVEIRA, I. A.; TEIXEIRA, D. B.; CUNHA, J. M. Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil physical properties in southern Amazonas, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 21-30, 2015.

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

BEZERRA, J. D. V.; EMERENCIANO NETO.; J. V.; ALVES, D. J. S.; BATISTA NETA, I. E.; GALDINO NETO, L. C.; SANTOS, R. S; DIFANTE, G. S. Productive, morphogenic and structural characteristics of *Brachiaria brizantha* cultivars grown in two types of soil. **Research, Society and Development**. v. 9, n. 7, p. 1-15, 2020.

BICHARA, C. M. G.; ROGEZ, H. (2011). Açaí (*Euterpe oleracea* Martius). In **Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits** (pp. 1-27e). Woodhead Publishing, 2011.

BISCOLA, P. H. N.; PEREIRA, M. A.; COSTA, F. P. **Relatório de avaliação dos impactos das tecnologias geradas pela Embrapa gado de corte**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 14p, 2013.

BORLACHENCO, N. G. C.; GONÇALVES, A. B. Expansão agrícola: elaboração de indicadores de sustentabilidade nas cadeias produtivas de Mato Grosso do Sul. **Interações** (Campo Grande), v. 18, n. 1, p. 119-128, 2017

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa Amazônia Oriental. **Sistema de Produção do Açaí**. v. 4 - 2ª Edição, 2006.

BRAUN E. H. G.; RAMOS J. R. A. Estudo agroecológico dos campos Puciarí-Humaitá (Estado do Amazonas e Território Federal de Rondônia). **Revista Brasileira de Geografia**, 21: p. 443-497, 1959.

BRITO, W. B. M.; CAMPOS, M. C. C.; MANTOVANELLI, B. C.; CUNHA, J. M.; FRANCISCON, U.; MARCELO SOARES, D.R. Spatial variability of soil physical properties in Archeological Dark Earths under different uses in southern Amazon. **Soil & Tillage Research**. v.182, p. 103-111, 2018.

BROMICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v. 124, n. 3, p. 22, 2005.

BURGREVER, J. C.; FREITAS, F. F.; FISTAROL, T. A. F.; ARAÚJO, F. B.; SEBEN JÚNIOR, G. F. PROPRIEDADES FÍSICAS INDICADORAS DA QUALIDADE DO SOLO SOB SISTEMAS DE MANEJO - ALTA FLORESTA. **Revista Científica Rural**, Bagé-RS, v. 21, n. 2, p. 93-104, 2019.

BURTAN, L.; VRINCEANU, A.; SIRBU, C.; CIOROIANU, T.; DUMITRASCU, M.; POPOVICI, M. Economic analysis between minimum tillage and conventional system. **Journal of Environmental Protection and Ecology**, v. 18, n. 3, p. 1289-1294, 2017.

CALONEGO, J.C.; SANTOS, C.H.; TIRITAN, C.S.; CUNHA JÚNIOR, J.R. Estoque de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, v. 24, p. 128-35, 2012.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; ALMEIDA, M. C. Toposequência de solos na transição campos naturais-floresta na região de Humaitá, Amazonas. **Acta Amazônica** (Impresso), Manaus, v. 42, p. 387-398, 2012a.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; NASCIMENTO, M. F.; SILVA, D. M. P. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Revista Ambiente e Água** vol. 11, n. 2, p. 339-348, 2016.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-acucar, com preservação do palhico e adição de vinhaca por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p.935-944, 2003.

CARMO, D. L.; NANNETTI, D. C.; DIAS JÚNIOR, M. D. S.; ESPÍRITO SANTO, D. J. D.; NANNETTI, A. N.; LACERDA, T. M. Propriedades físicas de um latossolo vermelho-amarelo cultivado com cafeeiro em três sistemas de manejo no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 991-998, 2011.

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.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 2, p. 277-289, 2010.

