



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA

MAYCON PEDROSA CARDOSO

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO EM
DIFERENTES USOS DE PASTAGENS E TEMPO DE AVALIAÇÃO NA AMAZÔNIA
MARANHENSE**

SÃO LUÍS - MA

2021

MAYCON PEDROSA CARDOSO

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO EM
DIFERENTES USOS DE PASTAGENS E TEMPO DE AVALIAÇÃO NA AMAZÔNIA
MARANHENSE**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia
Bacharelado do Centro de Ciências Agrárias da
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA,
como requisito para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz
Coorientador: M.e Carlos Augusto Rocha de
Moraes Rego

SÃO LUÍS - MA

2021

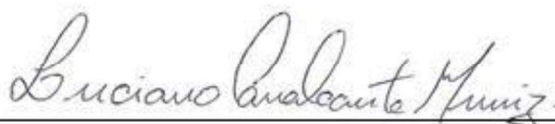
MAYCON PEDROSA CARDOSO

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO EM
DIFERENTES USOS DE PASTAGENS E TEMPO DE AVALIAÇÃO NA AMAZÔNIA
MARANHESE**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia Bacharelado do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em: 06/09/2021

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz – **Orientador**

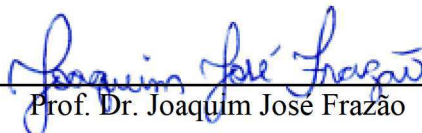
Departamento de Economia Rural/CCA/UEMA



M.e Carlos Augusto Rocha de Moraes Rego

Doutorando em Agronomia

Universidade Estadual do Oeste do Paraná



Prof. Dr. Joaquim José Frazão

Universidade Estadual do Maranhão-UEMA

Cardoso, Maycon Pedrosa.

Atributos químicos e estoque de carbono e nitrogênio do solo em diferentes usos de pastagens e tempo de avaliação na Amazônia maranhense / Maycon Pedrosa Cardoso. – São Luís, 2021.

46 f

Monografia (Graduação) – Curso de Agronomia, Universidade Estadual do Maranhão, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz

1.Fertilidade do solo. 2.Agrossistemas. 3.Zona amazônica. I.Título.

CDU: 631.41(812.1)

*A minha mãe, Generosa Alves Pedrosa e meu Pai,
Antonio Alves Cardoso, por serem a minha base e a
motivação das minhas conquistas.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Senhor Deus por tudo!

À minha família por me apoiar e me incentivar a nunca desistir. Em especial a minha Mãe, Generosa Alves Pedrosa e meu Pai, Antônio Alves Cardoso.

Ao meu orientador, professor Luciano Cavalcante Muniz, pessoa que proporcionou grande conhecimento e oportunidade na vida profissional.

A professora Maria Rosângela Malheiros, e ao Dr. Raimundo Nonato Viana por ter me dado a oportunidade de participar da minha primeira iniciação científica, contribuindo com meu desenvolvimento e desempenho acadêmico.

Ao Grupo de Plantas Daninhas, o qual foi um prazer fazer parte.

Ao GINTEGRA, e seus gestores que me deram grandes oportunidades tanto no desenvolvimento acadêmico como profissional.

Ao meu coorientador Carlos Augusto Rocha de Moraes Rego (Cassiel) e meu amigo Victor Ribeiro Reis, por toda ajuda, orientação e suporte na condução deste trabalho.

Aos amigos e irmão, Caio Sales, Hidelbrando Pimenta e Rodrigo Barbosa, por todo incentivo e ajuda durante a elaboração deste trabalho. Amigos que estão comigo desde de o início da graduação.

A todos os amigos que fiz durante a graduação: Marianne Camile Rodrigues, Matheus Nascimento Barata, Tharcisio Campos, Elimilton Brasil, Iago Trés, Romão Neto, Messias Abreu, Thaís, Karol, Daniel, Mayara Menezes, Dianny Regina, Lucas Romão, Aldineide Batista, Walisson, Pedro Eneas, Cleude Mayara, Isadora, Abimael Carmo e todos da turma 2016, e os que não citei, mas fizeram parte desta minha jornada durante a graduação.

A minha querida e amada Aline da Silva Rocha Araujo, pessoa muito especial em minha vida, por todo esse tempo me apoiando, me dando força para continuar, e me ajudando.

À Universidade Estadual do Maranhão, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo apoio financeiro grande parte da minha trajetória acadêmica.

MUITO OBRIGADO!

“O homem não teria alcançado o possível se, repetidas vezes, não tivesse tentado o impossível.”

(Max Weber)

RESUMO

Na região amazônica a conversão das florestas primárias em área de pastagem para o desenvolvimento da pecuária de corte ou atividades agrícolas é uma prática comum e que rapidamente, devido ao manejo adotado, acabam levando a degradação destas áreas. O objetivo deste trabalho foi verificar a influência dos diferentes usos do solo em diferentes períodos de avaliação sobre os atributos químicos, teores totais e estoque de carbono e nitrogênio do solo. O experimento foi realizado na Unidade de Referência Tecnológica (URT) no município de Pindaré-Mirim/MA. Os sistemas de uso da terra avaliados foram: pastagem perene, pastagem recuperada há 8 anos e floresta secundária. Em cada sistema de uso do solo foram abertas trincheiras em 2013 e 2019 e amostradas as camadas 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m. Foram avaliados os atributos de fertilidade do solo e os teores e estoques de carbono (C) e nitrogênio (N). Os maiores teores de C e N do solo foram encontrados na camada mais superficial, valores médios de CT foram 13% menor na pastagem recuperada a 8 anos em comparação com a pastagem perene na camada de 0-20 cm. As diferentes áreas e a profundidade de amostragem diferenciaram-se de forma significativa para as variáveis estoque de C e N do solo. Os teores de Ca variaram significativamente entre as áreas, com os maiores valores ocorrendo na pastagem perene nos dois anos avaliados. Os teores de Mg diferiram entre as diferentes profundidades. A densidade do solo foi maior para o uso do solo com pastagem perene e pastagem recuperada, esses valores podem ter sido maiores devido ao preparo do solo para a implantação da pastagem, com a utilização de maquinário e também pelo pisoteio dos animais durante o pastejo, já o pH, diferiu estatisticamente entre os anos de avaliação e também entre as profundidades. Os atributos químicos, teores e estoques de C e N do solo sofreram alterações em função do uso do solo e período de avaliação. O uso das técnicas de análise multivariada, de agrupamento e de componentes principais foi eficiente para verificar as diferenças entre os ambientes estudados.

Palavras-chave: Fertilidade do solo; Agrossistemas; Zona Amazônica.

ABSTRACT

In the Amazon region, the conversion of primary forests into pasture areas for the development of beef cattle or agricultural activities is a common practice and that quickly, due to the management adopted, end up leading to the degradation of these areas. The objective of this work was to verify the influence of different soil uses in different periods of evaluation on the chemical attributes, total contents and carbon and nitrogen stocks of the soil. The experiment was carried out in the Technological Reference Unit (URT) in the municipality of Pindaré-Mirim/MA. The land use systems evaluated were: perennial pasture, pasture recovered for 8 years and secondary forest. In each land use system, trenches were opened in 2013 and 2019 and the layers 0.0-0.20 and 0.20-0.40 m were sampled. Soil fertility attributes and carbon (C) and nitrogen (N) contents and stocks were evaluated. The highest soil C and N contents were found in the uppermost layer, mean CT values were 13% lower in the 8-year recovered pasture compared to the perennial pasture in the 0-20 cm layer. The different areas and sampling depth differed significantly for the soil C and N stock variables. Ca contents varied significantly among the areas, with the highest values occurring in the perennial pasture in the two years evaluated. The Mg contents differed among the different depths. The soil density was higher for land use with perennial pasture and recovered pasture, these values may have been higher due to soil preparation for the implementation of the pasture, with the use of machinery and also by the trampling of animals during grazing, pH, differed statistically between the years of evaluation and also between the depths. The chemical attributes, contents and stocks of C and N of the soil suffered alterations as a function of land use and evaluation period. The use of multivariate analysis techniques, clustering and principal components was efficient to verify the differences between the studied environments.

Keywords: Soil Fertility; Agrosystems; Amazon Zone.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação dos estados pertencentes a Amazônia Legal brasileira.....	15
Figura 2	Representação do estado do Maranhão quanto a composição de seus biomas.....	16
Figura 3	Médias mensais dos dados históricos de temperatura (2020) e precipitação pluviométrica (2011 a 2020) da região de Pindaré-Mirim, obtidos juntos à Agência Nacional de Águas e ao Instituto Nacional de Meteorologia, respectivamente.....	23
Figura 4	Médias mensais dos dados históricos de temperatura (2020) e precipitação pluviométrica (2011 a 2020) da região de Pindaré-Mirim, obtidos juntos à Agência Nacional de Águas e ao Instituto Nacional de Meteorologia, respectivamente.....	30
Figura 5	Desdobramento da interação entre as áreas (Pastagem recuperada a 8 anos (P8), Pastagem perene (PP), Floresta secundária (FS) e os anos de avaliação (2013 e 2019), para os atributos Cálcio (a), Magnésio (b) e Nitrogênio total (c).....	32
Figura 6	Desdobramento da interação entre profundidades de coleta (0-20 e 20-40 cm) e os anos de avaliação (2013 e 2019), para os atributos pH (a) e Magnésio (b).....	33
Figura 7	Biplot entre a relação dos atributos químicos e Nitrogênio e Carbono do solo em área de floresta secundária (FS), pastagem perene (PP) e pastagem após 8 anos de reforma (P8) em diferentes camadas do solo (0-20 e 20-40 cm) e anos de avaliação (2013 e 2019) no município de Pindaré-Mirim, Maranhão, Brasil.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Caracterização granulométrica do solo nas diferentes áreas e camadas na região da Pindaré-Mirim, Maranhão, Brasil.....	24
Tabela 2	Histórico dos sistemas de uso da terra na propriedade rural em Pindaré-Mirim, Maranhão, Brasil.....	24
Tabela 3	Valores médios dos atributos químicos, Densidade, Nitrogênio e Carbono do solo de C e N em função das áreas estudadas (P8, PP e MN), das profundidades de coleta do solo (0-20 e 20-40 cm) e dos anos de amostragem (2013 e 2019) em Plintossolo Argilúvico Distrófico típico no município de Pindaré-Mirim, Maranhão, Brasil.....	27
Tabela 4	Coefficientes de pesos (auto vetores), autovalores e variância explicada por cada componente principal (CP1 e CP2) de atributos químicos e Nitrogênio e Carbono do solo em área de floresta secundária, pastagem perene e pastagem após 8 anos de reforma em diferentes camadas do solo (0-20 e 20-40 cm) e anos de avaliação (2013 e 2019) no município de Pindaré-Mirim, Maranhão, Brasil.....	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 Geral.....	14
2.2 Objetivos específicos	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Zona Amazônica Maranhense, delimitação e situação atual	14
3.3 Importância dos solos	17
3.4 Atributos químicos e estoque de carbono e nitrogênio do solo	19
3.4.1 Atributos químicos do solo	19
3.4.2 Estoques de carbono do solo	19
3.4.3 Estoque de nitrogênio do solo	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1 Localização e caracterização da área estudada	22
4.2 Coletas das amostras de solo.....	25
4.3 Análises.....	25
4.3.1 Composição granulométrica e atributos químicos	25
4.3.2 Teores e estoque de C e N no solo	26
4.5 Análises estatísticas dos dados.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1. Efeito das Interações	28
5.1.1. Áreas e Profundidades.....	28
5.1.2. Áreas e Ano de avaliação	30
5.1.3 Profundidades e Ano de avaliação	32
5.1.4.Efeito simples.....	34
5.2 Análise de Componentes principais e agrupamento	35
6. CONCLUSÃO	37

1 INTRODUÇÃO

O processo de degradação de pastagens é um fenômeno complexo que envolve causas e efeitos diversas, e que levam à gradativa diminuição da capacidade de suporte da pastagem e degradação do solo (DIAS-FILHO, 2011; ANDRADE, 2015). Este processo é caracterizado pela queda do vigor, da produção, da capacidade de retorno econômico e da qualidade das pastagens, assim como, pela dificuldade de superar a competição com pragas, doenças e invasoras, findando com a degradação avançada dos recursos naturais, em razão das práticas de manejos inadequados do solo e das pastagens (MACEDO; ARAÚJO, 2019; SOUSA, 2020).

