

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA  
FILHO”**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO  
EM SISTEMAS DE USO DA TERRA EM MARABÁ, NO  
SUDESTE DO PARÁ**

**Sandro Barbosa Ribeiro**

Engenheiro Agrônomo

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA  
FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS CÂMPUS  
DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO  
EM SISTEMAS DE USO DA TERRA EM MARABÁ, NO  
SUDESTE DO PARÁ**

**Sandro Barbosa Ribeiro**

**Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Corá**

Tese apresentada a Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

Jaboticabal - SP

2021

R484a Ribeiro, Sandro Barbosa  
Atributos químicos, físicos e biológicos em sistemas de uso da terra em Marabá, no Sudeste do Pará / Sandro Barbosa Ribeiro. -- Jaboticabal, 2021  
51 f. : tabs., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal  
Orientador: José Eduardo Corá

1. Solos. 2. Agroecossistemas. 3. Uso da terra. 4. Atributos do Solo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp.  
Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,  
Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

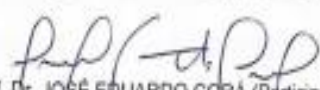
## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

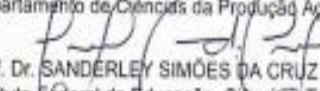
TÍTULO DA TESE: ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE USO DA TERRA EM MARABÁ, NO SUDESTE DO PARÁ

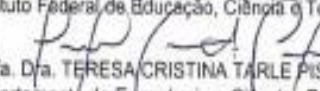
AUTOR: SANDRO BARBOSA RIBEIRO

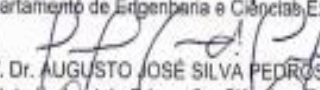
ORIENTADOR: JOSÉ EDUARDO CORÁ

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO CORÁ (Participação Virtual)  
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. SANDERLEY SIMÕES DA CRUZ (Participação Virtual)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA / Marabá/PA

  
Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA (Participação Virtual)  
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas (DECEX) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. AUGUSTO JOSÉ SILVA PEDROSO (Participação Virtual)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA / Castanhal/PA

  
Profa. Dra. CAROLINA FERNANDES (Participação Virtual)  
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 05 de julho de 2021

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**SANDRO BARBOSA RIBEIRO** - Nascido em Belém do Pará em 26 de setembro de 1982, é Engenheiro Agrônomo formado em 2007 pela Universidade Federal Rural da Amazônia no Campus de Belém. Obteve o título de Mestre em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares em 2016 pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará no Campus de Castanhal no Pará. Ingressou em 2017 no Curso de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Agronomia, na área de concentração de Produção Vegetal da UNESP – Campus de Jaboticabal. É servidor efetivo do IFPA/Campus Rural de Marabá, ocupando o cargo de Engenheiro Agrônomo.

## **Epígrafe**

“O segredo da vida é o solo, por que do solo dependem as plantas, a água, o clima e a nossa vida. Tudo está interligado. Não existe ser humano sadio se o solo não for sadio”.

**Ana Primavesi**

A Minha Família

**KÁTIA NORONHA BARBOSA  
SOPHIA NORONHA BARBOSA  
MILA DAFNE NORONHA BARBOSA  
MAITÉ NORONHA BARBOSA  
RAIMUNDA BARBOSA  
SAMILA BARBOSA**

Aos meus parentes

**DE PONTA DE PEDRAS  
DE BELÉM  
DE MARABÁ  
DE JABOTICABAL**

Aos meus amigos

**DA UFRA  
DO IFPA  
DA UNESP**

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

Ao nosso Deus pela saúde e oportunidade.

A minha mãe pelo amor e parceria.

A minha esposa e minhas filhas por serem o meu combustível pra luta.

Ao IFPA/ CASTANHAL e UNESP/FCAV/CAMPUS JABOTICABAL pelo incentivo a minha qualificação.

Ao IFPA/MARABÁ RURAL por me inserir no Plano de Qualificação e na liberação para o estágio e para o curso das disciplinas.

Ao Professor José Eduardo Corá pela orientação.

Ao Roberto Dias (In Memoriam) e Ricardo Cordeiro pela imensa dedicação.

Aos Casais Jimini e Gracinéia Cardoso, Junior e Geysiane Flexa e Diego e Samila por ajudarem no período dos Créditos.

Aos educandos das turmas de MINTER e DINTER que embarcaram neste grande desafio: Roque, Alessandra, Eduardo, Moisés, Fágner, Ellen, Gláucia, Rubens, Aliane, Kátia, Agamenon, Wiliam Bruno, Regiara, Hugo, Augusto, Naum, Leonardo, Genebaldo e Laércio.

A todos que contribuíram para o êxito deste trabalho, **MUITO OBRIGADO!**

## SUMÁRIO

RESUMO.....	II
ABSTRACT.....	III
LISTA DE ABREVIACÕES.....	IV
LISTA DE QUADROS.....	VI
LIISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	VIII
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 O solo e as dinâmicas nos sistemas .....	3
2.2 A Qualidade do solo.....	4
2.3 Atributos Químicos do Solo .....	5
2.4 Atributos Físicos do Solo .....	6
2.5 Atributos biológicos do solo.....	8
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1 Localização e caracterização da área.....	9
3.2 Amostragem e análises laboratoriais.....	11
3.3 Análises estatísticas.....	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
4.1 Análise multivariada dos dados.....	14
4.2 Classificação por coeficiente de variação.....	19
4.3 Análises químicas do solo.....	20
4.4 Análises físicas do solo.....	23
4.5 Análises biológicas do solo.....	25
5 CONCLUSÕES .....	28
6 REFERÊNCIAS.....	29

## **ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE USO DA TERRA EM MARABÁ, NO SUDESTE DO PARÁ**

**RESUMO** - As alterações nos atributos dos solos são ocasionadas pela conversão dos sistemas de mata nativa a sistemas de uso agropecuário na Amazônia e as avaliações dos atributos ajudam no monitoramento da conservação dos solos tropicais. O objetivo deste trabalho foi avaliar os sistemas de uso da terra e as consequentes alterações provocadas pelo manejo sobre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo em comparação com esses atributos em condições naturais do solo no município de Marabá, no sudeste do estado do Pará. Os sistemas avaliados foram a mata nativa, sistema agroflorestal, fruticultura e interação lavoura-pecuária. Para a avaliação dos atributos do solo, foram coletadas 12 amostras compostas de solo em cada sistema, totalizando 48 amostras. A avaliação dos dados obtidos foi realizada através de análises multivariadas e análise exploratória dos dados através dos valores médios e do coeficiente da variação. A conversão da mata nativa em sistemas de usos da terra impactou negativamente nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. As técnicas de análises multivariadas separaram os sistemas mata nativa e sistema agroflorestal dos sistemas fruticultura e interação lavoura-pecuária de acordo com os atributos químicos, físicos e biológicos no solo analisado. Os sistemas fruticultura e interação lavoura-pecuária promoveram menores resultados de pH, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, carbono orgânico e macroporosidade, além de maiores teores alumínio e maior densidade do solo em relação a mata nativa. Todos os sistemas de uso da terra avaliados apresentaram diminuição do carbono da biomassa microbiana, da respiração basal e do quociente microbiano, e o sistema de interação lavoura-pecuária apresentou a elevação do quociente metabólico em relação a mata. O sistema de uso da terra com mais semelhança à mata nativa foi o sistema agroflorestal.

**Palavras-chave:** Conservação do solo, degradação do solo, uso da terra, sistemas amazônicos, qualidade do solo, estrutura do solo

## CHEMICAL, PHYSICAL AND BIOLOGICAL ATTRIBUTES OF SOIL IN LAND USE SYSTEMS IN MARABÁ, IN SOUTHEASTERN PARÁ

**ABSTRACT** - Changes in soil attributes are caused by the conversion of native forest systems to agricultural use systems in the Amazon, and attribute assessments help in monitoring the conservation of tropical soils. The objective of this work was to evaluate the land use systems and the consequent changes caused by the management on the chemical, physical and biological attributes of the soil in comparison with these attributes under natural soil conditions in the municipality of Marabá, in the southeast of the state of Pará. The systems evaluated were native forest, agroforestry system, fruit culture and crop-livestock interaction. For the evaluation of soil attributes, 12 composite soil samples were collected in each system, totaling 48 samples. The evaluation of the obtained data was carried out through multivariate analysis and exploratory data analysis through the mean values and the coefficient of variation. The conversion of native forest into land use systems negatively impacted the chemical, physical and biological attributes of the soil. The multivariate analysis techniques separated the native forest and agroforestry systems from the fruit-growing and crop-livestock interaction systems according to the chemical, physical and biological attributes of the analyzed soil. The fruit growing systems and crop-livestock interaction promoted lower results for pH, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, organic carbon and macroporosity, in addition to higher aluminum content and higher soil density in relation to native forest. All evaluated land use systems showed a decrease in microbial biomass carbon, basal respiration and microbial quotient, and the crop-livestock interaction system showed an increase in the metabolic quotient in relation to forest. The land use system most similar to native forest was the agroforestry system.

**Keywords:** Soil conservation, land degradation, land use, Amazonian systems, soil quality, soil structure.

## LISTA DE ABREVIações

AA – Análise de agrupamento

ACP – Análise de componentes principais

Al<sup>+3</sup> - Alumínio

ANOVA – Análise de variância

Ca – Cálcio

C-BMS – Carbono da biomassa microbiana dos solos

Corg – Carbono orgânico

CRMB – Campus Rural de Marabá

DS – Densidade do solo

EDTA – Ácido etilenodiamino tetra-acético

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FRUT – Sistema de fruticultura

H<sup>+</sup> - Íons de hidrogênio

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – Ácido sulfúrico

IFPA – Instituto Federal do Pará

K – Potássio

Kcl – Cloreto de potássio

ILP – Interação lavoura-pecuária

MATA – Mata nativa

Macrop. - Macroporosidade

Mg – Magnésio

Microp. - Microporosidade

mL – Mililitros

MO – Matéria orgânica

NaOH – Hidróxido de sódio

N – nitrogênio

qCO<sub>2</sub> – Quociente metabólico

qMIC – Quociente microbiano

P - Fósforo

pH – Potencial hidrogeniônico

RB – Respiração Basal

SAF – Sistema Agroflorestal

TFSA – Terra Fina Seca ao Ar

% Corg - Porcentagem de carbono orgânico

% MO – Porcentagem de matéria orgânica

## LISTA DE QUADROS

**Quadro 1-** Histórico e descrição da mata nativa e dos três sistemas de uso da terra avaliados em Latossolo Amarelo na Amazônia, município de Marabá, Pará, Brasil, 2018.....

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1:** Localização do Município de Marabá e do Projeto de Assentamento 26 de março, no estado do Pará.

**Figura 2:** Localização da unidade agrícola do Instituto Federal do Pará/Campus Rural de Marabá localizado no projeto de assentamento 26 de março, no município de Marabá.

**Figura 3.** Dendograma da análise hierárquica de agrupamentos que mostra a formação de dois grupos para os usos da terra avaliados de acordo com os atributos químicos, físicos e biológicos estudados.

**Figura 4.** Gráfico biplot do primeiro e segundo componentes principais da ACP com as observações dos solos avaliados.

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Comunalidades da análise fatorial dos atributos químicos, físicos e biológicos das observações dos sistemas de uso da terra na profundidade de 0,0 a 0,2 metros

**Tabela 2.** Autovalores, quantidade de variância explicada e o percentual de contribuição para a variância total dos atributos químicos, físicos e biológicos dos diferentes usos da terra nas duas componentes principais.

**Tabela 3.** Valores médios e coeficiente de variação dos atributos químicos de Latossolo Amarelo, na camada de 0,0-0,2 metros de profundidade sob mata nativa e diferentes sistemas de uso da terra em Marabá, Pará.

**Tabela 4.** Granulometria, classificação textural, valores médios e coeficiente de variação dos atributos físicos do Latossolo Amarelo, na camada de 0,0-0,2 metros de profundidade sob mata nativa e diferentes sistemas de uso da terra em Marabá, Pará.

**Tabela 5.** Valores médios e coeficiente de variação dos atributos biológicos de Latossolo Amarelo, na camada de 0,0-0,2 metros de profundidade sob mata nativa e diferentes sistemas de uso da terra em Marabá, Pará.

## 1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas caracterizam um ambiente no qual os fatores bióticos e abióticos representam as relações existentes que condicionam a sustentabilidade natural (Martins et al., 2015; Zaninetti et al., 2017; Pereira, 2018). O solo representa uma parte deste ecossistema, ao qual as interações físicas, químicas e biológicas influenciam na dinâmica da paisagem e na existência de espécies animais e vegetais (Fushimi e Nunes, 2017; Silva et al., 2018).