[http://dx.doi.org/10.1590/S0100\\_06832010000200001](http://dx.doi.org/10.1590/S0100_06832010000200001)

COELHO, D. B.; ZIRLIS, C.; TOLEDO, G. C.; TOSI, N. V.; FONSECA, R. N. **Setor do Açaí**. Relatórios Cadeia Global de Valor, v. 7, p. 1-33, 2017.

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**, v.32, p.933-942, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300003>

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Mandioca: produção e produtividade**. Brasília – DF., 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br>>.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Açaí - Análise Mensal - Dezembro 2020**. Recuperado de <https://www.conab.gov.br/>

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 001, de 23/01/86. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental, RIMA Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>. Acesso em: 28 de janeiro de 2020.

CMMAD, COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. *Nosso futuro comum*. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 1988.

COSTA, N. L. Manejo de Pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu na Amazônia Ocidental, 2005. Recuperado de [https://www.agrolink.com.br/colonistas/manejo-de-pastagens-de-brachiaria-brizantha-cv--marandu-na-amazonia-ocidental\\_384022.html](https://www.agrolink.com.br/colonistas/manejo-de-pastagens-de-brachiaria-brizantha-cv--marandu-na-amazonia-ocidental_384022.html)

COSTA JR, C.; PICCOLO, M.C.; SIQUEIRA NETO, M.; BERNOUX. M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n.1, p.1-12, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000400025>.

COSTA, E. M.; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. A. Soil organic matter and its role in the maintenance and productivity of agricultural systems. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p.1842-1860, 2013.

CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1105-1112, 2003.

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.

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 culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I – Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 589-602, 2011.

CUNHA, T. J. F.; MENDES, M. A. S.; GIONDO V. Matéria orgânica do solo. In: Nunes, R.R., Rezende, M. O. O. (Org.). **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos, SP: Cubo, p.273-293, 2015.

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 & Água**. v. 12, n. 2, p. 263-281, 2017.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil & Tillage Research**, v. 11, n.3, p. 199-238, 1988.

DOMINGUES, M. S.; BERMANN, C. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente & Sociedade**, v.15, n.2, p.1 -22, 2012.

EKSTROM, C.T. **The R Prime**. Chapman & Hall/CRC, 2011.

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

FERREIRA, E.P.B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017.

FERREIRA, C. J. B.; TORMENA, C. A.; CECATO, U.; FRANCO, H. H. S.; MOREIRA, W. H.; GALBEIRO, S.; RIBEIRO, O. L. Soil physical properties under a 'Tanzânia' grass pasture fertilized with mineral nitrogen or intercropped with stylosanthes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 4, p. 478-486, 2018.

FREITAS, L. **Influência de fragmentos florestais nativos sobre os parâmetros químicos, físicos e microbiológicos de solos cultivados com cana-de-açúcar**. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 417-428, 2012.



FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; CASAGRANDE, J. C.; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C. Estoque de carbono de latossolos em sistemas de manejo natural e alterado. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 228-239, 2018.

FULLEN, M. A. e CATT, J. A. **Soil Management: Problems and Solutions**. Arnold Publisher, Londres, Inglaterra, p. 269, 2004.

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

GOEDERT, W.; OLIVEIRA, S. A. **Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola** In: NOVAS, RF ALVAREZ, VH; BARROS, NF; FONTES, RLF CANTARUTTI, RB; NEVES, JCL Fertilidade do solo. 2007

GOMES, R. P.; Bergamin, A. C.; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C.; CAZZETA, J. O.; COELHO, A. P.; SOUZA, E. D. Changes in the physical properties of an Amazonian Inceptisol induced by tractor traffic. Chilean **Journal of Agricultural Research**, v. 79, p. 103-113, 2019.

GUAN, F.; TANG, X.; FAN, S.; ZHAO, J.; PENG, C. Changes in soil carbon and nitrogen stocks followed the conversion from secondary forest to Chinese fir and Moso bamboo plantations. **Catena**, v. 133, n.22, p. 455-460, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.03.002>.