Diante disso, a adoção dos sistemas integrados de produção vem como uma alternativa para recuperação de áreas com pastagem degradada, evitando ou diminuindo a abertura de novas áreas.

Na Mesorregião Oeste Maranhense, onde localiza-se o município de Pindaré-Mirim e em outras regiões da Amazônia, a conversão das florestas em áreas de pastagens para o desenvolvimento da pecuária de corte ou atividades agrícolas é uma prática comum, resultando em mudanças na quantidade e qualidade da biomassa aérea (FEARNSIDE; BARBOSA, 1998). E, devido ao manejo adotado, como as práticas de corte e queima da vegetação, tem levado a degradação destas áreas (VIANA, et al., 2016), ocorrendo uma expansão de cerca de 27% nas áreas destinadas às pastagens com manejo entre 2000 e 2018 (IBGE, 2020).

O uso e manejo inadequados do solo podem contribuir para a emissão de gases do efeito estufa, prejudicando o ambiente, trazendo problemas relacionados à sua sustentabilidade devido à degradação da matéria orgânica do solo, o que atinge negativamente os seus atributos físicos e químicos, bem como a biodiversidade (COSTA, et al., 2015).

De acordo com Rosa et al. (2014), nas pastagens cultivadas, ecossistemas alterados pela ação antrópica, o fluxo de carbono e nitrogênio pode ser modificado, o que pode levar a maiores emissões de gases de efeito estufa. Porém, quando as pastagens são manejadas adequadamente, as reservas de carbono e nitrogênio podem até exceder as da vegetação nativa, pois podem contribuir para aumentar os teores de C no solo, melhorando a sua qualidade (FERREIRA et al., 2018). Diferente de quando o manejo é inadequado, levando uma maior emissão, no caso das pastagens degradadas (FEARNSIDE; BARBOSA, 1998).

Os atributos químicos e físicos do solo têm sido amplamente adotados a fim de inferir

sobre a sustentabilidade de diferentes usos e sistemas de manejo, já que tais atributos apresentam potencial na detecção de alterações promovidas sobre a qualidade do solo (CARVALHO et al., 2015). Esses atributos podem afetar a qualidade do solo, portanto, pesquisas que buscam esclarecer a relação entre esses atributos e os componentes da produção da cultura são essenciais no momento da tomada de decisão quanto às práticas de manejo do solo (MONTANARI et al., 2015).

A qualidade do solo é um componente chave para a avaliação da sustentabilidade ambiental tanto de ecossistemas naturais quanto antropogênicos, e para avaliar os efeitos do uso da terra, os atributos químicos do solo podem ser indicadores, como os macro e micronutrientes disponíveis, acidez, CTC e o carbono orgânico no solo (CHERUBIN et al., 2015). O conhecimento sobre os atributos químicos do solo e os teores de carbono (C) e nitrogênio (N), provocadas pelos diferentes sistemas de usos, é essencial para melhorar a qualidade do solo. Uma vez que, identificada a característica química do solo, é possível traçar estratégias para manejar o solo de forma adequada para o uso agrícola.

De acordo com Milindro et al. (2016), a avaliação dos atributos químicos de um solo torna-se necessária quando se deseja conhecer e identificar a real condição dos constituintes químicos da fertilidade presente em uma área. Sousa (2020), observou que os atributos químicos do solo foram os principais responsáveis em diferir o manejo da pastagem em ILPF em relação a mata nativa e área de capoeira. A qualidade química mostra que as modificações desses atributos são decorrentes dos diferentes sistemas de manejo agrícola (FREITAS, 2015).

O equilíbrio dos ciclos do C e do N é alterado, quando as entradas de C são inferiores as saídas, e isso gera redução da quantidade e alterações da qualidade da matéria orgânica do solo (BARROS, 2014). Partindo deste princípio, hipotetiza-se que a substituição de ecossistemas naturais por sistemas agrícolas provoca alterações sobre a fertilidade e os teores e estoque de C e N do solo.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Verificar a influência dos diferentes usos do solo em diferentes períodos de avaliação sobre os atributos químicos, teores totais e estoque de carbono e nitrogênio do solo.

2.2 Objetivos específicos

- Estimar as mudanças nas características químicas, bem como nos teores e estoques de carbono e nitrogênio do solo.
- Avaliar comparativamente, as alterações nos atributos químicos, teores totais e estoque de carbono e nitrogênio do solo, mediante a adoção de técnicas de análise estatística multivariada.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

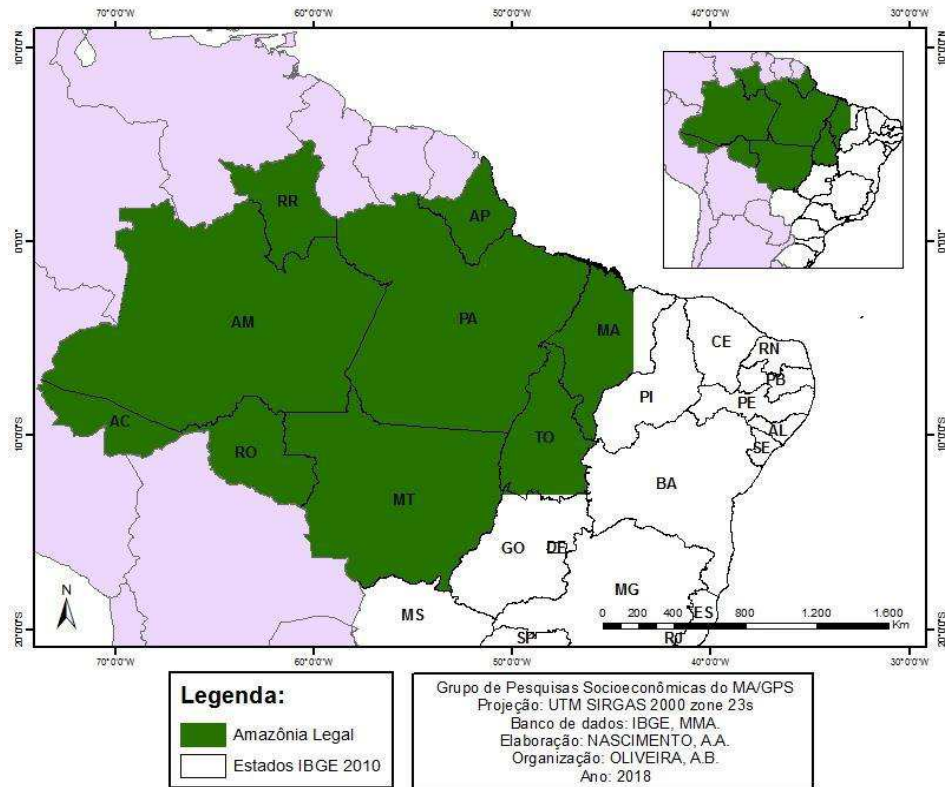
3.1 Zona Amazônica Maranhense

O território amazônico desempenha inúmeros serviços ambientais em prol da sobrevivência da vida no planeta, além de apresentar papel importante na conservação da diversidade genética de inúmeras espécies biológicas, contribuindo na regulação do clima e nos ciclos biogeoquímicos (PERES et al., 2010; RODRIGUES et al., 2012). A Amazônia constitui-se da região geográfica na qual está subdividida entre os países Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Guiana, Peru, Suriname e Venezuela, além de uma colônia, a Guiana Francesa. Ao todo, soma-se cerca de 7,3 milhões de km² o território denominado de Bacia Amazônica (GUTIÉRREZ et al., 2004).

No Brasil, no que diz respeito ao território Amazônico, algumas medidas foram tomadas em prol da preservação da mesma. Em janeiro de 1953 foi estabelecida por meio da Lei N° 1.806 a Amazônia Legal, que é constituída pela área ocupada pelos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins, Mato Grosso bem como, por 181 Municípios do Estado do

Maranhão (IBGE, 2020), (Figura 1), , que equivale a 61% de todo o território nacional (BRASIL, 1953).

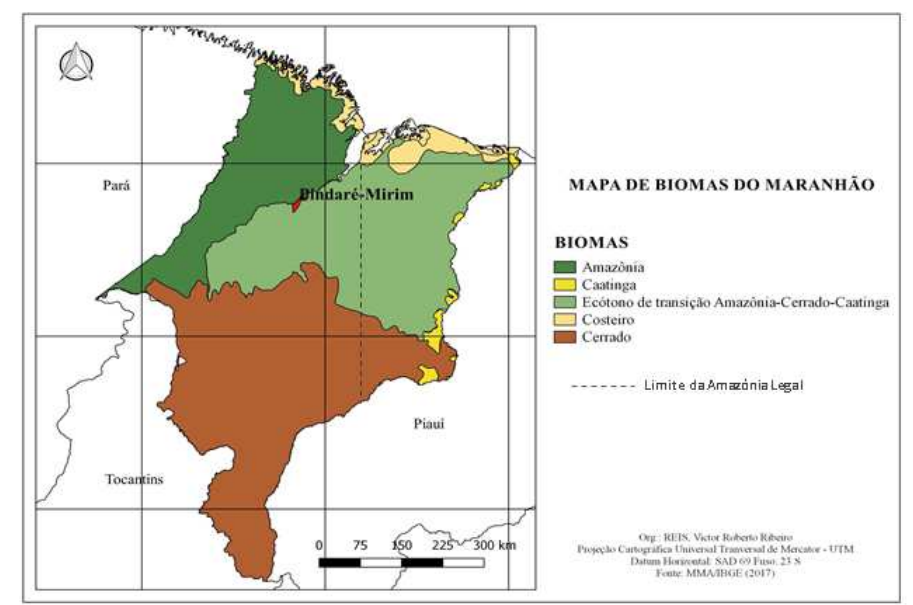
Figura 1: Representação dos estados pertencentes a Amazônia Legal brasileira.



Fonte: OLIVEIRA et al. (2018)

É perceptível a participação do estado do Maranhão na composição do território Amazônico. Estando a região amazônica presente de forma transicional em três regiões brasileiras (Norte, Nordeste e Centro-Oeste), pode-se perceber que a porção amazônica maranhense equivale a 80% da superfície territorial do estado, ocupando assim cerca de 264.000 km², o que abrange 180 dos 217 municípios do mesmo (MESQUITA et al., 2015). O estado do Maranhão apresenta características importantes na composição de seus biomas, por se encontrar em uma região transicional entre a região Nordeste e a região Amazônica, é possível identificar no território do estado os biomas de: Costeiro, Cerrado, Amazônia e Caatinga (Figura 2). Destas, podemos localizar a região Amazônica Maranhense na parte ocidental do estado, entre as coordenadas: 0°47'33" e 05°37'02" de latitude Sul e 43°37'54 e 48°53'05" de longitude Oeste.

Figura 2 -Representação do estado do Maranhão quanto a composição de seus biomas.



Fonte: MMA/IBGE (2017).

Há anos a Amazônia maranhense é afetada por desmatamentos, retiradas de madeira de forma ilegal, mineração, produção de carvão, dentre outros. Segundo a estimativa de desmatamento prevista para o ano de 2019, organizado e desenvolvido pelo Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélites (PRODES), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), houve um aumento na taxa de áreas degradadas em cerca de 29,54% quando em comparação com 2018, que havia apresentado 7.536 km² (INPE, 2021).

A região amazônica como um todo concentra a maior parte de área de assentamentos do país (87,6%), sendo que dentre esses, 375 projetos desses projetos são oriundos do Maranhão, ocupando cerca de 2,2 milhões de hectares, com 57,3 mil famílias assentadas (INCRA, 2017). Inicialmente, 1,9 milhões de hectares pertencentes a Amazônia Maranhense era coberta por florestas, todavia, mais de 87% dessas áreas já se encontram desmatadas (ALENCAR et al., 2016). A cobertura vegetal amazônica no estado do Maranhão já perdeu cerca de 75% de sua cobertura original, do restante, aproximadamente 70% estão situadas dentro de áreas de proteção que são representadas principalmente por território indígena (CELENTANO et al., 2017).