O solo é um substrato utilizado pelas espécies vegetais para o seu crescimento, disseminação e manejo realizado pelo homem para a sua sustentabilidade, e quando o solo é mantido em seu estado natural ele apresenta características adequadas de manutenção de matéria orgânica e armazenamento de nutrientes (Yague et al., 2016 e Rodrigues et al., 2017). Porém, como um recurso natural o solo é passível de degradação em função das ações antrópicas, que podem ocasionar interferências negativas ao sistema, essas alterações provocadas nos atributos do solo podem diminuir a capacidade do solo em ceder nutrientes para as plantas (Martins et al., 2015; Mantovanelli et al., 2015; Zaninetti et al., 2017).

A fertilidade natural do solo decorre do seu processo de formação, considerando o material de origem, o ambiente, o tempo e os organismos presentes. Os sistemas naturais apresentam integração entre a cobertura vegetal e decomposição dos resíduos sobre o solo que garante boas condições para a nutrição vegetal. Ao realizar o manejo, o homem interfere nesse ambiente, modificando as suas características químicas, físicas e biológicas, conseqüentemente, altera a sua fertilidade e os seus atributos (Rojas et al., 2016; Carvalho et al., 2018).

Como recurso natural dinâmico de um ecossistema, o estudo científico do solo é condição primordial para uma proposta de manejo que vise a sua conservação. Os sistemas de uso da terra para a produção agropecuária visam incrementar a produtividade empregando novas tecnologias com a promoção de um desenvolvimento rural sustentável em consonância com ambientes naturais (Freitas et al., 2015). Na medida em que o homem identifica solos com potencial para a produção, os atributos sofrem alterações que reduzem a matéria orgânica dos solos, aumentando assim na mesma proporção às responsabilidades ambientais (Sá et al., 2013, Sansson, 2015; Silva et al., 2018).

A avaliação dos sistemas de uso da terra é importante para aumentar a eficiência e compreensão do solo para o manejo mais conservacionista, minimizando o impacto negativo ao meio e proporcionando estudos técnicos e científicos para a recuperação de solos degradados (Fialho e Zinn, 2014; Gomes et al., 2016; Viaud et al., 2018). Considerando o solo um sistema complexo resultante da interação de fatores climáticos, topográficos, geológicos que juntos são responsáveis pela sua caracterização, é importante o uso de análises exploratórias que avaliem com eficiência a correlação entre os atributos, determinando os atributos que mais contribuem para as alterações do solo (Rojas et al., 2016; Khaledian et al., 2017; Carvalho et al., 2018).

Os sistemas naturais e os diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia apresentam diferentes formas de gestão dos atributos que influenciam na qualidade dos solos. A presente pesquisa tem relevância científica e social pela necessidade de informações no âmbito regional, pois enquanto sistemas de uso da terra vêm sendo avaliados em outras regiões do Brasil e na região amazônica ainda são incipientes, no sudeste do Pará são apenas inaugurais os trabalhos de avaliação dos sistemas de uso da terra e os seus efeitos sobre os atributos do solo, visando relacionar aos impactos ambientais.

Pelo exposto, o presente trabalho tem como hipótese que a conversão da mata nativa em sistemas de uso da terra impacta negativamente nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo na região de Marabá no sudeste do Pará. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar os sistemas de uso da terra e determinar as consequentes alterações provocadas sobre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo no município de Marabá no sudeste do estado do Pará.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O solo e as dinâmicas nos sistemas

O solo é um recurso natural vital para o funcionamento do ecossistema da terra, balanceando entre fatores físicos, químicos e biológicos a sustentação de outras vidas, sendo que os principais componentes dos solos são os minerais, a matéria orgânica resultante da decomposição pela biota do solo e organismos vivos como minhocas, insetos, fungos, bactérias e outros. O solo é resultado de mudanças que ocorrem nas rochas, essas mudanças são lentas e chamadas de intemperismo que ocorrem de forma natural ou forçadamente por intermédio dos seres vivos (Barbosa, 2014).

O solo mantido em seu estado natural apresenta características adequadas dos atributos pela manutenção da matéria orgânica, que influencia no armazenamento de nutrientes e controla as perdas do solo por lixiviação (Yague et al., 2016). Os sistemas de mata nativa na Amazônia têm grande importância para conservação do solo, da água e da biodiversidade, esses ambientes naturais apresentam integração entre a cobertura vegetal, a decomposição dos resíduos vegetais e o microclima (Kara e Bolat, 2008).

Os solos Amazônicos são de baixa fertilidade natural e quando a cobertura vegetal é retirada podem ocorrer alterações que provocam rompimento do equilíbrio natural. Assim sendo, quando o solo é convertido a sistemas de uso da terra os atributos sofrem alterações que determinam reduções na matéria orgânica quando comparados ao solo sob vegetação nativa (Sá et al. 2013). As ações antrópicas podem provocar alterações nos atributos do solo, através de manejos como: o corte e a queima da vegetação, uso intensivo da mecanização e a aplicação de defensivos agrícolas.

Os efeitos da conversão da mata nativa à sistemas de uso da terra na matéria orgânica e na sua distribuição ao longo do perfil tem sido estudados em diferentes regiões climáticas (Fialho e Zinn, 2014). Os atributos podem ser usados como indicadores da qualidade do solo, indicando a influência dos mesmos no crescimento vegetal e apontando as condições de recuperação ou degradação do solo (Trevisan et al., 2017).

As variações nos atributos do solo estão diretamente ligadas a sua qualidade (Guidolini, 2015). Portanto, a avaliação das características dos atributos do solo após a mudança para o sistema de uso é importante, podendo indicar a capacidade de funcionamento do solo pelas condições químicas, físicas e biológicas dos seus atributos (Viaud et al., 2018).

## **2.2 A Qualidade do solo**

O conceito de qualidade do solo refere-se à sua capacidade de exercer funções ligadas à sustentação da atividade, da produtividade e da diversidade biológica, bem como à promoção da saúde das plantas, dos animais e dos humanos, além de dar sustentação a estruturas sociais, econômicas e de habitação humana em ecossistemas naturais ou agrícolas (Doran e Parkin, 1994).

Os estudos feitos para tentar conceituar a qualidade do solo vêm acontecendo a algum tempo, as primeiras novidades sobre o tema surgiram na década de 1970, mas estiveram basicamente ligados ao que diz respeito a fertilidade através de suas características químicas, pois acreditava-se que se um solo garantisse às culturas boas concentrações dos macronutrientes e micronutrientes, bastaria para que ele tivesse qualidade e assim este solo teria capacidade de sustentar na sua totalidade a produção agrícola ( Karlen et al., 2003).

Atualmente, o solo é compreendido como a base de toda a vida no globo terrestre, o solo tem influência nos rios que secam quando perdem sua porosidade superficial, no ar que recebe do solo gás carbônico produzido pelos microrganismos e nas plantas pela sua nutrição. Assim, a qualidade do solo passou a ter um sentido mais amplo, valorizando os atributos químicos, físicos e biológicos do solo (Viaud et al., 2018). Para Wiesmeier (2019) a qualidade do solo é definida como a sua capacidade de manter uma produtividade sustentável, melhorando o ambiente para a alimentação da planta, do animal e do homem.

A discussão sobre o uso de indicadores como parâmetros a serem mensurados como qualidade do solo tem ganhado força, porém há dificuldade em se decidir quais parâmetros são capazes de atestar o impacto dos usos agrícolas sobre os solos (Chi et al., 2017). Atualmente na agricultura moderna existe uma grande demanda pela identificação de parâmetros que avaliem em laboratórios as alterações ocorridas no

solo, indicando os usos da terra adequados para preservar ou melhorar sua qualidade (Wang et al., 2017; Osterholz et al., 2018)).

As avaliações de atributos do solo são complexas devido à grande diversidade dos usos, das interações químicas, físicas e biológicas que controlam estes processos e dos aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço (Mendes et al., 2006). Assim, as condições atuais dos solos devem ser frequentemente analisadas para se obter informações de usos e manejos adequados para aquele momento, ajudando assim na tomada de decisão.

### **2.3 Atributos Químicos do Solo**

O uso do solo sem planejamento e controle podem ocasionar a redução da sua fertilidade, tornando necessário adubações cada vez mais elevadas com a intenção de alcançar a boa produtividade nos cultivos. Por este motivo, os atributos químicos do solo são estudados para que se possa diagnosticar a sua capacidade em promover o desenvolvimento das plantas, mantendo a produtividade das culturas e a qualidade ambiental do sistema usado. Esses atributos são sensíveis às variações provocadas pelo uso da terra e se relacionam com as funções desempenhadas pelo solo (Duval et al., 2018).

Os principais atributos químicos cujas alterações podem ocorrer no tempo são: (pH) potencial hidrogeniônico, (N) nitrogênio, (P) fósforo, (K) potássio, (Ca) cálcio, (Mg) magnésio, (Al) alumínio e (Corg) carbono orgânico. Estes atributos são os mais utilizados em estudos realizados em curto espaço de tempo, em função de seus reflexos imediatos e a ferramenta mais utilizada para esse diagnóstico tem sido a análise do solo (Martinazzo, 2006).

Um das principais limitações químicas que os solos dos ecossistemas amazônicos apresentam é toxidez das plantas através do alumínio, esta limitação incide na capacidade deste elemento gerar acidez no solo, devido às reações de hidrólise do alumínio hidratado em solução (Marschner, 1995). No entanto, quando o se mantém as bases trocáveis em boas condições o pH do solo se eleva e a manifestação de toxidez por alumínio é inibida (Cunha, 2017).

As alterações dos atributos químicos agravados pela mudança de uso da terra, somando-se as condições edafoclimáticas desfavoráveis causam prejuízos à capacidade produtiva dos sistemas agrícolas, por causa da perda da fertilidade do

solo, seja pelos nutrientes exportados pelas culturas, pela lixiviação dos nutrientes superficiais ou mesmo pela erosão do solo provocado pela chuva ou pelo vento (Lopes, 2012).

Os nutrientes mesmo que estejam disponíveis, em boas concentrações e dentro da faixa de pH do solo para serem absorvidos, necessitam estar mineralizados pelos microrganismos e transformados através das reações químicas na presença de oxigênio. Entretanto, essa situação só acontece se o solo estiver suprido de matéria orgânica (Lopes e Alves, 2005). Então, ressalta-se que mesmo que os atributos químicos estejam em boas concentrações no solo eles podem ser neutralizados. E os elementos prejudiciais podem ser liberados inibindo o desenvolvimento dos vegetais (Martinazzo, 2006). Neste sentido, as análises dos atributos químicos que condicionam o bem estar agrônômico e ambiental são importantes, para se conhecer previamente as formas uso do solo a serem adotadas.

#### **2.4 Atributos Físicos do Solo**

Os sistemas de uso da terra podem provocar alterações nas propriedades físicas do solo, essas alterações podem ser permanentes ou temporárias. Por este motivo, é importante avaliar a qualidade física do solo, por considerá-los componentes fundamentais na manutenção da sustentabilidade nos sistemas agrícolas de produção. A qualidade do solo está relacionada à sua resiliência, que se refere à sua habilidade em se recuperar de degradação antropogênica ou natural e retornar a um equilíbrio semelhante à condição anterior (Seybold et al., 1998).

A qualidade física dos solos é um estudo em contínua expansão, já que suas propriedades e os seus processos estão envolvidos no suporte do crescimento radicular, na armazenagem e suprimento de água e nutrientes, nas trocas gasosas e na atividade biológica (Arshad e Martin, 2002).

A manutenção da produtividade e da qualidade das culturas dos sistemas agrícolas está diretamente ligada a essas alterações físicas, uma vez que os vegetais necessitam de estruturação para o bom desenvolvimento das raízes, que são responsáveis pela alimentação e sustentação das plantas. Muitos fenômenos que ocorrem no solo podem ser atribuídos às modificações ocorridas pelas alterações no meio edáfico como: a quantidade de calor, gases e água transportados e a resistência mecânica oferecida pelo solo (Santana, 2009).

As raízes das plantas que crescem nos solos não podem sofrer barreira física ou qualquer outro tipo de resistência para o seu desenvolvimento, podendo resultar no comprometimento no desenvolvimento do vegetal, interferindo na sua hidratação e nutrição (Taylor e Brar, 1991). A compactação do solo por meio do uso intenso de máquinas agrícolas também é fator limitante a qualidade do solo, podendo causar danos a sua estrutura e densidade (Santos, 2013).