HAMMES, V. S. Efeitos da Diversidade e da Complexidade do Uso e Ocupação do espaço Geográfico. In: HAMMES, V. S. (Editora Técnica). **JULGAR** – Percepção do Impacto Ambiental. Vol. 4/Embrapa. São Paulo: Editora Globo, 223p. p. 35-39, 2004.

HOPKINSON, J.M.; SOUZA, F.H.D.de; DIULGHEROFF, S; ORTIZ, A. e SÁNCHEZ, M. **Reproductive physiology, seed production, and seed quality of Brachiaria**. In: MILES, J.w.; MAASS, B.L.; VALLE, C.B.do (eds). *Brachiaria: biology, agronomy, and improvement*. Cali, Colombia: CIAT, p.124-140, 1996.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. Prodes - **Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite**. 2021.

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.

KAISER, D.R. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. **Fundamentos da ciência do solo**. Aulas práticas. Santa Maria, p. 112, 2010.

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. Aggregate stability and size distribution. In: BLACK, C. A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: ASA, v. 1, cap. 39, p. 499-510. (Agronomy, 9), 1965.

KLOSTER, N.; PÉREZ, M.; BONO, A. Assessment of total, organic and inorganic carbon in soils of semiarid Argentinian pampas. **Ciencia del Suelo**, v. 34, n. 2, p. 365-372, 2016.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v.1, p.277-294, 1985.

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 toposseqüência da Bacia Sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 59-68, 2006.

LIMA, V. C. & LIMA, M. Formação do solo. In: LIMA, CV et al. **O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio**. 1ed. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, p. 1-10, 2007.

LINHARES, J. M. S.; BASTOS, W. R.; JUNIOR, R. F. S.; OLIVEIRA, L. C. S. Variabilidade de atributos físico-químicos e dos estoques de carbono orgânico em Argissolo Vermelho sob sistemas agrofloretais no Assentamento Umari Sul do Amazonas. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.10, n.1,2016.

LOPES, S. A. S. S.; FRANCO, A. D. J.; MELLO, A. H.; OLIVEIRA, G. F. Caracterização morfológica de perfis de solo de um estabelecimento agrícola familiar do assentamento pimenteira, São João do AraguaiaPA. **Revista Agroecossistemas**, v. 9, p. 189-198, 2017.

LUCIANO, R. V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; KURTZ, C.; FAYAD, J. A. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 9, n. 1, p. 09-19, 2010.

MANLY, B.J.F. **Métodos estatísticos multivariados**: uma introdução. 3. ed. Porto Alegre:Bookman, 2008.

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.

MASCARENHAS, A. R.; SCCOTI, M. S.; MELO, R. R.; CORRÊA, F. L. O.; SOUZA, E. F. M.; ANDRADE, R. A.; BERGAMIN, A. C.; MULLER, M. W. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 37, n. 89, p. 19-27. 2017.

MELO, V. F. **Solos e indicadores de uso agrícola em Roraima: Áreas Indígena Maloca do Flechal e de colonização do Apiaú**. Viçosa, UFV, 2002. p. 145. (Tese de Doutorado).

MELO, L. F.; MARTINS, C. C.; SILVA, G. Z.; BONETI, J. E. B.; VIEIRA, R. D. Beneficiamento na qualidade física e fisiológica de sementes de capim-mombaça. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 667- 674, 2016. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160080>.

MELO, V. F.; ORRUTÉA, A. G.; MOTTA, A. C. V.; & TESTONI, S. A. Land Use and Changes in Soil Morphology and Physical-Chemical Properties in Southern Amazon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 41, 2017.

MENDES, L. W. L.; BROSSI, M. J.; KURAMAE E. E., et al. Sistema de uso da terra molda comunidades bacterianas do solo na região sudeste da Amazônia. **Appl Soil Ecol**, n. 95, p. 151-60, 2015a.