O aumento das áreas com pastagens cultivadas na Amazônia historicamente pode ser explicado pela expansão da pecuária de corte desenvolvida rapidamente a partir de meados da década de 1960, com a abertura de rodovias, dentre as quais a Belém-Brasília (BR-10), e políticas públicas de incentivos fiscais para a produção de alimentos, que tornavam a região amazônica a

nova fronteira agrícola do país (DIAS-FILHO, 2014). Cerca de 62% da área desmatada da Amazônia brasileira no ano de 2014 foi utilizada com pastagens plantadas (INPE, 2016).

3.2 Importância dos solos

Com o aumento da população e da renda, a estimativa de aumento da demanda de consumo de diversas culturas é de 70% até 2050, durante o último século a demanda por comida já aumentou bastante e foi suprida por uma combinação de expansão de áreas agrícolas e intensificação da produção em áreas já produtoras (JANKOWSKI et al., 2018). Os solos são suporte para a vida na terra, pois tanto são fonte primária de comida, quanto de recursos, regulação climática e o substrato que a vida terrestre se mantém (KEENOR et al., 2021). Sua importância já foi reconhecida pela Organização das Nações Unidas como um importante recurso para sustento da vida humana e de suas futuras gerações (STOCKMANN et al., 2015).

Essa proclamação da importância dos solos agrega ao esforço de informar as pessoas a importância que o solo tem não somente para a produção agrícola, mas também no fornecimento de diversos serviços ecossistêmicos e os impactos nas mudanças climáticas (STOCKMANN et al., 2015). Os bens e serviços que os solos oferecem além da produção de comida e outros recursos, são a filtragem de água, redução de enchentes, regulação climática, sequestro e armazenamento de carbono, sendo um solo saudável capaz de sustentar vida e ainda realizar esses serviços ecossistêmicos (KEENOR et al., 2021).

A manutenção desses serviços ambientais só pode continuar sendo executada caso as condições de solo estejam adequadas, e as condições de solo são, em sua maior parte, guiadas pela matéria orgânica presente (HATFIELD et al., 2017), que se relaciona a biodiversidade do solo, influencia na retenção de água, na CTC, é a maior fonte de nutrientes disponíveis para as plantas e melhora a estrutura do solo. Devida a matéria orgânica se encontrar perto da superfície, a remoção dessa camada afeta diretamente a capacidade do solo de prover serviços ecossistêmicos (GODOI et al., 2021).

Devido à demanda futura de alimentos aliada a pressão para a diminuição do desmatamento, irá aumentar a intensificação das áreas cultivadas, com maior uso de fertilizantes, maior mecanização, irrigação, uso de organismos geneticamente modificados e diversificação e rotação de culturas (JANKOWSKI et al., 2018). A prosperidade econômica de diversos países é

ligada intrinsecamente a saúde dos solos, mesmo que a maioria das pessoas veja o solo apenas como sujeira e um inconveniente, sem saber que os solos são um ecossistema dinâmico, que provê bens e serviços ecossistêmicos, essa falta de conhecimento contribui para a degradação do maior e não renovável recurso do planeta (KEENOR et al., 2021).

A degradação da qualidade do solo afeta uma função vital que é sua participação no ciclo da água, funções de filtragem, armazenamento e absorção, que como resultado aumenta a deposição de sedimentos na superfície das águas e poluição dessas águas com excesso de nutrientes e assoreamento e a diminuição da capacidade de armazenamento de água no solo aumenta o risco de enchentes (GODOI et al., 2021). Essa degradação tem intenso impacto econômico, a estimativa é que ela cause no Brasil, uma perda de 8 milhões de hectares anualmente, o que demanda um grande investimento na renovação e recuperação dessas áreas, com um custo estimado de 100 a 200 dólares por hectare, o que chega a uma média de 1 bilhão de dólares gastos (NESPER et al., 2015).

A degradação de pastos é marcada por uma perda de produtividade animal devido a fatores como diminuição da biomassa produzida pelas plantas, colonização da área por espécies não palatáveis pelos animais e gera também áreas do solo não cobertas por nenhuma planta, compactação do solo e perda da biodiversidade de microrganismos (NESPER et al., 2015). Dentre os motivos possíveis da causa dessa degradação, temos o excesso de pastejo que diminui a cobertura vegetal e causa danos diretos devido ao pisoteio constante (LIU, SCHLEUSS e KEZYAKOV, 2017).

O pastoreio de herbívoros como, bois, ovelhas e carneiros diminui a quantidade de material orgânico disponível para a formação dos estoques de carbono orgânico no solo devido ao consumo da biomassa presente na superfície (SCHULZ et al., 2016). Dependendo do manejo, pode alterar a diversidade das espécies, pois pode influenciar tanto o crescimento de plantas com baixa produtividade primária, quanto plantas altamente produtivas, além de influenciar no crescimento de raízes e a consequente deposição de carbono no solo, dependendo da intensidade do pastejo (SCHULZ et al., 2016).

Solos de pastagens degradadas mostraram conseguir armazenar menor quantidade de carbono do que solos de pastagens plenamente produtivas, e o excesso de pastejo nessas áreas, também diminuem a disponibilidade de nitrogênio e fósforo, que são vistas como a principal causa de degradação dessas áreas (NESPER et al., 2015).

3.3 Atributos químicos e dinâmica do carbono e nitrogênio do solo

3.3.1 Atributos químicos do solo

Existem diversas interrelações entre atributos do solo que controlam os processos e os aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço. As modificações nessas relações podem alterar de forma direta sua estrutura e sua fertilidade, com reflexos nos agroecossistemas, podendo promover prejuízos à qualidade do solo e à produtividade das culturas (CUNHA et al., 2012; CARVALHO et al., 2015).

Os atributos químicos do solo têm sido adotados para realização de inferências relativas à sustentabilidade de diferentes sistemas de uso e manejo, pois tais atributos apresentam potencialidade em detectar alterações promovidas na qualidade do solo (CARVALHO et al., 2015). Entre os atributos químicos, destacam-se pH, cálcio, fósforo e alumínio (RODRIGUES et al., 2017). As alterações nos indicadores químicos são resultado do desenvolvimento dos sistemas e ocorrem em função do tempo e da condução de cada sistema de uso e manejo do solo (MILINDRO et al., 2016).

3.3.2 Dinâmica do carbono do solo

A quantidade de carbono orgânico no solo é o indicador mais utilizado devido aos diferentes papéis que realiza nas funções do solo, como melhoria da fertilidade, produtividade e também contribui para a segurança alimentar da população (STOCKMANN et al., 2015). É um componente tão importante dentro do ciclo de carbono global que mesmo com pequenas alterações em determinada área podem atingir vários locais do mundo e causar alterações significativas nas concentrações de CO₂ atmosférico (WANG et al., 2018).

Os estoques de carbono (C) no solo dependem da quantidade que é absorvida, a quantidade que é perdida e as condições ambientais envolvidas, em uma escala continental e global esses estoques são fortemente controlados por fatores climáticos, principalmente aumentando em ambientes de baixa temperatura e alta precipitação (HENGL et al., 2015; GOMES et al., 2019). A textura do solo também influencia os estoques de carbono, principalmente solos mais argilosos devido a maior área de interação que essas partículas têm, mas a vegetação afeta muito mais, pois

é uma fonte de carbono devido a decomposição do material orgânico no solo, principalmente nas camadas superficiais (GOMES et al., 2019).

O carbono encontrado em terras cultiváveis é o que mais influencia nos ecossistemas, pois ele pode ser diretamente alterado por ações antropogênicas, como o manejo inadequado do solo, o uso de fertilizantes, irrigação e, de forma indireta, pode ser afetada por fatores ambientais, como a mudança climática, deposição de nitrogênio no solo e processos de erosão, devido a tantos fatores, a presença de carbono em solos agrícolas pode mudar tão rapidamente (WANG et al., 2018). Para ter sucesso na sustentabilidade agrícola de solos mais intemperizados, é necessária a presença de um bom manejo da área, pois são bastante afetados pela dinâmica da matéria orgânica do solo, já que ela é a principal fonte de nutrientes natural desses sistemas (RODRIGUES et al., 2017).

Os graus de degradação de uma paisagem podem ocorrer por diversos fatores e como consequência há uma diminuição na capacidade de retenção de água pelo solo, menor estabilidade do solo, redução de níveis de fertilidade, redução nos estoques de C e nitrogênio (N) e uma intensificação de processos de erosão do solo (MACHADO et al., 2019). As mudanças nas quantidades de matéria orgânica impactam de forma direta e indireta as características químicas do solo. Sendo assim, uma mudança brusca da vegetação nativa para pastos muda essa dinâmica da matéria orgânica e o ciclo dos nutrientes, principalmente no bioma amazônico, reduzindo a capacidade de produção do solo e a produtividade, dependendo do manejo empregado (RODRIGUES et al., 2017).

As perdas de C resultante da degradação do solo podem ser recuperadas por alguns processos, sendo um deles o estabelecimento de florestas secundárias, que aumentam a riqueza de espécies presentes, além de mais raízes no solo, aumenta a produção de serrapilheira, que contribuem para os estoques de nutrientes e C, principalmente com o uso de leguminosas, que devido a sua associação com bactérias fixadoras de N conseguem produzir grandes quantidades de biomassa (MACHADO et al., 2015).

A maioria dos estudos sobre o C no solo é voltada para a influência que diferentes práticas de manejo podem ter nos estoques de carbono e nitrogênio, mas também existem formas como o entendimento da estabilidade do C no solo, estudos sobre matéria orgânica, como a presença de C em substâncias húmicas e associado a componentes do solo como areia, silte e argila, já que eles são sensíveis o suficiente para detectar mudanças devido ao manejo do solo (MACHADO et al., 2019).

3.3.3 Dinâmica do nitrogênio do solo

O nitrogênio (N) é geralmente o nutriente mais limitante para o crescimento das plantas. Em lavouras apenas um terço do N absorvido por plantas não leguminosas vem de fertilizantes enquanto a maior parte vem do solo (LI et al., 2016). Este é diretamente relacionado aos estoques de C devido a dinâmica de suas moléculas (ELBASIOUNY e ELBEHIRY, 2019) e apresenta papéis cruciais no rendimento das lavouras, pois estabelece e mantém a capacidade fotossintética e a capacidade de absorção de nutrientes pelas plantas (DU et al., 2016). As plantas utilizam diversas estratégias para adquirir N de forma mais eficiente devido a importância desse nutriente para elas (DUAN et al., 2017).

A relação entre C e N implica que ambos têm tendências similares de acúmulo, degradação e transporte subsuperficial, além de seguirem padrões similares (SHARMA et al., 2017). O aumento do N no sistema pode ter impactos como aumento da eficiência fotossintética, aumento da biomassa foliar e, conseqüentemente, da biomassa do ecossistema, mas também pode diminuir a distribuição de raízes mais finas, diminuir a taxa de respiração, aumento da saturação de nitrogênio no solo, o que pode causar também a lixiviação de outros nutrientes principalmente para ambientes aquáticos (ELBASIOUNY e ELBEHIRY, 2019).

Diversos estudos mostram que o nitrogênio mineral e o orgânico solúvel são dominantes na solução do solo, tanto em ecossistemas com baixa ou alta produtividade e o orgânico tem um importante papel nos processos ecológicos, incluindo mineralização, lixiviação, disponibilização para as plantas e é um indicador de mudanças na fertilização do solo (DUAN et al., 2017). Cerca de 90% do estoque de nitrogênio no solo está armazenado em forma orgânica e apenas 10% está em forma inorgânica (ELBASIOUNY e ELBEHIRY, 2019).