A densidade do solo é uma propriedade física bem dinâmica alinhadas as condições estruturais do solo e a sua textura. O tipo de cultivo usado, os manejos através do uso de máquinas pesadas, a superlotação de animais em rebanho ou mesmo as condições ambientais como o clima e relevo são fatores preponderantes para a mudança nas suas condições (Arshad e Martin, 2002).

A densidade do solo, geralmente aumenta conforme se aprofundam as camadas do solo, pois as pressões exercidas pelas camadas superiores podem reduzir a porosidade. Nos estudos de Reinert et al. (2008) ao pesquisarem limites críticos de densidade do solo, foram observados o crescimento normal das raízes das plantas até o limite de  $1,75 \text{ mg.m}^{-3}$ , restrições na faixa entre  $1,75 \text{ mg.m}^{-3}$  e  $1,85 \text{ mg.m}^{-3}$  e que acima de  $1,85 \text{ mg.m}^{-3}$  ocorreram deformações das raízes, inclusive provocando engrossamentos e desvios no crescimento vertical.

A porosidade dos solos (macroporosidade e microporosidade) também são aspectos analisados sobre a física dos solos muito importantes para o conhecimento de sua estrutura. A porosidade total é o espaço não ocupado por componentes minerais ou orgânicos, ou seja, constitui o espaço por onde os líquidos e o ar ocupam em relação à massa do solo (Santana, 2009). A porosidade depende da classe textural dos solos e está diretamente relacionada com o seu quantitativo de umidade. Os solos arenosos possuem menor porosidade, cerca de 35% a 50 %. Já os argilosos possuem maiores porosidades, variando de 40 a 60 % (Rabelo, 2000).

Os microporos são os poros capilares que são responsáveis por reter a água no solo, enquanto que os macroporos pela fácil infiltração são responsáveis pela drenagem e aeração. Enfim, a porosidade do solo interagindo com outros aspectos físicos interferem na aeração, condução e retenção de água, assim como na ramificação das raízes, fazendo com que aconteça o bom aproveitamento de água e nutrientes pelas plantas (Rosa, 2010).

Os solos das camadas superficiais de mata e de sistemas de uso da terra foram avaliados por Jakeilaitis et al. (2008) e revelaram que a densidade do solo, a

granulometria (areia, silte e argila) e a porosidade foram afetados nos diferentes sistemas. Neste sentido, há entendimento de que são propriedades susceptíveis ao uso agrícola, mas estão diretamente ligadas as boas condições para o desenvolvimentos de culturas vegetais.

## **2.5 Atributos biológicos do solo**

Cerca de 60% a 80% da fração viva e mais ativa da matéria orgânica é representado pelos microrganismos, sendo responsável por diversos processos biológicos e bioquímicos no solo (Liang e Balsler, 2011). Neste sentido os fatores biológicos podem ser usados como indicadores de qualidade do solo, pois podem influenciar grandemente no uso do solo, onde qualquer estresse no sistema poderá afetar a diversidade e as atividades das populações microbianas (Pankhust et al., 1995). Os microrganismos atuam na intemperização das rochas, na decomposição dos resíduos orgânicos, na ciclagem de nutrientes e na biorremediação de poluentes e metais pesados (Mendes e Reis Júnior, 2004).

A biomassa microbiana do solo (BMS) pode ser definida como o compartimento central do ciclo do carbono e influenciada pelas variações sazonais de umidade e temperatura, pelo manejo, pelo cultivo e pelos resíduos (Gama-Rodrigues, 1999). Assim sendo, podemos utilizar a BMS para a obtenção de referências sobre alterações nas propriedades da biologia do solo causadas pela conversão da mata nativa em sistemas de cultivos (Santos, 2010).

Para os estudos sobre a biomassa microbiana são disponíveis variados métodos, todavia, quando se pretende avaliar especificamente as alterações na matéria orgânica e nos atributos do solo relativo a ciclagem de nutrientes é essencial a quantificação do carbono imobilizado pelos microrganismos (Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues, 2008). A imobilização do carbono está diretamente relacionada aos maiores níveis de biomassa microbiana do solo (Alvarez et al., 1995). A quantificação do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) é fundamental para a avaliação do tamanho do reservatório mais ativo e dinâmico da matéria orgânica do solo, o qual é constituído basicamente por fungos, bactérias e actinomicetos (Oliveira et al., 2001).

A respiração basal (RB) consiste em um parâmetro utilizado no monitoramento da decomposição da matéria orgânica, sendo considerado um importante indicador da atividade dos microrganismos do solo (Anderson e Domsch, 1990). A respiração

basal é um dos mais antigos atributos utilizado na quantificação da atividade metabólica dos solos, depende do estado fisiológico da célula, assim como outras atividades metabólicas, podendo ser influenciada por fatores no solo como temperatura, umidade, estrutura e disponibilidade de nutrientes (Carvalho, 2005).

Segundo Alvarenga et al. (1999) o trabalho dos microrganismos tem maior intensidade nas camadas superficiais do solo, porém a atividade biológica pode ser prejudicada quando expostas aos processos de erosão, provocadas pela retirada de material da superfície do solo devido ao uso e manejo inadequado, resultando na redução da qualidade do solo.

Por outro lado, a atividade dos microrganismos pode ser potencializada pela incorporação de restos vegetais, intensificando os processos biológicos, de tal forma que haja o nutriente carbono constantemente disponível, promovendo liberação de compostos intermediários, promovendo um aumento na concentração de CO<sub>2</sub>, os quais podem afetar a dinâmica dos sistemas (Cardoso et al., 1992).

As variabilidades que indicam alterações significativas na biomassa microbiana dos solos podem ser detectadas antecipadamente, pelo fato dos atributos biológicos serem os mais sensíveis as dinâmicas dos sistemas. Dando a possibilidade da adoção de medidas corretivas antes de uma perda severa da qualidade do solo. Neste sentido, as avaliações constantes das alterações na biologia do solo caracterizam-se como uma alternativa adequada às tomadas de decisão para a adoção de usos e manejos sustentáveis (Tótola e Chaer, 2002).

O estudo de Santos, (2010) revelou que sistemas de uso com monocultivos distendidos têm necessidade energética mais eminentes para sua manutenção do que sistemas não submetidos a grandes perturbações. Assim sendo, solos sob intervenção antrópica apresentam alterações na atividade microbiológica e necessitam de maiores atividades metabólicas específicas, devido ao possível estresse dos microrganismos.

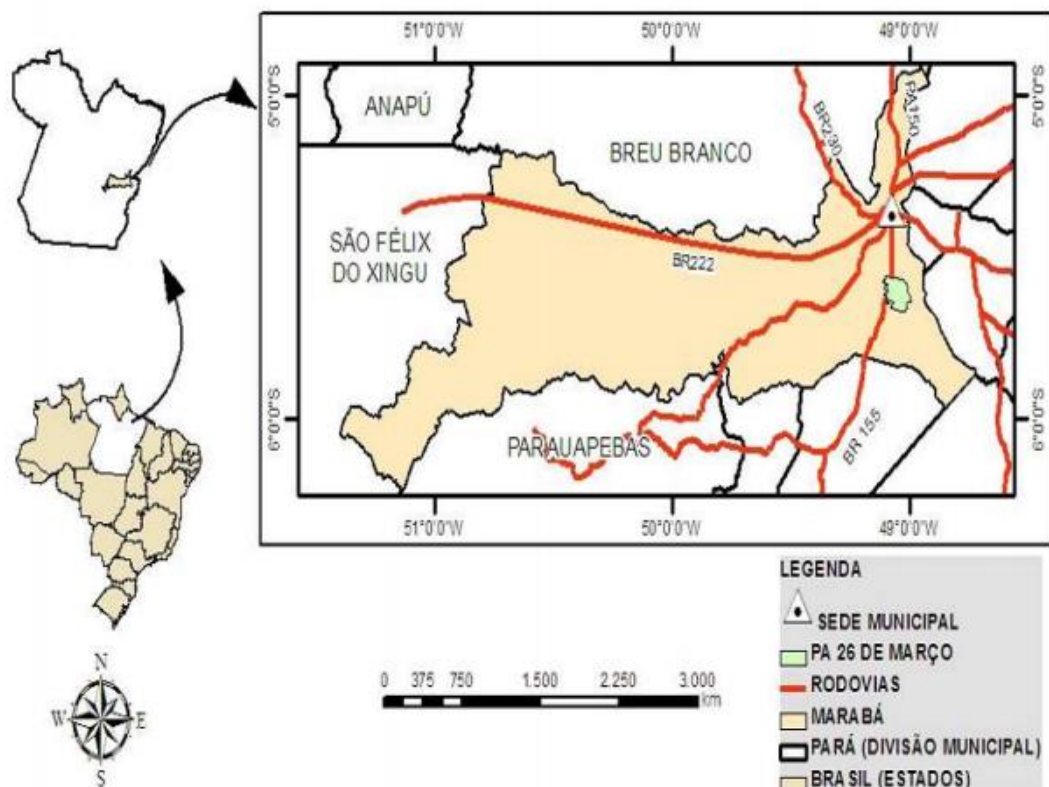
### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Localização e caracterização da área**

O estudo foi realizado na unidade agrícola Instituto Federal do Pará/Campus Rural de Marabá localizado no projeto de assentamento 26 de março, no município

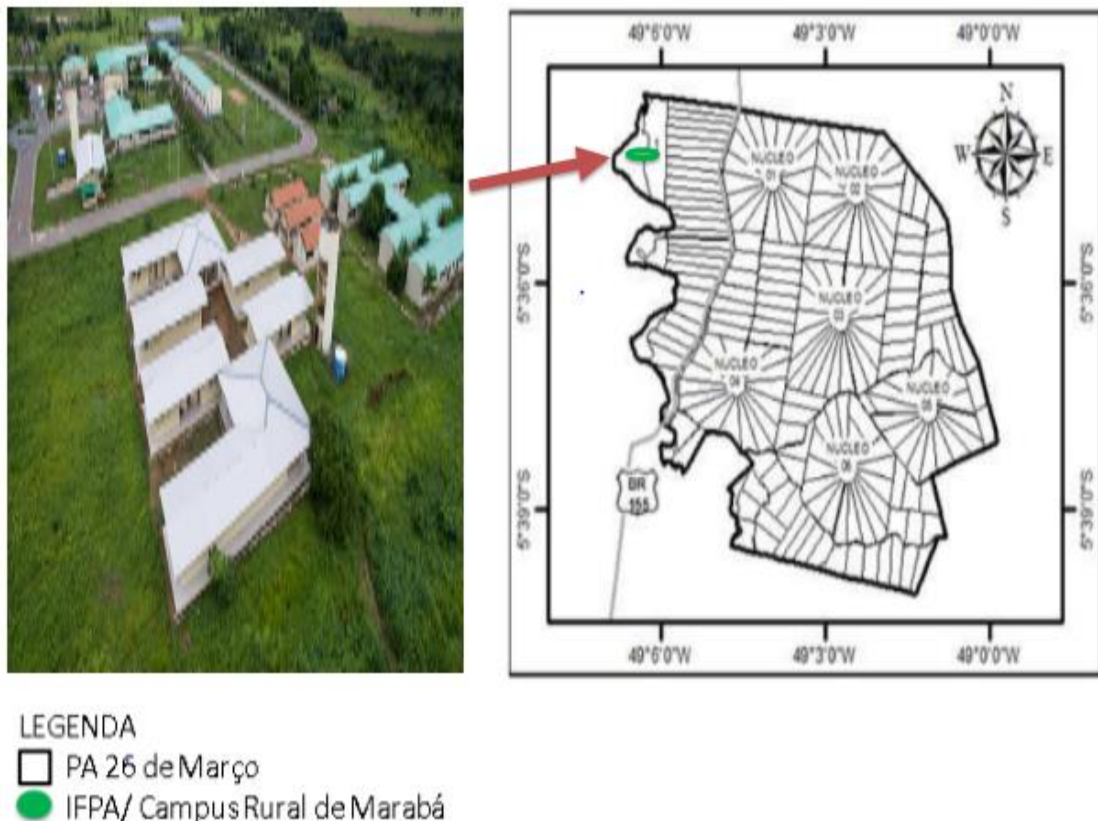
de Marabá (Figura 1 e Figura 2), sob coordenada geográfica 05°34'12" Sul e 49°06'04" Oeste, segundo a classificação de Köppen (1948) o clima é tropical chuvoso de selva isotérmica (Afi). A cidade apresenta vegetação que associa-se a floresta tropical úmida com evapotranspiração potencial a 38 mm/ano, a temperatura média anual de 28°C e índice pluviométrico de 1934 mm/ano com período chuvoso de novembro a maio (Mello et al., 2016). No local do experimento o solo é classificado como Latossolo Amarelo distrófico com classificação textural franco-arenosa (EMBRAPA, 2013).