MENDES, T. J. **Estimativa da variação do estoque de carbono do solo em diferentes cenários de uso e manejo agropecuário no Estado do Maranhão**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias: Jaboticabal, 52 p, 2015.

MENEZES, E. M. D. S., TORRES, A. T., & SRUR, A. U. S. Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) liofilizada. **Acta amazônica**, v. 38, n. 2, p. 311-316, 2008.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 74, p. 45-53, 2007.

NEVES NETO, D. N.; SANTOS, A. C.; SANTOS, P. M.; MELO, J. C.; & SANTOS, J. S. Análise espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**. v. 17, n. 9, p. 995–1004, 2013. DOI:10.1590/s1415-43662013000900013.

OLIVEIRA, M. S. P.; DE CARVALHO, J. E. U.; NASCIMENTO, W. M. O. **Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.)**. Funep, 2000.

OLIVEIRA, T. P.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; NANZER, M. C.; BARRETA, P. G. V.; SILVA, M. F. G.; PRADO, E. A. F. Carbono lábil e frações oxidáveis de carbono em solos cultivados sob diferentes formas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 8, n. 4, p. 777-783, 2018.

OSAKADA A. **Desenvolvimento inicial de sangue-dedragão (*croton lechleri* müll. arg.) sob diferentes classes de solos, corretivos e níveis de luminosidade na Amazônia central** (Dissertação de Mestrado). Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia; 2009.

PANTOJA, J. C. M.; CAMPOS, M. C. C.; LIMA, A. F. L. D.; CUNHA, J. M. D.; SIMÕES, E. L.; OLIVEIRA, I. A. D.; SILVA, L. S. Multivariate analysis in the evaluation of soil attributes in areas under different uses in the region of Humaitá, AM. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, n. 5, 2019. Doi: 10.4136/ambi-agua.2342

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. Estoques de carbono no solo como indicador de serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; RACHWAL, M. F. G.; FREITAS MAIA, C. M. B. **Serviços ambientais em sistemas agrícola e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, p. 71-83, 2015.

PANACHUKI, E.; SOBRINHO T. A.; VITORINO A. C. T. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.10, n. 2, p. 261–268, 2006.

PEREIRA, V. C.; ESPINOLA SOBRINHO, J.; BEZERRA, J. R. C.; MOURA, M. S. B.; BORGES, V. P.; SANTOS, W. O. Saldo de radiação e fluxo de calor no solo nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura do algodoeiro na Chapada do Apodi, RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17, 2011, Guarapari. **Anais eletrônicos**. Sete Lagoas, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p. 1-5, 2011.

PEREIRA, G. E. S. **Implicações da retirada da vegetação original e sua substituição por diferentes tipos de cobertura vegetal sobre aspectos físicos e de fertilidade do solo na região de Ariquemes, RO**. Porto velho, Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR (Dissertação Mestrado), p. 91, 2017.

PINHEIRO, A. C. Valor económico do solo: perspectivas pública e privada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 612-620, 2015.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: A agricultura em regiões tropicais**. São Paulo, Nobel, p. 549, 2002.

PULROLNIK, K.; BARROS, N.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F. & BRANDANI, C.B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33, p. 1125-1136, 2009.

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.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogenio e fracoes organicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 80, p. 1609-1623, 2007.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L.; REINERT, D. J. Compactação de solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação efeitos limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S, REICHERT, J. M. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; v. 5, p. 49-134, 2007.

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: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000300013>

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, n.5, p.1805-1816, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000500002>

REIS, E. Estatística multivariada aplicada. 2ª ed. Lisboa: Edições Sílabo, p. 343, 2001.