O nitrogênio orgânico representa mais de 90% do nitrogênio total disponível no solo e sua disponibilidade tem impactos significativos em processos do solo, como a retenção desse nitrogênio, mineralização e o próprio suprimento desse nitrogênio (WU et al., 2019). A mineralização do N no solo é um fator importante para estudos ecossistêmicos do ciclo do nutriente no solo e da capacidade do solo de fornecer o nitrogênio para as culturas. Sua estimativa mais assertiva no solo influencia no manejo apropriado do N no solo, o que aumenta a produtividade das culturas e minimiza os impactos do excesso de nitrogênio no ambiente (LI et al., 2016).

Os microrganismos do solo têm um papel essencial nas transformações do nitrogênio, dessa forma influenciando na disponibilidade desse nutriente, esses processos de transformações são tão importantes devido à alta demanda pelo nutriente que os microrganismos e plantas têm quando comparamos com outros nutrientes essenciais (YANG et al., 2016).

Pequenas moléculas do nitrogênio orgânico podem ser diretamente absorvidas pelas plantas, como os aminoácidos, mas a maioria deve sofrer um processo de mineralização antes de ser absorvida pela cultura e tanto o nitrogênio orgânico como o mineral podem ser utilizados como forma de medida para determinarmos taxas de mineralização e imobilização do nitrogênio no solo (WU et al., 2019).

Práticas de manejo levam a mudanças lentas no estoque total de nitrogênio no solo, devido a ser um fator tão limitante e estar tão ligado ao aumento de carbono no solo, tentativas de recuperação do solo devem levar em consideração a adição de mais nitrogênio no sistema (ELBASIOUNY e ELBEHIRY, 2019).

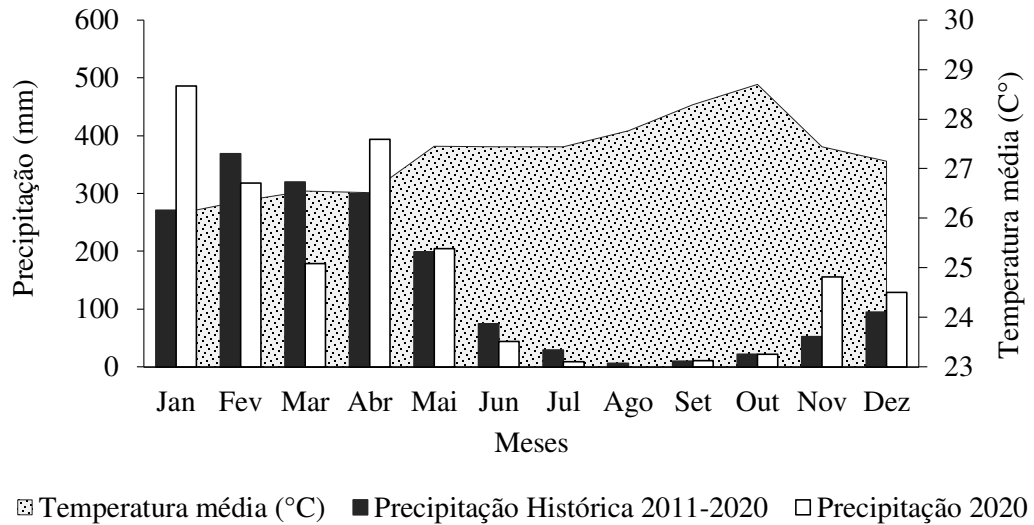
Sendo assim, um manejo eficaz do nitrogênio envolve uma série de fatores, como a taxa de aplicação, a fonte do nitrogênio, a época de aplicação, método de aplicação. Práticas relacionadas para disponibilizar o nitrogênio nos períodos que a planta mais tem demanda pelo nutriente e minimização dos impactos negativos no meio ambiente, mas a aplicação da quantidade aplicada pode melhorar a eficiência do uso do nutriente, mesmo que vários fatores possam afetar esse processo (YANG et al., 2020).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização da área estudada

As amostras de solo foram coletadas na Unidade de Referência Tecnológica (URT) da Embrapa Cocais e Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) no município de Pindaré-mirim/MA. Segundo a classificação de Köppen o clima da região é do tipo AW com inverno seco, a temperatura média anual de 26°C a precipitação média anual de 2000 mm (ALVARES et al., 2014; MARANHÃO, 2013). Os dados climáticos da região são apresentados na (Figura 3), obtidos junto à Agência Nacional de Águas e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Figura 3. Médias mensais dos dados históricos de temperatura (2020) e precipitação pluviométrica (2011 a 2020) da região de Pindaré-Mirim, obtidos juntos à Agência Nacional de Águas e ao Instituto Nacional de Meteorologia, respectivamente.



Fonte: ANA; INMET, 2021.

O solo da URT foi classificado como Plintossolo Argilúvico (SANTOS et al., 2018), de textura média (Tabela 1), originário dos sedimentos da formação Itapecuru e formado por arenitos finos (MARANHÃO, 2013). O relevo apresenta variações de suave-ondulado a ondulado e recoberto por Floresta Ombrófila associada a vegetação secundária da floresta, com predomínio de palmeira babaçu (*Attalea speciosa* Mart.) (Mata dos Cocais), dominante na região Meio-Norte do Estado do Maranhão (MARANHÃO, 2013).

Tabela 1 - Caracterização granulométrica do solo nas diferentes áreas e camadas na região da Pindaré-Mirim, Maranhão, Brasil.

Áreas	Camada (m)	Areia	Silte	Argila
		-----g kg ⁻¹ -----		
FS	0,00-0,20	746,65	135,25	118,10
	0,20-0,40	707,20	124,25	168,60
PP	0,00-0,20	579,30	343,00	77,80
	0,20-0,40	616,05	260,40	123,65
P8	0,00-0,20	741,90	120,75	137,30
	0,20-0,40	723,05	97,30	179,70

Nota. FS: Floresta secundária, PP: Pastagem perene e P8: Pastagem perene recuperada a oito anos.

4.2 Sistemas avaliados e histórico de uso

As áreas avaliadas foram: Pastagem perene (P), Pastagem recuperada através do consórcio de milho + *Urochloa brizantha* cv. Marandu há 8 anos (P8) e Floresta secundária (FS). Em relação aos históricos e as características de cada sistema estes são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Histórico dos sistemas de uso da terra na propriedade rural em Pindaré-Mirim, Maranhão, Brasil.

Áreas	Histórico da área
Floresta secundária (FS)	Área representada pela floresta Amazônica Maranhense transicional para a floresta de babaçu, com grande expressão da vegetação secundária, sendo classificada como Floresta Ombrófila Aberta, com predomínio de palmeiras de babaçu (<i>Attalea speciosa</i> Mart.) (Mata dos Cocais) (MARANHÃO, 2013; REIS et al., 2018). Além da palmeira de babaçu são encontradas também palmeira de açai (<i>Euterpe Oleracea</i> Mart.), bacaba (<i>Oenocarpus spp.</i>), andiroba (<i>Carapa spp.</i>), jatobá (<i>Hymenaea spp.</i>), embaúba (<i>Cecropia spp.</i>) (RIOS, 2001). Essa área foi empregada como referência das condições naturais do solo devido ao histórico de preservação com idade média superior a 50 anos.

Pastagem perene (PP)	Área de pastagem com capim-jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i> (Ness) Stapf) implantada por volta de 1970 permanecendo até 1999, posteriormente, renovação da pastagem (sem qualquer correção e adubação do solo) com <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu empregando roçagem, queima dos restos vegetais e semeadura a lanço. A Pastagem é empregada para pastejo contínuo de bovinos de corte em regime extensivo com taxa de lotação de cerca de 0,7 UA/ha/ano, realizando-se periodicamente roçagem mecanizada a fim de conter a regeneração natural. Em relação ao nível de degradação da pastagem foi realizada uma avaliação visual <i>in loco</i> em 2020 e classificou-se como moderado (DIAS-FILHO, 2011).
Pastagem perene recuperada há oito anos (P8)	Área como histórico inicial igual a PP, recuperada em 2012 em sistemas de integração lavoura pecuária (ILP), empregando-se a remoção da vegetação com máquina Pá carregadeira, gradagem em área total e correção do solo (conforme a necessidade), posteriormente, semeadura mecanizada de milho DKB 175+brachiaria a qual as sementes da forrageira foram misturadas ao adubo no momento do plantio, com adubação de 200 kg ha ⁻¹ do fertilizante formulado 08-20-20 + Zn em fundação e 100 kg ha ⁻¹ de ureia em cobertura. A pastagem formada foi empregada para pastejo rotacionado de bovinos de corte com taxa de lotação de 1,0 UA/ha/ano. Em relação ao nível de degradação das pastagens foi realizada uma avaliação visual <i>in loco</i> em 2020 e classificou-se como forte (DIAS-FILHO, 2011).

4.3 Coletas das amostras de solo

Em cada sistema de uso do solo foram abertas três trincheiras em 2013 e cinco trincheiras em 2019 com dimensões de 1 x 1 x 1 m, dispostas aleatoriamente nas áreas. Em cada trincheira foram coletadas em duas paredes opostas amostras indeformadas utilizando-se coletor Uhland com anéis volumétricos de aço inox de volume conhecido compreendendo as camadas de 0,0-0,20 e 0,20-0,40m para determinação da densidade do solo (TEIXEIRA et al, 2017), utilizado nos cálculos de estoque de carbono (C) e nitrogênio (N). Para as determinações de C e N e atributos químicos do solo foram coletadas amostras deformadas em 3 pontos equidistantes de 10 metros em relação a cada parede da trincheira, com auxílio de trado tipo holandês, totalizando 12 amostras simples para compor uma amostra representativa nas mesmas camadas anteriormente citadas.

4.4 Análises

4.4.1 Composição granulométrica e atributos químicos

As amostras de solo deformadas foram secas ao ar e caracterizada quimicamente de acordo com metodologias descritas por Teixeira et al. (2017). O pH em água foi determinado eletronicamente por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão de solo e água na proporção 1:2,5. Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹. O cálcio e magnésio foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e a determinação do Al trocável feita por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹. Fósforo disponível, potássio foram extraídos com solução Mehlich1 (0,05 mol L⁻¹ de HCl + 0,0125 mol L⁻¹ de H₂SO₄); o fósforo foi determinado espectroscopicamente; potássio foi determinado por fotometria de emissão de chama.

4.4.2 Teores e estoque de C e N no solo

Os teores de C e N foram determinados por combustão seca, em amostras de terra fina seca ao ar, moídas em um moinho de bolas até passar em uma peneira de 100 mesh (0,150 µm). Posteriormente foram analisadas utilizando o Analisador Elementar (CN). A partir dos teores totais de C e N nas amostras de solo foram calculados os estoques de C e N (Mg ha⁻¹), de acordo com a eq. (1).

$$\text{Estoque} = (\text{teor} \times \text{densidade} \times \text{espessura}) / 10 \quad (1)$$

Onde o “teor” é o teor do elemento (C ou N) no solo em %, densidade do solo em g cm⁻³ e “espessura” é a espessura da camada para a qual o estoque está sendo calculado, medida em cm.

Afim de comparar adequadamente os estoques calculados entre as áreas foi necessário fazer comparações entre massas iguais de solo, ajustando os valores das camadas utilizadas nos cálculos (ELLERT; BETTANY, 1995), sendo feito o ajuste pela equação 2:

$$\text{Profundidade corrigida (cm)} = \frac{\text{DMP ref}}{\text{DMP cor}} \times \text{Prof cor} \quad (2)$$

Onde DMPref representa a densidade média ponderada da área de referência (g cm⁻³), DMP cor é a densidade média ponderada da área que está sendo corrigida (g cm⁻³) e Profcor é a profundidade original da camada que está sendo corrigida (cm).

4.5 Análises estatísticas dos dados

O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado, com 3 tratamentos (sistemas de uso da terra), 2 anos de avaliações (2013 e 2019) e considerando 3 (primeiro ano de coleta) e 5 (segundo ano de coleta) unidades amostrais coletadas ao acaso (independentes) como réplicas ou parcelas (pseudoréplicas) (FERREIRA et al., 2012).