Os sistemas de uso da terra selecionados para a avaliação das alterações em seus atributos químicos, físicos e biológicos foram: sistema agroflorestal (SAF), fruticultura (FRUT) e interação lavoura-pecuária (ILP) e seus históricos e descrições estão expressos no (Quadro 1). A mata nativa (MATA) foi utilizada como um sistema referencial por não apresentar histórico de ação antrópica e apresentar menor variação dos atributos quando comparados a solos de uso agropecuário.



**Figura 1:** Localização do Município de Marabá e do Projeto de Assentamento 26 de março, no estado do Pará.

**Fonte:** Castro e Watrin (2013).



**Figura 2:** Localização da unidade agrícola do Instituto Federal do Pará/Campus Rural de Marabá localizado no projeto de assentamento 26 de março, no município de Marabá.

**Fonte:** IFPA/Campus Rural de Marabá adaptado pelo autor.

### 3.2 Amostragem e análises laboratoriais

Em setembro de 2018 foi realizada a coleta de solos na profundidade de 0-0,2 metros do perfil do solo nas entrelinhas dos sistemas de uso sistema agroflorestal (SAF), fruticultura (FRUT), interação lavoura-pecuária (ILP) e aleatoriamente na mata nativa (MATA) os históricos e descrições estão expressos no (Quadro 1). Foram coletadas dez sub-amostras para a formação de cada amostra composta, totalizando 12 amostras por sistema e 48 amostras no total do estudo. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, protegidas da luz e mantidas em caixas térmicas, sendo transportadas para o laboratório na cidade de Castanhal no mesmo dia. Em seguida foram destorroadas, homogeneizadas retirando-se os fragmentos visíveis e peneiradas (malha de 2mm), com a umidade do solo uniformizada para 60% da capacidade de campo, as amostras foram novamente acondicionadas em sacos plásticos e mantidas sob refrigeração à 4° centígrados.

No laboratório o pH foi determinado realizando-se a medição da concentração efetiva de íons  $H^+$  na solução do solo eletronicamente por meio de eletrodo combinado na solução solo-água na proporção 1:2,5. O nitrogênio (N) foi analisado no balão Kjeldahl que baseia-se na transformação do nitrogênio da amostra em amônio pela digestão com  $H_2SO_4$ , o fósforo (P) foi extraído no espectroscópio pela leitura da intensidade da reação do molibdato com o ácido ascórbico, o potássio ( $K^+$ ) foi determinado pelo método direto do fotômetro de chamas, o cálcio ( $Ca^{2+}$ ) e o magnésio ( $Mg^{2+}$ ) foram extraídos pela titulação por KCl com o EDTA, o alumínio ( $Al^{3+}$ ) foi extraído com solução de KCl  $1\text{ mol L}^{-1}$  e sua determinação volumétrica realizada com solução diluída de NaOH, o carbono orgânico (C.org) foi determinado pelo método volumétrico pelo dicromato de potássio que consiste na oxidação do  $CO_2$  e redução do cromo da solução extratora, e a matéria orgânica foi calculada, onde:  $\%MO = \%Corg \times 1,724$ . Todas as análises químicas foram realizadas seguindo a metodologia da Embrapa (2011).

A análise granulométrica foi realizada pelo método de dispersão total, a classificação textural conforme o triângulo textural, a macroporosidade (macrop.) e a microporosidade (microp.) foram calculadas pelo método mesa de tensão que consiste na retirada de águas dos poros da amostra e pesagem antes e depois do procedimento, a densidade do solo (DS) foi calculada pelo método do anel volumétrico, todas as análises físicas foram preconizadas segundo a metodologia da EMBRAPA (2011).

O carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) foi determinado pelo método de fumigação-extração de Vance (1987) que consiste na extração do C-BMS após a aplicação de clorofórmio às amostras que provoca a morte dos microrganismos e liberação dos componentes celulares para o cálculo. A partir dos valores do carbono da biomassa microbiana dos solos (C-BMS) e do conteúdo de carbono orgânico (Corg), foi calculado o quociente microbiano (qMIC) de acordo com Sparling (1992).

A respiração basal (RB) foi determinada pelo método de Isermeyer (1952) que consiste na quantificação de C- $CO_2$  produzido a partir de 20 gramas de solo incubados por 72 horas em sistema fechado, sendo o C- $CO_2$  capturado em solução de NaOH  $0,05\text{ mol.L}^{-1}$ . O quociente metabólico (q $CO_2$ ) foi calculado conforme Anderson e Domsch (1993) pela razão entre a respiração basal (RB) e o carbono da biomassa microbiana (C-BMS).

Quadro 1- Histórico e descrição da mata nativa e dos três sistemas de uso da terra avaliados em Latossolo Amarelo no município de Marabá, no sudeste do Pará, 2018.

---

MATA- Representado por um hectare de floresta nativa sem ação antrópica, caracterizada como floresta ombrófila densa segundo ElleMBERG e Mueller-Dombois, (1967) de terraço antigo, com espécies vegetais de até 50 metros, palmeiras na submata, plantas não lenhosas, herbáceas, epífitas, árvores emergentes, densos arbustos, samambaias, bromélias, orquídeas, cipós, troncos cônicos e lisos e raízes tabulares.

---

SAF- Representado por um hectare de mata nativa até 1970, convertida em pastagem para uso da pecuária até 2009, no ano de 2010 foi implantado um sistema agroflorestal com plantio de mandioca (*Manihot sculenta*), milho (*Zea mays*), puerária (*Pueraria phaseoloides*), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), banana (*Musa sp*), castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa*), seringa (*Hevea brasiliensis*), paricá (*Schizolobium amazonicum*), ipê (*Handroanthus albus*) e mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*), não sendo utilizados implementos agrícolas, nem adubação artificial e nem aplicação de defensivos agrícolas no manejo. É realizada roçagem manual semestralmente e o espaçamento entre as frutíferas e as essências florestais são de cinco metros entre linhas e cinco metros entre plantas e as culturas anuais são plantadas nas entrelinhas do plantio no espaçamento de um metro de cada planta.

---

FRUT- Representado por um hectare de mata nativa até 1970, convertida em pastagem para uso da pecuária até 2009, no ano de 2010 foi realizada a implantação do sistema de fruticultura com a monocultura de acerola (*Malpighia emarginata*), o preparo da área consistiu em aração e gradagem niveladora antes do plantio e a limpeza da área é realizada através roçagem mecanizada semestralmente, para a nutrição das culturas é feita aplicação de adubações orgânicas e minerais na coroa das plantas anualmente. O espaçamento é de cinco metros entre plantas e cinco metros entre linhas.

---

ILP- Representado por um hectare de mata nativa até 1970, convertida em pastagem para uso da pecuária até 2009 quando predominou o plantio da cultura de *Brachiaria brizantha* para criação bovina na taxa de lotação de 2 UA/hectare, a partir de 2009 foram realizados preparos de área mecanizados anualmente para implantação de lavouras de milho (*Zea mays*), mandioca (*Manihot sculenta*) e cana (*Saccharum officinarum*). São realizadas as rotações de culturas com piquetes de pastagem nos anos seqüentes as lavouras, os preparos e o manejo da área são mecanizados com roçagens e gradagens anuais, são realizadas aplicações de defensivos agrícolas anualmente no sistema. O espaçamento entre as plantas das culturas anuais quando estão implantadas são de um metro entre as plantas e quando se configura a pastagem sistema não é usado espaçamento definido.

---

MATA- Mata nativa, SAF- Sistema agroflorestal, FRUT- Fruticultura, ILP- Integração Lavoura-Pecuária.

### 3.3 Análises Estatísticas

Os dados foram submetidos às análises de estatística multivariada utilizando as ferramentas de análise hierárquica de agrupamentos (AA), análise fatorial (AF) e

análise de componentes principais (ACP) no software Statistica versão 7,0 (Statsoft, 2004).

A escolha das variáveis para a análise multivariada procedeu-se com a exclusão de variáveis que apresentavam relação de interdependência com alguma variável original do estudo. Considerando a estrutura multivariada dos dados, foram verificadas as semelhanças entre os ambientes estudados na tentativa de agrupar os sistemas de uso e os atributos químicos, físicos e biológicos.

Foi realizada a escolha do número de fatores a ser utilizado pelo critério de Kaiser, (1958) onde se realiza a escolha dos fatores que apresentam autovalores superiores a um. Posteriormente a análise hierárquica de agrupamentos utilizou o critério de correlação dos atributos com os sistemas para permitir a separação das variáveis, identificando visualmente a formação de agrupamentos devido a minimização da variação dentro dos agrupamentos e maximização da variação entre os agrupamentos como descrito em Seidel et al. (2008). Para formação dos agrupamentos dos sistemas por similaridade na AA foi realizado o corte na distância Euclidiana que é representado pelo intervalo de maior variação expressiva no teorema de Pitágoras segundo o método descrito por Vicini, (2005).

A análise de componentes principais apontou as variáveis que apresentaram influência no estudo selecionando as variáveis de valor superior a 0,70 como descrito em Hair et al. (2005). Na análise fatorial extraída ACP quanto maior for o valor da variável, maior influência ele terá para a análise conforme Bocard et al. (2011).

Os dados também foram submetidos a análise exploratória dos dados no software AGROSTAT (Barbosa e Maldonado, 2015) e os resultados apresentados nas tabelas 3, 4 e 5 utilizando-se as médias e o coeficiente de variação dos atributos pesquisados. O coeficiente de variação foi avaliado com base no critério de Warrick e Nielsen (1980), que o classifica como baixo quando se apresenta abaixo de 12%, médio quando apresentado entre 12% e 60% e alto quando se apresenta de acima 60%.

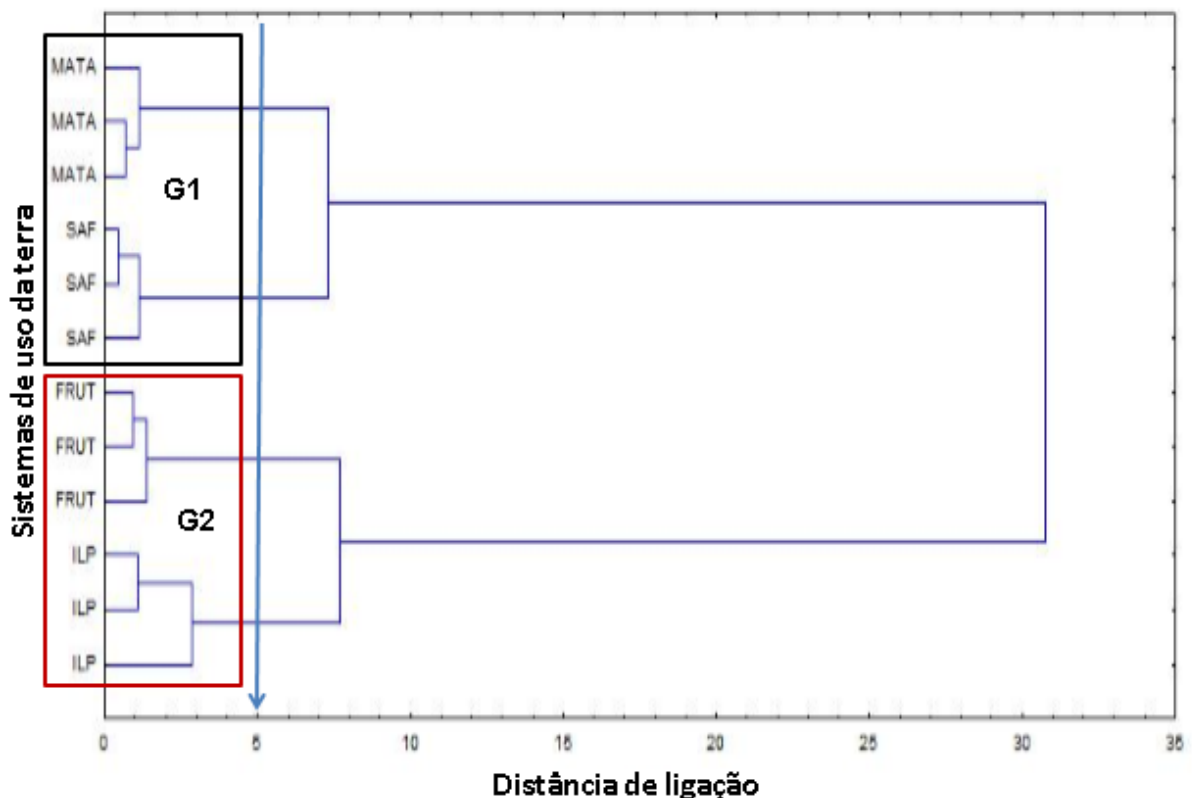
## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Análises Multivariadas dos Dados**

O Dendograma obtido pela análise hierárquica de agrupamento foi apresentado na Figura 3. A maior variação nos valores da distância euclidiana entre os pontos de

amostragens dos sistemas estudados ocorreu no ponto 5 onde foi realizado o corte, possibilitando a formação de grupos para os sistemas de uso da terra.