REIS, M. S.; FERNANDES, A. R.; GRIMALDI, C.; DESJARDINS, T.; GRIMALDI, M. Características químicas dos solos de uma topossequência sob pastagem em uma frente pioneira da Amazônia Oriental. **Revista de Ciência Agrária**. v. 52, n. 3. p. 37-47, 2009.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. de F.; SAMPAIO F. 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>

RODRIGUES, M.; RABÊLO, F. H. S.; CASTRO, H. A.; ROBODERO, D.; CARVALHO, M. A. C.; ROQUE, C. R. Cultivo mínimo é o sistema recomendado para introdução da *Brachiaria brizantha* em Latossolo na Amazônia. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v. 61, p. 1-7. 2018.

ROJAS, J. M.; PRAUSE, J.; SANZANO, G. A.; ARCE, O. E. A.; SÁNCHEZ, M. C. Soil quality indicators selection by mixed models and multivariate techniques in deforested areas for agricultural use in NW of Chaco, Argentina. **Soil Tillage Res.** v. 155, p. 250–262, 2016.

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>.

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.

SÁ, L. N.; LEITE, J. P. A.; FILHO, G. B. R. A IMPORTÂNCIA DA COBERTURA VEGETAL NO PROCESSO DE EROÇÃO E DEGRADAÇÃO DO SOLO NO ENSINO DA GEOGRAFIA. **INTERNATIONAL JOURNAL EDUCATION AND TEACHING (PDVL) ISSN 2595-2498**, v. 3, n. 3, p. 173-188, 2020.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. CARBONO ORGÂNICO E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB MANEJO AGROPECUÁRIO SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA LEGAL. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n. 1, p. 01-15, 2018.

SATTLER, D.; SELIGER, R.; NEHREN, U.; TORRES, F. N; SILVA, A. S; RAEDIG, C; HEINRICH, J. Pasture Degradation in South East Brazil: Status, Drivers and Options for Sustainable Land Use Under Climate Change. In: **Climate Change Adaptation in Latin America**. Springer, Cham, p. 3-17, 2018. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-56946-8\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-56946-8_1)

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.

SANT'ANA, K. C. T. **Mercado justo e solidário como contribuição ao desenvolvimento sustentável: um estudo das representações econômico-**

**sociais do comércio do açaí pelo município de Codajás** (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, Brasil, 2006.

SANT'ANNA A.C.; BETANCOURT, M. C. C.; PEDROZA, M. G. M. Bem-estar animal: um dos criterios da sustentabilidade na pecuaria. In: BARBOSA B.C et al. (Orgs.) **Tópicos em Sustentabilidade & Conservação**. 1. ed. Juiz de Fora, MG: Edicao dos autores, p. 17-46, 2017.

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 (UNICENTRO)*, v. 8, p. 319-331, 2012.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, p. 356, 2018.

SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G.; VALE JR, J. R.; SOUZA, K. W.; CORRÊA, G. R.; MENDONÇA, B. A. F. et al. Solos da Região Amazônica. In: CURI N.; KER, J.C.; NOVAIS, R.F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. (editores). **Pedologia - Solos dos Biomas Brasileiros**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. Na analysis of variance test for normality (complete sample). *Biometrika*, London, v.52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SCHOLES, R. J.; MONTEIRO, P. M. S.; SABINE, C. L.; CANADELL, J. G. Systematic long-term observations of the global carbon cycle. **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v. 24, n. 8, p. 427-430, 2009.

SILVA, C. G.; 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.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. L.; DE SOUZA, G. S.; Oliveira, R. B.; Silva, A. F. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Ciência Agronômica**, 41, p. 1-8, 2010.

SILVA, G. F.; SANTOS, D.; SILVA, A. P.; SOUZA, J. M. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na Mesorregião do Agreste Paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 25-35, 2015.

SILVA, F. S. F.; FERREIRA, V. C.; CATTER, K. M.; VIANA, A. P. Q.; MENDONÇA, K. V.; SOUSA, O. V.; FERNANDES VIEIRA, R. H. Produção de biossurfactantes por cepas bacterianas de origem marinha utilizando querosene como fonte de carbono. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 7-18, 2017.