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (Barlett) a 5% de significância, quando atendidos esses pressupostos, submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($P \leq 0,05$) e quando constatada diferenças, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Como análises complementares foram aplicados métodos multivariados através da análise de agrupamento não hierárquica pelo método de Tocher e componentes principais. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software R 4.1 (R CORE TEAM, 2021).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados na Tabela 3 os resultados dos atributos químicos, densidade, C e N entre os fatores analisados (áreas, profundidade e ano). Foram observados que os teores de C, N e estoque de carbono total (EstCT) e estoque de nitrogênio total (EstNT) apresentaram interação entre áreas e profundidades (fatores A e B); Ca, Mg e N apresentaram para áreas e anos de avaliação (fatores A e C), pH e Mg para anos de avaliação e profundidades (fatores C e B) e P, K e Ds efeitos simples.

Tabela 3. Valores médios dos atributos químicos, Densidade, Nitrogênio e Carbono do solo em função das áreas estudadas (P8, PP e MN), das profundidades de coleta do solo (0-20 e 20-40 cm) e dos anos de amostragem (2013 e 2019) em Plintossolo Argilúvico típico no município de Pindaré-Mirim, Maranhão, Brasil.

Fatores	pH	P	K	Ca	Mg	C	N	Ds	EstCT	EstNT
Áreas (A)		mg·dm ⁻³		Cmol·dm ⁻³		g·kg ⁻¹		g·cm ⁻³	Mg·ha ⁻¹	
P8 (3)	4,88 a	1,06 a	0,25 b	1,49b	3,17 a	6,24 a	0,63b	1,41 a	8,16 a	1,03 a
PP (2)	4,82 a	1,34 a	0,35 a	2,72 a	4,22 a	6,29 a	0,80 a	1,37 ab	8,65 a	1,11 a
FS (1)	4,75 a	1,56 a	0,20 b	1,50 b	2,31 a	6,64 a	0,74ab	1,34 b	8,36 a	0,84 b
Erro padrão	0,0648	0,1605	0,0207	0,2765	0,5658	0,2177	0,0264	0,0147	0,3081	0,0382
Valor-P	0,3804	0,1672	0,0055	0,0319	0,1346	0,6069	0,0108	0,03773	0,5645	0,0063
Profundidade (B)										
0-20 cm	4,92 a	1,45 a	0,27 a	2,09 a	3,32 a	7,89 a	0,84 a	1,36 a	10,62 a	1,14 a

20-40 cm	4,72 b	1,19 b	0,26 a	1,72 b	3,13 a	4,46 b	0,61 b	1,38 a	6,15 b	0,85 b
Erro padrão	0,0246	0,0677	0,0187	0,0650	0,1783	0,0708	0,01 81	0,0133	0,0937	0,0227
Valor-P	0,3804	0,0345	0,6782	0,0063	0,4808	0,0000	0,0001	0,2004	0,0000	0,0001
Anos (C)										
2013	4,83 a	1,69 a	0,32 a	2,16 a	3,83 a	6,89 a	0,74 a	1,34 b	9,08 a	0,98 a
2019	4,80 a	1,47 a	0,22 b	1,65 b	2,64 b	5,46 b	0,71 a	1,41 a	7,70 b	1,01 a
Erro padrão	0,0416	0,1115	0,0199	0,0852	0,2239	0,2646	0,0280	0,0174	0,3075	0,0387
Valor-P	0,6151	0,0795	0,0038	0,0011	0,0029	0,0024	0,5091	0,0134	0,0080	0,6236
A × B										
Erro padrão	0,0721	0,1173	0,0325	0,1126	0,3087	0,1227	0,0313	0,0231	0,1623	0,0392
Valor-P	0,6556	0,4868	0,5545	0,1120	0,5869	0,0007	0,0182	0,1442	0,0028	0,0111
A × C										
Erro padrão	0,0721	0,1577	0,0345	0,1475	0,3877	0,4583	0,0484	0,0301	0,5325	0,0670
Valor-P	0,4309	0,2221	0,7111	0,0053	0,0094	0,1294	0,0321	0,6672	0,2219	0,0581
C × B										
Erro padrão	0,0589	0,1931	0,0281	0,1205	0,3167	0,3742	0,0395	0,0246	0,4348	0,0547
Valor-P	0,0079	0,1065	0,7840	0,6386	0,0463	0,1040	0,3959	0,2560	0,0853	0,4384

Letras iguais e minúsculas na coluna, para cada fator e variável, não diferem significativamente ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. Interações entre fatores A × B × C, não apresentaram diferenças ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

5.1. Efeito das Interações

5.1.1. Áreas e Profundidades

As diferentes áreas e a profundidade de amostragem diferenciaram-se de forma significativa ($P < 0,05$) para os teores e estoque de C e N do solo. Os maiores teores de C e N do solo foram encontrados na camada mais superficial (0-20 cm) (Figura 4a e b). Conforme Sales et al. (2018), a diminuição dos teores de CT em profundidade demonstra a contribuição mais efetiva das entradas de C na camada mais superficial, possivelmente devido a deposição de matéria orgânica e maior presença de raízes nesta camada de solo. Conforme Rosa (2018), os padrões de distribuições em profundidade das raízes finas e grossas ocorre a maior concentração de biomassa radicular na camada de 0-10 cm, o conteúdo de matéria orgânica diminuiu com a profundidade independentemente do tipo de uso da terra (CASTILHO et al., 2016).

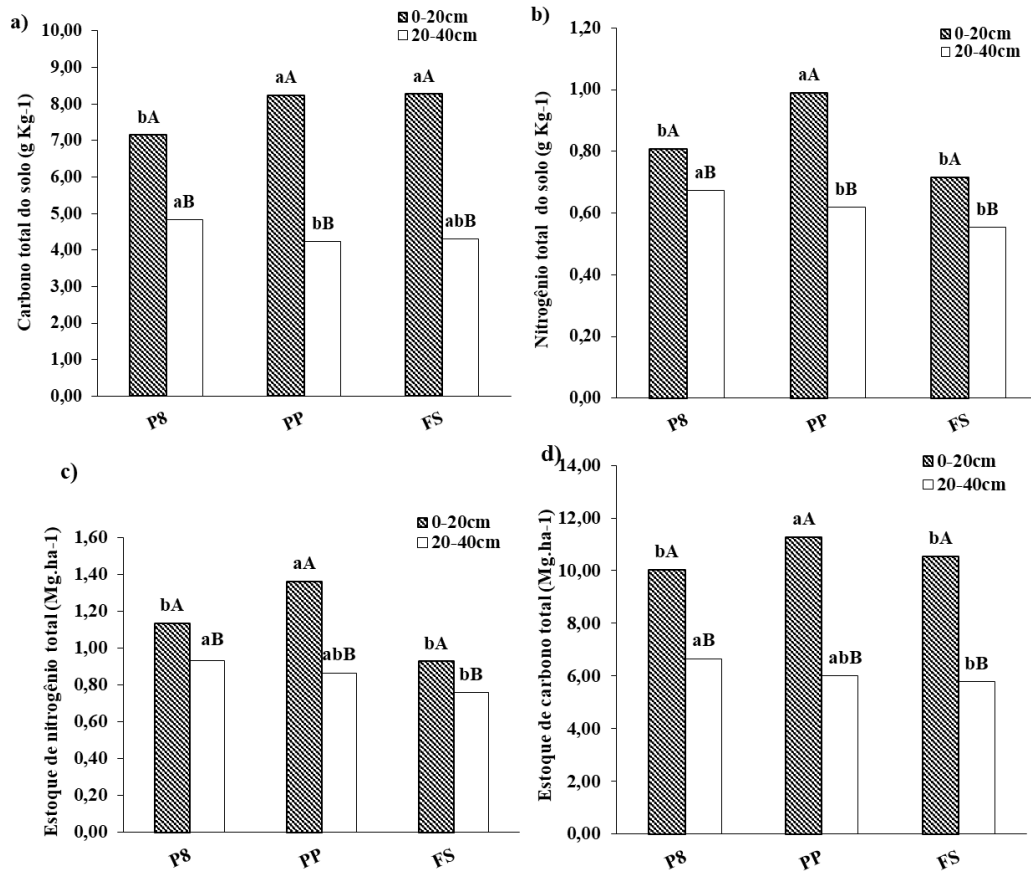
Observou-se que na camada 0-20 cm os valores médios de CT foram 13% menor na pastagem recuperada a 8 anos em comparação com a floresta secundária. De acordo com Rosset et al. (2016) e Assunção et al. (2019), em área de mata devido ao aporte constante de resíduos vegetais sobre a superfície do solo e também à não perturbação do sistema, encontra-se maiores teores e

estoques de COT, diferindo de ambientes manejados, onde ocorre a mobilização do solo em determinados períodos de tempos no momento da modificação dos sistemas de manejo, além do pastejo intensivo (TROIAN, 2020).

Conforme Siqueira Neto et al. (2009), a pastagem, por ser uma área de baixa produtividade, a ausência de manejo e o pastoreio intensivo causaram pouco aporte de resíduos vegetais e também redução na distribuição do sistema radicular, que justificam os baixos teores de carbono no solo, resultados semelhantes foram verificados por Campos (2016), que encontrou menores valores de CT em pastagens, enquanto que Guidolini et al. (2018) encontraram os valores mais elevados em condições de mata nativa. Os teores de N total na camada mais superficial foram maiores no ambiente com pastagem perene, em relação aos demais ambientes (Figura 4b) esses resultados podem ser explicados pela composição química do material depositado, decorrente das espécies vegetais encontradas em cada sistema (RIBEIRO et al., 2019).

Os resultados dos estoques de carbono e nitrogênio foram influenciados pela profundidade, visto que, o teor de carbono e nitrogênio diminuiu com o aumento da profundidade em todos os ambientes, resultados análogos foram encontrados por Barros e Chaves (2019). O maior estoque de carbono total foi verificado para o ambiente de pastagem perene quando comparado a área de floresta, este fato ocorre devido ao maior acúmulo de matéria orgânica à superfície devido ao sistema radicular das gramíneas. (ARAÚJO et al. 2011; CAMPOS, 2016).

Figura 4. Desdobramento da interação entre áreas (Pastagem recuperada a 8 anos (P8), Pastagem perene (PP), Floresta secundária (FS) e Profundidades de coleta (0-20 cm, 20-40 cm), para os atributos Carbono total (a), Nitrogênio total (b), Estoque de Nitrogênio total (c) e Estoque de Carbono total (d)



Nota: Para cada variável, letras minúsculas comparam áreas, letras maiúsculas comparam profundidades, letras iguais não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

5.1.2. Áreas e Ano de Avaliação

A Figura 5 apresenta os valores médios para Ca, Mg e NT, no qual apresentaram interações ($P < 0,05$) entre as áreas P8, PP e FS e os anos de avaliação (2013 e 2019).