Os resultados indicaram dois agrupamentos (Figura 3). No grupo 1 (G1), foi identificado para observações sobre o sistema de uso mata nativa e o sistema agroflorestal (SAF), o grupo 2 (G2) destacou principalmente o que estava relacionado ao sistema de fruticultura (FRUT) e ao sistema interação lavoura-pecuária (ILP).



**Figura 3.** Dendrograma da análise hierárquica de agrupamentos que mostra a formação de dois grupos para os usos da terra avaliados de acordo com os atributos químicos, físicos e biológicos estudados.

A diferenciação dos dois grupos foi marcante, mostrando as particularidades de cada sistema, pois as características do solo no mesmo grupo são semelhantes, mas diferem do comportamento dos outros agrupamentos. Os resultados expressos no dendrograma sugerem que os agrupamentos são explicados pelo fato de os diferentes usos da terra serem os principais responsáveis pelas alterações dos atributos dos solos e confirmam as diferenças nos ambientes.

Todos os atributos químicos, físicos e biológicos do solo foram significativos para explicar a variância dos sistemas de uso da terra, conforme os valores das comunalidades dos atributos avaliados (Tabela 1). A partir da análise fatorial pode-se

verificar a carga para cada variável extraída pela análise de componentes principais. A carga fatorial para cada variável corresponde a um número decimal positivo ou negativo e menor que um que expressa quanto uma variável está contribuindo para um fator, ou seja, quanto maior for a carga em cima de um fator, mais a variável tem importância para o fator avaliado, de acordo com Vicini (2005).

**Tabela 1.** Comunalidades da análise fatorial dos atributos químicos, físicos e biológicos das observações dos sistemas de uso da terra na profundidade de 0,0 a 0,2 metros.

Variáveis	Inicial	Extração
pH	1,00	0,911
N	1,00	0,878
P	1,00	0,906
K	1,00	0,921
Ca	1,00	0,913
Mg	1,00	0,781
Al	1,00	0,801
Corg.	1,00	0,944
DS	1,00	0,929
macrop.	1,00	0,814
microp.	1,00	0,723
C-BMS	1,00	0,907
RB	1,00	0,935
qCO <sub>2</sub>	1,00	0,839
qMIC	1,00	0,860

Método de extração: Análise de componentes principais

Na avaliação obteve-se valores de comunalidades adequados para a explicação dos fatores maiores que 0,70, ou seja, todas as variáveis tiveram influência nos fatores formados (Tabela 1). Assim não se faz necessário a eliminação de nenhuma variável além das interdependentes para a formação dos fatores do estudo. Segundo o estudo de Hair et al. (2005) as variáveis com valores de comunalidades menores que 0,70 são considerados como variáveis sem influência para os fatores, desta forma devem ser eliminados da análise fatorial.

Na tabela 2 encontram-se os autovalores definidos pelos 2 componentes principais, bem como a proporção de variância acumulada pelos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Observa-se que os resultados indicaram que 82,37% da variação dos dados foi explicada pela componente principal 1 (CP1). A componente principal 2 (CP2) explicou 9,05% da variação, totalizando 91,43% de toda variação, sendo considerados suficientes para explicar o comportamento das variáveis nas áreas experimentais.

Vale ressaltar que na tabela 2 que os componentes são independentes e que cada variável contribui também de forma independente com a sua carga fatorial na avaliação.

**Tabela 2.** Autovalores, quantidade de variância explicada e o percentual de contribuição para a variância total dos atributos químicos, físicos e biológicos dos diferentes usos da terra nas duas componentes principais.

Variáveis	0,0 – 0,2 metros	
	CP1	CP2
pH	<b>-0,986</b>	-0,146
N	<b>-0,975</b>	-0,218
P	<b>-0,984</b>	-0,156
K	<b>-0,884</b>	-0,397
Ca	<b>-0,981</b>	-0,101
Mg	<b>-0,976</b>	-0,206
Al	<b>0,879</b>	-0,166
macrop.	<b>-0,939</b>	-0,196
microp.	0,408	-0,173
DS	<b>0,944</b>	-0,315
C.org	<b>-0,996</b>	0,045
C-BMS	<b>-0,987</b>	0,131
RB	<b>-0,996</b>	-0,032
qCO <sub>2</sub>	0,380	<b>-0,898</b>
qMic	<b>-0,880</b>	0,344
Autovalor	13,18	1,44
Autovalor Acumulado	13,18	14,62
Variância Total (%)	82,37	9,05
Acumulado (%)	82,37	91,43

Interpretação: Na Componente Principal 1 resultados de pH, N, P, K, Ca, Mg, macrop., C.org, C-BMS, RB e qMIC em contraste com o Al e DS. Na CP2 somente o índice de qCO<sub>2</sub> foi significativo. Os valores em negrito foram significativos para as componentes principais.

A ordenação dos acessos segundo os dois primeiros componentes principais confirma a formação dos dois grupos obtidos pelas análises de agrupamentos (Figura 4).

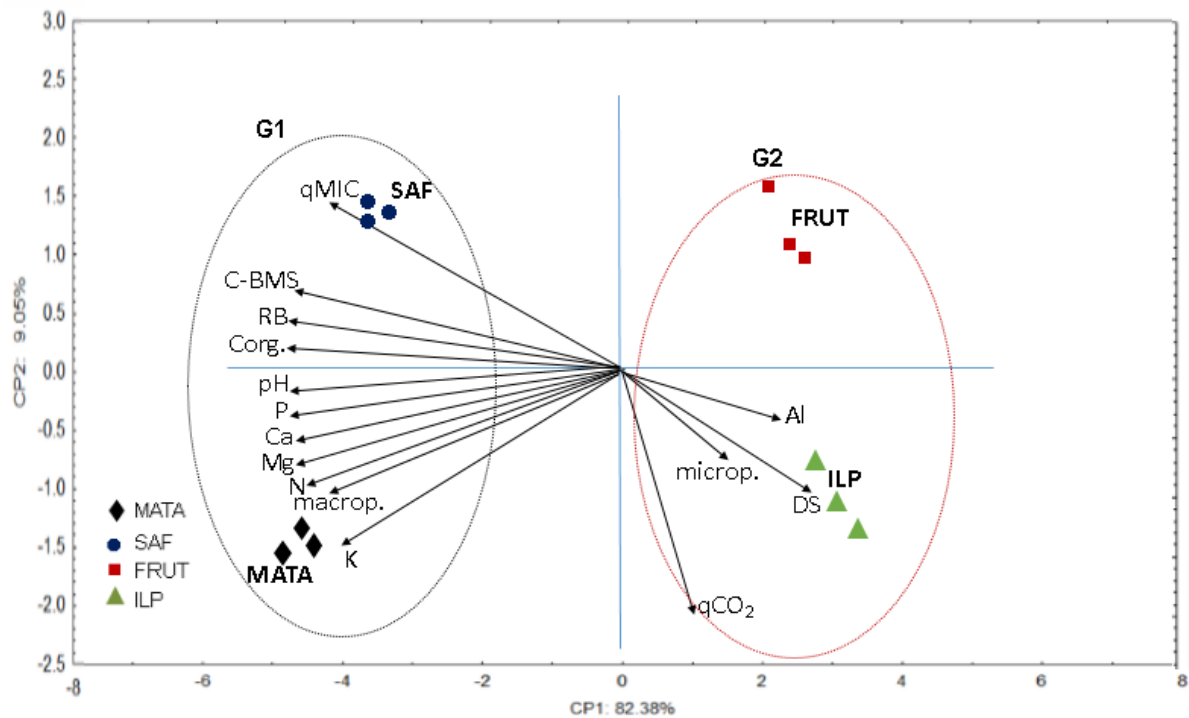
Na tabela 2 as variáveis com valores negativos na CP1: Corg (-0,996), RB (-0,996), C-BMS (-0,987), pH (-0,986), P (-0,984), Ca (-0,981), Mg (-0,976), N (-0,975), macrop. (-0,939), K (-0,884), e qMIC (-0,880) são responsáveis pela discriminação do grupo G1. Enquanto que as variáveis: Al (0,879) e DS (0,944) com valores positivos e maior do que 7,00 são os responsáveis pela formação do grupos G2.

As variáveis pH, P, Ca, Mg, N, macroporosidade e K que estão discriminadas no grupo G1 (Figura 4), estão relacionadas à fertilidade proporcionada pela

recomposição natural dos nutrientes do solo e pela manutenção da serrapilheira, pois os sistemas MATA e SAF conseguem reter cátions, elevar o potencial de ciclagem de nutrientes, auxiliar na morfologia dos sistemas radiculares e contribuir na formação de agregados estáveis que favorecem a macroporosidade. Resultados semelhantes foram encontrados nos estudos de Romero et al., (2019) que avaliando as mudanças de uso da terra, identificaram manutenção da fertilidade em ambientes naturais e perda qualidade química nos solos convertidos ao uso agrícola.

Os atributos Corg, C-BMS, RB e qMIC também discriminados também no G1, correlacionam-se diretamente com o sistema agroflorestal, que por ser um modelo de uso da terra que reproduz um ambiente natural, onde se garante a quantidade e qualidade da matéria orgânica depositadas de forma variada e contínua sobre o solo, podendo favorecer a atividade dos microrganismos pela diversidade, estabilidade e integridade do sistema. O uso da terra através do sistema florestal pode constituir alternativa promissora para a promoção de benefícios ambientais, uma vez que apresentam manutenção do aporte de matéria orgânica do solo, contribuindo para uma maior atividade microbiológica nos solos. Resultados semelhantes foram encontrados por (Martins et al., 2019) que relataram o subsídio do perfil do solo por substratos em diferentes graus de decomposição em sistemas de agroflorestas, oportunizando níveis adequados de atributos biológicos.

As variáveis que contribuíram para a formação do G2 que foram representados pelos sistemas FRUT e ILP respectivamente, caracterizaram-se principalmente pelo distanciamento dos atributos da química e da biologia do solo, além da correlação com a densidade do solo e com o alumínio (Figura 4). Estes resultados podem estar relacionados ao manejo inadequado nestes sistemas pelo tráfego de máquinas agrícolas e de animais que provocam o adensamento do solo. Por outro lado, os solos ácidos de pastagem podem inibir o transporte de nutrientes e a pouca cobertura na superfície podem favorecer o aumento do teor de alumínio pela sua solubilização no perfil do solo. As mudanças de uso da terra pela conversão de sistemas naturais para atividades agrícolas podem ser prejudiciais, levando a uma mudança na qualidade do solo pela remoção da vegetação, a compactação do solo, o uso de máquinas e a perda da matéria orgânica, podem aumentar o processo de erosão, concordando com os estudos de Khaledian et al. (2017) que monitoraram solos de sistemas em processo de degradação.



**Figura 4.** Gráfico biplot do primeiro e segundo componentes principais da ACP com as observações dos solos avaliados. pH: potencial hidrogeniônico, P: fósforo, Ca: cálcio, Mg: magnésio, N: nitrogênio, macrop.: macroporosidade, K: Potássio, qMIC: quociente microbiano, C-BMS: carbono da biomassa microbiana, RB: respiração basal, Corg.: carbono orgânico, Al: alumínio, DS: densidade do solo, qCO<sub>2</sub>: quociente metabólico, microp.: microporosidade.