SILVA, C.A.; ROSSET, J.S.; MORAIS, D.H. O.; SANTOS, T.M.D.; CASTILHO, S.C. P. Carbono orgânico total e estoque de carbono em diferentes sistemas de manejo na região conesul do Mato Grosso do Sul. **VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Campo Grande: Mato Grosso Sul, 2017.

SILVA, A. O.; MERA, W. Y. W. L.; SOUZA, D. P.; SANTOS, D. C. R.; JUNIOR, A. M. G. S. ESTUDO DA PRODUÇÃO DE AÇAÍ (EUTERPE OLERACEA Mart): ASPECTOS ECONÔMICOS E PRODUTIVOS BASEADOS NOS ANOS DE 2015 A 2017. **IV Congresso Internacional de Ciências Agrárias**, Cointer, PDVAgro, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IVCOINTERPDVAgro.2019.0043>

SILVA, J. O. **Distribuição espacial dos atributos físicos do solo em uma reserva biológica no Bioma Amazônia**, 2021. DOI: <https://ri.unir.br/jspui/handle/123456789/3156>.

SILVEIRA, P. M.; CUNHA, P. C. R.; STONE, L. F.; SANTOS, G. G. Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 283-290, 2010.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD D. C.; CURRAN, L. M.; et al. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 23, p. 440:520, 2006.

SOARES, 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 de Ciências Agrárias**, v. 58, n. 4, p. 434-441, 2015.

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.

SOUZA, L. S.; SILVA, J.; SOUZA, L. D. Recomendação de calagem e adubação para o cultivo da mandioca. Cruz das Almas – BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, (Comunicado Técnico, 133) 6p, 2009.

SOUZA, L. G. S. E, & SOUZA, M. R. S. Crescimento da produção de açaí e castanha-do-Brasil no Acre. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, v. 10, n. 3, p. 157-171, 2018.

STATSOFT Inc 7.0. Statistica (data analysis software system). USA: 2004

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1301-1309, 2013.

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

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. revista e atualizada. EMBRAPA, Brasília, p. 573, 2017.

TEODORO, M. S.; ARAÚJO, F. S.; BARROSO, J. R.; FREITAS, L. O. Efeito residual de coberturas em pré-plantio no cultivo da mandioca em LATOSSOLO AMARELO

Distrófico no Piauí. Embrapa Meio-Norte-Artigo em periódico indexado. **Agrarian**, Dourados, v. 14, n. 52, p. 213-222, 2021

TORMENA, C. A.; SILVA, A. D.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Bras. Ci. Solo*, v. 22, p. 573-581, 1998.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 6, p. 2105-2114, 2011.

VIEIRA, I. C.; TOLEDO, P. M.; HIGUCHI, H. A Amazônia no Antropoceno. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 70, n. 1, 2018.

VOGEL, G. F.; MARTINKOSKI, L.; GRILLO, J. F.; MICHALOVICZ, L.; FEY, R. Avaliação dos penetrômetros de impacto e eletrônico na determinação da resistência mecânica à penetração do solo. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 3, p. 30-36, 2017.

WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: Hillel, D., ed. *Application of soil physics*. New York, Academic Press, p.319-344, 1980.

ZHANG, S. L.; SIMELTON, E.; LOVDAHL, L.; GRIP, H.; CHEN, D. L. Simulated long-term effects of different soil management regimes on the water balance in the Loess Plateau. China. **Field Crop Research**, v. 100, p. 311-319, 2007.

ZENERO, M. D. O.; SILVA, L. F. S. D.; CASTILHO, S. C. D. P.; VIDAL, A.; GRIMALDI, M.; COOPER, M. Characterization and classification of soils under forest and pasture in an agroextractivist project in Eastern Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-17, 2016. doi: 10.1590/18069657rbc20160165