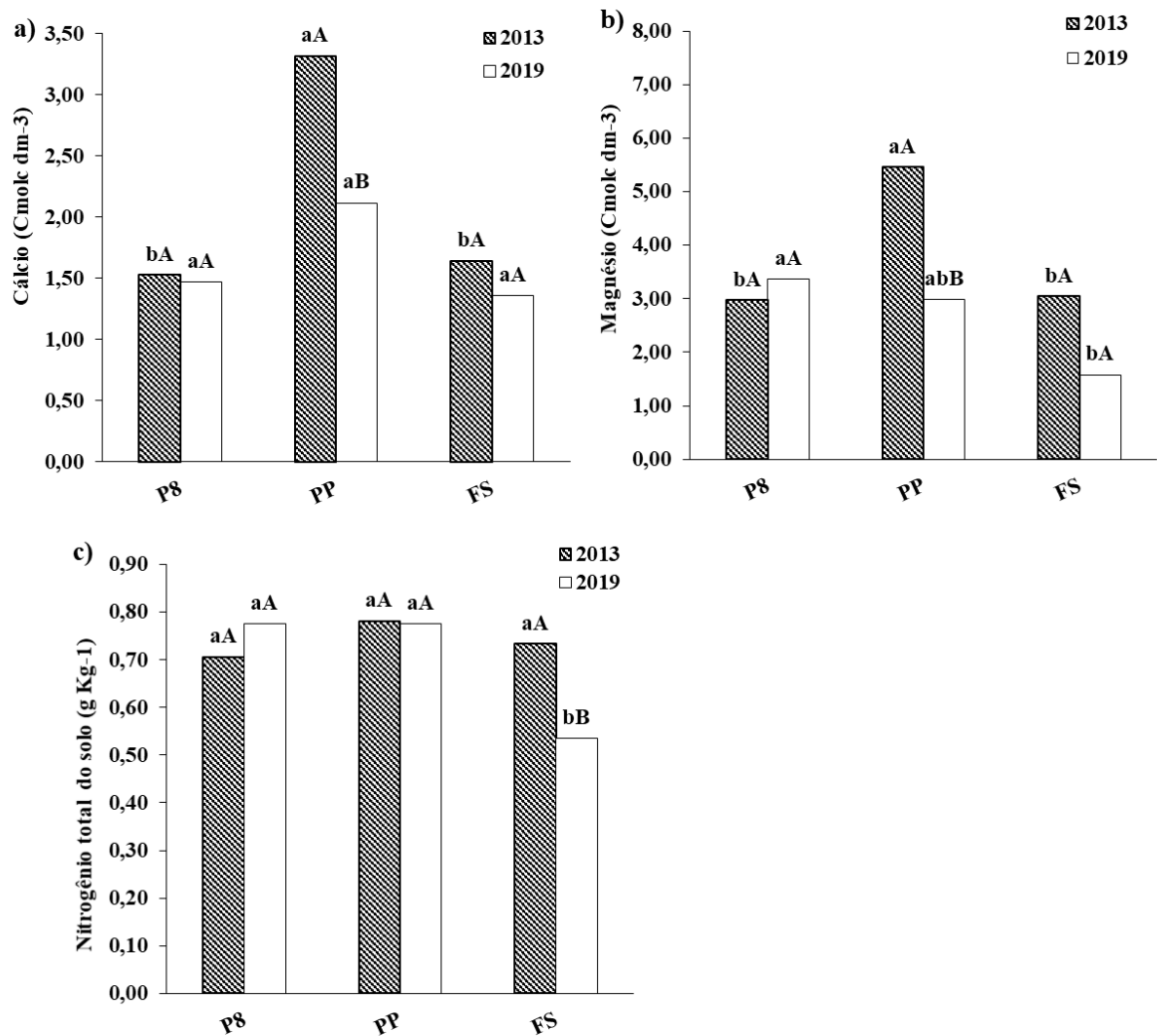
Os teores de Ca variaram entre as áreas, com os maiores valores ocorrendo na pastagem perene no primeiro ano de avaliação (2013), sendo 51% maior em 2013 e 36% em 2019 em relação a floresta secundária. Carneiro et al. (2009) e Rodrigues et al., (2017) encontraram em suas pesquisas os teores de Ca mais elevados em ambientes antropizados e menor nos ambientes com vegetação nativa, pois nos ambientes nativos não houve correção e adubação do solo e se trata de solo originalmente distróficos. A elevação inicial no teor de Ca pode ser explicado devido ao

nutriente está presente nas cinzas depois da queima da biomassa durante a preparação da área para pastagem de forma tradicional, porém esses valores tendem a diminuir, pois conforme Jacques (2003), o retorno das condições químicas originais do solo após a queima da pastagem, pode ser atribuído à absorção dos nutrientes pelas raízes, ou à sua perda por lixiviação no perfil do solo por ação da água de chuva, ou ainda pela remoção de parte das cinzas depositadas na superfície do solo pela ação do vento.

Na pastagem perene houve variação entre os anos de avaliação, ocorrendo um decréscimo na concentração de Ca (Figura 5a), que naturalmente vai ocorrendo a queda com o passar dos anos, por causa de sua fixação na biomassa das plantas, consumo do pasto e a não reposição de nutrientes. Em relação ao Mg, nos diferentes usos do solo e anos de avaliação, observou-se que as maiores médias ($5,45 \text{ Cmolc.dm}^{-3}$) foram encontradas na pastagem perene e na avaliação ocorrida no ano de 2013 (Figura 5 b). Resultados similar foram encontrados por Braz, Fernandes e Alleoni (2013), que encontraram os teores de cálcio e magnésio maiores nas áreas cultivadas com pastagem, contribuindo para aumentar a soma de bases, em comparação com áreas de mata nativa.

Para os teores de nitrogênio total, dentro do mesmo uso, ocorreu diferença significativa apenas na floresta secundária, que diferiu dos demais usos apenas no segundo ano de avaliação, sendo 30% menor comparado com a pastagem perene (Figura 5 c). Esses resultados podem ser explicados devido a ciclagem de nutrientes nos ambientes com pastagem ocorrer de forma mais rápida do que no ambiente de floresta secundária, pois conforme Iwata et al. (2012), os substratos orgânicos de decomposição rápida tendem a apresentar teores mais elevados de N do que aqueles de decomposição mais lenta, responsáveis pela conservação do C no solo.

Figura 5. Desdobramento da interação entre as áreas (Pastagem recuperada a 8 anos (P8), Pastagem perene (PP), Floresta secundária (FS) e os anos de avaliação (2013 e 2019), para os atributos Cálcio (a), Magnésio (b) e Nitrogênio total (c).



Nota: Para cada variável, letras minúsculas comparam áreas, letras maiúsculas comparam anos, letras iguais não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey

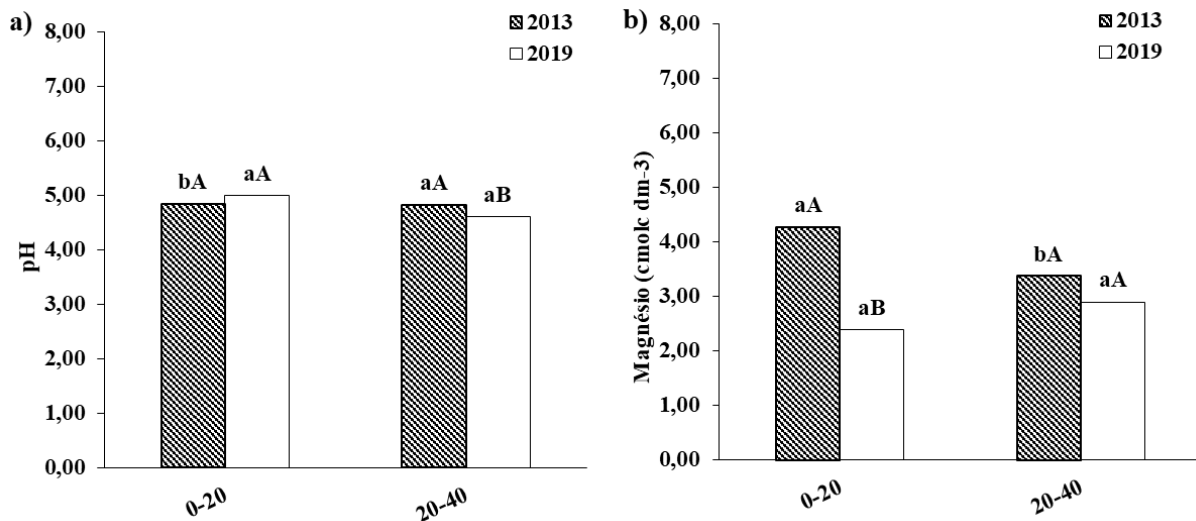
5.1.3 Efeito das Interações profundidades e ano de avaliação

Com relação ao pH, diferiu ($P < 0,05$) estatisticamente entre os anos de avaliação na camada mais profunda e também entre as profundidades no primeiro ano de avaliação, observa-se que não variou muito, ficando entre 4,82 a 4,85 nas diferentes profundidades e entre 4,6 a 4,8 nos anos de avaliação (Figura 6a). O uso do fogo e incorporação das cinzas da vegetação original, por ocasião do preparo do terreno para o plantio, elevam o pH e aumentaram os teores de bases

trocáveis (FERNANDES; CERRI E FERNANDES, 2002), provavelmente devido a rápida mineralização dos nutrientes e elevadas concentrações nas cinzas. Conforme Lorenzon et al. (2014), o pH do solo em áreas após a ação do fogo nem sempre fica em evidência, pois, a elevação desse parâmetro pela queima depende de fatores, como a composição e quantidade de cinzas geradas e da caracterização do solo. Encontrar valores baixos de pH na região da zona amazônica são comuns, como foi observado por Mantovanelli et al. (2015) e Aquino et al. (2016), que em suas pesquisas encontraram valores de pH abaixo de 5, o que caracteriza acidez aos solos desta região.

Os teores de Mg não diferiram entre as profundidades, porém ocorreu diferença significativa ($P < 0,05$) dentro da camada 0-20 cm entre os anos de avaliação, com redução de 44% (Figura 6b). Essa diminuição da concentração de Mg no solo nos anos de avaliação pode ter ocorrido devido absorção deste nutriente pela pastagem e a retirada do ambiente pelos os animais durante o pastejo e ausência de manejo da fertilidade do solo (OLIVEIRA et al., 2017), visto que não houve aplicação de corretivos nas áreas de pastagem perene e floresta secundária.

Figura 6. Desdobramento da interação entre profundidades de coleta (0-20 e 20-40cm) e os anos de avaliação (2013 e 2019), para os atributos pH (a) e Magnésio (b).



Nota: Para cada variável, letras minúsculas comparam profundidades, letras maiúsculas comparam anos, letras iguais não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

5.1.4. Efeito simples

As variáveis P, K e Ds apresentaram valores significativos ($P < 0,05$) apenas para os efeitos simples (Tabela 3). O P diferiu em profundidade, K e DS diferiram dentro das diferentes áreas e nos diferentes anos de avaliação.

Nas diferentes áreas analisada os teores de K apresentaram diferença significativa, com maiores médias para a pastagem perene (PP), variando entre 0,25 e 0,35 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$. Para os diferentes anos de avaliação, os teores de K diferiram estatisticamente, apresentando os maiores valores (0,32 $\text{Cmol}_c\text{dm}^{-3}$) no ano de 2013. Esse resultado pode ser explicado pelo efeito residual das queimadas utilizada no preparo desta área em curto prazo, o fogo torna-se um agente mineralizante, aumentando a disponibilidade de nutrientes para o crescimento das plantas, devido à alta concentração de P, K e Ca nas cinzas (KAUFFMAN, CUMMINGS, & WARD, 1994), elevando o teor de K no primeiro ano de avaliação. Em estudo analisando atributos do solo após conversão de floresta em pastagem na Amazônia, Braz et al. (2013), constataram que os valores de pH e a disponibilidade de P, Ca e K no solo aumentaram e os níveis de Al trocável diminuíram. A ação do fogo provoca alterações em todos os atributos químicos avaliados (SILVA et al. 2019).

Para as diferentes áreas analisadas a densidade do solo foi maior para o uso do solo com pastagem recuperada, apresentando valor médio de 5% mais elevada do que na floresta secundária, já para os anos de avaliação seu valor médio aumentou no último ano de avaliação, variando de 1,34 g cm^{-3} em 2013 para 1,41 g cm^{-3} em 2019. Martins et al. (2020), encontrou resultados similares, observando menores valores de Ds do solo em área de floresta nativa. Esses resultados podem ser devido ao manejo e preparo do solo para a implantação da pastagem, com a utilização de maquinário e também pelo pisoteio dos animais durante o pastejo. Em pastagem, associam-se os valores mais altos da densidade do solo devido à degradação da estrutura pelo pisoteio dos animais e da própria textura do solo (MORAIS; PISSARRA; REIS., 2012), isso se explica devido a vulnerabilidade física da pastagem, deixando o solo mais suscetível a compactação e mais exposto aos processos erosivos (CARMO et al., 2018).