A utilização da mecanização na implantação e na limpeza do sistema podem ter relação com as alterações nas propriedades químicas e biológicas do solo. Os manejos mecanizados podem remover a vegetação da cobertura do solo e inibir a atividade microbiológica. Neste sentido, a remoção da MO podem ter influenciado alterando no acúmulo dos nutrientes e na densidade do solo, corroborando com (Carvalho et al., 2018) que avaliaram atributos do solo através de análises multivariadas e observaram que os atributos: K, Mg, Ca, RB e C-BMS foram as variáveis discriminatórias da CP1, e foram responsáveis por separar sistemas naturais de sistemas agrícolas.

## 4.2 Classificação por coeficiente de variação

De acordo com a classificação do coeficiente de variação (CV) proposta por Warrick e Nielsen (1980) para os atributos químicos, o magnésio (4,7%) obteve o CV de baixa variabilidade (menor que 12%). Enquanto que as variáveis: pH (16,1%), nitrogênio (17,1%), fósforo (13,1%), potássio (36,2%), cálcio (21,4%), alumínio

(17,3%), carbono orgânico (35,1%) e matéria orgânica (35,2%) apresentaram o CV médio (entre 12% e 60%) expressos na Tabela 3.

Para os atributos físicos (Tabela 4) todas as variáveis avaliadas: Densidade do solo (22,9%), macroporosidade (19,9%) e microporosidade (16,1) obtiveram coeficiente de variação na faixa de média variabilidade (entre 12% e 60%).

Os atributos biológicos: carbono da biomassa microbiana (17,9%), respiração basal (32,9%), quociente metabólico (16,6%) e quociente microbiano (19,5%) também enquadram-se na faixa de CV médio (entre 12% e 60%) expressos na Tabela 5.

O comportamento assimétrico das variáveis podem estar relacionados a variabilidade influenciada pelas condições de cobertura vegetal, cobertura do solo e do manejo dos sistemas, assim como no estudo de Mello et al. (2006) que avaliaram o desempenho de unidades através estatística multivariada.

### 4.3 Atributos químicos do solo

Os valores dos atributos químicos dos solos apresentaram alterações entre os sistemas de uso da terra na profundidade de 0,0-0,2 m (Tabela 3).

**Tabela 3.** Valores médios e coeficiente de variação dos atributos químicos de Latossolo Amarelo, na camada de 0,0-0,2 metros de profundidade sob mata nativa e diferentes sistemas de uso da terra em Marabá, Pará.

Sistemas	pH H <sub>2</sub> O	N (g.kg <sup>-1</sup> )	P -----(mg.dm <sup>3</sup> )---	K	Ca ------(cmol.c.dm <sup>3</sup> )-----	Mg	Al	Corg ---(g.kg <sup>-1</sup> )----	MO
MATA	5,7	0,96	3,78	65,40	1,80	0,74	0,09	12,7	21,8
SAF	5,6	0,70	3,50	51,71	1,77	0,74	0,09	12,4	21,3
FRUT	5,3	0,66	2,96	43,30	1,44	0,72	0,13	10,9	18,7
ILP	5,0	0,63	2,93	42,92	1,43	0,72	0,14	10,2	17,5
CV%	16,1	17,1	13,7	36,2	21,4	4,7	17,3	35,1	35,2

pH: potencial hidrogeniônico; N: nitrogênio; P:fósforo; K: Potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; Corg: carbono orgânico; MO: matéria orgânica.

O pH do solo foi superior nas áreas sob MATA (5,7) e SAF (5,6) em relação aos sistemas FRUT (5,3) e do ILP (5,0). Os valores dos sistemas MATA, SAF e FRUT foram classificados como solos de acidez média e o sistema ILP é considerado como acidez elevada. Os maiores valores de pH encontrados em MATA e SAF (Tabela 3) podem estar relacionados as características do material orgânico resultante da decomposição de folhas, galhos e raízes mortas, que mineralizam contribuindo para o aumento das cargas negativas e do pH dos solos, como descrito por Rodrigues et al. (2017) ao avaliar atributos químicos em latossolos na Amazônia.

Os teores de nitrogênio do solo dos diferentes sistemas foram maiores na MATA ( $0,96 \text{ g.kg}^{-1}$ ), seguidos dos sistemas SAF ( $0,70 \text{ g.kg}^{-1}$ ), FRUT ( $0,66 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e ILP ( $0,63 \text{ g.kg}^{-1}$ ). Tal fato pode estar relacionado a adição de nitrogênio ao solo, através do processo de acúmulo da matéria orgânica nas camadas superficiais do solo, o que constitui importante contribuição aos sistemas naturais. Este processo tem fundamental importância na determinação do potencial de regeneração de áreas por intermédio do aporte de matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes, como descrito nos resultados de Nascimento et al. (2018) que avaliaram o aporte de N na serapilheira de distintos sistemas.

Os teores de P disponível também foram maiores na mata nativa, sendo o SAF o sistema que mais se aproximou dos resultados que variaram de ( $2,93 \text{ mg.dm}^{-3}$ ) no sistema ILP, ( $2,96 \text{ mg.dm}^{-3}$ ) no sistema FRUT, ( $3,50 \text{ mg.dm}^{-3}$ ) do SAF e ( $3,78 \text{ mg.dm}^{-3}$ ) do sistema MATA. Todavia todos os valores são classificados como baixos para solos de textura franco arenosa.

Os maiores valores de P nos sistemas MATA e SAF (tabela 3) também podem ser explicados pelo aporte de material orgânico desses solos, proporcionados pela ausência de revolvimento, o que propicia o acúmulo de resíduos florestais na superfície do solo nas áreas de MATA e SAF. Segundo Santos et al. (2019) que caracterizaram a química do solo na Amazônia, o acúmulo de matéria orgânica no sistema contribui para a disponibilidade de fósforo na superfície destes sistemas.

Com relação aos resultados encontrados para o K verificou-se valores dos sistemas de uso que vão desde valores médios como ( $42,9 \text{ mg.dm}^{-3}$ ), ( $43,3 \text{ mg.dm}^{-3}$ ) e ( $51,7 \text{ mg.dm}^{-3}$ ) dos sistemas ILP, FRUT e SAF respectivamente, até o valor considerado alto ( $65,4 \text{ mg.dm}^{-3}$ ) do sistema MATA. A maior disponibilidade de potássio na MATA, pode estar relacionado com o fato de mata nativa ser um sistema isento de perturbação antrópica, a maior concentração de matéria orgânica é geralmente encontrada nas camadas superficiais do solo, contribuindo para a capacidade de troca de cátions e eficiente reciclagem de nutrientes, conseqüentemente uma maior retenção e menor lixiviação de potássio, concordando com Lourente et al. (2011) que em diferentes sistemas de uso e manejo avaliaram o Potássio e outros atributos.

Os menores valores de cálcio foram encontrados nos sistemas ILP ( $1,43 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ) e FRUT ( $1,44 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ) respectivamente e foram classificados como valores baixos. Enquanto os maiores valores deste atributo foram encontrados na

MATA ( $1,80 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ) e SAF ( $1,77 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ) e estiveram na faixa de valores de concentração média. Os valores de magnésio também seguiram a sequência decrescente: MATA > SAF > FRUT > ILP. Todos os valores do atributo magnésio que variaram de ( $0,72 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ) do ILP a ( $0,74 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ) da MATA foram enquadrados na faixa de valores médios deste atributo.

De acordo com Freitas et al. (2017) que avaliaram indicadores da qualidade química do solo, os sistemas sob mata nativa em regiões tropicais têm grande relação com as bases trocáveis sendo capazes de compor as propriedades químicas naturalmente, sistemas estáveis retêm maiores concentrações de cálcio e magnésio pela eficiente reciclagem de nutrientes.

Os teores de alumínio foram maiores no sistema de uso ILP ( $0,14 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ) e FRUT ( $0,13 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ), seguidos do sistema SAF ( $0,09 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ) e da MATA ( $0,09 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ). Os valores de todos os sistemas estudados estiveram classificados como baixo para a concentração de alumínio segundo. A menor concentração de alumínio nos sistemas SAF e MATA podem estar relacionados com o fato de que os maiores resultados de pH diminuem a solubilidade do alumínio, inibem a toxidez e aumentam a mineralização da matéria orgânica, de acordo com Romero et al. (2019) que avaliaram solo de pastagem na Amazônia. Por outro lado, a matéria orgânica quando encontrada em condições desejáveis como nos sistemas conservacionistas, pode ser capaz de promover a complexação do alumínio, como descrito em Silva Neto et al. (2011) que analisaram parâmetros da fertilidade do solo.

Os teores de MO e Corg nos sistemas MATA e SAF foram maiores com relação aos outros sistemas de uso da terra estudados e por estarem diretamente relacionados, apresentaram a mesma sequência de resultados nos quatro sistemas. Os teores de MO variaram de ( $17,5 \text{ g.kg}^{-1}$ ) a ( $21,8 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e Corg variaram de ( $10,2 \text{ g.kg}^{-1}$ ) a ( $12,7 \text{ g.kg}^{-1}$ ). A MATA apresentou incremento de matéria orgânica de 12% em relação ao FRUT e 21% em relação ao ILP. Apesar do resultado todos os índices de Corg e MO se enquadraram na classificação de valores médios.

Notadamente o aporte de matéria orgânica em maior concentração em MATA e SAF contribuíram para os maiores teores de carbono orgânico nestes sistemas de uso da terra (Tabela 3). Isso pode ser explicado pelo fato de que o Corg compõe a MO fazendo parte da estrutura química das substâncias orgânicas que são produzidas com maior qualidade nos sistemas naturais. O Corg tem sua maior atuação onde os agregados mantêm a integridade do solo pelas deposições naturais de matéria

orgânica, segundo Udom et al. (2016) que avaliaram agregados associados ao carbono orgânico. Enquanto em sistemas de usos agrícolas há redução da concentração de matéria orgânica e carbono orgânico quando comparado a sistemas de vegetação nativa, conforme os estudos de Sá et al. (2013) que avaliaram a depleção e a restauração de matéria orgânica em solos tropicais no Brasil.

Os atributos pH, P, K, Ca, Mg, Al e Corg. e os teores de matéria orgânica foram classificados de acordo com as faixas descritas por Silva (2018).

#### 4.4 Atributos físicos do solo

O Latossolo Amarelo nos sistemas estudados apresentou composições texturais classificadas como franco-arenosa conforme a classificação da EMBRAPA, (2013).

Estão expressos também na tabela 4 os resultados granulométricos que evidenciaram que a fração de areia predomina na mata nativa e nos três sistemas de uso da terra. Os teores de areia, silte e argila variaram de 69,04% a 69,50%, 13,23% a 13,77% e 16,73 a 17,73%, respectivamente.

**Tabela 4.** Granulometria, classificação textural, valores médios e coeficiente de variação dos atributos físicos do Latossolo Amarelo, na camada de 0,0-0,2 metros de profundidade sob mata nativa e diferentes sistemas de uso da terra em Marabá, Pará.

Sistemas	Areia	Silte	Argila	Classificação	DS	macrop	microp.
	-----%-----			Textural	(Kg.cm <sup>3</sup> )	----- (m.m <sup>3</sup> )-----	
MATA	69,50	13,77	16,73	Franco-arenosa	1,70	0,20	0,24
SAF	69,47	13,69	16,84	Franco-arenosa	1,69	0,18	0,22
FRUT	69,07	13,61	17,32	Franco-arenosa	1,78	0,14	0,26
ILP	69,04	13,23	17,73	Franco-arenosa	1,83	0,13	0,27
CV	-	-	-	-	12,9	16,1	19,9

DS: Densidade do solo; macrop: macroporosidade; microp: microporosidade.

Os valores de densidade do solo (DS) foram maiores em ILP (1,83 kg.dm<sup>-3</sup>) e FRUT (1,78 kg.dm<sup>-3</sup>), seguidos de SAF (1,70 kg.dm<sup>-3</sup>) e da MATA (1,69 kg.dm<sup>-3</sup>). Os valores de FRUT e ILP proporcionaram um aumento da densidade do solo em torno de 6,5% e 3,3% respectivamente, em relação aos resultados da mata nativa, referência do estudo. Reichert et al. (2003) analisaram sobre a qualidade dos sistemas agrícolas, e concluíram que solos arenosos com densidade acima de (1,75 kg.dm<sup>-3</sup>) tem densidade elevada, podendo limitar o crescimento radicular das plantas. Neste sentido somente SAF e MATA estiveram abaixo desta faixa crítica de valores.

Os maiores adensamentos nos solos de ILP e FRUT (tabela 4) podem estar relacionados ao tráfego de máquinas em ambos sistemas e do superpastoreio de animais no ILP que compõem o uso e manejo das áreas. De acordo com Bezerra et al. (2019) que avaliaram atributos físico-hídricos em latossolo, a compactação é uma consequência esperada em áreas que envolvem preparo mecanizado para o uso de pastagens e de rotação de culturas agrícolas. Por outro lado, os resultados expressos em MATA e SAF podem estar associados as boas concentrações de matéria orgânica, com maior diversidade biológica e as presença de raízes que constroem galerias e cavidades no solo, influenciando na reversão do estado de compactação.

Os resultados de macroporosidade (Tabela 4) apontaram os seguintes valores para os sistemas: ILP (0,13 m.m<sup>3</sup>), FRUT (0,14 m.m<sup>3</sup>), SAF (0,18 m.m<sup>3</sup>) e MATA (0,20 m.m<sup>3</sup>). Todos os valores da macroporosidade foram superiores ao valor crítico em solos franco arenosos que é (0,10 m.m<sup>3</sup>), segundo faixa adotada por Tormena et al. (1998).

Os menores valores macroporosidade nos solos de FRUT e ILP podem estar associados ao processo de compactação do solo, que está relacionado ao aumento da densidade do solo, decorrentes da maior pressão mecânica sobre a superfície solo. Enquanto nos sistemas MATA e SAF a adição contínua de material orgânico podem ajudar na morfologia das raízes do sistema que auxiliam na abertura de macroporos. Segundo os estudos de Shi et al. (2016) os sistemas radiculares aliados ao não revolvimento do solo contribuem efetivamente na formação de agregados estáveis que se rearranjam criando espaços vazios no perfil do solo favorecendo a macroporosidade.

Quanto aos valores de microporosidade foram observados maiores valores em ILP (0,27 m.m<sup>3</sup>) e FRUT (0,26 m.m<sup>3</sup>), seguidos da MATA (0,24 m.m<sup>3</sup>) e do SAF (0,22 m.m<sup>3</sup>). O aumento da microporosidade em FRUT e ILP podem estar sendo influenciados pelo aumento da densidade do solo, originada pelo tráfego de máquinas e de animais, consequência da redução da matéria orgânica no manejo que também impactam na infiltração de água no solo do sistema, corroborando com os resultados de Bezerra et al. (2019) que avaliaram atributos físicos em pastagens.

#### 4.5 Atributos biológicos do solo

Os diferentes sistemas de uso da terra promoveram alterações nos atributos biológicos (Tabela 5), os maiores teores de C-BMS foram encontrados na MATA (0,78 g.kg<sup>-1</sup>) e no SAF (0,76 g.kg<sup>-1</sup>), seguidos de FRUT (0,60 g.kg<sup>-1</sup>) e ILP (0,50 g.kg<sup>-1</sup>). Os sistemas FRUT e ILP apresentaram reduções entre 38% e 49% no carbono da biomassa microbiana com relação a mata nativa, referência do estudo.

Os resultados de C-BMS da MATA e do SAF podem ter relação com as condições favoráveis ao desenvolvimento dos microrganismos, da maior diversidade de espécies vegetais responsáveis pela quantidade e qualidade do material orgânico em diferentes graus de decomposição, do não revolvimento do solo, do acúmulo de serapilheira e do crescimento de raízes que aumentam as concentrações de substratos orgânicos nos sistemas, de acordo com Santana et al. (2017) que avaliaram a biomassa microbiana em diferentes manejos do solo na Amazônia.

**Tabela 5.** Valores médios e coeficiente de variação dos atributos biológicos de Latossolo Amarelo, na camada de 0,0-0,2 metros de profundidade sob mata nativa e diferentes sistemas de uso da terra em Marabá, Pará.

Sistemas	C-BMS (g.kg <sup>-1</sup> )	RB (mg.kg <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> C-CO <sub>2</sub> )	qCO <sub>2</sub> (mg.kg <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> C-CO <sub>2</sub> da BMS)	qMIC (%)
MATA	0,78	0,45	0,56	6,19
SAF	0,76	0,41	0,55	6,14
FRUT	0,60	0,33	0,55	5,55
ILP	0,50	0,29	0,59	4,97
CV	17,9	32,9	16,6	19,5

C-BMS: carbono da biomassa microbiana do solo; RB: respiração basal; qCO<sub>2</sub>: quociente metabólico; qMIC: quociente microbiano.

Os maiores valores de respiração basal (RB) ocorreram na MATA (0,45 mg.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>C-CO<sub>2</sub>) (Tabela 5). Os sistemas de ILP, FRUT e SAF apresentaram respectivamente reduções de 34%, 26,6% e 6,7% da respiração basal dos solos em relação a área sob mata nativa.

O resultado pode ser explicado pelo acúmulo da matéria orgânica na superfície de MATA, a superfície do solo constitui fonte abundante de carbono orgânico o que proporciona energia para os microrganismos. A respiração basal também pode ser favorecida pela menor intensidade do manejo do solo que não prejudicam as atividades das hifas fúngicas e raízes que liberam exsudatos radiculares que auxiliam

a atividade microbiana, concordando com o estudo de Guimarães et al. (2017) que analisaram a atividade microbiana em diferentes sistemas.

Os menores valores de respiração basal no sistema de interação lavoura-pecuária, também corroboram com os resultados de Stevenson et al., (2014), que avaliaram as estruturas de comunidades microbianas, relataram que a aplicação de defensivos agrícolas podem causar alterações na composição de comunidades do solo reduzindo a microbiota.

Os índices de quociente microbiano (Tabela 5) que expressam quanto do carbono orgânico do solo está imobilizado na biomassa microbiana apresentaram valores que obedecem a seguinte ordem: MATA (6,19%) > SAF (6,14%) > FRUT (5,55%) > ILP (4,97%). Sendo que a MATA e o SAF que apresentaram os maiores percentuais. Essa sequência do resultado pode evidenciar a eficiência dos microrganismos que compõem estes sistemas na imobilização do carbono, que apresentou tendência inversamente proporcional à intensidade de manejo do solos. Os maiores índices de qMIC em MATA e SAF podem ser decorrentes da maior qualidade da matéria orgânica e da estabilidade nos solos desses sistemas. Enquanto em condições estressantes para os microrganismos a capacidade de utilização do Corg é menor, conduzindo ao decréscimo de qMIC como visto em FRUT e ILP, podendo estar associado a circunstâncias em que a microbiota apresenta algum fator de estresse, de acordo com estudos de Wardle (1994) que organizaram métodos de quantificação da biomassa microbiana dos solos.

Quanto ao quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) foi constatado os maiores valores em ILP (0,59 mg.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>C.CO<sub>2</sub> da BMS), seguido pelos resultados do sistema MATA (0,56 mg.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>C.CO<sub>2</sub> da BMS), FRUT (0,55 mg.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>C.CO<sub>2</sub> da BMS) e SAF (0,55 mg.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>C.CO<sub>2</sub> da BMS).

O maior resultado de quociente metabólico no sistema ILP pode estar associado ao fato deste sistema de uso ter menor estabilidade, o que aumenta a atividade metabólica indicando algum tipo de distúrbio metabólico, assim como nos resultados de Tótola e Chaer (2002) que avaliaram processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. Os sistemas SAF, FRUT e MATA têm atividades metabólicas mais eficientes, pois perdem menos Corg na forma de CO<sub>2</sub> e incorporam mais Corg aos tecidos microbianos, conseqüentemente tem menores resultados de qCO<sub>2</sub>, corroborando com os estudos de Zaninneti et al. (2016) que avaliaram a

conversão de florestas primárias em sistemas de uso da terra e as consequentes alterações aos atributos do solo. .

## 5 CONCLUSÕES

A conversão da mata nativa em sistemas de usos da terra impactou negativamente nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo confirmando a hipótese do estudo.

As técnicas de análises multivariadas separaram os sistemas mata nativa e sistema agroflorestal dos sistemas fruticultura e interação lavoura-pecuária, de acordo com os atributos químicos, físicos e biológicos do solo analisado.

Os sistemas fruticultura e interação lavoura-pecuária promoveram menores resultados de pH, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, carbono orgânico, macroporosidade, maiores teores alumínio e maior densidade do solo em relação a mata nativa.

Todos os sistemas de uso da terra avaliados apresentaram diminuição do carbono da biomassa microbiana, da respiração basal e do quociente microbiano, e o sistema de interação lavoura-pecuária apresentou a elevação do quociente metabólico em relação a mata nativa.

O sistema de uso da terra com mais semelhança à mata nativa é o sistema agroflorestal.

## 6 REFERÊNCIAS

- Alvarenga MIN, Siqueira JO, Davide AC (1999) Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, MG 23, n.3, 617-625.
- Alvarez R, Díaz RA, Barbero N, Santa Natoglia O, Blota L (1995) Soil Organic carbon, microbial biomass and CO<sub>2</sub>-C production from there tillage systems. **Soil Tillage Research** 33:17-28.
- Anderson TH, Domsch KH (1993). The metabolic quocient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of Forest soils. **Soil Biolologchemichy Bio**.
- Arshad MA, Martin S (2002) Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agricultural, Ecosystems and Environment**, Zurich, 2:153-160.
- Barbosa HMS (2014) **Intemperismo biogeoquímico e ciclagem de nitrogênio pela interação do líquen *Cladonia sustellata vainio* com granito e basalto**, (Tese de Doutorado em Geografia) UFPE/CFCH, Recife,PE, 233p.
- Barbosa JC, Maldonado W (2015) Experimentação Agronomica & Agroestat. Sistemas para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. **Multipress**, 1:396p.
- Bezerra CB, Souza Júnior AJ, Correa MM, Lima JRS, Santoro KR, Souza ES, Oliveira CL (2019) Latossolo húmico sob pastagens com diferentes intensidades de usos: atributos químicos e físico-hídricos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**,14: 5603.
- Bocard D, Gillet F, Legendre P (2011). **Numerical Ecology**, with R.New York: Springer, 306p.
- Cardoso EJBN, Tsai SM, Neves MCP (1992) **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 33-57.
- Carvalho F (2005) **Atributos bioquímicos como indicadores de qualidade do solo em floresta de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze no estado de São Paulo**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, (Tese de mestrado), 79p.
- Carvalho MAC, Panoso AR, Teixeira EER, Araújo EG, Brancaglioni RD (2018) Multivariate approach of soil attributes on the characterization of land use in the Brazilian Amazon **Soil and Tillage Research** 184:207-215.
- Castro AR, Watrin OS (2013) Análise especial de áreas com restrição de uso do solo em projeto de assentamento no sudeste paraense. **Geografia, Ensino e Pesquisa**, 57:157-166.
- Chi Y, Shi H, Zheng W, Sun J (2017) Mutiple gradient effects or spatial distributionof Island soil microbial biomass. **European Journal of Soil Biology**, 83:65-75.

Cunha GOM (2017) **Formas de alumínio em solos com altos teores trocáveis e toxidez na soja e no milho.** (Tese de Doutorado em Ciência do Solo), Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 162p.

Doran JW, Parking TB (1994) Defining and assessing soil quality. In: Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF, Stewart BA. Eds. defining soil quality for a sustainable e environment. Madison, **Soil Science Society of America** 35:3-22.

Duval ME, Galantini JA, Martínez JM, Limbozzi F (2018) Labile soil organic carbon for assessing soil quality: Influence of management practices and edaphic conditions, **Catena**, 171:316-326.

Ellenberg H, Mueller-Dombois D (1967). Classificação fisiognômica e ecológica provisória das formações vegetais da terra. **Bericht des geobotanischen instituts der ETH**, Stiftung Rübel in Zurich, 37: 21-55.

Embrapa (2013) **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3 ed. Brasília-DF. 353 p.

Embrapa (2011) **Manual de Métodos de Análises de Solo.** Rio de Janeiro: Embrapa.1CNPS. 2ª edição revista, 230p.

Fialho RC, Zinn YL (2014) Changes in soil organic carbon under eucalyptus plantations of vegetation in degraded hills of Chittagong, Blangadesh. **Land Degradation & Development.**

Freitas L, Casagrande JC, Oliveira IA, Campos MCC, Silva LSS (2015) Técnicas multivariadas na avaliação de atributos de um latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** 10:17-26.

Freitas L, Oliveira IA, Silva LS, Frare CV, Filla VA, Gomes RP (2017). Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Unimar Ciências**, Marília-SP, 26:08-25.

Fushimi M, Nunes JOR. (2017) A importância do levantamento expedito do uso da terra e cobertura vegetal nas dinâmicas das paisagens de parte dos municípios de Marabá Paulista- SP e Presidente Epitácio- SP. **Revista de Geografia** 34:86-102.