Nas diferentes camadas de solo avaliadas, o teor de P foi maior na camada superficial (0-20 cm), sendo 17,9% superior em relação a profundidade 20-40 cm. Esse resultado pode ser explicado devido à queima da biomassa presente na camada superficial do solo, e pelo fato do fósforo ser um nutriente com pouca mobilidade no solo. Segundo Kauffman et al. (1994), o

aumento no teor de P está relacionado com a formação e deposição das cinzas nas camadas superficiais. Lorenzon et al. (2014), em estudos sobre a influência do fogo na composição química do solo florestal após a queima também encontrou teores mais elevados de fósforo na camada mais superficial. Rheinheimer et al. (2003), observaram um aumento na concentração de P na camada mais superficial logo após à queima. Essa manutenção de níveis mais elevados de fósforo disponível no solo pode ser atribuída à sua forte adsorção, e consequente baixa mobilidade no sistema solo, sendo passível de perda comumente através do carreamento de material de solo por processo erosivo (RAIJ, 2011).

5.2 Análise de Componentes principais e agrupamento

Com base nos resultados obtidos pela técnica de análise dos componentes principais, os respectivos autovalores e porcentagens da variância explicada por cada um estão apresentados na Tabela 4. Os dois componentes principais foram responsáveis por 100% da variação total sobre os dados estudados, em que o CP1 foi responsável por 64,09 % e o CP2 por 35,91% das variações dos dados. Foi observado no primeiro componente principal, as maiores contribuições de K, Ca, Mg, Nt, EstCT e EstNT e no segundo componente principal por pH, P, DS, CT, Ca.

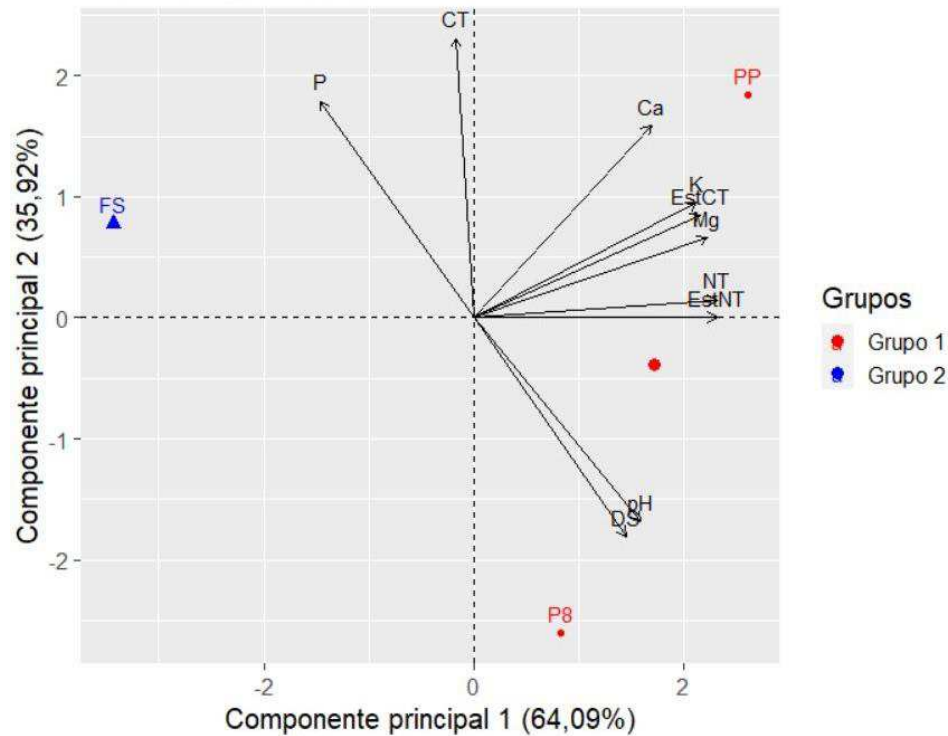
Tabela 4. Coeficientes de pesos (auto vetores), autovalores e variância explicada por cada componente principal (CP1 e CP2) de atributos químicos, Densidade, Nitrogênio e Carbono do solo em área de floresta secundária, pastagem perene e pastagem após 8 anos de reforma em diferentes camadas do solo (0-20 e 20-40 cm) e anos de avaliação (2013 e 2019) no município de Pindaré-Mirim, Maranhão, Brasil.

ATRIBUTOS	CP1	CP2
pH	0.686	-0.728
P	-0.634	0.773
K	0.912	0.410
Ca	0.728	0.686
Mg	0.958	0.285
DS	0.624	-0.782
CT	-0.076	0.997
NT	0.998	0.064
EstCT	0.930	0.367
EstNT	1.000	0.001
Autovalores	6,4	3,59
Variância total (%)	64,09	35,91
Variância acumulada (%)	64,09	100

Ao analisar o grupamento (Figura 7), nota-se a formação de dois grupos distintos nos usos de solo: o primeiro é composto por pastagem reformada há 8 anos e pastagem perene, já o segundo grupo é formado pela floresta secundária, que distancia-se do grupo anterior, possivelmente por apresentar baixos teores de bases trocáveis no solo. Os baixos teores de Ca, Mg, K na floresta secundária demonstram um ambiente natural sem adição de calagem ou qualquer outro tipo de base introduzida artificialmente (FREITAS et al., 2015). Conforme Oliveira et al. (2015), em pesquisas sobre a caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas, observou através da análise do componente principal que a floresta (ambiente em equilíbrio) encontra-se mais próximo ou com características mais próximas da área de pastagem, indicando que o uso da pastagem não causa grandes alterações no solo.

A representação gráfica (Figura 7) permite caracterizar as variáveis que mais causam a diferenciação dos ambientes, vindo a confirmar a análise de agrupamento para os ambientes estudados, com a formação dos dois grupos, que correspondem à diferenciação de uso do solo, isto foi verificado pelas variáveis que têm vetores de comprimento semelhante e formaram ângulos agudos entre as variáveis. Conforme Freitas et al. (2015), os diferentes grupos são resultados, das diferenciações dos atributos observados, o que possibilita uma análise mais generalizada da qualidade das áreas estudadas, como a análise de componentes principais.

Figura 7. Biplot entre a relação dos atributos químicos, teor e estoque de Nitrogênio e Carbono do solo em área de floresta secundária (FS), pastagem perene (PP) e pastagem após 8 anos de reforma (P8) em diferentes camadas do solo (0-20 e 20-40 cm) e anos de avaliação (2013 e 2019) no município de Pindaré-Mirim, Maranhão, Brasil.



6. CONCLUSÃO

Os atributos químicos, teores e estoques de C e N do solo sofreram alterações em função do uso do solo e período de avaliação, com maiores alterações no ambiente de floresta secundária em relação ao demais usos do solo.

O uso das técnicas de análise multivariada, de agrupamento e de componentes principais foi eficiente para verificar as diferenças entre os ambientes estudados, com base nos atributos químicos, teores totais e estoque de carbono e nitrogênio do solo de cada área.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, A.; PEREIRA, C.; CASTRO, I.; CARDOSO, A., SOUZA, L.; COSTA, R.; BENTES, A.J.; STELLA, O.; AZEVEDO, A.; GOMES, J.; NOVAES, R. **Desmatamento nos Assentamentos da Amazônia: Histórico, Tendências e Oportunidades**. IPAM, Brasília, 2016, 93p.]

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

ANA. Agência Nacional de Águas. **Séries Históricas de Estações**. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em 26 abr. 2021.

ANDRADE, Ricardo Guimarães et al. Indicativo de pastagens plantadas em processo de degradação no bioma Cerrado. In: Embrapa Territorial-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015.

AQUINO, R. E. de; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; OLIVEIRA, I. A. de; FRANCISCON, U.; SILVA, D. M. P. da; CUNHA, J. M. da. Chemical soil attributes evaluated by multivariate techniques and geostatistics in the area with agroforestry and sugarcane in Humaitá, AM, Brazil. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 1, p. 61-72, 2016.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma amazônico. **Acta Amazônica**, v. 41, n. 1, p. 103-114, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672011000100012>

ASSUNÇÃO, S. A.; PEREIRA, M. G.; ROSSET, J. S.; BERBARA, R. L. L.; GARCÍA, A. C. Carbon input and the structural quality of soil organic matter as a function of agricultural management in a tropical climate region of Brazil, **Science of The Total Environment**, Volume 658, 2019, Pages 901-911. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.271>.

BARROS, J. D. de S. (2014). **Estoques de carbono e nitrogênio em vertissolo e condições socioeconômicas e ambientais na Microbacia Hidrográfica do Riacho Val Paraíso (PB)**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil.

BARROS, José & Chaves, Lúcia Helena (2019). Estoque de carbono e nitrogenio em diferentes manejos do solo. **Novas Edições Acadêmicas** 978-3-330-73177-6

BRASIL. **Lei 1.806, 06 de janeiro de 1953**. Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia, cria a superintendência da sua execução e dá outras providências. Lex: Coleção de Leis do Brasil, Rio de Janeiro, v. 1, p. 1260, 1953.

BRAZ, DE S. A. M.; FERNANDES, A. R.; ALLEONI, L. R. F. Atributos do solo após a conversão de floresta para pastagem na Amazônia. Degradação e Desenvolvimento da Terra, **Hoboken**, v. 24, n. 1, pág. 33-38, 2013.

CAMPOS, M. C. C., Soares, M. D. R., Nascimento, M. F., & Silva, D. M. P. (2016). Carbon storage in soil and aggregates of Inceptisols under different land use management systems in southern Amazonas. **Revista Ambiente e Água**, 11(2), 339-349. <https://doi.org/10.4136/ambiente-agua.1819>

- CARMO, Marina et al. Densidade e porosidade do solo em pastagem recuperada e degradada, na Amazônia ocidental. **Agrarian Academy**, v. 5, n. 09, 2018.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.
- CARVALHO, Rafael Pelloso et al. Atributos físicos e químicos de um neossolo quartzarênico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 148-159, 2015.
- CASTILHO, Selene Cristina de Pierri; Cooper, Miguel; Dominguez, Anahí; Bedano, Jose Camilo Effect of Land Use Changes in Eastern Amazonia on Soil Chemical, Physical, and Biological Attributes, **Soil Science**: March/April 2016 - Volume 181 - Issue 3/4 - p 133-147 doi: 10.1097/SS.0000000000000152
- CELENTANO, D.; ROUSSEAU, G. MUNIZ, F.; VARGA, I.; MARTINEZ, C.; CARNEIRO, M.; MIRANDA, M.; BARROS, M.; FREITAS, L.; NARVAES, I.; ADAMI, M.; GOMES, A.; RODRIGUES, J.; MARTINS, M. TowardsDs zero deforestation and forest restoration in the Amazon region of Maranhão state, **Brazil. Land Use Policy**, v. 68, p.692-698, 2017.
- CHERUBIN, Maurício Roberto et al. Sugarcane expansion in Brazilian tropical soils—Effects of land use change on soil chemical attributes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 211, p. 173-184, 2015.
- COSTA, Nídia Raquel et al. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015.
- CUNHA, E.Q. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 56-63, 2012.
- Dias-Filho, M. B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 4.ed.rev. **atual. e ampl. Belém: Ed. do Autor**, 2011. 216p.
- DU, Xiangbei et al. Nitrogen use efficiency of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) as influenced by wheat–cotton cropping systems. **European Journal of Agronomy**, v. 75, p. 72-79, 2016.
- DIAS-FILHO, M.B. Recuperação de pastagens degradadas na Amazônia: desafios, oportunidades e perspectivas. In: SAMBUICHI, R. H. R. et al. (Org.). **Políticas agroambientais e sustentabilidade: desafios, oportunidades e lições aprendidas**. Brasília, DF: Ipea, p. 149-169, 2014.
- DUAN, Pengpeng et al. The dynamics of soil-soluble nitrogen and soil-retained nitrogen in greenhouse soil. **Acta Agricultura e Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science**, v. 67, n. 1, p. 51-61, 2017.