Gama-Rodrigues EF, Gama-Rodrigues AC (2008) Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** 2ª Ed. Porto Alegre, p.159-170.

Gama-Rodrigues EF (1999) Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e da serrapilheira de povoamento de eucalipto.UFRRJ, Seropédica, RJ 108 p.

Gomes JBV, Fernandes MF, Pacheco AC, Norton LD, Curi N (2016) Calcareous soils in the northeastern of Brazil: alterations of atributes from different land use history. **Soil & Tillage Research** 155: 27-34.

Guidolini JF (2015) **Atributos físicos e químicos de um Argissolo sob diferentes sistemas de uso da terra (SUTs)** Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal 50 p.

Guimarães NF, Gallo AS, Fontanetti A, Meneghin SP, Souza MDB, Morigino KPG, Silva RF (2017) Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro, **Revista de Ciências Agrárias (on line)**, 40:34-44.

Hair JR, Anderson RE, Tatham RL, Black WC (2005) **Análise Multivariada de Dados**. Porto Alegre, RS: Bookmam.

Isermeyer H (1952) Eine einfache methode zur bestimmung der bodernatmung um der karbonate im boden. Z. **Pflanzenernäh Bodenk** 56: 26-38.

Jakelaitis A, Silva AA, Santos JB, Vivian R (2008) Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 38:118-127.

Kaiser HF (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, 23:187-200.

Karlen DL, Ditzler CA, Andrews SS (2003) Soil quality: why and how? **Geoderma**, Amsterdam 114, n. 3/4, 145-156.

Kara Ö, Bolat I (2008) Soil microbial biomass C and N changes in relation to forest conversion in the northeastern Turkey. **Land Degradation & Development** 19:421-428.

Khaledian Y, Kiani F, Ebrahimi S, Brevik EC, Aikenhead-Peterson J (2017) Assessment and monitoring of soil degradation during land use change using multivariate analysis. **Land degradation & Development** 28:128-141.

Köppen W (1948) **Climatologia: Com um estúdio de los climas de la tierra**. Publications In: Climatology. Laboratory of Climatology. New Gersey, EUA, 104p.

Liang C, Balser TC (2011) Microbial production of recalcitrant organic matter in global soils: implications at productivity and climate policy. **Nature Reviews Microbiology**, 9:75.

Lopes AAC (2012) **Interpretação de indicadores microbiológicos em Função da matéria orgânica do solo e dos rendimentos de soja e milho** Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, DF 96 p.

Lopes OMN, Alves RNB (2005) **Adubação verde e plantio direto: alternativas de manejo agroecológico para a produção agrícola familiar sustentável**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos 212) 34p.

Lourente ERP, Mercante FM, Alovisei AMT, Gomes CF, Gasparini AS, Nunes CM (2011) Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas

de manejo e condições de cerrado, Goiânia, GO **Pesquisa Agropecuária tropical** 41:20-28.

Mantovanelli BC, Silva DAP, Campo MCC, Gomes RPG, Soares MDR, Santos LAC (2015) Avaliação dos atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas. **Revista de Ciências Agrárias**, 58:122-130.

Marschner H (1995) **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press, 889p.

Martinazzo R (2006) **Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS 82 p.

Martins ECA, Peluzio JM, Oliveira Junior WP, Tsai SM, Navarrete AA, Moraes PB (2015) Alterações dos atributos físico-químicos da camada superficial do solo em resposta à agricultura com soja na várzea do Tocantins, **Biota Amazônia** 5:56-62.

Martins EM, Silva ER, Campello EFC, Lima SS, Nobre CP, Correia MEF, Resende AS (2019) Uso de sistemas agroflorestais diversificados na restauração florestal na mata atlântica. Santa Maria, RS **Ciência Florestal** 29:632-648.

Mello AH, Oliveira G, Sbruzzi E, Mumbach G, Bilibio Bonfada E (2016) Caracterização química, física e morfológica de solos sob diferentes sistemas de cultivo em assentamento da reforma agrária. **Enciclopédia Biosfera** 13:276-288.

Mello G, Bueno CRP, Pereira GT (2006) Variabilidade espacial de perdas do solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, 10:315-322.

Mendes FG, Melloni EGP, Melonni R (2006) Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, MG 12, n. 3, 211-220.

Mendes IC, Reis Júnior FB (2004) **Uso de parâmetros microbiológicos com indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas**. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 34p.

Nascimento AFJ, Silva TO, Araújo RN, Sampaio EVSB, Pedrotti A, Gonzada MIS, Piscoya VC. (2018) Produção e aporte de carbono, nitrogênio e fósforo na serrapilheira foliar do Parque Nacional Serra de Itabaiana, **Revista de Ciência Florestal** 28:35-46.

Oliveira JRA, Mendes IC, Vivaldi L (2001) Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-encubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, 25:863-871.

Osterholz WR, Liebman M, Castelhana MJ (2018) Can soil nitrogen dynamics explain the yield benefit of crop diversification? **Field Crops Research**, 219:33-42.

Pankhurst CE, Hawke BG, McDonald HJ, Kirkby CA, Buckerfield JC, Michelson P, O'Brien KA, Gupta VVSR, Doube BM (1995) Evaluation of soil biological properties as

potential bioindicators of soil health. **Australian Journal of Agricultural Research** 35:1015-1028.

Pereira EM (2018) Sensibilidade ecológica e ambientalismo: uma reflexão sobre as relações humanos-natureza, Porto Alegre, RS **Sociologias (on line)** 49:338-366.

Rabelo NA (2000) **Método de Análise** – (Cadernos Didáticos; 12). Goiânia: Ed. UCG, 88p.

Reinert DJ, Albuquerque JÁ, Reichert JM, Aita, C, Andrada MMC (2008) Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP 32:1805-1816.

Reichert JM, Reinert DJ, Braida JÁ (2003) Qualidade dos solos e sustentabilidade dos sistemas agrícolas, **Revista Ciencia & Ambiente** 27:29-48.

Rodrigues M, Rabelo FHS, Castro HÁ, Roborero D, Carvalho MAC, Roque CG (2017) Alterações nos atributos químicos do solo pelo uso e manejo em latossolo na Amazônia, **Revista Caatinga**, 30, n.2.

Rojas JM, Prause J, Sanzano GA, Arce OEA, Sánchez MC (2016). Soil quality indicators selection by mixed models and multivariate techniques in deforested areas for agricultural use in NW of Chaco, Argentina. **Soil Tillage and Research**, 155:250-262.

Romero S, Pedroso AJS, Soares IR, Rodrigues S, Moraes ET, Torres LC (2019) Atributos físico-químico do solo em áreas de conversão da Amazônia Oriental em pastagem e plantio direto. **Jornal Aplicado em Hidro-ambiente e Clima**, 1:25-37.

Rosa SF (2010) **Propriedades físicas e químicas de um solo arenoso sob o cultivo de *Eucalyptus* spp.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS 94p.

Sá JCM, Seguy L, Tivet F, Lal R, Bouzing S, Borsowski PR, Brieds C, Santos JB, Hartman DC, Bertoloni C, Rosa J, Friedrich T (2013) Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agroecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**.

Sansson JMW (2015) Hipóteses legais de supressão vegetal: análise da Lei Complementar nº 757/2015/POA. **Revista de Administração Municipal**. Porto Alegre, RS, 6p.

Santana AS, Chaves JS, Santana AS, Rodriguez CA, Moraes ER. (2017) Biomassa microbiana em diferentes sistemas de manejo do solo no sul do estado de Roraima. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**. 6:43-50.

Santana SC (2009) **Indicadores físicos da qualidade de solos no monitoramento de pastagens degradadas na região sul do Tocantins** Tese (Doutorado), Universidade Federal do Tocantins, Tocantins, 76 p.

Santos LAC, Campos MCC, Aquino RE, Silva DMP, Marques Júnior J, Franca ABC (2006) Caracterização e gênese de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 37:825-836.

Santos MC, Lima AFL, Santos LAC. (2019) Caracterização química de um solo sob uma área de cultivo e de floresta nativa na região de Apuí-Amazonas, **Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio Ambiente** 23:300-312.

Santos VB (2010) **Atributos de solos sob cultivos de frutíferas em sistema de manejo convencional, em transição e orgânico no norte do estado do Piauí**. Tese (doutorado), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Jaboticabal, SP 107p.

Seybold CA, Herrick JE, Bredja JJ (1998) Soil resilience: a fundamental component of soil quality. **Soil Science** 164:224-233.

Seidel EJ, Moreira Júnior FJ, Ansuji AP, Noal MRC (2008) Comparação entre o método Ward e o método K-médias no agrupamento de produtores de leite. **Ciência e Natura**, 30:7-15.

Shi Y, Zhao X, Gao X, Zhang S, Wu P (2016) The effects of long-term fertilizer applications on soil organic carbon and hydraulic properties of a loess soil in China. Chichester, **Land Degradation & Development**, 27: 60-67.

Silva SAS, Teixeira DS, Silva RM, Lisboa SCL, Rodrigues YRS (2018) Atributos físico-químicos do solo submetidos a supressão vegetal, em áreas de reassentamento urbano coletivo indígena, Altamira, Pará, Brasil. **Enciclopédia Biosfera** 15:152-159.

Silva SB. (2018) **Análise de solos para Ciências Agrárias**, 2 ed., Belém- EDUFRA, 167p.

Silva Neto SP, Santos AC, Leite RLL, Dim VP, Cruz RS, Pedrico A, Neves Neto DN (2011) Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. **Semina: Ciências Agrárias**, 32:541-522.

Sparling G (1992) Ratio microbial biomass carbon to soil organic as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal Soil Research**, 30: 195-207.

Statsoft Inc. (2004) **Statistica Data Analysis Software System**, version 7.0. Disponível em: [www.statsoft.com.br](http://www.statsoft.com.br).

Stevenson BA, Hunter DWF, Rhodes PL (2014) Temporal and seasonal change and microbial community structure of an undisturbed, disturbed, and carbon amended pasture soil. **Soil Biology Biochemistry**, 75:175-185.

Taylor HM, Brar GS (1991) Effect of soil compaction on root development. **Soil Tillage Research** 19:111-119.

Tormena C, Silva A. (1998) Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 22:573-581.

Tótolá MR, Chaer GM (2002) Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: Sociedade Brasileira De Ciência do Solo. **Tópicos em ciência do solo** 2:195-276.

Trevisan RG, Freddi OS, Wruck FJ, Tavanti RR, Peres FSC (2017) Variabilidade de atributos físicos do solo e do arroz cultivado sob plantas de cobertura em sistema de integração lavoura-pecuária. **Bragantia**. Campinas, SP 76, n. 1,145-154.

Udom BE, Nuga BO, Adenosum JK (2016) Water-stable aggregates and aggregates-associated organic carbon and nitrogen after three annual applications of poultry manure and spent mushroom wastes. **Applied Soil Ecology** 101:15-10.

Vance ED, Brookes PC, Jenkinson DS.1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass Carbon. **Soil Biology and Biochemistry** 19:703-707.

Viaud V, Santillán-Carvantes P, Akkal-Corfini N, Le Guillou C, Prévost-Bouré NC, Ranjard L, Menasseri-Aubry S (2018). Landscape-scale analysis of cropping system effects on soil quality in a context of crop-livestock farming, **Agriculture, Ecosystems & Environment** 265:166-177.

Vicini L (2005) **Análise multivariada da teoria à prática**. Monografia de especialização. UFSM-Santa Maria-RS, 215 p.

Wardle DA (1994) **Metodologia para a quantificação da biomassa microbiana do solo**. In: Hungria M.e Araújo RS., eds Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola. Brasília, EMBRAPA, p.419-436.

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

Wang F, Weil RR, Nan X (2017) Total and permanganate-oxidizable organic carbon in the corn rooting zone of US coastal plain soils as affected by forage radish cover crops and N fertilizer, **Soil and Tillage Research**, 65:247-257.

Wiesmeier M, Urbanski L, et al. (2019) Soil organic carbon storage a key function of soils- A review of drivers and indicators at various scales, **Geoderma**, 333:149-162.

Yague MR, Domingo-Olive F, Bosch-Serra AD, Poch RM, Boixadera J (2016) Dairy cattle manure effects on soil quality: porosity, earthworms aggregates and soil organic carbon fractions. **Land Degradation & Development** 27:1753-1762.

Zaninetti RA, Moreira A, Moraes LAC (2016) Atributos físicos, químicos e biológicos de latossolo amarelo na conversão de floresta primária para seringais na Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 51:1061-1068.