- ELBASIOUNY, Heba; ELBEHIRY, Fathy. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions for improving soil quality and mitigating climate change. **Egyptian Journal of Soil Science**, v. 59, n. 2, p. 131-144, 2019.
- ELLERT, B.H.; BETTANY, J.R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Can. J. Sci.**, 75:529-538, 1995
- FEARNSIDE, P.M.; BARBOSA, R.I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v.108, 147-166, 1998.
- FERNANDES, F. A.; CERRI, C. C.; FERNANDES, AHBM. Alterações na matéria orgânica e nas características químicas de um Podzol hidromórfico sob pastagens cultivadas no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Embrapa Pantanal-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2002.
- FERREIRA, D. F.; FILHO, A. C.; LUCIO, A. D. Procedimentos estatísticos em planejamentos experimentais com restrição na casualização. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.3, p.16-19, 2012.
- FREITAS, de L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C; OLIVEIRA, V. M. R. Atributos químicos de Latossolo Vermelho submetido a diferentes manejos. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 229-240, 2015.
- GODOI, Raquel de Faria et al. High-resolution soil erodibility map of Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 781, p. 146673, 2021.
- GOMES, Lucas Carvalho et al. Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil. **Geoderma**, v. 340, p. 337-350, 2019.
- GUIDOLINI, Janaína & Pissarra, Teresa & Abdo, Maria Teresa & Costa, Renata.. Estoques de carbono orgânico em argissolo vermelho-amarelo sob diferentes sistemas de manejo e uso da terra (suts). capítulo XXIV. **Elementos da natureza e propriedades do solo – Vol. 3** [recurso eletrônico] / Atena Editora. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.
- GUTIÉRREZ, F., ACOSTA, L., SALAZAR, C. **Perfiles urbanos en la Amazonia Colombiana:un enfoque para el desarrollo sostenible**. Bogotá, Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, 2004.
- HATFIELD, Jerry et al. Chapter one—soil: the forgotten piece of the water, food, energy Nexus. **Advances in agronomy**, v. 143, p. 1-46, 2017.
- HENGL, Tomislav et al. Mapping soil properties of Africa at 250 m resolution: Random forests significantly improve current predictions. **PLoS one**, v. 10, n. 6, p. e0125814, 2015.
- IWATA, B. F. et al Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em

Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 7, p. 730-738, 2012.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil:2016- 2018. 2020. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/monitoramento_cobertura_uso_terra/v1/. Acesso em: 24 ago 2021

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Amazonia Legal**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=o-que-e> . Acesso em: 06 de Agos. de 2021.

INCRA/BRASIL. **Ministério do Desenvolvimento Agrário**. 2017. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/>. Acesso em: 21 de jul. de 2021.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Série Histórica 2011-2020 de Dados Mensais da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional de Zé Doca**. 2020. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/mapas_mensal_sem.php Acesso em: 26 de jul. 2021.

INPE. **Projeto Terra Class: levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia Legal brasileira – 2004-2014**. São José dos Campos, 2016. Disponível em: http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2014.php Acesso em: 29 de maio de 2021.

JACQUES, Aino Victor Avila. A queima das pastagens naturais - efeitos sobre o solo e a vegetação. *Ciência Rural*, v.33, n.1, p.177-181, 2003.

JANKOWSKI, KathiJo et al. Deep soils modify environmental consequences of increased nitrogen fertilizer use in intensifying Amazon agriculture. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2018.

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. **Journal of Ecology**, v. 82, p. 519-531, 1994.

KEENOR, Sam G. et al. Capturing a soil carbon economy. **Royal Society open science**, v. 8, n. 4, p. 202305, 2021.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. Mexico: Fundo de Cultura Economica, 1948. 466 p.

LI, Wenjun et al. Assessing chemical soil tests for predicting nitrogen mineralization in paddy soils of the Dongting Lake region in China. **Journal of Soils and Sediments**, v. 16, n. 10, p. 2419-2429, 2016.

LIU, Shibin; SCHLEUSS, Per-Marten; KUZYAKOV, Yakov. Carbon and nitrogen losses from soil depend on degradation of Tibetan Kobresia pastures. **Land Degradation & Development**, v. 28, n. 4, p. 1253-1262, 2017.

- LORENZON, A. S.; BRIANEZI, D.; VALDETARO, E. B. et al. Análise química de um solo florestal após ocorrência de fogo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.4, n.2, p.142-147, 2014. DOI:<https://doi.org/10.21206/rbas.v4i2.269>
- MACEDO, M. C. M.; DE ARAÚJO, A. R. **Sistemas de produção em integração**: alternativa para recuperação de pastagens degradadas. Embrapa Gado de Corte-Capítulo em livro científico (ALICE), 2019.
- MACHADO, Deivid Lopes et al. Ciclagem de nutrientes em diferentes estádios sucessionais da Mata Atlântica na bacia do rio Paraíba do Sul, RJ. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 4, 2015.
- MACHADO, Deivid Lopes et al. ORGANIC MATTER AND SOIL FERTILITY IN DIFFERENT SUCCESSIONAL STAGES OF SEASONAL SEMIDECIDUAL FOREST1. **Revista Caatinga**, v. 32, p. 179-188, 2019.
- MANTOVANELLI, B. C.; SILVA, D. A. P. da; CAMPO, M. C.C.; GOMES, R. P. G.; SOARES, M. D. R.; SANTOS, L. A. C. dos. Avaliação dos atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 58, n. 2, p. 122-130, 2015.
- MARANHÃO. **Atlas do Maranhão**. Secretaria de Estado do Planejamento e Orçamento, Núcleo Geoambiental UEMA. São Luís: SEPLAN, 2013. 90p.Mediterranean cropland. **Soil Till. Res.** 107, 17–25.
- MARTINS, L. F. B. N.; TROIAN, D.; ROSSET, J. S.; SOUZA, C. B. S.; FARIAS, P. G. S.; OZÓRIO, J. M. B.; MARRA, L. M.; CASTILHO, S. C. P. Soil carbon stock in different uses in the southern cone of Mato Grosso do Sul. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 7, n. 4, p. 86- 94, out./dez. 2020. ISSN 2358-6303
- MESQUITA, B. A.; MOTTA, C. M.; PEREIRA, J. J.; FERREIRA, N. C.; BARBOSA, Z. M. Formação socioeconômica do estado do Maranhão. In: CASTRO, E. R. de.; CAMPOS, I. (org.) **Formação socioeconômica da Amazônia**. Belém: NAEA/UFPA, 2015.
- MILINDRO, I. F. et al. Atributos químicos como indicadores de qualidade do solo sob manejo agroecológico. **Caderno de Agroecologia**, Belem,v. 10, n. 3, p. 1-5, out. 2016.
- MONTANARI, R.; PANACHUKI, E.; LOVERA, L. H.; CORREA, A. R.; OLIVEIRA, I. S.; QUEIROZ, H. A.; TOMAZ, P. K. Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-Pantanal, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 385-396, 2015.
- MORAIS, Tatiane; PISSARRA, Teresa Cristina; REIS, Fabiana. Atributos físicos e matéria orgânica de um argissolo vermelho amarelo em microbacia hidrográfica sob vegetação nativa, pastagem e cana-de-açúcar. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, 2012.
- NESPER, Maike et al. Pasture degradation decreases organic P content of tropical soils due to soil structural decline. **Geoderma**, v. 257, p. 123-133, 2015.

OLIVEIRA, Ivanildo Amorim De et al. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Acta Amazonica**, v. 45, p. 1-12, 2015.

OLIVEIRA, T. P.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; NANZER, M. C.; BARRETA, P. G. V. Atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, Suplemento 1, p. 72-78, dez. 2017. ISSN 2358-6303.

PERES, C. A.; GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; ZUANON, J.; MICHALSKI, F.; LEES, A. C.; VIEIRA, I. C. G.; MOREIRA, F. M. S.; FEELEY, K. J. Biodiversity conservation in human-modified Amazonian forest lands Dscapes. **Biological Conservation, Essex**, v.143, n. 10, p.2314-2327, 2010.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Austria: Vienna, 2021.

RAIJ, Bernardo Van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. 2 ed. Piracicaba: IPNI, 2011. 420p.

REIS, V. R. R.; DEON, D. S.; MUNIZ, L. C.; GARCIA, U. S.; CANTANHÊDE, I. S. L.; REGO, C. A. R. M.; COSTA, J. B.; MARQUES, E. O. Soil Chemical Attributes under Crop-Livestock-Forest Integration System and in Different Land Uses in Mata dos Cocais Region. **Journal of Agricultural Science**. v.10, n.4, p.370-380, 2018.

RHEINHEIMER, Danilo Santos; Santos, Júlio César Pires; Fernandes, Valesca Barros Barcelos; Mafra, Álvaro Luis Mafra; Almeida, Jaime Antônio. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, v. 33, p. 49-55, 2003.

RIBEIRO, Juliana Martins et al. Fertilidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio sob sistemas agroflorestais no Cerrado Mineiro. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 913-923, 2019.

RIOS, L. **Estudos de Geografia do Maranhão**. São Luís: Gráphis Editora, 2001.

RODRIGUES, Marcos et al. Changes in chemical properties by use and management of an oxisol in the amazon biome. **Revista caatinga**, v. 30, p. 278-286, 2017.

Rodrigues, s. T.; schwartz, g; almeida, S. S. Diversidade, síndromes de dispersão e formas de vida vegetal em diferentes estágios sucessionais de florestas secundárias em Tomé-Açu, Pará, Brasil. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v.7, p.21-31, 2012.

ROSA, R.; SANO, E.E.; ROSENDO, J.S. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. **Sociedade & Natureza**, v.26, n.2, p.333-351, 2014.

ROSA, G. Q. **Estoque de carbono em diferentes usos da terra e dinâmica das raízes finas em floresta tropical seca**. 2018. 105 f..Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Centro de

Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

Rosset, S.J., Lana, M.C., Pereira, M.G., Schiavo, J.A., Rampim, L., Sarto, M.V.M., 2016. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. **Pesq. Agrop. Brasileira** 51, 9. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100204x2016000900052>

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. 1-15, 2018.

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, 2018. 356p.

SCHULZ, Katharina et al. Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 367, p. 62-70, 2016.

SHARMA, Peeyush et al. Compositional characteristics of organic matter and its water-extractable components across a profile of organically managed soil. **Geoderma**, v. 286, p. 73-82, 2017.

SILVA, Eduardo Carvalho da et al. Temporal evaluation of soil chemical attributes after slash-and-burn agriculture in the Western Brazilian Amazon. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 41, 2019.

SIQUEIRA NETO, M. et al. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, n.04, p. 709-717, 2009.

SOUSA, G.O. **Alterações no solo, em função da cronosequência da pastagem em integração lavoura-pecuária-floresta, na amazônia maranhense**. 2020, 65p. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) – Universidade Estadual do Maranhão, 2020.

STOCKMANN, Uta et al. Global soil organic carbon assessment. **Global Food Security**, v. 6, p. 9-16, 2015.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de anamétodos de análises de solo**. 3. ed. rev. e ampl., Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573p.

TROIAN, Douglas et al. CARBONO ORGÂNICO E ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 4, p. 1447-1469, 2020

VIANA, Fernanda Maria de Freitas; STEWARD, Angela May; RICHERS, Bárbara Tadzia Trautman. Cultivo itinerante na Amazônia central: manejo tradicional e transformações da paisagem. *Novos Cadernos NAEA*, v. 19, n. 1, 2016.

WANG, Xiyang et al. Variations in cropland soil organic carbon fractions in the black soil region of China. *Soil and Tillage Research*, v. 184, p. 93-99, 2018.

WU, Hanqing et al. Effects of irrigation and nitrogen fertilization on greenhouse soil organic nitrogen fractions and soil-soluble nitrogen pools. *Agricultural Water Management*, v. 216, p. 415-424, 2019.

YANG, Lijie et al. Available C and N affect the utilization of glycine by soil microorganisms. *Geoderma*, v. 283, p. 32-38, 2016.

YANG, Xiuyi et al. Effects of different nitrogen fertilizer types and rates on cotton leaf senescence, yield and soil inorganic. *Archives of Agronomy and Soil Science*, p. 1-14, 2020.